

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 52 (1959)
Heft: 2

Artikel: Neuere Untersuchungen der Therme von Pfäfers
Autor: Weber, Eugen
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-162589>

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: 07.01.2026

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

Neuere Untersuchungen der Therme von Pfäfers

Von **Eugen Weber**, Maienfeld

Mit 2 Figuren und 1 Tabelle im Text

EINLEITUNG

Im Zusammenhang mit Studien über mögliche Kraftwerksbauten im Weisstannen-, Calfeisen- und Taminatal wurden eine Reihe neuer Messungen und Untersuchungen an der Therme Pfäfers vorgenommen. Die mit erheblichem Aufwand an Mitteln durchgeführten Beobachtungen wurden grosszügig unterstützt durch das Baudepartement des Kantons St. Gallen, die Rheinbauleitung Rorschach, Herrn Dr. h. c. MAX SCHMIDHEINY und die Nordostschweizerischen Kraftwerke. Ihnen sei allen herzlich gedankt.

Die Beobachtungen und Untersuchungen an der Therme gehen weiter, doch erachte ich den Zeitpunkt für gekommen, einen ersten Überblick über die Problematik der Therme und die bereits als bindende Erkenntnisse erzielten Resultate nachstehend bekanntzugeben.

Ich freue mich besonders diesen, wenn auch bescheidenen Beitrag meinem Freund RUDOLF STAUB widmen zu können, um so mehr, als seine stete Anteilnahme und Förderung des Studiums der Therme mir wertvolle Hilfe bedeutete.

A. DIE BISHERIGEN UNTERSUCHUNGEN ZUM PROBLEM DER THERME i.a.

Solche Untersuchungen sind einerseits im Hinblick auf Verbesserung der Fassung und zur Abklärung beunruhigender Ertragsrückgänge schon mehrfach ausgeführt worden (speziell im Gutachten HEIM-BERNOLD), andererseits wurde auch das Problem der Beeinflussung durch Kraftwerksbauten schon vor wenigen Jahren einmal aufgeworfen, und R. STAUB hat auf Veranlassung der Baudirektion des Kantons St. Gallen unter dem 12. August 1947 hierüber ein Gutachten abgegeben. Ein weiteres Gutachten vom 31. Juli 1953 von W. LEUPOLD und dem Verfasser befasste sich ebenfalls mit dem Problem der Kraftwerksbauten und ihrer möglichen Beeinflussung der Therme von Pfäfers.

Die Natur dieser Quelle bietet wegen ihrer Vereinigung verschiedener, fast disparater Eigenschaften einer widerspruchsslosen Erklärung aussergewöhnliche Schwierigkeiten und es gingen und gehen, wie R. STAUB in seinem Gutachten schon einleitend betonte, die Meinungen der Geologen darüber noch beträchtlich auseinander. Zu einem grossen Teil findet dies seine objektive Erklärung darin, dass es immer noch an zuverlässigen Beobachtungsreihen all der verschiedenen Elemente des Quellregimes gebricht, welche als Grundlage jeder wissenschaftlichen Theorie der Quelle selbst unbedingt notwendig wären.

Die ausgedehnteste und neueste, kombinierte technisch-geologische Studie zu den Fragen des Quellenregimes allein ist diejenige, welche ALB. HEIM und

Ing. BERNOLD im Auftrage der Gemeinde Ragaz gemeinsam durchgeführt haben. Der letztgenannte technische Experte hatte sich schon im Jahre 1922, nach dem katastrophalen Ertragsrückgang des bekannten Trockenjahres 1921 mit der Fassung der Quelle (Einbau einer Heberleitung) befasst, nachdem von Seiten der Bauverwaltung des Kantons St. Gallen einige Pumpversuche ausgeführt worden waren. Der Bericht HEIM-BERNOLD, der alle bisher bekannten Daten über das Quellenregime zusammenfasst und sich auf weitere, 1925/1926 ausgeführte Pumpversuche stützen kann, ist datiert vom April 1927 und wurde veranlasst durch den neuerlichen beunruhigenden Ertragsrückgang im Jahr 1925.

Die geologischen Abschnitte dieser Studie wurden seinerzeit von ALB. HEIM auch fast unverändert veröffentlicht in seiner Publikation «Die Therme von Pfäfers» (Vjschr. naturf. Ges. Zürich, 1928). Die Verhältnisse des Quellenregimes zu den Witterungselementen wurden darin sehr eingehend analysiert und diskutiert, und es wurden eine Reihe charakteristischer Beziehungen eindeutig festgestellt. Allerdings konnten diese nur auf die einzige, einigermaßen zuverlässige und dennoch in gewissen Punkten unvollkommene Ertragsmessreihe der Quelle von 1914–1921 basiert werden; seither sind die Verhältnisse durch den 1922 erfolgten Einbau der Heberleitung verändert. Bezüglich der Zuverlässigkeit dieser Ertragsmessungen ist auch zu beachten, dass dieselben in Ragaz, am Ende der langen Leitung, ausgeführt wurden, dass die direkt an Pfäfersbad abgegebenen Wassermengen fehlen, und die Spitzenerträge des Sommers nicht mehr gemessen werden konnten, weil die Messeinrichtungen nicht ausreichen. Die Pumpresultate z. B. konnten nur durch Einberechnung der Durchlaufzeit in der Leitung bis Ragaz mit den, beim Abpumpen beobachteten Pegelständen im Quellschacht, in Beziehung gebracht werden. Die Pumpversuche konnten auch deshalb nie systematisch durchgeführt werden, weil sie durch das unregelmässige Funktionieren der Luftpumpe in der Heberleitung immer wieder gestört wurden.

R. STAUB hatte sich in dem genannten Gutachten in erster Linie mit den Konsequenzen von baulichen Eingriffen im untersten Taminatal zu befassen, wofür vor allem die Frage des Einzugsgebietes der Quelle und der Quellwege von Wichtigkeit ist. Hinsichtlich des Quellregimes musste er sich wiederum stützen auf die Angaben des Rapportes HEIM-BERNOLD.

Auf Grund dieser Unterlagen, sowie spezieller Terrainaufnahmen, welche der Verfasser zu diesem Behufe im Unterlauf der Tamina ausgeführt hat, gelangte aber R. STAUB zu einer neuen Konzeption über das Einsickerungsgebiet und die Quellwege der Therme, welche von der, durch HEIM vertretenen geologischen These – dass ausschliesslich die obere Hälfte der Kreidekalke, vor allem der Seewerkalk als durchlässige Einsickerungs- und Durchflussschicht der Therme fundiere – durchaus abweicht.

Das Gutachten von W. LEUPOLD und dem Verfasser musste sich ebenfalls zur Hauptsache auf die Daten aus dem Gutachten HEIM-BERNOLD stützen. Vor allem aber waren es technisch-hydraulische Überlegungen, die das Funktionieren der Therme von Pfäfers durch einen Überschluckmechanismus erklärten, dessen Auslösung durch quellnahe Wassereinsickerung bewirkt wird.

B. DIE HAUPTDATEN DES REGIMES DER THERME VON PFÄFERS

Von diesen, der geologischen Lage nach verwandten Quellen aus dem Sedimentmantel des Aarmassivs, bereitet nun die Therme von Pfäfers durch eine Vereinigung fast disparater Eigenschaften des Regimes einer geologischen Erklärung die grössten Schwierigkeiten. Eine widerspruchsfreie Theorie über Einzugsgebiet und Quellwege derselben hat folgende ungewöhnliche Kombination von Haupteigenschaften zu erklären:

1. Die Quelle zeigt zwischen Winter, Frühling, Sommer und Herbst sehr grosse Ertragsschwankungen, welche von völligem Absterben eines Überlaufes aus der Quellspalte oder niedrigen Erträgen von einigen hundert Minutenlitern auf 5000–10000, ja bis zu 15000 l/min. steigen. Diese Ertragsschwankungen entsprechen solchen von Karstquellen aus dem Kalkgebirge, doch fehlen stärkere und rasche Spitzenreaktionen auf grosse Regenfälle, wie sie solchen sonst zukommen. Es ergibt sich in erster Linie eine Abhängigkeit vom Verlauf der Schneeschmelze im Frühjahr und Sommer und zwar in den folgenden verschiedenen Beziehungen.

2. a) Der Schneereichtum des Winters bestimmt weitgehend den Totalertrag des Quellüberlaufes im folgenden Jahr.

b) Der Quellertrag steigt mit dem Einsetzen der Schneeschmelze plötzlich an, und die im Mittel der Jahre in den März fallenden Einsätze des Anstieges weisen, wie R. STAUB betont hat, auf einen Zusammenhang mit dem Beginn der Schneeschmelze in ziemlich niedrig gelegenen Höhenzonen des Gebirges, zwischen 1000 und 1500 m.

c) Kälterückfälle, welche die Schneeschmelze im Frühjahr zeitweilig abstoppen, wirken sich rasch und deutlich aus.

d) Je nach dem, von solchen Rückfällen verzögerten oder umgekehrt raschen Verlauf der Schneeschmelze im Gebirge, gipfelt das Sommerregime des Ertrages in einem steilen Maximum oder einem etwas verteilten, länger aushaltenden Hochstand.

3. Grosse Regenniederschläge oder Trockenzeiten während dieses Sommermaximums wirken sich nicht aus. Erst nach dem Ablauf des letzteren beginnen sich diese Elemente der Witterung wenigstens etwas bemerkbar zu machen, und zwar nach ALB. HEIM mit Verspätungen von 1–4 Wochen und allein in einer Verzögerung des meist einheitlichen Herbstrückganges der Erträge, nur selten in einem kleinen Wiederanstieg derselben. Nach gelegentlicher, einzelner Beobachtung des Verfassers machen sich aber sehr starke Regenfälle doch auch mit Verspätung von nur einzelnen Tagen in Schwankungen des Wasserstandes von einigen Zentimetern im Heberschacht geltend, was noch genauer zu prüfen wäre.

4. ALB. HEIM erhielt den Eindruck, dass zwei Komponenten der Quellen vorhanden seien:

- «1. Eine periodische Schmelzquelle, ein Maibrunnen, fliessend von IV. bis ca. X.
2. Eine Quelle, gespeist von den Niederschlägen der schneefreien Zeiten, fliessend das ganze Jahr.»

5. Die Temperatur scheint in ziemlich engen Grenzen konstant zu bleiben, um rund 37,5°. Es fehlen allerdings über diesen Temperaturverlauf genaue kontinuierliche Messreihen. Wichtig ist, dass die Temperatur im Winter, auch wenn die

Quelle im Quellschacht stagniert, nur sehr wenig zurückgeht (nach einer Messreihe des Winters 1902 bis auf ein Minimum von $32,5^{\circ}$), und wenn unter diesen Verhältnissen im Quellschacht gepumpt wird, sofort wieder auf die normale Höhe ansteigt.

6. Die Mineralisation ist sehr gering, nur rund 0,3 g/l Trockensubstanz, d. h. nur $\frac{1}{6}$ bzw. $\frac{1}{4}$ der Mineralisation von Leukerbad, bzw. Lavey. Die totale Härte von 8,23 frz. Härtegraden ist für eine aus dem Kalkgebirge austretende Quelle bescheiden. Dieser Chemismus wird auf Grund der wenigen vollständigen Analysen als ein sehr konstanter angenommen, allerdings ohne eine wirklich ausreichende Beobachtungsgrundlage, denn es fehlen periodische Analysen während eines Jahreszyklus. ALB. HEIM machte bereits auf einige kleinere Differenzen in den wenigen Analysen aufmerksam, die aber für die charakteristischen Komponenten, wie Natrium, Chlor, Schwefelsäure, nur bis jetzt wenig über 10 % hinausgehen, also jedenfalls soviel man bis jetzt weiss, nicht etwa mit einer den grossen Ertragsdifferenzen analogen Amplitude schwanken.

Die bei der kleinen Mineralisation relativ grossen Gehalte an Magnesium-, Natrium- und Chlorjonen sprechen, wie schon verschiedentlich, zuletzt auch wieder von R. STAUB betont worden ist, auch bei der Therme von Pfäfers für einen Kontakt mit Trias, der relativ hohe Kieselsäuregehalt für einen solchen auch mit den Silikatesteinen des kristallinen Untergrundes der Kuppel von Vättis.

7. Ferner ergaben sich bei Pumpversuchen, deren Zahlenmaterial bereits von Ing. BERNOLD sehr im Detail verarbeitet worden ist, einige hydraulische Eigentümlichkeiten, welche unten noch näher besprochen werden und ebenfalls in der Theorie der Therme von Pfäfers ihren Platz finden müssen.

Zunächst bereitet vor allem die Kombination von in engen Grenzen konstanter Temperatur und konstantem Chemismus mit ausserordentlich grossen Ertragsschwankungen der Erklärung Schwierigkeiten. Eine derartige Vermehrung des Ertrages durch den Zufluss von Schmelzwasser sollte sich, wenn nicht in der Temperatur, doch normalerweise im Chemismus geltend machen. Hinsichtlich der Temperatur könnte noch die Annahme gemacht werden, dass der Kontakt mit dem Fels während des Durchflusses derart ausreichend ist, dass sowohl die kleinen, wie die grössten Durchflussmengen auf dieselbe Temperatur aufgewärmt werden; es ist aber auch denkbar, dass die Auslaugung der chemischen Komponenten aus dem Gestein bei derart differierenden Erträgen genau die gleiche bleiben könnte. Bei den meisten Mineralquellen geht der konstante Chemismus mit einem nur sehr wenig ändernden Ertrag einher, und wenn solch grosse Schwankungen im Chemismus gefunden wurden, so war offenbar eine schwankende, vom Grundwasserstand und Verhältnissen des Abpumpens abhängige Beimischung von Grundwasser im Quellpunkte im Spiel, wie bei Schinznach und Lavey. Bei den Reitischachenquellen von Linthal andererseits, insbesondere der Brunnengütliquelle, findet man die Schwankungen der Temperatur und des Chemismus genau korreliert mit den Ertragsschwankungen, welche durch die Beimischung von sehr stark schwankenden Erträgen aus Karstkanälen des Kalkgebirges zu einer konstanteren Therme entstehen. Bei der Therme von Pfäfers nun erscheinen Chemismus und Temperatur von den ebenso starken Ertragsschwankungen auf jeden Fall nicht in einem analogen Ausmasse beeinflusst; soviel kann man den zur Verfügung stehenden Daten immerhin entnehmen. Es liegt hier also

nicht der ausgesprochene Fall der Zusammenmischung einer relativ konstanten Therme mit grossen Zuschüssen von Schneeschmelzwasser vor. An Hand genauer Temperaturmessreihen, sowie durch die Vornahme einfacher, periodischer Analysen, ja schon durch die simple periodische Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit des Quellwassers während eines Jahreszyklus könnten diese Verhältnisse leicht noch genauer überprüft werden.

C. GEOLOGISCHE THEORIE ÜBER EINZUGSGEBIET UND QUELLWEGE DER THERME VON PFÄFERS

Die von ALB. HEIM in seinen Gutachten von 1927 vertretene geologische Theorie, betreffend Einzugsgebiete und Quellwege der Therme von Pfäfers, ging dahin, dass als Einzugsgebiet die Bereiche anzusehen seien, wo die durchlässigen Kalke der Kreide, Schrattenkalk bis Seewerkalk, in den Hochregionen des N-Abfalles der Kuppel von Vättis, vom Brändlisberg über Tersol bis Vättnerberg und Vindels aufgeschlossen seien. Auch die Quellwege verliefen gegen NE ganz innerhalb der genannten Kalkschichten bis zum Austritt aus dem Seewerkalk der Aufwölbung von Pfäfers.

R. STAUB ist in seinem Bericht vom 12. August 1947 nicht in allen Details auf eine Neuinterpretation der bereits bekannten Daten des Quellregimes eingetreten, hat aber deutlich gemacht, dass schon aus einem wichtigen Grunde diese bisherige Interpretation von ALB. HEIM nicht richtig sein könne. Der Moment des Einsatzes grösserer Quellerträge unter dem unleugbaren Einfluss der Schneeschmelze liege im Mittel im März und weise auf den Eintritt der Schneeschmelze in wenig hoch hinaufreichenden Zonen des Gebirges hin, wie sie im möglichen Einzugsgebiet der Quelle nur in den unteren Höhenzonen der Umrahmung des Beckens von Vättis vorhanden seien; die zwischen 1600 m und 2000 m gelegenen Aufschlüsse des Seewerkalkes in den Alpterrassen des Vättnerberges könnten somit als ausschliessliches Einzugsgebiet nicht in Frage kommen.

Mit analoger Argumentation wurde ja seinerzeit nachgewiesen, dass der umgekehrt recht verspätete Einsatz (Anfang Mai) der grossen sommerlichen Abflussmengen der Brunnengütliquelle bei Linthal nur durch eine Herkunft derselben aus den Schneeschmelzwässern der hochgelegenen Regionen des Muttseeplateau, 2400 m, erklärt werden könne.

Andererseits weist der Chemismus der Therme, wie R. STAUB neuerdings unterstreicht, auf einen Kontakt der Quellwege mit dem Kristallin und der Trias hin, welche in der Kuppel von Vättis aufgeschlossen sind. Diese Aufschlüsse gehen in der Umrahmung des Talbeckens von Vättis nicht über die Kote 1280 m hinaus und würden somit auch im Bereich der Höhenzone liegen, welche mit dem zuerst betrachteten Frühjahrseinsatz der Schneeschmelze in Einklang stände. Aus der Kombination dieser zwei wichtigsten Eigenschaften des Quellregimes schliesst R. STAUB, dass die Therme vor allem ernährt wird durch Wasser, das in dem durch Scherflächen gestörten, geschuppten Nordabfall der Kristallinkuppel von Vättis, vorwiegend in deren Malmmantel versickert, danach auf die Triasbasis hinunter gelangt, sich dort entsprechend mineralisiert, zudem mit dem Axialgefälle der Schuppungsflächen gegen NE in die Tiefe geleitet wird und schliesslich nach Passie-

ren eines «Siphons» unter der Einmündung von Mapragg im Seewerkalk des vorgeschobenen Gewölbes von Pfäfersbad wieder aufsteigt und zu Tage tritt. Das Einzugsgebiet würde sich im tiefern Malm und der Trias ausstrecken, bis zu den westlichsten Aufschlüssen dieser Schichten in der Gegend von Gigerwald im untern Calfeisental.

Nach dieser Argumentation von R. STAUB liegt somit das massgebende Einzugsgebiet für die Therme von Pfäfers nahe dem Talweg der Tamina, und es muss deshalb auch der Einfluss von Veränderungen, welche durch Kraftwerksbauten in diesem Talweg erzeugt werden, ernsthaft geprüft werden.

Für die Erklärung der hohen Quelltemperaturen bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten:

a. Die Quelle steigt aus grösserer Tiefe unter dem Talboden auf und bringt die erhöhte Felstemperatur aus dieser Tiefe mit sich nach oben. Bei einer Übertemperatur der Quelle von etwa 30° über der mittleren Jahrestemperatur des Talbodens und einer Tiefenstufe von rund 30 m/Grad müsste diese Tiefe rund 1000 m betragen.

b. Die Quelle kommt seitlich unter den höheren Überlagerungen des Gebirges heraus, welche z. B. unter der Pizol-Gruppe rund 1500 m über dem Quellaustritt betragen, wo deshalb ebenfalls zum mindesten der Quelltemperatur entsprechende Felstemperaturen herrschen können (nach der Geoisothermen-Darstellung von ALB. HEIM sogar über 50°).

Bei der Erklärung a müsste das Quellwasser zwischen Einzugsgebiet und dem Quellpunkt einen tief unter das Tal hinunterreichenden Siphon durchfliessen, in welchem die Quellkanäle somit als unter Druck stehend angenommen werden müssten.

Bei der Erklärung b, wie sie von ALB. HEIM angenommen worden ist, bestünde die Möglichkeit, dass ein Kanalsystem mit Freispiegel-Abfluss das Wasser der Quelle mit natürlichem Gefälle zuleiten würde.

Nach der tektonischen Struktur des Taminagebietes folgt auf die, im Talkessel von Vättis aufgeschlossene Kuppel des kristallinen Grundgebirges und des sie umgebenden Kalkmantels der autochthonen Sedimentserie gegen N hin, eine tiefe tektonische Einmündung, die Mulde von Mapragg, welche durch die Globigerinenmergel und den Altdorfersandstein-Dachschieferkomplex des autochthonen Flysches erfüllt ist. Gegen N schliesst sich daran das Gewölbe der Schlucht von Pfäfersbad, in welchem der autochthone Untergrund sich nochmals soweit hebt, dass der (in mehreren Schuppen aufgetürmte) Seewerkalk als oberste Schicht des autochthonen Kalkmantels angeschnitten ist. Aus diesem Seewerkalk tritt dann die Therme an einer auffallenden Querbruch-Verwerfungsspalte zu Tage.

An sich ist also zwischen dem Becken von Vättis und dem Quellpunkt die tektonische Situation für einen siphonartigen Verlauf der Quellwege und damit für eine Aufwärmung des Wassers nach Schema a durchaus gegeben. Sobald man, und mit Recht, die Theorie von ALB. HEIM verlässt und auf Grund der Argumente von R. STAUB ein, sowohl stratigraphisch, wie topographisch tiefer gelegenes Einsickerungsgebiet und eine Verbindung mit der Trias, der Kuppel von Vättis, annimmt, so muss der Quellweg nach N hin notwendigerweise durch einen «Siphon» passieren. Allerdings muss man mit R. STAUB konstatieren, dass im Talweg der Taminaschlucht, zwischen Vättis und Pfäfersbad, die Mulde von Mapragg nicht

durchwegs mit undurchlässigem Globigerinenmergel erfüllt ist, sondern infolge Schuppung der Muldentiefe der durchlässige Seewerkalk zwischen Mapragg und der Quelle mehrfach in kleinen Schuppenspitzen über das Niveau der Tamina aufsteigt, so dass es, wie schon R. STAUB bemerkt, eigentlich merkwürdig ist, dass die Quelle nicht schon an einer, dieser talaufwärts weiter gelegenen Stellen, aus dem Seewerkalk austritt, sondern tatsächlich erst an der letzten, am weitesten talauswärts gelegenen Stelle zu Tage tritt, wo der Seewerkalk überhaupt noch einmal angeschnitten ist. Ausserdem taucht die dichte Globigerinenmergelabdeckung des Siphons zu wenig tief unter den Talboden ein, als dass hier die nötige Aufwärmung bis auf 37° stattfinden könnte, wenn das Wasser schon in diesem Bereich unmittelbar unter der Globigerinenmergelabdeckung im Seewerkalk verlief. Aus beiden Gründen lässt denn auch R. STAUB in den Profilen seines Gutachtens die siphonartigen Quellwege im Bereich der Mulde von Mapragg zunächst noch tief in der Schichtreihe des autochthonen Kalkmantels, noch im Malm, verlaufen und erst ganz zuletzt, in der Aufwölbung der Pfäferserschucht, entlang der Schuppenflächen in den Seewerkalk aufsteigen.

Nach den neueren Interpretation müssen somit siphonartige, röhrenartig geschlossene und somit unter Druck stehende Quellwege unter der Mulde von Mapragg zwingend angenommen werden. ALB. HEIM dagegen konnte bei seiner Theorie noch annehmen, dass im Bereich der tiefern Einmündung von Mapragg die klüftige Kreide in beiden Muldenschenkeln mit einer grundwasserartigen Wasserfüllung aufgefüllt sei, mit einem westlich bergwärts ansteigenden freien Spiegel von solchem Gefälle, dass das Quellwasser in grundwasserartigem Strome, zur Hauptsache in freiem Gefälle, sich gegen den Quellaustrittspunkt hinbewege. Dieser Strom würde ernährt aus weit gegen W, bis nach St. Martin hin sich ausdehnenden Einsickerungsstellen im Seewerkalk und Schrattenkalk, von denen ausgehend sich das Wasser in freiem Gefälle sich zum Thermenaustritt hinbewegen könnte und auf diesem, unter der hohen Gebirgsüberlagerung der Grauen Hörner hindurchführenden Wege nach dem Schema b aufgewärmt würde. Einzig ein Teil der Einsickerungen in der Quelle näher gelegenen Einsickerungsgebieten des Vättnerberges hätte nach der Skizze von ALB. HEIM dann den Weg nach dem Austrittspunkt ebenfalls durch den Siphon der Mulde von Mapragg nehmen müssen. ALB. HEIM nahm an, dass das Wasser in diesem grundwasserartigen Strome über ein Jahr brauche, um zur Austrittsstelle zu gelangen, die rasch charakteristischen Reaktionen der Erträge auf die Frühjahrsschneeschnelze dagegen seien durch direkte Druckübertragung zu erklären.

Diese grundwasserartige Füllung der Kreidekalke wurde von ALB. HEIM als ein Reservoir betrachtet, aus welchem beim Abpumpen des Quellschachtes der Therme zusätzliche Wassermengen entnommen werden können. Die Resultate von Pumpversuchen wurden in diesem Sinne interpretiert und es wurde errechnet, dass 1 cm Absenkung 140 m^3 Inhalt des Reservoirs entsprächen. Unter der weitem Annahme, dass das in Form der Klüftung vorhandene Porenvolumen der Kreidekalke $1\frac{0}{100}$ des Gesteinsvolumens der Seewerkalk-Schrattenkalkschicht ausmache, wurde weiter errechnet, dass das Reservoir einen Raum von der Grössenordnung gegen 2 Mio. m^3 in dieser Schicht einnehme. Nach der Schätzung von ALB. HEIM stimmte nun dieses Volumen gerade mit dem Inhalt des, in der Mulde von Mapragg

unterhalb des Quellhorizontes enthaltenen Anteils der Seewerkalk-Schrattenkalkschicht, überein, welche Analogie wiederum als weitere Stütze für die spezielle Verbindung der Therme mit einer ausschliesslich in dieser bestimmten Schicht enthaltenen grundwasserartigen Wasserfüllung und -strömung betrachtet werde.

Bei der Aufstellung einer geologischen Theorie für Einzugsgebiet und Quellwege der Therme von Pfäfers dürfen nun aber auch die folgenden hydraulischen Konsiderationen nicht ausser Acht gelassen werden.

Handelt es sich nach ALB. HEIM um eine grundwasserartige Strömung in der Gesteinsklüftung, mit freiem Spiegel, so könnte auf die 6–9 km Länge dieses Grundwasserstromes auch keine momentane Druckübertragung stattfinden, sondern es müsste nach Einsickern der ersten grössern Schmelzwassermengen im Frühling eine allmähliche Erhöhung des Grundwasserspiegels wellenartig vom Einsickerungsgebiet zum Quellpunkt fortschreiten und erst wenn die Welle diesen erreicht hätte, würden dort grössere Abflüsse stattfinden. Wenn aber die Durchlässigkeitsverhältnisse derart wären, dass der ganze Durchfluss ein Jahr Zeit braucht, so ist auch nicht anzunehmen, dass eine solche Welle sich mit einer grossen Geschwindigkeit durch einen so schlecht durchlässigen Grundwasserträger fortpflanzen würde.

Wenn andererseits, wie es alle geologischen Verhältnisse wahrscheinlich machen, und es die neuere Theorie von R. STAUB direkt verlangt, siphonartige Quellwege postuliert werden müssen, in welchen das Wasser aufgewärmt wird, so ist zu beachten, dass diese Quellwege dann unter Druck stehen und es sind hieraus die hydraulischen Konsequenzen zu ziehen. Bei diesem Mechanismus wäre eine momentane Druckübertragung nun zwar möglich, und es würde eine rasche Reaktion der Quelle auf vermehrte Zuflüsse im Einsickerungsgebiet verständlich. Andererseits ist aber zu überlegen, dass es dabei sehr grosser Drucksteigerungen auf der Eingangsseite des «Siphons» bedarf, um an der Ausgangsseite eine Steigerung des Ausflusses im Verhältnis, sagen wir einmal, von 500 l/min. auf 5000 l/min., d. h. von 1:10 zu bewirken, wie dies im Ertragsregime der Therme von Pfäfers vorzukommen scheint.

Wir könnten, um einen Anhaltspunkt zu gewinnen, einmal annehmen, dass der «Siphon» durch eine Rohrleitung dargestellt werde, durch welche beim Niederwasserregime des Winters unter dem, vom Talgrund von Vättis (950 m) bis zur Quelle (rund 700 m) bestehenden Gefälle von ca. 250 m eine gewisse minimale Wassermenge, sagen wir wiederum 500 l/min. durchgeht. Um dieselbe nur auf den 2fachen Betrag zu bringen, müsste die Drucksäule auf der Eingangsseite grössenordnungsmässig um weitere 250 m d. h. bis auf eine Spiegelhöhe von etwa 1200 m steigen (bei turbulentem Strömungsmechanismus sogar um 1000 m d. h. auf Kote 1700 m). Die Kote 1200 m entspräche etwa der Meereshöhe der höchsten Erhebung des Kristallins in der Umrahmung des Talbeckens von Vättis und es wäre denkbar, dass bergwärts hinter diesen Kristallinaufschlüssen der Druck sich in den Kalken zu dieser Höhe aufbauen kann.

An der Therme von Pfäfers finden aber zwischen Winter und Sommer viel stärkere Ertragsvermehrungen statt, als nur im Verhältnis 1:2, und es müsste somit im Einzugsgebiet ein noch viel grösserer Druckaufbau stattfinden, um diese Wassermengen durch den Siphon hindurchzubringen. Nun stehen ja als Einsicke-

rungsgebiet nur die steilen Kalkwände in der Umrahmung des Talbeckens von Vättis zur Verfügung. Diese sind aber auf kürzeste Distanz gegen die Oberfläche hin drainiert und es ist kaum denkbar, dass in den Klüften derselben ein derartiger Druckaufbau über dem Niveau des Talgrundes von Vättis stattfinden könnte, dass dadurch unter den sommerlichen Verhältnissen eine 10mal grössere Wassermenge durch den Siphon getrieben werden könnte. (Es ist anzumerken, dass bei Annahme turbulenter Strömung in den Quellkanälen des Siphons die Druckdifferenzen auf der Eingangsseite noch bedeutend grösser sein müssten, als bei laminarer Sickerungsströmung).

Ein Ausweg aus diesem Dilemma bestünde darin, dass man annimmt, auf der Eingangsseite des «Siphons», z. B. am nördlichen Ende des Beckens von Vättis, sei quasi ein «Abfallschacht» vorhanden, in welchem der Wasserstand unter den winterlichen Verhältnissen sehr tief stehen müsste, so dass die minimale winterliche Durchflussmenge von, sagen wir wiederum 500 l/min., durch einen Überdruck von nur beispielsweise 50 m durch diesen Siphon befördern würde. Dann könnte eine sommerliche, 10mal grössere Wassermenge durch einen Druckaufbau auf 500 m über dem Quellpunkt, d. h. wieder bis auf Kote 1200 m, zur Quelle befördert werden. Ein solcher Druckaufbau in den Klüften der Kalkmassen N der Vättner Kristallinkuppel wäre, wie schon gesagt, noch möglich. Andererseits ist aber eine winterliche Entleerung des ganzen Kalkgebirges der Umgebung von Vättis bis auf das eben angenommene tiefe Niveau (Kote ca. 750 m) kaum vorstellbar, es müsste ja dabei auch das ganze Grundwasser aus dem Alluvionalbecken von Vättis im Winter in den Kalkuntergrund versickern und damit auch der offene Lauf der Tamina verschwinden.

Auf jeden Fall zeigt sich aus diesen Modellüberlegungen deutlich, dass bei der, durch die Verhältnisse verlangten Annahme eines siphonartigen, unter Druck stehenden Zuflusskanales zur Therme von Pfäfers beträchtliche Schwierigkeiten bestehen, die grossen Differenzen, der durch diesen Siphon zufließenden Wassermengen zu erklären. Es wird eklatant, dass z. B. ein grosser Aufbau des Grundwasserspiegels in der Schuttfüllung des Beckens von Vättis durch die Schneeschmelzwasser in keiner Weise genügen würde, um eine solche Vergrösserung des Durchflusses im Siphon zwischen dem Becken von Vättis und der Quelle zu verursachen; ja wir haben Mühe, einen solchen Effekt durch einen Aufbau der Wasserfüllung in den hohen Kalkwänden des autochthonen Kalkmantels in der Umrahmung des Beckens von Vättis zu erklären.

Es bliebe zunächst in Betracht dieser Schwierigkeiten neben der HEIM'schen Hypothese einer grundwasserartigen Füllung der Kreidekalke, wie neben den siphonartigen Quellwegen der neuern Theorie, noch die dritte, theoretische Möglichkeit zu prüfen: ob es sich nicht bei der Therme von Pfäfers zur Hauptsache um eine normale Vaclusequelle aus dem Kalkgebirge handeln könnte, welche mit ihrem verkarsteten Einzugsgebiet durch einen recht durchgängigen Höhlenkanal mit Freispiegelgefälle verbunden wäre. In diesem Falle wären die raschen Reaktionen auf die Schneeschmelze und die Passage der grossen sommerlichen Schmelzwassermengen ohne weiteres erklärlich. Es existieren ja im autochthonen Kalkmantel andernorts verschiedene solche enge und durch Färbungen nachgewiesene Verbindungen, wie z. B. diejenigen der erwähnten Reitischachen-

quellen von Linthal mit dem Muttseeausfluss oder der stillen Reuss mit dem Seewelisee über Erstfeld.

Allerdings liefern die genannten Zusammenhänge nur kaltes Quellwasser, es wäre aber bei entsprechenden Überlagerungsverhältnissen durchaus möglich, dass Wasser in einem solchen Kanal nach dem Schema b bis auf 37° erwärmt würde.

Gegen eine solche Hypothese sprechen aber bei der Therme von Pfäfers verschiedene, direkt prohibitive Argumente. Erstens lässt der geologische Bau zwischen der Trias der Kuppel von Vättis und überhaupt denjenigen Höhezonen des Taminaeinzugsgebietes, welches nach dem Frühjahrseinsatz der Schneeschmelze höhenmässig als Einsickerungsgebiete in Frage kommen können, wie schon gesagt, keine Karstverbindungen mit offenem Gefälle, sondern nur siphonartige Verbindungen zu. Wollte man die rasche Reaktion der Therme auf die Schneeschmelze mittels einer solchen durchgängigen Karstverbindung erklären, so müsste ausserdem notwendigerweise auch die z. B. für das Regime der Brunnengütliquelle von Linthal so charakteristische Verdünnung der Mineralisation durch die plötzlich zutretenden Schneewassermengen vorhanden sein und müsste im Sommer doch eher eine etwas niedrigere Temperatur auftreten, während bei der Therme von Pfäfers gerade das Umgekehrte der Fall ist. Ausserdem liesse sich bei dem Bestehen einer solchen sehr durchgängigen Verbindung nicht erklären, dass neben einer so raschen Reaktion auf die Schneeschmelze, andererseits Reaktionen auf grosse Regenfälle, welche bei Quellen vom Typus des Brunnengütli neben den Reaktionen auf die Schneeschmelze ebenfalls eklatant sind, hier derart abgeschwächt oder verzögert sind, dass sie sich kaum bemerkbar machen.

Es ist auch zu beachten, dass solche durchgängige Karstsysteme sich, ausser in dem entsprechenden Ertragsregime der Vaclusequellen doch auch immer durch das Vorhandensein zugehöriger, deutlicher Erscheinungen der Verkarstung im Einzugsgebiet bemerkbar machen (abflusslose Terrainwannen, eigentliche Versickerungstrichter, starke Karrenbildung mit vor allem starker, oberflächlicher Erweiterung von Kluftsystemen und Bruchspalten). Es ist fast immer ein Hauptverbindungssystem vorhanden, das bekannte Entonnoirs mit der Vaclusequelle verbindet; daneben fliessen dann diesem Höhlenentwässerungssystem natürlich auch mehr diffuse Einsickerungen zu. In den Kalkgebieten des Taminatales, welche als Einzugsgebiet der Therme von Pfäfers in Frage kommen, ist nun aber von allen solchen äussern Anzeichen innerer Verkarstung überhaupt nichts zu beobachten.

Es spricht somit nichts dafür, dass die Therme von Pfäfers schon vom Einzugsgebiet her durch leicht zugängige Karstkanäle aus irgendwelchen, lokalisierten Versickerungstrichtern oder Überschlucken aus Bächen oder dergleichen ernährt werden könnte. Dies ist auch technisch, für die Beurteilung der Frage, inwiefern die Quelle durch die baulichen Veränderungen bei Kraftwerkbauten beeinflusst werden könne, von grosser Bedeutung.

Am ehesten wäre das Ertragsregime der Therme von Pfäfers vergleichbar mit demjenigen der Uelalpquellgruppe aus dem N-Fuss des Selbsanft, welches ebenfalls bei Anlass der Limmernexpertise genauer untersucht wurde. Es besteht eine gewisse Ähnlichkeit der Ertragskurven, vor allem auch hinsichtlich des markanten Frühjahrseinsatzes, der hier ebenso von der Schneeschmelze abhängigen, grösseren Erträge; nach einem Winterminimum von wahrscheinlich unter 1000

l/min. erreichen die Erträge der Uelialpquellen ebenfalls schon Anfang April wieder 5000 l/min. und steigen zu einem Sommermaximum an, das vom Juni bis Ende September bei rund 8000 l/min. fast konstant bleibt. Die Ernährung während des letzteren geschieht offenbar durch diffuse Einsickerung beim Abschmelzen der Schneeflecken und Gletscherreste auf dem, bis gegen 3000 m ansteigenden Kalkplateau des Selbsanft, woraus sich auch erklärt, dass das Sommermaximum hier sehr lang anhält. Bei dieser, nicht durch grosse Karstkanäle, sondern eher nur durch diffuse Einsickerung von Schneeschmelzwasser ernährten, ausgeglicheneren Quellengruppe aus dem Kalkgebirge finden wir somit zwischen Winterminimum und dem konstanten Sommermaximum der Erträge trotzdem ein Verhältnis von 1:10, also ähnlich wie bei der Therme von Pfäfers. Es ist aber zu beachten, dass die Schneeschmelzwasser dieser Quellengruppe der Uelialp mit natürlichem Gefälle zufließen können, dass einfach mit dem Bergaufwärtsrücken der sommerlichen Schneeschmelze immer mehr und neue, unter natürlichem Gefälle fließende Zuführungsadern zum Austrittspunkt der Uelialp in Betrieb kommen. Bei der Therme dagegen muss ein Siphon eingeschaltet sein und eine Ertragsvermehrung aus demselben im Verhältnis 1:10 könnte, wie wir gesehen haben, nur durch einen analogen Druckaufbau auf der Eingangsseite des Siphons bewirkt werden. Wenn wir also sehen, dass bei Quellen, welche durch diffuse Einsickerung aus der Schneeschmelze im hohen Kalkgebirge ernährt werden, tatsächlich Ertragsdifferenzen von 1:10 zwischen Winter und Sommer bestehen, so fragen wir uns, wie bei der Quelle von Pfäfers derart differierende Zuflüsse aus dem Einsickerungsgebiet durch den Siphon hindurchgebracht werden können.

D. ARGUMENTE FÜR DIE ERKLÄRUNG DES THERMENREGIMES AUS EINEM ÜBERSCHLUCKMECHANISMUS

Eine Erklärung des Regimes der Therme von Pfäfers bietet offenbar bei all diesen Hypothesen, welche die Ursache für die starken Ertragsschwankungen ausschliesslich im Einzugsgebiet der Therme suchen müssen, beträchtliche Schwierigkeiten. Es würde sich eine viel einfachere Möglichkeit zu einer Erklärung der scheinbar disparaten Eigenschaften des Quellregimes bieten, wenn wir annehmen könnten, es handelt sich bei den messbaren und derart stark schwankenden Erträgen der Quelle in der Pfäferserschlucht nur um den Ertrag eines Überlaufes oder Überschluckes aus dem Quellkanal, der noch andere, unbekannte Ausgänge hätte.

Tatsächlich kann nun das Vorhandensein von weiteren, unbekannten Austritten des Thermensystems nach vorliegenden Beobachtungen eigentlich kaum mehr zweifelhaft sein. Dies hat aber für die Erklärung des Quellregimes weittragende Konsequenzen, indem dann die starken Ertragsschwankungen dem speziellen Überschluckmechanismus zugeschrieben werden können, während der Gesamtertrag im Thermensystem viel ausgeglichener und dadurch mit konstanter Temperatur und konstantem Chemismus in bessere Übereinstimmung sein könnte.

Für das Vorhandensein solcher unbekannter Nebenaustritte des Thermensystemes sprechen nun folgende Beobachtungen und Überlegungen:

1. Die Temperatur fällt, wie schon bemerkt, auch dann im Quellschacht nur unbedeutend ab, wenn überhaupt kein Überlauf der Quelle vorhanden ist, und die

Quelle im Schacht scheinbar stagniert. Würde unter solchen Umständen gepumpt, so steigt die Temperatur sofort wieder auf die normale Höhe an. Dies lässt sich nur so erklären, dass auch dann, wenn kein Überlauf vorhanden ist, stets Zirkulation in der Nähe des Quellenaustrittspunktes vorhanden sein muss.

2. Hydrologische Ableitungen. Ing. BERNOLD hat in seinem Gutachten nachgewiesen, dass eine weitgehende Übereinstimmung besteht zwischen dem Jahresertrag der Therme und den Abflüssen der Tamina im gleichen Jahre, vor allem, wenn das hydrologische Jahr in beiden Fällen von Oktober bis Oktober gerechnet wird. Dies heisst nun nicht, dass der Quellertrag direkt durch den Ertrag der Tamina, durch einen engeren Sickerungszusammenhang z. B., beeinflusst sein müsste, sondern der Taminaabfluss wird hier nur als Mass für die Niederschläge und Abflüsse im Einzugsgebiet verwendet. Es ist nun auffallend, dass dieser gemeinsame Gang in den Jahresgüssen von Tamina und Quelle erst dann für alle Jahre ganz eklatant wird, und in eine sehr enge Korrelation übergeht, wenn dem Jahresguss der Pfäferserquelle eine weitere, annähernd konstante Ertragsmenge von 2 Mio. m³/Jahr als Ertrag von unbekannten weiteren Quellaustritten hinzugerechnet wird. Dann gilt diese Korrelation auch für Extremjahre, wie die beiden bekannten Trockenjahre 1921 und 1925. Die enge Korrelation nach Hinzufügen einer additiven Konstanten von ca. 2 Mio. m³ zum Jahresertrag des Quellenüberlaufes wird vor allem dann sehr auffallend, wenn die Schwankungen der Jahresniederschläge und -erträge von Tamina und Therme nicht in absoluten Werten, sondern in Prozenten der bezüglichen langjährigen Mittelwerte aufgetragen werden. Stellt man ausserdem den Jahresabfluss der Tamina und den Quellertrag als Summenlinie der einzelnen Monatsabflüsse auf, so ergeben sich für Extremjahre wie 1921 und 1925 zunächst bedeutende Diskrepanzen des Kurvenverlaufes, welche aber ebenfalls wieder behoben werden, wenn man zu dem Ertrag der Quelle, der in diesen Jahren bekanntlich in katastrophaler Weise zurückging, einen konstanten Ertrag unsichtbarer weiterer Austritte in der Grössenordnung von 2 Mio. m³/Jahr hinzufügt.

Ing. BERNOLD stellt zu diesem Falle ausserdem die folgende Rechnung an:

Von Oktober zu Oktober	1920	1921	Verhältnis
Niederschlag in mm in Vättis.	1246	630	1,98 oder 2
Taminaabfluss in mm	1547	778	1,99 oder 2
Quellüberlauf in Mio. m ³	1,780	0,315	5,7
+ angen. Ertrag der unbekannten Austrittspunkte der Therme in Mio. m ³	2,25	1,75	—
Errechneter Totalertrag der Thermensysteme in Mio. m ³	4,030	2,065	1,95 oder 2

Während somit Niederschlag und Abfluss der Tamina der beiden Jahre 1920 und 1921 im Verhältnis von rund 2:1 zueinander stehen, so steht der Ertrag der Quelle im Trockenjahr 1921 im viel schlechteren Verhältnis 1:6 zum Ertrag im nassen Jahr 1920. Zählt man auch hier einen Ertrag der unbekannten weiteren Quellaustritte hinzu, und zwar einen etwas unternormalen von 1,75 Mio. m³ für das trockene Jahr 1921, einen etwas übernormalen von 2,25 Mio. m³ für das nasse Jahr 1920, so erhält man für den Totalertrag des Thermensystems in den beiden

Jahren das den Niederschlägen und den Taminaabflüssen entsprechende Verhältnis von 1:2.

Alle diese rechnerischen Konsiderationen von Ing. BERNOLD weisen darauf hin, dass der Ertrag des Thermensystems, welcher sich nach bisher noch unbekannten Austrittspunkten verlieren muss, und welchen Herr BERNOLD im Gegensatz zu dem allein messbaren Überlauf der Therme kurz den «Weglauf» nennt, recht beträchtlich sein muss. Er ergibt sich auf verschiedenen Wegen zu im Mittel 2 Mio. m³/Jahr, also ca. 3800 l/min. = 65 l/sec., was somit eher mehr wäre, als der normale mittlere Jahresertrag des gemessenen Quellüberlaufes, der von 1914–1920 (als er vor Einbau der Heberleitung noch frei überfloss) ca. 1,75 Mio. m³ betrug.

3. Analoge Rückschlüsse auf das Bestehen eines «unterirdischen Weglaufes» ergeben sich aus den zu verschiedenen Zeiten, z. T. unter Leitung des Kantonsingenieurs unternommenen Pumpversuchen (1921/1922, 1925/1926 und in den letzten Jahren).

Allerdings muss nun zunächst festgestellt werden, dass diese Pumpversuche noch nie unter völlig befriedigenden Verhältnissen zur Durchführung gelangten, welche zu einwandfreien Resultaten führten. Die vorhandenen Messresultate sind verschiedener Kritik unterworfen. So wurden die Wassermengen des Ertrags immer in Ragaz gemessen, d. h. am Ende der langen Leitung, und es mussten diese Messungen unter Berücksichtigung der Durchflusszeit in der langen Leitung mit den entsprechenden Momenten an der Quelle, z. B. den Wasserständen im Fassungs-schacht, kombiniert werden; ausserdem war die direkt an Bad Pfäfers abgegebene Wassermenge jeweils nicht genauer bekannt. Es gelang auch nie über längere Zeit konstante Mengen auszuhebern oder abzupumpen und wirklich einen Beharrungs-zustand im Fassungs-schacht herzustellen. (Versagen des Hebers, Pumpe konnte nicht tief genug gehängt werden, Pumpe zu schwach.) Sehr schade ist, dass zu-gleich mit den Pumpversuchen nicht Temperaturmessungen durchgeführt wurden.

Zu den wichtigen Schlüssen, welche schon Ing. BERNOLD aus den Pumpver-suchen, die er einer eingehenden Diskussion unterwarf, abgeleitet hat, gehören wiederum solche über das Vorhandensein unterirdischer «Wegflüsse».

Ing. BERNOLD stand allerdings bei der Interpretation der Pumpversuche noch allzusehr unter dem Einfluss der geologischen Hypothesen seines Mitexperten HEIM, nämlich, dass die Quelle sich aus einer grundwasserartigen Füllung des Seewerkalkes ernähre. Er versuchte deshalb entsprechend dieser Vorstellung die Resultate der Pumpversuche im Quellschacht zunächst vor allem analog der Ent-nahme aus einem Grundwasserreservoir zu interpretieren, bemerkte aber doch, dass in manchen Punkten die Resultate der Pumpversuche mit dieser Vorstellung nicht in Einklang standen.

Da ist vor allem zu beachten, dass sich beim Aufstau- und Absenkver-such im Qellschacht die Absenkkurve (Ordinaten: Absenkung in Zentimetern, Abszissen: abgepumpte Erträge) sich als eine nach oben konkave Kurve ergab, was gerade das Gegenteil des Verlaufes ist, wie er sich beim Abpumpen aus einem Grundwasserträger ergibt. Die Absenkkurve scheint gegen unten zu asymptotisch einem Grenzwert der Absenkung zuzustreben. Ing. BERNOLD schreibt hiezu:

«Unsere Erklärung ist die, dass einerseits durch die Absenkung des Wasserspiegels im Pump-schacht in der Nähe der Quellspalte verlorengehendes Wasser erfasst und dadurch der Zufluss-

überschuss erhöht wird und andererseits, dass durch die Tieferlegung des Wasserspiegels im Reservoirraum der Zufluss zu demselben aus weiter entfernt liegenden Spaltsystemen und eventuell auch aus Verlustorten vermehrt wird. Mit dem Zurückgehen der Absenkung im Pumpschacht und der Erhöhung des Wasserreservoirspiegels, nimmt auch der verfügbare Zufluss wieder ab. Auf diese Erklärung deutet auch das rasche Absteigen der Zuflusslinie in den ersten Tagen der Versuche hin. Zu einer Schlussfolgerung in dieser Richtung fordert ferner die Form der Absenkungskurve heraus. Sie ist eine nach oben hohle Kurve, während alle theoretischen Erwägungen, welche hier in Betracht kommen können, wie über Ausfluss aus Düsen über Leitungswiderstände in Röhren und in Grundwasserträgern zu Kurven führen, die in der gleichen Darstellung nach unten hohl sind. Das heisst, bei diesen würde grösseren Wassermengen ein grösserer Zuwachs an Absenkung entsprechen als bei unserer Absenkungskurve, oder umgekehrt. Wir erhalten bei der Thermalquelle bei gleicher Absenkung grössere Wassermengen als die theoretische Berechnung ergeben würde und die Deutung liegt nahe, dass wir Wasser vom unterirdischen Abfluss erhalten, für welchen der Zuleitungswiderstand nicht in unsere Einsenkung fällt. Auch ein erster Überblick über die Ergebnisse des Heberbetriebes in den Jahren 1921 und 1925, lässt in dieser Hinsicht erkennen, dass der ganze Erfolg nicht allein der Ausnützung des Reservoir-Inhaltes, der sich durch die Versuche im Winter 1925/26 ergibt, erklärt werden kann, sondern dass auch ein Gewinn an Zufluss mit im Spiele ist. Im Plan Nr. X ist für die Zeit vom 4. bis 16. Januar 1926 die Schwankung des Zuflussüberschusses infolge Änderung der Absenkung schematisch eingetragen. Die genaue Grösse dieses Zuflusses wird sich aber mit Sicherheit nie feststellen lassen, da man nie mit einiger Genauigkeit wird angeben können, wie gross der Quellüberlauf gewesen wäre, wenn der Heber nicht in Betrieb gestanden hätte.»

An anderer Stelle seines Gutachtens ergeben sich Ing. BERNOLD noch folgende weitere Argumente für die Existenz und die Bedeutung des sog. «Weglaufes» (p. 109 ff.):

«C. Die Entnahme von dem unterirdischen Abfluss

«a) Für die Jahre 1921 und 1922

«Verfolgt man mit den Ergebnissen der letzten Pumpversuche diejenigen der früheren Jahre, so ergibt sich für das Jahr 1921, in welchem Jahre nach den obigen Aufstellungen der Quellüberlauf ohne Heber ca. 315 000 m³ war und der Ertrag durch den Heber um ca. 500 Minutenliter gesteigert wurde, dass dieser Mehrertrag während der Saison ca. 54 000 m³ ausmachte (Plan Nr. VII). Wenn dieser Betrag nur dem unterirdischen Reservoir entnommen worden wäre, so hätte die Tieferlegung des Reservoirspiegels fast 4,00 m betragen müssen. In Wirklichkeit war sie aber höchstens etwa 1 m und die tiefste Lage des Wasserspiegels im Schacht bei 1000 l Entnahme ca. 1,5 m. Es muss deshalb angenommen werden, dass schon durch die kleine Absenkung mit dem Heber ein Teil des unterirdischen Abflusses erfasst wurde, sei es, dass den höchstliegenden Verlustspalten das Wasser entzogen oder für tieferliegende der Druck vermindert wurde.

«Die Tieferlegung des obersten Quellüberlaufes, der Herrenquelle, im Jahre 1860 um ca. 10 m, dann die Tieferlegung des Auslaufes der alten Quelle 1922 um ca. 2 m und schliesslich die Erstellung des Hebers 1925 mit der äussersten Lage der Entnahmestelle um weitere 2,80 m tiefer, erfolgten hauptsächlich in der Absicht, die Verluststellen in der Nähe der Quellaustritte zu unterfahren und dadurch unterirdische Abflüsse abzufangen. Die Beobachtungen im Sommer 1925 und deren Studium zeigten aber, dass nach einem sehr schneearmen Winter und ausserordentlich trockenem Frühjahr der Zufluss aus dem Einzugsgebiet in den Sammelraum der Quelle allmählich so klein werden kann, dass er kaum mehr den unterirdischen Abfluss überwiegt und dass fast kein Überschuss für die Entnahme aus der Quelle mehr übrig bleibt.»

Wie man sieht, hat sich Ing. BERNOLD auch auf Grund der Pumpversuche veranlasst gesehen, die Existenz eines sog. «Weglaufes» der Therme anzunehmen. Wenn er daneben noch die Annahme eines grundwasserartigen Reservoirs in Betracht zog, so geschah dies wie oben gesagt, eher unter dem Einfluss der geologischen Hypothesenerklärung seines Mitgutachters ALB. HEIM. Nachdem sich die letzteren als unmöglich ergeben, so ergibt sich auch die Existenz eines solchen

Reservoirs, aus welchem beim Abpumpen des Quellschachtes Wasser entnommen werden könnte, als sehr fraglich. Ing. BERNOLD hat auch selbst ausgerechnet, dass die bei einem Abpumpversuch am 7. März 1922 entnommene totale Wassermenge im Grunde genommen bereits in einem Raume Platz fände, der nicht viel mehr als das Doppelte des vom Fassungsstollen aus bereits sichtbaren Hohlraumes der Quellspalte ausmacht. Vor allem weist die sehr rasche Absenkung bei Pumpversuchen, und der rasche Wiederanstieg des Wasserspiegels im Quellschacht auch nach längeren Pumpversuchen darauf hin, dass hier nicht Zufluss aus einem fernerliegenden, grösseren Reservoir mit grundwasserartiger Füllung im Spiele sein kann.

Nachdem so viele Indizien dafür sprechen, dass neben dem Quellaustritt in der Schlucht von Pfäfersbad noch andere Austritte des Thermensystemes vorhanden sind, so ist es wahrscheinlich, dass der letztere nur eine Art von Überschluck aus dem Röhrensystem der Therme darstellt. Der Mechanismus dieses Überschluckes entspräche dem Modell nach einem Überlauf aus einem Steig- oder Piezometerrohr, das irgendwo auf eine Druckleitung aufgesetzt ist. Es weist bei den Pumpversuchen eigentlich nichts darauf hin, dass man nicht im Quellschacht analog diesem Modell aus einem solchen Steigrohr abpumpt. Dies würde die sehr raschen Absenkungen und Wiederanstiege des Spiegels im Quellschacht erklären. Bei längerem Abpumpen würde sich auch unter solchen Verhältnissen ein Beharrungszustand des Spiegels im Quellschacht erklären. Es würde sich je nach der abgepumpten Menge eine entsprechende Teilung zwischen dem Ertrag des Pumpens und der immer noch durch den unterirdischen Nebenkanal sich verlierenden Wassermengen des «Weglaufes» einstellen. Bis jetzt sind die angewendeten Pumpkapazitäten und die Tiefenlagen, bis zu welchen die Pumpe versenkt werden konnte, offenbar immer noch zu gering gewesen, um den grössten Teil des Weglaufes abzusaugen. Die grössten, abgepumpten Wassermengen waren 2250 l/min. und erreichten damit noch nicht den von Ing. BERNOLD auf 3800 l/min. im Jahresmittel geschätzten Ertrag des «Weglaufes». Es ist daher begreiflich, dass es bisher noch nie gelungen ist, den von oben sichtbaren Teil des Quellschachtes wirklich «auszutrinken».

Wo sich nun diese weiteren Austritte des Thermensystemes von Pfäfers befinden, ist eine andere, schon im Gutachten HEIM-BERNOLD diskutierte, aber unge löste Frage. Am ehesten würde man vermuten, dass sie sich in unmittelbarer Nähe, d. h. auch im Bereiche der Seewerkalkaufwölbung der Pfäferserschlucht befinden, doch scheinen bei Nachforschungen bei Niederwasserstand im Taminabett noch nie Indizien für solche bedeutende Nebenaustritte, die sich doch bemerkbar machen müssten, gefunden worden zu sein. Es wäre demnach nach Austritten an weiter abgelegenen geologisch möglichen Austrittspunkten zu suchen.

In diesem Zusammenhange sei auf die Halbtherme (13,90°) hingewiesen, welche bei Frättis N Untervaz am linken Rheinufer austritt und auch schon eines Zusammenhanges mit der Therme von Pfäfers verdächtigt worden ist, der aber geologisch nur schwierig hergestellt werden kann.

Eine andere Hypothese wäre die, dass die Aufwölbung des Seewerkalkes der Schlucht von Pfäfers in ihrer östlichen streichenden Verlängerung im tiefen Felsgrund des von Alluvionen erfüllten Rheintales S von Ragaz noch einmal angeschnitten wäre und Thermalwasser sich dort in die Rheinalluvionen verlieren würde.

E. ZUSAMMENFASSUNG ÜBER DAS THERMALREGIME, STAND 1953

Es wurde auf all diese Details des Quellregimes der Therme hier aus folgenden Gründen eingegangen:

1. Ergibt sich daraus, wie ausserordentlich schwierig es an sich bei dem gegenwärtigen Stande unserer Kenntnis des Regimes der Therme von Pfäfers und aller bezüglichen Messreihen wäre, später das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein einer Beeinflussung dieses Regimes durch irgendwelche baulichen Massnahmen nachzuweisen.

2. Vom Moment an, wo das Vorhandensein eines «Wegflusses», d. h. weiterer, nach noch unbekannten Orten hinführender Quellkanäle mit solcher Deutlichkeit angezeigt wird, wie dies bei dem Zusammentreffen aller oben angeführten Indizien der Fall ist, muss auch das ganze, uns allein aus den gemessenen Quellüberläufen der Jahre 1914–1920 einigermaßen bekannte Ertragsregime der Therme ganz anders beurteilt werden, da es sich dann nur noch um das Ertragsregime eines Überschluckes handelt. Dieses ist dann keineswegs mehr repräsentativ für den Verlauf des Gesamtertrages des Systems der Therme, denn der Ertrag eines solchen Überschluckes kann in ausserordentlich empfindlicher Weise beeinflusst sein durch die Schluckfähigkeit, die Abfluss- und Druckverhältnisse in den Kanälen des sog. «Weglaufes». Die bekannte allmähliche Tieferlegung der Austrittspunkte in der Taminaschlucht während der Jahrhunderte, in welchen die Quelle schon benutzt worden ist, zeigt, dass hier nur ein sehr geringer Überdruck den Überschluck der Thermenkanäle überhaupt zum Austritt bringt.

3. Bei einem solchen Überschluckmechanismus ist es möglich, dass die Ursache für die sehr starken Ertragsschwankungen des Quellüberlaufes gar nicht im Einzugsgebiet und einer dortigen direkten Beeinflussung des Ertrages durch Witterungselemente, wie die Schneeschmelze und die Gesamtmasse der winterlichen Schneemengen zu suchen sind. Bei einem solchen Überschluckmechanismus ist die Möglichkeit gegeben, dass diese Witterungselemente viel näher am Quellaustrittspunkt und mittelbar ihren Einfluss auf den Ertrag des Überlaufes ausüben, indem dadurch z. B. die Wasserfüllung des Kalkes in der direkten Umgebung des Quellpunktes gesteuert wird. Es könnte bei einem derartigen Mechanismus die Wirkung der Schneeschmelze viel mehr in einer lokalen Einwirkung auf den Wasserstand in der Kluftfüllung des Seewerkalkgewölbes von Pfäfers bestehen, als in einer Einwirkung auf das Ernährungssystem der Quelle im fernegelegenen Einsickerungsgebiet. Der Einfluss der Schneeschmelze könnte sich z. B. auch nur auf die Druckverhältnisse und die Schluckfähigkeit des unterirdischen Weglaufes auswirken und dadurch würden mehr oder weniger grosse Mengen des Gesamtertrages des Thermensystemes durch den Überschluck zum Austritt kommen.

Der manchmal ausserordentlich früh und manchmal direkt plötzlich eintretende Einsatz des Ertragsanstieges im Frühjahr, die Reaktion desselben auf jede kleine Frostperiode, liesse sich durch eine lokale Einwirkung viel leichter erklären, als durch eine Fernwirkung aus dem Einzugsgebiet, besonders, wo ja die Konstanz von Temperatur und Chemismus und das Fehlen von stärkeren Regenerationen dem Vorhandensein durchgängiger Karstkanäle, welche allein solche plötzliche Reaktionen vermitteln könnten, widersprechen. Es ist übrigens zu konstatieren,

dass die meisten sog. «Maibrunnen» der Karstgebiete, welche rasch auf die Schneeschmelze reagieren (vgl. z. B. die Hugschwendiquelle [Stöckalp] des Melchseekarstsystems), ebenfalls sich nur als Überschlucke aus Karstkanälen ergeben, welche noch andere Ausgänge besitzen, deren Schluckfähigkeit entweder an sich begrenzt ist, oder durch lokale Verhältnisse bei der Schneeschmelze beeinflusst werden.

4. Diese Erklärungen erlauben es für das Gesamtsystem der Therme ein viel regelmässigeres, ausgeglicheneres Ertragsregime anzunehmen, wie es andere normale Thermen besitzen, und womit die Konstanz von Chemismus und Temperatur viel besser in Einklang stünde.

Es ist nicht unmöglich, dass im Gesamtsystem der Therme ausserdem noch eine gewisse, von der Schneeschmelze im Einzugsgebiet beeinflusste Ertragsschwankung vom Winter zum Sommer vorhanden ist, sagen wir z. B. im Verhältnis von 1 : max. 2 zwischen Winterminimum und Sommermaximum. Eine solche wäre mit der Konstanz von Temperatur und Chemismus noch verträglich. Es wäre, wie oben eine beispielsweise Berechnung gezeigt hat, unter Umständen noch möglich, dass ein im Sommer doppelter Zufluss im Einsickerungsgebiet mit entsprechendem Druckaufbau durch den Siphon zwischen dem Becken von Vättis und der Quelle hindurchgebracht würde. Der Rest der grossen Schwankung zwischen dem Winterminimum und dem Sommermaximum im Ertrag des Quellüberschluckes in der Pfäferser Schlucht könnte aber auf das Konto des Überschluckmechanismus gesetzt werden.

F. DIE NEUEREN UNTERSUCHUNGEN IN DEN JAHREN 1949 UND 1957 UND IHRE RESULTATE

1. Die Untersuchungen im Jahre 1949

Nach schneearmem Winter 1948/49 und sehr trockenem Frühjahr, herrschte in Ragaz äusserste Thermalwasserknappheit. In der Folge wurde unter Leitung von Kantonsingenieur R. MEYER, Kanton St. Gallen, Pumpversuche, Quellausschöpfungen und geologische Beobachtungen vorgenommen.

Nachstehend zusammengefasst, Bericht und Resultate:

Als erstes galt es den Quellschacht auszuräumen. Es zeigte sich, dass unterhalb der Kote 687 (88 cm unter dem Saugheber) eine mächtige Schlamm- und Geröllschicht vorhanden war, die unter die Kote 684 hinunterreichte. Ein gelber Lehm, unzweifelhaft Quellschlamm, lag zwischen Fels und Schotter. Der Schotter war sehr grob, Gerölle bis zu Kopfgrösse, und es fanden sich Holzstücke bis zu 50 cm Länge darin. Vermutlich sind die Schotter samt Holz seinerzeit aus dem Schacht, der zur Herrenquelle führt, heruntergeschwemmt worden und zwar von dem kleinen Bächlein, das heute noch entlang der Quellspalte via Herrenquelle in den Thermal-schacht fliesst. Vor der Ausräumung konnte das Thermalwasser nur durch einen engen Flaschenhals zum Saugheber gelangen. Heute ist der Schotter bis auf Kote 685 ausgehoben. Ca. 9 m von der Heberkante entfernt (horizontal) bildet er nach der Tiefe des Schachtes eine Böschung von ca. 25° Neigung. Tiefer unten erweitert sich der freie Raum nach der Breite. Mit einer Latte von 2,5 m Länge liessen sich dort Schwenkungen bis zu 30° ausführen.

a) Das Untersuchungsergebnis des Quellschlammes

Chemische Analyse des kantonalen Labors in St. Gallen:

«Das Material hat die Beschaffenheit eines sehr feinen plastischen Tons. Wir haben denselben getrocknet und in wasserfreiem Zustand untersucht:

Glühverlust	7,8%
Kieselsäure als SiO_2	23,8%
Calcium als CaO	20,4%
Aluminium als Al_2O_3	17,6%
Kohlensäure	vorhanden
Eisen als Fe_2O_3	5,8%
Ätherlösliche Bestandteile	0,09%

«Der Glühverlust des Tones rührt von dessen Gehalt an kohlensauren Erdalkalibikarbonaten her (vorwiegend Calciumcarbonat). Der Gehalt an Kieselsäure ist relativ hoch, ebenso derjenige an Aluminiumoxyden (Tonerde). Der Ton ist ziemlich eisenschüssig. Der hohe Gehalt an Kieselsäure und Aluminiumoxyd spricht für ein Zersetzungsprodukt aus Feldspäten.»

Der hohe Gehalt an Kieselsäure weist also auch hier auf einen Kontakt des Thermalwassers mit dem Kristallin hin. Eine Feststellung, die schon die Untersuchungen von J. NEHER ergeben haben, und eine Bestätigung der Ausführungen von R. STAUB in seinem Gutachten vom Jahre 1947.

b) Der Weg des Thermalwassers im Bereich der Kote 685 m

Die Schichten fallen mit 30° gegen SE ein. In der Tiefe des Quellschachtes bildet der Seewerkalk das Liegende. Es ergibt sich die überraschende Tatsache, dass im Bereich der Kote 685 das Thermalwasser längs einer Schicht folgt. Der aufsteigende Wasserstrom fliesst zwar nahezu parallel der Quellspalte, doch bestehen keinerlei Anzeichen dafür, dass anhaltend grössere Mengen Thermalwasser durch die Spalte geflossen sind. Das Thermalwasser fliesst in Richtung NNW in den Quellschacht, kommt also von SSE. Auf Grund der Situation im unteren Quellschacht ist man geneigt anzunehmen, dass das Thermalwasser erst auf Kote 685 m in den Bereich der Thermalspalte tritt, dringt in ihre Löcher und Spalten und füllt sie wie ein kommunizierendes Röhrensystem aus. Es besteht aber auch durchaus die Möglichkeit, dass das Thermalwasser längs einer Kombination von Quellspalten, Schichtflächen und listrischen Flächen aufsteigt. Ich neige eher zu letzterer Auffassung.

c) Die «wilden» Abflüsse

Beim Abspumpen des Quellschachtes hat es sich gezeigt, dass die Vermutungen von Ing. BERNOLD betreffend «wilde» Abflüsse des Thermalwassers zu Recht bestehen. Zum Beispiel: Als am 23. 11. 49 der Wasserspiegel auf 685,675 m stand, ergoss sich von der Seite her, aus der Thermalspalte Wasser in den Quellschacht. Dieses einfließende Wasser hatte eine Temperatur von $36,2^\circ \text{C}$, jenes des Hauptstromes $36,7^\circ \text{C}$. – Unterhalb 686 m musste plötzlich weit mehr Wasser abgepumpt werden, um eine weitere Absenkung des Wasserspiegels zu erreichen. – Leider fehlen hier wieder einmal die genauen geförderten Pumpwassermengen, um Rückschlüsse zu ziehen, denn neben der Ausschaltung von Wegläufen kann es sich ebensogut um eine Vergrösserung des Reservoirinhaltes irgendwo im Berg handeln. Immerhin möchte ich auf die bekannten, heute verschlossenen Quellaustritte im Bereiche der Tamina verweisen, die eine deutliche Sprache punkto Wegläufe reden.

Ein Beweis, dass tatsächlich mindestens ein wilder Abfluss besteht, hat A. WIDRIG mit seinem Papierschnitzelversuch geliefert, der im Nachstehenden wörtlich wiederholt wird.

«Als auf 685 m festgestellt wurde, dass das Thermalwasser in einer aufsteigenden und für das Absaugen hinreichend grossen Öffnung gefasst werden konnte, wurde die Pumptätigkeit eingestellt. Der Wasserspiegel stieg zunächst rasch, dann langsam, stand am 31. Dezember jedoch erst auf 686,53 m. Das im Quellschacht liegende Wasser schien vollkommen stagnierend zu sein. Ich habe darauf Ende Dezember 3 Temperaturmessungen durchgeführt:

	vorne bei der Heberkante	7 ½ m hinter der Heberkante
24. Dezember	34,3° C	34,4° C
27. Dezember	34,3° C	34,4° C
31. Dezember	34,2° C	34,3° C

Während der Pumptätigkeit wurden im aufsteigenden Thermalstrom stets 36,7° C gemessen. Die Temperatur, 7 ½ m von der Heberkante entfernt, sank daher um 2,3–2,4° C. Diese Differenz lässt keine direkten Rückschlüsse auf das Thermalwasser zu, da von der Heberseite her dauernd kaltes Oberflächenwasser ins Thermalwasser rieselt und dieses abkühlt. Dieser Zuschuss ist immerhin so gross, dass man im Quellschacht sehen konnte, wie der feine Bodenschlamm unter dem Thermalwasser vorwärts bewegt wurde, ca. 60 cm weit. Auffallend ist daher nicht die Abkühlung um 2,3–2,4° C, sondern die Tatsache, dass die Temperatur während 8 Tagen auffallend konstant blieb, es handelt sich um eine Differenz von 0,1° C. Das beweist, dass eine Erneuerung des Thermalwassers stattfindet, die sich bis in die obersten Schichten des gefüllten Quellschachtes auswirkt. Ich habe daher, am 31. Dezember, einen einfachen Versuch mit Papierschnitzeln durchgeführt:

In zeitlichen Abständen von je einer Minute wurden 14 Papierschnitzel eingeworfen, die ca. 7 m von der Heberkante entfernt ins Wasser fielen. Alle 14 Schnitzel schwammen nach vorne (Richtung Heberkante).

3 Schnitzel schwenkten nach rechts ab und kreisten in der dortigen Ausweitung des Schachtes. Eines bewegte sich gegen die Stelle des einflussenden Oberflächenwassers, tauchte dort unter und blieb, etwa 1 m vom Rande des Wassers entfernt, auf dem Grund haften; nach 10 Minuten wälzte es sich 10 cm weiter, um dann endgültig auf dem Boden zu verharren. Das fünfte machte

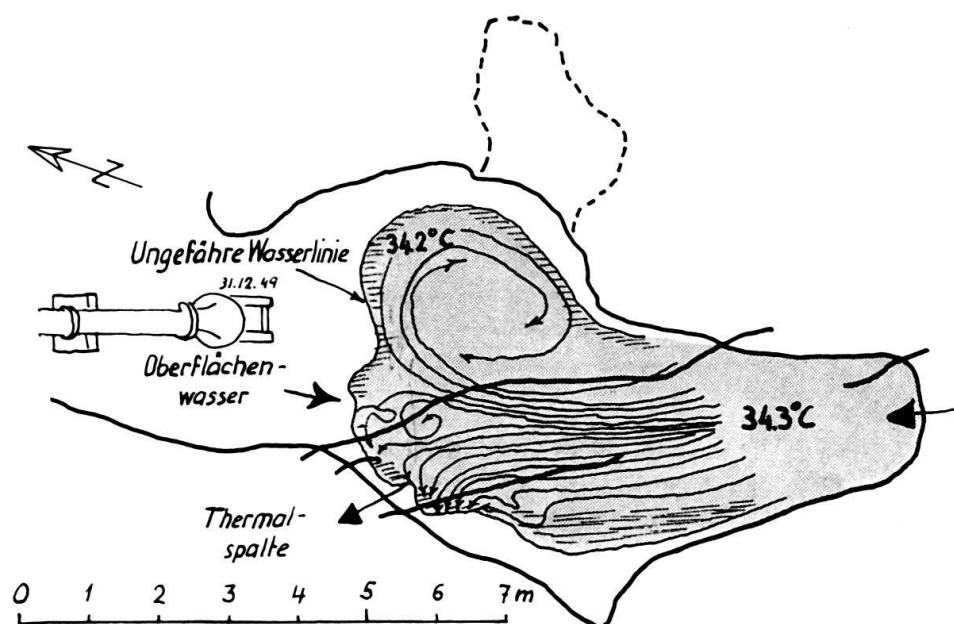


Fig. 1. Der Papierschnitzelversuch von A. WIDRIG.

den gleichen Weg nach vorne, tauchte dort ebenfalls unter, kam jedoch wieder herauf und schwamm zur vorderen Spalte, wo es an der Wand des Schachtes haften blieb. Das sechste Schnitzel bewegte sich fast schnurgerade auf die dortige Stelle zu und blieb beim fünften haften. Die restlichen acht Schnitzel hielten sich mehr links, schwammen auf verschiedenen Bahnen nach vorne (siehe Fig. 1) und kamen dort, wo der hintere Riss den Felsen spaltet, zusammen. Sie blieben auf der Wasseroberfläche, hafteten dabei an der Wand; vier davon berührten sich, zwei weitere ebenfalls; das erste und letzte waren ca. 50 cm voneinander entfernt.

Ein Schnitzel benötigte etwa 8 Minuten, um von hinten nach vorn zu gelangen.

Die Therme Ende Dezember 1949. Strömungs- und Temperaturverhältnisse im Quellschacht.

Es hat sich also bestätigt, dass die Auffassung von Ing. BERNOLD richtig war, wonach Wasser aus dem Quellschacht abfließt. Die Austrittsstelle ist der gleiche Ort, durch den bei tiefem Wasserstand (685,675 m am 23. 11. 49) Thermalwasser (von 36,2° C) in den Quellschacht einfließt. Die unbekannte Abflussöffnung muss also zwischen 685,675 m und 686,53 m liegen und auch nach unten (unter Umgehung des Quellschachtes) mit dem Thermalstrom in Verbindung sein. Ist der Thermalspiegel etwas tiefer als die Öffnung, fließt das Wasser in den Quellschacht zurück, ist er etwas höher, geht Wasser aus dem Quellschacht hinaus, der Abflussöffnung entgegen und dort verloren.

Damit ist meines Erachtens der schlüssige Beweis erbracht, dass es sich bei der Therme von Pfäfers um einen Überschluckmechanismus handelt! Ferner, dass noch andere, zum mindesten aber ein «wilder» Abfluss besteht!

d) Die Quelltemperatur beim Pumpversuch

Der Vollständigkeit halber sei hier vermerkt, dass während der ganzen Dauer des Pumpversuches, unabhängig von der geförderten Wassermenge, die Quelltemperatur konstant auf 36,7° C blieb.

e) Die Reaktion der Therme auf Niederschläge

Beobachtung zwischen dem 7. und 10. November 1949. Seit dem 29. Oktober waren keine Niederschläge mehr gefallen.

Datum	Thermenstand	Thermentemp.	Niederschläge in mm für Vättis	
			Vorderes Taminatal nicht gemessen	Vättis Daten MZA
7. 11. 49	687,11 m	36,7° C	leichter Regen	0.5 Schneetreiben
8. 11. 49	687,112 m	36,7° C	Regen am Abend	2.4 Neuschnee
9. 11. 49	687,112 m	36,7° C	Starker Regen	12.9 Neuschnee
10. 11. 49	687,145 m	36,7° C	—	—

Während in Vättis die ganze Zeit Schnee fiel, und auch liegen blieb, da die Temperatur bis auf -1,2° C sank, gingen im vorderen Taminatal alle Niederschläge in Form von Regen nieder. Die Therme hatte bereits am dritten Tag leicht reagiert (2 mm) und am vierten sehr kräftig (33 mm). Total ist der Quellspiegel um 35 mm gestiegen bei konstanter Thermentemperatur. Diese Reaktion ist sicher nur bei niederem Quellstand festzustellen und deshalb wurde im Sommer bei hohem Quellstand ein Reagieren der Therme auf heftige Niederschläge immer übersehen,

dies umsomehr, als ja bis 1956 genaue Messvorrichtungen fehlten. Es ist also keineswegs so, dass nur die Frühjahrsschneesmelze der Therme das nötige Wasser zuführen kann.

Wichtig ist ferner die Feststellung, dass die Therme auf Niederschläge in der unmittelbaren Umgebung reagiert und nicht unbedingt auf solche in Vättis oder noch höheren Lagen.

Es ist auch sicher ausgeschlossen, dass sich diese Niederschläge in so kurzer Zeit in Thermalwasser verwandelten, sondern durch Einsickerung (meist diffuser Art) einen Druckaufbau im Gebirgskörper bewirkten, der die Therme aufsteigen liess.

f) Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse vom Jahre 1949

1. Die chemische Analyse des Quellschlammes zeigt eindeutige Hinweise auf Kontakt des Thermalwassers mit Kristallin- und Triasgesteinen. Siehe auch Gutachten von R. STAUB, 1953!

2. Das aufsteigende Thermalwasser benützt sowohl die Quellspalte als auch Schichtflächen für seinen Weg nach oben.

3. Es konnte mindestens ein wilder Abfluss festgestellt werden. Die von LEUPOLD/WEBER aufgestellte These vom Überschluckmechanismus der Therme, hat sich bestätigt.

4. Die Quelltemperatur blieb bei allen Pumpversuchen, unabhängig von der geförderten Wassermenge, konstant auf 36,7° C.

5. Der Wasserspiegel der Therme reagiert sehr rasch auf Niederschläge (Regen), die in der unmittelbaren Umgebung derselben fallen, ohne dass sich dabei die Temperatur ändert.

6. Der Anstieg der Therme wird weitgehend durch Einsickerungen von Regen- und Schmelzwasser in der unmittelbaren Umgebung der Therme verursacht, indem dieses Wasser im Gebirgskörper den Druck aufbaut und nach dem hydrostatischen Prinzip das Thermalwasser zum Steigen bringt.

2. Die Untersuchungen im Jahre 1957

Diese Untersuchungen erstrecken sich vor allem auf das engere Gebiet der Therme und die Therme selbst. Dank der Initiative des Vorstehers des Kantonalen Baudepartementes St. Gallen, und der neuen Leitung der AG. der Bad- und Kuranstalten Bad Ragaz, war es möglich, erstmals in der Geschichte der Therme genaue Messungen über den Quellertrag, Temperatur, Quellstand und Chemismus vorzunehmen und zwar über das ganze Jahr 1957. Die unbedeutenden Lücken in den Quelltemperaturmessungen und einer chemischen Analyse im Januar sind deshalb entstanden, weil zu dieser Zeit die Schlucht ohne allzu grosses Risiko nicht begangen werden konnte.

Die Tabelle 1 und Figur 2 zeigen die ausgewerteten Resultate des Jahres 1957. In Figur 2 wurden noch die Niederschläge und Temperaturen von Vättis eingetragen und soweit vorhanden, diejenigen von Valens. Die wichtigsten Daten über das Einsetzen der Schneesmelze in Valens, Vättis und Gigerwald, sind in der Ertragskurvenkolonne eingetragen.

a) Der Chemismus der Therme im Jahre 1957 (siehe Tabelle 1)

Die chemischen Analysen wurden vom Kantonalen Laboratorium in St. Gallen ausgeführt. Es wurde unter 6 malen gleichzeitig auch eine Probe aus der Tamina zu Vergleichszwecken entnommen. Ein Blick auf die Tabelle genügt, um festzustellen, dass Tamina und Thermenwasser nichts miteinander zu tun haben.

Tabelle 1. Chemische Analysen der Therme von Pfäfers und der Tamina bei der Quelle
Die Therme von Pfäfers

	23. 2. 1955 mg/l	17. 3. 1955 mg/l	8. 3. 1957 mg/l	3. 5. 1957 mg/l	28. 6. 1957 mg/l	22. 7. 1957 mg/l	7. 8. 1957 mg/l	24. 9. 1957 mg/l	29. 10. 1957 mg/l	14. 11. 1957 mg/l	17. 12. 1957 mg/l
Trockenrückstand	294	297	311	302	298	317	299	295	307	290	298
Glührückstand	260	277	248	273	241	297	282	272	285	276	260
Glühverlust	34	20	63	29	57	20	17	23	22	14	38
	in franz. Härtegraden										
Gesamthärte	20,1	20,1	20,25	20,0	20,0	20,0	19,8	20,0	20,0	20,0	20,2
Karbonathärte	19,2	19,2	19,25	19,1	19,0	18,9	18,9	18,9	19,0	19,0	18,9
Nichtkarbonathärte	—	—	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,1	1,0	1,0	1,3
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Calcium, Ca ⁺⁺	52,1	52,5	54,1	54,1	53,1	52,1	54,1	55,1	53,1	55,1	54,1
Magnesium, Mg ⁺⁺	17,3	17,1	16,4	15,8	16,4	17,0	15,2	15,2	16,4	15,2	16,2
Chloride, Cl [']	32,6	33,0	32,8	34,0	33,5	29,0	33,5	32,7	33,0	32,4	32,8
Sulfat, SO ₄ ^{''}	24,2	25,4	26,9	26,6	28,2	29,8	29,8	27,4	28,6	29,8	29,0
Bicarbonat, HCO ₃ [']	232	235	234,6	233,1	231,9	230,6	230,6	230,4	231,9	231,9	230,6

Tamina bei der Quelle

	23. 2. 1955 mg/l	17. 3. 1955 mg/l	24. 9. 1957 mg/l	29. 10. 1957 mg/l	14. 11. 1957 mg/l	17. 12. 1957 mg/l
Trockenrückstand	162	168	135	155	142	160
Glührückstand	144	162	128	148	131	144
Glühverlust	18	6	7	7	11	16
	in franz. Härtegraden					
Gesamthärte	14,9	14,6	11,7	13,2	13,75	14,45
Karbonathärte	14,2	13,8	9,6	12,1	12,25	12,9
Nichtkarbonathärte	—	—	2,1	1,2	1,5	1,55
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Calcium, Ca ⁺⁺	46,5	46,5	38,5	42,1	45,9	47,1
Magnesium, Mg ⁺⁺	8,0	7,4	5,2	6,7	6,1	6,6
Chloride, Cl [']	0,5	0,6	0,6	0,9	1,0	0,7
Sulfat, SO ₄ ^{''}	11,8	14,5	17,5	13,9	15,1	16,7
Bicarbonat, HCO ₃ [']	174	168	117,5	147,7	149,5	157,4

Die Analysen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern es ging lediglich darum, zu beweisen, dass die Therme unabhängig von Jahreszeit, Niederschlägen und Ertrag, einen konstanten Chemismus aufweist. Dieser

Beweis ist vollständig gelungen! Wie Dr. WIESER vom Labor St. Gallen mitteilte, liegen die Abweichungen der einzelnen chemischen Daten durchaus innerhalb der Fehlerquellen, die durch den Untersuchungsvorgang bestimmt sind.

Genaue Analysen des Quellwassers stehen uns seit 1868 (PLANTA), 1894 (TREADWELL sen.) und als neueste 1944 (GÜBELI & TREADWELL jun.) zur Verfügung, die alle in den wesentlichsten Punkten sehr gut übereinstimmen und damit zeigen, dass auch im Verlaufe der Jahrzehnte der Chemismus der Therme konstant geblieben ist.

b) Die Quelltemperatur

Diese wurde mit einem geeichten Thermometer täglich gemessen, solange die Schlucht begehbar war. Die Quelltemperatur blieb konstant auf $36,4^{\circ}$ bis $36,5^{\circ}$ C.

Januar, Februar, März und Dezember zeigen eine Temperatur von $36,4^{\circ}$ C. Wie schon im vorhergehenden Abschnitt ausgeführt, rührt dieser leichten Temperaturrückgang davon her, dass kaltes Oberflächenwasser via Herrenquelle in die Therme eindringt. Dies wirkt sich dann in Zeiten geringer Wasserführung in der Quelltemperatur aus.

Im April mit dem Einsetzen der grösseren Quellerträge steigt die Temperatur auf $36,5^{\circ}$ C und bleibt konstant. Nur vom 13.–18. August sinkt sie wieder auf $36,4^{\circ}$ C, es ist die Zeit ausserordentlicher Niederschläge. In Vättis fällt in 5 Tagen 90,3 mm Regen. Die Niederschläge im unmittelbaren Quellgebiet sind sicher höher, als im von hohen Bergen abgeschirmten Vättis. Ich schreibe diesen Temperaturrückgang wieder vermehrtem Oberflächenwasserzufluss via Herrenquelle ins Thermalwasser zu.

Aus den gemessenen Werten lässt sich einwandfrei ableiten, dass bei Berücksichtigung des eindringenden Kaltwassers, die Temperatur der Therme unabhängig vom Ertrag, Niederschlägen und Aussentemperatur über das ganze Jahr 1957 konstant auf $36,5^{\circ}$ C blieb!

c) Der Quellspiegel (siehe Fig. 2)

Die automatische Aufzeichnung des Quellstandes ist für unsere Untersuchungen zwecklos, seitdem die Vacuumpumpe der Heberleitung in Betrieb ist. Es wird heute je nach Wasserbedarf abgesogen, Schieber geöffnet und geschlossen und damit ständig der Quellspiegel beeinflusst; dies hat auch seine Gültigkeit bei Überlauf. Immerhin ist es interessant zu sehen (Fig. 2), wie am 15. April mit der Inbetriebnahme der Vacuumpumpe der Überlauf rasch zurückging.

d) Der Ertrag der Therme im Jahre 1957 (siehe Fig. 2)

Mit den eingebauten Messuhren beim Überlauf, der Leitung nach Bad Ragaz und derjenigen nach Bad Pfäfers, kann nun der gesamte Quellertrag erfasst werden, was für die Beurteilung von Ertrag, Chemismus, Temperatur und Niederschlägen, und ihre Beziehungen untereinander von grösster Bedeutung ist.

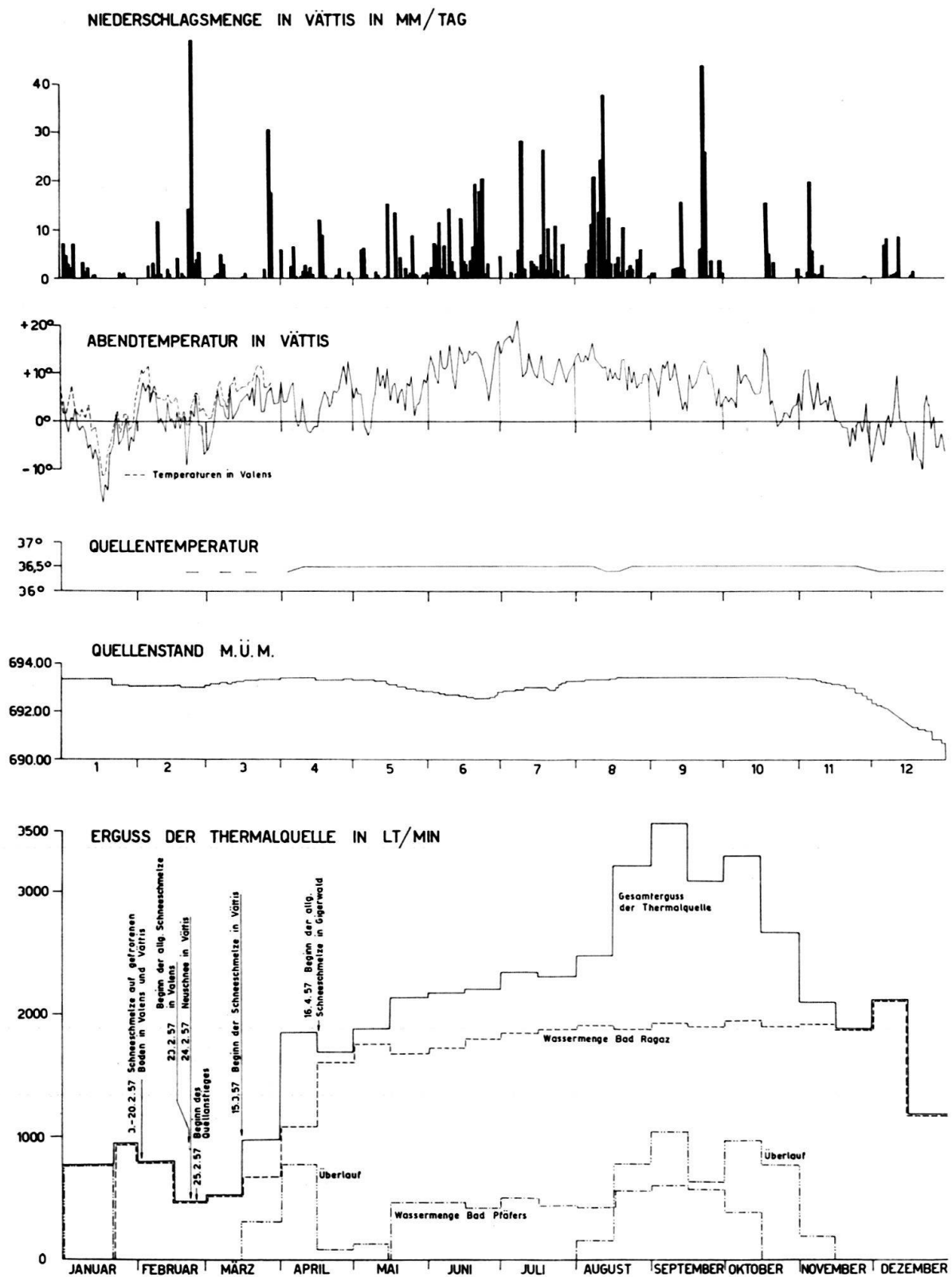


Fig. 2. Das Quellenregime der Therme von Pfäfers im Jahre 1957.
Niederschlag und Temperatur von Vättis.

Der Ertrag des Jahres 1957 betrug:

Überlauf	151 170 m ³
Bad Ragaz	764 950 m ³
Bad Pfäfers	106 200 m ³
Total	<u>1 022 320 m³</u>

Der Ertrag liegt etwas unter demjenigen eines Normaljahres.

Die Ertragskurve zeigt zu Jahresbeginn einen Überlauf von 800 l/min. der leicht abnehmend am 24. 2. 57 den tiefsten Stand erreicht. Die Ertragserhöhung zwischen dem 21. 1. und 31. 1. 57 erfolgte durch die Öffnung der Leitung nach Bad Ragaz (tiefere Fassung, mehr Druck). Am 25. 2. 57 tritt die Therme in den Frühjahrsanstieg. Erst langsam, dann schneller steigend erreicht sie am 7. April mit rund 1800 l/min. eine erste Spitze. Bis zu Anfang August steigert sie sich stetig im Erguss auf 2500 l/min. um dann am 6. September mit 3600 l/min. den Höchstertrag zu erreichen. Von hier geht sie bis Ende 57 auf rund 1200 l/min. zurück. Dabei ist zu beachten, dass der Dezemberertrag nur durch den Betrieb der Vacuumpumpe erreicht wurde, da der Quellspiegel bereits stark absank.

Wenn man die vorliegende Ertragskurve mit denjenigen früherer Jahre vergleicht, z. B. diejenigen der Jahre 1914–1921 (Gutachten HEIM–BERNOLD), so sieht man sofort, dass verschiedenes nicht stimmt. Es standen früheren Begutachtern lediglich die Zahlen der nach Ragaz fließenden Wassermengen zur Verfügung, und dies noch gemessen am Ende einer langen Leitung, während sie die Erträge des Pfäferser Badwassers und des Überlaufes nur schätzungsweise erfassen konnten und besonders den Überlauf stark überschätzt haben.

So sind besonders die rapid ansteigenden Frühjahrseinsätze viel zu steil dargestellt. Die erreichten Spitzenerträge sind überschätzt, und das Absinken des Ertrages im Nachsommer geht viel zu schnell vor sich. Sicher ist mit bedeutenden Ertragsschwankungen von 1000–2000 l/min. innert weniger Tage zu rechnen, aber Spitzenerträge von 10000 ja 15000 l/min. treten nie auf. Dies ist auch die Überzeugung von Dir. COGLIATTI, der die Therme nun seit Jahren beobachtet. Als im Frühjahr 1955 die Messapparate eingebaut waren, konnte in diesem ertragsreichen Jahr (Total 1851833 m³, dabei das ganze Jahr Überlauf) im Maximum ein Spitzenertrag von 4900 l/min. gemessen werden. Bei einem niedrigeren Jahresertrag von 1770000 m³ im Jahre 1920 kamen HEIM–BERNOLD auf Spitzenerträge während 2 Monaten von über 8000 l/min.

Interessant sind nun die Beziehungen zwischen Quellertrag, Niederschlag und Temperatur in Vättis, Gigerwald und Valens. (Gigerwald und Valens nur Temperatur- und Schneeschmelzbeobachtungen.)

Am 3. 2.–20. 2. 57 setzte leichtes Tauwetter ein, auf gefrorenem Boden. Dies hatte überhaupt keine Einwirkung auf die Therme.

Am 23. 2. begann in Valens und der näheren Umgebung der Therme die allgemeine Schneeschmelze. Am 24. 2. fiel in Vättis Schnee. Am 25. 2. 57 begann der Frühjahrseinsatz der Therme.

Erst am 15. März setzte die allgemeine Schneeschmelze in Vättis ein, nachdem der Thermen ertrag bereits von 500 auf 1000 l/min. angestiegen war.

Am 16. 4. 57 setzte die Schneeschmelze im Gigerwald ein, nachdem zu Anfang April nochmals Frost herrschte und der Quellertrag bereits auf 1700 l/min. gestiegen war.

Aus diesen Beobachtungen ist ersichtlich, dass das Thermenregime sehr rasch bei Schneeschmelze in der unmittelbaren Umgebung der Quelle reagiert, während die Schmelzeinsätze von Vättis und Gigerwald stark nachhinken und deshalb für den Frühlings-einsatz der Therme als Einzugsgebiet ausscheiden!

Vermutlich ebenfalls als Folge ungenauer Ertragsmessungen wurde immer erwähnt, die Therme reagiere nur schwach oder überhaupt nicht auf Niederschläge in Form von Regen. Die Figur 2 zeigt genau das Gegenteil. Zum Vergleich müssen wir die Niederschläge von Vättis heranziehen, da im Quellgebiet ein Regenmesser fehlt. Wir können aber im Quellgebiet mit etwas mehr Niederschlägen rechnen, als im von hohen Bergen abgeschirmten Vättis.

Die grossen Niederschläge in den Monaten Mai (59,1 mm), Juni (152,4 mm) und Juli (115,4 mm) bewirkten ein stetes Ansteigen des Thermen-ertrages von 1700 l/min. auf 2400 l/min.

Die Augustniederschläge erreichten 165,3 mm, diejenigen des Septembers 106,1 mm. Diese starken Regenfälle bewirkten ein weiteres starkes Ansteigen des Wasserspiegels und des Ertrags von 2400 auf 3560 l/min. Endlich seien die Regenfälle vom 24. 10. 57 und 25. 10. erwähnt, die zusammen 69,3 mm Regen brachten und den Quellerguss gleich um 200 l/min. steigerten.

Damit ist sicher der Beweis erbracht, dass Regenfälle in genügendem Ausmass stark auf den positiven Ertrag der Therme einwirken und zwar sehr rasch.

Die rasche Reaktion der Therme auf Niederschläge, im Zeitraum von 1–4 Tagen, lässt sicher nur auf ein sehr nahegelegenes Einzugsgebiet schliessen. Es muss daraus geschlossen werden, dass der Ertrag der Therme von Niederschlägen im vorderen Taminatal abhängig ist.

e) Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse von 1957

1. Der Chemismus ist unabhängig vom Ertrag der Therme, der Jahreszeit und den Niederschlägen.

2. Die Quelltemperatur ist unabhängig vom Ertrag und der Witterung. Sie ist das ganze Jahr konstant auf 36,5° C. Temperaturdifferenzen rühren von eindringendem Fremdwasser, das via Herrenquelle in die Therme fliesst, her.

3. Seit der genauen Ermittlung der Quellerträge ergibt sich ein viel ausgeglicheneres Quellregime als früher angenommen wurde. Dabei können im Maximum Ertragsschwankungen von rund 1000–2000 l/min. in wenigen Tagen auftreten.

4. Das Thermenregime reagiert sehr rasch auf Schneeschmelze in der unmittelbaren Umgebung der Quelle, während die Schmelzeinsätze von Vättis und Gigerwald stark nachhinken und deshalb für den Frühlings-einsatz der Therme nicht in Frage kommen.

5. Die Therme reagiert sehr rasch auf Niederschläge in Form von Regen. Die rasche Reaktion im Zeitraum von 1–4 Tagen lässt ebenfalls auf ein Einzugsgebiet in der nächsten Umgebung der Quelle schliessen.

f) Schlussfolgerungen aus den neueren Untersuchungen

1. Die Herkunft der Therme von Pfäfers

Meines Erachtens kommt das Thermenwasser aus dem Westen, aus der Mulde zwischen den östlichen Ausläufern des Aar- und Erstfeldmassives, oder aber einer im Südfall des Aarmassives gelegenen, sekundären Mulde, je nach Stellung des Pfäferser Gewölbes. Nach meinem Dafürhalten ist die Vättnerkuppel nicht die östliche Fortsetzung der Tödiaufwölbung. Ich bin mit R. STAUB der Auffassung, dass das Thermalwasser sein Einzugsgebiet in der Trias und im Kristallin hat, wofür alle chemischen Quelluntersuchungen sprechen.

Das nach Osten laufende Thermalwasser wird am Querbruch der Thermalspalte und an den östlich abtauchenden Gesteinsschichten rückgestaut und steigt längs der Thermalspalte empor, teils in höhlenartigen Kaminen, teils klaffende Schichtflächen benützend. Es besteht keine Verbindung der Therme in Richtung Vättis oder Calfeisental (siehe unter c) und f) dieses Abschnittes).

2. Der Überschluckmechanismus

Die Therme von Pfäfers wird durch einen Überschluckmechanismus betätigt. Das Funktionieren der Quelle hängt ab, von den einsickernden Schmelz- und Regenwassermengen in der Umgebung der Therme. Durch Einsickerungen im Berg wird der hydrostatische Druck in diesem erhöht, und der Thermalspiegel gehoben. Beim Absinken des Kaltwasserspiegels tritt ein Druckverlust auf, und der Spiegel der Quelle sinkt. Wie mit Sicherheit nachgewiesen werden konnte, besteht mindestens ein Weglauf, so dass nicht alles aufgedrückte Wasser zur Verfügung steht.

LITERATUR UND VERWENDETE AKTEN

1. Die Therme von Pfäfers, Expertenbericht an den Gemeinderat von Ragaz, von Ing. BERNOLD und Prof. ALB. HEIM, April 1927, mit zahlreichen graphischen Beilagen.
2. Erster Bericht über die Zulässigkeit der Erstellung von Staubecken und Druckstollen im Taminatal im Hinblick auf mögliche Gefährdung der Ragazer Thermalquellen, dem Baudepartement des Kt. St. Gallen unter dem 12. August 1947 erstattet von Prof. Dr. R. STAUB, mit Beilagen von E. WEBER.
3. Untersuchung des Quellschlammes der Therme von Pfäfers, von J. NEHER, 6. September 1947.
4. Die Therme von Pfäfers, von A. WIDRIG, Abschrift vom 25. 1. 1950.
5. Neuere Ergebnisse der Mineralquellen-Geologie, von Prof. Dr. J. CADISCH, Annalen der Schweiz. Ges. für Balneologie und Klimatologie, Heft 40, 1950.
6. Die Therme von Pfäfers, von A. WIDRIG, herausgegeben vom Kur- und Verkehrsverein Bad Ragaz, 1952.
7. Ausbau der Wasserkräfte im St. Galler Oberland. Projektstudien 1952/53. Geologischer Bericht zu den Werkkombinationen Calfeisental-Weisstannental und Calfeisental-Rheintal. Prof. LEUPOLD und E. WEBER. Gutachten NOK. 31. Juli 1953.
8. Ferner wurden berücksichtigt: Geologische Karten und Manuskripte, Originale von Feldaufnahmen, Skizzen und Aufzeichnungen der Herren: Prof. STAUB, Prof. LEUPOLD, Dr. HELBLING, OBERHOLZER, DÜNNER, HÜGL, KAPPELER, NÄNNY, NEHER und WEBER.
9. Diverse Akten aus dem Archiv der AG. Bad- und Kuranstalten Bad Ragaz.

