

- : Aufnahmsbericht über Blatt Salzburg (4850). — Verh. Geol. Bundesanst. 1934, Wien 1934.
- : Aufnahmsbericht über Blatt Salzburg (4850). — Verh. Geol. Bundesanst. 1935, Wien 1935.
- : Aufnahmsbericht über Blatt Salzburg (4850). — Verh. Geol. Bundesanst. 1936, Wien 1936.
- : Aufnahmsbericht über Blatt Salzburg-Ost (4850). — Verh. Geol. Bundesanst. 1937, Wien 1937.
- : Aufnahmsbericht 1938 über Blatt Salzburg (4850). — Verh. Reichsst. f. Bodenf., Zweigst. Wien, Wien 1939.
- : Führer für die Quartär-Exkursionen in Österreich (Weltassoziation f. d. Studium des Quartärs, Internat. Quartärvereinigung, III. Internat. Quartär-Konferenz, Wien, September 1936). Teil I. — Wien 1936
- STUMMER, E.: Die interglazialen Seen von Salzburg. — Verh. Geol. Bundesanst. 1936, Wien 1936.
- : Die interglazialen Ablagerungen in den Zungenbecken der diluvialen Salzach- und Saalachgletscher. — Jb. Geol. Bundesanst. 1938 **88**, Wien 1938.
- : Die natürliche Lage Salzburgs im Wandel der Zeiten. — „Der Deutsche Erzieher.“ Mitteilungsbl. NSLB., Gauverw. Tirol-Vorarlberg-Salzburg.
- TROLL, C.: Der diluviale Inn-Chiemsee-Gletscher. Forsch. z. Deutsch. Landes- u. Volksk. **23**, Stuttgart 1924.
- WEINBERGER, L.: Der geologische Bau des oberen Innviertels. — Mitt. f. Erdk. v. Oberösterreich **7**, Linz 1938.

## Über eigenartige Thermalwasserverluste in einem Tiefbohrloch von Bad Krozingen (Baden)

VON LUDWIG ERB, Freiburg i. Br.

(Mit einer Abbildung)

Bei dem im Jahre 1911 zum erstenmal erbohrten Thermalsprudel von Bad Krozingen war im Laufe der Zeit ein außergewöhnlich starker Rückgang der Schüttung eingetreten, dessen Ursache erst bei einer Neubohrung in den Jahren 1939, 1940 erkannt worden ist. Es stellte sich dabei heraus, daß im alten Bohrloch erhebliche Thermalwasserverluste auf dem Wege von der Bohrlochsohle zur Oberfläche stattfinden, was einerseits durch die geologischen Verhältnisse, andererseits durch technische Mängel, insbesondere durch die seinerzeit (1914) erzwungene Verwendung ungeeigneten Materials für die Steigrohre, bedingt ist. Mit dieser Erkenntnis über die eigentliche Ursache des Rückgangs wußte man, daß nicht ein Nachlassen in der Leistungsfähigkeit des Wasserhorizonts vorliegt, was nicht nur für die eben erst begonnene Neubohrung wichtig war, sondern für die Zukunft des außerordentlich wertvollen Thermalsprudels von der allergrößten Bedeutung ist.

Zum Verständnis der nachstehenden Ausführungen seien zunächst die geologischen Verhältnisse kurz beschrieben, wobei noch bemerkt sein soll, daß Krozingen in der weitgehend unter quartären Ablagerungen eingetauchten Vorbergzone der sog. Stauffener Bucht südlich von Freiburg i. Br. wenige Kilometer vom Schwarzwaldrand entfernt liegt.

## Die Schichtenfolge im neuen Bohrloch lautet:

bis	4	m	frischer Schwarzwaldkies
„	18	„	etwas morscher Schwarzwaldkies
„	21	„	grauer, sandiger Ton
„	37	„	gelblicher, völlig fauler Schwarzwaldkies und gelblicher Lehm
„	70,15	„	gelblicher Lehm mit vereinzelt, völlig faulen Geröllern aus Schwarzwaldmaterial
————— bei 70,15 m Grenze Quartär/Dogger —————			
bis	130,0	m	sehr stark klüftiger Hauptrogensteinkalk. Klüfte mit eingestürzten Lehm- und Kiesmassen, erfüllt. Besonders oben tiefe und weite Schlote dieser Art.
„	145,3	„	Mergel der <i>Blagdeni</i> -Schichten
„	150,5	„	eisenoolithische Mergel und Kalke der <i>Humphriesi</i> -Schichten
„	176,5	„	Mergel der <i>Sauzei</i> - und <i>Somberbyi</i> -Schichten
„	181,2	„	Gryphiten-Mergel
„	192,0	„	eisenoolithische Mergel und Kalke der <i>Murchisonae</i> -Schichten und liegende Sandkalke
„	330,0	„	<i>Opalinus</i> -Ton
————— bei 330 m Grenze Dogger/Lias —————			
bis	366,1	m	Mergel der <i>Jurensis</i> -Schichten, Posidonienschiefer und <i>Margaritatus</i> -Schichten, letztere mit ruppigen Kalkbänken
„	398,0	„	zu oberst Mergelkalkbank und <i>Davoei</i> -Schichten; darunter der mächtige Tonkomplex der <i>Turneri</i> -Schichten
„	403,4	„	Mergelkalk und Mergel der Arieten-Schichten
„	404,3	„	Kalkbänke der Angulaten-Schichten
„	405,0	„	liegende Mergel des Lias α
————— bei 405 m Grenze Jura/Keuper —————			
bis	430,0	m	obere bunte Mergel mit den Steinmergeln. Bei 422,25 und bei 427 m klüftiges Gestein. Spülverluste, die wenig später beobachtet wurden, sind darauf zurückzuführen. Oberer, schwächerer Thermalsprudelhorizont! Thermalsprudel erschien erst, nachdem später — bei 436 m Bohrtiefe — Dickspülung durch Klarwasser ersetzt worden war. Höchstbeobachtete Schüttung: 2,4 l/sec.
„	470,0	„	zu oberst die Schiffsandsteinregion, darunter die Mergel der Estherien-Schichten (ohne Anhydrit)
„	557,5	„	untere bunte Mergel (Tone) mit Anhydrit, zu unterst Wechsellagerung von Dolomit und Anhydrit, wobei steilstehende Klüftchen durch Anhydrit verheilt sind
„	563,0	„	feinkörniger, glimmeriger Sandstein und dolomitische Mergel der Lettenkohle
————— bei 563 m Grenze Keuper/Muschelkalk —————			
bis	582,0	m	<i>Trigonodus</i> -Dolomit, wenig geklüftet. Bei 567 m wurde etwas Spülverlust beobachtet. Ab 580,38 m kam der untere Thermalsprudel, zunächst mit nur 6,7 l/sec. zutage
„	596,38	„	<i>Nozosis</i> -Schichten, Kalke mit steil stehenden Klüften. Bei 583,06 m nahm die Schüttung stark zu und betrug bei 584,21 m 30 l/sec. Später wurde eine Höchstschüttung von 42 l/sec. beobachtet, die bald auf 34 l/sec. und später auf 19,7 l/sec. zurückging, um nach dem Einbau der engeren Steigrohre auf einem entsprechenden Ausmaß stehen zu bleiben.

Der untere, reiche Thermalsprudelhorizont spendet kohlenstoffreiches Wasser von 40° C mit etwa 4 g gelösten festen Bestandteilen im Liter, woran Kalziumsulfat den Hauptanteil hat. Der obere, schwache Thermalsprudelhorizont liefert ein Wasser von ähnlichem Charakter, jedoch mit

etwa 6,5 g gelösten festen Bestandteilen infolge höheren Chlorid- und Sulfatgehalts; seine Temperatur ist naturgemäß niedriger und beträgt 31 ° C.

Ein hervorstechendes Kennzeichen des Krozinger Thermalprudels ist die feimperlige Natur der Kohlensäure. Diese auf Aufnahme der Kohlensäure unter hohem Druck hinweisende Eigenschaft ist ein besonders wertvoller Heilfaktor des Krozinger Wassers, besonders für die Krankheitserscheinungen des Gefäßsystems.

Die Herkunft der Kohlensäure ist nicht zweifelhaft. Wir haben in der weiteren Umgebung der Therme zahlreiche vulkanische Spaltenfüllungen, welche mit dem Kaiserstuhl-Vulkan zusammenhängen. Die Oberflächenausstriche dieser Gesteine haben zwar bisher keine Kohlensäureaustritte erkennen lassen, im Gegensatz zu dem ebenfalls tertiäres Alter besitzenden Hegau-Vulkangebiet (ERB 1935). Auch die oberflächennahen, bergmännisch angefahrenen Tuffvorkommen sind von dem Gas entleert. Jedoch hat eine Bohrung hart östlich vom Kaiserstuhl unter abdichtendem Tertiärsediment eine Kohlensäure spendende vulkanische Masse angefahren.

Die Herkunft des Wassers und seine artesische Natur sind leicht durch das hochgelegene Hinterland des Schwarzwaldrandes mit seiner Vorbergzone zu erklären, seine Temperatur durch die Tiefenwanderung. In welcher Tiefe die Kohlensäure aufgenommen wird, kann nicht ermittelt werden, aber das eine ist sicher, daß die Mischung — wohl auf einer der vielen Verwerfungsspalten der Vorbergzone hochsteigend — sich in dem dazu geeigneten klüftigen Gestein des Hauptmuschelkalkes zu einem regelrechten Thermalgrundwasserhorizont ansammelt und daß in den Steinmergelbänken des Keupers eine ähnliche, wenn auch in bescheidenerem Umfang bleibende Gelegenheit zu einer solchen Ansammlung geboten wird. Der hohe Mineralgehalt ist im wesentlichen auf dem Wege durch die Gesteine des Mittleren Muschelkalks, vielleicht auch des Keupers aufgenommen worden.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen sei auf den eigentlichen Gegenstand dieses Aufsatzes, auf das lecke alte Bohrloch und die Eigenart der Entdeckung dieses Fehlers, eingegangen (Abb. 1).

Bei dem Arbeiten am neuen Bohrloch, das 20 m nördlich vom alten liegt, fiel dem Bohrpersonal bei einer Bohrtiefe von 85 m auf, daß die Kiespumpe — welche im Bereich der lehm- und kieserfüllten Schlote des Haupttrogensteins noch verwendet wurde — warm aus dem Bohrloch herauskam. Ihr Inhalt zeigte 25°, später — bei 89 m — gar 30° an. Eine unmittelbar nach Erfahrung dieses Umstandes vom Verfasser vorgenommene Temperaturmessung im Bohrloch mit Maximumthermometern ergab bei der inzwischen erreichten Bohrtiefe von 99 m eine Temperatur von 35,8° C. Es war einleuchtend, daß dieser hohe Wärmegrad nur infolge von Aufheizung durch im alten Bohrloch entweichendes Thermalwasser zustande kommen konnte, und es wurde sofort beschlossen, diese Vermutung auch nachzuweisen, was auf ganz einfachem Wege geschehen konnte. Man mußte sich an Hand der ja schon bekannten Schichtenfolge sagen, daß nur der klüftige Gesteinsstoß des Haupttrogensteins zwischen 70,15 m und 130 m Tiefe in der Lage war, das im alten Bohrloch außerhalb vom Steigrohr, zwischen Steigrohr und Bohrlochwand, hochsteigende

Thermalwasserverluste im alten Bohrloch von Bad Krozingen

Erkannt an der Aufheizung höherer, durchlässiger Horizonte, welche das entweichende Thermalwasser schlucken.

Schematische Darstellung

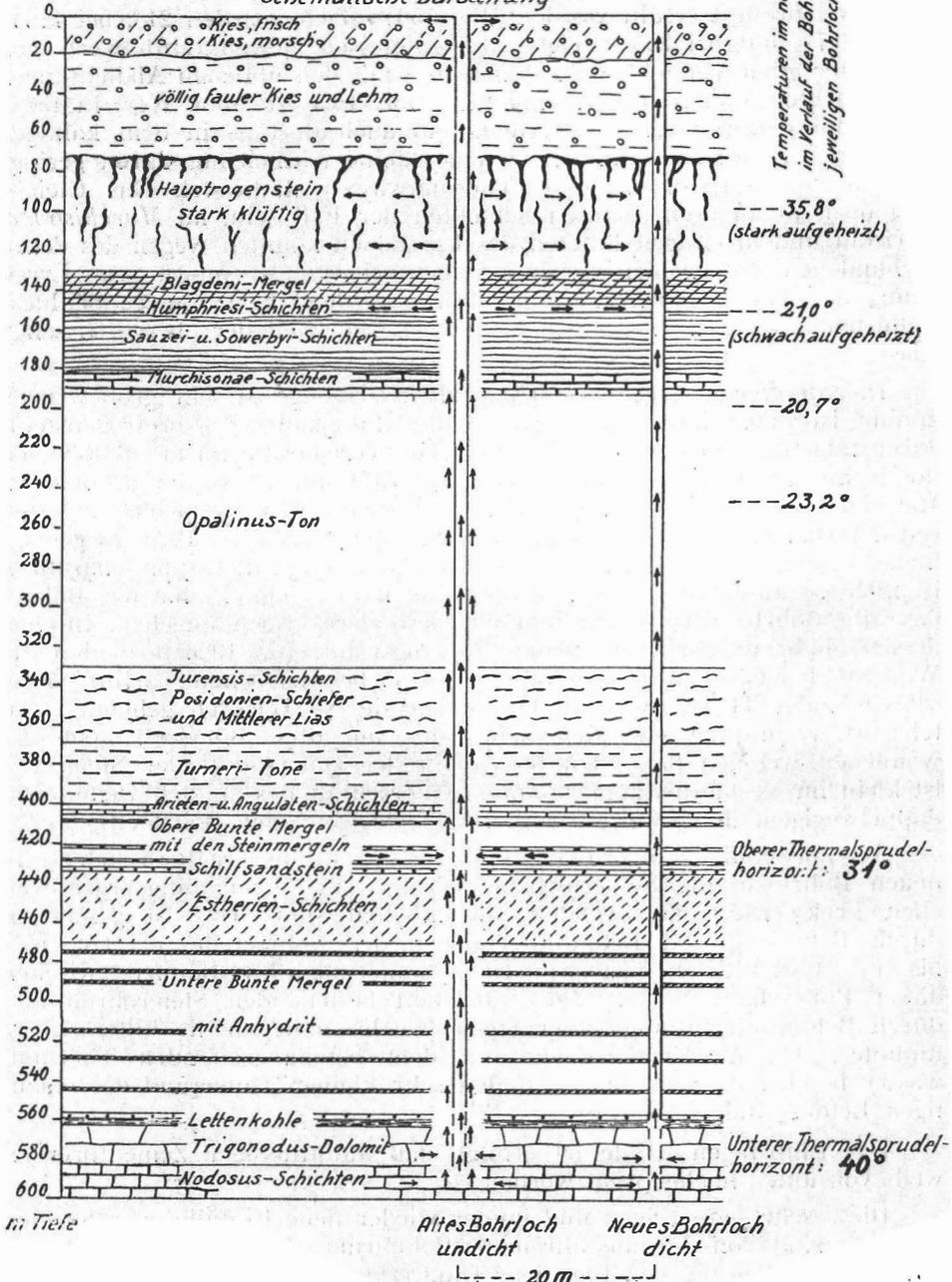


Abb. 1.

Thermalwasser entweichen zu lassen und gewissermaßen als Vorfluter zu dienen. Verhielt sich das wirklich so, dann mußten Temperaturmessungen im neuen Bohrloch unterhalb vom Haupttrogenstein — in den dichten Mergeln — wenn nicht normale, so doch mindestens beträchtlich tiefere Temperaturwerte ergeben als die gemessenen 35,8°. Diese Erwartungen sind auch prompt erfüllt worden. Bei 150 m Tiefe wurden 21°, bei 180 m Tiefe 20,7° und bei 245 m Tiefe 23,2° gemessen (jeweils Mittelwerte von drei unter allen Vorsichtsmaßnahmen und mit den üblichen Abdichtungen eingebrachten Maximumthermometern). Der etwas zu hohe Wert in 150 m darf wohl dadurch erklärt werden, daß auch dort — in dem kalkigen Teil der *Humphriesi*-Schichten — eine kleine Aufheizung durch geringe Mengen von durchdrückendem Thermalwasser stattfindet. Das Gleiche mag noch in anderen, tieferen Schichten der Fall sein, im *Murchisonae*-Horizont und in einigen Bänken des Lias, doch konnten wegen des damit verbundenen großen Zeitverlustes keine weiteren Messungen vor Erreichung des Thermalhorizontes ausgeführt werden. Eine andere Schluckstelle bildet wahrscheinlich der Grundwasserhorizont der oberen, frischen Kiese.

Daß die verloren gehende Thermalwassermenge so sehr groß werden konnte, ist außer durch die enorme Schluckfähigkeit des Haupttrogensteins durch folgende Umstände zu erklären. Die Verrohrung im alten Bohrloch mußte infolge des Kriegsbeginns im Jahre 1911 statt in Kupfer in anderem Material ausgeführt werden. Die dann verwendeten Eisenrohre wurden selbstverständlich bald angefressen, und eine im Jahre 1926 vorgenommene Aufbohrung des alten Bohrlochs und Fassung mit Kupfersteigrohren ist nicht so ausgefallen, wie man erwartet hatte, vielmehr hat der Bohrer das alte Bohrloch verlassen und ein besonderes Loch angelegt. Infolgedessen blieb außerhalb der neuen Fassungsrohre von 1926 noch der alte Weg für hochsteigendes und in dem oben beschriebenen Vorfluter ver-schwindendes Thermalwasser. Die Menge des so verloren gehenden Anteils ist vermutlich ein Mehrfaches der im alten Bohrloch noch gewonnenen wenigen Sekundenliter; denn der Querschnitt der Steigrohre ist klein im Verhältnis zum gesamten Querschnitt des an sich weiten und doppelwegigen, stellenweise sogar dreifachwegigen alten Bohrlochs.

Als notwendige Folgerung aus dieser Erkenntnis ergab es sich, beim neuen Bohrloch alle Sicherungsmaßnahmen zur Vermeidung irgendwelchen Leckwerdens anzuwenden, die möglich sind. Das ist geschehen durch Belassung und Betonhinterfüllung der Bohrschale aus Gußeisen bis in beträchtliche Tiefe, durch Betonierung des Raums zwischen dieser Bohrschale und den aus Edelstahl bestehenden Steigrohren und durch Betonhinterfüllung dieser Steigrohre bis nahe an die Filterschlitz hinunter. Die Berührungsfläche mit dem betonangreifenden Thermalwasser beschränkt sich dabei auf den sehr kleinen Unterrand des mächtigen Betonzyllinders.

Das Einbringen ist derart erfolgt, daß dünnflüssiger Zementbrei jeweils von unten hochgepreßt worden ist.

Diese sehr schwierigen und immer wieder neue Einfälle erfordernden Arbeiten sind von der ausführenden Bohrfirma (J. BREITTEL, Ludwigshafen) unter Leitung von Ingenieur KREUTZER mit aller Sorgfalt und trotz

der Lage in der Kampfzone ohne Unterbrechung durchgeführt worden, so daß die Haltbarkeit des neuen Bohrlochs gewährleistet sein dürfte. Auf den oberen Thermalhorizont wurde dabei ganz verzichtet, um die Sicherheit für die Dichtheit nicht zu gefährden. Der Entschluß dazu ist deswegen nicht sehr schwer gefallen, weil bei der neuen Bohrung in diesem Niveau ganz sonderbare Beobachtungen gemacht worden sind. Bei Erreichung der von der ersten Bohrung her bekannten Tiefe ist zunächst gar kein Thermalwasser zutage getreten. Ja, es sind sogar Spülverluste erfolgt, und eine in 436 m vorgenommene Temperaturmessung ergab nur 29°. Die sich aufdrängende Vermutung, daß das Gewicht der Dickspülung, die ein spezifisches Gewicht von 1,02 hatte, das Wasser zurückdränge, hat sich dann tatsächlich bestätigt. Nach Einfüllung von Klarwasser in das Bohrloch ist der obere Thermalsprudel artesisch ausgetreten, und dieses Wechselspiel mit dem verschiedenen Gewicht der Spülung hat sich beim Weiterbohren mehrfach wiederholt. Bei einer solchen Empfindlichkeit gegen Druckschwankungen war immerhin die Möglichkeit für Bedenken offen gelassen, so daß man ganz von der ursprünglichen Absicht, Filterrohre in dieses Niveau einzusetzen, abgekommen ist und das ganze Bohrloch mit aller erdenklichen Geschicklichkeit dicht bis zum unteren Thermalsprudelhorizont ausgebaut hat.

Für die Praxis von Bohrungen auf artesische Wässer und Sprudeln in nicht völlig dichten Gesteinsfolgen ergeben sich damit ganz allgemein folgende Forderungen:

1. Ein altes Bohrloch darf nicht neu aufgebohrt werden wegen der Gefahr der ungewollten Auslenkung, welche zu einem völligen Verlust der Kontrolle über die Vorgänge in dem dann vorhandenen Doppelweg führt.

2. Die Verrohrung muß durch Zementhinterpressung oder andere Maßnahmen völlig satt mit dem Nebengestein verbunden werden, weil sonst zwischen Rohr und Nebengestein Wasser hochsteigt und in klüftigem Gestein bzw. auch im obersten Grundwasserhorizont verloren geht.

3. Bei Verwendung von Dickspülung kann ein Wasserhorizont mit nur geringem artesischem Auftrieb völlig übersehen werden, ja sogar gegenteilig in Erscheinung treten, indem er Wasser schluckt, also Spülverluste verursacht.

4. Alte, lecke Bohrlöcher sollten zur Vermeidung der unsinnigen Wasserverluste völlig dicht verfüllt, regelrecht plombiert werden. Weniger notwendig ist das unter Umständen, wenn beispielsweise einfaches Thermalwasser vorliegt, das immer wieder neu gebildet wird. Anders ist das aber bei kohlenstoffhaltigem Wasser, dessen Kohlensäure immerhin aus einem nicht unerschöpflichen Reservoir kommt, was besonders für relativ alte, schon weitgehend von Gas entleerte Vulkangebiete zutrifft.

#### Literatur

ERR, L.: Kohlensäureaustritte im Hegau. — Mitt. bad. Landesver. Naturk. u. Naturschutz, N. F., 3, 13/14, Freiburg i. Br. 1935.