Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae

Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft

Band: 36 (1943)

Heft: 1

Artikel: Temperaturmessungen in der Bohrung Tuggen in der Linthebene und einige andere Befunde in der Schweiz

Autor: Mühlberg, Max

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-160384

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: 12.07.2025

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

Temperaturmessungen in der Bohrung Tuggen in der Linthebene und einige andere Befunde in der Schweiz.

Von **Max Mühlberg**, Aarau.

Die Bohrung von Tuggen, 1925—1928.

1928 wurde der Geologischen Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft über die in ihrem Auftrag in der Tiefbohrung Tuggen der „Mineral-Schürf-A.-G. in Küssnacht a. R." im April 1928 vom Schreibenden geleiteten Temperaturmessungen ein einlässlicher Bericht erstattet. Die Kommission hatte damals die Absicht, denselben zusammen mit einer Darstellung der geologischen Befunde zu veröffentlichen. Der Tod des Herrn Dr. L. Braun, geologischen Experten bei der Bohrunternehmung, liess das Vorhaben nicht zur Ausführung kommen. 1942 griff der Präsident der Kommission, Herr Professor Dr. A. Buxtorf, die Angelegenheit wieder auf.

Es mag nicht unangebracht sein, nebenbei die Vorgeschichte der in ihrem Ziele missglückten Bohrung zu berühren. Der deutsche Chemiker und Hütteningenieur Hermann Wolf, der in Petroleumunternehmungen Erfolg gehabt hatte und der schliesslich auch mit dem Prospektieren mit der Wünschelrute bzw. dem Pendel sich befasst hat — die Schweiz wurde sogar auf Bahn- und Autofahrten „abgependelt" —, hatte Interessenten für Bohrungen auf Erdöl in unserm Lande zu gewinnen und so die Gründung der oben genannten Gesellschaft zu bewirken vermocht. In die Linthebene bei Uznach haben ihn die Berichte über die bekannten Gasausströmungen im benachbarten Rickentunnel und über beim Tunnelbau angetroffenen durch Erdöl braun gefärbten Sandstein geführt. Die Wahl der Bohrstelle sei durch die „Feststellungen" des „Rutlers", ehemaligen Bohrmeisters Philipp Schermully aus Frankfurt a. M. entschieden worden. Gasblasen und bunte Häute auf dem Wasser eines nahen Riedgrabens waren als Ölanzeichen gedeutet worden, und so wird denn Schermully's „Polarisator" energisch genickt haben! (Polarisator nannte Schermully ein in die Spitzenschlaufe der als Wünschelrute dienenden metallenen Drahtgabel gehängtes „Tee-Ei", in das er eine der Art des gesuchten Bodenschatzes entsprechende, geheim gehaltene Substanz zu geben pflegte.) Geologen haben vergeblich gewarnt. — Ausgeführt wurde die Bohrung durch die bewährte Firma Anton Raky A. G., Salzgitter am Harz.

Allgemeine Bemerkungen über Geothermische Messungen. Die Einzelheiten der Temperaturverhältnisse in den durch Bohrungen, Bergwerke und Tunnel erreichbaren Tiefen der Erdrinde sind ein komplizierter, auch heute noch keineswegs genügend erforschter und abgeklärter Fragenkomplex. Mit zunehmender Zahl von Angaben ist die Notwendigkeit möglichst vieler, verlässlicher und ins Einzelne gehender Feststellungen nur noch deutlicher geworden. Das Mass der

Temperaturzunahme erdeinwärts ist nicht nur an verschiedenen Orten, sondern mit wechselnder Tiefe meist auch an der gleichen Stelle verschieden. Die Kenntnis der Temperaturverhältnisse in der Erdrinde ist nicht nur von wissenschaftlichem Interesse, sie dürfte u. U. auch praktische Schlussfolgerungen erlauben. Dabei ist aber tunlichst ausgiebiges Wissen über Bodentemperaturen zum Vergleiche nötig. Für allfällige spätere Nutzanwendung sind deshalb Messungen auch dort erwünscht, wo kein unmittelbares praktisches Ergebnis erwartet wird. Sie sollten bei jeder Bohrung in die Verpflichtungen eingeschlossen werden.

Mitteilungen über Temperaturen und geothermische Tiefenstufen sollten sich nicht einfach auf die Schlussergebnisse beschränken, sondern die Umstände der Messungen, den Grad der Genauigkeit und Verlässlichkeit, sowie die Bestimmungsweise der oberflächlichen Bodentemperatur bekannt geben; auch damit die Vergleichbarkeit mit Mitteilungen über andere Messungen ersichtlich wird. Aus manchen Ländern gibt es bereits eine Menge Angaben über Erdtemperaturen, aber namentlich von den ältern lassen die meisten die nötigen Versicherungen vermissen; viele sind offenbar nur beschränkt brauchbar oder wertlos. Der vorliegende Bericht nimmt Anlass, einiges Methodisches wieder hervorzuheben und Weiteres beizufügen.

Herrn Professor J. G. Koenigsberger in Freiburg i. B. verdanke ich thermische Beratung und die Berechnung des von der Eiszeit her noch vorhandenen Restes der Abkühlung des gegebenen Erdrindenteils.

Die Bohrstelle Tuggen befindet sich in der Linthebene SW Uznach, etwa 1 km ESE des am Südostfuss des Unteren Buchberg gelegenen schwyzerischen Dorfes Tuggen, in rund 410 m Meereshöhe. Das Bohren dauerte vom 3. Juni 1925 bis 8. Juli 1928; es endete in der Tiefe 1634,75 m. Namentlich gegen das Ende ist möglicherweise die Bohrrichtung von der Senkrechten abgewichen. Herr Wolf hat dem Schreibenden erwähnt, dass das Einfallen der Schichten schliesslich nur noch etwa 20° betragen habe. Er schloss daraus auf die Nähe der tektonischen Aufschiebungsfläche, unterhalb der er eine gute Möglichkeit für eine Öllagerstätte erwartete. Die enttäuschten Geldgeber liessen sich aber nicht mehr zu einer Erprobung bewegen.

Für die Temperaturmessungen hatte die Bohrfirma die Bewilligung und ihre Mitwirkung für die Ostertage 1928 erst unmittelbar vor diesen zugesagt. Infolge dieser Zeitknappheit mussten zufällig erhältliche Thermometer und Schutzvorrichtungen genügen, während eine grössere Anzahl besonders erschütterungsfester Thermometer mit sicher wasserdicht schliessenden Hülsen erwünscht gewesen wäre. Doch auch so sind gute Ergebnisse erzielt worden. Hätten mehr Messgeräte zur Verfügung gestanden, dann wäre gleichzeitig auch an der Grenze Diluvium-Oligocaen (236 m) und 20 m unter der Bodefläche gemessen worden. Die mit der Bohrleitung besprochene Nachholung, wenigstens in 20 m Tiefe, gelangte nicht zur Ausführung.

Die Angaben über die Schichtenfolge und die Lagerung sind hauptsächlich Mitteilungen von Dr. L. Braun, diejenigen über Wasserführung, Öl- und Gasspuren, sowie über die technischen Umstände der Bohrung Betriebsleiter Ing. K. Scheibe zu verdanken.

Teufe der Bohrung zur Zeit der Messungen: 1413,08 m. Aus technischen Gründen wurde aber mit den Messungen nicht unter 1300 m hinab gegangen.

Die Schichtenfolge ist bis 433,27 m weitaus vorherrschend durch Meisselbohrung, tiefer ausschliesslich an Bohrkernen festgestellt worden:

0—15 m	Feiner toniger Sand; beim Maschinenhaus „gespanntes" Wasser in 14 m Tiefe. Alluvium.	
15—236 m	Plastischer Ton, mit einigen Lagen gröbern Moränenmaterials. Diluvium.	
236—642 m	Vorherrschend Mergel, mit bis zu 20 m mächtigen Sandsteinlagen.	Oligocaen, Stampien (Untere Süsswassermolasse).
642—742 m	Harte, kernfähige Mergel.	
742—1215 m	Vorherrschend Mergel, weich bis hart, mit bis zu 12 m mächtigen Sandsteinlagen (meist feiner Kalksandstein: Ebnater Sandstein).	
1215—1242 m	Sandstein und weniger Mergel.	
1242—1300 m	Mergel.	
1300—1634,75 m	Meist Mergel, unterhalb ca. 1450 m teils stark gestaucht.	

Dichte der Gesteine. An 8 Bohrkernen, von denen 2 aus Tiefen unterhalb der thermisch untersuchten Bohrlochstrecke stammen, wurde vom Berichterstatter das Spezifische Gewicht bestimmt, im Hinblick auf dessen Beziehung zur Wärmeleitfähigkeit. Die geprüften harten Mergel sind mit einer Ausnahme (1470 m) spezifisch schwerer als die reinen Sandsteine, und diese umso schwerer, je feiner sie sind. Die Unterschiede liegen aber alle erst in der zweiten Dezimale. Am schwersten ist ein Stück, in dem Mergel und äusserst feiner Sandstein miteinander wechseln. Im gröbsten der gemessenen Sandsteine macht der Unterschied zwischen trocken und wassergetränkt (145 Stunden) nur etwa 1/100 aus.

	trocken	nass
1. Gröbster Sandstein der Proben, mit Calcitsprüngen, von unbekannter Stelle des höhern Teils des Bohrloches, also zwischen 436 und 739 m, Durchmesser 115 mm	2.634	2.645
2. Mergel aus dem höhern Teil des Bohrloches, Durchmesser 115 mm. Nass war das Volumen grösser, daher das geringere spez. Gewicht	2.679	2.668
3. Mergel mit feinstem Sandstein, Durchmesser 84 mm . . .	2.691	2.692
4. Feiner Sandstein mit Calcitsprüngen, Durchmesser 84 mm	2.647	2.663
5. Mergel mit Calcitsprüngen und trockenen Bitumenspuren auf den Klüften aus 1083—1083,5 m Tiefe, Durchmesser 84 mm	2.6715	2.672
6. Mergel, rotbraun, 1470 m, Durchmesser 39,3 mm	2.633	2.682
7. Sandstein, sehr fein, unbestimmt wo unterhalb 1230 m, Durchmesser 39,3 mm	2.653	2.673

Einfallen der tertiären Schichten (nach dem von Dr. L. Braun gezeichneten Profil): 55—58 Grad.

Wasserführung. Die Sandsteine, die häufig von Calcitadern und -Drusen durchsetzt sind, gelten als mehr oder weniger wasserhaltig. Bei verschiedenen Tiefen wurde geschöpft, ohne dass das Loch hätte geleert werden können; das Wasser stieg beispielsweise bis zu 51 m unter Tage. Die zur Zeit der Wärmemessungen 1159,5 m reichenden Futterrohre haben höhere Wasser vermutlich abgeschlossen, Wasser floss nicht aus; eine eigentliche Wasserzirkulation fand nicht statt; denn während nach Einlassen des Gestänges das Loch sich durch die Dickspülung bis oben gefüllt hatte, ist die Spülung vor Ausholen der Thermometer um 1 m zurückgegangen, was durch Eindringen von Spülwasser in die Gestängerohre sich erklärt.

Ölspuren. Zwischen 850 und 1050 m seien im Sandstein mehrfach ölgefüllte Kalkspatklüfte angetroffen worden. Stärkere Ölspuren sollen anlässlich von Wasserschöpfen erschienen sein, als das bis 739,39 m verrohrte Bohrloch 1090 m Tiefe hatte und der Wasserstand auf 430 m unter Tag erniedrigt worden war. Es wird angenommen, dass die Verminderung des Wasserdruckes im Bohrloch den Austritt des Öles ermöglicht habe. Bei Beginn des Weiterbohrens sei bei 30° flüssiges paraffinhaltiges Öl zu Tage gekommen; ein grosser Topf voll habe gesammelt werden können. Die Echtheit dieses Öles ist angezweifelt worden.

Gas. Beim soeben erwähnten Schöpfen erschienen auch starke Gase; sie hörten auf, als das Wasser wieder bis 160 m unter Tag gestiegen war. Anlässlich der Wärmemessung wurden im untersten Gestängerohr, oberhalb 1300 m, in der hier eingedrungenen Dickspülung feine Gasbläschen gefunden. Diese Gase werden keine kühlende, die Messung beeinträchtigende Wirkung gehabt haben.

Bohrwasser. Während des Bohrens waren jeweils 150—250 l/min Dickspülung eingepumpt worden. Vor dem Versenken der Thermometer in das 114 m unter die unterste Messstation hinabreichende Bohrloch hat die Bohrflüssigkeit 32 Stunden ruhig gestanden und so mindestens im Bereich der Beobachtungen die Temperatur der Umgebung annehmen können. Bohrwärme konnte wohl hinreichend sich ausgeglichen haben. Unmittelbar nach dem Versenken stand das Bohrloch bis zum Überlaufen voll, vor Beginn des Hebens bis 1 m unter Mündung; der geringe Verlust wird die Folge des Eindringens von Dickspülung in das unterste Gestängerohr sein.

Verrohrung und unverrohrte unterste Strecke. Zusammenhängende innerste Kolonne bis 1159,50 m, davon 385,4 m 5¼″(133 mm)-Rohre, darunter 4¼″(108 mm)-Rohre. Im obern Teil des Borloches befanden sich ausserdem 7 Rohrtouren von 16″ (407 mm) bis 6³/₈″ (162 mm) äusseren Durchmessers, deren innerste bis 436,5 m reichte, und von hier bis 735,39 m ein abgeschnittener 5¼″-Strang. Durchmesser der unverrohrten Strecke: 93 mm von 1159,5 bis 1230,6 m, darunter 65 mm. Zwischen 1216 und 1225 m stak ein Kernrohr.

Die gegenüber dem Gestein und dem Bohrwasser grössere Wärmeleitfähigkeit der Futter- und der 41—42 mm weiten Gestängerohre (mit eingeschlossenen Thermometern) wird die Temperatur der untersten Station, der wichtigsten, oberhalb 1300 m, 140 m unterhalb des Endes der Wandungsrohre, kaum nennenswert beeinflusst haben. An der im übrigen in diesem Zusammenhang besonders interessierenden obersten Station, VI, bei 647 m, war die technisch offenbar einwandfreie Thermometerangabe wenigstens nicht höher — 0,17° ist belanglos —, als was die Rechnung für hypothetische Gleichmässigkeit der Wärmezunahme von der Oberfläche bis zur untersten Station ergibt.

Keine erhebliche Wärmekonvektion in der Dickspülung. Der Spielraum zwischen den Gestänge- und den Futterrohren, bzw. der Bohrlochswandung, war beschränkt. Zum Einlassen der Thermometer wurde bis 1109,35 m Muffengestänge, von da ab, mittels eines Verbindungsstückes, Nippelgestänge eingebaut. Beide hatten einen Durchmesser von 54 mm, die Muffen 89 mm, die Nippel 62 mm. Die wassergefüllten Zwischenräume massen somit nur: in den 108 mm-Futterrohren bis 1109,35 m 26 mm, bzw. 8 mm; bis 1159,5 m 26, bzw. 21 mm; weiterhin bis 1230,6 m 19 mm, bzw. 15,5 mm; schliesslich bloss 5, bzw. 1,5 mm, sofern wenigstens nicht durch Scheuerung und Nachfall das Bohrloch erweitert worden war. Zudem wurden ober- und unterhalb jeder Thermometerstation Lederringe

von Futterrohr- bzw. Bohrlochsweite angebracht. Der Wärmeverschiebung durch die Wasserverdrängung nach oben beim Versenken des Gestänges, das 8½ Stunden gedauert hat, war entgegengesetzt die Abkühlung durch das unten geschlossene Hohlgestänge, das namentlich auch kühlere Luft (über Tag etwa 15° C) mitgebracht hat und zuerst durch kühleres Wasser gegangen ist. Überdies waren die Hülsen samt den Thermometern noch besonders gekühlt worden.

Hätte Wärmekonvektion im lehmigen Bohrwasser stattgehabt, dann unten in kühlendem Sinne. Systematische Beobachtungen in dem 1271 m tief gewordenen Salzbohrloch von Sperenberg S Berlin in den Jahren 1869—1871 haben die unter den dortigen Umständen eingetretene Störung durch Wärmekonvektion gemessen[1]). In 1064 m Tiefe wurde im frei beweglichen Wasser eine um 3,4° C niedrigere Temperatur als in der im Bereich des Thermometers nach oben und nach unten dicht abgeschlossenen Wassersäule abgelesen. In einer andern Tiefbohrung, der von Schladebach im Magdeburgischen, haben in der unterhalb 1240 m unverrohrten Strecke 16 Messungen zwischen 1266 und 1716 m, wobei der Wasserring zwischen der Bohrlochwandung und den Gestängerohren mit den Thermometern nur 3 mm dick war, maximal 0,75° C, durchschnittlich nur 0,17° C niedriger als im abgeschlossenen Raum angezeigt[2]).

Art und Prüfung der Thermometer. In Zehntelgrade eingeteilte Feinthermometer nach Art von Fieberthermometern haben mit ihren langen Graden gegenüber Instrumenten, die nur in ganze oder halbe Grade geteilt sind, den Vorzug relativ geringeren Fadenrückganges im Falle grober Erschütterungen beim Heraufholen der Thermometer aus dem Bohrloch. Sie würden aber Vorausbestellung (bei der Firma Carl Kramer in Freiburg i. B., jeweils für Temperaturabstände von 12°) erfordert haben. Beschafft werden konnten: 1. in 1/1° geteilte Luftblasen-Maximumthermometer, die die Badische Geologische Landesanstalt freundlichst lieh, ein besonders erschütterungsfestes Stück hatte der Berichterstatter bereit; 2. ebenso geteilte Dorn-Thermometer (eingerichtet wie Fieberthermometer) der Thermometerfabrik Kunz & Co. in Zürich; 3. Fieberthermometer. Beste Luftblasenthermometer, mit nur kurzem durch ein Luftbläschen abgetrenntem Fadenende (Lit. 1) sind höchst erschütterungsfest; von den erhaltenen hatte nur eines grosse Festigkeit, ein anderes erwies sich bei der Vorprüfung in Tuggen als nicht mehr maximumanzeigefähig. Zwei Dorn-Thermometer waren stark, die andern schwach. Die Fieberthermometer, für 36—42°, blieben nutzlos, da sie, weil der Betriebsleiter für dieses Bohrloch ungewöhnlich niedrige Wärmegrade annehmen zu müssen glaubte, in übermässige Tiefe eingelassen worden waren. Die Temperaturen waren sogar über Mittel.

Luftblasenthermometer haben zwei Nachteile. Es kann geschehen, dass sie sich verändern, bis schliesslich sogar ihre Maximumanzeigefähigkeit verloren geht; dies namentlich infolge von Erschütterungen, aber auch bei oft wiederholtem Erwärmen. Die das obere kurze Quecksilberendchen vom Hauptfaden trennende Luftblase kann sich nämlich verschieben und verlieren; je länger das Zeigerende und je kleiner gleichzeitig die Luftblase, umso eher. Deswegen behalten auch Prüf-

---

[1]) E. Dunker: Über die Benutzung tiefer Bohrlöcher zur Ermittlung der Temperatur des Erdkörpers und die deshalb in dem Bohrloche I zu Sperenberg auf Steinsalz angestellten Beobachtungen. Zeitschr. f. d. gesamten Naturwissensch. 40, 1872, S. 319—377.

Fr. Hottenroth: Über das Gesetz der Temperaturzunahme etc., Neues Jahrb. f. Min. etc., 1877, S. 607—615.

[2]) E. Dunker: Über die Temperaturbeobachtungen im Bohrloche zu Schladebach. Neues Jahrb. f. Min. etc., 1889, I, S. 29—47.

scheine ihre Gültigkeit nicht. Die Prüfungen müssen vor jedem Gebrauch erneut werden. Sodann ist wiederholt ruckweises statt stetiges Ansteigen der Marke beobachtet worden, gerade bei den festesten Stücken; wobei die Marke über die wahre Temperatur hinausschoss, und zwar nicht nur bei rascher Erwärmung. Bei langsamer Erwärmung, wie sie beim Einlassen in Tuggen gegeben war, ist dieser Fehler, wie viele Kontrollversuche gezeigt haben, offenbar gering; bei der Prüfung der Thermometer dagegen ist die Notwendigkeit sehr langsamer Erwärmung lästig. Die bei der Bohrung unmittelbar vor und nach der Messung vorgenommene vergleichsweise Prüfung der Thermometer unter sich hat sich denn auch als ungenügend erwiesen. So hätten beispielsweise die Korrekturen an der untersten Station zu annähernd gleichen Ergebnissen der beiden dortigen Thermometer geführt, während nach den spätern sorgfältigen Prüfungen zu Hause ein erheblicher Unterschied (1,65°) angenommen werden muss.

Nach den Messungen in Tuggen hatte Herr Prof. Dr. Aug. Hagenbach in Basel die Güte, die 8 Luftblasenthermometer der Badischen Geologischen Landesanstalt in der Physikalischen Anstalt der Universität mit 3 Baudin-Normalthermometern bis zu Temperaturen von 47—50° vergleichen zu lassen; dies geschah unter stetiger Erwärmung von 3—4° in der Viertelstunde. Schliesslich wurden diese und die andern Thermometer in Aarau durch den Schreibenden bei noch langsamerer Erwärmung und bei jeweils gleichen Temperaturabständen bis zu 58° unter sich sowie mit einem grossen in Zehntelgrade geteilten, als normal geltenden Thermometer und einem bzw. zwei „Normal"-Thermometern von Auer & Co., Zürich, verglichen. Für die Auswertung der im Bohrloch gewonnenen Daten sind die Ergebnisse der vollständigen Prüfungen in Aarau benützt worden; die in Betracht fallenden Zahlen weichen bis um höchstens 0,15° von den Befunden der Physikalischen Anstalt ab.

Bei den Dorn-Thermometern war ausserdem die Korrektion für den hervorragenden Faden vorzunehmen, da der hier lange Faden anlässlich der Ablesung jeweilen kürzer gewesen sein musste als in den warmen Tiefen des Bohrlochs. Dieselbe wurde nachträglich daheim ausprobiert. Die Berechnung nach Kohlrausch (Lehrbuch der praktischen Physik) ist in diesem Fall dadurch beeinträchtigt, dass der abgerissene Faden hier in seiner Gänze in Betracht kommt, also auch mit dem unterhalb der Skala liegenden und auf dieser Strecke ungleich weiten Stück. Die Eigentemperaturen, die die Thermometer beim Ablesen in Tuggen gehabt hatten, sind abgeschätzt worden. Zwecks ganz sicheren und genauen Befundes sollten derartige Thermometer mit langem Maximumfaden dreimal, natürlich immer unter Vermeidung von Erschütterungen, abgelesen werden: 1. sofort nach dem Herausnehmen aus der Hülse, 2. nachdem die Thermometer die Temperatur des Ablesungsraumes angenommen haben, wobei diese mit einem andern Thermometer festgestellt wird, 3. eingetaucht in Wasser von etwa 1—3° niedrigerer Temperatur wie die angezeigte, wodurch unmittelbar die hinsichtlich des Fadens korrigierte Temperatur erhalten wird.

Die Beachtung aller dieser Umstände war nicht nur geboten, um die Messungen möglichst auszuwerten, sondern vor allem auch notwendig zur Prüfung der Verlässlichkeit der Thermometerbefunde.

Verpackung und Versenkung der Thermometer. Den Thermometern der Badischen Geologischen Landesanstalt waren auch Eisenhülsen mit einer doppelten Anzahl von Verschlüssen beigegeben. Die Hülsen sind an einem Ende zugeschweisst, am andern mit Schraubendeckel mit Bleidichtung versehen. So konnten unter Zuhilfenahme von Gasrohren noch 4 verschraubbare Hülsen zur Auf-

nahme von je zwei Dorn-Thermometern und von Fieberthermometern an Ort und Stelle angefertigt werden. Die Thermometer waren behufs Federung an den Enden mit weichem vorstehendem Gummischlauch eingefasst, die Dorn-Thermometer ausserdem durch Wergeinlagen in den Hülsen vermehrt gegen Erschütterungen geschützt. Die Hülsen wurden unter Anwendung von Mennige und Hanf im Schraubstock fest verschraubt. Wie sich dann gezeigt hat, erfolgte die Verschraubung nur zu fest, indem das Blei zu weit in die Hülsen gepresst wurde, so dass in einem Fall (Th. Nr. 219) das Thermometer bis zum Abbrechen des Spitzenköpfchens gedrückt wurde und dadurch zu hoch anzeigte, und in dem einzigen Fall (an der untersten Station), wo Dickspülung in das Gestängerohr eingedrungen war, die eine der beiden dortigen Hülsen (Th. Nr. 211) nicht dicht gehalten hat.

Die gefüllten Hülsen wurden in die 41—42 mm weiten Gestängerohre gestellt oder gehängt. Zuunterst war der Gestängestrang durch ein Verschlussstück abgedichtet; über der dritten Station von unten und jeweilen unter und über den höhern Stationen wurden Buchenholzpfropfen in die Nippel oder Muffen geschlagen. Spülwasser fand sich dann nur im untersten, 16 m langen Gestängeabschnitt. mit Ausnahme des dortigen Th. 211 waren alle Thermometer trocken. Im Nippelgestänge der Station III hafteten die Hülsen an den Wänden und unter sich. Wie Herr Scheibe bemerkte, wird Nippelgestänge beim Bohren besonders stark magnetisch. Das Einlassen dauerte 8¾ Stunden.

Wie erwähnt, haben sich die Kramer'schen Eisenhülsen nicht verlässlich genug erwiesen, obschon das versagende, einzig der Probe ausgesetzte Stück nur etwa 2 Atmosphären Wasserdruck ausgesetzt gewesen ist. Der Hauptmangel liegt in zu schmaler Oberkante; auch wäre inneres und, wie Herr Scheibe angeregt hat, konisches Gewinde besser. Ausserdem ist es, wie schon Prof. Koenigsberger beschrieben hat, ratsam, die einzelnen Hülsen in ein gemeinsames äusseres Rohr zu verpacken, wobei auch nochmaliger Schutz gegen Erschütterung angebracht werden kann, was, wie auch unsere Messungen dartun, vor allem wichtig ist. Bohrunternehmungen sollten derartige Einrichtungen und auch Thermometer vorrätig haben, damit jederzeit gegebenenfalls ohne Umstände, einfach, bequem und sicher gemessen werden kann. Wohl die beste, aber auch teuerste Apparatur für Geothermik ist die elektrische der Société de Prospection électrique (Schlumberger), Paris.

Ruhen der Thermometer im Bohrloch: 55½ Stunden.

Das Ausholen der Thermometer geschah mittels des „kleinen Ganges", mit dem ruckweises Anziehn des Gestänges weitgehendst vermieden wurde.

Kontrolle des Messungsvorganges. Einlassen und Ausholen der Thermometer erfolgten in Anwesenheit und unter Mitwirkung von Betriebsleiter K. Scheibe, M. Mühlberg und L. Braun. Der Berichterstatter war während der ganzen Dauer des Ausholens zugegen, wobei auch die Länge des Gestänges nachgemessen wurde. Die Thermometer wurden von allen drei Genannten abgelesen. Das Personal der Bohrung hat beim ganzen Vorgang praktische Umsicht und Sorgfalt walten lassen.

Verlässlichkeit der Thermometerangaben. Der Befund der obersten Station (VI) darf als vollkommen verlässlich gelten. Die geringen Unterschiede der beiden schwachen Dorn-Thermometer gegenüber dem sehr starken Luftblasenthermometer Nr. 1 schliessen es aus, dass dieses bei Erschütterungen auch nur

spurweise zurückgegangen wäre. An der untersten Station (I) ist Th. 211 (54,45°) der Vorzug zu geben. Zwar muss, wegen des teilweisen Eindringens von Wasser aus der im Gestängerohr etwa 16 m gestandenen Dickspülung in die Hülse und infolgedessen der Kompression der Luft in der Hülse, die Quecksilberkugel einem Druck ausgesetzt gewesen sein, der den Faden ein wenig hat auftreiben können. Diese, nach Prof. KOENIGSBERGER auf nicht mehr als etwa ½° zu schätzende Erhöhung dürfte indessen kompensiert sein durch eine mutmassliche leichte Senkung durch Erschütterung während des Heraufholens, worauf die niedrige Angabe 52,80° des etwa dreimal schwächern Th. 207 schliessen lässt. 54,45° wird somit kaum zu hoch ,sondern wesentlich zutreffend sein. Für Station V zeigten die beiden stärkern Thermometer L. 222 und D. II praktisch gleich hoch an (0,1° liegt ja innerhalb der systematischen Fehlergrenzen), und da das schwache D. IV um nur 0,3° niedriger angab, wäre für die beiden andern, deren Mittel 34,9°, wenn überhaupt, dann höchstens eine unbedeutende Erniedrigung anzunehmen. Die Angabe der Station IV, 40,1°, ist relativ hoch, vielleicht aber, da Th. 220 zu den schwächsten gehörte, dennoch etwas erschütterungserniedrigt. Th. 219 der Station III fällt, wegen der früher erwähnten Pressung, ausser Betracht. Das schwache D. I hat offenbar etwas gelitten; vielleicht trifft das auch für die übrigen beiden, mit 48,45° zwar übereinstimmenden Thermometer zu, da die Messung um 1° unter der Temperatur ist, die die Rechnung für den Fall gleichmässiger Temperaturzunahme von oben bis Station I (3,46°/100 m), bzw. zwischen VI und I (3,44%) ergibt. Station III ist diejenige, wo die Thermometerhülsen an der Gestängewandung magnetisch gehaftet haben. Auch das einzige Thermometer der Station II, das ½° unter Mittel geblieben ist, ist möglicherweise etwas abgesunken. Im ganzen dürfen die Ergebnisse als gut bezeichnet werden.

In den folgenden beiden Tabellen sind die Zahlen so, wie sie, bis auf die zweite Dezimale, gemessen und errechnet worden sind, wiedergegeben; dies will natürlich nicht eine so genau gültige Wirklichkeit der Schlussergebnisse besagen.

Tabelle I. Messungsbefunde und Thermometerkorrekturen.

Stelle	Thermometer	Ablesung Celsius	Normal-Korrektur	Ergebnis	Faden-korrekt.	Ergebnis	Bemerkungen
a	b	c	d	e	f	g	h
VI	L 1	32,95	– 0,90	32,05	—	32,05	verlässlich
	D VI	31,70	0,20	31,90	0,20	**32,10**	verlässlich
	D V	31,75	– 0,10	31,65	0,15	31,80	
V	D IV	34,80	– 0,50	34,30	0,30	34,60	
	D III	34,10	0,45	34,55	0,30	34,85	verlässlich
	L 222	34,65	0,30	34,95	—	34,95	verlässlich
IV	L 220	39,45	0,65	40,10	—	40,10	? etwas erschüttert
III	L 218	48,60	– 0,15	48,45	—	48,45	? etwas erschüttert
	L 219	49,95	(0,65)	50,60			gepresst
	D II	47,60	0,35	47,95	0,50	**48,45**	? etwas erschüttert
	D I	47,30	– 0,05	47,25	0,50	47,75	vermutl. erschüttert
II	L 217	50,95	(0,40)	51,35	—	51,35	? etwas erschüttert
I	L 211	53,85	(0,60)	54,45	—	54,45	zieml. verlässlich
	L 207	52,30	(0,50)	52,80	—	52,80	offenb. erschüttert

In der Kolonne b bedeutet L = Luftblasenmaximumthermometer, D = Dorn-Thermometer.

Die (eingeklammerten) Zahlen sind inbezug auf das in Zehntelgrade geteilte Vergleichsthermometer extrapoliert, beruhen aber auch auf Vergleichen mit zwei „Normalthermometern" von Auer sowie mit dem über den grössten Teil der Temperaturstrecke als normal verwertbaren Thermometer 218.

Bei der Berechnung der geothermischen Tiefenstufen ist von den gemessenen, berichtigten Temperaturen die virtuelle Bodentemperatur in 0 m abzuziehen. Für Tuggen ergibt sich diese aus der von der Meteorologischen Zentralanstalt in Zürich als 8,5° angegebenen mittleren Jahrestemperatur der Luft und der Addition von rund 1° als 9,5°. — Unter „Gradient" oder Temperaturgradient wird in der Regel umgekehrt die Temperaturzunahme für die Streckeneinheit verstanden.

Tabelle II. Vergleich der Ergebnisse mit hypothetischer gleichmässiger Temperaturzunahme; geothermische Tiefenstufen.

Stelle		Temperaturen			Geothermische Tiefenstufen Meter			Gebirgsart (und innere Verrohrung)
Nr.	Tiefe und Intervalle Meter	Rechnungen bei gleichm. Zunahme 0 m-I	VI-I	Befund Celsius	0-I	Interv.	VI-I	
a	a	h	i	g	k	l	m	n
0	0	9,5°						
								– 236 m meist plastischer Ton (– 385 m $5^1/_4''$-Rohre) – 641,8 m Mergel mit Sandstein
VI	647,33	31,90°		32,07°	28,68			Harte Mergel
	81,17	2,80°	2,79°	2,83°		28,68		Harte Mergel
V	728,50	34,70°	34,86°	34,90°	28,68		28,68	Harte Mergel
	143,58	4,97°	4,94°	5,20°		27,60		Mergel mit Sandstein
IV	872,08	39,67°	39,80°	40,10°	28,50		28,0	In 41 m Sandstein mit Ölspuren und Mergel
	282,84	9,79°	8,47°	8,35°		30,07		Mergel mit Sandstein – 1050 mehrmals Ölspuren
III	1154,92	49,46°	49,54°	48,45°	29,65		31,10	Zerdrückte Mergel (– 1159,5 m $4^1/_4''$-Rohre)
	68,93	2,38°	2,36°	2,90°		28,72		Meist Mergel
II	1223,85	51,84°	51,90°	51,35°	29,10		29,90	In 26 m Sandstein mit 1 Mergellage
	75,38	2,61°	2,55°	3,10°		30,15		Meist Mergel
I	1299,23			54,45°	28,90		29,12	Mergel

Der Temperaturgradient beträgt: von 0 bis 1299,23 m 3,46°/100 m, von 647,33—1299,23 m 3,44°/100 m.

Eiszeitkorrektion. Zur Eiszeit ist in den von mächtigen Gletschern bedeckten Gebieten der Untergrund bis tief hinab abgekühlt worden; Abkühlungsreste werden als jetzt noch vorhanden angenommen. Diese Reste sind in Rechnung zu ziehen, wenn solche Gebiete hinsichtlich ihrer gegenwärtigen Wärmeverhältnisse mit einst eisfrei gebliebenen oder nur dünn vergletschert gewesenen Gegenden verglichen werden wollen. Herr Professor Koenigsberger hatte die

Freundlichkeit, die umständliche Berechnung für den vorliegenden Bericht durchzuführen. Dabei hat sich (an Hand der glazialzeitlichen Darstellungen von M. MILANKOVITCH, W. SOERGEL, P. BECK u. a.) ein grösserer Abkühlungsrest ergeben, als 1937 in Lit. 4, S. 82 angenommen worden war. Die Werte, die den durch Messung ermittelten Temperaturen zuzuzählen sind, betragen:

bei 0 m	0°	bei 1000 m	5,7°
„ 600 m	4,1°	„ 1300 m	5,8°

Aus den darnach annäherungsweise errechenbaren Zwischenwerten sind in der folgenden Tabelle die Betreffnisse der Grenzlage Diluvium/Oligocaen, 236 m, der obersten Beobachtungsstelle, 647 m, sowie der Stelle mit relativ hoher Thermometerangabe, 872 m, ausgewählt.

Tabelle III. Hauptsächlichste Temperaturen, Gradienten und geothermische Stufen mit Eiszeitkorrektion.

Tiefe Meter	Temperaturen ohne Eiszeitkorrektion	Temperaturen mit Eiszeitkorrektion	Gradienten ab 0 m und Intervalle	Gradienten ab 647 m und Intervalle	Geotherm. Stufen ab 0 m und Intervalle	Geotherm. Stufen ab 647 m und Intervalle
0	9,5°	9,5°				
236	17,73°	19,34°	4,17° 4,14°		24,0 m 24,17 m	
647	32,07°	36,36°	4,15° 3,97°		24,10 m 25,18 m	
872	40,10°	45,29°	4,10° 3,50°	3,97°	24,4 m 28,6 m	25,18 m
1300	54,48°	60,28°	3,91°	3,66°	25,6 m	27,24 m

Schluss. Herr Prof. KOENIGSBERGER erwähnt noch andere Vorgänge und Umstände, die die Wärmeverhältnisse im Untergrunde des Alpenrandes bis in die Gegenwart beeinflusst haben: 1) Erosion mächtiger Gesteinsmassen, 2) Sedimentation der mächtigen Molasse, 3) Aufrichtung der Molasse, 4) verdicktes Sial und Einstellung des damit verbundenen neuen Wärmegleichgewichtes. Aus diesen Momenten ergibt sich noch eine Erhöhung des Wärmegradienten von 39°/1 km auf 40°/1 km bis 1300 m Tiefe.

Nach dem Energieprinzip muss aber, wenn man zuverlässige Schlüsse aus Unterschieden kleiner als 20% ziehen will, vor allem die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine der Hauptstrecke gemessen werden. Dann erst gibt Vergleichung dieses Wertes mit dem aus den gravimetrischen, seismischen und radioaktiven Daten berechneten Werte, zu dem der kleine Rest des Abkühlungsstromes aus der Tiefe zu addieren ist, die Wärmedifferenz, die auf andern Ursachen beruht. Letztere scheint hier recht klein zu sein, da man die Wärmeleitfähigkeit k aus den gemessenen Dichten ungefähr schätzen kann.

Dieser gesamte geothermische Fragenkomplex im allgemeinen soll Gegenstand eines Abschnittes eines Buches sein, das Herr Prof. KOENIGSBERGER in Arbeit hat[3]).

[3]) Geophysical Introduction to tectonics and petrology with special reference to the Swiss Central Alps.

Eine allfällige Abweichung des Bohrloches von der Senkrechten wäre im ganzen vermutlich mässig und würde so nur eine kleine Kürzung der in vertikaler Richtung erreichten Tiefe bedeuten, nämlich selbst bei etwa 10° mittlerer Abweichung bis 1300 m kaum 20 m; die geothermische Stufe wäre dann rund 28 m, bzw. ohne Eiszeitkorrektion rund 25 m.

Die Bohrung von Buix NNW Porrentruy, 1919.

Die ausführliche Beschreibung der vom Verfasser geleiteten Messungen ist 1924 veröffentlicht worden (Lit. 8). 1052,75 m tiefes, mit Chlormagnesiumlauge gefülltes Bohrloch in ziemlich ebenen Schichten. Improvisierte Messung nach vollendeter Bohrung, April 1919. Meereshöhe rund 390 m. Mittlere Jahrestemperatur 8,3°, virtuelle Bodentemperatur in 0 m 9,3°, rund 9°.

Tiefe	Temperatur	Geotherm. Tiefenstufe		Geol. Formation
		von oben	Zwischenst.	
m	Celsius	m	m	
469	33°	19,5		Lias
			14,8	
602	42°	18,2		Keuper
			57,2	
888	47° oder mehr	23,4 oder weniger		Steinsalz der Muschelkalkformation

Die Umstände der Messungen waren ungünstiger als in Tuggen. Während die Ergebnisse der beiden obern Stationen als gut oder ziemlich gut gelten dürfen, ist es nicht ausgeschlossen, dass bei 888 m die Temperatur um mehrere Grade höher gewesen sein könnte. 50° an dieser Stelle würde eine geothermische Tiefenstufe von 22 m und eine nächst höhere Zwischenstufe von etwa 38 m (statt 57) ergeben.

Die Bohrungen von Allschwil W Basel, 1919 und 1926/27.

Bohrung Nr. 1, von 1919, 327,5 m tief, in flachen Schichten (Lit. 8). Die durch P. Christ 1924 mitgeteilten geothermischen Tiefenstufen bedürfen einer Berichtigung, da die virtuelle Bodentemperatur irrtümlich zu 8, statt zu 10,5° berechnet wurde.

Nach Mitteilungen von P. Christ (Lit. 8 und brieflich 1929) geschahen die Messungen nach Abschluss der Bohrung und vor dem Ziehen der Rohre, mit nur 1, in abgedichteten Metallrohr geschützten Thermometer, ohne besondere Schutzmassregeln gegen Wärmekonvektion, nacheinander, mit Unterbrechungen von 1 bis mehreren Stunden; seines Erinnerns sei das Bohrloch leer gepumpt gewesen; mindestens einige Tage vorher sei kein Spülwasser mehr zugefügt worden; die — wie angenommen werden müsse — bei 133 m erbohrte Quelle von 20 Minutenlitern Ergusstärke war schon längere Zeit abgedichtet.

Bohrung Allschwil Nr. 1 (1919).

Erweiterte Tabelle, mit berichtigten geothermischen Tiefenstufen.

Tiefe m	Temperatur Rechnung f. gleichm. Zunahme 3,945%	Celsius Befund	Geotherm. Tiefenst. von oben	Geotherm. Tiefenst. Intervall 142-237 m	Schichtenfolge, Wasser, Bitumen, innere Verrohrung, Bohrverfahren
0	10,5°				– 14 m Lehm, Niederterrassenschotter 132,75—133,2 m harte Schicht mit Quelle
142	16,1°	16,0°	25,88 m		– 171 m Septarienton (und Fischschiefer); Stampien – 200 m Meisel-, dann Kernbohrung – 200,45 m anscheinend Sandmergelkalk „Meeressand", Stampien
203	18,51°	18,0°	27,07 m		– 205 m Süsswasserkalk, Mergel, Sandstein, Conglomerat
240	19,97°	19,6°	26,37 m	25,34 m	– 297 m bunte Mergel mit wenig Kalkconglomerat – 298,10 m 8″-Rohre, dann unverrohrt 204 mm
300	22,33°	20,8°	29,12 m		– 311,70 m Süsswasserkalk, 302,8—306 m teilweise asfaltölimpräg. Eocaen – 321,80 m Mergelkalk, Mergel, Concret.- und Kalkconglomerat, Bohnerz
327		23,4°	25,35 m		– 327,50 m oolith. Kalkstein, Sequan. Endtiefe

Allschwil Nr. 2 (Lit. 9, 10), von 1926/27, 2½ km SW von Nr. 1, Meereshöhe rund 290 m; ebenfalls in vorwiegend mergeligem Tertiär, mit 10° Schichtenfallen, und bis hinab in den Sequan-Kalkstein; 922 m tief geworden. Die Kenntnis einer Temperaturmessung verdanke ich brieflicher Auskunft von Herrn Dr. W. Hotz; sie betrug in 705 m Tiefe 32,9°. Dies ergäbe 31,5 m geothermische Tiefenstufe. Zwischen den beiden Bohrungen müsse eine grosse Verwerfung angenommen werden; Nr. 2 wäre im abgesunkenen NW-Flügel.

Der Grad der Genauigkeit der beiden Allschwiler Messungen bleibt nach dem Angeführten natürlich unbestimmt.

Andere Bohrungen im Rheintalgraben (Pechelbronn und Heidelberger Thermalwasserbohrung 1914/18).

Im Rheintalgraben sind vielfach kleine geothermische Tiefenstufen ermittelt worden. Im Alttertiär des ausgedehnten Pechelbronner Erdölgebietes und dessen Nachbarschaft, nördlich von Strassburg, haben Haas & Hoffmann (Lit. 3) mit nahezu 500 Messungen in zahlreichen Bohrungen Zunahme der Wärme vom nordwestlichen Rand gegen die Grabenmitte hin, weiterhin wieder geringere Abnahme gefunden; die geothermische Tiefenstufe wechsle von 32 bis 6 m.

In der 1022 m tiefen Heidelberger Thermalwasserbohrung von 1914 bis 1918 dagegen, nahe am Ostrande des Rheintalgrabens, hat SALOMON (Lit. 2) im Oligocaen, das dort von etwa 400 m Diluvium und 100 m ähnlich beschaffenem Pliocaen überlagert ist, für 977 m Tiefe, am Unterende der 4¼ Zoll-Rohre, 20 m über der „ruhig im Boden stehenden" Radium-Solquelle, mit drei Thermometern übereinstimmend bloss 36,75° erhalten, was eine geothermische Tiefenstufe von 38,2 m bedeuten würde. Es ist dies das Ergebnis der letzten, meistbetragenden von sechs vom 9. Oktober 1918 (nach der anscheinend anfangs Oktober erreichten Endteufe) bis 14. April 1919 gemachten Beobachtungen. Der anfängliche Befund hatte, wie angenommen wird, bei 976 m nur 29,5° betragen. Im Bereich des Diluviums und des Pliocaens ergaben sich, „anscheinend, bzw. wohl zuverlässig" geothermische Tiefenstufen von 42,5 bis 49,1 m.

Steinsalzbohrung von Zurzach 1913/14.

Steinsalzbohrung von 1913/14 der Schweizerischen Rheinsalinen, dann ab 364 bis 464,24 m Tiefe Versuchsbohrung der Regierung des Kantons Aargau; in den Schulmatten westlich der Stadt; Meereshöhe 344 m; auf Niederterrasse etwa 21 m über dem Rhein; mittlere Jahrestemperatur etwa 8°, virtuelle Bodentemperatur in 0 m 9°. Ganz sanft Süd-geneigte Schichten und Granitunterlage. Im Juni 1914 in zwei Lagen Thermalwasser erbohrt: zuoberst im Buntsandstein (Röt) und, die Hauptquelle, in klüftigem Granit unter Buntsandstein. Kernbohrung ab 303 m (Lit. 11—17, insbesondere 15).

Formationenfolge: Lehm und Schotter bis 5,7 m; Opalinustone 5,7—55 m; Lias 55—90 m; Keuper 90—203 m; Trigonodusdolomit und Hauptmuschelkalk 203—272 m; Anhydritformation mit Steinsalz (331,85—351,69) 272—357,30 m; trockene bituminöse Mergel des Wellenkalks 357,30—403,60 m; (erstes Thermalwasser, 11. VI. 1914), Buntsandstein, im obern Teile mit ganz wenig Mergel 403,60 bis 414,84 m; Muskovitgranit 414,84—416,24 m, thermal verändert, teils kaolinisiert, senkrechte Klüfte mit Kaolin bezogen und grossenteils verquarzt, mit Barytkristallen (Hauptquelle, 19. Juni 1914).

Futterrohre: 500 bis 133 mm Durchmesser — 364,18 m; unverrohrtes, 114 mm weites Bohrloch bis Sohle. Ausflussrohr: von 364,18 m an aufwärts bis etwa 155 m (nach Zeichnung in unveröffentlichtem Profil von C. SCHMIDT) 133 mm, mittels Übergangsstück verbunden mit 203 mm-Rohr, das von etwa 150 m an bis zu Tage führte.

Die Thermentemperaturen wurden im Ausfluss gemessen, oft mehrmals täglich; 25 Angaben liegen vor aus der Zeit 11.—21. Juni 23.—25. und 27. Juli. Jedenfalls 23.—25. Juli geschahen die Messungen in der Weise, dass ein genau geprüftes Thermometer in einer 1 Liter fassenden Flasche etwa 1 m tief in die Quelle gesenkt, die Flasche nach einstündigem Verweilen gehoben und das Thermometer, ohne es aus der Flasche zu nehmen, abgelesen wurde (Bericht des Aarg. Kant. Laboratoriums).

„Nach Aussagen von Augenzeugen quoll das Wasser zirka einen Meter über den Bohrlochrand" (AD. HARTMANN, 1925, S. 314). Es enthielt weder seltene Erden noch eine grosse Menge Mineralstoffe (S. 313).

Ergüsse und Ausflusstemperaturen der Therme Zurzach, 1914.

Datum	Tiefe m	Erguss l/min.	Temperatur C	Anmerkungen
Juni				
11.19 h	404,07	20	25,1	Sandstein feinkörnig, teils etwas locker
12	404,07	20 20 21	25,3 25,3 25,7	
14—16	410,32	24 25 29	27,0 27,2 27,4	Sandstein verkieselt und Sandstein etwas tonig und teils drusig
		24 26 24	27,5 27,5 27,5	
18	413,92	29	27,7	Sandstein rein quarzitisch
19.12 h	416,24		35,8	Muskovitgranit klüftig thermal verändert
19.14 h–21.7 h	416,24	150—200	37,1 zunehmend bis 37,9	
Juli				
23—25	416,24		38,25 38,2 38,25 38,3	Mittel 38,25
27	416,24	250—300	38,2 konstant	Verschliessen des Bohrloches

Die nicht gemessenen Quellentemperaturen in der Tiefe des Borlochs müssen als höher geschätzt werden als die Ausflusstemperaturen, da das Wasser während des Emporsteigens einer Abkühlung ausgesetzt war. Die aus dem Erguss und dem Streckeninhalt berechenbare Ausflussdauer beträgt für 20 l/min. aus 403,6 m Tiefe rund 6 Stunden 50 Minuten, wovon gut 4 Stunden allein auf die obersten 150 m mit Rohrdurchmesser 203 mm entfallen. In der Tiefe wird die Temperatur erheblich höher als 25° gewesen sein. (Zu wenigstens etwelchem Vergleiche sei eine Messung aus Ostgalizien herangezogen. 1912 mass ich an einer Bohrung in Dzwiniacz bei Solotwina, aus der rund 150 l/min. Salzwasser aus 940 m Tiefe überflossen, 35,25° in der Tiefe und nur 26° im Ausfluss, was 1° Wärmeverlust auf rund 100 m Aufstieg ergibt. Zu vollständigerem Vergleiche fehlt jetzt eine Notiz über den Durchmesser des Ausflussrohrs.) 250 l/min. der Hauptquelle dagegen werden nur etwas über eine halbe Stunde bis zum Bohrlochrande gebraucht und nur wenig von ihrer ursprünglichen Wärme verloren haben. Somit wird in der Tiefe der Temperaturunterschied zwischen der schwächern obern und der Hauptquelle wesentlich kleiner als an der Mündung des Bohrloches gewesen sein.

Die Frage, ob das obere Wasser eine besondere Quelle, eine Buntsandsteinquelle, bedeute, oder ob es in Verbindung mit der Hauptquelle gestanden habe, dürfte möglicherweise im zweiten Sinne beantwortet werden, wenigstens zum Teil so. Ein Verbindungsweg wäre seitlich vom Bohrloch denkbar. Chemisch untersucht wurde nur der Hauptausfluss, von beiden aber der Radiumgehalt: obere Quelle 5,56, untere 8,35—9,5 Einheiten (Jahresbericht Aarg. Finanzdirektion pro 1914).

Handelte es sich um getrennte Quellen, dann wäre es fraglich, ob im Ausfluss auch das obere, schwächere Wasser beigemengt war; denn der grosse Druck der Hauptquelle könnte die schwächere am Zufliessen gehemmt haben.

An der Sohle, 416,24 m, mag nach dem Gesagten die Wassertemperatur vielleicht 39—40° betragen haben. Wäre dies auch die in der Umgebung herrschende Felstemperatur, dann ergäbe sich als geothermische Tiefenstufe etwa 13,5 m für 1° C. Der Temperaturüberschuss gegenüber Gegenden mit 30 m Tiefenstufe wäre rund 17°.

Hier sei eine Mitteilung über „ziemlich warmes Wasser" im Tiefbrunnen der Löwenbrauerei in Waldshut festgehalten. 1929 hatte ich mich bei der Badischen

Geologischen Landesanstalt nach der Beschaffenheit des Wassers im Bad Bruckhaus N Gurtweil im Schlüchttal erkundigt. Das Städtische Wasser- und Strassenbauamt Waldshut antwortete am 7. Juni, es handle sich um eine gewöhnliche kalte Quelle von 10° und etwa 2 l/sec., nannte aber ein anderes Warmwasservorkommen: „Die Löwenbrauerei Waldshut hat vor mehreren Jahren auf ihrem Anwesen einen Tiefbrunnen erstellt (Tiefe 90—100 m), der nach Angabe des früheren Besitzers ein ziemlich warmes Wasser lieferte. Dieser vermutete, dass die Wasserwärme hervorgerufen sei durch Zufluss warmen Rheinwassers. Wir halten dies für ausgeschlossen und glauben, dass es sich um eine Beeinflussung des Grundwassers durch eine warme Quelle handelt." Die Stadt Waldshut liegt auf der Rheinterrasse an der Mündung des mit seiner Sohle in den Buntsandstein eingeschnittenen Seltenbachtales, rund 6½ km NW von der Zurzacher Bohrung.

12 km südlich der Zurzacher Therme befinden sich die meist etwa 47°, doch bis 48° warmen 18 gefassten, grossenteils künstlich erschlossenen Thermalquellen von Baden, mit insgesamt rund 800 l/min. Erguss, im Scheitelgebiet der gebrochenen und zerstossenen Muschelkalkantiklinale.

Die Erklärung der hohen Wärme der Zurzacher Therme. Die von Prof. Ad. Hartmann 1937 für Baden und Zurzach aufgestellte und 1942 noch entschiedener vertretene Hypothese einer tiefer vorhandenen Intrusivmasse aus der Zeit, da die Vulkane des badischen Hegaus durchbrachen — das Zurzach nächst gelegene Basaltvorkommen (als Decke auf obermiocaener Nagelfluh) südlich von Riedöschingen ist, in NE-Richtung, 35 km entfernt — könnte wohl möglicherweise zutreffen; wenn auch im Hegau selbst W. Deecke „nie von einer wärmeren Quelle gehört hat" (Geologie von Baden, 1917, S. 735). Genügen könnte aber wohl auch die schon von Deecke (S. 738) bezüglich der Zurzacher Therme geäusserte Vermutung von Zuflüssen aus grösserer Tiefe des Grundgebirges, das im Schwarzwald weithin zu Tage liegt. Allenfalls könnten auch beide Umstände zusammen im Spiele sein.

Leider wurde im Oktober 1914 das Bohrloch von unten bis 362,44 m verstopft.

Dem seither nördlich von der besprochenen Bohrung von der Sodafabrik Zurzach in Ausbeutung genommenen Salzfeld fliesse Wasser auf natürlichem Wege zu; nach Mitteilung von Direktor Dr. Cramer an Prof. Hartmann kommen die Solen aus Tiefen von 300—320 m mit 21,8—22,0° heraus, wobei die der einstigen Thermalquelle nächsten Bohrlöcher die wärmste Sole liefern (Badener Neujahrsblätter 1943, S. 22).

Hauenstein-Basistunnel 1912—1914.

Übernormale Temperatur ist auch im 8135 m langen Hauenstein-Basistunnel während dessen Durchstiches in den Jahren 1912—1914 gemessen worden (Lit. 20). Die wechselnden geothermischen Tiefenstufen können errechnet werden aus dem von A. Buxtorf konstruierten thermischen Profil, in dem die mutmasslichen Isothermenverläufe bis hinauf zur Isotherme 9° eingezeichnet sind. Mögen auch natürlich die Linien der Wirklichkeit nur mehrweniger angenähert sein, so müssen sie doch gerade in der bedeutsamsten Gegend, im südlichen Tafeljura, recht gut zutreffen, da dort der 9°-Isotherme nur kleiner Spielraum bleibt.

Abgesehen von einer lokalen Temperatursenke mit nur 8,9° im Tunnel in dem über 50° aufgerichteten wasserführenden Hauptrogenstein unter der südlichsten hohen Bergflanke, ergibt sich im Faltenjura überall eine unter 30 m bleibende geothermische Tiefenstufe; im Tafeljura verringert sie sich im Keilgraben südlich

der gestauchten Partie des Sprüsel S Zeglingen auf sogar nur 11 m. Im übrigen ist es im Bereiche der zu Tage ausstreichenden, gut leitenden und wasserreichen beiden Muschelkalkkomplexe natürlich, dass in dem über der Tunnelaxe bis 400 m hohen Berge die Tiefenstufe bis etwa 28 m sich erweitert.

In der folgenden Auswahl einzelner Stellen ist die geothermische Tiefenstufe von der 9°-Isothermenlinie an abwärts bis zum Tunnelniveau oder dessen Nähe gerechnet. Der Abstand dieser Linie von der Terrainoberfläche ist nur bei km 2,620 110 m gross, an den andern gewählten Stellen beträgt er nur 50 bis 15 m. Die Formationsangaben beziehen sich auf den Tunnel; in Graden genanntes Schichtenfallen ist immer ein südliches. Die Kilometrierung geht vom Südportal aus. Von 405,5 m ü.M. steigt die Tunnelsohle bis km 6,328 auf 451,7 m Meereshöhe.

km ab S.P.	Gegend	Geol. Formation und Lagerung; Wasserführung	Geotherm. Stufe
0,7	Plateau Wilenmatt	Effinger-Schn. 13° fall.	120 m/6° = 20,0 m
1,38	Dottenberg S-Hang	Hauptrogenstein 52°; Quellen; Tunnel 8,9° C	
1,5—1,65	Dottenberg S-Hang	Bajocien und Opalinuston 52°; quer zu Schichtung und Bergflanke ist die thermische Stufe.	16 m
2,1	Dottenberg N-Hang	Muschelkalk 60°; viele Quellen . . .	370 m/13° = 28,4 m
2,62	S Burgfluh	Keuper 20°; 25,6° höchste Temperatur im Tunnel	290 m/16° = 18,1 m
3,1	Burgfluh W-Hang	Dolomit unter Muschelkalk 25°; N-Ende 180 m langer Strecke mit Quellen, die Quellen in Rohr, 4 km ENE Tunnel, abzapfen	310 m/11° = 28,2 m
4,5	Tal S Zeglingen	Callovien-Mergel unter Malm, in Keilgrabenbruch, und Miozän flach . .	110 m/10° = 11,0 m
4,8	SW Zeglingen	Hauptrogenstein gestaucht, mit Quellen, die 1. Quelle in Eichhalde N Läufelfingen, 3 ½ km WSW Tunnel, versiegen lassen	105 m/7° = 15,0 m
5,5	W Zeglingen	Hauptrogenstein unter Ob. Dogger, Unterm Malm und Miozän, flache Mulde	110 m/6° = 18,3 m

Bei etwa Tunnelkilometer 5,5 zieht die Verbindungslinie der beidseitig des Zeglinger Tales vorhandenen gegenwärtigen Stirnränder des über den Tafeljura übergeschobenen Faltenjura durch.

Die sicherlich kleinen geothermischen Tiefenstufen kennzeichnen die Tunnelgegend bei den sehr wahrscheinlich hohen Wärmeleitfähigkeiten als einen Wärmebezirk. Er gehört zu dem Thermalgebiet, dessen östlichste bekannte Manifestation die Thermen von Baden sind. Nur etwa 2¼ km ENE der Tunnelaxe treten die bis 15,8° C warmen Subthermen des Lostorfer Bades aus.

Weissenstein-Tunnel 1904—1906.

Im bloss 3698 m langen, vom Südportal bis km 3,513 von 658 m bis 722 m Meereshöhe ansteigenden, 1904—1906 durchgestochenen Weissenstein-Tunnel war, bei wahrscheinlich nicht grösserer Wärmeleitfähigkeit k, eine viel grössere Abkühlung als im Hauenstein-Basistunnel gefunden worden. Dies war offenbar insbesondere eine Folge der grösseren Höhe und Steilheit des Berges über der Tunnellinie, der steileren Schichtenstellung und dadurch bewirkten höheren k,

sowie der noch viel reichlicheren Wasserführung (Lit. 18). Im eigentlichen Gebirgsteil misst schon die kleinste geothermische Tiefenstufe 70 m. (Quer zu den Isothermenlinien und zur Bergflanke gemessen, beträgt in den mächtigen Opalinustonen des Südschenkels mit kleinerer k (wie alle Tone) des Kerns der Rötifluh-Falte die thermische Stufe allerdings bloss, bzw. immerhin noch 43 m.)

Grenchenberg-Tunnel 1911—1914.

In dem 8 km WSW des Weissensteintunnels den Grenchenberg und den Graitery querenden 8565 m (bzw. 8578 m) langen, von 484 m ü.M. bis 545 m ü.M. (Kulmination 3901 m ab Nordportal) ansteigenden Tunnel sind während des Durchstichs 1911—1914 die Kerne dieser beiden hochaufgewölbten und höchst wasserreichen Falten nicht nur absolut, sondern auch relativ wärmer befunden worden (Lit. 19). Die geothermische Tiefenstufe ist in der in sich überschobenen Grenchenberg-Falte, in der die schützenden Opalinustone doppelt so hoch wie im Weissenstein über den Tunnel sich erheben, 58 m, im Graitery 68 m. Über die Temperaturverhältnisse aber, wie sie unter abkühlungsgeschützteren Umständen in der Gegend herrschen würden, belehren unmittelbarer einigermassen die Befunde in den flacheren, niedrigeren Portalstrecken: beidseitig verkleinert sich die Stufe für 1° C auf etwa 15 m, also auf ein ähnliches Verhältnis wie in den flacheren Strecken des Hauenstein-Basistunnels!

Pregny N Genf 1833.

Die älteste bekannte Erdtemperaturmessung in einem Bohrloch in der Schweiz ist die von 1833 in einer 204,6 m tiefen vergeblichen Wasserbohrung in Molasse in Pregny N Genf, mit Bodenoberfläche 90 m über dem Seespiegel. Es wurden wiederholte Messungen in verschiedenen Tiefen in dem bis mindestens 11 m unter Tag mit schlammigem Wasser gefüllten Loch durchgeführt. Aus den zu gleichmässiger Temperaturzunahme passenden Daten — widersprechende haben die Autoren (Lit. 21) als offenbar fehlerhafte eliminiert — lässt sich als geothermische Tiefenstufe (204 m—30 m)/(17,125°—10,937° C) = 28 m ableiten.

Schweizerhall E Basel 1838.

1838 leitete P. Merian (Lit. 22) Messungen im 125,5 m tiefen Salzbohrloch 2 von Schweizerhall E Basel. 13,75° C in 124,2 m Tiefe würde bei 10° virtueller Temperatur in 0 m die Tiefenstufe 33 m ergeben. Doch erlauben die bei so kleiner Strecke relativ gross werdenden Ungenauigkeiten keine gut verlässliche Zahl.

Literatur.

Allgemeines:

1. Joh. Koenigsberger & Max Mühlberg: Über Messungen der geothermischen Tiefenstufe etc. Neues Jahrb. für Min. etc., Beilageband XXXI, S. 107—157, 1911.
2. W. Salomon: Die Erbohrung der Heidelberger Radium-Sol-Therme und ihre geologischen Verhältnisse. — Abhandl. Heidelberger Akademie der Wiss., Math.-nat. Kl. 14. Abh., 1927.
3. J. O. Haas and C. R. Hoffmann: Temperature Gradient in Pechelbronn Oil-bearing Region. Bull. Amer. Ass. Petroleum Geologists, Vol. 13, No. 10, 1929, S. 1257—1273.

4. J. G. Koenigsberger: Geothermische Messungen in Bergwerken und Übersicht über die Ergebnisse der Geothermik. „Beiträge zur angewandten Geophysik" Bd. 7, Heft 1 (1937), S. 68—83. (Die Mitteilungen über die Bohrungen in der Schweiz sind, in der Kürze, teils mangelhaft wiedergegeben.)
5. N. Oulianoff: Mesures géothermiques dans les puits de forage. Verhandlungen der Schweizer. Naturforsch. Ges. 1941, S. 101—102. (Ohne Nennung der in Cuarny bei Yverdon und in Servion bei Lausanne vorläufig gemessenen Temperaturen.)

Siehe auch die Fussnoten auf S. 21.

Zu Tuggen:

6. J. Früh: Geographie der Schweiz, II. Band, S. 222/3, 1931.
7. Jakob Grüninger: Vom Werden unseres Heimatbodens. Jahrb. des kant. Lehrervereins St. Gallen, Nr. 23, 1938, S. 75—110, Selbstverlag des Vereins. U. a. mit Einzelheiten über die Bohrung Tuggen.

Zu Buix und Allschwil:

8. C. Schmidt, L. Braun, G. Paltzer, M. Mühlberg, P. Christ & F. Jakob: Die Bohrungen von Buix bei Pruntrut und Allschwil bei Basel. Beitr. z. Geol. d. Schweiz, Geotechn. Serie, X, 1924.
9. W. Hotz: Das Profil der neuen Bohrung von Allschwil bei Basel. Eclogae geol. Helv., Vol. 21, S. 90—91, 1928.
10. A. Buxtorf: Das Gebiet der Rheintalflexur. Ebendort S. 93—96 und Tafel IV.

Zu Zurzach:

11. Unveröffentlichte Berichte von Prof. C. Schmidt und des Chemischen Laboratoriums des Kantons Aargau, 1914.
12. Finanzdirektion des Kantons Aargau: Jahresbericht pro 1914, S. 15—18.
13. W. Deecke: Geologie von Baden, II. Teil, 1917, S. 735 und 738.
14. Fritz Bader: Beiträge zur Geologie des nordöstlichen Tafeljura zwischen Aare und Rhein. Dissertation, Zürich, Druck der Genossenschaftsdruckerei, 1925.
15. Ad. Hartmann: Die Mineral- und Heilquellen des Kantons Aargau. Mitt. Aarg. Naturf. Ges., Heft 17, 1925, S. 255—320.
16. Ad. Hartmann: Zur Kenntnis der Thermen von Baden. Mitt. Aarg. Naturf. Ges., 20, 1937, S. 112—136.
17. Ad. Hartmann: Natur und Herkunft der Therme von Baden. Badener Neujahrsblätter 1943, S. 3—27. Buchdruckerei A.G. Baden, 1942.

Zu Jura-Tunnel; erste Erdwärmemessungen in der Schweiz:

18. A. Buxtorf, E. Künzli & L. Rollier: Geologische Beschreibung des Weissensteintunnels. Beitr. z. geol. Karte d. Schweiz, 51, 1908. S. 124—147. Darin E. Künzli: Temperaturen und Wasserverhältnisse; Tafeln IV—VI.
19. A. Buxtorf & A. Troesch: Geologie des Grenchenbergtunnels mit Berücksichtigung der hydrographischen und thermischen Verhältnisse und der Tunnelbeben. Schlussbericht der Berner Alpenbahn-Gesellschaft Bern-Lötschberg-Simplon, S. 49—60, Tafeln 19 und 20; Bern 1917.
20. E. Wiesmann: Der Bau des Hauenstein-Basistunnels Basel-Olten. Denkschrift im Auftrage der Julius Berger Tiefbau Akt.-Ges., Berlin und Bern 1917. Darin Geologie, Wasser und Wärme: S. 8—14, Tafel IV von A. Buxtorf.
21. Aug. de la Rive et F. Marcet: Quelques observations de physique terrestre faites à l'occasion de la perforation d'un puits artésien, etc. — Mémoires de la Soc. de Phys. et d'Hist. nat. de Genève, 6, 1833, Genève 1834, p. 503—528, mit stratigr. Profil (Pregny).
22. P. Merian: Bestimmung der Erdwärme durch Beobachtungen in dem Bohrloche bei der Saline Schweizerhall. Verhandl. d. Schweiz. Naturf. Ges., Basel 1838, S. 72—79.

Manuskript eingegangen den 1. Juni 1943.