

## II. Abhandlungen.

### Beobachtungen über die Zunahme der Erdtemperatur, angestellt im Bohrloch zu Sulz am Neckar.

Von F. Braun und K. Waitz.

1) Die Ermittlung der Temperaturveränderung mit dem Eindringen ins Innere der Erde hat ein theoretisches und ein praktisches Interesse. Theoretisch ist es für die Erkenntnis der Vergangenheit und Zukunft unseres Planeten von grösster Wichtigkeit, über dessen jetzige Wärmeverteilung etwas zu wissen, und praktisch wird die Frage bei jedem Tunnelbau von Bedeutung, dessen Ausführbarkeit zur Voraussetzung hat, dass im Innern des Berges die Temperaturen nicht höher werden, als sie arbeitende Menschen zu ertragen vermögen. Die Bestimmung der geothermischen Tiefenstufe (d. h. der Anzahl von Metern, die man in dem Bohrloche hinabsteigen muss, um 1° C. Temperaturzunahme zu erhalten) wird freilich nicht direkt für die Temperaturberechnung in Tunnels verwendbar sein; denn man weiss, dass unter freistehenden Bergen die Isothermen von je 1° Temperaturdifferenz viel weiter auseinander liegen als in der Ebene, und die Temperatur von der Oberfläche eines Berges senkrecht nach innen also dort viel langsamer steigen wird als in einem in einer Ebene vertical getriebenen Bohrloch. Immerhin gibt sie Grenzwerte; daneben bleibt das theoretische Interesse bei den Messungen übrig und die Frage, ob und wie weit die Bestimmungen in verschiedenen Formationen untereinander übereinstimmen. Auch ist zu erwarten, dass jede neue Versuchsreihe die Methodik verbessert und somit wieder späteren Messungen zu gute kommt. Man sollte daher keine der ja nicht gerade sehr häufigen Gelegen-

heiten unbenutzt lassen, die im praktischen Interesse mit Aufwand erheblicher Summen hergestellten Bohrlöcher auch nach dieser Seite hin auszunützen, und wir sind deshalb gerne auf den Vorschlag des Herrn Bergratdirektors Dr. v. BAUR eingegangen, durch Temperaturmessungen im Bohrloche zu Sulz a. N. einen Beitrag zu der obigen Frage zu liefern. Die Mittel wurden vom Königl. Finanzministerium in dankenswerter und liberalster Weise zur Verfügung gestellt, während der Königl. Bergrat uns mit dem nötigen tüchtigen Personal unterstützte.

2) Ehe wir zu den Messungen selbst übergehen, wollen wir eine kurze Übersicht der früheren Erfahrungen und Beobachtungsmethoden geben.

Die Beobachtungen zerfallen der Örtlichkeit nach in 4 Gruppen und zwar wurden sie angestellt

- 1) in Tunnels,
- 2) in Brunnen,
- 3) in Bergwerken,
- 4) in Bohrlöchern.

Die in Tunnels und Brunnen vorgenommenen Untersuchungen werden mit unserer Messung wegen der sehr verschiedenen äusseren Umstände nur wenig vergleichbar sein. Dasselbe wird für die Beobachtungen in Bergwerken gelten, da solche meist erst lange Zeit nach Fertigstellung und Inbetriebsetzung der Grube angestellt wurden, wobei Ventilationseinrichtungen u. dgl. die Wärmeverhältnisse verschoben haben können. Möglichst wenig werden die ursprünglichen Temperaturen in Bohrlöchern geändert sein, und nur diese bleiben zu näherer Vergleichung mit unseren Ermittlungen übrig. Die Messungen in solchen wurden entweder mit langsam wirkenden Thermometern gemacht, d. h. solchen, bei denen das Quecksilbergefäss mit schlechten Wärmeleitern (Talg, Stearin etc.) umgeben war, oder besser mit Maximalthermometern, bei deren Benutzung also schon ein beständiges Steigen der Temperatur mit der Tiefe vorausgesetzt wird. Diese Instrumente hatten meist entweder die ihnen von NEGRETTI oder von MAGNUS gegebene Form; die letztere ist fast ausschliesslich in Deutschland und auch bei unseren Messungen angewandt worden und wird später genauer beschrieben werden. Eine von BECQUEREL angegebene thermo-elektrische Methode erwies sich bei irgend beträchtlichen Tiefen als nicht brauchbar; auch wurde sie von BECQUEREL selbst nur bis zu Tiefen von 100 Fuss benutzt.

3) Bei solchen Beobachtungen fälschen nun, wenn auch die Thermometer gut und sicher funktionieren, besonders folgende Ursachen das Beobachtungsergebnis.

Es kann in dem Bohrloch noch Wärme von der Bohrarbeit stecken, und deshalb ist es nötig, erst einige Zeit nach Ausführung der Bohrung die Temperatur zu bestimmen. Dann ist es möglich, dass in dem durchbohrten Gestein durch chemische Wirkungen an einzelnen Stellen Wärme erzeugt wird, die als rein lokal nicht erlaubt, die von solchen zufälligen Umständen freie isothermische Tiefenstufe zu messen und so die Lösung der Aufgabe überhaupt unmöglich macht. Endlich sucht die Cirkulation der Luft und viel mehr noch die des fast stets im Bohrloch vorhandenen Wassers eine Ausgleichung der Temperaturen zu bewirken. Dadurch wird die Temperatur auf dem Boden des Bohrlochs zu tief, die Temperatur der oberen Schichten zu hoch werden. Eine solche Cirkulation geschieht um so langsamer, ist also um so weniger schädlich, je enger das Bohrloch, oder je mehr man dasselbe durch künstliche Mittel während der Beobachtung verengt. Am besten wäre es natürlich, wenn man die Cirkulation ganz aufhobe, wie es bei den Versuchen zu Sperenberg, Schladebach etc. geschehen ist. Dort hatte man durch Stopfen eine kleine Wassersäule des Bohrlochs abgeschlossen, in deren Mitte sich das Thermometer befand. Dadurch soll diese Wassersäule die Temperatur des umgebenden Gesteins annehmen, was auch nach hinreichend langer Zeit geschehen wird. Allerdings bleibt es dabei immer noch fraglich, ob das umgebende Gestein nicht selbst schon durch den Einfluss der früheren Wasserströmung auf andere Temperatur als vor der Bohrung gebracht war. Den Einfluss der genannten Vorsichtsmassregeln für weitere Bohrlöcher zeigen die Versuche zu Sperenberg deutlich. Dort wurde in einer Tiefe von 3390 Fuss ohne Wasserabschluss  $33,75^{\circ}$  R., nach Wasserabschluss  $36,55^{\circ}$  R. beobachtet, während in dem engen Schladebacher Bohrloch die von der Wassercirkulation abgeschlossenen oder derselben frei zugänglichen Thermometer nur geringe (stets nur einige Zehntelgrade betragende) Temperaturunterschiede aufwiesen. Man hat auch die Wasserströmung dadurch zu verhindern gesucht, dass man das Bohrloch bis zu einer gewissen Höhe mit Lettenschlamm ausfüllte und dann in der obersten Schichte des Schlammes die Temperatur mass; so z. B. in dem oberen Teile des Schladebacher Loches, das man in der Tiefe von 426 m durch einen Pfropf gegen unten abschloss, auf den man dann Schlamm füllte. Dies Mittel würde, wenn die Zeit

zwischen dem Einfüllen des Schlammes und der Beobachtung lang genug ist, so dass der Schlamm die Temperatur des Gesteins annehmen kann, mit am besten den gewünschten Zweck erreichen lassen.

4) Ausser diesen in der Natur selbst liegenden Schwierigkeiten sind aber auch die angewandten Apparate oft geeignet Fehler zu erzeugen, deren Grösse schwer oder gar nicht übersehen werden kann. Fast stets finden sich in den Bohrlöchern während der Temperaturmessungen von der Bohrarbeit stammende beträchtliche, die Wärme gut leitende Metallmassen: eiserne Röhren und Gestänge, die von der Mündung des Loches in grosse Tiefe hinabreichen und z. B. in Schladebach sogar bis zum Boden des Loches führten. Dadurch wird selbstverständlich auch eine Ausgleichung der Temperaturen in verschiedenen Tiefen hervorgerufen, die man wenigstens zum Teil zu vermeiden suchte, indem man nicht an verröhrten Stellen des Bohrlochs, sondern im freien Gestein die Messungen vornahm. Wie gross der so vermiedene Einfluss der Verröhrung ist, hängt von den lokalen Verhältnissen ab. In Schladebach z. B. gaben Beobachtungen in der Verröhrung und nach Herausnahme derselben für die gleiche Tiefe Abweichungen von im Maximum  $0,9^{\circ}$  R. Da aber dort auch nach Entfernung der Röhren noch Gestänge zu den Thermometern führte, ist ein Schluss auf den Fehler, welchen solche Metallmassen bewirken, aus den so beobachteten Abweichungen nicht möglich. Dort ergaben nämlich die Messungen im Lettenschlamm und in der Verröhrung im Maximum nur Unterschiede von  $0,9^{\circ}$  R.

5) Die Thermometer selbst sind natürlich vor dem Druck, den das im Bohrloch befindliche Wasser auf sie ausübt, zu schützen, damit ihre Gefässe nicht zusammengepresst und so ganz falsche Ablesungen gemacht werden. Das geschah meist, indem man sie in eiserne, fest verschraubbare und gegen den Wasserdruck dicht haltende Cylinder oder in zugeschmolzene Glasröhren einschloss. Benützte man nun Ausflussthermometer wie das MAGNUS'sche (oder ähnliche), so hing die Genauigkeit der Ablesung noch wesentlich von der Grösse des Tropfens ab, der aus dem Thermometerrohr hervortretend abfiel. Denn fast bei jeder Bestimmung wird, wenn das Instrument die Temperatur seiner Umgebung angenommen hat, ein grösserer oder kleinerer Tropfen herausragen, der sich wieder in die Röhre zurückzieht, wenn das Thermometer beim Heraufholen in kältere Schichten kommt. Dieser Fehler wird um so geringer sein,

je kleiner der Tropfen zu werden braucht, um abzufallen. Bei den sorgfältigen Messungen zu Schladebach erreichte der austretende Tropfen vor dem Abfallen noch Grössen, die  $1\frac{1}{2}$ — $2^{\circ}$  R. entsprachen, und man suchte dort diesem Übelstande abzuhelfen, indem man gleichzeitig mehrere thermometrische Ausflussröhrchen benutzte und aus ihren Temperaturangaben das Mittel nahm. Besser wäre es natürlich, wenn es gelänge, den Wert der Tropfengrösse bedeutend kleiner zu machen, wie das in der That bei unseren Beobachtungen der Fall war.

6) Bei den früheren Untersuchungen, insbesondere bei den eingehenden und vorsichtigen zu Sperenberg und Schladebach hat man grossen Wert darauf gelegt, in möglichst vielen verschiedenen Tiefen Beobachtungen anzustellen; man hat z. B. in Schladebach von 30 zu 30 m Abstand gemessen und dann die Beobachtungen nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet. Überblickt man aber die Reihe der Temperaturzunahmen für je 30 m, aus denen so das Gesamtergebn abgeleitet ist, so findet man, dass sie für Schladebach im unverröhrten Teile des Bohrloches zwischen  $0,1$  und  $1,1^{\circ}$  R., für Sperenberg zwischen  $1,18$  und  $0,18$  schwanken, was wohl zum Teil den Fehlern in den Beobachtungsinstrumenten, zum Teil lokalen Verhältnissen im Bohrloch zuzuschreiben ist. Die Theorie der Wärmeleitung verlangt aber, falls ein stationärer Zustand vorausgesetzt wird, dass wenn das Leitungsvermögen der Gesteine dasselbe ist, auch die Tiefenstufe denselben Wert behält, und auch die Diskussion der Sperenberger und Schladebacher Messungen hat wesentlich diese Forderung der Theorie bestätigt. Es erscheint danach zweckmässiger, wenn lokale Verhältnisse nicht interessieren, sondern man lediglich die geothermische Tiefenstufe ermitteln will, statt der Beobachtungen in so vielen verschiedenen Höhen bloss an einigen wenigen, aber weit auseinander gelegenen Punkten des Bohrlochs zu beobachten und auf diese wenigen Bestimmungen alle Sorgfalt zu verwenden. Das ist denn bei unseren Versuchen auch geschehen.

7) Der Wert dieser Tiefenstufe ist bisher ausserordentlich verschieden angegeben worden, wie die nachstehende Übersicht zeigt, die von dem Comité der British Association zur Untersuchung der Tiefentemperaturen 1882 zusammengestellt wurde<sup>1</sup> und der einige neuere Beobachtungen angefügt sind.

<sup>1</sup> Nature vol. 26. p. 590. 1882.

Ort.	Tiefe in Meter	Tiefenstufe in Meter für 1° C.		
Bootle, Wasserwerk Liverpool . . . . .	434,1	71,3		
Przibram, Minen. Böhmen . . . . .	579,1	69,1		
St. Gotthard, Tunnel . . . . .	1700,1	44,99		
Mont Cenis, Tunnel . . . . .	1609,3	43,34		
Talargoch, Bleiminen. Flint . . . . .	317,3	43,89		
Nook Pit, Kohlengrube	} östlich von Manchester gelegene Kohlengegend {	}		
Bredburg, „			320,0	43,34
Ashton Moss, „			310,9	43,07
Denton, „			850,4	42,25
Astley Pit, Dukinfield			401,4	42,25
Schemnitz, Mine, Ungarn . . . . .	822,9	39,50		
Scarle, Bohrloch, Lincoln . . . . .	417,0	40,60		
Scarle, Bohrloch, Lincoln . . . . .	609,6	37,86		
Manegaon, Bohrloch, Indien . . . . .	94,5	37,31		
Pontypridd, Kohlengrube, S.-Wales . . . . .	260,6	41,70		
Kingswood, „ Bristol . . . . .	539,2	37,31		
Radstock, „ Bath . . . . .	188,9	34,02		
Paris, Artesischer Brunnen bei Grenelle . . . . .	399,9	31,26		
„ „ „ „ St. André . . . . .	253,0	30,72		
„ „ „ „ der Militärschule . . . . .	173,1	30,72		
London, „ „ „ Kentish Town . . . . .	335,3	30,17		
Rosebridge, Kohlengrube, Wigan . . . . .	745,2	29,63		
Jakoutsk, Gefrorener Boden, Sibirien . . . . .	164,6	28,53		
Sperenberg, Bohrloch, Berlin . . . . .	1064,3	33 *		
Seraing, Kohlengrube, Belgien . . . . .	505,0	27,43		
Monkwearmouth, Kohlengrube, Durham . . . . .	482,8	38,41		
South Hetton, „ „ . . . . .	601,6	31,55		
Boldon „ „ . . . . .	461,6	26,88		
Whitehaven „ Cumberland . . . . .	381,0	24,69		
Kirkland Neuk, Bohrloch, Glasgow . . . . .	107,9	29,08		
Blythswood, „ „ . . . . .	105,8	27,43		
South Balgray, „ „ . . . . .	160,0	22,49		
Anzin, Kohlengrube, Nord-Frankreich . . . . .	200,6	25,79		
St. Petersburg, Brunnen . . . . .	199,9	24,14		
Carrickfergus, Schacht einer Salzmine, Irland . . . . .	234,7	23,59		
„ „ „ „ „ „ . . . . .	173,8	21,95		
Slitt Mine, Weardele, Northumberland . . . . .	201,2	18,65		
Sennewitz, Bohrloch, Halle . . . . .	1084	36,66		
Lieth, „ Holstein . . . . .	1259	35,07		
Sudenburg, „ bei Magdeburg . . . . .	568	32,36		
Schladebach, „ Kreis Merseburg . . . . .	1716	36,87		

\* Nach der Berechnung der Beobachtungen durch Henrich: Neues Jahrbuch für Min. etc. Jahrgang 1876. S. 723.

Diese sehr verschiedenen Resultate verdienen freilich auch sehr verschiedenes Vertrauen und sind untereinander grossenteils nicht vergleichbar. Berücksichtigt man nur die in Bohrlöchern ausgeführten Messungen, so erhält man als Grenze für die Tiefenstufe 22 bis 38 m; und wenn man nur Beobachtungen benutzt, die aus Bohrlöchern von über 500 m Tiefe stammen, 32—38 m. Besonderes Gewicht wäre man wohl geneigt, auf das zu Schladebach gewonnene Ergebnis zu legen, wo (abgesehen von Tunneln) die Versuche in sonst nie erreichten Tiefen angestellt wurden. Auch konnte man dort die in Sperenberg gewonnenen Erfahrungen und Methoden benützen, die zum erstenmal genauer den Einfluss der Wassercirkulation kennen gelehrt hatten. Dagegen spricht der Umstand, dass die Schladebacher Beobachtungen fast den grössten Wert (36,87 m) der Tiefenstufe unter allen in Bohrlöchern angestellten Messungen ergeben dafür, dass dort wohl lokale Verhältnisse nicht übersehbare Einflüsse geübt haben. Besonders aber scheinen die grossen Metallmassen (Verröhrungen und Gestänge) bei diesen sorgfältigen Versuchen wärmeausgleichend gewirkt und so die Tiefenstufe vergrössert zu haben.

8) Wollte man nun durch neue Versuche die geothermische Tiefenstufe in einem Bohrloch, in dessen Gestein, wie in dem unserigen, keine chemischen Veränderungen vor sich gehen, ermitteln, so handelte es sich nach dem bisher Gesagten wesentlich darum, folgende Bedingungen zu erfüllen:

- 1) Die Bohrung selbst musste geraume Zeit vor den Temperaturmessungen vorgenommen worden sein.
- 2) Das Bohrloch durfte nicht sehr weit sein, damit die Wasserströmung in ihm durch Reibung möglichst gehindert war. Ob diese Strömung noch die Beobachtungen fälschte, musste durch Kontrolleversuche festgestellt werden, indem man sie erschwerte und untersuchte, ob sich dadurch die Temperatur an dem Beobachtungsort änderte.
- 3) Grössere Metallmassen (Röhren, Gestänge) durften nicht bis zu dem Ort der Messung führen.
- 4) Man musste endlich Instrumente benutzen, deren Fehler (Tropfengrösse) möglichst klein sind und mit diesen in einigen genau bestimmbaren Tiefen die Messungen anstellen.

Inwieweit die genannten Bedingungen bei unseren Versuchen sich haben erfüllen lassen, wird die nachstehende Beschreibung ergeben.

9) Die Bohrungen geschahen zu Sulz am Neckar, das in einer Meereshöhe von 439 m unter  $8^{\circ} 36'$  östlicher Länge von Greenwich und unter  $48^{\circ} 22'$  nördlicher Breite liegt. Es wurde auf Steinkohlen gebohrt, und die Arbeiten begannen am 3. Juni 1888. Man erreichte mit dem Bohrmeissel 30. Januar 1889 die Tiefe von 451 m. Nach den erforderlichen Vorbereitungen bohrte man von hier ab, am 20. Februar 1889 beginnend, bis zum 16. April 1889 mit dem Diamanten und erreichte eine Tiefe von 703,8 m. Die Fortsetzung des Versuches geschah ebenfalls mit Diamantkrone vom 10. November 1889 bis zum 1. Februar 1890, wo man bis zu einer Tiefe von 901 m gelangte. Dabei wurden durchbohrt:

Alluvium und Diluvium des Neckarthales . . . . .	5 m
Mittlerer und unterer Muschelkalk (Anhydrit und Wellenkalk)	71 „
Bunter Sandstein und Totliegendes (Zechstein fehlt) .	754 „
Schramberger Schichten, Kersantit und Gneiss . . . . .	71 „

Mit 3,5 m unter Tag stellte sich Wasser ein, und dies blieb der Wasserstand bis zur Beendigung der Bohrarbeit. Ein starker Wasserzufluss war nicht zu beobachten und stammt alles Wasser ohne Zweifel aus den obersten Schichten, dem Kies und Sand des Neckarthales. Nach Beendigung der Bohrarbeiten fiel das Wasser allmählich und stand zur Zeit der Temperaturmessungen etwa 120 m unter Tag. Verröhrungen befanden sich bis zu 574,8 m Tiefe im Bohrloch, von da ab war das Loch unverröhrt. Die lichte Weite der achten von 452—574,8 m reichenden Röhrentour betrug 108 mm. Der Durchmesser der Bohrkrone war 75 mm, so dass also dies auch etwa die Weite des unverröhrten Teiles des Bohrlochs sein wird.

10) Die Temperaturmessungen geschahen zwischen dem 2. und 21. Juni 1890, doch hatte das Bohrloch durch Schlammabsetzung aus dem es füllenden Wasser damals nur noch eine Tiefe von 881 m. Sie wurden nur im unverröhrten Teile des Loches vorgenommen, und alle Apparate liess man dabei an einem einzigen dünnen Metalldraht hinab.

Es ergibt sich sonach, dass die Bedingungen unter 1 und 3 erfüllt waren. Auch die Weite des Bohrlochs war, wie es die zweite Bedingung verlangt, nicht gross und die Kontrolle über die Wirkung der Wassercirkulation ergab für dieselbe keinen merklichen Einfluss. Um diese Prüfung vorzunehmen, wurde auf den Rat von Herrn Bergratsdirektor Dr. v. BAUR nach einer Temperaturmessung im freien Wasser des Bohrlochs über und unter dem das Thermometer einschliessenden Gefäss je eine grosse Bürste (ähnlich wie Bürsten



für Reagensgläser) befestigt, die 2 m lang war und deren runder Querschnitt 100 mm betrug, also das Bohrloch unterhalb der Verrohrung vollständig ausfüllte. Liess man das mit den Bürsten versehene Instrument wieder bis zu der Tiefe, wo vorher gemessen worden war, hinab, so fand sich jedesmal fast genau dieselbe Temperatur, wie ohne die Bürsten. Danach kann auch Bedingung 2 als erfüllt angesehen werden.

Besondere Sorgfalt wurde endlich darauf verwendet, die Thermometer so einzurichten, dass die aus der Grösse des abfallenden Tropfens entstehende Unbestimmtheit möglichst klein war. Durch Verfeinerung der Spitze kommt man bald zu einer praktisch kaum noch zu überschreitenden Grenze. Es erübrigte daher nur, das Quecksilbergefäss grösser zu nehmen. Durch Ausprobieren ergaben sich so die ungefähren Dimensionen:

Länge des Quecksilbergefässes (Lichtmass) . . . . .	50 mm
Durchmesser des Quecksilbergefässes (Lichtmass) . . . . .	12—15 „
Länge eines Grades ( $^{\circ}$ C.) . . . . .	6 „

11) Es wurden zwei Thermometer benutzt, das eine von GEISSLER'S Nachfolger, Herrn MÜLLER in Bonn, das andere vom hiesigen Glasbläser Herrn MORNHINWEG hergestellt. In beiden tropfte das Quecksilber aus einer möglichst feinen Spitze in eine Cuvette. Die im Glase ziemlich starken Instrumente waren möglichst gut evakuiert (was sich als nötig erwies) und, um sie jedem Druck zu entziehen, nochmals in starkwandige Glasröhren eingeschmolzen. Die Tropfengrösse ergab sich beim GEISSLER'Schen Thermometer =  $0,20^{\circ}$  C., beim MORNHINWEG'Schen =  $0,46^{\circ}$  C. Beide Instrumente hatten Teilungen, deren Nullpunkt an der Spitze liegen sollte. Da dies nicht genau der Fall sein konnte, so wurde in vorherigen Beobachtungen der Fehler bestimmt; es ergab sich, dass beim MORNHINWEG'Schen Instrumente zu den Angaben  $0,8^{\circ}$  C. zu addieren war, beim GEISSLER'Schen  $0,25^{\circ}$ . Für die Ermittlung der Tiefentemperatur wurden beide Thermometer gewöhnlich bei der gleichen Temperatur ( $14$ — $19^{\circ}$ ) in einem längere Zeit konstant gehaltenen grossen Wasserbade gefüllt, dann auf niedrige Temperatur abgekühlt, jedes in eine der gleichfalls abgekühlten Stahlhülsen gebracht, welche abschraubbare Deckel besaßen, und sofort an einem 900 m langen, 0,8 mm starken Stahldraht<sup>1</sup> ins Bohrloch hinabgelassen. An der Stahlhülse war noch als Vorlauf eine ca. 30 kg schwere

<sup>1</sup> Tiegelgussstahl von Felten und Guillaume. Bruchfestigkeit = 240 kg pro Quadratmillimeter.

Eisenstange befestigt. Ober- und unterhalb der Hülsen, welche die Thermometer enthielten, waren in einigen Versuchen die schon erwähnten 2 m langen Bürsten angebracht. Sie gaben den Thermometern gleichzeitig eine sehr gute sanfte Führung; so lange mit ihnen gearbeitet wurde, kamen niemals Störungen an den Instrumenten vor; auch konnte man das Herablassen und Herausziehen in kürzerer Zeit bewerkstelligen. Als sie weggelassen waren, schlugen die Hülsen bei etwas schnellerer Bewegung oft an die Wände des Bohrkanales an. Es zeigten sich bei dem einen Instrument dann Störungen (vgl. S. 11 No. 5 u. 6 der Tabelle).

12) Nachdem die Thermometer meistens einige Tage an ihrem Orte verweilt hatten, wurden sie heraufgezogen und beide wieder in ein grosses Wasserbad gebracht. Um seine Wärmeabgabe zu verringern, war es in eine geräumige Kiste, welche mit Sägspänen gefüllt war, eingesetzt. Ein gleichzeitig eingeführtes, auf Nullpunktslage kontrolliertes Normalthermometer gab die jeweilige Temperatur des Bades ohne wesentliche Trägheit an. Das Bad wurde durch zeitweilige Zugaben kleiner Quantitäten warmen Wassers so reguliert, dass seine Temperatur längere Zeit nur etwa um  $0,1^{\circ}$  schwankte. Selbstverständlich wurde fortwährend langsam gerührt und nun so lange gewartet, bis die wegen der doppelten Glashülle trägen Tiefen-thermometer konstante Temperatur angaben.

Wie weit dies erreicht wurde, möge ein Beispiel zeigen:

Dienstag 17. VI. 90.

Zeit:	GEISSLER:	MORNHINWEG:	Normalthermometer:
4h 0'	8,50	8,50	23,50
5	8,58	8,00	23,42
13	8,45	7,70	23,60
25	8,42	7,60	23,60
34	8,42	7,55	23,60
40	8,42	7,50	23,60
45	8,44	7,55	23,57
Endzahl	8,42	7,53	23,59.

Mit Rücksicht auf die Korrekturen der Thermometer ergibt sich daraus die Temperatur, welcher die Geothermometer im Bohrloch ausgesetzt waren, zu

$$G = 31,62^{\circ} \text{ C.}$$

$$M = 31,32^{\circ} \text{ „}$$

13) In der folgenden Tabelle geben wir eine Zusammenstellung sämtlicher Beobachtungsergebnisse.

No.	Tiefe m	Hinabgelassen	Heraufgeholt	Zeit	Temperatur		Bemerkungen
					GEISS- LER	MORN- HINWEG	
1.	710	2. VI. 8 <sup>h</sup> p. m.	5. VI. 11 <sup>h</sup> a. m.	2 <sup>d</sup> 15 <sup>h</sup>	36,7	36,3	Bis zum Boden; eine Bürste über dem Instrument.
2.	710	5. VI. 3 <sup>h</sup> p. m.	12. VI. 10 <sup>h</sup> a. m.	6 <sup>d</sup> 19 <sup>h</sup>	36,7	36,77	Ebenso zwei Bürsten darüber.
3.	710	12. VI. 3 <sup>h</sup> p. m.	14. VI. 3 <sup>h</sup> p. m.	2 <sup>d</sup> —	36,5	36,5	Eine Bürste über, eine unter dem Instrument.
4.	593	14. VI. 7 <sup>h</sup> p. m.	17. VI. 3 <sup>h</sup> p. m.	2 <sup>d</sup> 20 <sup>h</sup>	31,62	31,22	Wie zuletzt.
5.	593	17. VI. 7 <sup>h</sup> p. m.	19. VI. 9 <sup>h</sup> a. m.	1 <sup>d</sup> 14 <sup>h</sup>	31,9	nicht brauch- bar	Ohne alle Bürsten.
6.	710	19. VI. 11 <sup>h</sup> a. m.	21. VI. 3 <sup>h</sup> a. m.	1 <sup>d</sup> 16 <sup>h</sup>	36,8	„	Ohne alle Bürsten.

Die Beobachtungen zeigen eine Übereinstimmung, welche so weit geht, als die unvermeidliche Unbestimmtheit der Angaben der Messinstrumente erwarten lässt; namentlich das bessere — GEISSLER'SCHE — Thermometer ergibt für die gleiche Tiefe am Boden des Bohrloches Temperaturen, welche nur zwischen 36,5 und 36,8<sup>0</sup> schwanken, während die Zeitdauer von 1 Tag 16 Stunden bis 6 Tag 19 Stunden variierte, und während ferner dem Wasser einmal ungehinderte, das andere Mal nur möglichst beschränkte Cirkulation gestattet war. Es folgt daraus mit grosser Wahrscheinlichkeit, dass wenigstens für unsere Versuchsanordnung die Wassercirkulation keinen bemerkbaren störenden Einfluss übte, ein Resultat, welches auch andere Beobachter fanden, insofern nicht Seitenströmungen vorhanden waren.

14) Was nun die Auswertung der Beobachtungen betrifft, so gewannen wir aus dem ganzen Verhalten der Instrumente die Überzeugung, dass man besser garantierte Zahlen erhält, wenn man nur die Angaben des GEISSLER'SCHEN Thermometers der Rechnung zu Grunde legt und das andere nur als Kontrollinstrument betrachtet; durch Hereinziehen seiner Angaben verbreitert man sich, so lange nicht sehr viele Messungen von derselben Stelle vorliegen, nur unnötig die Grenze der Unsicherheit.

Aus unseren Messungen in den resp. Tiefen von 593 und 710 m lässt sich die Tiefenstufe zwar berechnen; immerhin wäre aber wenigstens noch eine dritte Beobachtungsstelle wünschenswert. Da aber die höher gelegenen Punkte verröhrt waren, so mussten wir von Messungen an ihnen absehen. Ein Ersatz für eine dritte Messung lässt sich aber aus der mittleren Jahrestemperatur gewinnen. Diese ist für Sulz bekannt<sup>1</sup>, nämlich

10jähriges Mittel . . . . .	8,32° C.
50 „ „ . . . . .	8,05 „

Nimmt man demnach eine Schicht konstanter Temperatur zu 8,05° C. an und setzt deren Tiefe als 20 m voraus (ein Fehler von 10 m in dieser Annahme bedingt im ungünstigsten Falle eine Änderung des Resultats um 1,6%), so erhält man als die unserer Ansicht nach zuverlässigsten Zahlen:

Schichte:	Tiefe:	Temperatur:
I	20 m	8,05°
II	593 „	31,76
III	710 „	36,66.

Aus diesen ergibt sich:

Berechnet aus:	Geothermische Tiefenstufe:
I und III	24,10 (m/°C.)
I „ II	24,17 „
II „ III	23,90 „

Es wird demnach ein nahezu konstantes Temperaturgefälle von 1° C. auf 24,08 oder rund 24 m anzunehmen sein.

Die Grösse des Temperaturgefälles ist auffallend gegenüber den im Eingang zusammengestellten sonstigen Beobachtungen, scheint uns aber vollständig garantiert. Es ändert sich nur um ein geringes, wenn man auch die weniger exakten Angaben des zweiten Instrumentes hinzuzieht.

Tübingen, Juni 1891.

<sup>1</sup> Württembergische Jahrbücher für Statistik und Landeskunde. Jahrgang 1880. I. Bd. 1. Hälfte. p. 17. No. 14.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Jahreshefte des Vereins für vaterländische Naturkunde in Württemberg](#)

Jahr/Year: 1892

Band/Volume: [48](#)

Autor(en)/Author(s): Braun F., Waitz K.

Artikel/Article: [Beobachtungen über die Zunahme der Erdtemperatur, angestellt im Bohrloch zu Sulz am Neckar. 1-12](#)