

Ueber die Temperatur-Beobachtungen im Bohrloche zu Schladebach.

Von

E. Dunker in Halle a. d. Saale.

Vom 9. November 1870 an wurden in dem Bohrloche I zu Sperenberg und vom 18. Januar 1873 an in dem Bohrloche zu Sudenburg bei Magdeburg Temperatur-Beobachtungen angestellt, die sich von früheren derartigen Beobachtungen dadurch unterschieden, dass die Wärme des in kurzen abgeschlossenen Säulen befindlichen Wassers und dadurch auch die des anstossenden Gesteins, das heisst die der Erde gemessen wurde.

Die dann hierin entstandene lange Pause ist im Jahre 1884 durch die Beobachtungen in dem Bohrloche zu Schladebach bei Dürrenberg um so mehr in erfreulicher Weise unterbrochen worden, als dieses Bohrloch die noch niemals vorgekommene Tiefe von 1748 m. erlangt hat. Es reichte durch Buntsandstein, Zechstein, Rothliegendes und Steinkohlengebirge bis in das Oberdevon.

Diese grosse Tiefe erklärt sich durch die bedeutende Vervollkommnung der Bohrtechnik und dadurch, dass man jetzt, wenn die Bohrlochsweite für die Anwendung der Freifallinstrumente zu gering geworden ist, die Vertiefung noch mit dem Diamantbohrer und, wenn das Gestein von günstiger Beschaffenheit ist, bis zu einer sehr geringen Weite fortsetzen kann.

Als die Beobachtungen beginnen sollten, hatte das Bohrloch folgende Längen und Weiten:

Von	0— 584 m.,	also für 584 m.	Länge 120 mm.	Weite
"	584— 688 "	" "	104 "	92 "
"	688—1081 "	" "	393 "	72 "
"	1081—1240 "	" "	159 "	50 "

Bis 1240 m. war das Bohrloch verröhrt und von da an betrug bis 1376 m. die Weite nur noch 48 mm.

Es traf sich, dass ich zu derselben Zeit zwei Projecte zum Abschluss kurzer Wassersäulen in Bohrlöchern vollendet hatte. Das eine betraf die Verbesserung des früher gebrauchten Apparats, bei welchem der Wasserabschluss durch das Breitdrücken von mit Wasser gefüllten Kautschukballons bewirkt wird. Da aber ein solcher Apparat für Bohrlöcher von geringer Weite sehr zierlich wird und wegen des Bohrens mit Diamanten auch auf geringe Weiten Rücksicht zu nehmen ist, so suchte ich nach einem Mittel, welches gestattet, dem den Abschluss bewirkenden Stoffe auch bei geringer Weite eine wünschenswerthe Länge zu geben und fand dasselbe in fettem Thone. Beide Apparate sollen demnächst unter Beifügung ihrer Abbildungen eingehend beschrieben werden.

Der zweite Apparat ist sehr einfach. Auf einer cylindrischen Stange von zähem Holze befinden sich zwei cylindrische Scheiben von Holz, die im Bohrloche nur den erforderlichen Spielraum haben. Die untere Scheibe ist fest, die obere auf der Stange verschiebbar. Der Theil der Stange unter der festen Scheibe ist so lang wie die abzuschliessende Wassersäule. In der halben Länge dieses Stangentheils befindet sich das Gefäss des Maximum-Thermometers, bei genügend vorhandenem Raume neben der Stange, ohne solchen in einer Metallbüchse, die dann einen Theil der Stange bildet und mit dieser durch eine Schraube verbunden ist. Die bewegliche Scheibe wird auf eine angemessene Länge von der festen entfernt und der Raum zwischen beiden mit dem durch Kneten mit Wassér plastisch gemachten Thone so ausgefüllt, dass er mit den Scheiben einen Cylinder bildet. Die übrige Einrichtung ist nun so getroffen, dass wenn die Stange auf die Bohrlochssohle stösst, der Druck eines Theils des Gestängegewichts zur Wirkung kommt, wodurch die obere Scheibe heruntergeht, den Thon an die Bohrlochswand drückt und dadurch eine kurze Wassersäule abschliesst. Soll entfernt von

der Sohle beobachtet werden, so kommt unter den Apparat ein zweiter, den man zweckmässig in umgekehrter Stellung anwendet und unter diesen ein bis auf die Sohle reichendes Gestänge. Die beiden Thonmassen schliessen dann wieder eine kurze Wassersäule ab.

Diese Art der Benutzung des Thons ist nicht zu verwechseln mit der in Sperenberg als Nothbehelf angewandten, bei welcher sich der Thon in doppeltkonischen Leinwandsäcken befand.

Über das Verhalten des Thons wurden mit einem Modelle des Apparats in einem cylindrischen 26 cm. hohen, 55 mm. weiten, mit Wasser angefüllten Glasgefässe, welches das Bohrloch vorstellte, Versuche angestellt. Sie ergaben, dass der Abschluss sehr gut ist, dies auch bei einem mehr als zehnstündigen Verweilen im Wasser bleibt, beim Abreissen des Thons ein Theil desselben in das Wasser, also auch in das Bohrloch fällt, worauf aber nichts ankommt und der Thon zwischen den Scheiben, wenn er cylindrisch ist, durch das Herablassen im Wasser nicht beschädigt wird.

Auf meinen Rath ist die Benutzung des Thons als Abschlussmittel bei den Beobachtungen in Schladebach angewandt worden.

Zu dem erwähnten Theile des Abschlussapparats konnte Holz, das den Vorzug einer sehr geringen Wärmeleitfähigkeit besitzt, gewählt werden, weil davon ausgegangen war, es solle stets auf der Bohrlochsohle oder doch nur in geringer Entfernung davon beobachtet werden. In Schladebach war davon abzusehen, weil das Bohrloch schon eine bedeutende Tiefe erreicht hatte, zur Erlangung einer hinreichend langen Temperaturreihe auch weit entfernt von der Sohle zu beobachten, also beim Mangel eines Gestänges von Holz, ein langes schweres eisernes Gestänge unter dem Apparate anzuwenden war, zu dessen Tragung das Holz bei der geringen Stärke, die es in dem sehr engen Bohrloche nur erhalten konnte, nicht ausreichte. Dadurch wurde es nothwendig, zu dem betreffenden Theile des Apparats Eisen zu nehmen. Der dazu erforderliche, auf zwei Thonabschlüsse eingerichtete Apparat wurde von Herrn Bohrinspector KÖBRICH, unter dessen specieller Leitung die Beobachtungen standen, construirt.

Ausser dem in der abgeschlossenen Wassersäule befindlichen Maximum-Thermometer befand sich ein zweites am oberen Theile des Apparats im offenen Wasser. um gleichzeitig auch dessen Wärme messen zu können.

Da es leider an Zeit zur Anschaffung richtiger Maximumthermometer mit Scalen fehlte, so wurden die Beobachtungen in folgender Weise angestellt.

Scalenlose, in einer starkwandigen zugeschmolzenen Glasröhre befindliche Ausflussthermometer, die man Herrn KÖBRICH verdankt, wurden im Bohrloche herabgelassen, wo sie hinreichend lange verblieben. Nach dem Herausziehen wurden sie mit einem gewöhnlichen Thermometer in einen Eimer voll Wasser gebracht. Diesem Wasser setzte man unter Umrühren so lange wärmeres zu, bis das Quecksilber im Ausflussthermometer eben an dem offenen Ende erschien. Das andere Thermometer gab dann die Wärme des Wassers im Bohrloche an.

In dieser Weise wurden im unverrührten Theile des Bohrlochs alsbald und weiter bei seiner Vertiefung folgende Beobachtungen angestellt.

Nr.	Tiefen. Meter.	Temperaturen mit ohne Abschluss einer kurzen Wassersäule.		Die Temperaturen ohne Wasser- abschluss sind ge- ringer als die mit demselben um	Wärmezunahme für je 30 m Tiefenzunahme nach Spalte 2.
		Gr. R.	Gr. R.		
1	1266	36,2	35,9	0,3	—
2	1296	36,9	36,8	0,1	0,7
3	1326	37,7	37,7	0,0	0,8
4	1356	38,8	38,6	0,2	1,1
5	1386	39,7	39,6	0,1	0,9
6	1416	40,4	40,0	0,4	0,7
7	1446	40,9	40,9	0,0	0,5
8	1476	41,5	41,5	0,0	0,6
9	1506	42,3	42,1	0,2	0,8
10	1536	42,5	42,3	0,2	0,2
11	1566	42,8	42,2	0,6	0,3
12	1596	43,6	43,5	0,1	0,8
13	1626	44,0	43,9	0,1	0,4
14	1656	44,4	44,0	0,4	0,4
15	1686	45,2	45,1	0,1	0,8
16	1716	45,3	45,3	0,0	0,1

Nach vier Beobachtungen wurde früher gefunden, dass in dem Bohrloche I zu Sperenberg bei einer Tiefe von 3390 rheinl. Fuss die Wärme des Wassers in einer kurzen abgeschlossenen Wassersäule gegen 3° R. höher war, als die des offenen. Durch diesen gewaltigen Unterschied war bewiesen nicht nur, dass, was man schon früher wusste, die Wärme des offenen Wassers nicht die der Erde ist, sondern auch, dass man bei so grossem Fehler durch die Wärme des offenen Wassers zwar meistens eine Zunahme der Wärme mit der Tiefe, nicht aber das Gesetz dieser Zunahme finden kann.

Hier dagegen zeigt sich ungeachtet der grossen Tiefen jener Unterschied nur in Bruchtheilen eines Grades und sogar viermal gar nicht.

Die Erklärung ist einfach.

Die von einer senkrechten, nach unten wärmer werdenen Wassersäule untrennbare innere Strömung des Wassers wird wie sein Fliessen vom Widerstande der Reibung beeinflusst. In der äusserlich stillstehenden Wassersäule steigt das Wasser da auf, wo es seine Wärme empfängt, also an der Bohrlochswand und in der Mitte des Bohrlochs senkt sich kälteres Wasser herab. Je mehr nun die Mitte dieses Wassers von der Bohrlochswand absteht, das heisst je weiter das Bohrloch ist, desto weniger wirkt die Reibung. Aus gleichem Grunde fliesst in einem geraden Flusse das Wasser da am schnellsten, wo es am weitesten von den Ufern absteht, also in der Mitte. Die Energie, mit der das kalte Wasser sich herabsenkt, zwingt das warme aufsteigende Wasser sich eben so zu verhalten. Die innere Strömung des Wassers nimmt hiernach ab mit der Weite des Bohrlochs und muss daher sehr klein werden, wenn wie hier diese Weite nur noch 48 mm. beträgt. Dazu kommt aber noch, dass der äussere Durchmesser des hohlen Gestänges 42 mm. betrug. Es blieb also zwischen Gestänge und Gestein nur ein Wasserring von 3 mm. Wanddicke. Solche Ringe über einander bildeten also eine röhrenförmige Wassermasse, die desto länger wurde, je tiefer man kam. Im verröhrten Theile des Bohrlochs waren von oben nach unten die Längen dieser Wassermassen 584 m. — 104 m. — 393 m. — 159 m. und ihre Wanddicken 39 mm. — 25 mm. — 15 mm. — 4 mm. Die grösstentheils geringen Weiten und

grossen Längen dieser Zwischenräume mussten die schwache innere Strömung noch weiter ermässigen. Ausserdem war bei dem Herablassen des Gestänges in den unverrührten Theil des Bohrlochs wegen des geringen Spielraums von 3 mm. Reibung nicht zu vermeiden und die dadurch erzeugte Wärme konnte sich wegen der geringen Kraft der inneren Strömung so lange erhalten, dass sie auch noch auf das im offenen Wasser befindliche Maximum-Thermometer wirkte. Obgleich diese Verhältnisse vorauszusehen waren, blieb ihre Bestätigung durch die Beobachtungen doch erwünscht.

Es hat dies noch eine weitere Bedeutung. Bei flüchtiger Betrachtung könnte man glauben, der Abschluss von Wassersäulen entspreche nicht seinem Zwecke, weil das Wasser doch in den Gesteinen circulire. Allerdings wirken auch enge Klüfte störend, wenn unter ihnen, wie beim Bergbau, Hohlräume geschaffen sind, in die das Wasser fliessen kann und aus denen es dann wieder entfernt wird. Sind aber, wie bei dem stillstehenden Wasser in einem Bohrloche, solche Räume nicht vorhanden, steht also auch in den engen Klüften das Wasser still, so tritt dadurch keine Störung ein, weil dabei der Widerstand der Reibung grösser ist, als die Kraft der inneren Strömung.

Ungeachtet der angewandten Sorgfalt sind nach der fünften Spalte der Tabelle die Wärmezunahmen für gleiche Tiefenzunahmen weder nahezu gleich, noch lassen sie in kleinen Gruppen ein sonstiges Gesetz der Wärmefortschreitung ohne Weiteres mit Deutlichkeit erkennen. Es kann dies aber durch eine grosse Zahl von Beobachtungen ausgeglichen werden.

Wünschenswerth ist es, bei künftigen Gelegenheiten in nicht sehr engen Bohrlöchern zum Abschluss von Wassersäulen in denselben Tiefen unmittelbar hinter einander den durch Kautschukballons und den durch Thon wirkenden Apparat anzuwenden, um zu erfahren, welcher von beiden eine höhere Wärme, das heisst das bessere Resultat ergiebt.

Die in der Bohrarbeit bis zum Eintreffen einer nöthig gewordenen neuen Röhrentour entstandene Pause ist benutzt worden, um in dem verrührten Theile des Bohrlochs folgende Beobachtungen anzustellen.

Tiefen. Meter.	Temperaturen mit ohne Abschlusseiner kurzen Wassersäule.		Die Temperaturen ohne Abschluss sind geringer als die mit demselben um	Wärmezunahme für je 30 m. Tiefenzunahme nach Spalte 2.
	Gr. R.	Gr. R.		
6	8,3	7,9	0,4	—
36	8,8	8,5	0,3	0,5
66	9,6	9,4	0,2	0,8
96	10,3	9,6	0,7	0,7
126	10,9	10,1	0,8	0,6
156	11,3	10,9	0,4	0,4
186	12,2	11,3	0,9	0,9
216	13,0	12,1	0,9	0,8
246	13,6	13,4	0,2	0,6
276	14,3	14,2	0,1	0,7
306	14,5	14,4	0,1	0,2
336	15,2	14,6	0,6	0,7
366	15,4	15,1	0,3	0,2
396	16,6	15,6	1,0	1,2
426	17,1	16,6	0,5	0,5
456	17,7	17,2	0,5	0,6
486	18,3	17,8	0,5	0,6
516	19,0	18,4	0,6	0,7
546	19,8	19,5	0,3	0,8
576	20,6	20,5	0,1	0,8
606	21,1	20,9	0,2	0,5
636	21,3	21,2	0,1	0,2
666	22,0	22,0	0,0	0,7
696	22,9	22,8	0,1	0,9
726	23,3	23,2	0,1	0,4
756	23,9	23,9	0,0	0,6
786	24,8	24,8	0,0	0,9
816	25,2	25,0	0,2	0,4
846	26,3	26,2	0,1	1,1
876	27,2	27,1	0,1	0,9
906	27,8	27,7	0,1	0,6
936	28,5	28,5	0,0	0,7
966	29,3	29,2	0,1	0,8
996	29,8	29,6	0,2	0,5
1026	30,1	30,0	0,1	0,3
1056	30,4	30,4	0,0	0,3
1086	31,3	31,3	0,0	0,9
1116	32,2	32,1	0,1	0,9
1146	32,7	32,6	0,1	0,5
1176	33,7	33,4	0,3	1,0
1206	34,4	34,3	0,1	0,7
1236	35,2	35,2	0,0	0,8

Es würde erwünscht gewesen sein, in dem unteren un-
verröhrten Theile des Bohrlochs in einem, zur Beseitigung
der inneren Wasserströmung hinreichend dicken Thonschlamm,
nochmals beobachten zu können, weil sich dann diese Be-
obachtungen mit den in abgeschlossenen Wassersäulen erhal-
tenen hätten vergleichen lassen. Dem stand aber entgegen,
dass in diesem Theile 659 m. 33 mm. weite Röhren und
350 m. 27 mm. dickes rotirendes Gestänge zurückblieben. Zum
Ersatz schloss man das Bohrloch nach der Einstellung seines
Betriebs in der Tiefe von 438 m. und später noch einmal in
der von 120 m. mit einem Holzstopfen ab, brachte nach und
nach in dasselbe einen dicken Thonbrei und stellte in dem-
selben folgende Temperatur-Beobachtungen an, denen zur Ver-
gleichung die daselbst früher in abgeschlossenen Wassersäulen
erhaltenen beigefügt sind.

Bei den fünf obersten Beobachtungen berührte der Schlamm
das Gestein, bei den anderen die Verröhrung.

Tiefen. Meter.	Beobachtungen in			
	dickem Schlamme.		kurzen Wassersäulen.	
	Wärme. Gr. R.	Wärme- zunahme. Gr. R.	Wärme. Gr. R.	Wärme- zunahme. Gr. R.
6	8,2	—	8,3	—
36	8,6	0,4	8,8	0,5
66	9,0	0,4	9,6	0,8
96	9,9	0,9	10,3	0,7
118	10,6	0,7	—	—
126	—	—	10,9	0,6
156	—	—	11,3	0,4
186	—	—	12,2	0,9
216	12,5	1,9	13,0	0,8
246	12,9	0,4	13,6	0,6
276	13,4	0,5	14,3	0,7
306	14,2	0,8	14,5	0,2
336	14,6	0,4	15,2	0,7
366	15,2	0,6	15,4	0,2
396	16,4	1,2	16,6	1,2
426	17,0	0,6	17,1	0,5
	$\Sigma = 8,8$		$\Sigma = 8,8$	

Die Zusammenstellung zeigt, dass die Gesamtzunahme der Temperatur bei beiden Arten der Beobachtung vollkommen dieselbe ist, dass aber alle Beobachtungen in abgeschlossenen Wassersäulen eine höhere Wärme ergeben haben, als die im Schlamm.

Der Abschluss einer Wassersäule bezweckt, durch Beseitigung der inneren Strömung des Wassers dem abgeschlossenen Wasser vollständig die Wärme des Gesteins mitzutheilen. Es ist deshalb, die Vermeidung starker Fehler vorausgesetzt, die gefundene Wärme für desto richtiger zu halten, je höher sie gefunden wird. Danach läge hier der Schluss nahe, die Beobachtungen in abgeschlossenen Wassersäulen seien die besseren. Weil sich aber der dicke Schlamm bei früheren Gelegenheiten vortrefflich bewährt hat, werden vor Bildung eines bestimmten Urtheils hierüber erst noch weitere Erfahrungen abzuwarten sein. Hier wird sich das verschiedene Verhalten in folgender Weise erklären lassen.

In der abgeschlossenen Wassersäule geht die Erwärmung von den Seiten aus. Das mehr nach der Mitte hin befindliche Wasser ist zuerst noch nicht so warm, wie das die Verrohrung oder das Gestein berührende und wird dieses durch sein höheres specifisches Gewicht so lange verdrängen, bis der Beharrungszustand eingetreten ist. Dieser Austausch beschleunigt die Erwärmung. Der Thonbrei dagegen wird, weil jenes Hilfsmittel zur baldigen Erwärmung bei ihm fehlt, längere Zeit zur vollständigen Erwärmung brauchen und daher eine etwas geringere Wärme ergeben, wenn er nicht schon hinreichend lange im Bohrloche war. Freilich lässt sich auch dagegen anführen, dass bei den Beobachtungen in den Tiefen von 216—246 und 276 m. die Maximum-Thermometer 24 Stunden im Bohrloche blieben, wobei sie doch wohl die richtige Wärme hätten annehmen können, die dadurch erhaltenen Resultate aber nicht bemerkbar andere sind, als die, bei denen das Verbleiben der Thermometer im Schlamm nur 8—9 Stunden betrug. Jedenfalls ist es aber rätlich, bei künftigen Gelegenheiten, wenn der Schlamm nicht schon lange im Bohrloche gestanden hat und erst hineingebracht werden muss, nach seinem Einbringen möglichst lange mit dem Einsenken der Thermometer zu warten.

Es bleibt noch zu untersuchen, nach welchem Gesetze die Wärme mit der Tiefe zunimmt.

Die Beobachtungen unter den Futterröhren sind insofern normale, als bei ihnen die abgeschlossenen Wassersäulen unmittelbar das Gestein berührten, also eine Störung durch die grössere Wärmeleitfähigkeit eiserner Futterröhren nicht eintreten konnte.

Wenn die Temperaturen eine arithmetische Reihe zweiter Ordnung bilden, nimmt die Wärme entweder schneller oder nicht so schnell wie die Tiefe zu. Im ersten Falle wird das dritte Glied der zugehörigen Gleichung positiv und im anderen negativ. Beide Fälle sind einander entgegengesetzt und man ist daher gespannt darauf, welches Resultat man durch die Berechnung erhalten wird. Ich habe daher ein einfaches Mittel angewandt, durch welches festgestellt werden kann, ob man durch die genaue Berechnung eine Beschleunigung oder Verzögerung der Wärmezunahme zu erwarten hat¹: Es besteht darin, dass man die Summen der Temperatur-Zunahmen ermittelt, die zur oberen und unteren Hälfte der Tiefenzunahmen gehören, wobei die Tiefenzunahme, welche nicht gerade zwischen die obere und untere Hälfte fällt, so nach oben und unten gegeben werden muss, dass die Gleichheit erhalten wird und dem proportional auch die zugehörige Temperaturzunahme zu vertheilen ist. Ist hiernach die obere Summe der Temperatur-Zunahmen kleiner als die untere, so hat man eine Beschleunigung und im entgegengesetzten Falle eine Verzögerung der Wärmezunahme zu erwarten, was stets zutrifft, wenn der Unterschied zwischen den beiden Summen nicht sehr klein ist.

Die Berechnung giebt also im Allgemeinen stets das an, was durch den Unterschied jener Summen bedingt ist. Da aber selbst die besten Beobachtungen nicht dem entsprechen können, was die von der Physik der Dinge unabhängige, auch die kleinsten Unterschiede zum Ausdruck bringende Rechnung angiebt, so muss noch der Grundsatz zur Geltung kommen, dass hinreichend wenig beschleunigte oder verzögerte Reihen als arithmetische Reihen erster Ordnung zu betrachten und

¹ Dies. Jahrb. 1877. 594.

als solche zu berechnen sind. Dadurch wird dann das wirkliche Gesetz gefunden ebenso wie man aus guten chemischen quantitativen Analysen richtige Gesetze ableitet, obgleich die Summe der Procente der einzelnen Bestandtheile eines Körpers nur zufällig genau 100 beträgt.

Durch die erwähnte Vergleichung findet man, dass die Reihe unter der Verröhrung um $2,3^{\circ}$ R. verzögert ist, das heisst, dass die Zunahme der Wärme mit der Tiefe um so viel weniger beträgt, als wenn sie genau so wie die Tiefe zugenommen hätte. Diese Verzögerung geht schon durch die Beseitigung der tiefsten Wärmezunahme von $0,1^{\circ}$ R., die, als gegen alle übrigen zu klein, hinsichtlich ihrer Richtigkeit sehr verdächtig ist, auf $1,6^{\circ}$ R. herunter. Wenn aber eine Reihe aus einer hinreichend grossen Zahl von Beobachtungen besteht, so kann man aus ihr mehr als zwei gleiche Theile bilden und ein Theil noch so viel Beobachtungen enthalten, dass ein Urtheil über seinen Charakter möglich ist. Es spricht dies dafür, mit der Anstellung von Beobachtungen nicht zu sparsam zu sein.

Werden aus der vorliegenden Reihe drei gleiche Theile gebildet, wobei auf einen Theil fünf Tiefen- und Temperatur-Zunahmen kommen, die schon eine Reihe für sich bilden können, so erhält man an Tiefen- und Temperatur-Zunahmen:

I.		II.		III.	
Meter	Gr. R.	Meter	Gr. R.	Meter	Gr. R.
30	0,7	30	0,5	30	0,8
30	0,8	30	0,6	30	0,4
30	1,1	30	0,8	30	0,4
30	0,9	30	0,2	30	0,8
30	0,7	30	0,3	30	0,1
<hr/>		<hr/>		<hr/>	
150	= 4,2	150	= 2,4	150	= 2,5

Wenn die in der Reihe als Ganzes liegende Verzögerung von $2,3^{\circ}$ R. ein wirkliches Gesetz wäre, so müsste sie durch die ganze Reihe ziehen. Das ist aber nicht der Fall, denn von I zu II findet eine Verzögerung von $1,8^{\circ}$ und von II zu III eine Beschleunigung von $0,1^{\circ}$ statt.

Durch Beseitigung der tiefsten Wärmezunahme von $0,1^{\circ}$ geht die Vergleichung über in:

I.		II.		III.	
Meter	Gr. R.	Meter	Gr. R.	Meter	Gr. R.
140	3,966	140	2,433	140	2,6

Es ist dann I zu II um $1,533^0$ verzögert und II zu III um $0,167^0$ beschleunigt. Die Verzögerung ist dadurch also schon um $0,267^0$ kleiner und die Beschleunigung um $0,067^0$ grösser geworden, woraus ersichtlich ist, von welchen kleinen Grössen diese Zahlen schon beeinflusst werden.

Gleichwohl habe ich die Beobachtungen ohne Beseitigung der tiefsten Wärmezunahme als Reihe zweiter Ordnung berechnet. Weil dabei die Oberfläche für die Rechnung um 1266 m. heruntergeschoben wurde, kam der Ausdruck:

$$T = \alpha + \beta(S - 1266) + \gamma(S - 1266)^2$$

zur Anwendung, in welchem bedeuten T die Temperatur in der Rechnungstiefe $S - 1266$, also in der wirklichen Tiefe S und α , β , γ die zu entwickelnden Constanten. Es wird erhalten:

$$T = 36,1973 + 0,0296625(S - 1266) - 0,0000212809(S - 1266)^2,$$

wobei die erste Constante die corrigirte Temperatur in der Rechnungstiefe = Null, also in der wirklichen Tiefe von 1266 m. ist. Die Summe der Fehlerquadrate von 16 Correcturen beträgt 0,6705. Das Ergebniss der Berechnung ist günstig.

Wenn eine Zunahme der Wärme mit der Tiefe gegen andere in derselben Reihe zu gross oder zu klein erhalten wird, hängt die Wirkung davon auf den Charakter der Reihe nicht allein von dem betreffenden Unterschiede, sondern wesentlich auch von der Stelle ab, an welcher er vorkommt. Was zu gross ist, bewirkt in der oberen Hälfte der Reihe Verzögerung, in der unteren Beschleunigung und was, wie hier die tiefste Wärmezunahme, zu klein ist, hat die entgegengesetzte Wirkung. Hier können Mängel dieser Art an solchen Stellen eingetreten sein, dass gerade dadurch ein bestimmtes Gesetz gut ausgedrückt wird.

Die aus den Nummern 6—9—10—12—14—16 der Beobachtungen bestehende Reihe ist um $0,4^0$ R. verzögert und ergibt, wenn die Oberfläche für die Rechnung um 1416 m. heruntergeschoben wird:

$$T = 40,444 + 0,0196348(S - 1416) - 0,00001197098(S - 1416)^2$$

mit einer Summe der Fehlerquadrate von sechs Correcturen = 0,0593.

Die geringe Verzögerung hat also schon ausgereicht, das dritte Glied der Gleichung negativ zu machen. Es kommt darauf aber nichts an, weil so wenig verzögerte oder beschleunigte Reihen in Wirklichkeit Reihen erster Ordnung sind.

Dieselbe kleine Verzögerung gehört zu den Nummern 6—9—10—12—13—14—15—16 der Reihe und, wenn man Nr. 6 beseitigt, ist in der oberen und unteren Hälfte die Summe der Temperatur-Zunahme = $1,5^{\circ}$, was einer Reihe erster Ordnung entspricht.

Man ersieht auch aus diesen Vergleichen wie schon kleine Änderungen den streng mathematischen Charakter einer Reihe beeinflussen können. Es sind hier aber bessere Vergleichen gegeben.

Verbindet man einen nicht kleinen oberen Theil der Reihe unter den Futterröhren mit einem gleich grossen unteren Theile der in den Futterröhren erhaltenen, so zeigt sich zwischen beiden kein in Betracht kommender Unterschied. Noch entscheidender ergiebt sich dies aus folgenden Vergleichen, bei welchen die Beobachtungen nur von 36 m. Tiefe an zu rechnen sind, weil sowohl die Temperatur der Oberfläche, als die ganze, in Deutschland gegen 24 m. lange Zone der oberen veränderlichen Temperaturen, mit der Reihe der constanten Temperaturen nicht verbunden werden dürfen, wenn auch hier die Mitbenutzung der Beobachtung in 6 m. Tiefe keinen wesentlichen Einfluss gehabt haben würde.

Die Beobachtungen im dicken Schlamme ergeben von 36 bis 426 m., also für eine Länge von 390 m. eine Wärmezunahme von $17,0 - 8,6 = 8,4^{\circ}$, was für eine Länge von 1000 m. betragen würde $21,54^{\circ}$ R.

Die Reihe unter den Röhren ergiebt bei einer Länge von 450 m. eine Wärmezunahme von $45,3 - 36,2 = 9,1^{\circ}$, also für 1000 m. $20,22^{\circ}$ R.

Die Reihe in den Röhren ist 1200 m. lang und hat eine Wärmezunahme von $35,2 - 8,8 = 26,4^{\circ}$, die für 1000 m. betragen würde $22,0^{\circ}$ R.

Im Betracht der absichtlich für die bedeutende Länge von 1000 m. = 3186 rheinl. Fuss angestellten Vergleichen

und weil es absolut richtige Beobachtungen nicht giebt, sind die drei erhaltenen Resultate als einander gleich zu betrachten.

Bei der Reihe von 1200 m. Länge hat also die grössere Wärmeleitungs-Fähigkeit des Eisens der Futterröhren nicht den störenden Einfluss gehabt, der früher von mir für Sperenberg angenommen wurde und wenn auch erst weitere Erfahrungen darüber entscheiden müssen, ob das stets der Fall sein wird, so ist es doch hier von besonderem Werthe, weil dadurch die Berechtigung entsteht, die Reihe der Beobachtungen in den Röhren mit der unter ihnen zu einer Reihe von noch nie dagewesener Länge, in der die Wärme wie die Tiefe zunimmt, zu vereinigen.

Eine weitere Bestätigung erhält dies durch Anwendung der Vergleichung zwischen Tiefen- und Temperatur-Zunahmen auf die so gebildete Reihe von 36 bis 1716 m. Es ergeben sich dadurch für je 30 m. Tiefen-Zunahme folgende Temperatur-Zunahmen :

I.	II.	III.	IV.
0,8	0,6	0,6	0,8
0,7	0,7	0,7	1,1
0,6	0,8	0,8	0,9
0,4	0,8	0,5	0,7
0,9	0,5	0,3	0,5
0,8	0,2	0,3	0,6
0,6	0,7	0,9	0,8
0,7	0,9	0,9	0,2
0,2	0,4	0,5	0,3
0,7	0,6	1,0	0,8
0,2	0,9	0,7	0,4
1,2	0,4	0,8	0,4
0,5	1,1	1,0	0,8
0,6	0,9	0,7	0,1
8,9	9,5	9,7	8,4

Die Wärmezunahme beträgt hiernach

$$\text{in der oberen Hälfte I} + \text{II} = 8,9^{\circ} + 9,5^{\circ} = 18,4^{\circ}$$

$$\text{„ „ unteren „ III} + \text{IV} = 9,7^{\circ} + 8,4^{\circ} = 18,1^{\circ}$$

Es findet also eine Verzögerung statt von . . . $0,3^{\circ}$, das heisst, es ist weder Beschleunigung noch Verzögerung vorhanden.

Hierzu hat auch beigetragen, dass die Reihe in den Futterröhren um $1,4^0$ beschleunigt ist. Dies Verhalten ist bedeutsam, weil es der längsten Reihe angehört und weil es sehr unwahrscheinlich ist, dass eine Reihe, die selbst auf die bedeutende Länge von 1200 m. keine Verzögerung der Wärmezunahme ergeben hat, in eine verzögerte übergehen werde. Daraus ist zu entnehmen, dass die Vergleichung langer Reihentheile mit einander über den wahren Charakter einer Reihe unter Umständen einen besseren Aufschluss gewähren kann, als die sorgfältige Berechnung einer kürzeren Reihe.

Wird die Tiefe von 36 m. für die Rechnung als Oberfläche betrachtet, so sind die Werthe für den einer Reihe erster Ordnung entsprechenden Ausdruck

$$T = \alpha + \beta(S - 36)$$

zu entwickeln.

Man erhält die Normalgleichungen

$$\begin{aligned} \alpha \cdot 57 + \beta \cdot 47880 &= 1553,8 \\ \alpha \cdot 47880 + \beta \cdot 54094400 &= 1616379 \end{aligned}$$

und daraus

$$T = 8,4204914 + 0,0224276(S - 36),$$

wobei die erste Constante wieder die corrigirte Temperatur in der Rechnungstiefe Null, das heisst in der wirklichen Tiefe = 36 m. ist.

Bei Berechnung einer arithmetischen Reihe erster Ordnung nach der Methode der kleinsten Quadrate giebt die zweite Constante das arithmetische Mittel der Wärmezunahme für die Masseinheit und zwar in der vollkommensten Weise, weil dabei auch die oberste Beobachtung corrigirt wird.

Die Anwendung der Formel auf die Berechnung der Beobachtungen ergiebt:

Nr.	Tiefen		Beobachtete		F — M	(F — M) ²
	wirkliche	f. d. Rechnung	Temperaturen			
	S	S — 36	M	F		
	Meter	Meter	Gr. R.	Gr. R.		
1	36	0	8,8	8,420	— 0,380	0,1444
2	66	30	9,6	9,093	— 0,507	0,2570
3	96	60	10,3	9,766	— 0,534	0,2852
4	126	90	10,9	10,439	— 0,461	0,2125
5	156	120	11,3	11,112	— 0,188	0,0353
6	186	150	12,2	11,785	— 0,415	0,1722
7	216	180	13,0	12,457	— 0,543	0,2948
8	246	210	13,6	13,130	— 0,470	0,2209
9	276	240	14,3	13,803	— 0,497	0,2470
10	306	270	14,5	14,476	— 0,024	0,0006
11	336	300	15,2	15,149	— 0,051	0,0026
12	366	330	15,4	15,822	+ 0,422	0,1781
13	396	360	16,6	16,494	— 0,106	0,0112
14	426	390	17,1	17,167	+ 0,067	0,0045
15	456	420	17,7	17,840	+ 0,140	0,0196
16	486	450	18,3	18,513	+ 0,213	0,0454
17	516	480	19,0	19,186	+ 0,186	0,0346
18	546	510	19,8	19,859	+ 0,059	0,0035
19	576	540	20,6	20,531	— 0,069	0,0048
20	606	570	21,1	21,204	+ 0,104	0,0108
21	636	600	21,3	21,877	+ 0,577	0,3329
22	666	630	22,0	22,550	+ 0,550	0,3025
23	696	660	22,9	23,223	+ 0,323	0,1043
24	726	690	23,3	23,895	+ 0,595	0,3540
25	756	720	23,9	24,568	+ 0,668	0,4462
26	786	750	24,8	25,241	+ 0,441	0,1945
27	816	780	25,2	25,914	+ 0,714	0,5098
28	846	810	26,3	26,587	+ 0,287	0,0824
29	876	840	27,2	27,260	+ 0,060	0,0036

Zu übertragen 4,5152

Nr.	Tiefen		Beobachtete		F — M	(F — M) ²
	wirkliche	f. d. Rechnung	Temperaturen			
	S	S — 36	M	F		
Meter	Meter	Gr. R.	Gr. R.			
					Übertragung	4,5152
30	906	870	27,8	27,932	+ 0,132	0,0174
31	936	900	28,5	28,605	+ 0,105	0,0110
32	966	930	29,3	29,278	— 0,022	0,0005
33	996	960	29,8	29,951	+ 0,151	0,0228
34	1026	990	30,1	30,624	+ 0,524	0,2746
35	1056	1020	30,4	31,297	+ 0,897	0,8046
36	1086	1050	31,3	31,969	+ 0,669	0,4476
37	1116	1080	32,2	32,642	+ 0,442	0,1954
38	1146	1110	32,7	33,315	+ 0,615	0,3782
39	1176	1140	33,7	33,988	+ 0,288	0,0829
40	1206	1170	34,4	34,661	+ 0,261	0,0681
41	1236	1200	35,2	35,334	+ 0,134	0,0180
42	1266	1230	36,2	36,006	— 0,194	0,0376
43	1296	1260	36,9	36,679	— 0,221	0,0488
44	1326	1290	37,7	37,352	— 0,348	0,1211
45	1356	1320	38,8	38,025	— 0,775	0,6006
46	1386	1350	39,7	38,698	— 1,002	1,0040
47	1416	1380	40,4	39,371	— 1,029	1,0588
48	1446	1410	40,9	40,043	— 0,857	0,7344
49	1476	1440	41,5	40,716	— 0,784	0,6147
50	1506	1470	42,3	41,389	— 0,911	0,8299
51	1536	1500	42,5	42,062	— 0,438	0,1918
52	1566	1530	42,8	42,735	— 0,065	0,0042
53	1596	1560	43,6	43,408	— 0,192	0,0369
54	1626	1590	44,0	44,080	+ 0,080	0,0064
55	1656	1620	44,4	44,753	+ 0,353	0,1246
56	1686	1650	45,2	45,426	+ 0,226	0,0511
57	1716	1680	45,3	46,099	+ 0,799	0,6384

$$\Sigma (F - M)^2 = 12,9396$$

Die Tiefenstufe für 1° R. ist $\frac{1}{0,0224276} = 44,6$ m., also für 1° C. $= \frac{44,6 \cdot 4}{5} = 35,7$ m. In Sperenberg erhielt man für 1° R. 42 m. und für 1° C. 33,7 m., demnach fast dasselbe, weil zu einem kleinen Unterschiede in der Wärmezunahme ein numerisch viel grösserer in der Tiefenstufe gehört.

Da die Temperaturreihe von Schladebach gegen den Erdhalbmesser zwar noch sehr klein ist, aber doch tiefer als bisher heruntergeht, so kann man mit mehr Berechtigung als sonst fragen, in welcher Tiefe nach ihr die Schmelzhitze der Lava von 1600° R. eintreten werde, wobei es allerdings, weil vom Kleinen auf das Grosse geschlossen wird und sich auch die Wärmeleitungsfähigkeit des Gesteins etwas ändern kann, auf einige hundert Meter mehr oder weniger nicht ankommen darf.

Diese Tiefe ist $\frac{1600 - 8,4204914}{0,0224276} + 36 = 71001$ m. $= 9,6$ geographische Meilen zu 7420 m.

Sicherer sind solche Schlüsse, wenn sie in engeren Grenzen gehalten werden.

Hat man durch möglichst richtige Beobachtungen eine Temperaturreihe von mässiger Länge erhalten und berechnet, so ist es sehr wahrscheinlich, dass sich das in ihr liegende Gesetz der Wärmezunahme nicht ändern werde, wenn man ihr noch die zweifache Länge zusetzt. Was für eine mässig lange Reihe zulässig ist, muss es noch mehr für eine sehr lange sein. Hier ist die Reihe 1680 m. lang, das Dreifache also 5040 m., zu deren unterem Ende nach der Formel eine Temperatur von $121\frac{1}{2}^{\circ}$ R. gehört. Dieser Betrag kann nun zu gross oder zu klein sein. Nehmen wir an, er sei $21\frac{1}{2}^{\circ}$ zu gross, so bleiben noch 100° , die doch schwer zu erklären sein möchten, wenn die Erdwärme nicht aus der Tiefe stammt.

Für künftige Temperatur-Beobachtungen in Bohrlöchern ist Folgendes zu empfehlen.

1) Man versehe sich rechtzeitig in zweifachen Exemplaren mit möglichst richtigen Thermometern, bei denen die Grade thunlichst gross sind. Es ist dafür zu sorgen, dass hierzu nur absolut reines Quecksilber zur Verwendung komme. Fehlt es hierfür an einer sicheren Bezugsquelle, so stelle man

es selbst aus chemisch reinem Zinnober dar. Dass dadurch grössere Kosten entstehen, als durch Verwendung nicht völlig reinen Quecksilbers, kann gegenüber den Kosten der Beobachtungen gar nicht in Betracht kommen.

2) Die Thermometer sind an einer Präcisionsanstalt mit den Normalthermometern zu vergleichen und mit Zeugnissen über die kleinen Abweichungen zu versehen.

3) Es ist zu vermeiden, mit den Beobachtungen erst dann zu beginnen, wenn das Bohrloch schon eine bedeutende Tiefe erreicht hat. Durch den zu späten Beginn können richtige Beobachtungen in den oberen Tiefen verhindert werden. Diese haben aber keinen geringeren Werth als die tieferen, weil die Zuverlässigkeit einer Temperaturreihe mit ihrer Länge zunimmt. Ausserdem beraubt man sich dadurch auch leicht der Möglichkeit, die Maximumthermometer während der Sonntagsruhe im Bohrloche zu lassen. Der störende Einfluss der durch die Bohrarbeit entstandenen Wärme lässt sich auch dann erkennen und beseitigen, wenn bald nach dem Bohren beobachtet wird.

4) Nur solche Beobachtungen, bei denen die innere Strömung des Wassers beseitigt ist, können als annehmbar und massgebend betrachtet werden. Die dazu erforderlichen Apparate sind daher zur rechten Zeit und mit Sorgfalt anzufertigen.

5) Jedes Verfahren ist zu vermeiden, welches von einem erfahrenen Bohrinspector oder Bohrmeister als gefährlich für das Bohrloch bezeichnet wird.

6) Da von den älteren Beobachtungen nur eine geringe Zahl als ganz brauchbar bezeichnet werden kann, man also weniger am Schlusse als am Anfange einer gründlichen Untersuchung steht, so ist eine weite Verbreitung des Interesses für derartige Beobachtungen und die Wirkung für ihre Anstellung sehr zu wünschen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1889

Band/Volume: [1889](#)

Autor(en)/Author(s): Dunker Karl Eduard Gustav

Artikel/Article: [Ueber die Temperatur-Beobachtungen im Bohrloche zu Schladebach 29-47](#)