5) *Thill Nic.*, Lehrer in Ötringen.
6) *Prim Aug.*, Assistent a. d. landw. Versuchsstation in Ettelbrück.
7) *Saur Felix*, Apotheker in Clerf.
8) *Philipp Felten*, Lehrer in Düdelingen.

Hierauf Schluss der Sitzung.

Der Schriftführer: Dr. rer. nat. *P. Weinachter.*

Ueber Vulkanismus.

Einiges aus dem Kursus über allgemeine Geologie, gehalten in den Sitzungen der geologischen Section,

von *M. Lucius.*

(Fortsetzung).

Beim Graben eines Brunnens in Jakusk (Sibirien) wurden folgende Beobachtungen gemacht:

Bei einer Tiefe von	23,30 m	betrug die Temperatur	—6°,8
„	90,50 m	„	—1°,2
„	115 m	„	—0°,6

Bei 125 m hätte man flüssiges Wasser gefunden. Jakusk hat eine mittlere Lufttemperatur von —10°*), die Zunahme der Wärme nach der Tiefe ist also auch unter solchen klimatischen Verhältnissen dargetan.

Besonders zahlreiche Beobachtungen wurden in tiefgehenden Bergwerken angestellt, und von diesen Beobachtungen gingen auch die ersten wissenschaftlichen Verwertungen aus, obwohl die Fehlerquellen hier vielfacher und sehr störender Art sind. Man denke an die für das Arbeiten in der Tiefe nötige Luftzirkulation, an die Ausdünstungen und das Atmen von Menschen und Tiere, an das Durchbrechen bald kalter, bald warmer Quellen, und selbst die Luft, indem sie zur Tiefe niedersteigt, wird kondensiert und gibt Wärme frei. Ein bloßes Messen der Luft gibt deshalb ganz unzuverlässige Werte an; ein gleiches gilt für das Wasser. Die Methode welche zu Temperaturmessungen in Gruben befolgt wird,

*) In den kalten Ländern entspricht die auf der neutralen Fläche herrschende konstante Temperatur nicht der mittleren Lufttemperatur des betreffenden Ortes, wie dies sonst der Fall ist, sondern der mittleren Temperatur der äussern Bodenschicht, welche wegen der schützenden Schneedecke höher ist als die mittlere Lufttemperatur.

besteht darin, dass man in das Gestein Bohrlöcher treibt und Thermometer hineinbringt; bei Befolgung gewisser Vorsichtsmaßregeln, welche den Einfluß der umgebenden Luft auf das Thermometer fernhalten sollen, ist es so möglich, befriedigende Beobachtungen zu erhalten.

Die Werte, welche man in den Freiberger Gruben für die geothermische Tiefenstufe erhalten hat, schwanken zwischen 30,5—32 m, in Cornwallis zwischen 16 und 46 m, als Mittelwert von über 12000 Beobachtungen in den sächsischen Bergwerken erhielt Reich 42—43 m, (neuere Messungen haben als Mittel 50 m ergeben,) wobei der Betrag der geothermischen Tiefenstufe zwischen 16 und 118 m schwankte, was einem Verhältnisse von 1 zu 7,4 entspricht. In den Kohlenbergwerken findet man durchgehend niedrigere Werte, und in den Erzgängen selbst ist die Temperatur für dieselbe Tiefe stets etwas höher als im umgebenden Gestein.

Beobachtungen in Tunnels können auch in mancher Hinsicht wertvolle Aufschlüsse geben, zumal besonders die grossen Alpentunnels sich in einer Tiefe in Bezug auf die Bergesoberfläche befinden, welche von Bergwerken gar nicht und von einigen Bohrlöchern nur annähernd erreicht wird. Der vertikale Abstand von der Sohle des Mont-Cenistunnel bis zur Spitze des Berges mißt 1609 m, des St. Gothardtunnel über 1700 m und des Simplontunnel über 2200 m. Hier hat man nun die Erfahrungen gemacht, dass die über die Grenzen des ewigen Schnees hinausreichenden Gipfel für die Temperaturzunahme kaum in Betracht kommen und dass die vertikale Tiefe eines Punktes im Innern der Berge weniger in Betracht kommt, als seine kürzeste Entfernung von der Oberfläche des Berges. Die wertvollsten Resultate liefern die Bohrlöcher, welche in neuester Zeit mit den mächtigen Mitteln moderner Technik bis zu bedeutenden Tiefen ausgeführt wurden und wobei die Beobachtungen der Temperatur in der Tiefe mit einer Genauigkeit ausgeführt wurden, die jede Garantie für genaue Resultate bietet.

Da alle die störenden Faktoren, welche bei Bergwerken und Tunnels in Betracht kommen, hier wegfallen oder doch leichter unschädlich gemacht werden können, ist aus den Ergebnissen dieser Bohrungen am ehesten auf ein Gesetz zu schlussfolgern und es hat in dieser Hinsicht auch nicht an Versuchen gefehlt.

In nachstehenden Tabellen sind einige Beobachtungen zusammengestellt.

I. Bergwerke:

Name des Schachtes		Tiefe	Temperatur	Geothermische Tiefenstufe
Freiberg in Sachsen.	Beschertglück	120 m	10°	
	„	300 m	15°6	32 m
	Himmelfahrt	100 m	10°	
	„	250 m	15°	30 m
	Junghohebirke	78 m	16°1	
	„	315 m	17°2	30,5 m
	Wheal Abraham	73 m	16°1	—
	(Cornwallis)	110 m	17°5	26,50 m
	„	227 m	21°1	32,50 m
	„	324 m	23°3	46,50 m
	„	366 m	25°6	16 m

In Kohlengruben ist die geothermische Tiefenstufe durchwegs niedriger als in andern Bergwerken.

In Anzin erhielt man für 4 verschiedene Schächte die Werte 26,75 m, 20,67 m, 15,36 m, 15,45 m.

II. Tunnels:

Im Mont-Cenistunnel machte man folgende Beobachtungen:

Abstand zwischen der Oberfläche des Berges und der Sohle des Tunnels.	Temperatur des anstehenden Gesteins in C.
520 m	17°
. . . . .	19°5
. . . . .	22°8
. . . . .	23°6
910 m	27°5
1370 m	28°8
1690 m (Mitte d. Tunnels)	29°5

Die geothermische Tiefenstufe beträgt zwischen 49—50 m.

Beim St. Gothardtunnel wurden an der Nordseite 658 m unter Tag 22,4° C, auf der Südseite in 1074 m Tiefe 27,3° C, unter dem Scheitel in ca 1800 m Tiefe 30,8° C gemessen, was einer geothermischen Tiefenstufe von 48 m entspricht.

Beim Simplontunnel wurde als Maximaltemperatur sogar 54,4° C vermerkt; die geothermische Tiefenstufe beträgt hier 36—38 m.

III. Bohrlöcher resp. artesische Brunnen:

Name	Tiefe	geothermische Tiefenstufe
Rüdersdorf bei Berlin	290 m	30 m
Neusalzwerk in Westfalen	644 m	29,20 m
Mondorf in Luxemburg*	730 m	31,04 m
Mouillelonge (Creusot)	816 m	30,70 m
Torey (Creusot)	554 m	30,70 m
Grenelle (Paris)	298 m	22,80 m
"	400 m	66 m
"	505 m	39 m
"	548 m	33,90 m
Schladebach	1748 m	35,7 m
Sennewitz bei Halle	1084 m	36,5 m
Lieth bei Altona	1259 m	35 m
Sperenberg	1269 m	33,7 m
Paruschowitz	2003 m	34,1 m

Es geht aus den Tabellen zur Genüge hervor, dass der Wert der geothermischen Tiefenstufe von einem Ort zum andern bedeutenden Schwankungen unterworfen ist; aber noch mehr, auf derselben Vertikalen schwankt die geothermische Tiefenstufe wie schon aus ihren Werten beim artesischen Brunnen von Grenelle hervorgeht.

Im Albertschacht des Silberbergwerks von Przibram in Böhmen hat man für die geothermische Tiefenstufe folgende Werte gewonnen: 34, 37, 53, 172, 74, 52.8, 68.7, 57.7, 55.9, 135.5, 82.7 m.

Hält man sich für das Bohrloch von Sperenberg strikt an die Beobachtungen, so erhält man für die geothermische Tiefenstufe folgende Werte: 33.40, 21.30, 140, 28.70, 34.20, 28.70, 23.30, 37.95, 132 m. (Infolge mangelhafter Beobachtungen sind die Werte 140 und 132 m wohl auszuschalten).

Welche Schlüsse lassen nun diese Tatsachen zu?

Wenn bei Sperenberg bei 1269 m eine Temperatur von 48°,1 C, bei Schladebach bei 1748 m 56° C, bei Paruschowitz bei 2003 m 69°,3 C beobachtet wurde, ist also eine Zunahme der Wärme proportional der Tiefe für die obern Teile der Kruste dargetan.

*) Die wasserführende Schicht, aus welcher die Quelle kommt, liegt schon bei 502 m.

Die Zunahme der Wärme mit der Tiefe ergibt sich ausserdem durch hunderte von Beobachtungen. Dass man aber von einem Mittelwert der geothermischen Tiefenstufe, den man gewöhnlich zu 33 m angibt, sprechen kann, ist nicht statthaft. Denn theoretisch hat diese Zahl keinen Wert, die geothermische Tiefenstufe ändert vielmehr von Ort zu Ort und sogar auf derselben Vertikalen. Und gerade diese Schwankungen, diese scheinbaren Anomalien sind ein Beweis dass die Temperaturzunahme auf eine allgemeine, im Innern der Erde liegende Ursache zurückzuführen ist.

Vor allem ist es sehr wahrscheinlich, dass mit grösserer Tiefe die geothermische Tiefenstufe grösser wird und dass sogar von einer gewissen Tiefe an eine konstante Wärme herrscht, sodass man keineswegs zu solch phantastischen Zahlen gelangt wie sie sich ergeben, wenn man den Erdradius einfach durch den sog. mittleren Wert der geothermischen Tiefenstufe dividiert. Denn die Erde ist wie eine Kugel die einen gewissen Vorrat Wärme aufgespeichert hat, welche Wärme in den kalten Himmelsraum abfliesst und da ist es klar, dass in der Nähe der Oberfläche der Abfluss der Wärme viel rascher vor sich geht als im Innern, was auch experimental durch G. Bischoff dargetan wurde.

Die Schwankungen der geothermischen Tiefenstufe lassen sich erklären aus der Umgebung der beobachteten Punkte. Heisse Quellen, vulkanische Intrusionsmassen verringern natürlich den Betrag derselben, wie z. B. der geringe Betrag von 11 m im Bohrloch von Neuffen von Branco auf die Nähe einer noch nicht erkalteten Lavamasse zurückgeführt wird. Vor allem kommt aber die Leitungsfähigkeit der Gesteine in Betracht. Bei ein und demselben Gesteine muss der Wert der Tiefenstufe ein viel konstanter bleiben als wenn das Gestein stetig wechselt oder dazu auch noch bald warme oder kalte Quellen auftreten. Bei Sperenberg blieb das Bohrloch mit Ausnahme der obersten Schicht beständig in einer Salzmasse, Wasserzutritt war ausgeschlossen; im Bohrloch Paruschowitz V aber durchstiess man bis 82 Kohlenflötze, die zwischen Sandstein und Schiefer lagen. Die Leitungsfähigkeit der Gesteine für Wärme ist indess sehr verschieden und Gesteine welche die Wärme rascher fortleiten, weisen demgemäss eine grössere geothermische Tiefenstufe auf. Die Leitungsfähigkeit von Steinsalz, Sandstein und Tonschiefer verhält sich ungefähr wie 6 : 3 : 1. Kohle ist ein schlechter Leiter, Steinsalz ein guter, weshalb die geothermische Tiefenstufe eine geringere in Kohle als in Steinsalz ist. Dazu kommen

noch im Gestein vor sich gehende chemische Zersetzungen, wie z. B. Zersetzung von Eisenkiesen welche die Temperatur lokal beeinflussen. Selbst durch die Schichtenstellung wird die Leitungsfähigkeit beeinflusst, indem die Wärme leichter in der Schichtenrichtung abfliesst als quer zu dieser. Die Temperaturzunahme erfolgt deshalb langsamer bei steiler Schichtenstellung als bei horizontaler Lagerung.

Zu all diesen Unregelmässigkeiten kommen dann die Beobachtungsfehler und so wird es erklärlich dass es bis dato noch nicht gelungen ist eine allgemein gültige Formel über die Zunahme der Wärme nach dem Erdinnern aufzustellen. Anders kann es auch nicht sein, wenn wir bedenken dass das tiefste Bohrloch nur $^1/_{3175}$ des Erdradius beträgt. Aber das steht sicher, dass mit wachsender Tiefe die Wärme zunimmt; das lehren alle Beobachtungen, und nach dem Gesetz, nach welchem die Wärme von einer wärmern Schicht zu einer kältern abfliesst, müssen die obern Schichten von den unter ihnen liegenden Wärme zugeführt bekommen, welche sich dann in den kalten Himmelsraum zerstreut.

Alle weiteren Schlüsse, welche man nun aus den in so unbedeutenden Tiefen gemachten Beobachtungen auf das tiefere Erdinnere überträgt, haben natürlich etwas hypothetisches an sich, denn es ist gewiss nicht erlaubt so ohne weiteres von 2 km auf 6000 zu schliessen. Jedoch bis 2000 m ist die Zunahme stetig; sie kann es wenigstens bis 6000 m sein, wo dann schon 170° C herrschen, welche Temperatur sich schon nicht mehr durch lokale chemische Prozesse, sondern nur durch die Annahme eines Zentralherdes erklären lässt. — Die höchsten Erhebungen der Erde betragen bis 8000 m, die tiefsten Meeresabgründe über 9000 m, was einer Niveaudifferenz von 17000 m entspricht. Während also unter einem solchen Bergmassiv bei 17000 m eine Temperatur von 500° C herrscht, beträgt dieselbe am Meeresboden 0°, es kann also an zwei Punkten, welche gleichweit vom Erdzentrum entfernt sind, ein Temperaturunterschied herrschen, welcher Gesteine plastisch macht. Solche Niveaudifferenzen von 10—14 km haben wir aber in solch nahen Abständen, z. B. an der Westküste von Südamerika oder an der Küste von Ostasien, dass man hier wirklich von schwachen Punkten der Erde schon unter diesem Gesichtspunkt reden kann.

Zu diesen Zeugnissen für eine nach dem Erdinnern zunehmende Wärme kommen die Thermen und die Auswurfsmassen der Vulkane, die Laven.

(Fortsetzung folgt.)