

XI.

Ueber das thermische Regime der Erdoberfläche im Zusammenhang mit den geologischen Pro- zessen.

(Mit Tafel XIV).

Von **L. Jaczewski.**

«La supposition d'un feu central est extrêmement ancienne, elle remonte peut être aux premiers temps de la civilisation. Elle a fourni le fonds de quelques-unes de fables dont le genre humain a été bercé dans son enfance».

Cordier. Mem. de l'Acad. d. Sc. d. France T. VII, p. 473.

«La chaleur agit de la même manière dans le vide, dans les fluides élastiques et dans les masses liquides ou solides; elle n'y propage que par voie d'irradiation, mais ces effets sensibles diffèrent selon la nature des corps».

Fourier. Oeuvres. T. I, p. 31.

EINLEITUNG.

Vor zwanzig Jahren, während meiner Forschungen im Transbaikal-Gebiet hatte ich zum ersten Mal Gelegenheit den sog. ewig gefrorenen Erdboden kennen zu lernen. Diese Er-

scheinung interessirte mich in hohem Grade und gelangte ich schon längst zur Ueberzeugung, dass ihre Bedeutung von der Wissenschaft nicht in genügendem Maasse gewürdigt worden ist.

Meine Bemühungen¹⁾ diese Erscheinung näher zu beleuchten, genügten mir nicht und verfolgte ich mit unverändertem Interesse Alles, was mein Urtheil in dieser Frage irgendwie vervollständigen und berichtigen konnte.

Im Herbst 1903 machte ich mich, bei der Untersuchung der Entstehungsbedingungen von Flusseis, mit den Arbeiten von Homén bekannt²⁾. Diese Arbeiten zeigten mir die Bedingungen des thermischen Regimes der Erdoberfläche in ihrer wahren Bedeutung. Die Ursache des Bestehens einer ewig gefrorenen Erdschicht wurde mir vollkommen verständlich. Das Verstehen dieser Ursache führte, wie mir schien, zu einer ganzen Reihe neuer speculativer Schlüsse, welche mich veranlassten sie an der Hand geothermischer Daten zu prüfen.

Diese Schlüsse festigten sich auf Grund nochmaliger Durchsicht der einschlägigen Litteratur und gewannen schliesslich feste Formen, so dass ich im Frühjahr 1904 es für möglich erachtete, dieselben der Mineralogischen Gesellschaft mitzuthemen.

Die anfänglich begrenzte Frage bezüglich des ewig gefrorenen Bodens erweiterte sich zu einer Frage, welche die Grund-

¹⁾ Jaczewski, L. «Ueber den ewiggefrorenen Boden in Sibirien»: Iswestija d. K. Russ. Geogr. Ges. 1899. S. 341. «Bemerkungen über die geothermischen Beobachtungen in Sibirien»; Verhandl. d. K. Russ. Mineral. Ges. B. 31, S. 161. Herr Professor A. J. Woeikow erwies mir die Ehre ein umständliches Referat dieser Arbeiten in Petermann's Mittheilungen und in der Meteorologischen Zeitschrift zu publicieren. Im letztgenannten Journal (XXII Jahrg. 1895) haben sich folgende Druckfehler eingeschlichen: Mein Name ist unrichtig «Jacvesky» gedruckt; die Beobachtungsorte «Kubekowa» und «Kemtschuk» sind fälschlich «Krebekowo» und «Kerutschug» benannt

²⁾ Homén, Th. a) Bodenphysikalische und meteorologische Beobachtungen mit besonderer Berücksichtigung des Nachtfrostphaenomens. Bidrag till kännedom of Finlands natur och folk. Heft 54, 1894. b) Der tägliche Wärmeumsatz im Boden und die Wärmestrahlung zwischen Himmel und Erde. Helsingfors 1897.

lagen fast sämtlicher Gebiete des geologischen Wissens berührt.

Während meiner Arbeit empfand ich leider öfters den Mangel nicht mit erwünschter voller kritischer Ueberzeugung in gewisse Gebiete eindringen zu können, welche die Hypothese in den Augen des Autors zur Wahrheit werden lässt. Ich gewann die Ueberzeugung, dass die von mir berührten Fragen sowohl ihrer Natur, wie auch ihres Umfanges nach das Vermögen eines Menschen überschreiten und daher ihre Untersuchung die Co-operation vieler erfordert.

Lyell belegte durch seine Autorität die Versuche das geologische Leben der Erde durch geogenetische Hypothesen zu erklären, gewissermassen mit einem Inderdikt. Doch durch Ironie des Schicksals lebt unser geologischer Gedanke unverändert fort und findet seine Nahrung in der Kantschen resp. sogar in der Des Cartes'schen Geogenie.

Wenn meine Zusammenstellungen, sowie meine Versuche, einige geologische Prozesse neu zu beleuchten und zu erklären, die Veranlassung zu aktiver Auflehnung gegen die bestehenden, mich persönlich nicht befriedigenden, Hypothesen geben sollten, so kann ich den Zweck meiner vorliegenden Arbeit als erreicht betrachten.

Kapitel I.

Allgemeine Auffassungen.

Schon im Jahre 1807 ist durch den berühmten französischen Forscher Fourier¹⁾ eine Vorstellung von dem Wärmeregime der Erdoberfläche geschaffen worden, welche sich unverändert bis auf die Gegenwart in der Wissenschaft erhalten hat.

¹⁾ Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. Mémoires de l'Académie royale des sciences. T. VII. (1827 an.) p. 569.

Der obersten Schicht der Erde wird Wärmeenergie aus drei Quellen zugeführt: 1) aus dem Inneren der Erde, aus dem die Wärme als Resultat stetiger Abkühlung der ursprünglich glühenden Erdmasse strömt, 2) aus dem Weltenraum mit dem in ihm verstreuten Planeten und Fixsternen, welche der Erde einen Theil ihrer Wärme abgeben und 3) von der Sonne.

Die Wärmemenge, welche die Erdoberfläche aus dem Inneren erhält, bestimmt Hann ¹⁾ auf nicht ganz 54.2 Gramm Kalorien per Jahr auf 1 qcm. Oberfläche. Die von den Planeten, Fixsternen und dem Monde zur Erde gelangende Wärme schätzt Langley auf Tausendstel 1 Kalorie per Jahr ebenfalls auf 1 qcm. Erdoberfläche.

Die Sonne liefert der Erde im Laufe eines Jahres auf 1 qcm. am Aequator 481750 Kalorien. Aus diesen Daten erhellt, dass in dem Wärmeregime der Erdoberfläche die Sonnenwärme die Hauptrolle spielt.

Um die Wärmemenge, welche die Erdoberfläche aus den verschiedenen Quellen erhält, bildlich darzustellen, folgen wir dem Beispiel von Angot, Hann u. A. und berechnen die Dicke einer Eisschicht, welche diese Wärmemengen in Wasser zu verwandeln vermögen. Die innere Erdwärme kann eine Eisschicht von 7,7 mm. schmelzen, die der Erdoberfläche am Aequator von der Sonne gelieferte Wärmemenge—dagegen eine Eisschicht von 65,67 m. Dicke, also eine fast 10,000 Mal dickere Schicht.

Eine zweite Auffassung, die, wenn auch nicht in der Wissenschaft, so doch jedenfalls in den Lehrbüchern der Geologie und Geophysik festen Fuss gefasst hat, ist diejenige, dass die von der Sonne der Erdoberfläche gelieferte Wärme nur in eine geringe Tiefe der Erde eindringt. Unterhalb dieser Grenze zeigen die jährlichen Temperaturschwankungen der Atmosphäre keinen

¹⁾ J. Hann, Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig 1901. S. 22.

Einfluss mehr auf die Bodentemperatur. Weiterhin nimmt man an, dass die indifferente Schicht, d. h. die Schicht, auf die die jährlichen Temperaturschwankungen der Luft keinen Einfluss ausüben, am Aequator oder in den Tropen sich nahe der Erdoberfläche befindet, mit zunehmender Breite aber stetig in die Tiefe rückt und dass die Oberfläche der Schicht mit sog. constanter Temperatur ein Ellipsoid bildet, welches vom Erdellipsoid umschlossen ist, indess eine stärkere Abplattung besitzt als letzteres ¹⁾).

Drittens, ebenfalls als allgemein anerkannter Satz, gilt die Annahme eines stationären Wärmezustandes, d. h. dass die Erdrinde im Laufe des Jahres gleichviel Wärme empfängt und abgibt ²⁾).

Die hier angeführten Vorstellungen von dem Wärmeregime der Erdoberfläche, deren Anfänge fast hundert Jahre ³⁾ zurückliegen, bedürfen, unserer Meinung nach, einer gewissen Kritik.

Das seit den ersten Mittheilungen Fouriers verflossene Jahrhundert ist nicht spurlos vorübergegangen; es hat uns werthvolles Material in den directen Temperaturbeobachtungen der Erdschichten in verschiedener Tiefe geliefert, wir haben gelernt die Temperatur in den Tiefen der Meere, sowie in hohen Schichten der Atmosphäre zu bestimmen. Unabhängig von den in dieser

¹⁾ Günther, S. Handbuch d. Geophysik. Stuttgart 1897, Bd. I. Auf S. 329 ist in einer Zeichnung ein anschauliches Bild dieser Vorstellung gegeben. Nach der Meinung Bischof's beträgt die Tiefenlage der Schicht von 22° R. — wenn sie sich am Aequator fast an der Erdoberfläche befindet — am Nordpol 3151 Fuss. (Die Wärmelehre d. Innern unseres Erdkörpers. S. 175).

²⁾ Woeikow, A. Meteorologie. 1903. Ich citire hier diesen Autor, da er in allerneuester Zeit diese Frage berührt hat.

³⁾ Die Denkschrift von Fourier wurde im Auszuge im Jahre 1824 gedruckt; sie erschien vollständig in den Mémoires de l'Acad. Royale de France im Jahre 1827; in dieser weist Fourier darauf hin, dass sich im Archiv der Akademie eine von ihm zu Ende des Jahres 1807 vorgestellte Arbeit befinde, in der er die Fragen der Geothermik mathematisch analysirt.

Zeit gesammelten Beobachtungen hat sich unsere Auffassung von der Natur der Wärme- und Kälteerscheinungen von Grund aus geändert und unwillkürlich drängt sich die Frage nach der Anwendung dieser neuen Anschauungen auf die Wärmeerscheinungen auf, welche sowohl an der Erdoberfläche, als auch in gewissen Tiefen unseres Planeten vor sich gehen.

Wir wollen uns zunächst in historischer Reihenfolge mit den Daten bezüglich des Wärmeregimes der tiefen Schichten der Erde und dann mit den Beobachtungsergebnissen der Erdbodentemperaturen und der Temperatur der Meere beschäftigen.

Kapitel II.

Kurze historische Uebersicht der Entwicklung der Geothermik. Uebersicht der geothermischen Daten.

Im Jahre 1827 gaben Cordier ¹⁾ und Muncke ²⁾, unabhängig von einander, eine Uebersicht der Daten über die Geothermik, welche zu Beginn ihrer Arbeiten bekannt waren. Nach den Worten Cordier's wurden die ersten Beobachtungen um die Mitte des XVIII Jahrhunderts in den Schächten von Gironne in Frankreich angestellt. Cordier stand Beobachtungen aus mehr als 40 Schächten zur Verfügung; die Zahl der Beobachtungen belief sich auf ca. 300.

Muncke misst den Beobachtungen von Trebra in den Schächten Sachsens, die in den Jahren 1806 bis 1815 ausgeführt worden, besondere Bedeutung bei. Eine entscheidende Bedeutung auf dem Gebiete der beobachtenden Geothermik gebührt indess unstreitig den Arbeiten Cordier's, welcher seine

¹⁾ Cordier, L. Mem. de l'Acad. R. des sciences de l'institut de France. T. VII (1827) p. 473.

²⁾ J. S. T. Gehler's Physikalisches Wörterbuch. Bd. III. S. 970 (Leipzig 1827).

Beobachtungen mit der für seine Zeit möglichen Genauigkeit anstellte und das zu seiner Verfügung stehende Beobachtungsmaterial kritisch behandelte.

Im Jahre 1837 erschien das grosse Werk von Bischof¹⁾, welches der Untersuchung des Wärmeregimes der Erde in umfassendster Weise gewidmet ist. Bischof beschränkte sich nicht auf die Sammlung und Kritik des ihm zugänglichen Beobachtungsmaterials, sondern legte selbst den Grund zu systematischen Beobachtungen der Erdbodentemperatur und führte eine experimentelle Methode zur Erforschung dieser Frage ein. Wir haben hier seine Versuche mit Basaltkugeln, sowie die Beobachtungen ihrer Abkühlung im Auge.

Auf Vorschlag von W. Thomson setzte die Britische Association eine besondere Commission zur Sammlung von Daten bezüglich der Geothermik nieder²⁾. Zum Secretär dieser Commission wurde Prof. J. D. Everett erwählt, welcher auch noch gegenwärtig die Arbeiten dieser Commission leitet. Gegenwärtig sind von der Commission 22 Berichte veröffentlicht worden.

An den Arbeiten der Commission betheiligte sich Prof. Prestwich³⁾ und veröffentlichte im Jahre 1885, mit theilweiser Benutzung der von der Commission gesammelten Daten, eine Uebersicht des gesammelten Materials bis zum Jahre 1884. Durch die vielseitige Behandlung des Materials ist diese Arbeit von hoher Bedeutung auf dem Gebiet der Geothermik. Für die

¹⁾ Bischof, G. Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers. Leipzig 1837.

²⁾ In der Arbeit von Cordier befindet sich ein Hinweis, dass die Pariser Akademie der Wissenschaften auf den Vorschlag von Laplace eine Commission gebildet habe, welche sich mit der Erforschung des Erdmagnetismus, des Luftdrucks und zugleich auch der Temperatur des Erdinnern beschäftigen sollte. Ich habe die Berichte über die Arbeiten dieser Commission selbst nicht gesucht, aber einen Hinweis auf diese Veröffentlichungen nirgendwo finden können.

³⁾ Prestwich, J. On Underground Temperatures. Proceedings of the Royal Society. Vol. XLI № 246.

Zwecke, die wir in vorliegender Abhandlung verfolgen, lieferte sie eine Fülle fertigen Materials.

Im Jahre 1896 erschien das Werk von Dunker¹⁾, dem es gelang die ersten genauen Temperaturbeobachtungen im Innern der Erde, in dem tiefen Sperenberger Bohrloche anzustellen. Er giebt eine Zusammenstellung von Daten bis zum Jahre 1894, welche ihrer Qualität nach mehr oder weniger den Beobachtungen in Sperenberg entsprechen. Fügen wir noch zu den erwähnten wichtigsten Arbeiten bezüglich der beobachtenden Geothermik die Untersuchungen von Stapff²⁾ im Gotthard-Tunnel und die Arbeiten von Becker³⁾ in den Bergwerken von Comstock hinzu, so dürfen wir hiermit die historische Uebersicht der wesentlichsten Leistungen auf dem Gebiet der beobachtenden Geothermik⁴⁾ abschliessen.

Die Sammlung von Thatsachen auf dem Gebiete der Geothermik ist der theoretischen Untersuchung der Frage nur um wenig voraus.

Fourier bemerkt in einer seiner Denkschriften, dass er bei der Entwicklung seiner analytischen Theorie der Wärme stets als Endziel die thermischen Fragen der Erde im Auge hatte.

Von der Vorstellung ausgehend, dass die Erde als ein stark erhitzter Körper in den kalten Weltenraum gelangt sei, untersuchte er den Vorgang der thermischen Prozesse. Für uns ist

¹⁾ Dunker, E. Ueber die Wärme im Innern der Erde. Stuttgart 1896.

²⁾ Stapff. Studien über die Wärmevertheilung im Gotthard. Bern 1877.

³⁾ Becker, G. Geology of the Comstock Lode and the Washoe district. Washington 1882.

⁴⁾ Prof. Everett weist im letzten Bericht (Reports of the British Association 1901) auf das grosse Interesse der Geologen des U. S. N. A. Geolog. Survey für die Geothermik hin und bemerkt, dass N. H. Darton schon seit einigen Jahren Daten zur Herausgabe einer isogeothermischen Karte der Ver. Staaten von N.-A. sammle. Prof. Everett war es zufällig noch nicht bekannt, dass die geothermische Karte von Darton schon im Jahre 1898 erschienen war (Amer. Journ. of Science, CLV (1898), p. 161. Dacota).

von wesentlicher Bedeutung die Ansicht Fourier's, dass die Erde in unserer Epoche sich in einem derartigen Zustande befindet, dass ihre innere Wärme auf die Temperatur der Oberfläche nur von sehr geringem Einfluss sein kann und die mittlere Temperatur des Ortes höchstens um $\frac{1}{30}^{\circ}$ Cels. erhöhen kann. Fourier nahm an, dass die Erde sich in stationärem Wärmezustand befindet, dass ferner die Erde im Gebiet niedriger Breiten von der Sonne eine bedeutende Wärmemenge empfängt und dass diese Wärme sich in die höheren Breiten fortpflanzt, von wo sie dann durch Ausstrahlung in den Weltenraum übergeht.

Die thermischen Fragen der Erde bildeten auch den Gegenstand theoretischer Untersuchungen des berühmten französischen Mathematikers Poisson¹⁾. Seine mathematische Darlegung der Frage ist mir wegen nicht hinreichender specieller mathematischer Kenntnisse nicht zugänglich. Poisson geht bei seinen Betrachtungen hinsichtlich des Zustandes der Erde von einem anderen Standpunkt aus als Fourier. Er nimmt an, die Erde sei ein kalter Körper, der sich mit dem ganzen Sonnensystem im unendlichen Weltenraum, in dessen verschiedenen Theilen verschiedene Temperaturen herrschen, fortbewegt und periodisch bald in warme, bald in kalte Gebiete gelangt. Nach erfolgter Erwärmung in warmen Gebieten des Weltenraumes giebt die Erde die empfangene Wärme wieder in kalten Gebieten ab.

Nach dem Ausspruch Poisson's stehen die Resultate der Beobachtungen der Erdtemperatur nicht in Widerspruch mit obiger Hypothese. Nimmt man an, die Temperatur des Weltenraumes schwanke von $+100^{\circ}$ bis -100° und die Erde vollführe im Laufe von 1 Million Jahren gewissermassen eine volle Pendelschwingung, d. h. durchlaufe ein Gebiet von $+100^{\circ}$ bis -100° und kehre wieder zurück in ein Gebiet von $+100^{\circ}$,

¹⁾ Poisson, S. D. Théorie mathématique de la chaleur. Paris. 1835.

so ergibt sich durch Rechnung, dass das Temperaturmaximum ungefähr in einer Tiefe von 7000 Metern liegen müsse und dass der Betrag desselben die Temperatur der Erdoberfläche um 107° übertreffen könne. Von dieser Tiefe an, weiter in der Richtung zum Centrum hin, müsse die Temperatur stetig abnehmen und in einer Tiefe von 60,000 Metern der Einfluss der Temperatur des Weltenraums nicht mehr wahrnehmbar sein. Poisson nimmt an, dass die gegenwärtige Lage der Erde im Weltenraume dem Gebiet der Minimal-Temperatur entspricht.

Die Formeln, welche Fourier und Poisson zur Bestimmung der Bewegung der Wärmeströmungen und der Wärmemenge entwickelt haben, stehen in gar keiner Beziehung zu den theoretischen Anschauungen über die Natur der Wärmeerscheinung selbst und ungeachtet dessen, dass sich seit den Zeiten Fourier's und Poisson's diese Anschauungen von Grund aus geändert haben, sind ihre Formeln unbeanstandet geblieben. Bei der Untersuchung der Fragen, die sich auf die Temperatur sowohl der Erdbodenschicht, als auch der tieferen Theile der Erde, beziehen, werden sie noch gegenwärtig allgemein angewandt.

Im Wesentlichen führen alle neueren Versuche der Bearbeitung des geothermischen Beobachtungsmaterials zur Ableitung empirischer Coefficienten, welche nur in sehr beschränkten Grenzen anwendbar sind. Was die theoretische Seite der Frage betrifft, so schlossen wir uns mehr oder weniger den Anschauungen Fourier's, Cordier's und Bischof's an; die Auffassung von Poisson hat bekanntermassen keine Anhänger gefunden.

Den genannten vier Forschern stand jedoch ein sehr begrenztes Beobachtungsmaterial zur Verfügung. Aus der chronologischen Tabelle von Prestwich, welche 231 Stationen enthält, geht hervor, dass Bischof nur 29 ¹⁾ Stationen benutzen konnte,

¹⁾ Cordier giebt eine etwas grössere Zahl von Stationen.

wobei die grösste Tiefe, bis zu welcher die damaligen Beobachtungen reichten, nicht unter 1712 Fuss = 521,9 Meter hinausging. Diese Tiefe bezieht sich auf das Silberbergwerk von Guanaxuato (in Mexico), dessen absolute Höhe ca. 2020 Meter beträgt ¹⁾.

Die Tiefe der Beobachtungen unter dem Meeresniveau betrug nicht mehr als 350 Meter (die Kupfer- und Zinnbergwerke von Dalcoath in Cornwall). Bischof verfügte über Beobachtungen nur eines Bohrlochs und zwar desjenigen von Pregny bei Genf, dessen Tiefe nicht volle 200 Meter erreichte.

Diese wenigen Zusammenstellungen zeigen sehr deutlich, wie beschränkt das Material — sowohl in quantitativer, als auch qualitativer Beziehung — ist, auf das sich die uns überkommene Vorstellung von der stetigen Zunahme der Temperatur mit der Tiefe gründet.

Sämmtliche neueste Beobachtungen haben, wie dies ohne Einwand von der Wissenschaft anerkannt ist, den vor mehr als hundert Jahren gezogenen Schluss bestätigt.

Wie vorhin bemerkt, ist von Prestwich das Beobachtungsmaterial bis zum Jahre 1884 gesammelt worden. In seinen chronologischen Tabellen nimmt das Spenberger Bohrloch die 144. Stelle ein. Da die absolute Bedeutung der Beobachtungen in diesem Bohrloch hinreichend bekannt ist, so hätten wir, um alle wesentlichen Beobachtungen auf dem Gebiete der Geothermik in Betracht zu ziehen, zu den Daten Prestwich's eigentlich nur noch die Beobachtungen in den Bohrlöchern von Schladebach und Paruschowitz hinzuzufügen.

Da indess Zusammenstellungen von der Art der Prestwich'schen eine Orientierung sehr erleichtern, haben wir es

¹⁾ Bei Prestwich (Commission d. Britisch. Assoc.) und in amerikanischen Quellen ist die Tiefe in Fussen, die Temperatur in Fahrenheitgraden, bei anderen Autoren z. B. bei Dunker — die Temperatur in Réaumurgraden gegeben; in vorliegender Arbeit geben wir die Tiefe in Metern, die Temperatur in Celsiusgraden.

I. Tabellarische Uebersicht der Geothermischen Stationen.

Nr.	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur Co.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
Europa.							
232	London (Richmond Vestry). Bohrloch	51°31' N. B. 0°52' W. L.	5,1	407,6	24,10	29,5	Rep. of Brit. Assoc. 1885, p. 93. Diese zweite Beobachtungsserie ist einem der späteren Bände d. Rep. of Br. Ass. entnommen; aus Versehen ist in meinen Bemerkungen das Ausgabejahr nicht notirt.
				441,1	24,84		
				166,4	13,3	37,8	
				237,8	15,2		
				310,9	17,2		
				387,8	18,6		
233	Macholles. Bohrloch	45°50' N. B. 3° Ö. L.	328	1005,66	79,1	14,16	A. Michel Levy. Comptes Rendus de l'Academie de Paris. 1896, p. 1503.
234	Charmoy (Creusot) Bohrloch	47° N. B. 4°30' Ö. L.	312	1167,87	53,7	26	Idem.
235	Kohlengrube Flénu (Belgien westl. von Mons).	50°30' N. B. 4° Ö. L.	—	1150	47 u. 48	29,6	I. Libert. Fort, d. Kosm. Physik. 1892. S. 461. Nach Einführung von Ventilation, sal die Temperatur

	im Elsas. Bohrloch.	Als angenäherte Koordinaten mögen die von Strassburg dienen. 48°35' N. B. 7°46' Ö. L.	Ungefähr 180—200	305	47,5	Gradient, gerechnet von der Oberfläche bis zur Tiefe: 305—12,2 m. 360—12,1 » 400—11,8 » 480—10,1 » 510—9,0 » 620—8,6 »	Daubrée. Comtes R. Ac. Fr. CXVII, p. 265. Van Werveke. Zeitschrift f. prakt. Geologie. 1895. S. 105.
237	Oberkuntzenhausen im Elsas. Bohrloch.	—	—	236	18	Mittlerer Gradient=16,2 m. Specielle Gradienten: 236—275=7,8. 275—281=1,5. 281—334=6,1. 387—509=24,4.	Van Werveke. Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1895 S. 106.
238	Pechelbroon im Elsas. Bohrloch	—	—	28	16,0	—	Branco W. Jahreshefte d. Vereins f. Naturkunde in Württemberg. 1897. Jahrg. 53. S. 42.
				73	21,0		
				94	21,0		
				105	21,0		
				120	21,0		

No.	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur C.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
	Pechelbroon im Elsas. Bohrloch	—	—	140 153 193 350 472 516	21,5 21,5 23,0 35,0 44,0 47,0	—	
239	Wiesbaden. Bohrloch .	50°5' N. B. 8°15' Ö. L.		236	19	—	V. Reinach. Fort. d. Kosm. Physik 1892. S. 462.
240	Sulz am Neckar. Bohr- loch	48°22' N. B. 8°36' Ö. L.	439	20 593 710	8,05 31,76 36,66	Mittl. Gradient 24,08	F. Braun und K. Waitz. Jahreshefte d. Vereins. f. Naturkunde in Würtem- berg. 1892. Jahrg. 48. S. 1.
241	Jdria. Quecksilberg- werk	Ungefähr 46°30' N. B. 13°30' Ö. L.	— 329 231	—	— 11,5 17,5	—	Th. Scheimpflug und M. Holler. Sitzb. Wien. Akad. Bd. CXIII. Ab. IIa. 1899. S. 950. Die Temperaturen wurden in den Gruben geme-

	WERK		180		25,3	
			74		16,0	
242	Sauerbrunn, bei Bilin in Böhmen. Bohrloch .	50°40' N. B. 13°45' Ö. L.	—	6	6,4	32,07
				15	9,8	
				50	12,0	
				100	13,5	
				130	14,6	
243	Paruschowitz V. Bohr- loch	50°7' N. B. 17°55' Ö. L.	254	6	12,1	31,82
				285	18,9	
				595	28,8	
				905	35,8	
				1215	46,4	
				1525	53,8	
				1835	65,0	
				1959	69,3	
244	Knurow bei Gleiwitz in Böhmen.	50°15' N. B. 18°36' Ö. L.	—	698,72	31,33	—

Puluj I. Electrotechnische Zeitschrift. 1890. S. 684.

Wir führen nur einen Theil der Daten an. Die Beobachtungen wurden mittels Telethermometer des Autors angestellt. Elek. Z. 1890. S. 113.

Henrich F. Zeitschrift. f. praktische Geologie. 1904. S. 316.

Wir führen nur einen Theil der Daten an.

Köbrich. Fort. d. Kosm. Phys. 1893. S. 542.

№	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur C°.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
Asien.							
245	Kubekowa. Bohrloch .	Ungefähr 57° N. B. 93° O. L.	—	5,33 21,30 44,73 69,40	2,1 4,8 5,5 6,0	16,4	L. Jaczewski. Verhandl. d. K. Mineral. Gesellsch. II. Serie. B. XXXI. S. 168.
246	Tokio. Bohrloch . . .	35°40' N. B. 139°40' O. L.	—	20,2 81,3 176,5 269,0 360,9	15,10 16,88 19,28 21,57 23,62	— 34,3 39,6 40,5 44,8	Tanakadate A. Compte Rendus des seances de la 2-me confé- rence sismologique inter- nationale (Ergänzungs- band II. Beiträge zur Geophysik). Leipzig. 1904. S. 307.
Afrika.							
	Sahara, französische (Bohrbrunnen).	Zwischen 30° u. 35° N. B.					
247	Groupe de Tebestbest .	—	—	81	25,5	} 20	Rolland. Comptes Rend. CXVIII, p. 1164.
248	Groupe de Mogar . . .	—	—	70	25,8		
		—	—	80	26,1		

Australien.							
250	Port Jackson (New South Wallis) . . .	34° S. B. 153° Ö. L.	Ungefähr 0	833	36,1	44	Rep. Brit. Assoc. 1895, p. 75.
Amerika.							
251	Homewood bei Pittsburg. Bohrloch . . .	40°30' N. B. 79° W. L.	274,3 (Ungefähr)	1097	35,6	37,94	A. Cummins. Fort. d. Phys. 1899. Phys. der Erde. S. 536.
				1219,8	42,2		
				1309,4	45,6		
252	Pittsburg (Forest Oil Company). Bohrloch .	—	—	716,4	25,5	39,7	W. Hallock. Entnommen aus einem Referat in The Americ. Journ. of Science CLIV (1879), p. 76.
				1524,3	49,4		
				1703	—		
253	Umgegend v. Marietta (W. Virginia). Bohrloch	39°15' N. B. 83° W. L.	485,0	20,4	—	Specielle Grad. 30,4—1360,3	W. Hallock. Rep. Brit. Ass. 1892.—Fort. d. Kosm. Physik. 1893. Berechnet nach dem Original.
			553,3	22,6		40,5 485,0—553,3	
			757,9	26,8		31,0 553,3—757,9	
			985,3	32,0		48,7 757,9—985,3	
			1181,4	37,8		43,7 985,3—1181,4	
			1360,3	44,9		33,8 1181,4—1360,3	
						29,3	

No.	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur C°.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
	Kupferbergwerke am Oberen See, Halbinsel Keeweenaw.	47° N. B. 89° W. L.					H. A. Wheeler. The Amer. Journ. of Science XXXII (1886), p. 125.
254	Atlantic	—	—	276,5	19,9	54,5	
255	Central	—	—	594,5	16,1	55,2	
256	Conglomerate	—	—	188,1	9,05	52,0	
257	Osceola.	—	—	303,6	12,5	41,9	
258	Tamarack.	—	—	682,9	16,6	60,6	
259	Quiney	—	—	588,7	14,7	66,7	
260	Hecla	—	—	1396	26,1	122,8	Agassiz. Fortschritte d. Kosm. Physik. 1895. S. 495.
	Nördl. u. süd. Dakota. Bohrbrunnen.	43°—48° N. Br. 95°—105° W. L.					
261	Aberdeen City	—	—	328,3—355,3	19,4	24,1	Darton N. H. The American Journal of Science CEV (1898), p. 161.
262	Andover	—	—	326,2—327,4	22,0	19,6	
263	Armour	—	—	212,2—230,7	20,1	16,3	
264	Britton.	—	—	297,5—304,8	17,7	24,6	
265	Chamberlain, Mill	—	—	178,3—182,9	22,0	11,7	

				255,4—255,0	21,1	19,6
267	Cheyenne Agency . . .	--	--	407,6	26,1	11,9
268	Crow Creek	--	--	231,7—237,8	22,2	15,3
269	Columbia	--	--	282,6—293,9	17,2	24,6
270	Doland.	--	--	268,2—272,8	20,5	18,0
271	Ellendale	--	--	317,6—331,4	20,5	20,1
272	Fort Randall.	--	--	175,6	26,9	9,5
273	Frederick	--	--	318,5—347,2	20,5	11,9
274	Faulkton	--	--	314,6	23,6	16,7
275	Greenwood	--	--	195,4—198,4	21,1	15,3
276	Groton, 4 miles N.	--	--	256,1—287,1	17,2	23,5
277	Harold.	--	--	437,5—442,3	34,9	15,3
278	Hitchcock.	--	--	289,6—290,5	21,1	18,5
279	Huron	--	--	292,6	21,1	18,5
280	Huron	--	--	254,8	18,3	19,6
281	Ipswich.	--	--	304,8(?)	22,0	18,5
282	Iroquois	--	--	259,1—260,6	21,8	15,8
283	Jamestown	--	--	444,5—450	24,4	20,5
284	Kimball	--	--	301,2—325,6	19,4	23,2
285	Lake Andes	--	--	221 —235,6	21,1	16,3

№.	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur °C.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
286	Letcher	—	—	173,7—175,9	14,4	19,6	
287	Mellette	—	—	269,5—280,4	18,3	11,9	
288	Miller	—	—	339,9—347,2	26,5	16,3	
289	Mitchell	—	—	161,5—167	13,3	22,6	
290	Northville.	—	—	292 —298,7	18,9	21,7	
291	Oakes	—	—	285,6	16,6	22,5	
292	Pierre	—	—	350,6—356,7	33,2	13,3	
293	Plankinton	—	—	225,6—227,1	16,6	11,9	
294	Redfield	—	—	287,8—293,9	21,1	18,5	
295	Rosenbud-Reservation	—	—	762,1	67,5	12,6	
296	Springfield	—	—	161,5—180,4	18,3	15,8	
297	Tripp	—	—	248,4(?)	17,2	24,1	
298	Tyndall.	—	—	213,4—224	17,0	23,5	
299	White Lake	—	—	256,7—259,1	17,7	22,1	
300	Wolsey.	—	—	261,5—267,6	24,4	13,8	
301	Woonsocket	—	—	208,5—221	16,3	19,6	
				140 — 181,4	16,6	18,5	

303	Yankton	—	—	131,7—138,7	15,5	17,4
304	Yankton	—	—	185,9—187,5	16,6	11,5
305	Yankton	—	—	182,9—204,8	17,7	19,8
306	Yankton 4 milles W.	—	—	137,1—152,4	17,7	14,4
	Comstock Grube.	39°8' N. B. 119°39' W. L.	1870	—	—	—
307	Forman Schacht	—	—	30,4	10,27	17,1
				60,8	12,7	
				91,2	16,6	
				121,6	15,5	
				152,0	20,0	
				182,4	21,9	
				212,8	23,7	
				243,2	24,7	
				273,6	25,5	
				304,0	27,5	
				334,4	28,8	
				364,8	31,8	
				395,2	33,0	
				425,6	35,8	

Becker, G. F. Geology of the Comstock Lode. Monogr. U. S. Geol. Surv. Vol. III.

Becker giebt eine Reihe von Beobachtungen für einige Schächte u. d. Tunnel Sutro. Wir geben hier nur die Beobachtungen für den tiefsten Schacht Forman u. für die unteren Horizont d. Schachtes Combination.

No.	Namen der Stationen.	Geographische Koordinaten.	Seehöhe in Metern.	Tiefe in Metern.	Temperatur C°.	Gradient. Meter pro 1° C.	QUELLENANGABEN UND BEMERKUNGEN.
308	Forman Schacht . . .	—	—	456,0 486,4 516,8 547,2 577,6 608,0 638,4 668,8 699,2	38,3 39,4 40,2 40,8 41,1 43,8 48,6 46,6 49,3		
	Combination Schacht. .	—	—	450,0 457,6 487,5 516,4 546,8 577,3 607,8 650,9 672,8 679,8	41,1 38,8 41,6 42,7 45,0 45,0 47,7 52,7 53,3 44,4		Gradient von 450 bis 679—69,3 Meter, von 457 bis 672,8—14,8 Meter.

doch versucht, das ganze neueste Material bis Ende 1904 zu sammeln.

Als Quellen hierzu dienten die Berichte der Britischen Association, die Bibliographie in «Fortschritten der Physik» (speciell: Physik der Erde und Kosmische Physik) und die Hinweise in dem «Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie». Die Hinweise in diesen Werken wurden mit sehr wenigen Ausnahmen nach den Originalquellen verificirt. Die Tabelle I ist nach dem Muster der Prestwich'schen zusammengestellt und nur durch zwei Rubriken ergänzt, welche die geographischen Coordinaten der Beobachtungspunkte und die Grösse des geothermischen Gradienten enthalten.

Um den Zusammenhang mit der Tabelle von Prestwich zu wahren, sind in unserer Tabelle die neuen Beobachtungspunkte unter fortlaufender Nummer angeführt.

Möglicher Weise ist unsere Tabelle nicht völlig erschöpfend in Bezug auf alle neuesten Beobachtungen der Temperatur in der Tiefe der Erde; doch glaube ich, dass Beobachtungen von wesentlicher Bedeutung schwerlich meiner Aufmerksamkeit entgangen sind. Besonders interessierten mich die Temperaturen tiefer Horizonte in niedrigen Breiten, ferner in Australien und Süd-Afrika, konnte aber leider keine entsprechende Daten auffindig machen.

Bei der Uebersicht des gesammten geothermischen Beobachtungsmaterials ist es zunächst von Interesse zu erfahren, bis zu welcher Tiefe wir in das Erdinnere vorgedrungen sind.

In nachstehender Tabelle geben wir die tiefsten Bohrlöcher:

Sperenberg	1268	Meter
Schladebach	1236	»
Paruschowitz	1959	»
Pittsburg	1703	»
Port Jackson	833	»

Die grösste Tiefe der Minen und Steinkohlengruben geht nicht unter 1500 Meter hinaus ¹⁾).

Vergleicht man die Tiefe, bis zu welcher wir in das Erdinnere vorgedrungen sind, mit der Grösse des Erdhalbmessers, so ergibt sich, dass erstere weniger als $\frac{1}{3200}$ des letzteren ausmacht (Arrhenius).

Der Auspruch — wenn ich nicht irre von Günther — dass sämtliche tiefsten Bohrlöcher nur leichten Stichen in die Epidermis der Erde zu vergleichen seien, ist unserer Ansicht nach durchaus zutreffend.

Man bedient sich öfters der Extrapolation zum Zwecke von Verallgemeinerungen; indess dürfte die zur Beurtheilung der Temperatur im Erdinnern angewandte Extrapolation die für exacte Wissenschaften erlaubte Grenze überschreiten.

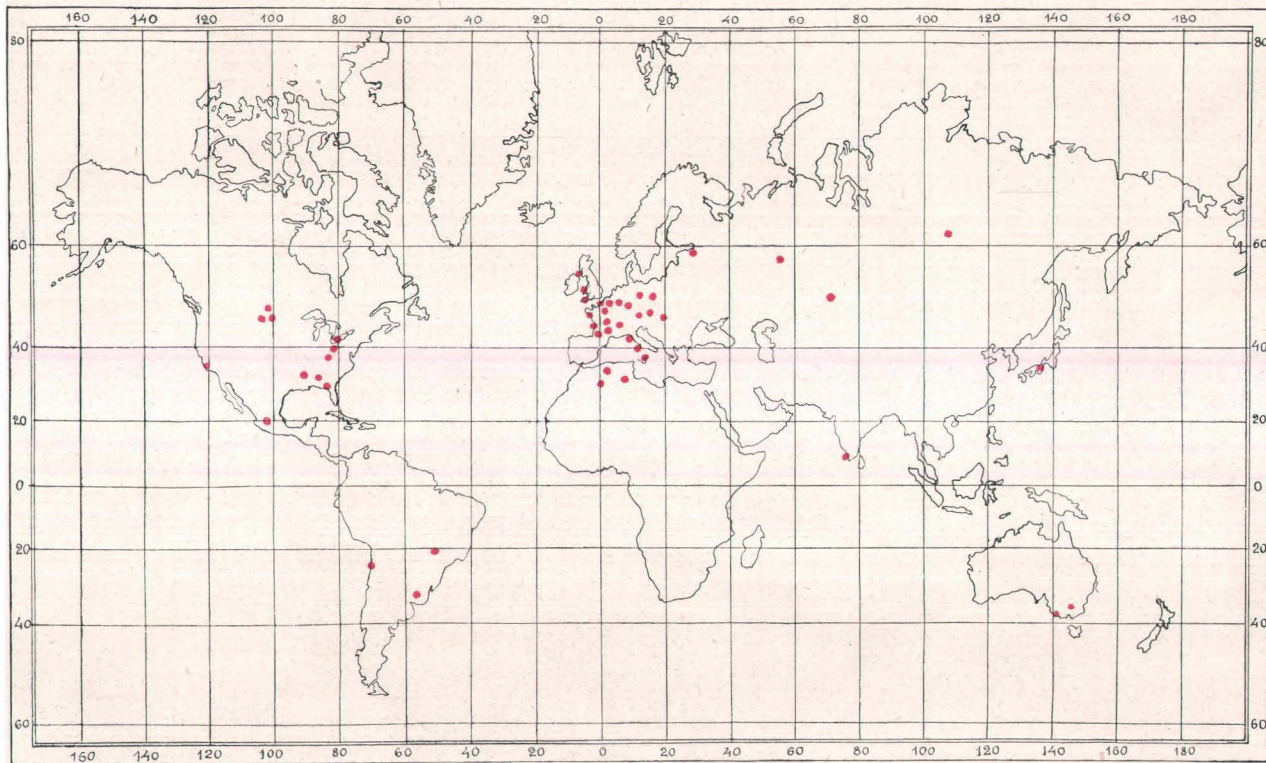
Um sich die Bedeutung einer solchen Extrapolation bildlich zu vergegenwärtigen geben wir folgendes Beispiel. Nehmen wir an, wir bewegen uns von Paris längs dem Parallelkreise nach Osten; nachdem wir zwei Kilometer zurückgelegt haben, schliessen wir die Augen und stellen uns die Aufgabe auf Grund genauer Beobachtungen auf der Strecke der zurückgelegten zwei Kilometer das Bild des Reliefs bis zum Ural zu zeichnen. Selbstredend wird ein solches Ansinnen ohne Zögern als phantastisch bezeichnet werden. Ganz ebenso haftet auch unseren Vorstellungen von der Temperatur und Natur der Tiefen der Erde, auf Grund von Beobachtungen bis zu einer Tiefe von 2 Kilometern, der Charakter grosser Willkür an.

Der Werth der geothermischen Daten ist vom Gesichtspunkt ihrer Vertheilung über der Erdoberfläche abzuschätzen.

¹⁾ Die Kohlengruben in Belgien, in Mons und St. Henriette — 1200 Meter — das Bergwerk Tamarack am Oberen See — 1493 M. Die Schachte der Pýbramschen Bergwerke — etwas mehr als 1200 M. (Berg u. Hüttenmännische Zeitung 1903, S. 15).

Karte der Vertheilung der geothermischen Stationen auf der Erdoberfläche.

Zusammengestellt von L. Jaczewski.



Die rothen Punkte bedeuten die einzelnen Stationen oder Gruppen von Stationen.

Diese Abschätzung wird durch Tab. II, III und IV von Prestwich erleichtert, in denen das geothermische Material nach den Staaten geordnet ist. Ergänzen wir diese durch die in unserer Tabelle enthaltenen Daten, so erhalten wir folgende Uebersicht.

Europa:	England	111	Stationen
	Frankreich u. Belgien	43	»
	Oesterreich, Deutschland u. Schweiz	22	»
	Italien	8	»
	Russland	2	»
Asien:	Sibirien	2	»
	Japan	1	»
	Indien	2	»
Afrika		7	»
Nord-Amerika		70	»
Süd-Amerika		5	»
Australien		2	»

Ogleich sich aus dieser Zusammenstellung mit genügender Deutlichkeit die geographische Vertheilung des geothermischen Beobachtungsmaterials ergibt, so hielten wir es doch für angezeigt, noch eine graphische Darstellung derselben auf einer kleinen Karte der Erdoberfläche zu geben, welche für unsere Erwägungen noch überzeugender ist.

Auf der Karte (Tafel XIV) bezeichnen die einzelnen rothen Punkte theils Gruppen von Stationen, an denen geothermische Beobachtungen angestellt wurden, theils vereinzelte Beobachtungen, wie z. B. in Jakutsk und St. Petersburg.

Bei der Betrachtung der Karte gelangen wir zu folgenden Schlüssen:

1. Das gesammte Material, welches in quantitativer Beziehung noch einigermaßen von Bedeutung ist, entfällt auf die nördliche Hemisphäre.

2. Auf der nördlichen Hemisphäre erstrecken sich die geothermischen Beobachtungen nur in einem Punkte

(in Pondichery, Indien) bis 12° nördl. Br. nach Süden. In nördlicher Richtung gehen sie nicht bis über 62° (Jakutsk) hinaus. Die weitaus grösste Zahl von Beobachtungen fällt zwischen die Parallelkreise 30° und 50° nördl. Br.

3. Auf der südlichen Hemisphäre beziehen sich sämtliche wenige Beobachtungen auf den Gürtel zwischen 20° und 40° südl. Br.

4. Das Aequatorialgebiet von 32° Breite besitzt gar keine Beobachtungen über die Temperatur im Erdinnern. Desgleichen besitzen wir keine Beobachtungen aus den Gebieten nördl. des 62° nördl. Br. und südl. des 40° südl. Br.

5. Es ist zu bemerken, dass die Zahl der Temperaturbeobachtungen in verhältnissmässig bedeutender Tiefe der Erde sehr gering ist, dass die Beobachtungen sich äusserst ungleichmässig über die Erdoberfläche vertheilen, dass die interessantesten Theile der Erde keine Beobachtungen aufweisen und dass wir nicht berechtigt sind, die aus den vorhandenen Beobachtungen gezogenen Schlüsse, streng genommen, auf die ganze Erdkugel auszudehnen.

Wir gehen nun zur Betrachtung der Grösse des thermischen Gradienten über.

Ueberblickt man die Tab. II, III und IV von Prestwich und die in unserer Arbeit gegebene Tabelle, so ist es leicht zu erkennen, dass die Grösse der Gradienten wesentlichen Schwankungen unterworfen ist. Prestwich stellte drei mittlere Grössen des Gradienten auf und zwar:

für Steinkohlengruben	24,1	Meter auf 1° C.
» Metallgruben	20,6	» »
» Bohrlöcher	24 3	» »

Für die vier tiefsten Bohrlöcher in Sperenberg, Schladebach, Paruschowitz und Pittsburg erhält man als mittlere Gradienten: 33,04, 35,46, 31,82 und 39,4 Meter.

Die Bestimmungen der Erdtemperatur sowohl in Bohrlöchern, wie in Bergwerken bieten bedeutende technische Schwierigkeiten und die bei diesen erreichte Genauigkeit bleibt weit hinter derjenigen zurück, welche man gewöhnlich von physikalischen Messungen fordert ¹⁾).

Henrich ²⁾ hat für das Bohrloch Paruschowitz die wahrscheinlichen Fehler der Thermometerablesungen berechnet.

Bei 64 Beobachtungen konnte nach der Wahrscheinlichkeitstheorie der Fehler

0,9°	.	1	Mal	vorkommen
0,7°	.	4	»	»
0,5°	.	9	»	»
0,4°	.	16	»	»
0,2°	.	22	»	»
0,0°	.	12	»	»

Solche Fehlergrößen können in bedeutendem Maasse auf Bestimmungen der zwischenliegenden Werthe des Gradienten von Einfluss sein, für die Mittelwerthe des Gradienten sind sie jedoch nicht von Bedeutung.

¹⁾ Die Temperatur tiefer Horizonte der Erde, sowie des Erdbodens werden gewöhnlich mit speciell für diese Zwecke konstruirten Quecksilberthermometern gemessen. Zur Messung der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen verwendet Becquerel schon lange mit Erfolg thermoelektrische Paare. Poluj hat dieses Princip auf tiefe Bohrlöcher angewendet und seine Beobachtungen im Bohrloch Sauerbrunn wurden mittelst «Telethermometer» angestellt (Elektrotechn. Zeitschr. 1890 S. 684).

²⁾ Henrich, F. Ueber die Temperaturverhältnisse in dem Bohrloch Paruschowitz. Zeitschrift für praktische Geologie. 1904, S. 316

Die Mittelwerthe des Gradienten variiren jedoch innerhalb sehr weiter Grenzen, welche die möglichen Fehler überschreiten.

Wir ersehen aus den neuesten Daten, dass M. Levy für die Bohrlöcher Macholles und Charmoy 14,4 und 26,0 Meter angiebt.

Der Gradient der Schachte von Comstock beträgt 18 Meter, in Pittsburg erreicht er 39,4 Meter.

In Brasilien im Distrikt Minas Geraes beträgt er 86 Meter, in dem Bergwerk Sajonia 42 und 55,5 Meter.

In den Kupferbergwerken am Oberen See sollte er nach den Bestimmungen von Wheller und Agassiz 122,8 Meter erreichen können, er beträgt indess nach den neuesten Bestimmungen von Lane doch nur 69,2 Meter.

Die Grösse des Gradienten weist nicht nur für Ortschaften, die mehr oder weniger weit von einander gelegen sind, sondern auch für ein und dasselbe Bohrloch bedeutende Schwankungen auf. In der soeben citierten Arbeit von Henrich sind die Beobachtungen im Bohrloch Paruschowitz für je 31 Meter gegeben. Die Temperaturzunahme für diese vertikale Strecke schwankt in den Grenzen von $0,1^{\circ}$ bis $2,7^{\circ}$, d. h. die Variation fällt nicht in die vorhin erwähnten Grenzen der möglichen Beobachtungsfehler. Dieses tritt besonders scharf bei dem von Daubrée untersuchten Bohrloch von Haguenu hervor, wo der Gradient zwischen 8,2 und 12,2 M. schwankt, der Gradient für zwischenliegende Tiefen aber 105,3 M. erreicht.

Der Frage bezüglich der Abweichungen der Grösse des Gradienten von der mittleren «normalen» um ungefähr 30 Meter hat Branco ¹⁾ eine sehr umständliche Arbeit gewidmet. Er führt 6 Bohrlöcher an (Neuffen, Oberstritten, Sulz, Pechelbronn,

¹⁾ Branco, W. Die aussergewöhnliche Wärmezunahme im Bohrloch von Neuffen etc. Jahreshefte des Vereins für Naturkunde in Württemberg 1897. Jahrg. 53, S. 28.

Macholles und Oberkuntzenhausen), für welche die Grösse des Gradienten in den Grenzen von 11,1 bis 16,1 Meter schwankt. Er zog auch die umgekehrten Abweichungen der Grösse des Gradienten in Betracht und führt als Beispiel die Kupferbergwerke auf der Halbinsel Keweenaw an. Branco constatirt in dem Bohrloch Pechelbronn eine unveränderliche Temperatur von 21° auf der Strecke der ganzen Tiefenausdehnung von 47 Metern. Werveke giebt für das Bohrloch von Oberkuntzenhausen, für welches der mittlere Gradient 16,2 Meter beträgt, die Grössen der speciellen Gradienten von 1,5 bis 24,4 Meter an.

In den Schachten Forman und Combination der Comstockgrube zeigte es sich, dass die Temperatur stellenweise nicht mit der Tiefe zunimmt; es treten im Gegentheil zwischen wärmeren Zonen, kühlere auf. Diese Erscheinung wiederholt sich öfters.

Ein Beispiel völliger Abweichung von den gewöhnlich angenommenen Normen bilden die thermischen Verhältnisse in den Quecksilberbergwerken von Idria. Th. Scheimpflug und Max Holler ¹⁾ haben auf Grund ihrer Beobachtungen ein Bild von der Lage der isogothermischen Linien sowohl für verschiedene Horizonte des Bergwerks, als auch für die Verticalschnitte gegeben. Aus ihren Karten geht hervor, dass sich in der absoluten Höhe von 200 Metern ein begrenzter Herd hoher Temperatur befindet und dass von diesem aus nach allen Richtungen die Temperatur der Gesteinsarten abnimmt. Im Centrum dieses Herdes erreicht die Temperatur 27° C., an der Peripherie sinkt sie auf 12° . Beim Verticalschnitt haben wir eine Schicht mit einer Temperatur von 18° , welche tiefer gelagert ist, als die Schicht von der Temperatur 26° . Die grosse Achse des von

¹⁾ Scheimpflug Th. u. Holler M. Temperaturmessungen im Quecksilberbergwerk von Idria. Sitzungsberichte d. K. Akademie d. Wiss. Wien. 1890. CXIII Bd., Abth. IIa, S. 950.

ihnen untersuchten Bergwerks beträgt 700 Meter, die horizontale Achse des hohen Temperaturherdes — nur etwas mehr als 50 Meter. Die von den Autoren angeführten Temperaturbeobachtungen der Gesteinsarten in verschiedenen Horizonten für die Zeit von 1890 bis 1897 weisen, trotz ihrer nicht genügenden Genauigkeit, darauf hin, dass die allgemeinen thermischen Verhältnisse im Bergwerke zeitlich unverändert blieben.

Ein noch deutlicheres Beispiel für das Variiren der Grösse des Gradienten sogar auf einem unbedeutenden Flächenraume liefern die von Darton für die Staaten von Dakota gegebenen Daten, welcher bereits eine interessante synoptische Karte der Grössen des Gradienten zusammenstellen konnte. In Süd- und Nord-Dakota schwanken die Grössen des Gradienten auf einem Flächenraum von ungefähr 100,000 Quadratkilometer in den Grenzen von 9,5 bis 24,5 Metern, wobei die Punkte, in denen diese Grössen ihre äussersten Werthe erreichen, nicht mehr als 50 Kilometer von einander entfernt sind.

Aus dem Bisherigesagten ist direkt zu schliessen, dass sich auch auf Grund desjenigen beschränkten Beobachtungsmaterials, über welches wir gegenwärtig verfügen, keine Bestätigung dafür finden lässt, dass der Gradient eine mehr oder weniger constante Grösse sei, und dass die Temperatur der Erde mit fortschreitender Tiefe stets ununterbrochen und stetig zunehme.

Bekanntermassen hat man versucht das Gesetz der Zunahme der Temperatur nach dem Erdinnern analytisch auszudrücken.

Die parabolische Formel von Dunker

$$T = 7,18 + 0,01298572 S - 0,00000125791 S^2$$

¹⁾ Henrich, F. Ueber die Temperaturen im Bohrloche zu Sperenberg etc. Neues Jahrbuch f. Mineral., Geol. u. Paläont. 1876, S. 716.

in welcher T die Temperatur in der Tiefe S bedeutet, ergab, dass in der Tiefe von 5162 Fuss eine Temperatur von $40,7^{\circ}$ R. herrschen musste. Dies ist das Maximum der Temperatur, welches man unter Benutzung dieser Formel erhält. Mit zunehmender Tiefe muss die Temperatur abnehmen und in einer Tiefe von 10874 Fuss gleich 0° sein. Henrich¹⁾ bestritt die Richtigkeit der Dunker'schen Formel, sowie dessen Folgerung, dass die absolute Grösse des Gradienten mit der Tiefe zunehme, und stellte seinerseits folgende Formel von der Form einer geradlinigen Funktion auf:

$$T = 0,00744925 S + 12,273.$$

Dunker und Hottenroth¹⁾ traten für die Richtigkeit des Ausdruckes der Zunahme der Temperatur mit der Tiefe durch die parabolische Formel ein. Die Streitfrage, ob die Temperatur in's Innere der Erde zunehme, ob sie dem Gesetze einer geradlinigen oder parabolischen Funktion folge, war nur damals am Platze, als man noch den möglichen — jetzt uns hinreichend bekannten — Anomalien keine Aufmerksamkeit schenkte und als noch zu wenig Beobachtungen vorhanden waren, um ihre absolute Bedeutung abschätzen zu können.

F. Henrich, welcher auch die Beobachtungen im Bohrloch Paruschowitz bearbeitet hat, findet, dass die Temperaturzunahme am besten der Formel der geraden Linie folgt; er giebt folgende Formel:

$$T = 7,4017 = 0,031424 S$$

Eigentlich können nur die Beobachtungen in den 3 Bohrlöchern Sperenberg, Schladebach und Paruschowitz zu derartigen Verallgemeinerungen dienen; wenn wir aber uns vergegen-

¹⁾ Neues Jahrbuch f. Mineral. 1877, S. 590 u. 607.

wärtigen, dass diese Orte einander verhältnissmässig nahe gelegen sind, dass sie sich in analogen geographischen und geologischen Verhältnissen befinden, wenn wir uns ferner der Beobachtungen in den Bohrlöchern im Elsass und in Dakota erinnern, so wird es uns klar, dass die gefundenen analytischen Ausdrücke, die sich auf ein äusserst beschränktes Beobachtungsmaterial beziehen, keine ausgedehnte Anwendung finden können.

Auf diese Frage werden wir noch im Kapitel von dem stationären Wärmezustand der Erde zurückkommen.

Im Vorstehenden haben wir alles Wesentliche erschöpft, was uns gegenwärtig die Litteratur über die Thatsachen der Geothermik bietet.

Kapitel III.

Uebersicht über die Daten der Temperatur der Oberflächenschicht der Erde.

A. Geikie und S. Arrhenius ¹⁾ behaupten, dass in gewisser Tiefe unter dem Erdboden eine sog. neutrale Zone, d. h. eine Zone existire, auf deren Temperatur die jährlichen Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche und in der Luft nicht von Einfluss sind. Geikie meint, dass diese Zone in mittleren Breiten in einer Tiefe von ca. 60—80 Fuss gelagert sei; Arrhenius nimmt aber an, dass die neutrale Zone selten tiefer, als 20 Meter liege.

Ähnliche Schlüsse finden wir in allen Lehrbüchern der Geologie und physikalischen Geographie und wenn wir uns hier auf Geikie und Arrhenius berufen, so geschieht dies

¹⁾ Sir Archibald Geikie. Text-Book of Geology. London 1903. Vol. I, pag. 60. — Svante Arrhenius. Lehrbuch der Kosmischen Physik. Leipzig. 1903, I. Theil, S. 278.

nur aus dem Grunde, weil ihre Abhandlungen aus dem Jahre 1903 stammen und die Namen dieser Autoren dafür sprechen, dass diese Auffassung eine allgemein anerkannte, in der Wissenschaft feststehende ist.

Wir wollen nun untersuchen, in wie weit diese allgemeine Annahme sich auf wirkliche Beobachtungen gründet und durch theoretische Erwägungen gestützt wird.

Im December 1670 stellte Cassini, der ältere, im Keller des Pariser Observatoriums in der Tiefe von 28 Metern ein empfindliches Thermometer auf. Während der Zeit bis zum September 1672 betrug die Temperaturschwankungen gemäss den Angaben dieses Thermometers nicht mehr $0,02^{\circ}$ R. Auf Grund dieser Beobachtungen, die noch gegenwärtig fortgesetzt werden, gelangte man zu dem Schlusse, dass für Paris die Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche auf die Temperatur der in obiger Tiefe belegenen Zone keinen Einfluss haben.

Boussignault stellte in den 30-er Jahren des vorigen Jahrhunderts eine Reihe von Beobachtungen der Bodentemperatur in einem aequatorialen Gebiete zwischen 11° n. Br. und 5° s. Br. an. Nach seinen Beobachtungen herrscht in den angegebenen Breiten bereits in einer Tiefe von 1 Fuss eine constante Temperatur, die der mittleren Jahrestemperatur der Luft für den gegebenen Ort gleich ist. Im Jahre 1834 begann Quetelet in Brüssel seine Bodentemperaturbeobachtungen. Er veröffentlichte im Jahre 1837 die Resultate seiner Beobachtungen und berechnete, unter Anderem, mit Benutzung der Beobachtungen in Edinburg, Upsala, Zürich, Strassburg und Paris, dass sich die jährlichen Temperaturschwankungen von $0,01^{\circ}$ R. für die genannten Orte in den Tiefen von 58,3 Fuss (Edinburg) bis 81,0 Fuss (Strassburg) bemerkbar machen müssen. Quetelet gelangte zum Schlusse dass mit abnehmender örtlicher Breite,

auch die Tiefe, bis zu welcher die jährlichen Schwankungen der Oberflächentemperaturen von Einfluss sind, abnehme ¹⁾).

Wild ²⁾ wies im Jahre 1878 nach, dass Boussignault's Schlüsse unrichtig seien, dass die jährlichen Amplituden der Lufttemperatur in den Tropen, obgleich sie hier ihr Minimum erreichen, nichts desto weniger aber doch noch in einer Tiefe von 6 Metern zu bemerken sind. Er ist im allgemeinen der Ansicht, dass die jährlichen Temperaturschwankungen an der Erdoberfläche bis zu einer Tiefe von 33 Metern in den Erdboden eindringen können; als Grenze des Einflusses der säculären Schwankungen nimmt er die Tiefe von 100 Metern an.

Die Daten der Bodentemperaturbeobachtungen, auf die sich die vorhin erwähnten Schlüsse gründen, bedürfen einer eingehenden Kritik, und zwar nach folgenden 3 Richtungen:

1. hinsichtlich der Vertheilung der Beobachtungspunkte über die Erdoberfläche;
2. hinsichtlich der Tiefen, bis zu welchen die Bodentemperaturbeobachtungen reichen und
3. hinsichtlich ihrer Genauigkeit und ihrer Bedeutung für die Erforschung des thermischen Regimes der Erdoberfläche.

Was die geographische Vertheilung der Bodentemperaturbeobachtungen betrifft, so liesse sich dieselbe am besten in der Weise darstellen, wie dies für die Temperaturbeobachtungen tiefer Horizonte geschehen ist. Die Karte würde der von uns gegebenen vollkommen ähnlich sein.

¹⁾ Die citirten Daten sind entnommen aus Ernst Schmidt's Lehrbuch der Meteorologie, Leipzig 1860 und Gehler's Physikal. Wörterbuch. Leipzig 1838. B. IX. Einen grossen Theil der Daten haben wir auch nach den Originalwerken geprüft.

²⁾ Wild, H. Bodentemperatur in Nukuss.

Beobachtungen der Bodentemperatur werden in ziemlich ausgedehntem Maasse in England angestellt, wobei man sich gewöhnlich bis auf die Tiefe von 4 Fuss beschränkt ¹⁾. In Frankreich wird dieser Art von Beobachtungen weniger Beachtung geschenkt; in Deutschland, Oesterreich, in der Schweiz sind sie offenbar auch nicht sehr verbreitet; in Russland hat Wild seinerzeit weit ausgedehnte Beobachtungen der Bodentemperatur organisirt und als normale Tiefe, bis zu welcher die Beobachtungen reichen sollen, 3,2 M. angenommen ²⁾. In Ostindien giebt es einige Beobachtungspunkte; für Amerika konnten wir indess nur einen Cyclus befriedigender Beobachtungen und zwar diejenigen am Observatorium von Tacubaya ausfindig machen.

Auf Grund des erwähnten umfangreichen Materials habe ich eine Uebersicht der Stationen, welche uns Daten über Bodentemperaturen liefern, in der Tabelle II (auf einem besonderen Blatte) gegeben. Die Stationen sind nach abnehmender Breite geordnet; zwischen 59° n. Br. und 47° n. Br. könnte das Verzeichniss der Stationen noch vervollständigt werden, indess würden die Daten der übrigen Stationen nichts wesentliches zur Beleuchtung der Frage hinzufügen. Was die Stationen nördlich vom 60° und südlich vom 40° betrifft, so haben wir uns bemüht eine möglichst vollständige Registrirung zu geben. Die Zahl dieser Stationen ist aber ausserordentlich gering. Die internationalen Polarexpeditionen in den Jahren 1882—83 haben auch Beobachtungen der Bodentemperatur angestellt; für ein volles Jahr finden wir solche leider nur für Ssagastyr (Lenamündung) ³⁾ und Sodankylä (Finland) ³⁾.

¹⁾ Detaillirte Daten findet man in der Arbeit von Mellish, H. Soil temperature. Quarterly Journ. of the R. meteorol. Society 1899. Vol. XXV, p. 238.

²⁾ Wannari, P. Ueber die Bodentemperatur u. s. w. Sapiski d. K. Akad. d. Wissensch. St. Petersburg, VIII. Serie, T. V.

³⁾ Exploration Internationale des régions polaires 1882—83 et 1883—84. Expédition polaire Finlandaise. Helsingfors 1886.

Für die südlichen Breiten sind in unserem Verzeichniss folgende Stationen enthalten:

Nagoya ¹⁾ in Japan.
Lahore ²⁾ in Indien.
Dehra-Dun ³⁾ »
Jaipur ⁴⁾ »
Allahabad ⁵⁾ »
Calcutta ⁶⁾ »
Tacubaya ⁷⁾ in Mexico
Trevandrum ⁸⁾ in Indien.

Für die südliche Hemisphäre haben wir nur einen einzigen Punkt und zwar Hagok, sowie die kurzen Beobachtungen von Stapff ⁹⁾ in Südwest-Afrika zwischen $23^{\circ}33'$ und $22^{\circ}56'$ s. Br.

Die Bodentemperaturbeobachtungen umfassen also, ihrer geographischen Vertheilung nach, nur sehr unbedeutende Theile des Festlandes und concentriren sich auf das Gebiet mittlerer Breiten der nördlichen Hemisphäre.

Das zweite wichtige Moment bezüglich der Daten der Bodentemperaturen bildet die Tiefe, bis zu welcher sie sich erstrecken.

In unserer Tabelle sind aller Wahrscheinlichkeit nach sämtliche Punkte, in denen die maximale Tiefe erreicht wurde,

¹⁾ Okada, T. On the Underground Temperature at Nagoya. Japan, Journal of the Meteorolog. Society of Japan 1904. September.

²⁾ Dallas, W. L. Earth Temperature observations recorded in upper India. Quarterly Journ. of R. Met. Society 1902, XXVIII, p. 283.

³⁾ Ib.

⁴⁾ Ib.

⁵⁾ Eliot, John. Report of the Meteorology of India in 1899. Calcutta, 1901.

⁶⁾ Ib.

⁷⁾ Boletin del Observatorio Astronomico nacionalo de Tacubaya T. I, p. 479.

⁸⁾ Schmidt. Meteorologie.

⁹⁾ Stapff, F. M. Bodentemperaturbeobachtungen im Hinterlande der Wallfischbay. Sitzungsberichte der Wiener Akademie 1899, Bd. CXVII, Abth. IIa, S. 119.

gegeben. Von allen mir bekannten Punkten, in welchen die Beobachtungen der Bodentemperatur eine verhältnissmässig bedeutende Tiefe erreichten, fehlt in dem Verzeichniss nur Lissabon (Tiefe bis 10 Meter), da ich in den mir zugänglichen Bibliotheken keine Publication dieser Beobachtungen finden konnte. Im Verzeichniss sind ferner die alten Beobachtungen in Bonn und Brüssel nicht enthalten, da sie durch die neueren ersetzt werden und eine Kritik jener bereits oben gegeben war.

In unsere Tabelle wurden aufgenommen:

Edinburg ¹⁾.

Harestock bei Winchester ²⁾.

Königsberg ³⁾.

Paris ⁴⁾.

In unserer Tabelle fallen vor allem die beiden Zahlenreihen in's Auge, von denen die erste die Lufttemperatur, die zweite— die Temperatur der obersten Bodenschicht giebt.

Für Ssagastyr und Irkutsk, wo das Jahresmittel unter 0° liegt, ist die Temperatur des Erdbodens niedriger, als die der Luft. An allen übrigen Orten (auch Sodankylä nicht ausgenommen, wo die Jahresmittel unter 0° sind) ist die mittlere Jahrestemperatur an der Erdoberfläche höher, als diejenige der Luft. Die Differenzen dieser Grössen weisen keinerlei Gesetzmässigkeit auf. Der Unterschied beträgt für Pawlowsk 2,2°, für Uman 3,1°, für Nukuss 4,72°, für Jaipur 5,7°, für Allahabad 1,1°. In Ssagastyr ist der Erdboden um 0,29°, in Irkutsk aber nur um 0,2° kälter, als die Luft.

¹⁾ Heath, T. Observations of the Edinbourg Rock Thermometers. Transactions of the R. Society of Edinbourg, Vol. XL, par. 1, p. 157 (1901).

²⁾ Knight, H. S. Quart. Journ. Met. Soc. 1899, Vol. XXV. p. 271.

³⁾ Leyst. Schriften d. Physikal.-Oekonom. Gesell. zu Königsberg XXXIII.

⁴⁾ Belquerel, E. et H. Mémoire sur la temperature. Mémoires de l'Academie des Sciences de l'Institut de France. T. XLII (1883) p. 22.

Gehen wir nun zur Betrachtung der Vertikalreihen der Tabelle über, so sehen wir, dass auch in der vertikalen Vertheilung der mittleren jährlichen Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen keine volle Gleichartigkeit besteht.

In Pawlowsk, Katharinenburg, Calcutta und in einigen anderen Punkten nimmt die Temperatur von der Erdoberfläche in's Innere zu. Die Zunahme erfolgt jedoch nicht in gleicher Weise; sie beträgt mit fortschreitender Tiefe pro 1 cm. für Pawlowsk $0,0044^{\circ}$, für Katharinenburg $0,0071^{\circ}$, für Calcutta aber $0,0049^{\circ}$.

In Tiflis, sowie in Nagoya macht sich mit der Tiefe eine stetige Temperaturabnahme geltend. In Nukuss, in Rostow, in Jaipur finden wir, dass kältere und wärmere Schichten mit einander abwechseln. Das Gleiche zeigt sich für die tiefsten Beobachtungen in Paris. In Harestock fallen die ausserordentlich geringen Unterschiede der Jahresmittel bei den verhältnissmässig sehr verschiedenen Tiefen auf. Eine derartige Divergenz der verschiedenen Beobachtungen, ihre ersichtliche Nichtübereinstimmung dürften in der Verschiedenartigkeit der Eigenschaften des Erdbodens und in dem verschiedenen Grade der Sättigung desselben durch Wasser ihre Erklärung finden. Für Paris wird die kalte Schicht durch das Vorhandensein einer kalten Wasserströmung erklärt; in Berlin beurtheilt die Sanitätskommission die Höhe des Grundwasserstandes in verschiedenen Theilen der Stadt nach den Bodentemperaturen.

Wenden wir uns nun der Frage zu, bis zu welcher Tiefe die jährlichen Schwankungen der Erdbodentemperatur von Einfluss sind, so finden wir, dass

in Jaipure	in der Tiefe von	13,810 M.	die Amplitude	$0,16^{\circ}$ C.
» Paris	» » » »	31,00	» » »	$0,15^{\circ}$ C.

beträgt.

In Paris bleibt die Temperatur in 36 Meter Tiefe während des ganzen Jahres constant; stellt man aber die Beobachtungen für viele Jahre zusammen, so ergeben sich recht bedeutende Schwankungen.

So z. B. ergibt sich für das Jahr	1875	. .	12,47°
» » »	1876	. .	12,52°
» » »	1877	. .	12,51°
» » »	1878	. .	12,50°
im Mittel für 12 Jahre			12,44°

Für Jaipur betrug die Amplitude in der Tiefe von 13,81 Meter für die Zeit von 1884 bis 1899 bis 0,61° C.

Sämmtliche übrigen Bodentemperaturbeobachtungen, die sich auf geringere Tiefen erstrecken, ergeben bedeutend grössere jährliche Schwankungen. So z. B. beträgt für Königsberg die Jahresamplitude in der grössten Tiefe von 7,53 Meter 1,77° C.

Auf Grund der in unserer Tabelle enthaltenen Daten, sowie unserer letzten Ausführungen, gelangen wir zu dem Schlusse, dass sich aus den Beobachtungen das Vorhandensein einer Bodenschicht, auf die die Temperaturschwankungen der Erdoberfläche nicht von Einfluss sind, nicht nachweisen lässt und dass bisher keine derartige Bodenschicht gefunden ist, die in thermischer Hinsicht als völlig neutral angesehen werden kann.

Ohne auf die Bestimmungsmethoden der Bodentemperatur und die durch sie erreichte Genauigkeit näher einzugehen, können wir nicht umhin zu bemerken, dass sämmtliche Beobachtungen auf ein specielles Ziel gerichtet sind — nämlich auf die Bestimmung der täglichen und jährlichen Bewegung der Wärme im Boden, oder mit anderen Worten, auf die Bestim-

mung der Wärmeleitfähigkeit der oberflächlichen Erdbodenschicht. Es ist hinreichend bekannt, dass die Oberflächenschicht des Erdbodens sowohl ihrer chemischen Zusammensetzung, wie auch ihren physikalischen Eigenschaften nach, wesentliche Unterschiede auch an sehr nahe belegenen Orten aufweist und ist es daher verständlich, dass auch die Wärmebewegung an zweien, in geringer Entfernung von einander befindlichen, Stellen des Erdbodens sehr verschieden sein kann.

Obwohl Wild, wie bekannt, bestrebt war, bei allen seinen Arbeiten und bei allen von ihm organisirten Beobachtungen den höchsten Grad von Genauigkeit zu erreichen, beschränkte er sich hier auf äusserst unklare und ungenaue Bestimmungen derjenigen Bodenarten, in welchen die Beobachtungen angestellt wurden, die als Grundlage seiner Arbeiten dienten. Bezeichnungen, wie z. B. «Thon und Sand», «feuchter Thon», «Sand», «Lehm», gehören zu sehr dehnbaren petrographischen Begriffen, für welche die physikalischen Constanten in sehr weiten Grenzen schwanken können.

Bezold und Homén machten schon auf diesen Mangel der Wild'schen Arbeiten aufmerksam; Homén darf aber als der erste Forscher gelten, welcher die Erforschung der Wärmebewegung im Erdboden in völlige Abhängigkeit zu den physikalischen Constanten des Bodens selbst gesetzt hat. Welche Bedeutung diese, auf Grund von Bodenanalysen bestimmten, Constanten besitzen, geht aus der Homén'schen Tabelle, S. 258, hervor. Wir ersehen aus derselben, dass die Wärmekapazität der Volumeinheit in einer und derselben vertikalen, nur 40 cm. hohen Bodensäule in ihren verschiedenen Theilen in den Grenzen von 0,562 bis 0,659 variiren kann. Die Verschiedenartigkeit der physikalischen Constanten des Erdbodens ist von sehr beträchtlichem Einfluss auf die Grösse der Reaktion der Sonnenstrahlung auf den Boden.

So z. B. absorbirte an den Tagen, an denen Homén seine Beobachtungen anstellte (13. August, 6., 7., 8. September), ein Quadratmeter Oberfläche offener Heide 600—1000 kg. Kalorien, ein Quadratmeter Mooracker 300—500 kg. Kolorien. Im nämlichen Zeitraum wurde in der Nacht von der Heide 850—900 kg. Kalorien, vom Mooracker 250 kg. Kolorien abgegeben.

Wer sich mit den Details der Arbeiten von Homén bekannt gemacht hat, gelangt jedenfalls zu dem Schlusse, dass seine Methode, welche interessante Resultate verspricht, ihrer grossen Complicirtheit wegen, keine ausgedehnte Anwendung bei der Erforschung des Wärmeregimes der Erdoberfläche finden kann. Homén selbst bezeichnet seine Untersuchungen als «recht un-bequeme Versuche».

Homén erzielte sehr interessante Resultate und sollte daher seine Methode nach Einführung einiger technischer Vervollkom-mungen, wie z. B. elektrischer Thermometer mit automatischer Registrirung, an grossen physikalischen Observatorien wenigstens für die Zeit von 2 oder 3 vollen Jahrescyklen in Anwendung gebracht werden.

Beobachtungen der Bodentemperaturen, wie sie gegenwärtig angestellt werden, d. h. ohne jegliche Berücksichtigung der physikalischen Eigenschaften des Bodens ¹⁾, stellen nichts Anderes dar, als Bestimmungen der Wärmeleitfähigkeit eines Körpers, dessen Natur uns unbekannt ist und zwar bei ganz verschiedenen, ungewöhnlich complicirten Bedingungen. In früherer Zeit wurde die Frage aufgeworfen, wie weit Beobach-tungen der Bodentemperaturen in künstlich errichteten Hügeln, an von Pflanzenwuchs entblössten Stellen wissenschaftlichen

¹⁾ Nach dem Ausspruch v. Bezolds bilden die Edinburger Beobachtungen hierin eine Ausnahme.

und praktischen Interessen entsprächen. Es wurde nachgewiesen, dass diese Beobachtungen unter Beibehaltung der natürlichen Bedingungen der Oberfläche des Beobachtungsortes (Wiese, Feld, Wald) vorzunehmen seien.

Aber wenn auch die Beobachtungen in dieser Weise angestellt würden, unsere Kenntnisse auf dem Gebiete der Erforschung des Wärmeregimes der Erdbodenschicht würden sich doch nur in sehr geringem Grade erweitern.

Die Kritik der Beobachtungen, wie sie gegenwärtig ausgeführt werden, führt uns, vom Gesichtspunkt ihrer Bedeutung für die Entscheidung der Frage des Wärmeregimes der Erdoberfläche, zu dem Schlusse, dass diese kostspieligen Beobachtungen in ihrer grossen Zahl ganz aufgegeben werden könnten. Sie würden jetzt nur noch ein gewisses technisches Interesse behalten, insofern sie über die Tiefe des Gefrierens des Erdbodens Aufschluss geben.

Wir wollen hiermit nicht etwa sagen, dass die Beobachtungen des Wärmeregimes der Erdoberfläche unnöthig seien; im Gegentheil, sie sind von wesentlicher Wichtigkeit—nur müssen sie ganz anders angestellt werden, wie wir weiter unten zeigen werden.

Das Wärmeregime der Erdoberfläche ist theoretisch von v. Bezold umständlich beleuchtet worden ¹⁾.

Bezold geht von dem Postulate aus, dass die Erde sich in stationärem Zustande oder richtiger in «periodisch stationärem» Zustande befindet. Hierauf gestützt, leitet er einige Sätze ab, von denen wir folgende hier anführen:

Die der Erde im Laufe eines Jahres durch Bestrahlung zugeführten und durch Ausstrahlung entzogenen Wärmemengen sind im Durchschnitt einander gleich.

¹⁾ Bezold, v. W. Der Wärmeaustausch an der Erdoberfläche etc. Sitzungsberichte d. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin. 1892. S. 1189

Die Wärmemengen, welche einem bestimmten Stücke der Erdoberfläche auf den verschiedenen möglichen Wegen im Laufe eines Jahres zugeführt oder entzogen werden, sind einander im Durchschnitt gleich.

Die Wärmemengen, welche einzelnen Stellen der Erdoberfläche im Laufe eines Jahres durch Strahlung zugeführt und durch Ausstrahlung entzogen werden, sind im Allgemeinen einander nicht gleich; es giebt vielmehr Theile der Erde, an denen die Einstrahlung, und andere — an denen die Ausstrahlung überwiegt.

Die äquatoriale Zone bildet ein Gebiet überwiegender Einstrahlung, die polaren Zonen — Gebiete überwiegender Ausstrahlung. Zwischen diesen Zonen befindet sich auf beiden Hemisphären je eine «neutrale Linie», die Linie gleicher Ein- und Ausstrahlung.

Diese Linie fällt angenähert mit dem 35. oder 40. Parallelkreise zusammen. Neben den Hauptlinien des Strahlungsgleichgewichts mögen ausserdem noch kleinere, in sich geschlossene, derartige Linien vorkommen, die als Begrenzung inselartiger Gebiete mit thermischem Gleichgewicht erscheinen müssen.

Da die Wissenschaft für die ganze historische Periode keine Aenderungen in den thermischen Verhältnissen an der Erdoberfläche constatieren kann, und die Aequatorialgebiete ihre Temperatur unverändert behalten, so wird der Wärmeüberschuss dieses Gebiets den polaren Theilen der Erde durch Konvektion oder in der Form von Bewegungsenergie zugeführt.

Die von Bezold gezogenen Schlüsse bilden, ihrem Wesen nach, eine Erweiterung der Anschauungen von Fourier, völlig neu und von Wichtigkeit ist indess, dass Bezold die Möglichkeit einer Umwandlung der von der Erde absorbirten Wärmeenergie in Bewegungsenergie zulässt.

A. Woeikow ¹⁾ unterscheidet hinsichtlich der Bodentemperaturen zwei Typen, den Sonnentypus und den Ausstrahlungstypus.

Wir glauben hiermit in diesem Kapitel alles wesentliche, was gegenwärtig über die Temperatur der Oberflächenschicht der Erde bekannt ist, erwähnt zu haben.

Kapitel IV.

Die thermischen Verhältnisse der die Erdoberfläche bedeckenden Gewässer.

26⁰/₁₀₀ der Erdoberfläche werden vom Festland eingenommen, der übrige Theil ist von Wasser bedeckt ²⁾. Bei der Beurtheilung des thermischen Regimes der gesammten Erdoberfläche ist es durchaus erforderlich die Beobachtungsergebnisse der Temperatur der Gewässer, welche die Meeres- und Seenbecken erfüllen, in Betracht zu ziehen.

Die Beobachtungen der Meerestemperaturen reichen in eine Tiefe von fast 9000 Metern, d. h. in eine Tiefe, welche die auf dem Festlande erreichte Tiefe um 4, 5 Mal übertrifft.

Sämmtliche Beobachtungen der Temperatur des Wassers in offenen Meeren haben gezeigt, dass die Temperatur von der Oberfläche in die Tiefe stetig abnimmt und dass am Meeresgrunde eine Temperatur von nicht über 2° C. herrscht. Diese Temperatur ist indess nicht die minimale; in den südlichen Tropen (14°15' s. Br. und 173°37' ö. L.) wurde die Temperatur—0,1° beobachtet. In hohen Breiten, speciell im nördlichen

¹⁾ Woeikow, A. Meteorologie. St. Petersburg. 1904.

²⁾ Als Quellen für die in diesem Kapitel angeführten Daten dienten uns: S. Arrhenius. Lehrbuch der kosmetischen Physik. Leipzig. 1903 und J. v. Spindler. Vorlesungen über physikalische Geographie. St. Petersburg. 1903.

Eismeere, wurden, wie bekannt, beständig Temperaturen unter 0° beobachtet.

Was die grossen Binnengewässer betrifft, deren Tiefe bedeutend geringer, als die der Oceane ist, z. B. das Caspische Meer und der Aralsee, sowie die fast geschlossenen Meere, wie z. B. das Mittelländische, das Schwarze, Rothe und Baltische Meer, so zeigten die Untersuchungen der Temperatur des Wassers in verschiedenen Tiefen, dass die Temperatur der ganzen Wassermasse deutlich den Stempel der Temperatur derjenigen geographischen Breite trägt, unter der sie gelegen ist.

Die entsprechenden Daten sind von Spindler gegeben; für unsere Zwecke genügt es, als Beispiel das Mittelländische Meer anzuführen.

Ueber der Barriere von Gibraltar befindet sich eine Wasserschicht von 400 Metern. Bis zu dieser Tiefe macht sich westlich und östlich von der Meeresenge in der Temperatur des Wassers des Atlantischen Oceans und des Mittelländischen Meeres kein wesentlicher Unterschied geltend. In grossen Tiefen aber ändern sich die thermischen Verhältnisse sehr bedeutend. Die mittlere Temperatur des Wassers im Mittelländischen Meere in seiner ganzen Masse beträgt $12,7^{\circ}$; im Atlantischen Ocean beträgt die Temperatur des Wassers in der Tiefe von ca. 2000 Metern $3,3^{\circ}$ C., in der Tiefe von 4000 Metern 2° C.

Uebrigens nicht allein in den Binnenmeeren erweist es sich, dass das thermische Regime unter dem direkten Einfluss der klimatischen Verhältnisse der Gegend steht. Im Sulu-Meere, welches zwischen den Philippinen gelegen und von einer Barriere umgeben ist, deren Kamm 800 Meter unter dem Meeresspiegel liegt, beträgt die Temperatur in allen Tiefen $10,2^{\circ}$ C., d. h. sie ist die gleiche, wie an der Basis der Barriere. Wir wollen indess noch bemerken, dass das Mittelländische Meer zwischen den Jahresisothermen 20° und 16° gelegen ist, während das

Sulu-Meer in ein Gebiet fällt, wo die Temperatur an der Oberfläche 26° C. beträgt, d. h. die Temperatur des Wassers in der Tiefe niedriger ist, als an der Oberfläche.

Die niedrigen Temperaturen am Meeresboden, nicht nur in mittleren, sondern auch in niedrigen Breiten, erklärt man durch das Fortströmen der kalten Wassermassen aus den Polarregionen. Hierbei hält man es für nothwendig zu bemerken, dass dieses Fortströmen mit den von uns beobachteten Meeresströmungen nichts gemein habe.

Betrachten wir das nördliche Eismeer, so ist leicht zu bemerken, dass ein Austausch zwischen dem Wasser der tiefen Horizonte dieses Oceans und dem Wasser des Atlantischen und Stillen Oceans nicht stattfinden kann, in Folge der geringen Breite der Beringstrasse und des Vorhandenseins der Barriere zwischen Norwegen und Grönland, d. h. in Folge derselben Bedingungen, welche keinen genügenden Wasseraustausch zwischen den Tiefen des Mittelländischen Meeres und des Atlantischen Oceans oder des Sulu-Meeres und des Stillen Oceans gestatten.

Wenn man die niedrige Temperatur in den Tiefen der Oeane als Resultat des Wasseraustausches ansieht, so müssten als Ursache des letzteren die Meere der antarktischen Region gelten, und zwar schreibt Woeikow der antarktischen Region in dieser Beziehung den hauptsächlichsten Einfluss zu.

Hann's Karte der Jahresisothermen zeigt uns, dass die Isotherme 4° sowohl auf der nördlichen, wie auch auf der südlichen Hemisphäre angenähert mit dem 50. Parallelkreise zusammenfällt. Jenseits dieses Parallelkreises herrschen auf beiden Hemisphären niedrigere Temperaturen.

Durch Rechnung ergibt sich, dass die Summe der Oberflächen der Kugelabschnitte jenseits des 50. Breitengrades auf der nördlichen und südlichen Hemisphäre sich zur Oberfläche

zwischen dem 50. Grade nördlicher und südlicher Breite verhält, wie 0,936 : 3,064.

Nehmen wir an, dass sich auf beiden Hemisphären jenseits des 50. Breitengrades nur Wasser befände, im zwischenliegenden Gebiet aber, nach den Daten von Tillo, die Meeresoberfläche 63,5% der Gesamtoberfläche betrage, dass ferner die mittlere Tiefe der Ozeane die gleiche sei, so müssten sich die Wassermassen über der Erdoberfläche in den erwähnten Gebieten, d. h. in den polaren und dem zwischenliegenden Gebiete zu einander verhalten, wie 0,936 : 1,945, also nahezu wie 1 : 2.

Nach Hann beträgt die mittlere Jahrestemperatur der Luft-
hülle an der Erdoberfläche 15°. Aus dem Beispiel des Mitteländischen Meeres, des Sulu-Meeres u. a. ersehen wir, dass sich in den thermischen Verhältnissen der geschlossenen Bassins die Bedingungen widerspiegeln, welche an der Oberfläche herrschen; folglich, wenn wir uns längs der beiden 50. Breitengrade für die Wärme undurchdringliche Scheidewände errichtet denken, so müsste das Wasser der im zwischenliegenden Gebiet befindlichen Meere eine mittlere Temperatur von 15° besitzen. Nach den Berechnungen von Woeikow beträgt die mittlere Temperatur der Ozeane zwischen 20° n. Br. und 20° s. Br. 4° C.; um also die Temperatur auf 4° zu vermindern, wäre es erforderlich der Wassermasse im Ocean von der Temperatur 15° beinahe die dreifache Wassermenge von der Temperatur 0° hinzuzufügen. Die vorhin angeführten Zahlen zeigen, dass solche Massen kalten Wassers auf der Erdoberfläche nicht vorhanden sind.

Hierbei wären natürlich auch die in den Polarregionen vorhandenen Eismassen in Betracht zu ziehen; aber auch selbst dann würde sich ergeben, dass wir den abkühlenden Einfluss des Wassers der Polarregionen auf die gesammte Wassermasse der Ozeane in mittleren Breiten überschätzen.

Unstreitig ruft die Störung des thermischen Gleichgewichts in einem Punkte der Wassermasse eine Gleichgewichtsstörung in der Einflussphäre dieses Punktes hervor. Indess braucht jeder mechanische Prozess zu seiner Verwirklichung Zeit und dieser Zeitraum ist auch für die Gewässer nicht so gering, wie gewöhnlich angenommen wird. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Konvektionsströme ist nicht besonders gross. Dies zeigen die Beobachtungen von Knipowicz im Nördlichen Eismeere, welcher zu dem Schlusse gelangte, dass das Maximum der Temperatur in der Tiefe von 250 Metern 2—3 Monate später eintritt, als an der Oberfläche.

Auf Grund der Daten von Knipowicz könnten wir für die Temperaturen des Oceans tautochtone Linien ziehen, deren Form ganz dem Gang der Temperatur im Erdboden, d. h. in einem Medium, in dem die Konvektionsströme eine äusserst geringe Geschwindigkeit besitzen, entsprechen würde.

Die Beobachtungen von Knipowicz liefern uns einen gewissen Maassstab zur Bestimmung des Grades der Beweglichkeit der sogar in verhältnissmässig geringen Tiefen befindlichen Wassermassen, und gestatten die Annahme, dass die Beweglichkeit, d. h. die Neigung zur Umlagerung wahrscheinlich sehr gering ist, und dass die Wassermassen, welche die Bodensenkungen auf dem Festlande erfüllen, sich nahezu im Zustande absoluter Ruhe befinden. Durch die Beobachtungen von Knipowicz wird die Lenz'sche Hypothese stark in Frage gestellt — eine Hypothese die im Allgemeinen wenig untersucht worden ist ¹⁾.

¹⁾ Der Hinweis auf die geringe Beweglichkeit einer flüssigen Masse, sowie auf das Fehlen eines raschen Austausches zwischen Horizonten von verschiedener Temperatur und verschiedener Dichte findet in der Praxis Bestätigung im chemischen Laboratorium. Bei vorsichtigem Filtriren kann man im Becherglase Flüssigkeitsschichten von grösserer Dichte über Flüssigkeitsschichten von geringerer Dichte lagern, wobei jene längere Zeit hindurch mit diesen unvermischt

Wir gehen nun zu einer anderen Reihe von Betrachtungen über. Allgemein nimmt man an, dass sich die Erde hinsichtlich der Sonne in stationärem Zustande befindet, d. h. dass sie jährlich ebensoviel Wärme abgibt als sie von der Sonne erhält. Auf Grund diesbezüglicher theoretischer, wie auch auf Beobachtungen sich stützender Berechnungen nimmt man an, dass die mittlere jährliche Temperatur der Erdoberfläche in unserer Zeit 15° C. beträgt.

Kerner ¹⁾ giebt für die Juraperiode als mittlere Temperatur für die nördliche Hemisphäre 17° und für die südliche $18,4^{\circ}$ an. Nach seinen Berechnungen betragen die entsprechenden Temperaturen in der Epoche des tieferen Unter-Silur $17,7^{\circ}$ und $18,4^{\circ}$.

Hiernach entfallen auf die geologischen Perioden so geringe Bruchtheile der Veränderung der mittleren Temperatur der Erdoberfläche, dass man von diesem Gesichtspunkt aus annehmen kann, die Erdoberfläche befinde sich in absolut stationärem Zustande. Wie bereits vorhin erwähnt wurde, tragen die niedrigen Horizonte der geschlossenen Bassins in thermischer Beziehung deutlich den Stempel der an der Oberfläche herrschenden thermischen Verhältnisse derjenigen geographischen Breite, unter der sie gelegen sind. Ziehen wir nun in Erwägung, dass die Temperatur der Erdoberfläche, nach den Berechnungen von Kerner, in den geologischen Perioden keinen wesentlichen Aenderungen

bleiben können. Dies lässt sich leicht experimentell bestätigen, wenn man einen ausgewaschenen Niederschlag von essigsaurem Eisenoxyd von neuem auswäscht; über dem specifisch leichteren Waschwasser lagert sich dann eine braunrothe Schicht, welche aus einer Lösung des genannten Salzes besteht und, falls man sie nicht mit der Masse der Lösung vermischt, sich mehrere Tage hindurch unverändert erhält.

¹⁾ v. Kerner, Fritz. Die theoretische Temperaturvertheilung auf Prof. Freh's Weltkarte der altpaläozoischen Zeit. Sitzungsberichte d. K. Akademie d. Wissenschaften in Wien. B. CIII, Abth. II A. (1899). S. 220.

unterworfen gewesen ist, dass die Beweglichkeit der Wassermassen ganz gering ist, so müssten wir, wenn man noch die Erwägungen von Bezold berücksichtigt, in den Oceanen, wenigstens in der Zone niedriger Breiten, Wassermassen antreffen, welche auch in der Tiefe eine Temperatur besitzen, die derjenigen an der Oberfläche in diesen Breiten entspricht. Dies ist aber in der That nicht der Fall, ja noch mehr — die niedrige Temperatur am Boden der Oceane kann, wie oben gezeigt wurde, nicht durch einen Austausch mit den aus den Polarregionen stammenden Wassermassen erklärt werden.

Wie im ersten Kapitel gezeigt wurde, ergiebt sich durch Rechnung auf Grund der Grössen des Gradienten, dass ein Quadratcentimeter Erdoberfläche im Jahre 54 kleine Kalorien der inneren Erdwärme verliert. Es ist verständlich, dass nicht allein die Oberfläche des Festlandes, sondern auch der Theil der Erdoberfläche, welcher den Boden des Oceans bildet, diese Wärmemenge verlieren muss.

Stellen wir uns die Frage, wie viel Zeit bei dem oben-erwähnten Wärmezufuss erforderlich ist, um eine Wassersäule von 1 Quadratcentimeter Grundfläche und 3500 Metern Höhe (mittlere Tiefe der Oceane), welche eine Temperatur von 4° besitzt — d. h. die von Woeikow angenommene mittlere Temperatur des Wassers für die Tropenzone — auf 15° im Mittel zu erwärmen.

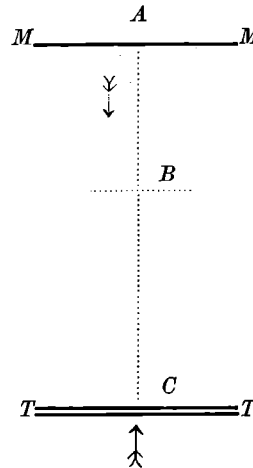
Der erforderliche Zeitraum würde 60156 Jahre betragen. Nehmen wir an, die von Woeikow gegebene mittlere Temperatur der Oceane sei zu hoch, sie betrage nicht 4° C., sondern 0° , so würde auch dann die jährliche Wärmeabgabe von 54 kl. Kalorien pro 1 Quadratcentimeter Oberfläche hinreichen, um in 820310 Jahren die ganze Wassermasse auf 15° zu erwärmen.

Selbst wenn wir annehmen, dass die Erde nicht 54 kl. Kalorien, sondern nur eine kl. Kalorie jährlich verliert, wären

ca. 4800000 Jahre erforderlich, um die ganze Wassermasse auf 15° zu erwärmen—ein Zeitraum, welcher den Geologen durch seine Grösse nicht zu imponieren vermag.

Es könnte hier der Einwand erhoben werden, dass die vom Meeresboden abgegebene Wärme nicht zur Erwärmung des Wassers verbraucht, sondern in den Weltenraum ausgestrahlt wird. Dass dies nicht der Fall ist, zeigt folgende graphische Darstellung der gegenwärtig in den Meeren und Oceanen bestehenden Verhältnisse.

MM — sei die Meeresoberfläche, die sich im Jahrescyklus in thermischer Beziehung unter dem Einfluss der Sonnenwärme befindet. Die Sonnenwärme dringe bis zum Punkte B ein, d. h. bis zur Tiefe von 300—400 Metern. Von B bis C erstrecke sich ein Gebiet stetiger Temperaturabnahme. Am Berührungspunkte mit dem Boden in C bestehe die Temperatur 2° C. Unterhalb der Linie TT nähme die Temperatur, gemäss den bestehenden Anschauungen stetig zu.



Die Pfeile geben die Richtung der Wärmeströme an. Das Gebiet zwischen B und C stellt ein zwischen zwei Wärmequellen befindliche kalte Zone dar. Bevor dieses Gebiet nicht eine solche Temperatur annimmt, bei welcher sich nur ein Wärmestrom einstellt, d. h. der Strom von unten nach oben, kann keine einzige Kalorie aus dem Erdinnern an die Meeresoberfläche und somit in den Weltenraum gelangen.

Noch ein Einwand liesse sich in dem Hinweis auf den Unterschied zwischen der Wärmeleitfähigkeit des Wassers und der Gesteinsarten, die den Meeresboden bilden, erwarten; indess kann man diesen Einwand leicht durch den Hinweis widerlegen,

dass wir bei unseren Berechnungen und Erwägungen nicht die Temperatur, sondern die Wärmemenge zu Grunde legten, d. h. stets die physikalischen Eigenschaften der die Oberfläche der Erde bildenden Massen im Auge hatten.

Dies sind die Resultate, die sich aus den Thatsachen ergeben, welche uns die Temperaturbeobachtungen tiefer Horizonte der Oceane liefern.

Sie zeigen uns, dass die thermischen Verhältnisse in den Tiefen der Oceane die Vorstellung ausschliessen, dass sich unterhalb derselben eine Quelle ständig ausstrahlender Wärme befindet.

Kapitel V.

Ueber den stationären Wärmeszustand der Erde.

Bei den Autoren, welche der Ansicht sind, dass die Erde sich hinsichtlich des Wärmeregimes in stationärem Zustande befinde, findet man gewöhnlich keine umständliche Erklärung, wie ihre Auffassung zu verstehen sei. Nach den herrschenden Vorstellungen befindet sich die Erdoberfläche, wie im Kapitel I dargelegt wurde, hauptsächlich unter dem Einfluss von zwei Quellen der Wärmeenergie: der inneren Wärme der Erde und der strahlenden Wärme der Sonne.

Dieses Vorhandensein zweier Wärmequellen veranlasst uns die Frage bezüglich des stationären Zustandes etwas näher zu betrachten.

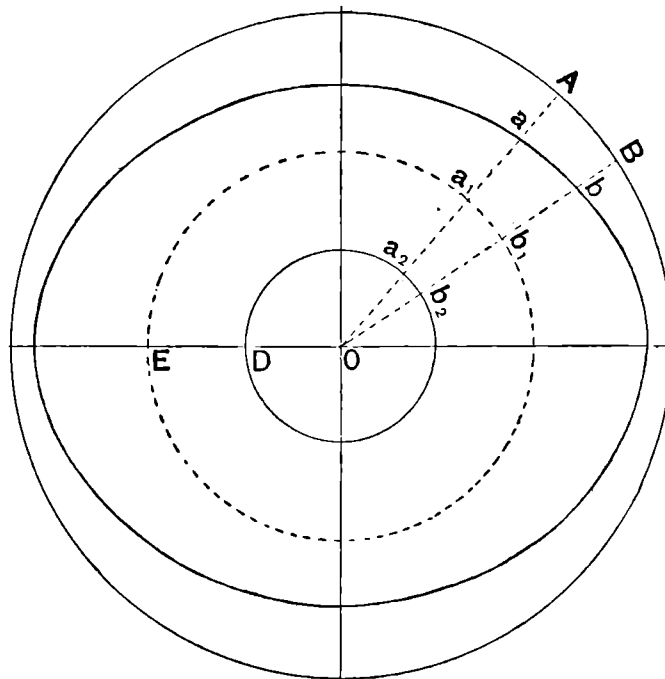
Wir wollen in Erinnerung bringen, dass man auf Grund der Bestimmungen des Gradienten berechnet hat, dass die von den zentralen Theilen der Erde abgegebene Wärme im Mittel die Temperatur der äussersten Oberflächenschicht um $0,1^{\circ}$ oder gar nur um $0,03^{\circ}$ C. zu erhöhen vermag.

Eine so geringe Wärmeabgabe von den zentralen Theilen der Erde gestattet uns anzunehmen, dass die Erdoberfläche hinsichtlich dieser Wärmequelle sich in fast indifferentem Gleichgewichtszustande befindet.

Ein zweites für unsere Erwägungen wichtiges Element bildet die Annahme des Vorhandenseins einer sog. neutralen Zone, d. h. einer Zone, deren Temperatur in säcularen Perioden fast unveränderlich bleibt. Diese allgemein angenommenen Vorstellungen lassen sich sehr bequem graphisch darstellen.

In Fig. 2 stellt die äusserste Kreislinie einen grössten Kreis der Erde dar.

Fig. 1.



In diesen Kreis ist eine Ellipse eingetragen, welche der Lage der neutralen Zone entspricht. An der Erdoberfläche

nehmen wir das Element AB; die Punkte A und B verbinden wir mit dem Zentrum O. Das Stück der Ellipse a b stellt den Theil der neutralen Oberfläche dar, welcher dem Oberflächenelement AB entspricht.

Wenn das Element AB genügend klein ist—praktisch kann es nicht kleiner als 1 Meridiangrad gewählt werden—so kann man annehmen, dass längs desselben überall die gleiche Jahrestemperatur herrsche. Nach den bestehenden Anschauungen muss auch an der Oberfläche, die dem Element a b entspricht, die gleiche Temperatur herrschen.

Das Stück AabB stellt einen Theil der Erdmasse dar, welche den periodischen Einflüssen der strahlenden Wärme der Sonne ausgesetzt ist.

Das Stück aOb muss, nach den obenerwähnten herrschenden Vorstellungen, ein Beispiel eines in absolut stationärem Zustande befindlichen Körpers darstellen. Ein Wärmeverlust an den Oberflächen, die den Radien aO und bO entsprechen, kann in Anbetracht der geometrischen Regelmässigkeit der Konstruktion des ganzen Systems nicht stattfinden.

Für einen in stationärem Wärmestande befindlichen Körper entwickelte Fourier folgende Grundgleichung ¹⁾:

$$\frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} + \frac{d^2v}{dz^2} = 0.$$

In dieser Gleichung bedeutet v die Temperatur, x, y, z die Koordinaten des Punktes, dessen Temperatur bestimmt werden soll. Diese Formel zeigt, dass bei stationärem Wärmestande eines Körpers, die Temperatur eines beliebigen Punktes desselben nicht von den physikalischen Eigenschaften des Körpers, d. h. nicht von seiner inneren Wärmeleitfähigkeit, sondern ausschliess-

¹⁾ Fourier, Oeuvres. T. II, p. 217.

lich vom Abstände des Punktes von dem Anfang der Koordinaten, resp. von der Wärmequelle abhängt.

Wir fügen in unserer Fig. 1 noch zwei Kreise ein. Der Kreis von dem Radius OD soll das Gebiet hoher Temperatur d. h. die Wärmequelle umgrenzen. Der gestrichelte Kreis, von dem Radius OE, entspreche einer gewissen, willkürlichen Schicht. Die in einer Zeiteinheit durch die Abschnitte a_2b_2 , a_1b_1 und $a b$ hindurchgehenden Wärmemengen sind einander gleich, die Temperaturen der Elemente a_2b_2 , a_1b_1 und $a b$ sind aber natürlich verschieden. Bei stationärem Gleichgewicht wird auf jeder der erwähnten Oberflächen, unabhängig von den physikalischen Eigenschaften ihrer Theile, eine und dieselbe Temperatur herrschen.

Dieses lässt sich experimentell leicht bestätigen, wenn man zu diesem Zwecke den Apparat von N. A. Häsehus¹⁾ benutzt, welcher zur Demonstration der specifischen Wärmeleitfähigkeit der Metalle dient. Wenn man die Enden der mit Parafin bedeckten Metallstäbe in den Apparat taucht, so tritt der Moment des Schmelzens an den analogen Stellen in Abhängigkeit von der Wärmeleitfähigkeit ein; wie bekannt, sind die Koeffizienten der Wärmeleitung direkt proportional den Quadraten der Entfernungen, an denen im gegebenen Moment das Parafin zu schmelzen beginnt.

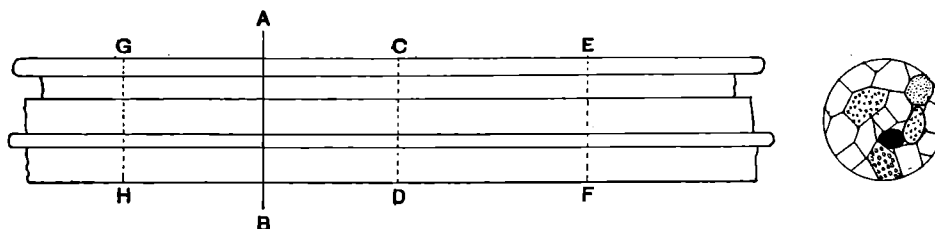
Bei fortgesetztem Versuch schmilzt jedoch das Parafin längs des ganzen Stabes. Wirkt die Wärmequelle, die zur Erwärmung der Stäbe dient, ununterbrochen fort, so gelangen die Stäbe nach einiger Zeit in den stationären Zustand. Stellen wir unseren Versuch derart an, dass durch äussere Wärmeleitung kein Wärmeverlust stattfindet, so müssen die Stäbe an gleich weit von der Wärmequelle entfernten Stellen eine und dieselbe

¹⁾ Chwolson, O. Lehrbuch der Physik (russ.). B. III, p. 276.

Temperatur annehmen. Dieses fordert die vorhin citierte Formel von Fourier.

Der grösseren Deutlichkeit wegen geben wir 2 graphische Darstellungen. In Fig. 2 ist ein Bündel von Stäben dargestellt,

Fig. 2.



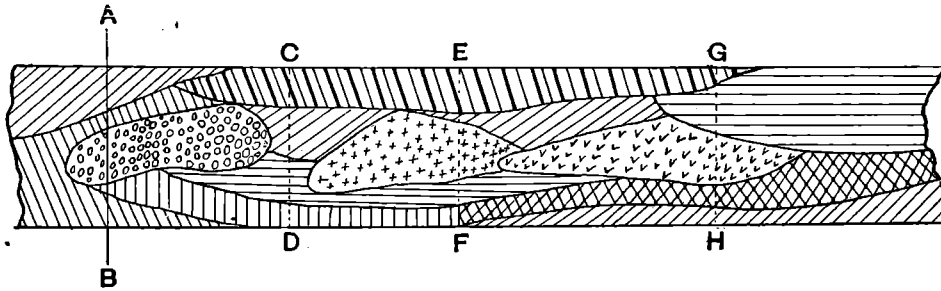
welche aus verschiedenen Metallen bestehen, z. B. aus Eisen, Kupfer, Silber, Zink, Blei u. a.; die Länge und die Durchmesser der Stäbe sind verschieden.

Nehmen wir an, wir könnten sämtliche Stäbe am Querschnitt AB bis zu einer bestimmten Temperatur erwärmen und einen Wärmeverlust durch die Seitenflächen des Stabbündels verhindern, dass also die ganze im Querschnitt AB erhaltene Wärmemenge ausschliesslich in der Achsenrichtung des Stabbündels strömen würde. Nach einiger Zeit, mehr oder weniger schnell, wird sich das stationäre Gleichgewicht einstellen und werden wir in allen Punkten der Querschnitte CD, EF und GH des Stabbündels eine und dieselbe Temperatur haben, welche lediglich von der Grösse der Entfernung jedes Querschnitts von der Wärmequelle abhängt.

Wir können ein noch deutlicheres Beispiel geben, indem wir eine Platte anfertigen, die aus zusammengelötheten, unregelmässig geformten Stücken verschiedener Metalle besteht, in welcher noch einige Stücke Glas, Quarz und Granit fest ein-

gefügt sind, wie aus Fig. 3 ersichtlich ist. Wenn der Querschnitt AB eine kontinuierliche Wärmequelle darstellt und, wie im vorigen Fall, eine seitliche Wärmeausstrahlung verhindert

Fig. 3.



wird, so werden nach Eintritt des stationären Zustandes sämtliche Punkte des Querschnitts CD unabhängig von ihren physikalischen Eigenschaften eine und dieselbe Temperatur aufweisen.

Ein Beispiel des stationären Zustandes eines unserer Platte im Allgemeinen analogen Mediums haben wir täglich vor unseren Augen — nämlich die Innenwände unserer Wohnungen. Sie bestehen aus Holz, Eisen, Stuckaturmasse und falls in den anstossenden Zimmern die Temperatur eine gleichmässige ist — wie dies z. B. in magnetischen Pavillons der Fall ist — so werden alle Gegenstände, trotz ihrer verschiedenen Eigenschaften unverändert die gleiche Temperatur besitzen.

Aus dem Gesagten geht hervor, dass in einem kugelförmigen Körper, dessen innere Natur und Struktur derjenigen der Erde analog sein würden, die Temperatur unterhalb der neutralen Zone überall gleichmässig wachsen muss und die Grössen des Gradienten keine irgendwelche merklichen Abweichungen von einer gewissen mittleren Norm aufweisen dürfen.

Aus den Beobachtungen haben wir jedoch ersehen, dass die Grösse des Gradienten, keine unveränderliche Grösse ist.

Die Frage hinsichtlich der Abweichungen der Grössen des thermischen Gradienten von der Norm hat viele Forscher beschäftigt. Nach Bischof's Ausspruch hat bereits Fox ¹⁾ dieser Frage seine Aufmerksamkeit zugewandt; von Cordier wurde sie in bestimmter Form aufgeworfen, darnach ist sie von Prestwich untersucht worden. In neuester Zeit hat sich Jentzsch ²⁾ mit der Frage befasst; auch Henrich behandelte sie in seiner letzten Arbeit.

Die von den genannten Forschern gegebenen Erklärungen lasten sich in folgende 3 Sätze zusammenfassen:

1. Die Unterschiede in den Grössen des Gradienten sind durch die verschiedene Wärmeleitfähigkeit der Gesteinsarten bedingt. «Je grösser die Leitungsfähigkeit eines Gesteines, um so grösser die Tiefenstufe. Dieser Satz folgt mit Nothwendigkeit aus der Rechnung und genügt zur Erklärung der scheinbaren Abnormität vollkommen». Diesen Ausspruch hat Jentzsch nur vor wenigen Jahren gethan.
1. Die Abweichungen von der normalen Grösse des Gradienten werden durch lokale chemische Prozesse, welche von genügend grosser Wärmeentwicklung begleitet werden, erklärt, und
3. Für den St. Gotthard-Tunnel werden die Erklärungen für die Abweichungen von der Norm in äusseren Einflüssen gesucht.

Wir haben bereits gezeigt, dass, wenn sich die Erde tatsächlich in der den Beobachtungen zugänglichen Tiefe, hinsichtlich ihres zentralen Theiles in stationärem Zustande befände

¹⁾ Bischof, l. c. p. 169.

²⁾ Petermann's Mittheilungen, Bd. 42, S. 42.

und die Sonnenwärme nicht tief eindringe, die absoluten Grössen des Gradienten unterhalb der neutralen Zone überall völlig gleich sein müssten.

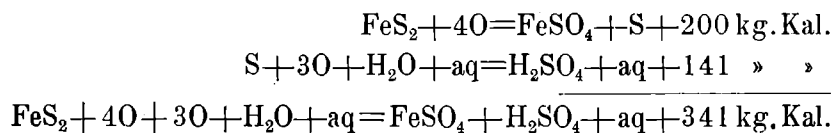
Wenn wir aber eine derartige Gleichartigkeit der Grössen des Gradienten nicht finden, so müssen wir zum Schlusse gelangen, dass der Satz bezüglich des stationären Zustandes, wenigstens von dieser Seite, keine Bestätigung findet.

Die Idee des Einflusses chemischer Prozesse auf den Wärmezustand des Erdinnern ist viele Jahrhunderte alt. Reyer ¹⁾ führt in Bezug hierauf Thucydides an. Die Beurtheilungen der Bedeutung chemischer Reaktionen in Bezug auf das Wärmeregime des Erdinnern können auch noch gegenwärtig nicht als genügend begründete gelten, sobald wir von allgemeinen Schlüssen zu konkreten Zahlenwerthen überzugehen wünschen. In dem Kapitel über die thermochemischen Verhältnisse an der Erdoberfläche ist alles zusammengestellt, was uns gegenwärtig in dieser Beziehung bekannt ist; hier wollen wir nur ein Beispiel näher betrachten.

Nehmen wir an, eine Schicht Steinkohle enthalte 1⁰/₀ Schwefelkies.

In der Thermochemie finden sich keine ziffermässige Daten über die Wärmemenge, welche bei der Bildung von FeS₂ frei wird; bekannt ist nur, dass Fe + S = FeS + 24 kg. Kalorien ist. Professor W. Burdakow fand es für möglich, als Näherungsgleichung die Gleichung FeS₂ — S = FeS — 11 kg. Kalorien vorzuschlagen.

Unter dieser Bedingung ist:



¹⁾ Reyer, E. Theoretische Geologie, p. 205.

Nimmt man an, die Wärmekapazität der Steinkohle liege zwischen der Wärmekapazität des Graphits (0,14) und derjenigen der Holzkohle (0,17), so finden wir, dass 100 gr. Kohle, welche 1 gr. Schwefelkies enthalten, bei völliger, momentaner Oxydation des Schwefelkieses bis 168° C. erwärmt werden können.

Es ist aber bekannt, dass in der Steinkohle, so lange sie sich im Erdinnern befindet, eine Oxydation des Schwefelkieses nicht stattfindet; man kann sogar eher voraussetzen, dass eine Reaktion in umgekehrter Richtung vor sich geht und dass im Gegentheil, unter Oxydation von Kohle, die Lösung vom schwefelsaurem Eisen zu Schwefelkies reduziert wird, wobei bei der Bildung von Schwefelkies Wärme wohl absorbiert — aber nicht entwickelt wird. Allerdings, da wir über keine ziffermässigen Daten verfügen, können wir keineswegs mit Sicherheit von dem Charakter des thermischen Gleichgewichts in den Steinkohlenschichten sprechen.

Wenn wir die von uns angeführte angenäherte Zahl, welche die Grösse der Wärmeströmung ausdrückt, auf einen genügend langen Zeitraum vertheilen und den Grad der Sättigung der Schichten mit Wasser in Betracht ziehen, so wird obige Zahl zu einer so geringen Grösse, wie der von Fourier berechnete Betrag der Erhöhung der Erdoberflächentemperatur auf Kosten der inneren Wärme.

Church erklärt die hohe Temperatur der Comstockgrube durch den Prozess der Verwitterung der Feldspathe. Die genauen Untersuchungen von Barus haben gezeigt, dass die Church'sche Hypothese bisher experimentell nicht bestätigt werden konnte.

Man wird es natürlich nicht bestreiten, dass bei den chemischen Prozessen in der Erde eine Wärmeentwicklung stattfindet; bei denjenigen Bedingungen, auf die gewöhnlich hin-

gewiesen wird, und bei der Langsamkeit, mit der diese Prozesse vor sich gehen, ist die freiwerdende Wärmemenge so unbedeutend, dass sie auf die Schwankungen der Grösse des Gradienten nicht in so starkem Grade einwirken könnte, wie dies unsere direkten Beobachtungen zeigen. Die Ursache dieser Erscheinung muss also eine andere sein.

Zur Erklärung der bei den Temperaturbeobachtungen im St. Gotthard-Tunnel bemerkten Anomalien, sah sich Staff veranlasst, einen Einfluss äusserer Erscheinungen, die an der Erdoberfläche vor sich gehen, anzunehmen und daher kann es wenigstens für die Gebirgszüge als anerkannt gelten, dass äussere thermische Einflüsse bedeutend tiefer in das Erdinnere einzudringen vermögen, als die jährlichen oder sogar die säkularen Temperaturschwankungen an der ebenen Oberfläche.

Aus dem in diesem Kapitel Gesagten geht deutlich hervor, dass die Erdoberfläche, hinsichtlich der vorausgesetzten zentralen Wärmequelle, nicht als in stationärem Zustande befindlich gelten kann. Die Verschiedenheit der Grössen des thermischen Gradienten, die Schwankungen desselben für eine und dieselbe vertikale Bohrlöcher veranlasst uns anzunehmen, dass die von uns beobachtete «Temperaturzunahme» mit wachsender Tiefe von irgend einer anderen Ursache abhängen muss, als von derjenigen, welche man bisher anzunehmen gewöhnt war.

Kapitel VI.

Das Wärmeregime der Erdoberfläche, als Funktion der Wirkung der Sonnenenergie.

Die Lücken in unseren Vorstellungen von dem Wärmeregime der Erdoberfläche, die sich auf direkte Beobachtungen stützen,

werden wesentlich vervollständigt durch unabhängige Berechnungen.

Schon lange interessierte die Physiker die Frage nach der von der Sonne der Erde zugeführten Wärmemenge und zwar nicht allein die absolute Grösse derselben, sondern auch ihre Vertheilung nach den Breitengürteln der Erde.

Die erste diesbezügliche Berechnung wurde bereits im Jahre 1693 von Halley angestellt, die letzte — wie es scheint, von A. Angot im Jahre 1885 ¹⁾).

Als Einheit der Wärmemenge, welche die Erde von der Sonne erhält, nahm Angot diejenige Menge an, welche ein Quadratcentimeter Erdoberfläche am Aequator in 24 Stunden zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche erhält. Diese Wärmemenge bezeichnet er mit der Zahl 1000.

In denjenigen Fällen, wo sich die von ihm erhaltenen Grössen, in sehr grossen Zahlen ausdrücken würden, benutzte er eine andere 1000 Mal grössere Einheit. Die Arbeit Angot's zeichnet sich vor denen seiner Vorgänger dadurch aus, dass er die Wärmeabsorption durch die Atmosphäre in Betracht zog und die relativen zur Erde gelangenden Wärmemengen für fünf Koefficienten der Wärmedurchlässigkeit, nämlich: 1; 0,9; 0,8; 0,7; 0,6 giebt.

Die Tabelle III ist nach den Daten von Angot zusammengestellt, wobei die grosse Angot'sche Einheit und der kleinste Koefficient der Wärmedurchlässigkeit, 0,6 zu Grunde gelegt sind. Die von der Erde erhaltenen Wärmemengen sind nach den Breiten von 10° zu 10° und für die einzelnen Monate gegeben und zwar getrennt für die nördliche und südlich Hemisphäre.

Es schien uns am bequemsten, die Tabelle derart zusammenzustellen, dass die erste Zeile dem October, d. h. der Zeit des

¹⁾ Anuales de Bureau Central météorologique de France, Paris 1885.

Herbstaequinoctiums entspricht. Die Richtigkeit dieser Anordnung der Daten findet in den Konstruktionen Bestätigung, von denen weiter unten die Rede sein wird.

In den untenstehenden Reihen sind die Summen der Wärmemengen, welche die entsprechenden Breiten in den Halbjahren (October — März und April — September) erhalten, gegeben. Wenn wir nach dem Beispiel von Angot, die Solarkonstante von Violle, d. h. 2,54, benutzen, so erhalten wir nach Multiplikation der Zahlen unserer Tabelle mit 1164,25 die der Erde zugeführte Wärmemenge in Grammkalorien auf ein Quadratcentimeter Erdoberfläche.

Auf Grund der beiden letzten Zahlenreihen sind die beiden Diagramme in Fig. 4 und 5 konstruirt.

In diesen Diagrammen ist der Radius des Kreises, welcher einem grössten Kreise der Erde entspricht, willkürlich gewählt. Auf den Verlängerungen der Radien sind von 10 zu 10 Graden, von der Peripherie des Kreises beginnend, in willkürlichem Maasse die linearen Werthe abgetragen, welche den Wärmemengen nach den Breiten entsprechen. Vereinigt man die auf diese Weise erhaltenen Punkte durch eine Linie, so erhält man die Kurve, welche mit der Peripherie des Kreises eine Fläche begrenzt, die der von der Sonne der Erde zugeführten Wärmemenge entspricht.

Wie vorhin erwähnt, zerlegten wir diese Wärmemenge in zwei Theile, nach den Halbjahren, gerechnet vom Herbst- bis zum Frühlingsaequinoctium (Fig. 4) und vom Frühlings- bis zum Herbstaequinoctium (Fig. 5), d. h. wir betrachten das Wärmeregime der Erde getrennt für die Winterzeit auf der nördlichen und für die Winterzeit auf der südlichen Hemisphäre.

Bei der Betrachtung dieser Diagramme sehen wir, dass die Erdoberfläche in gewissen Perioden einem ungleichmässigen Einfluss der Sonnenenergie ausgesetzt ist.

Tabelle III. Wärmemengen, welche

Einheit = der Wärmemenge, welche ein Quadratcentimeter Erdoberfläche
Wärmedurchlässigkeitskoeffizient 1,0 besitzt, im Laufe eines Monats durchstrahlt.

MONAT.	N Ö R D L I C H E H E M I S P H Ä R E.							
	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
October	0	0	0,2	1,5	3,8	6,6	9,3	11,
November	0	0	0	0,2	1,5	3,8	6,5	9,
December	0	0	0	0	0,7	2,7	5,3	8,
Januar	0	0	0	0,1	1,1	3,3	6,1	9,
Februar	0	0	0,1	1,0	3,1	5,7	8,6	11,
März	0	0,2	1,5	3,9	6,7	9,4	11,8	13,
April	1,4	2,7	5,3	8,2	10,8	12,9	14,4	15,
Mai	6,7	7,5	9,7	12,0	14,8	15,3	16,0	15,
Juni	9,9	10,3	11,8	13,8	15,3	16,2	16,4	15,
Juli	7,9	8,5	10,4	12,6	14,4	15,6	16,1	15,
August	2,4	3,8	6,4	9,2	11,6	13,5	14,7	15,
September	0,1	0,5	2,3	4,9	7,6	10,2	12,4	14,
	Summe der Wärmemengen, welche die Er							
	0	0,2	1,8	6,7	16,9	31,5	47,6	63,
	Summe der Wärmemengen, welche die Er							
	28,4	33,3	45,9	60,7	73,7	83,7	90,0	92,

Erde von der Sonne erhält.

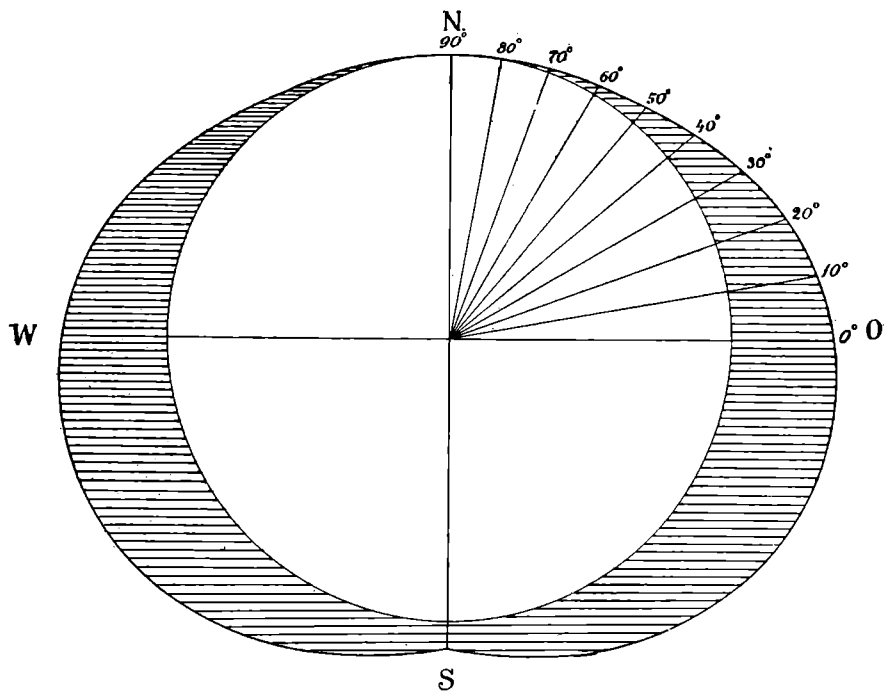
Aequator in 24 Stunden zur Zeit der Tag- und Nachtgleiche erhält.

Atmosphäre = 0,6.

Aequator.		S Ü D L I C H E H E M I S P H Ä R E.								
0°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
3,7	15,0	15,5	15,3	14,4	12,8	10,5	7,8	4,9	2,3	1,0
2,0	14,2	15,7	16,6	16,6	15,9	14,4	12,3	9,8	7,4	6,5
1,1	13,6	15,7	17,0	17,5	17,3	16,3	14,6	12,5	11,0	10,5
1,7	14,0	15,8	16,8	17,1	16,6	15,3	13,4	11,0	8,8	8,3
3,4	14,9	15,8	15,9	15,3	13,9	11,8	9,2	6,3	3,5	2,1
4,8	15,3	15,0	13,9	12,2	9,9	7,2	4,4	1,9	0,4	0
5,3	14,6	13,2	11,2	8,7	6,0	3,4	1,3	0,1	0	0
5,0	13,5	11,4	8,8	6,1	3,4	1,3	0,1	0	0	0
4,7	12,8	10,4	7,7	5,0	2,4	0,7	0	0	0	0
4,8	13,1	11,0	8,3	5,6	3,0	1,0	0,1	0	0	0
5,1	14,2	12,6	10,5	7,9	5,2	2,7	0,8	0	0	0
4,9	15,0	14,4	13,1	11,2	8,8	6,0	3,4	1,2	0,1	0
der Zeit vom October bis März erhält.										
6,7	87,0	93,5	95,5	93,1	86,4	75,5	61,7	46,4	33,4	28,4
der Zeit vom April bis September erhält.										
9,8	83,2	73,0	59,6	44,5	28,8	15,1	5,7	1,3	0,1	0

Von den Angot'schen Zahlen ausgehend, können wir denjenigen Druck bestimmen, den die Erde in jedem ihrer Punkte erfährt; multiplicieren nämlich wir die Zahlen unserer Tabelle mit dem Koeffizienten 1164,25, so erhalten wir die Zahl der Gramm-Kalorien, oder durch 1005 dividiert, die Zahl der Kilogramm-

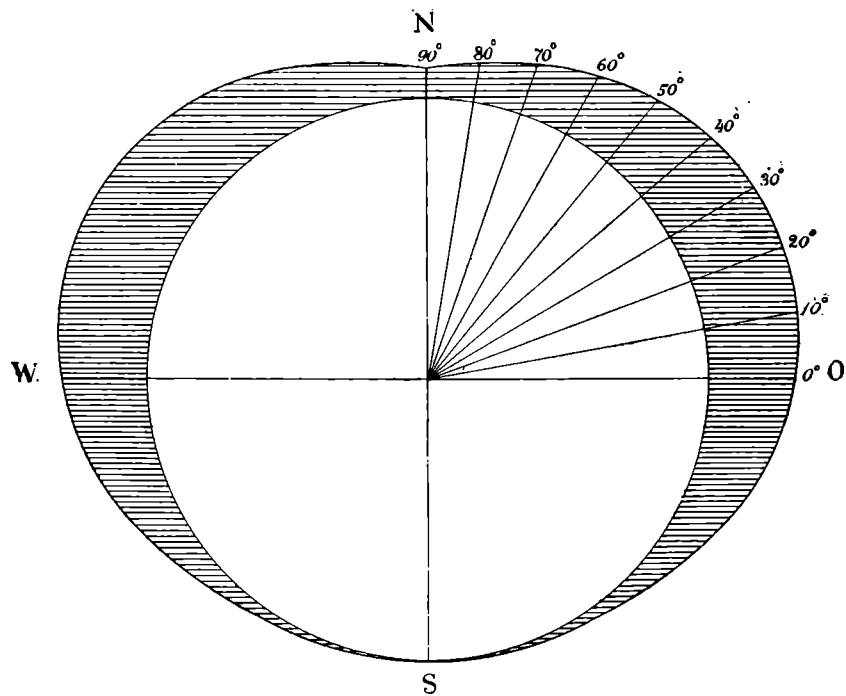
Fig. 4.



kalorien; multipliciert man dann diese Zahl mit 426, d. h. mit dem mechanischen Wärmeequivalent, so ergibt sich die Arbeitsmenge, welche die Sonne der Erde übergibt. Da bei allen diesen Operationen die volle Proportionalität gewahrt bleibt, so behält das Diagramm der von der Sonne der Erde übergebenen Wärme die Form bei, welche wir für die Wärmemenge

nach den Angot'schen Daten erhalten, und die Fläche zwischen der Kurve und der Peripherie des Kreises stellt den Druck dar, den die Erde erfährt. Auf diese Weise erscheint die Erde in der Winterperiode auf der nördlichen Hemisphäre gewissermaßen von der Südseite wie von einer Zange umfasst, welche

Fig. 5.



nur im Norden, vom Polarkreis an, geöffnet ist. Aus dem Diagramm geht hervor, dass in der Winterperiode auf der nördlichen Hemisphäre die Sonnenenergie, welche von Süden her auf die Erdmasse einen Druck ausübt, bestrebt ist der ganzen Erdmasse eine gewisse Beschleunigung der Bewegung in der Richtung der Achse von Süden nach Norden zu geben. Im

Sommerhalbjahr auf der nördlichen Hemisphäre erfährt die Erde einen Druck in entgegengesetzter Richtung. Derjenige Druck, den die Erde unter direkter Einwirkung der Sonnenenergie erfährt, erschöpft aber thatsächlich nicht alle Drucke die dieser Quelle entspringen.

Neben der Absorption der Wärmeenergie findet eine Ausstrahlung derselben statt, die Erde verliert einen Theil der in der Periode des Sonnenscheines aufgespeicherten Wärme ¹⁾.

Die Ausstrahlung der Wärme erfolgt hauptsächlich in der Nacht und äussert sich in der Erniedrigung der Temperatur der Erdoberfläche und der benachbarten Luftschicht. Schmidt citirt aus den Büchern Moses die Worte Jakob's, der da klagt, dass er in Mesopothamien tags unter der Hitze, nachts unter der Kälte zu leiden hatte.

Aus diesem Citat Schmidt's ist zu ersehen, dass die Abkühlung der Erdoberfläche in der Nacht längst bekannt war, desgleichen, dass die Intensität der Abkühlung von der Bewölkung abhängt und bereits zu Beginn des XIX Jahrhunderts

¹⁾ Die der Erde von der Sonne zugeführte Energie wird auf verschiedene Weise wieder abgegeben. Ein Theil wird zur Erwärmung des Bodens; ein anderer zur Verdampfung des Wassers, ein dritter wird zur Konvektion verbraucht, ein vierter Theil geht auf die Lebewesen über u. s. w. Wir verfügen nur über sehr unzulängliche Daten, welche einen Hinweis geben über den Verbrauch der Wärmeenergie. Sie sind so vereinzelt, dass sich mit Hülfe derselben keinerlei Berechnungen anstellen lassen. Ich erwarte wohl den Einwand, dass meine Berechnungen nicht genügend überzeugend seien, da bei ihnen die Energiemengen, welche z. B. zur Verdunstung, zu chemischen Reaktionen verbraucht werden, nicht in Betracht gezogen sind. Solchen Einwänden vermag ich keine absolute Bedeutung beizumessen. Wenn wir bei unseren Berechnungen alle verschiedenen Korrekturen anzubringen vermöchten, so würden unsere Kurven im Detail eine etwas andere Form annehmen, im allgemeinen würde aber ihr Charakter unverändert bleiben. Die Amplitude der Wellen, welche das Gesetz der thermischen Verhältnisse der Erde ausdrücken, wird natürlich eine andere sein, in groben Zügen muss sie aber das Aussehen beibehalten, welches sie auf Grund der gegenwärtig uns zugänglichen konkreten Daten hat.

war es festgestellt, dass die Abkühlung der Erde durch Ausstrahlung der Wärme in den Himmelsraum bewirkt werde.

Wenn wir uns nun dessen erinnern, dass, dank der Neigung der Erdachse zur Ekliptik, die Polarregionen im Laufe langer Perioden in nächtliche Finsterniss gehüllt sind und zwar, dass der Nordpol in unserer Epoche im Laufe von 179 Tagen, der Südpol im Laufe von 186 Tagen kein Licht und keine Sonnenwärme erhält, so muss wohl unstreitig in den Polarregionen die Wärmeausstrahlung in ihrem physikalischen Regime eine sehr wesentliche Rolle spielen.

Mit der Untersuchung des Grades der Abkühlung der Erdoberfläche in der Nacht hat man sich schon recht lange beschäftigt, doch wurde die erste Bestimmung des Wärmeverlusts in Folge von Ausstrahlung, in absoluten Grössen, erst im Jahre 1887 durch Maurer, in Zürich, gemacht. Später haben sich Pernter, Trabert und Homén mit dieser Frage beschäftigt; ihre Bestimmungen geben uns indess keine Cyclen, welche auch nur ein wenig Licht in die Frage nach der Wärmeausstrahlung der ganzen Erdoberfläche bringen könnten ¹⁾.

Eine gewisse Beleuchtung dieser Frage giebt Ekholm ²⁾. Indem er die Temperatur des interplanetären Raumes gleich der absoluten Null-Temperatur, d. h. nahezu -273° C. annimmt, berechnete er die Wärmemengen, welche die Erdoberfläche bei verschiedenen Temperaturen abgeben muss. Bei seinen Berechnungen stützte sich Ekholm auf das Stefan'sche Gesetz, sowie auf die Voraussetzung, dass die Erdoberfläche das gleiche Ausstrahlungsvermögen besitzt, wie ein absolut schwarzer Körper.

¹⁾ Hann. I. Meteorologie. S. 43.

²⁾ Ekholm, Nils. Ueber Emission und Absorption der Wärme und deren Bedeutung für die Temperatur der Erdoberfläche. Mineral. Zeitschr. 1902. S. 1.

Aus der ausführlichen Ekholm'schen Tabelle geben wir hier als Beispiel einige Zahlen:

Bei der Temperatur									
—30°	verliert die	Erdoberfl.	385	Gr. Kal.	pro	Quadrcent.	in	24	St.
—25°	»	»	418	»	»	»	»	»	»
—10°	»	»	452	»	»	»	»	»	»
— 0°	»	»	613	»	»	»	»	»	»
—10°	»	»	708	»	»	»	»	»	»
—20°	»	»	813	»	»	»	»	»	»
—30°	»	»	930	»	»	»	»	»	»

Die Ekholm'sche Tabelle ist natürlich nicht von entscheidender Bedeutung; erstens ist sie bedingt durch das Strahlungsgesetz von Stefan, zweitens dadurch, dass die Erdoberfläche einem absolut schwarzen Körper gleichgeachtet und der Unterschied der Eigenschaften von Wasser und Land nicht in Betracht gezogen wird. Trotz dieser Mängel glauben wir dennoch die Daten von Ekholm zu einer bildlichen Darstellung des Ganges der Erscheinung benutzen zu können.

Unter Benutzung der Temperaturen der Erdoberfläche nach den Breiten, wie sie von Bezold ¹⁾ gegeben wurden, können wir die Ausstrahlungswärme der Erdoberfläche berechnen und graphisch darstellen.

Die in folgender Tabelle (IV) gegebenen Daten beziehen sich auf einen halbjährigen Cyclus und zwar auf das Winterhalbjahr auf der nördlichen Hemisphäre.

¹⁾ Bezold, v. W. Ueber klimatische Mittelwerthe für ganze Breitenkreise. Sitzungsberichte der preuss. Akad. d. Wissenschaften zu Berlin. Jahrgang 1901. S. 1330. In dieser wichtigen Arbeit giebt Bezold Tabellen und Diagramme nicht allein für die Temperatur, sondern auch Diagramme für die Insolation, Luftdruck, Niederschläge, Bewölkung. Wie bei Angot, sind auch bei Bezold in den Diagrammen die Meridianbogen auf eine gerade Linie projicirt.

IV. Tabelle der thermischen Bilanz der Erde.

Geogr. Breite.	Mittlere jährliche Tem- peratur.	Ausstrahlung Grammkal. pro 24 Stund. auf 1 qu. cm.	Ausstrahlung.	Insolation.
			In 179 Tagen in grossen Ein- heiten Augot'schen.	
90°	— 20	452	71,8	1,9
80°	—	—	—	5,7
71°	— 11,3	520	78,0	—
70°	—	—	—	17,5
64°	— 4,6	578	86,7	—
60°	—	—	—	30,9
53°	3,5	644	96,6	—
50°	—	—	—	67,7
40°	13,7	740	101,0	95,5
30°	20,3	813	121,9	121,7
20°	25,4	874	131,1	144,9
11°	26,4	886	132,9	—
10°	—	—	—	164,3
0°	25,9	880	132,0	179,0

Da Ekholm die Wärmedurchlässigkeit der Luft nicht berücksichtigt hat, geben wir für die Insolation diejenigen von der Sonne der Erde zugeführten Wärmemengen, welche Angot für den Wärmedurchlässigkeitskoeffizienten = 1 abgeleitet hat.

Obwohl die Tabelle und das Diagramm nur für eine halbjährige Periode gegeben sind, so gewinnt man doch eine Vor-

stellung von der jährlichen Balance. Es ist zu bemerken, dass die Grössen der Ausstrahlung für 24 Stunden berechnet sind, wesshalb die am Aequator ausgestrahlte Wärmemenge sich nicht auf das Halbjahr, sondern auf das volle Jahr bezieht.

Für die Grösse der Insolation ist diejenige gewählt, welche dem Koeffizienten = 1 entspricht; sie ist daher kleiner, als die doppelte Menge bei dem Koeffizienten = 0,6. Auf diese Weise ist in unserer Tabelle und dem Diagramm die Insolation für die niedrigen Breiten kleiner, für die hohen Breiten grösser, als in Wirklichkeit. Nichts desto weniger ist der Fehler auch für den Nordpol nicht besonders fühlbar.

Nach unserer Tabelle ist die Wärmebalance für den Nordpol = 69,9, thatsächlich aber ist sie = 43,4 Gr.-Kalorien pro Quadratcentimeter Erdoberfläche.

In Fig. 6 haben wir den graphischen Ausdruck des Grundgesetzes des Wärmeregimes der Erdoberfläche gegeben, welches von Fourier entwickelt, von Humboldt popularisiert und von Bezold von Neuem aufgestellt wurde, und das darin besteht, dass die aequatorialen Theile der Erde mehr Wärme empfangen, als sie abgeben und die polaren Regionen mehr Wärme abgeben, als sie erhalten.

Unser Diagramm überzeugt uns, dass unter der Erdrinde eine Schicht von beständiger Temperatur nicht existiert und auch nicht existieren kann, dass eine solche Schicht nur im Gebiete mittlerer Breiten, d. h. im Gebiete des Gleichgewichts zwischen Wärmezufuhr und Wärmeabgabe möglich ist.

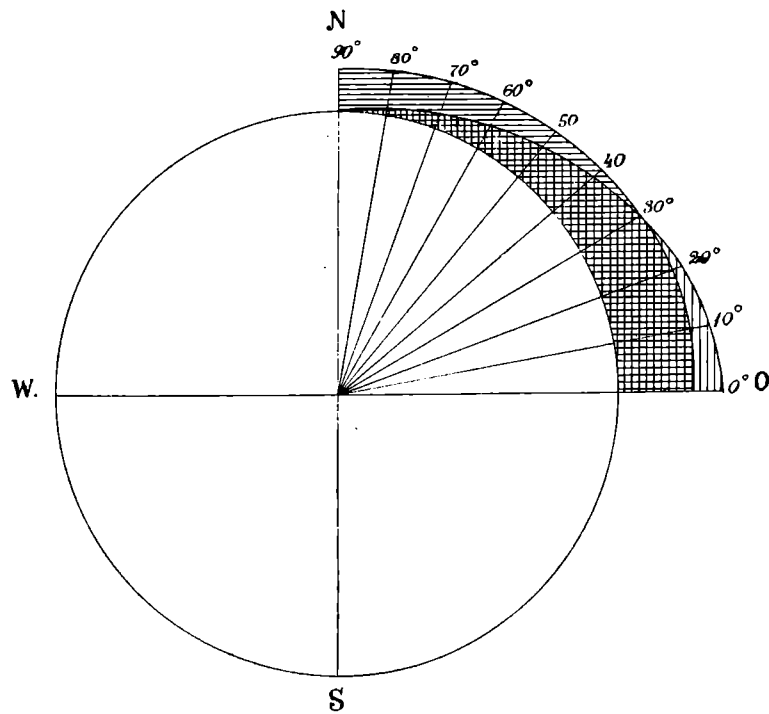
Die Idee der Existenz einer neutralen Zone entstand auf Grund von Beobachtungen, welche gerade im Gebiete mittlerer Breiten angestellt wurden, und, wie wir oben sahen, findet sie in direkten Beobachtungen gar keine Bestätigung.

Eine gewisse Prüfung der von der Erde an den interplanetären Raum abgegebenen Wärmemenge lässt sich auf Grund

von Beobachtungen über die Dicke, das Wachsen und Schmelzen des Eises in den polaren Regionen vornehmen.

Nach Weyprecht wächst die Eisschicht im Winter um 2 bis 2,5 Meter. Nansen giebt die Dicke des Eises bis auf

Fig. 6.



6 Meter an. Schostakowicz giebt sie für die Indigirka auf 2,5 Meter an. In Gegenden, wo keine warmen Meeresströmungen auf die Dicke des Eises einwirken, kann sie eine sehr bedeutende Mächtigkeit erreichen.

Sir Nares beobachtete im Arktischen Nord-Amerika Eis

von 46 Meter Dicke; ähnliches beobachtete Hayes im Smithsunde ¹⁾).

Jedoch auch die Dicke des Eises kann uns gegenwärtig keine wahre Vorstellung davon geben, wie viel Wärme vom Wasser abgegeben wird; das von Stefan abgeleitete Gesetz von dem Wachsen der Eisdicke darf kaum als richtig gelten.

Nichts desto weniger, wenn wir den Zuwachs der Dicke des Eises im Winter in den Polarregionen nach Weyprecht gleich 2,5 Meter und das Abthauen im Sommer gleich 1 Meter annehmen, erhalten wir einen jährlichen Wärmeverlust pro 1 Quadratcentimeter Oberfläche von 12000 Gramm-Kalorien. Die Beobachtungen von Weyprecht beziehen sich ungefähr auf 80° nördlicher Breite.

Als entscheidender Beweis für das Ueberwiegen der Ausstrahlung über die Insolation oder des Wärmeverlusts über die Wärmezufuhr dient die Existenz des sog. ewiggefrorenen Bodens. Vor den Beobachtungen Homén's konnte man verschiedene Hypothesen aufstellen, gegenwärtig genügen nur einzelne Zahlen dieses Forschers um zu zeigen, dass die Erklärung dieser Erscheinung nur in der Ausstrahlung zu suchen ist. Hiermit zugleich gewinnt die Bezeichnung ewig gefrorener Boden eine reale Bedeutung—ein ewig gefrorener Boden wird in den Breiten, wo wir ihn gegenwärtig vorfinden, so lange existieren, als die Bedingungen der Erdrotation, die Stellung der Erde zur Ekliptik und der Sonne erhalten bleiben und die Sonne das Leben weiterführen wird, das sie gegenwärtig führt.

Ein Ueberwiegen der Wärmeabgabe über die Wärmezufuhr in hohen Breiten kann also keinem Zweifel unterliegen.

Der Wärmeverlust durch die hohen Breiten im Jahresumsatz

¹⁾ Arrhenius, l. c.

ist jedoch gleichbedeutend mit der Abgabe einer gewissen Arbeitsmenge oder mit einer Verringerung des Druckes.

Wenden wir uns nun wieder der Erde während der Periode zwischen dem Herbst- und dem Frühjahrsaequinocmium zu, so sehen wir, dass am Südpole von der Energie der Sonne ein Druck ausgeübt am Nordpole dagegen Wärmenenergie abgegeben wird, d. h. eine Verminderung des Druckes stattfindet. Diese beiden Kräfte wirken im selben Sinne und ergeben eine Resultierende, welche bestrebt ist, die Erdachse in ihrer eigenen Richtung zu verschieben, d. h. die Erde so zu sagen aus der Ebene ihrer Ekliptik herauszuheben. Ich darf mir selbstverständlich kein Urtheil darüber erlauben, was für Veränderungen diese ungleiche Vertheilung der Wärme auf der Erdoberfläche während der verschiedenen Jahreshälften zu bewirken vermag, doch werden in einer soeben erschienenen Abhandlung von Sternberg ¹⁾, welche der Frage nach den Verschiebungen der Erdachse gewidmet ist, unter den Ursachen, welche diese Verschiebung bewirken können, indirekt und andeutungsweise auch schon die Wärmeverhältnisse an der Erdoberfläche in Betracht gezogen.

Der von der Energie der Sonne auf die Erdoberfläche ausgeübte Druck erlangt eine besondere Bedeutung, wenn man ausserdem noch den von Maxwell und Bartoli auf theoretischem Wege gefundenen und von P. N. Lebedew ²⁾ experimentell bewiesenen und bestimmten, von der Lichtenergie ausgeübten Druck in Betracht zieht.

¹⁾ Sternberg, P. Der Breitengrad des Moskauer Observatoriums in seinem Zusammenhange mit der Bewegung der Pole. *Wissensch. Abhandlungen der Universität Moskau, Physiko-mathematische Abtheilung.* Band XXII, Moskau 1804. (russisch).

²⁾ Lebedew, P. N. Experimentelle Untersuchungen des von der Lichtenergie ausgeübten Druckes. *Journal der russischen physikalisch-chemischen Gesellschaft.* Bd. XXXIII (1901). Physikalische Sektion. S. 53.

Dieser Druck ist sehr gering; er beträgt pro Stunde 0,4 Milligramm pro Quadratmeter einer schwarzen und 0,8 Millimeter pro Quadratmeter einer spiegelnden Oberfläche.

Der von den Maxwell-Bartoli'schen Kräften ausgeübte Druck kann nach der Meinung Lebedews für physikalische und meteorologische Fragen von grosser Bedeutung sein. Wir können noch hinzufügen, dass es ihm wahrscheinlich beschieden sein wird, zur Lösung von Fragen, welche die Physik der Erdoberfläche betreffen, beizutragen.

Die Thatsache der Existenz klimatischen Zonen beweist schon an und für sich, dass die verschiedenen Breiten der Erde verschiedene Energiemengen erhalten und dass diese Energie unter verschiedenen Breiten verschieden verwandt wird. Die Erde spielt in ihrer Beziehung zur Energie der Sonne die Rolle eines Transformators, gleich einer Dampfmaschine, welche die Energie des Brennmaterials in Bewegungsenergie umwandelt.

Falls sich die Erde in Bezug auf die Sonnenwärme im stationären oder periodisch stationären Zustande befindet, so ist damit noch nicht gesagt, dass sie dieser Energie gegenüber indifferent bleibt und nicht auf dieselbe reagiert, dass sie die Rolle eines indifferenten Leiters spielt.

Eine Dampfmaschine, welche Wärmeenergie umwandelt, erfährt eine Deformation ihrer Theile. Dasselbe muss mit der Erde der Fall sein.

Stellen wir uns anstatt der Erde eine homogene eiserne Kugel vor.

Im Laufe des Jahreszyklus erhält ein Quadratcentimeter der Oberfläche dieser Kugel am Aequator um 165000 Grammkalorien mehr an Wärmeenergie, als eine ebenso grosse Fläche am Pole.

Nehmen wir an, nur 1 Prozent dieser Wärmemenge werde

unmittelbar zur Erwärmung der Eisenkugel verwandt, so könnte ein Kubikcentimeter ihrer Masse bis über 1600° erhitzt oder eine Säule von 16 Metern Höhe um 1° erwärmt werden. Nehmen wir an, es finde eine gleichmässige Erwärmung bis zu einer Tiefe von 1,6 Kilometern statt und es dringe die Wärme gleichmässig bis zu dieser Tiefe ein, so würde im Laufe von einer Million Jahren der Radius des Aequators um 0,224 Kilometer zunehmen.

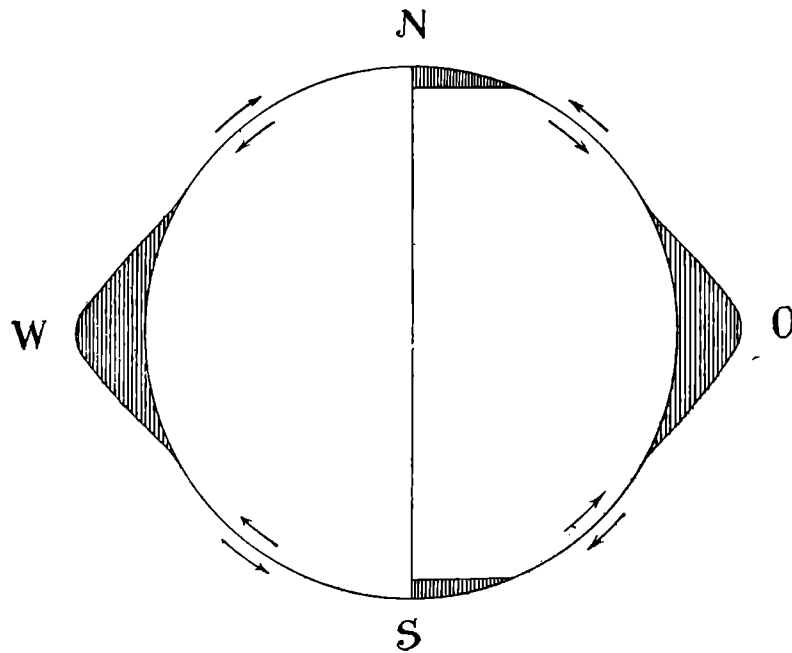
Im Laufe der Zeit müsste dann diese Zunahme immer grösser werden und schliesslich ein Moment eintreten, wo die durch keinerlei andere Prozesse kompensierte Kompression des Ellipsoides die von den Bedingungen des Gleichgewichts zugelassenen Grenzen überschreitet, so dass die Eisenkugel zerfallen muss. Wir müssen jedoch bemerken, dass unsere Berechnung eine nur bildliche Bedeutung hat, gleichwie das Diagramm in Fig. 7, in welchem der grösseren Anschaulichkeit wegen in übertriebener Weise die Anhäufung von Sonnenenergie am Aequator als starke Erhebung, die Abgabe der Energie an den Polen als Segment dargestellt ist. Das Diagramm veranschaulicht in groben, doch deutlichen Zügen die Deformation, welche ein homogenes eisernes Ellipsoid unter dem Einflusse der Energie der Sonne erfahren muss. Sind jedoch die Bedingungen für die Rotation der Erde um ihre Achse keinen irgend wie merkbar Schwankungen unterworfen und muss dieselbe zur Erhaltung des Gleichgewichts im gesammten Sonnensysteme unverändert bleiben, so müssen die Deformationen in den äusseren Umrissen in irgend einer Weise kompensiert werden.

Ein solcher Weg zur Kompensation der Deformationen ist, unserer Ansicht nach, die Verschiebung fester Massen vom Aequator zu den Polen. Auf den ersten Blick kann uns eine solche Verschiebung der Erdmassen längs der Erdoberfläche oder ein Gleiten derselben längs einer in einer gewissen,

uns unbekanntem Tiefe im Erdinnern gelegenen Fläche sonderbar und unwahrscheinlich vorkommen.

Wir geben gern eine vertikale Verschiebung ganzer Kontinente zu. Die Transgression und Regression der Meere bringen wir zu einer vertikalen Bewegung von Theilen der Erdoberfläche in Beziehung, obgleich sowohl die Transgression, als auch

Fig. 7.



die Regression thatsächlich Verschiebungen in horizontaler Richtung sind.

Die Annahme sehr bedeutender vertikaler Verschiebungen verwirrt und wundert uns nur deshalb nicht, weil wir uns an die Vorstellung von Reaktionen eines auf ausserordentlich hohe Temperaturen erhitzten Erdinnern gewöhnt haben. Wir

sind gewohnt, in dieser hohen Temperatur und in der Kontraktion des Erdinnern die einzige und dauernde Ursache der an der Erdoberfläche stattfindenden Deformationen zu sehen. Sobald wir jedoch vom Zweifel erfaßt werden, ob das Erdinnere wirklich eine hohe Temperatur besitzt und ob nicht vielmehr das Innere der Erde ein Gebiet niedriger Temperatur ist, so entschwindet uns jegliche Stütze für die Annahme der Möglichkeit vertikaler Verschiebungen und uns bleibt nur eine Annahme übrig, nämlich die, dass auch in den festen Massen der Erde Bewegungen oder Strömungen stattfinden, welche ihrer Natur nach vollkommen jenen Strömungen gleichen, welche auf unseren Karten der Meeres- und Ozeanströmungen in so lehrreicher Form dargestellt sind.

Kapitel VII.

Die thermochemischen Vorgänge an der Erdoberfläche.

Bereits im Jahre 1852 wurde von W. Thomson ¹⁾ die sogenannte «Dissipationstheorie» aufgestellt, nach welcher den im Weltenraume schwebenden Himmelskörpern die Neigung zukommt, ihre mechanische Energie ununterbrochen zu verlieren, zu zerstreuen. Nach der Vorstellung Thomsons geht diese Energie für diejenigen Weltkörper, welche sie abgeben, unwiederbringlich verloren. In anderer Form finden wir diese Hypothese im Helm'schen ²⁾ Gesetze wieder, nach welchem jeder Energieform das Bestreben innewohnt, in der Richtung vom Orte ihres

¹⁾ Thomson, William. On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy. Proceedings of the R. Sc. of Edinburgh. Session 1851—52, p. 139.

²⁾ Ostwald, W. Chemische Energie. Leipzig 1893. S. 46.

höchsten Potentials zum Orte ihres niedrigsten Potentials zu wirken. Die Temperatur des Systems Erde — Sonne ist höher, als diejenige des Weltenraums und daher wird die Wärmeenergie der Sonne und der Erde unabänderlich und ununterbrochen an den Weltenraum abgegeben.

In neuester Zeit bestreitet Ekholm ¹⁾, vom Gesetz der Erhaltung der Energie ausgehend, die Zulässigkeit der Dissipationstheorie und nimmt an, dass die von der Erde oder der Sonne an den Weltenraum abgegebene Energie für diese Körper nicht unwiederbringlich verloren geht, sondern dass sie ihnen im Gegentheil zurückerstattet wird. Er nimmt an, dass die von den erwähnten Weltkörpern verlorene Energie auf die im Weltenraume zerstreuten Moleküle der Materie übertragen wird. Diese Energie wirkt auf die Moleküle der Materie, wie ein Stoss und theilt ihnen eine Beschleunigung mit. Die Moleküle der Materie ihrerseits geben den Weltkörpern, denen sie auf ihrer Bahn begegnen beim Zusammenprall die von ihnen erhaltene Energie zurück.

Somit führen die Vorstellungen Ekholms zu einem Kreislauf der Energie im gleichsam geschlossenen Weltenraume.

Indessen widerspricht die Dissipationstheorie in ihrer Anwendung auf die Erde und das Sonnensystem durchaus nicht dem Gesetze von der Erhaltung der Energie.

In dem uns unbekanntem Weltenraume kann die Gesamtbilanz sowohl der Materie, als auch der Kraft durchaus ungestört bestehen bleiben, die einzelnen Körper und Körpersysteme jedoch können in ihrer Entwicklung eine bestimmte Tendenz bekunden. Diese Tendenz widerspricht nur scheinbar den Grundgesetzen der Natur.

¹⁾ Ekholm. Ueber den Energievorrat etc. Bilhang t. K. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar. Stockholm 1900—1901.

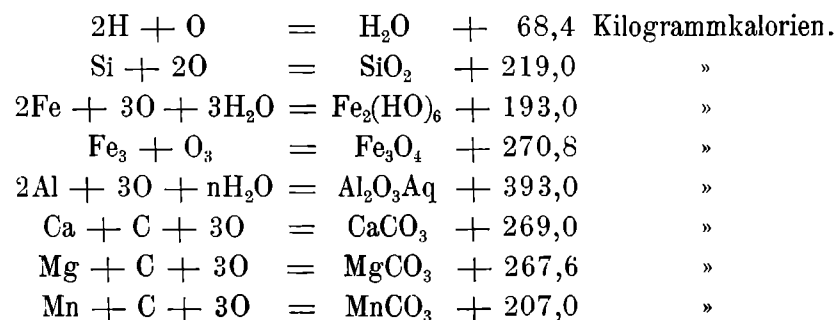
Die Dissipation, die Zerstreuung der potentiellen Energie ist für das System Erde—Sonne offenbar eine solche bestimmte, charakteristische Tendenz. Die Möglichkeit, die Dissipationshypothese von neuem nochmals zu prüfen, gewähren uns zum Theil die thermochemischen Untersuchungen von Thomson selbst, hauptsächlich jedoch die Arbeiten von Berthelot.

Bei der Zersetzung der Gesteinsarten, unter den an der Erdoberfläche herrschenden Bedingungen, treten als Endprodukte auf: Quarz, Tonerde, Brauneisenstein und zum Theil auch Hydrargillit und Karbonate, besonders Calcium und Magnesiumkarbonat. In quantitativer Hinsicht herrscht unter den Bestandtheilen der Erdoberfläche das Wasser vor.

Unter den an der Erdoberfläche herrschenden physikalischen Bedingungen sind die oben angeführten Verbindungen die stabilsten.

Interessant ist es nun, die oben erwähnten Verbindungen, soweit es zurzeit möglich ist, hinsichtlich ihrer Bildungswärmen zu betrachten.

Von Ostwald gelieferte Daten erlauben es uns, folgende Tabelle zusammenzustellen:



Die Bildungswärme des Kaolins ist unbekannt.

Für geologische Betrachtungen ist es zweckmässiger, die auf Grammköle bezogenen Bildungswärmen auf Volum- und

Gewichtseinheiten der Stoffe umzuberechnen. Zu diesem Zweck wurde unten folgende Tabelle zusammengestellt; in einer besonderen Rubrik derselben sind die spezifischen Gewichte angegeben, welche den Umberechnungen zu Grunde gelegt wurden:

	Bildungswärme eines Gramms Substanz in Grammkalorien.	Bildungswärme eines Kubikcen- timeters in Grammkalorien.	Spezifisches Gewicht.
H ₂ O .	3800	3800	1
SiO ₂ .	3560	9580	2,65
Fe ₂ (HO) ₆ .	901	3423	3,8
Fe ₃ O ₄ .	1171	5855	6,5
CaCO ₃ .	2717	6335	2,7
MgCO ₃ .	3173	9519	3,0

Die Zahlen der Tabelle zeigen, dass z. B. bei Bildung eines Kubikcentimeters Calcit von seinen Oberflächen 6335 Grammkalorien abgegeben werden.

Die Prozesse, welche in der Erdrinde vor sich gehen, sind ausserordentlich mannigfaltig und können in ihren Details sehr kompliziert sein. So ergibt z. B. der durch einen Lavastrom geglühte und in wasserfreies Oxyd umgewandelte Kalkstein bei seiner unter dem Einfluss der Kohlensäure der Luft sich vollziehenden Umwandlung in kohlensaures Salz eine weit bescheidenere, weniger merkbare Wärmetönung. Bei der Bildung von einem Kubikcentimeter Calcit aus CaO und CO₂ ergibt sich eine Wärmetönung von nur 1217 Grammkalorien.

Doch in welcher Reihenfolge auch die Reaktionen vor sich sich gehen, der Gesamtbetrag der dabei freiwerden kinetischen Energie bleibt stets derselbe und ist gleich derjenigen Menge, welche der zwischen den Elementen stattfindenden Reaktion entspricht und daher bezeugt jeder Kubikcentimeter Kalkstein (reiner Marmor, Calcit), dass der Prozess seines Entstehens mit dem Freiwerden von 6335 Grammkalorien verbunden war. Um sich einen Begriff davon zu machen, wie gross das Arbeitsquantum ist, welches von dieser Wärmemenge geleistet werden kann, genügt es zu bemerken, dass sie 80 cm. Eis zu schmelzen vermag.

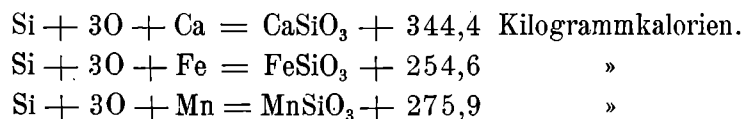
Besonders lehrreich ist es, die die Erdoberfläche bedeckende Wassermenge in kalorimetrischer Hinsicht zu betrachten.

Arrhenius taxiert die die Erdoberfläche bedeckende Wassermenge auf $1309 \cdot 10^6$ Kubikkilometer. Bei der Bildung dieser Wassermenge wurden $49742 \cdot 10^{20}$ Kilogrammkalorien frei.

Diese Wärmemenge würde genügen, um eine Eisenkugel vom Volumen der Erde ungefähr um $5,37^\circ$ und eine ebenso grosse Granitkugel um $16,1^\circ$ C. zu erwärmen. Diese Zahlen geben ein deutliches Bild davon, wie gross die Wärmemenge ist, welche von der Erde an den Weltenraum abgegeben wurde; sie erlangen eine noch grössere Bedeutung, wenn wir das Verhältniss des Volumens der auf der Erdoberfläche befindlichen Wassermenge zum Volumen der Erdkugel berechnen. Das Volumen des Wassers verhält sich zum Volumen der Erdkugel, wie 1 : 81618.

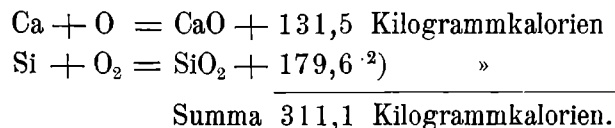
Wenn wir von den Tabellen von Clarke und Vogt Gebrauch machen und annehmen, dass die Hälfte des an der Erdoberfläche vorhandenen Calciums sich in der Form der Verbindung CaCO_3 befände, so würden wir diejenige Wärmemenge erhalten, welche die Erde an den Weltenraum auf Kosten der Bildung des auf ihr vorhandenen Kalksteins abgegeben hat.

Was das Studium der chemischen Prozesse anbelangt, so sind die Silikate von besonderem Interesse. Die Thermochemie giebt uns für dieselben leider nur folgende drei Daten an ¹⁾:

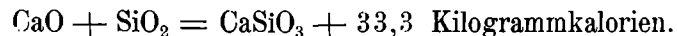


Glücklicherweise befinden sich unter diesen spärlichen Daten Angaben, welche sich auf ein Mineral, den Wollastonit, beziehen, dessen Eigenschaften einige thermochemische Betrachtungen gestatten.

Notieren wir vor allem die chemische Zusammensetzung des Minerals $\text{CaO} + \text{SiO}_2$, so ist:



Ziehen wir die erhaltene Summe von der Wärmemenge ab, welche bei der Bildung des Wollastonits aus seinen Elementen frei wird, so erhalten wir die Wärmetönung, welche sich bei der Bildung des Minerals aus seinen oxydierten Komponenten ergibt, d. h.:

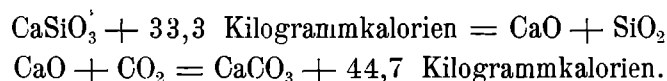


Wir wissen, dass der Wollastonit nicht gerade zu den seltenen Mineralen gehört, dass er jedoch ein unbeständiges Kontaktmineral ist.

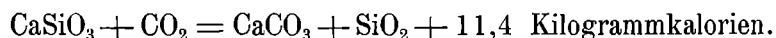
¹⁾ Biedermann, R. Chemiker-Kalender. T. II, S. 178.

²⁾ Vorhin wurde für dieselbe Reaktion die Zahl 219000 angeführt, welche von Ostwald stammt. Hier ist eine neuere Zahl (Chem. Kal. 1905) gegeben. Oben hielt ich es nicht für erforderlich, die Zahl umzukorrigieren und die zweite Tabelle umzuberechnen. Hier dagegen ist die kleinere Zahl von Bedeutung.

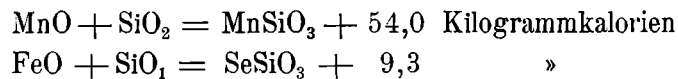
Nach dem dritten, von Berthelot aufgestellten thermochemischen Gesetze, dem Prinzip der maximalen Arbeit, verläuft jede chemische Reaktion, welche sich ohne Energiezufuhr von aussen vollzieht, im Sinne der grösstmöglichen Wärmeentwicklung. Nehmen wir an, wir hätten äquivalente Mengen Wollastonit und Kohlensäure $\text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$. Nach dem Prinzip der maximalen Arbeit wird das Gleichgewicht dieses Systems erst dann hergestellt, wenn es die maximale Menge kinetischer Energie abgegeben hat.



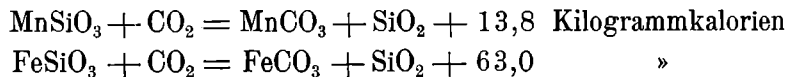
Folglich ist



Daher muss es in Gegenwart von Kohlensäure der Wollastonit seiner inneren Natur nach die Neigung zur Umwandlung in Calcit und Quarz besitzen. Andererseits ist im Kalkstein, im Falle des Vorhandenseins einer genügenden Menge Quarz bei einer verhältnismässig geringen Wärmezufuhr von aussen, die Bildung von Wollastonit möglich, was wir auch bei den Kontakten in der That beobachten. Nehmen wir die Reaktionen:



und sodann:

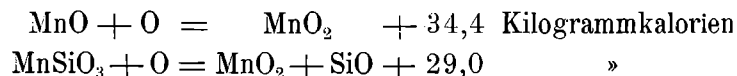


so wird es uns klar, dass die Silikatverbindungen des Eisen- und des Manganoxyduls in Gegenwart von Kohlensäure eine

Neigung zur Umwandlung in kohlensaure Verbindungen besitzen müssen.

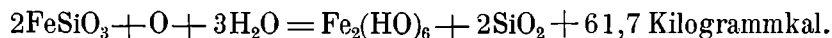
In der Natur sind unsere Minerale jedoch nicht dem Einfluss der Kohlensäure, sondern auch demjenigen des freien Sauerstoffs ausgesetzt und folglich muss, falls bei der Oxydation der Minerale mehr Wärme frei wird, als bei ihrer Umwandlung in Karbonate, sich dieses im Zerfall des Minerals in Quarz und Sauerstoffverbindungen äussern.

Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser Art liefert uns der Rhodonit, welcher nicht nur mit Karbonat, sondern vorzugsweise mit den höheren Oxydationsstufen des Mangans zusammen vorkommt.



Wir sehen, dass bei einem derartigen Verlauf der Reaktion mehr Wärme frei wird, als bei der Umwandlung in Karbonat und daher muss in Gegenwart von Kohlensäure und freiem Sauerstoff eine Umwandlung des Rhodonits in Quarz und Pyrolusit und nicht in Quarz und Manganspath stattfinden. Dasselbe beobachten wir auch bei unserem Orlez aus Ural.

Für unsere Untersuchungen ist jedoch das Metasilikat des Eisenoxyduls, welches als selbständiges Mineral bisher noch nicht aufgefunden worden ist, noch interessanter. In Gegenwart von Kohlensäure, Sauerstoff und Wasser kann sich die Reaktion nach folgender Gleichung vollziehen:

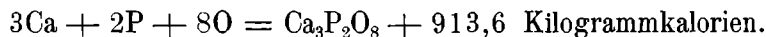


Bei einem solchen Verlaufe der Reaktion wird eine weit grössere Wärmemenge frei, als bei der Umwandlung in Karbonat und in der That ist es gelungen durch direkte Beobachtungen den Nachweis zu erbringen, dass bei der Zersetzung

der Silikate des Eisenoxyduls diese Reaktion und keine andere die vorherrschende ist.

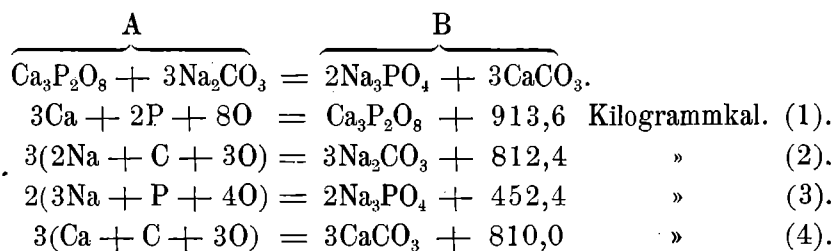
Rosenbusch ¹⁾ bemerkt, dass trotz der Leichtigkeit, mit der Apatit durch Säuren zersetzt wird, man dennoch in stark zersetzten Gesteinsarten durchaus wohlerhaltene Krystalle dieses Minerals antrifft. Es ist dieses vielleicht durch eine hohe Bildungswärme dieses Minerals zu erklären.

Die Bildungswärme des Apatits ist unbekannt. Für die Bildung von phosphorsaurem Kalk, des Hauptbestandtheils dieses Minerals, haben wir folgende Gleichung:



Roth ²⁾ weist darauf hin, dass verwitterter Apatit bisher noch nicht genauer chemisch untersucht worden ist; es ist jedoch bekannt, dass in verwittertem Apatit Kohlensäure und Schwefelsäure nachgewiesen werden konnte.

Lassen wir die Möglichkeit einer vollständigen Umsetzung zwischen phosphorsaurem Kalk und kohlensaurem Alkali zu, so können wir diese Reaktion durch folgende Gleichungen ausdrücken:



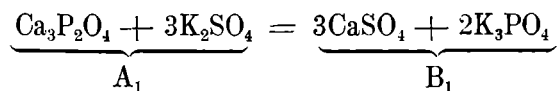
Bei der Bildung des mit A bezeichneten Systems werden 1736,0 Kilogrammkalorien entwickelt, bei der Bildung des Systems B dagegen nur 1262,4 Kilogrammkalorien; folglich

¹⁾ Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie, III Aufl. Bd. I. S. 410.

²⁾ Roth, J. Allgemeine und Chemische Geologie. Bd. I, S. 92.

muss das System A stabiler sein, als das System B und daher kann unter den an der Erdoberfläche vorhandenen Bedingungen, ohne Energiezufuhr von aussen, kohlen-saures Alkali nicht phosphorsauren Kalk zersetzen, d. h. die Reaktion kann nicht in der Richtung von A nach B vor sich gehen.

In gleicher Weise können wir durch Rechnung ermitteln, ob eine Reaktion zwischen $\text{Ca}_3\text{P}_2\text{O}_8$ und K_2SO_4 (K nehmen wir der Abwechslung wegen) möglich ist.



$$3(\text{Ca} + \text{S} + 4\text{O}) = 3\text{CaSO}_4 + 3.317,4 \text{ Kilogrammkalorien.}$$

$$2(3\text{K} + \text{P} + 4\text{O}) = 2\text{K}_3\text{PO}_4 + 3.192,3 \quad \text{»}$$

$$2\text{K} + \text{S} + 4\text{O} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 344,3 \quad \text{»}$$

Das System A_1 entwickelt $913,6 + 1032,9 = 1946,5$ Kilogrammk.

$$\text{» » B}_1 \text{ » } 952,2 + 576,9 = 1529,1 \quad \text{»}$$

$$\text{B}_1 - \text{A}_1 = 417,4 \text{ Kilogrammkalorien}$$

$$\text{B} - \text{A} = 473,6 \quad \text{»}$$

Aus den beiden letzten Gleichungen ergibt sich, dass wenn wir die Systeme phosphorsaurer Kalk — schwefelsaures Kali und phosphorsaurer Kalk — kohlen-saures Natron nehmen, wir dem Systeme zur Ermöglichung einer Umsetzung im ersten Falle mehr Energie von aussen zuführen müssen, als im zweiten.

Somit begründen die thermochemischen Daten genügend die Stabilität des Apatits als gesteinbildendes Mineral.

Die Unmöglichkeit reine Phosphorite in der Landwirtschaft zu Düngungszwecken zu verwenden ist gleichfalls ein Beweis für die Stabilität des phosphorsauren Kalks.

Unter den accessorischen gesteinbildenden Mineralen befindet sich der Fluorit, ein Mineral, welches sich bekanntlich gleichfalls durch grosse Stabilität auszeichnet, obwohl es leicht durch Säuren zersetzt wird. Aus seiner Bildungsgleichung $\text{Ca} + 2\text{Fl} =$

$\text{CaFl}_2 + 218,4$ Kilogrammkalorien ergibt sich, dass es unter den bisher untersuchten Fluorverbindungen der Metalle nur eine giebt, das SrFl_2 , welches eine grössere Bildungswärme besitzt, als der Fluorit; doch wie aus den Berechnungen von Clarke und Vogt bekannt ist, ist das Sr ein Element, welches unter den Bestandtheilen der Erde nur selten vorkommt. Andererseits muss allerdings zugestanden werden, dass man bei der Analyse von Mineralen, wenigstens in früherer Zeit, dieses Element wenig beachtet hat. Die Bildungswärme des MgFl_2 , 210,7 Kilogrammkalorien, ist derjenigen des CaFl_2 fast gleich und können wir daher mit Recht annehmen, dass das MgFl_2 als Beimischung im Fluorit auftreten kann. Bedauerlicherweise ergaben in dieser Richtung angestellte Nachforschungen, die allerdings nicht erschöpfend waren, dass die chemische Natur des Fluorits noch nicht genügend erforscht worden ist.

Wie gross auch im allgemeinen das Material thermochemischer Daten ist, so enthält er doch nur wenig Daten, welche zur Erklärung geologischer Prozesse verwendbar sind. Diejenigen Körper, mit denen wir es zu thun haben, die Minerale, lassen sich eben in dieser Hinsicht ausserordentlich schwer untersuchen.

Die Berechnungen, welche wir unter Benutzung des vorhandenen Materials anstellen konnten, beweisen dass alle an der Erdoberfläche stattfindenden Reaktionen eine gemeinsamen Ziele zustreben, nämlich der Abgabe der grösstmöglichen Wärmemenge, der grösstmöglichen Menge an kinetischer Energie an den Weltraum. Somit findet die Dissipationstheorie auch in den Daten der Thermochemie eine Bestätigung, einen gewichtigen Beweis.

Becke ¹⁾ bemerkt, dass sich die kristallinen Schiefer in mineralogischer Hinsicht darin von den Eruptivgesteinen

¹⁾ Becke, F. Congrès géologique international IX Sér. Vienne 1903.

unterscheiden, dass das Molekularvolumen derjenigen Minerale, welche die Bestandtheile der Schiefer bilden, kleiner ist, als das Molekularvolumen der Minerale der Eruptivgesteine. Die Minerale mit kleinerem Molekularvolumen hält er daher für stabiler. Diese Folgerung Beckes bestätigt gleichfalls die Richtigkeit der Thomsonschen Hypothese.

Kapitel VIII.

Die Hypothese von dem Erstarrungsprozess der Erde. Tektonische Prozesse.

Die geogenetischen Vorstellungen, welche wir zu geologischen Zwecken anwenden, laufen darauf hinaus, dass das Erdellipsoid, welches vor Zeiten eine geschmolzene, flüssige Masse war, allmählig anfang sich abzukühlen und an der Oberfläche zu erstarren. Des Cartes¹⁾ scheint der Autor der ersten klaren Theorie auf diesem Gebiete zu sein; Suess und Stübel²⁾ aber geben uns den Beweis, dass die Annahme einer Abkühlung der Erde von aussen nach innen auch noch heute als die herrschende anerkannt wird.

Von dieser aprioristischen Annahme und den Daten der Geothermik ausgehend hat man ausgerechnet³⁾, dass im Erdinnern schon in einer Tiefe von 1000 Kilometern die Temperatur 30000° C. betragen muss.

¹⁾ Renati des Cartes. Principia Philosophiae. Amsterdami MDCLVI.

²⁾ Suess, E. Das Antlitz der Erde. Bd. I. Stübel, A. — im Auszuge von Weinschenk—Grundzüge der Gesteinskunde. I.

³⁾ Arrhenius, S. Zur Physik des Vulkanismus. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 1900. S. 395.

Von demselben Grundgedanken ausgehend, berechnet Ekholm¹⁾, dass das Sonnenzentrum eine absolute Temperatur von 5402000° C. besitzt.

Young²⁾ weist in seinem Werke: «Die Sonne» unter anderem auf den auf den ersten Blick sehr paradoxen Satz von Lane hin, nach dem die Temperatur eines gasförmigen Körpers in dem Masse ununterbrochen steigt, als sich derselbe infolge von Wärmeverlust zusammenzieht. Es versteht sich, dass sich dieser Satz unmittelbar aus der kinetischen Gastheorie ergibt. Die Hinweise von Lane geben uns im Verein mit den Daten, welche uns gegenwärtig die Lehre von der Natur der Nebel liefert, die Möglichkeit, eine Korrektur der Nebularhypothese vorzunehmen, mit deren Begründung wir uns hier befassen wollen.

Vor allem ist jedoch eine ausführliche Darlegung des Lane'schen³⁾ Satzes erforderlich.

Stellen wir uns eine von Wasserdampf erfüllte Kugel vor und nehmen wir an, dass im Mittelpunkte dieser Kugel aus einem uns unbekanntem Grunde ein Zentrum der Konzentration entstanden ist oder dass in diesem Zentrum eine Dissipation, eine Abgabe von Energie erfolgt. Dann kondensieren sich die nächsten Theilchen Wasserdampf unter dem Einflusse der Anziehungskraft oder der Dissipation zu einem Wassertropfen. Bei der Kondensation von Wasserdampf zu flüssigem Wasser wird Wärme frei. Ein Gramm Wasserdampf entwickelt 606,5 Gramm-

¹⁾ Ekholm, N. Ueber den Energievorrat, die Temperatur und Strahlung der Weltkörper. Bihang t. K. Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar 1900—1900.

²⁾ Young. Die Sonne.

³⁾ Young giebt nicht an, in welcher Arbeit Lane seine Idee ausgesprochen und entwickelt hat; er bemerkt nur, dass es schon im Jahre 1870 geschehen sei. Die Diskussionen und Beweise Lane's wiederholt Young nicht. Seinem Wesen nach ist der Satz Lane's identisch mit den Sätzen, welche Faye zur Erklärung des Ursprungs der Energie der Sonne aufgestellt hat.

kalorien. Nehmen wir an, die ursprüngliche Temperatur des Wasserdampfes betrage t° , das Gewicht des die Kugel erfüllenden Wasserdampfes P Gramm; zu Wasser kondensiert hätten sich im Zentrum p Gramm, wobei das entstandene Wasser die Temperatur t° beibehält. p Gramm Dampf entwickeln bei der Kondensation zu Wasser $606,5 p$ Grammkalorien. Diese Wärmemenge wird vom nachgebliebenen Wasserdampf absorbiert und dient zu seiner Erwärmung. Da das Gewicht des nachgebliebenen Wasserdampfes $P-p$ Gramm beträgt, so muss seine Anfangstemperatur t° um

$$\left(\frac{606,5 p}{P-p}\right)^\circ$$

zunehmen. Nehmen wir ferner an, das Wasser gehe aus dem flüssigen Aggregatzustande in den festen über, so erhält seine Gashülle eine weitere Wärmemenge und zwar $80 p$ Grammkalorien, welche zur Erwärmung des noch nicht kondensierten Wasserdampfes verbraucht werden und seine Temperatur um weitere

$$\left(\frac{80 p}{P-p}\right)^\circ$$

steigern. Somit steigt die Temperatur des Wasserdampfers nach der Umwandlung von p Gramm in Eis von der ursprünglichen Temperatur t° auf

$$\left(t + \frac{606,5 p}{P-p} + \frac{80 p}{P-p}\right)^\circ$$

In dem von uns angeführten Beispiele zieht also die Abkühlung im Zentrum eine Erwärmung der peripheren Theile der von uns betrachteten Wasserdampfmasse nach sich.

Wir benutzten das Wasser als Beispiel, weil es eine Substanz ist, von der uns die physikalischen Konstanten für drei Phasen bekannt sind, wodurch Zahlenbeispiele ermöglicht werden, welche

uns ein anschauliches Bild von den sich einstellenden thermochemischen Beziehungen geben.

Nehmen wir an, dass von 1000 Gramm Wasserdampf, welche den Raum bei 0° erfüllen, ein Gramm zu flüssigem Wasser kondensiert wird.

Die hierbei freiwerdende latente Wärme im Betrage von 606,5 Grammkalorien bringt die nachgebliebenen 999 Gramm ¹⁾ Dampf auf die Temperatur $1,2^{\circ}$ C.

Wir wollen dem Beispiele von Faye folgen und annehmen, dass der unendlich zerstreute Stoff, welcher den Weltenraum erfüllte, keine glühende Gasmasse war, sondern im Gegentheil ein Stoff war, welcher eine sehr niedrige Temperatur besass. Dieses ergibt sich aus den Sätzen der kinetischen Gastheorie und findet seine Bestätigung in der Thatsache, dass die auf unsere Erde fallenden Meteoriten innerlich kalte ²⁾ Körper sind. Die Entstehung eines verdichteten Kerns innerhalb dieser gasförmigen Masse muss ein Freiwerden von Wärme und eine Erwärmung seines im gasförmigen Zustande verbliebenen Theiles zur Begleiterscheinung haben. Ein gewisser Theil der an die Gashülle abgegebenen Wärme muss an den Weltenraum abgegeben und in ihm zerstreut werden. Je mehr der Prozess der Konzentration des Stoffes vorwärts schreitet, desto grössere Wärmemengen werden vom Zentrum an die Peripherie abgegeben

¹⁾ Die Wärmekapazität des Wasserdampfes == 0,4805.

²⁾ Meyer hat bekanntlich eine Hypothese aufgestellt, nach welcher die Abnahme der Energie der Sonne durch die beim Fallen von Meteoriten auf die Oberfläche der Sonne entwickelte Energie kompensiert wird. Die Gesamtmasse der jährlich auf die Oberfläche der Sonne gelangenden Meteoriten müsste den 0,01-sten Theil der Sonne betragen. Selbstverständlich müsste bei ihrem Fallen auf die Oberfläche der Sonne die Energie der Bewegung in Wärme umgewandelt werden und müssten die Meteoriten nicht nur schmelzen, sondern sogar zerstäubt werden. Man hat daher ein Recht dazu, zu fragen, warum denn die auf die Oberfläche der Erde fallenden Meteoriten weder schmelzen, noch zerstäubt werden.

und wird das Zentrum der kälteste Theil des ganzen Systems sein. Die Schnelligkeit des Uebergangs des gasförmigen Stoffes in den flüssigen und in den festen Zustand hängt von der Schnelligkeit seines Wärmeverlustes ab, doch muss das erste Theilchen fester Substanz im Zentrum entstehen. Das Anwachsen der festen Substanz kann nur in konzentrischen Schichten, welche sich um das feste Zentrum bilden, vor sich gehen.

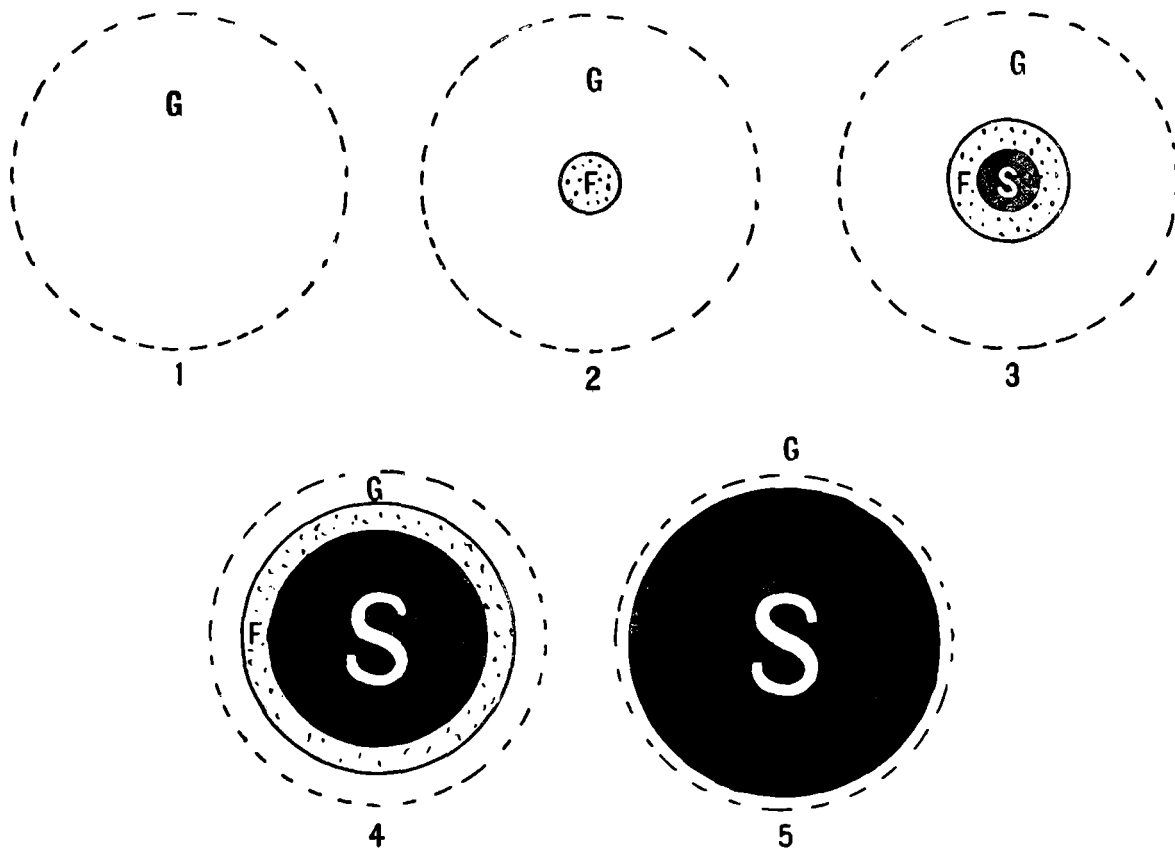
Des Cartes hat seine theoretischen Erörterungen seinerzeit graphisch erläutert. Auch wir müssen der grösseren Bestimmtheit wegen seinem Beispiele folgen. Betrachten wir die Reihe der einfachen Zeichnungen in Fig. 8, welche Kugeldurchschnitte darstellen; der Grund, weshalb wir die Kugelform als die ursprüngliche Form des Nebels annehmen, liegt darin, dass wir es in unserem Sonnensysteme mit geschlossenen Kreisbewegungen zu thun haben.

Zeichnung 1 stellt den Durchschnitt der sich um die Sonne bewegenden Nebelmasse vor, welche den Anlass, das Material zur Bildung der Erde gab.

Zeichnung 2 stellt die Nebelmasse in dem Momente vor, in welchem infolge von Anziehung oder von Dissipation ein Theil der Nebelmasse sich soweit verdichtet hat, dass er zu einer flüssigen Masse (F) geworden ist. In diesem Momente kann in der Nebelmasse ein leuchtender Kern auftreten.

Zeichnung 3. Der flüssige Zentralkern fährt, dem Thomson'schen Gesetze folgend, fort seine latente Wärme in der Richtung vom Zentrum zur Oberfläche abzugeben und erstarrt in seinem zentralen Theile, behält jedoch noch seine hohe Temperatur bei. Der Vorrath an potentieller Energie im zentralen Theile erschöpft sich immer mehr und können wir im gegenwärtigen Stadium bereits einen festen Zentralkern (S), eine flüssige Hülle (F) und eine beide umgebende Gasmasse unterscheiden.

Zeichnung 4 stellt jene ferne, späte Phase vor, in welcher der Haupttheil der Nebelmasse sich kondensiert und seine po-



— 337 —
Fig. 8.

tentielle Energie soweit verloren hat, dass sich eine feste Masse (S) gebildet hat, welche nur noch von einer dünnen flüssigen Hülle und den Resten der Gase, welche die Atmosphäre bilden, umgeben ist. Diese Phase kann in gewisser Hinsicht mit jenem planetaren Zustande verglichen werden, in welchem sich unserer Muthmassung nach gegenwärtig die Sonne befinden muss.

Zeichnung 5. Der Prozess der Abgabe von Energie in ihrer wahrnehmbaren Form, der Wärme, an den Weltenraum dauert fort und dieselbe nimmt infolge dessen schliesslich soweit ab, dass nicht nur die gesammte Masse, sondern auch die Oberfläche der Erde erstarrt (S). Ueber derselben verbleibt nur eine dünne Gashülle (G) mit einem verhältnismässig geringen Vorrath an kinetischer Energie.

Unsere modernen Vorstellungen vom Vorgange der Erkal tung und des Erstarrens der Erde sind der Praxis der Metallgiesserei entlehnt. Der beschriebene Vorgang des Erstarrens der Erde ist denselben vollkommen entgegengesetzt. — Experimentell lässt er sich schwer darstellen.—Bis zu einem gewissen Grade macht jedoch die moderne Metallurgie von dem Prinzip der Erwärmung der Peripherie auf Kosten des zentralen Theiles der Substanz in den sogenannten Wärmebrunnen Giers Gebrauch. «Giers soaking pits».

Wenn wir zugeben, dass die Bildung des Erdkörpers in der von uns soeben beschriebenen Reihenfolge erfolgen konnte, so ergiebt sich hieraus die Frage, welchen Anblick müsste die Erde sowohl in ihrer ganzen Masse, als auch an ihrer Oberfläche im Momente ihres vollkommenen Erstarrens sowohl in chemischer Hinsicht, als auch in Bezug auf ihre Struktur gewähren und welches musste die ursprüngliche Zusammensetzung ihrer Atmosphäre gewesen sein.

Hat jedoch unser Gedanke erst die Frage nach der Substanz, welche den Weltenraum ursprünglich erfüllte, berührt, so drängen

sich uns die Thatsachen und Ergebnisse auf, welche uns in allerletzter Zeit die Wissenschaft geliefert hat. Die Dematerialisation des Stoffes, die Gleichartigkeit der Zonen unabhängig von der Natur des Stoffes, aus dem sie erhalten wurden, sowie auch von der Art und Weise, wie sie erhalten wurden, alles dieses sind Fakta, welche uns bei der Lösung der komplizierten und geheimnisvollen geogenetischen Fragen sehr förderlich sein könnten. Wir wollen indess vorsichtig sein und annehmen, dass die Nebelmasse, welche den Stoff zur Bildung der Erde lieferte, nicht aus Crookes'schem Protyle, sondern aus einem feinvertheilten, homogenen Gemenge derjenigen chemischen Elemente, von denen wir wissen, dass sie auf der Erde vorkommen, bestand. Das quantitative Verhältniss der Elemente, welche den Erdkörper bilden, ist uns unbekannt und haben wir hier in diesem Falle kein Recht dazu, von den Berechnungen von Clarke und Vogt Gebrauch zu machen.

Mendeleeff ¹⁾ ist der Ansicht, dass bei der Bildung unseres Planeten, bei dem Uebergange aus dem gasförmigen in den flüssigen Zustand, die Hauptmenge des Kohlenstoffs und des Eisens wegen ihres hohen Molekulargewichts früher in den flüssigen Zustand übergehen musste, als die Elemente mit einem geringeren Molekulargewicht. Er nimmt infolge dessen an, dass der zentrale Theil des Erdinnern aus schwerem Kohlenstoffeisen besteht.

Wenn wir jedoch annehmen, dass die Bildung der Erde in der von uns beschriebenen Art und Weise erfolgte, so konnte eine Scheidung der Elemente nach ihrem Molekulargewicht, wie sie von Mendeleeff vorausgesetzt wird, schwerlich stattfinden. Es kondensierte sich ein Stoff von komplizierter, doch homogener Zusammensetzung. Schon die Natur der Nebelmasse

¹⁾ Mendelejeff, D. I. Die Naphtaindustrie etc. St. Petersburg 1877 (russisch).

erfordert es, da es sich um einen gasförmigen Stoff handelt, dass dieser Stoff in seiner ganzen Masse homogen war.

Auf den Gedanken, dass die Erdmasse ursprünglich homogen war, bringen uns die Ergebnisse des Studiums der Schwere.

Für die Grösse der Schwere an der Oberfläche der Erde ist es durchaus belanglos, ob die Anziehungskraft im Mittelpunkte der Erde konzentriert ist oder aber ob sie eine Resultierende die durch das Erdzentrum geht darstellt.

Rudzki ¹⁾ behauptet, dass die schnellen Aenderungen der Schwerkraftanomalien auf kurze Entfernungen ein Beweis dafür sind, dass diese Anomalien durch Unregelmässigkeiten im Bau der Erde in denjenigen Theilen, welche näher zur Oberfläche der Erde gelegen sind, verursacht werden und eher zu Gunsten der Homogenität des Baues und der Zusammensetzung des Erdinnern gedeutet werden können.

Wir wollen daher auch annehmen, dass bei dem oben beschriebenen Prozesse der Bildung des Erdkörpers ein Ellipsoid entstand, welches, wenn es auch vom Mittelpunkte bis zur Peripherie nicht durchaus homogen war, sich jedoch seiner chemischen Natur nach vom Mittelpunkte zur Peripherie hin nur wenig und allmählig änderte.

Die Erde entstand bei einer hohen Temperatur, welche jedoch niedriger sein musste, als die kritischen Temperaturen der Elemente, welche zu den Bestandtheilen der Erde zählen, sowie auch niedriger als die Dissociationstemperaturen der Verbindungen, zu denen die Elemente zusammentreten.

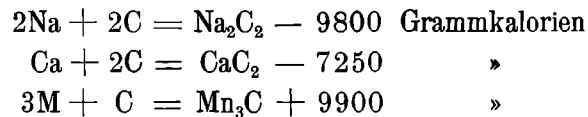
Werfen wir einen umfassenden Blick auf alle uns bekannten chemischen Verbindungen, so können wir offenbar mit Recht die Vermuthung aussprechen, dass bei hoher Temperatur, wohl

¹⁾ Rudzki, M, Teorya fizycznego stanu Kuli ziemskiej.—Rozprawy Akademii Umiejetnosci w Krakowie. Ser. II, T. XVII (1900), S 238.

nur endotherme Verbindungen entstehen konnten, dagegen die sich unter solchen Umständen bildenden exothermen Verbindungen sofort wieder dissociiren mussten.

Zu den endothermen Verbindungen, bei deren Bildung Wärme absorbiert wird, resp. zu solchen Verbindungen, bei deren Bildung relativ wenig Wärme entwickelt wird, gehören die Karbide.

Zu unserem Bedauern können wir nur sehr wenige hierauf bezügliche Daten anführen ¹⁾:



Die Bildungswärme des Karbides des Eisens, dieses so wichtigen und auf der Erde so verbreiteten Elements, ist unbekannt.

Ebensowenig wissen wir etwas über den Charakter und den Betrag der Wärmetönung bei der Bildung von Metallegierungen, oder wenigstens der Legierungen, von denen wir unseren modernen Anschauungen nach annehmen dürfen, dass sie wichtige Bestandtheile der ursprünglichen Erdmasse waren.

Die Bildung der Erdmasse erfolgte, wie oben erwähnt wurde, bei einer hohen Temperatur und mussten die unter Wärmezufuhr von aussen entstehenden Verbindungen vom Standpunkte der Dissipationshypothese aus, unbeständige Verbindungen sein. Es mussten endotherme Systeme sein und falls doch exotherme Verbindungen auftraten, so mussten dieselben ein sehr labiles Gleichgewicht besitzen. Und in der That giebt es nicht nur in der Natur, sondern auch unter den Produkten unserer Industrie sehr viele derartige Stoffe. Die ganze Metallurgie

¹⁾ Biedermann, R. Chemiker-Kalender. 1905, Theil II, S. 172.

z. B. ist darauf gerichtet, aus exothermen Systemen endotherme zu erhalten.

Um genauer zu erklären, was wir damit sagen wollen, genügt es unser gewöhnliches Eisen als Beispiel anzuführen. Alle Prozesse, metallisches Eisen aus seinen Verbindungen zu gewinnen, laufen darauf hinaus, irgend einem Eisenoxyde diejenige Wärmemenge, welche von ihm bei seiner Bildung entwickelt wurde, zurückzugeben. Das metallische Eisen stellt ein System vor, welches fähig ist unter den gegenwärtig auf der Erde herrschenden Bedingungen eine beträchtliche Menge Wärmeenergie zu entwickeln und daher ist es ein wenig beständiges System.

Die chemischen Prozesse, welche bei hohen Temperaturen stattfinden, sind bisher sehr wenig studiert worden und sind wir daher, was Verbindungen, welche unter Energiezufuhr von aussen entstehen, anbelangt, grösstentheils auf mehr oder weniger gut begründete Vermuthungen angewiesen.

Es ist jedoch nicht zwecklos, bei einigen Elementen und zwar bei den Elementen der alkalischen Erden, welche in der Natur nur in oxydiertem Zustande vorkommen, etwas zu verweilen.

Nach den Untersuchungen von Ledebur legiert sich in den gewöhnlichen metallurgischen Oefen das Magnesium nicht mit Eisen, sondern wird vollständig oxydiert und geht in die Schlacke über; im elektrischen Ofen dagegen ist es gelungen, eine Legierung, welche 2% Magnesium enthält, zu gewinnen. Gautier ¹⁾ verweist auf eine Reihe überaus interessanter Verbindungen und Reaktionen. Eine Legierung von Strontium und Cadmium absorbiert, wenn man sie im Wasserstoffstrome erhitzt, Wasserstoff. Die Absorption beginnt bei 340°. Bei 470° wird

¹⁾ Comptes Rendus de l'Acad. d. S. CXXXIV, p. 1108.

der Wasserstoff wieder freigegeben; bei 570° wird er vom neuem absorbiert und bei 675° erfolgte wieder eine Dissociation. Aehnlich verhält sich das Baryum.

Die Legierungen der Metalle der alkalischen Erden mit Cadmium absorbieren Stickstoff. Die Reaktion beginnt bei 600° ; bei 1000° sind die erhaltenen Nitride noch beständig. Die Wasserstoffverbindungen des Baryums und Strontiums kondensieren Stickstoff in der Kälte.

Die Bedingungen, unter denen die eben erwähnten Reaktionen erfolgen, erlauben uns den Schluss zu ziehen, dass sie, sowie auch ähnliche Reaktionen, auch in der ursprünglichen Masse der Erde stattfinden konnten.

Wir müssen ferner auch die Fähigkeit der chemischen Verbindungen, bei einer gewissen Temperatur zu dissociieren, in Betracht ziehen. Die Unbeständigkeit der Oxyde des Goldes, des Silbers, des Quecksilaers ist ein gutes Beispiel dafür, desgleichen die Abgabe eines Theiles seines Sauerstoffgehalteses seitens des Mangansuperoxyds.

Und somit führen uns die Thatsachen, welche uns gegenwärtig die Wissenschaft zur Feststellung der ursprünglichen Natur der erstarrten Erde heranzuziehen erlaubt, zu dem Ergebniss, dass die Erde eine Legierung, ein Gemenge von verschiedenartigen Elementen, jedoch eine vollkommen homogene, gleichmässige Legierung sein musste.

Als die Erde fest geworden, jedoch noch genügend heiss war, bestand ihre Atmosphäre wahrscheinlich aus einem Gemenge dissociirter Gase, wenn auch der Stickstoff als Element, welches bei seiner Vereinigung mit Sauerstoff Wärme entwickelt, ganz oder zum Theil mit diesem Elemente verbunden sein konnte.

Die Einwirkung der Atmosphäre auf die Erdoberfläche, und in dem Sinne, wie sie noch jetzt stattfindet, konnte erst dann beginnen, als der Sauerstoff sich mit dem Wasserstoff verbunden

hatte und die Temperatur der Erdoberfläche auf 370—358° C. gesunken war. Nur bei einer Temperatur, welche niedriger als die kritische Temperatur des Wassers war, konnte auf der Erdoberfläche der erste Wassertropfen auftreten und seine chemische und mechanische Arbeit beginnen.

Stellen wir uns vor, ein Wassertropfen wäre auf die Oberfläche der Erde gefallen und hätte auf ihr eine Legierung vorgefunden, welche gewissermassen an Gusseisen erinnerte, eine kohlenstoffhaltige Legierung, welche sehr reich an Silicium und Aluminium war, und alle diejenigen Elemente, welche zu den Bestandtheilen des Erdkörpers gehören, in verschiedenen Mengen enthielt. Das Wasser trat dann sofort mit den Bestandtheilen der Legierung in Reaktion; der Sauerstoff vereinigte sich mit den Metallen zu Metalloxyden, der Wasserstoff mit dem Kohlenstoff zu Kohlenwasserstoffen. Je mehr die Wassermenge zunahm, in desto grössere Tiefen der Erdmasse musste diese Reaktion vordringen.

Wie regelmässig und ruhig aber auch die Erdoberfläche erstarrte, sie musste doch Unebenheiten aufweisen, gleich den Unebenheiten, die wir auf der erstarrten Oberfläche von Silber oder Kupfer bemerken, oder solche, die sich vielleicht mit den Unebenheiten der Mondoberfläche vergleichen lassen. Das Wasser fing an von den Erhöhungen zusammenzuströmen und sich in den Vertiefungen anzusammeln.

Das Auftreten von Wasser in den Vertiefungen der Erdoberfläche und seine Einwirkung auf letztere gab den verschiedenen Theilen derselben eine verschiedene physikalische Bedeutung; die ursprüngliche physikalische Gleichförmigkeit ging verloren.

Während der Periode der Kondensation der Erde, erhielt sie von der mit ihr genetisch verbundenen Sonne vielleicht viel grössere Energiemengen, als jetzt, doch war zu jener Zeit die

eigene, noch nicht verlorene Energie der Erde noch so gross, dass die Energie der Sonne keine merkliche Wirkung ausüben konnte.

Die Verhältnisse änderten sich jedoch von Grund aus, als die Erde einen grossen Theil ihrer eigenen Energie eingebüsst hatte und sich von der Energie der Sonne zu nähren begann. Der Verlust der Gleichförmigkeit der Erdoberfläche bedingte ein ungleiches Verhalten der verschiedenen Theile derselben zu der auf sie gelangenden Energie der Sonne.

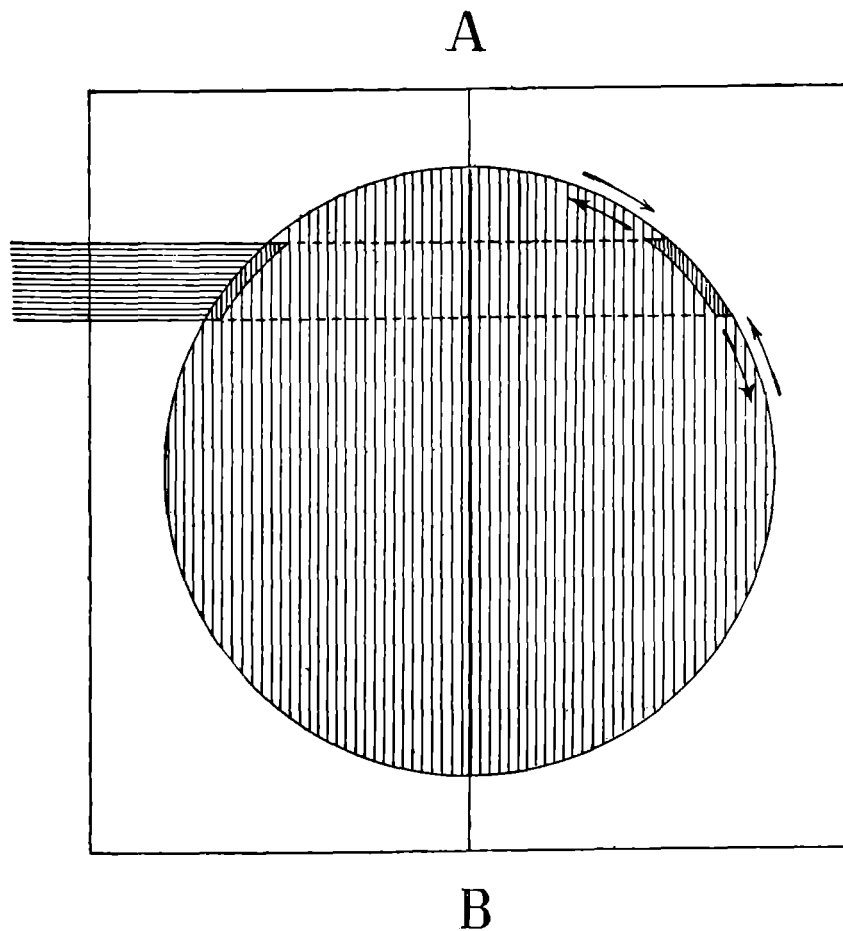
Erst von diesem Momente an begannen die Deformationen der Erdoberfläche, resp. ihr geologisches Leben.

Um uns vom mechanischen Einflusse, welchen die Energie der Sonne früher auf die Erdoberfläche ausgeübt hat und auch noch jetzt ausübt, einen Begriff zu machen, wollen wir uns einen Prozess in der Art des Platauschen Versuches vergegenwärtigen.

Stellen wir uns vor, in einem homogenen Medium bewege sich um seine Axe ein in seiner ganzen Masse auf die gleiche Temperatur erwärmtes homogenes Ellipsoid. Richten wir sodann auf die Oberfläche des Ellipsoides, senkrecht zu seiner Drehungsaxe, einen Kältestrahl, d. h. entziehen wir dem Ellipsoide, in einer gewissen Zone seiner Oberfläche, Wärme (Fig. 9). Der Kältestrahl wird dann gleich dem Drehmeissel einer Drehbank auf der Oberfläche des Ellipsoides durch Kontraktion eines Theiles seiner Substanz eine Rinne einschneiden. Nach den Gleichgewichtsbedingungen wird, wenn das Ellipsoid aus keinem absolut harten Stoffe besteht, die Rinne sich durch Zufluss des letzteren vom Aequator des Ellipsoides und von seinem Nordpole beständig wieder schliessen und die Ellipsoidform, welche der gegebenen Rotationsgeschwindigkeit entspricht, ununterbrochen wieder hergestellt werden. Das Eindringen der Kälte in die Erdmasse ist durch Pfeile innerhalb des Ellipsoiddurchschnittes angedeutet.

Nehmen wir jedoch statt des homogenen Ellipsoides ein Ellipsoid, welches aus Segmenten besteht, welche sich in physikalischer Hinsicht verschieden verhalten (Fig. 10), so versteht

Fig. 9.

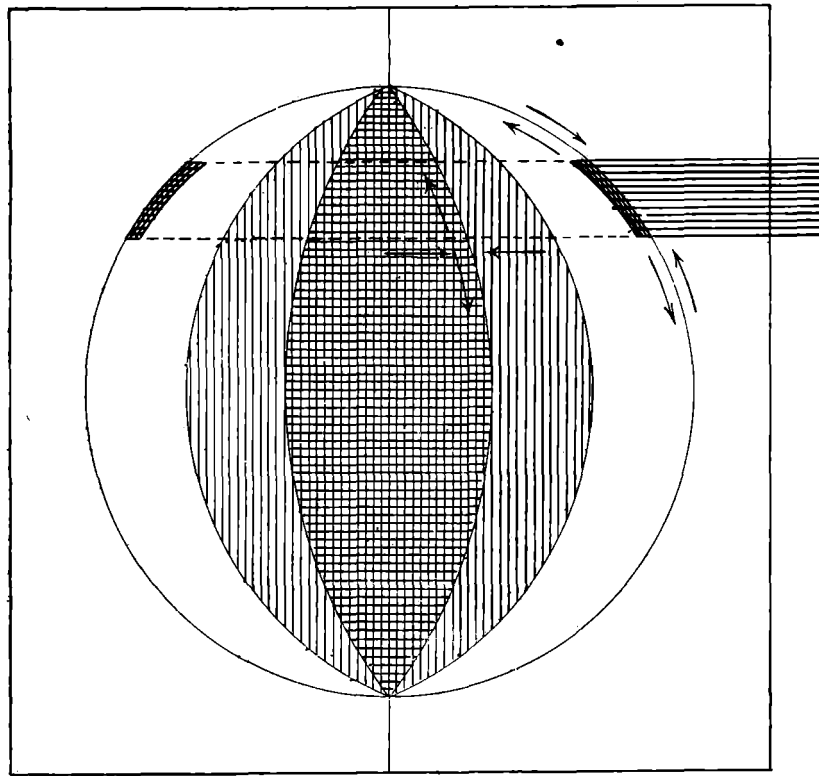


es sich von selbst, dass an den Berührungsflächen der Segmente unter der Einwirkung des Strahles positiver oder negativer Wärmeenergie, Partialkräfte auftreten werden, deren Richtung

in der Abbildung annähernd durch Pfeile angedeutet ist. Unter dem Einflusse dieser Partialkräfte wird die Oberfläche des

Fig. 10.

A



B

Ellipsoides deformiert und zur Erhaltung der ursprünglichen Rotationsgeschwindigkeit muss die ursprüngliche Form wiederhergestellt werden, oder aber eine neue Form gefunden werden,

welche den Bedingungen der Rotation entspricht. Eine Verschiebung der Massen ist daher offenbar unbedingt notwendig.

Ganz allgemein muss die Deformation in der Form einer verschiedenen Dilatation oder Kontraktion der verschiedenen Theile der Erdmasse auftreten. Die Wiederherstellung einer den Bedingungen des Gleichgewichts entsprechenden Form erfordert eine Verschiebung der Massen.

In unseren Beispielen richteten wir den Energiestrahл senkrecht zur Drehungsaxe. Unter denjenigen Bedingungen jedoch, unter welchen die Rotation der Erde stattfindet, wirkt der Strahl der Sonnenenergie nicht senkrecht zur Drehungsaxe, sondern bildet mit ihr einen Winkel, welcher dem Neigungswinkel der Erdaxe zur Ebene ihrer Bahn gleich ist. Dieser Umstand ist schon an und für sich geeignet, Komplikationen in den Erscheinungen der Deformation hervorzurufen.

Auf den ersten Blick könnte es scheinen, als ob das Wasser als eine bewegliche Masse den besten Regulator zur Herstellung des durch die Wirkungen der strahlenden Energie auf die Kontinente gestörten Gleichgewichts abgeben könnte. Es lässt sich nicht leugnen, dass innerhalb gewisser Grenzen dieses thatsächlich der Fall ist, doch ist eine Wiederherstellung des Gleichgewichts durch die Hydrosphäre allein eben nur innerhalb gewisser Grenzen möglich; über dieselben hinaus muss an der Wiederherstellung des Gleichgewichts auch die Lithosphäre theilnehmen.

Es fragt sich nun, ob die Verschiebung der festen Massen durch die gesammte Masse der Erde hin erfolgt oder aber, ob sie sich auf der Erdoberfläche zunächst gelegenen Theile beschränken kann. Eine Antwort auf diese Frage können wir erhalten, wenn wir uns vergegenwärtigen, was für Prozesse auf der Oberfläche der Erde in den ersten Momenten ihres geologischen Lebens stattfinden konnten.

Aus dem Obengesagten folgt, dass die Erde im Momentenres endgültigen Erstarrens eine homogene Masse sein musste, welche spezifisches Gewicht von c. 5,5 besass. Sie musste aus Verbindungen bestehen, welche bei hohen Temperaturen beständig, bei niedrigen dagegen wenig beständig sind. Was das Gewichtsverhältnis der Elemente, welche die ursprüngliche Masse bilden, anbelangt, so können wir nur sagen, dass in ihr die Schwermetalle eine wichtige Rolle spielen mussten und wenn wir den Umstand berücksichtigen, dass von den Metallen, von denen wir wissen, dass sie an der Oberfläche der Erde vorkommen, das Eisen das am meisten verbreitete Metall ist, so ist es wahrscheinlich, dass es auch als Bestandtheil der ursprünglichen Masse eine sehr wichtige Rolle spielte. Eine ebenso wichtige Rolle musste jedoch neben dem Eisen auch dem Silicium und dem Aluminium zukommen. Nehmen wir an, es waren gleiche Volume Eisen und Aluminium vorhanden, so muss eine aus diesen beiden Elementen bestehende Masse ein spezifisches Gewicht von 5,1 besitzen, welches dem spezifischen Gewichte der Erde annähernd entspricht.

Bei den Reaktionen, welche unter dem Einflusse des Wassers stattfanden, entstanden solche Verbindungen, welche bei niedrigeren Temperaturen beständig sind, während die unbeständigeren und verhältnismässig leicht löslichen Verbindungen von den Strömen an der Erdoberfläche in die Wasserbassins weggeführt wurden und in der Form von Salzen in das Innere der Erdmasse gelangten.

Die Verbindungen des Siliciums und des Eisens unterscheiden sich in Bezug auf ihre Löslichkeit von einander sehr scharf. Lassen wir siliciumhaltiges Gusseisen an der freien Luft verwittern, so kann sich als Endprodukt seiner Zersetzung nur Quarz ergeben, weil die relativ leicht löslichen Oxyde des Eisens von den atmosphärischen Niederschlägen fortgeführt werden.

Die chemischen Prozesse, welche an der Erdoberfläche stattfanden, mussten in einer Differentiation der Stoffe, aus denen sie bestand, nach dem Grade der Beständigkeit der von ihnen gebildeten Verbindungen bestehen. Die Bildungswärme des Quarzes ist sehr gross und ist derselbe folglich eine sehr beständige Verbindung. Es ist daher das Vorherrschen von freier und gebundener Kieselsäure unter den Bestandtheilen der Erdoberfläche durchaus erklärlich und umgekehrt kann dieses Vorherrschen als positiver Beweis für die Richtigkeit unserer Voraussetzungen gelten.

Die Prozesse der Zersetzung der ursprünglichen Masse der Erde konnten entweder ruhig, oder aber stürmisch verlaufen. Die Möglichkeit stürmischer Reaktionen, d. h. solcher, bei denen grosse Wärmemengen frei werden, findet beispielsweise in den Erscheinungen des Vulkanismus ihre Bestätigung. Der exothermische Charakter der an der Erdoberfläche stattfindenden Reaktionen, auf die bereits früher verwiesen wurde, kann als allgemeiner und gewichtiger Beweis dafür gelten. Spezielle Beweise liefern uns solche Verbindungen, wie die Carbide, welche wahrscheinlich unter den Bestandtheilen der Erdmasse eine bedeutende Rolle spielten, und wie die unlängst von Gautier entdeckten Verbindungen der Metalle der Alkalienerden mit Wasserstoff und Stickstoff.

Unter dem Einflusse der stürmischen Reaktionen, d. h. unter dem Einflusse der bei denselben entwickelten Wärme schmolzen einzelne Theile der veränderten Erdoberfläche von neuem und diejenigen Theile, welche an Kieselsäure reicher geworden waren, gaben zur Bildung von Silikatgesteinen Anlass. Je tiefer die Zersetzungsprozesse in die ursprüngliche Masse der Erde vordrangen, desto tiefer sank das Niveau der Lagerung der schweren Basen und unter dem Einflusse der Wärme der Herde stürmischer Reaktionen mussten in den oberen Schichten

vorherrschend saure Gesteine, in den tieferen Schichten vorherrschend basische Gesteine gebildet werden. Die moderne Petrographie sieht in den basischen Gesteinen, wie z. B. in dem Dunit, dem Peridotit und dem Gabbro-Gesteine, Gesteinsarten welche den tiefsten Magmen entstammen.

Die Theorie der Bildung kristallinischer Silikatgesteine, welche sich aus unseren Voraussetzungen ergibt, erklärt einerseits die allgemeine Gleichförmigkeit dieser Gesteine auf der ganzen Oberfläche der Erdkugel, andererseits gewährt sie uns die Möglichkeit ohne jede Künstelei den Ursprung der Massen der sogenannten petrographischen Provinzen, sowie auch vieles auf dem Gebiete der Differentiation des Magmas, der Besonderheiten der Struktur, der pneumatolytischen Erscheinungen u. s. w., worauf wir hier nicht eingehen konnten, zu erklären.

Wenn das hier gegebene Bild von der Entstehung der oberflächlichen Theile der Erde in seinen allgemeinen Zügen als zutreffend bezeichnet werden kann, so müssen wir daraus folgern, dass die Deformationsprozesse nur bis zu einer gewissen Tiefe vor sich gehen und dass bei der Wiederherstellung der Deformationen hauptsächlich die Erdoberfläche betheilt sein muss. Zur Begründung dieser Annahme genügt schon der Umstand, dass der innere Reibungswiderstand der Oberflächentheile bedeutend geringer sein muss, als derjenige der tiefer gelegenen Theile.

Die Wiederherstellung der deformierten Theile der Erdoberfläche kann nur durch eine horizontale Verschiebung der Massen der Erde, d. h. durch eine Verschiebung der Massen längs einer beliebigen Fläche im Innern der Erde erfolgen.

Eine horizontale Verschiebung der Massen infolge eines tangentialen Druckes wird von allen Theorien angenommen, welche uns die gebirgsbildenden Prozesse erklären sollen. Eine horizontale Verschiebung der Massen geben auch Suess, Heim,

Reyer und M. Bertrand zu; ohne horizontale Verschiebungen kommt auch die Hutton'sche Isostase nicht aus.

Bei den Vorstellungen aller oben erwähnten Forscher handelt es sich jedoch bei den Verschiebungen, welche unter dem Einflusse einer in vertikaler Richtung wirkenden Kraft erfolgen, nur um räumlich eng begrenzte Vorgänge und nur das in neuester Zeit erfolgte Studium der Chariage Erscheinungen legt die Annahme nahe, dass derartige Verschiebungen von recht bedeutenden Dimensionen sein können ¹⁾.

In unseren Vorstellungen dagegen spielt die horizontale Verschiebung eine wesentliche Rolle und ist räumlich nicht begrenzt.

Unseren Gedanken müssen wir graphisch erläutern. Am Aequator entsteht unter dem Einflusse der Sonnenenergie eine Erhebung (Fig. 11). Die dadurch bewirkte Zunahme der Zentrifugalkraft wollen wir mit AB bezeichnen. Die Erhaltung des Gleichgewichts des Erdellipsoides erfordert es, dass die Zentrifugalkraft am Aequator sich nicht ändert, d. h. dass ihre Zunahme beständig durch eine andere, ihr gleiche und in entgegengesetztem Sinne wirkende Kraft AC paralysiert werde. Die Kraft AC kann nicht Schwerkraft sein, da letztere mit der Entfernung vom Zentrum der Anziehung abnimmt. Die Kraft AC muss eine neue Kraft sein, welche durch die Störung des Gleichgewichts hervorgerufen wurde und folglich in der Anziehungskraft der Sonne, welche die Drehung der Erde um ihre Axe und ihre Fortbewegung längs ihrer Bahn regelt, ihren Ursprung hat.

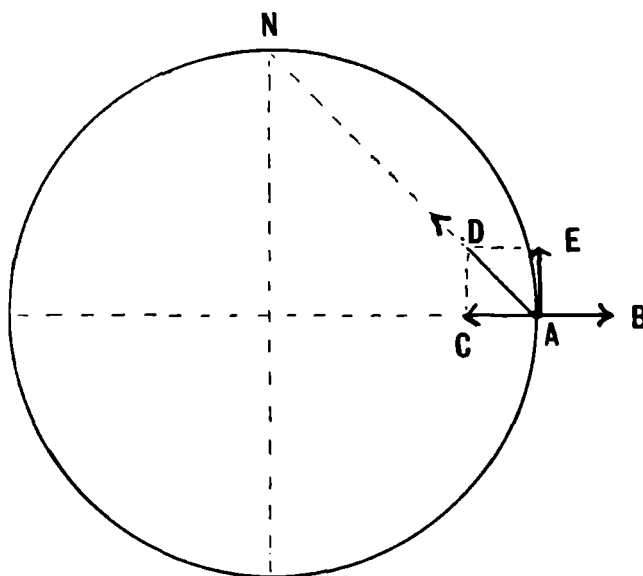
Aus den oben angeführten Voraussetzungen können wir folgern, dass der Angriffspunkt derjenigen Kraft, welche der Kraft AB entgegenwirkt, natürlich der Punkt A sein muss,

¹⁾ Tömebohm fand für Skandinavien Werthe bis zu 25 Kilometern. Congrès géologique internationale IX. Ses.

die Richtung ihrer Wirkung aber durch die Linie, welche den Punkt A mit dem Pole N verbindet, angegeben ist.

Tragen wir auf die Linie AN die Grösse AD ab, so können wir die Kraft AD in zwei Komponenten, AC und AE, welche letztere tangential zur Oberfläche wirkt, zerlegen.

Fig. 11.



Die Komponente AC paralyisiert die Kraft AB, die Kraft AE jedoch verschiebt einen materiellen Punkt längs der Oberfläche in der Richtung der Wirkung der Kraft AE.

Die Kraft AE wirkt ununterbrochen, d. h. sie muss so lange wirken, bis die Energie der Sonne vollständig zerstreut sein wird. Infolge dessen muss die Verschiebung der Massen gleichfalls ununterbrochen vor sich gehen.

Wenn wir von diesem geometrischen Beweise auf die Beobachtungen in der Natur übergehen, so stossen wir auf so

complicierte Prozesse, dass wir sie unmöglich mit einem Federstriche erklären können.

Wir halten es auch für durchaus überflüssig, solche Erklärungen zu geben; wir können nur sagen, dass die Details des Mechanismus der tektonischen Prozesse, welche sich aus unmittelbaren Beobachtungen ergeben, ihre Giltigkeit auch im Falle der Annahme unserer Hypothese beibehalten. Anders kann es auch nicht sein, denn alle Hypothesen in Betreff der gebirgsbildenden Prozesse, gehen von der Wirkung einer tangentialen, d. h. einer horizontalen Kraft aus und unterscheiden sich von einander nur in der ursächlichen Erklärung dieser Kraft. Unsere Hypothese lässt nicht nur eine Verschiebung dislocirter Massen, sondern auch eine gleitende Verschiebung derselben ohne für uns merkbare Störung der Schichtenlagerung zu. Thatsächlich beobachten wir keine Bildungen mit ungestörter Schichtenlagerung. Eine Ausnahme bilden allenfalls die neuesten Lavaergüsse und die auf denselben vor unseren Augen stattfindenden oberirdischen Ablagerungen.

Eine horizontale Verschiebung der Erdmassen in der Richtung vom Aequator zu den Polen muss sich in einer Anhäufung des Festlandes um die Pole herum äussern; im speziellen bestätigt dieses Muschketow¹⁾, wenn er sagt, dass die neuesten Erhebungen vorzugsweise unter höheren Breitengraden stattfinden.

Somit müssen wir aus allem, was in diesem Kapitel dargelegt ist und in seinen Grundzügen in keiner Weise den uns bekannten Thatsachen und theoretischen Annahmen widerspricht, schliessen:

1) Dass die Erde vom ersten Momente ihres geologischen Lebens an in ihrer ganzen Masse ein fester Körper war²⁾.

¹⁾ Muschketow, I. Physikalische Geologie 1899, Theil I, S. 722.

²⁾ Die Bedingungen, unter denen die Rotation der Erde stattfindet, erfordern nicht das Vorhandensein eines flüssigen Kerns in ihrem Innern. Rudzki l. c.

2) Dass die Erde infolge ihres Bildungsprozesses in ihrem Innern nicht heiss sein kann, sondern vielmehr kalt sein muss, dass im Innern der Erde die Temperatur niedriger sein muss, als an ihrer Oberfläche.

Die Daten, welche wir über die thermischen Vorgänge im Erdinnern, an ihrer Oberfläche und in den Wasserbassins besitzen, beweisen, dass unsere Auffassung, die Temperatur in den tiefen Schichten der Erde müsse überall eine hohe sein, eine durchaus aprioristische Vorstellung ist, welche uns durch Ueberlieferungen aus dem Zeitalter der Kindheit des menschlichen Denkens eingeimpft wurde, in den beobachteten Thatsachen jedoch keinen festen, unerschütterlichen Stützpunkt findet.

3) Dass die gebirgsbildenden Prozesse nicht das Ergebniss der Kontraktion der Erde infolge ihrer Abkühlung, sondern das Ergebniss der Wirkung der Energie der Sonne auf die Erdoberfläche sind ¹⁾.

Wir wollen zum Schlusse bemerken, dass die Idee einer Bewegung der Erdmassen unter dem Einflusse der Sonnenenergie nicht neu ist.

Bereits im Jahre 1888 bewies Davison ²⁾ experimentell, dass Gesteinbeschüttungen oder vielmehr die sie bildenden Gesteinsblocken sich unter dem gemeinsamen Einflusse der Erwärmung am Tage und der Abkühlung in der Nacht fortbewegen können.

¹⁾ Wir erlauben uns noch auf den vom Sonnenlicht ausgeübten Druck hinzuweisen. Derselbe ist, wie die Versuche Lebedew's ergeben haben, äusserst gering, doch wenn wir die meridionalen Gebirgszüge nehmen und in Betracht ziehen, dass sie beständig einem einseitigen Drucke sowohl der Gesamtenergie, als auch der Lichtenergie der Sonne ausgesetzt sind, so ist es klar, dass dieser Druck eine gewisse Arbeit leisten muss.

²⁾ Davison, Charles. Note on the Movement of Scree-Material. The Quart. J. of Geological Soc. of London 1888, p. 232.

Kapitel IX.

Vulkanismus. — Erdbeben. — Verschiebung der Erdpole und klimatische Verhältnisse.

Die oben besprochenen Hypothesen von der Entstehung und der ursprünglichen Natur der Erde und von der Bedeutung der Energie der Sonne für die physikalische und geologische Entwicklung der Erde können durch die Betrachtung einiger spezieller Kategorien von Erscheinungen geprüft werden.

Suess¹⁾ giebt uns in seiner Hypothese von der Entstehung der heissen Quellen und ihren genetischen Zusammenhang mit dem Vulkanismus auch eine Erklärung des Wesens der thermischen Vorgänge im Erdinnern.

Die Erwägungen von Suess müssen jedoch durch einige Daten aus dem Gebiete der Chemie ergänzt werden. Vor allem muss bemerkt werden, dass die gasförmigen Elemente, unter ihnen auch der Wasserstoff, sich in der erstarrten Erdmasse wahrscheinlich nicht als mechanische Beimischung, sondern in der Form von chemischen Verbindungen befinden. Wir wissen, dass ausser Pt und Pd auch andere Metalle, wie Fe, Cu, Nb, Na, K mit dem Wasserstoff Verbindungen von bestimmter Zusammensetzung eingehen²⁾.

Die Untersuchungen Gautier's beweisen, dass die Verbindungen der Metalle der alkalischen Erden mit Wasserstoff und Stickstoff sich bei hohen Temperaturen bilden und bei denselben beständig sind. Bei hohen Temperaturen bilden sich ferner unter

¹⁾ Suess, E. Ueber heisse Quellen. Naturwissenschaftliche Rundschau 1902, № 45—48.

²⁾ Dammer, O. Handbuch der anorganischen Chemie. Bd. II und III.

beträchtlicher Energiezufuhr von aussen Verbindungen des Selens, Tellurs und Siliciums mit Wasserstoff.

Die indifferenten gasförmigen Elemente, wie das Argon oder das Helium im Cleveit gehen recht beständige Verbindungen ein.

Im allgemeinen dürfen wir annehmen, dass unter den Bestandtheilen der Erdmasse der Wasserstoff durchaus nicht die letzte Rolle spielt.

Wenden wir uns nun zu den Explosions- und Pulsationserscheinungen, welche die Eruptionen der Vulkane begleiten, so finden wir eine durchaus zulässige Erklärung derselben nicht etwa in einem Eindringen erhitzter Gase in die verhältnismässig kühleren Massen der geschmolzenen Lava, sondern in einem Wechsel von Dissociations- und Reassociationserscheinungen. Wasserstoff und Stickstoff können in Gegenwart eines durch besonderes Verfahren gewonnenen Platinschwammes schon bei einer Temperatur von ungefähr -20° in Reaktion treten. In Gegenwart von kantigen Bruchstücken von Porzellan, Quarz oder Bimsstein beginnt die Reaktion bei 350° . Die Reaktion der Bildung von Wasser aus seinen Bestandtheilen kann entweder stürmisch oder ganz ruhig verlaufen; doch in welcher Art sie auch erfolgt, immer ist sie mit einer Entwicklung von 64 grossen Kalorien pro Grammmolekül Substanz verbunden, während umgekehrt bei der Dissociation des Wassers dieselbe Wärmemenge absorbiert wird.

Die Bedingungen, unter denen der Durchgang von Wasserstoff und Sauerstoff oder ihrer Verbindung, (Wasserdampf) durch eine mächtige Lavasäule erfolgt, sind sehr kompliziert, Dringt der Wasserdampf in eine Lavamasse ein, deren Temperatur höher ist, als 2000° , so muss er unter bestimmten Druckverhältnissen dissociiren. Seine Dissociation bewirkt eine Herabsetzung der Temperatur der Lava und dadurch werden wiederum Bedingungen geschaffen, unter denen eine Reassociation erfolgen

kann. Diese Reaktionen müssen unter entsprechenden Bedingungen rhythmisch abwechseln und hierin haben wir eine vollkommen genügende Erklärung für die Pulsationserscheinungen und zwar eine weit richtigere, als die Annahme von Suess.

Die Systeme der festen Körper, welche die Erdmasse bilden, befinden sich in der gegenwärtigen Lebensperiode der Erde niemals im Gleichgewichtszustande. Sie sind der Einwirkung zweier Kräfte unterworfen. Einerseits haben dem Gesetze der Dissipation zufolge, sämtliche irdischen Körper das Bestreben, ihre potentielle Energie an den Weltenraum abzugeben und wird dieser Prozess so lange fortdauern, bis zwischen der Temperatur des Weltenraumes und derjenigen der Erde ein Gleichgewichtszustand eintritt. Dieser Fall kann erst dann eintreten, wenn auch die Sonne die Temperatur des Weltenraumes angenommen haben wird. Gegenwärtig stellt die periodisch wirkende Sonnenenergie eine zweite Energiequelle dar, welche die Gleichgewichtsstörung der Systeme der Körper der Erde begünstigt. Jede Störung des Gleichgewichtes ruft eine neue chemische Reaktion hervor und jede chemische Reaktion erfordert zu ihrer Vollendung Zeit. Die stürmische Reaktion der Bildung von Wasser aus dessen Bestandtheilen unter dem Einflusse einer elektrischen Entladung pflanzt sich mit einer Geschwindigkeit von 2,810 Metern pro Sekunde fort. In unseren Laboratorien, in denen wir zur Trennung der Körper von einander die günstigsten Bedingungen wählen, spielt im Prozesse der Reaktion das Zeitelement eine sehr wesentliche Rolle. Die Zeit tritt bei allen diesen Prozessen als Arbeitselement auf. Die Energie einer bestimmten Spannung, welcher Art sie auch sei, leistet, wenn sie ununterbrochen in demselben Sinne wirkt, Arbeit, welche dem Zeitraume, während dessen sie wirksam war, proportional ist.

Folglich müssen wir bei der Ergründung der im Erdinnern stattfindenden Reaktionen stets das Zeitelement als wesentliches

Element einführen. Im Verlaufe der Zeit erfolgt auch eine Anhäufung von potentieller Energie. Zur Erläuterung unseres Gedankenganges wollen wir als Beispiel ein System wählen, welches wir bereits besprochen haben und für welches wir Zahlenangaben besitzen.

Der Wollastonit ist ein System, welches unter Absorption von 33,3 Kilogrammkalorien in CaO und SiO_2 zerfällt.

Der Zerfall von CaSiO_3 in die genannten Komponenten erfolgt unabhängig davon, ob die obenerwähnte Wärmemenge ihm auf einmal zugeführt wird, oder ob die Energiezufuhr von aussen allmählig im Verlaufe eines langen Zeitraumes erfolgt. Jedes aus seiner Verbindung mit SiO_2 befreite Molekül CaO stellt in bezug auf CO_2 einen Vorrath an potentieller Energie dar.

Die langsam erfolgende Ansammlung von potentieller Energie und ihre darauf folgende zufällige Befreiung ist der Grund aller an der Erdoberfläche stattfindenden Katastrophen. Nicht nur Vulkane und Erdbeben, sondern auch katastrophenartige Erdrutsche und Lawinenstürze, müssen auf diese Weise erklärt werden.

Die Erdoberfläche hat jedoch unter dem Einflusse der auf ihr stattfindenden Prozesse bedeutende Veränderungen erlitten und muss daher an verschiedenen Stellen derselben der Gang der chemischen Prozesse ein verschiedener sein. Am verschiedenartigsten müssen die Reaktionen an denjenigen Orten ausfallen, wo Festland mit Wassermassen in Berührung kommt, welche dasselbe sowohl chemisch, als auch mechanisch beeinflussen und wir sehen, dass in der That die Zentren stürmischer Reaktionen in der Erdmasse sich in denjenigen Gebieten befinden, wo sich Erde und Wassermassen berühren, oder wo bedeutende Dislokationen stattgefunden haben, das chemische Gleichgewicht also schon durch mechanische Verschiebungen gestört worden ist.

Die Prozesse, welche tief im Inneren der Erde stattfinden, sind für uns ein geheimnisvolles Gebiet, in welches einzudringen

durchaus nicht leicht ist. Wie gross das Feld für Untersuchungen auf diesem Gebiete ist, lehrt folgendes Beispiel.

Winkler¹⁾ giebt folgende überaus originelle Erklärung für das Auftreten von gediegenem Eisen in den Basalten der Insel Disco. Von der Thatsache ausgehend, dass das Kohlenoxyd sehr leicht mit metallischem Nickel und metallischem Eisen flüchtige Karbonyle (Nickeltetrakarbonyl $\text{Ni}(\text{CO})_4$, Ferropentakarbonyl $\text{Fe}(\text{CO})_5$ und Diferroheptakarbonyl $\text{Fe}_2(\text{CO})_7$) bildet, nimmt er an, dass das Eisen im Basalte nicht syngenetischen, sondern epigenetischen Ursprungs ist und darauf fussend, dass dieses Eisen eine gewisse Menge Kohlenstoff enthält, spricht er auf Grund von Laboratorienversuchen die Ansicht aus, dass die Einlagerung von Eisen in den Basalt zu einer Zeit erfolgen musste, wo die Temperatur des Basaltes etwas höher war, als 350° . Bei Temperaturen unter 350° wird kohlenstoffreies Eisen ausgeschieden. Die Herstellung von Platinkarbonyl ist bisher nicht gelungen, doch erhält man leicht ein Karbonyl des Chlorplatins und da nach Classen das gediegene Platin immer Eisen enthält, vermuthet Winkler, dass das Platin gleich dem Eisen und dem Nickel mittelst des Kohlenoxyds übertragen werden kann.

Die Betrachtungen Winkler's sind für uns insofern von Wichtigkeit, als sie auf die Möglichkeit einer überaus originellen, einer geologischen Reaktion, hinweisen; natürlich können wir es einerseits schwer beurtheilen, wie weit die genannte Reaktion thatsächlich in der Erdrinde zustande kommt und haben wir anderseits kein Recht dazu, alle in der Erde stattfindenden Vorgänge auf aprioristisch gewählte Reaktionen zurück-

¹⁾ Winkler, C. Ueber die Möglichkeit der Einwirkung von Metallen in Eruptivgesteinen unter Vermittelung von Kohlenoxyd. Berichte über die Verhandlungen d. k. Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften. Leipzig XXII, Bd. (1900), s. q.

zuführen. Wir haben kein Recht dazu anzunehmen, dass das Medium, in dem eine Reaktion erfolgt, ausschliesslich Silikate oder sedimentäre Gebilde sein müssen und dürfen aus den an der Erdoberfläche beobachteten Vorgängen keine Schlüsse auf die Reaktionen, welche tief im Erdinnern stattfinden, ziehen.

Wir müssen daher annehmen, dass die vulkanischen Eruptionen und ein Theil der Erdbeben Folgeerscheinungen von stürmischen chemischen Reaktionen sind, welche im Erdinnern infolge der durch die periodischen Wirkungen der Sonnenenergie hervorgerufenen Gleichgewichtsstörungen entstehen. Die Tiefenlagen der Erdbebenherde zeigen uns, dass diese Reaktionen in verhältnismässig geringen Tiefen, welche in verschiedenen Theilen der Erde verschieden sind, stattfinden. Da in denjenigen Tiefen, in welchen die heftigsten chemischen Reaktionen stattfinden, die Reibung am schwächsten sein muss, so kann die Dicke der aktiven Schicht der Erdoberfläche, welche Verschiebungen unterworfen ist, nicht besonders gross sein und kann dieselbe im allgemeinen nicht mehr, als 30 Kilometer betragen, und im äussersten Falle 100 Kilometer erreichen. Diese Schicht müssten wir als Erdepidermis bezeichnen oder wir könnten auch den alten Namen «Erdrinde», jedoch in anderer Bedeutung, als jetzt, beibehalten.

Eine der interessantesten geologischen Fragen ist diejenige nach den klimatischen Verhältnissen früherer geologischer Epochen. Als unwiderleglichen Beweis dafür, dass unter einer gegebenen Breite früher andere klimatische Verhältnisse bestanden haben, als gegenwärtig, sieht man die unter der gegebenen Breite aufgefundenen Sedimente mit einer ihr fremden Fauna und Flora an. Unter den zur Erklärung dieser räthselhaften Erscheinung herangezogenen Hypothesen nimmt die Annahme einer Verlegung der Erdachse im Innern des Erdkörpers, d. h. einer

Verschiebung der Erdpole längs der Erdoberfläche eine hervorragende Stelle ein.

Bereits Neumayr¹⁾ hat hinsichtlich dieser Frage die denkwürdigen Worte ausgesprochen:

«Der erste Eindruck auf die meisten Geologen wird wohl der sein, dass eine Menge von Räthseln in den klimatischen Verhältnissen der früheren Perioden, in der Verbreitung der Organismen, in der Vertheilung von Wasser und Land, durch Herbeiziehung dieses Faktors leicht gelöst werden könnte. Ob aber eine genaue und gründliche Prüfung zu demselben Resultate führen wird, das ist eine Frage, die wir heute noch durchaus nicht sicher beantworten können, deren Bejahung mir aber mindestens zweifelhaft erscheint».

Hieraus ersehen wir, dass selbst Neumayr sich von der grossen Bedeutung der Verschiebung der Pole nicht hinreissen liess, obgleich sich dadurch viele von uns gehegte Zweifel zerstreuen liessen.

Die Idee, geologische Prozesse durch eine Verschiebung der Pole erklären zu wollen, muss jedoch in unseren Augen noch mehr an Werth verlieren, wenn wir uns mit dem Wesen dieser Erscheinung und ihrer Geschichte, sowie mit ihrem gegenwärtigen Stande genauer bekannt machen.

Zu diesem Zwecke wollen wir den Angaben Sternberg's²⁾ folgen. Die erste direkte Bestimmung der Polverschiebung wurde in den Jahren 1842—1843 von Peters nach Beobachtungen der Zenitdistanzen für den Stern α Urs. min. gemacht.

¹⁾ Neues Jahrbuch f. Miner. Geologie etc. 1884. B. II, S. 201.

²⁾ Sternberg, P. Der Breitengrad des Moskauer Observatoriums in seinem Zusammenhange mit der Bewegung der Pole. Wissenschaftl. Abhandlungen der Universität Moskau. Physiko-mathematische Abtheilung. Band XXII, Moskau, 1904.

Indem ich hier in knrzen Worten die von Sternberg verfasste Skizze der historischen Entwicklung wiedergebe, habe ich mich trotzdem bemüht, es der Genauigkeit wegen möchlichst mit den Worten des Autors zu thun.

Er erhielt für den Winkel, welchen die Rotationsaxe und die Hauptträgheitsaxe mit einander bilden, den Werth $0,079'' \pm \pm 0,017''$.

Peters selbst bezweifelte die Realität dieser Grösse. Weitere Versuche, dieselbe zu bestimmen, machte Nyrén, welcher drei Beobachtungsreihen für den Polarstern bearbeitete.

Die Berechnungen von Peters und Nyrén ergaben Resultate, welche mit einander nicht übereinstimmen. Es lag dieses daran, dass die an und für sich exakt ausgeführten Beobachtungen Nyréns, welche auf der Sternwarte von Pulkowa gemacht waren, unter der vorgefassten, irrigen Annahme der Existenz einer zehnmonatlichen Periode bearbeitet worden waren.

Für das Observatorium zu Neapel haben Carlo Brioschi (bereits 1820) und Fergola (1877) die Konstanz des Breitengrades angezweifelt.

Auf dem Kongresse der internationalen geodätischen Association, welche im Jahre 1883 in Rom tagte, warf Fergola die Frage auf, ob man die Pole der Rotationsaxe der Erde als unverrückbare Punkte auf der Erdoberfläche aufzufassen habe, oder aber ob sie infolge geologischer Ursachen geringe Bewegungen ausführen, welche man vermittelt der modernen Instrumente nachweisen kann. Die von Fergola aufgeworfene Frage wurde in einer besonderen Kommission berathen; die Beschlüsse derselben wurden von Schiaparelli formuliert.

In seinem Referate über die Beschlüsse der Kommission wies Schiaparelli darauf hin, dass die Breite sich sowohl infolge einer Aenderung der Lothrichtung, als auch einer Verlegung der Rotationsaxe ändern könne, welche durch Verschiebungen der Massen im Erdinnern und an der Erdoberfläche bewirkt werden. Dasselbst berührt er auch die Frage, wie bedeutend derartige Aenderungen sein können. Die in Pulkowa

angestellten Beobachtungen ergeben einen sehr kleinen Radius (von nur 3—4 Meter Länge) des Kreises, welchen der Pol der Rotationsaxe um den Trägheitspol beschreibt. Daher müssten wir, um bedeutende Aenderungen der Breiten zu erhalten, eine Verlegung der Trägheitsaxe annehmen. Zu diesem Zwecke angestellte Beobachtungen ergeben, dass schon zur Verlegung der Trägheitsaxe um $1''$ ausserordentlich bedeutende Massenverschiebungen erforderlich sind und musste daher die Möglichkeit merkbarer Bewegungen der Pole in Abrede gestellt werden. Schiaparelli war der Ansicht, dass man in Anbetracht der Plastizität der Erde zugeben müsse, dass geologische Ursachen wohl merkbare Wirkungen hervorbringen können. Fergola schlug damals vor, zweckentsprechende Beobachtungen anzustellen, doch wurde sein Vorschlag abgelehnt.

Im Jahre 1888 veröffentlichte Küstner seine zum Zwecke der Feststellung der Aberrationskonstante ausgeführte Arbeit. Die von ihm erhaltenen Resultate wichen von den Resultaten der Arbeiten Nyrén's so bedeutend ab, dass die Differenzen nur durch eine Verschiebung des Pols erklärt werden können und kommt Küstner zu dem Ergebnisse, dass die Breiten der Observatorien zu Pulkowa, Berlin und Gotha im Frühjahr 1881 um $0,20''$ grösser waren, als in den Jahren 1880 und 1882. Ueber die Ergebnisse der Beobachtungen Küstner's wurde im September 1888 auf dem internationalen Kongresse in Salzburg Bericht erstattet und der Antrag Fergola's wiederholt. Der Kongress beschloss auf den Observatorien zu Berlin, Potsdam, Prag und Strassburg eine Reihe vorläufiger Beobachtungen anzustellen. Dieselben ergaben positive Resultate und schon im Jahre 1890 beschloss die permanente internationale geodätische Kommission das Fergola'sche Projekt zu verwirklichen, d. h. vollkommen gleichartige Beobachtungen in zwei astronomischen Observatorien, welche auf demselben Breitengrade, jedoch um

180 Längengrade von einander entfernt, gelegen sind, auszuführen. Ein solches zeitweiliges Observatorium wurde auf der Insel Oary, in Gruppe der Sandwichinseln, eingerichtet. Die an diesem Observatorium auszuführenden Arbeiten sollten in engem Zusammenhange mit den Arbeiten der drei europäischen Observatorien zu Berlin, Prag und Strassburg stehen. Der Plan Fergola's hatte dieses Mal ein besonderes Glück, denn unabhängig vom internationalen Observatorium unter der Leitung Markuse's rüstete das amerikanische «Coast and Geodetic Survey» eine Expedition unter der Führung Preston's aus.

Die Resultate der Beobachtungen beider Astronomen stimmten vollkommen überein, wobei es sich erwies, dass die Kurve der Aenderungen der Breite von den mitteleuropäischen Stationen gefundenen Kurven direkt entgegengesetzt war. Somit musste man zu dem Schlusse gelangen, dass die Schwankungen der Breite in der That durch Aenderung der Lage der Rotationsachse im Erdinnern bedingt werden.

Die weitere Bearbeitung dieser Frage durch viele Forscher, von denen Chandler und Bakhuyzen besonders erwähnt werden müssen, führte zu einem Resultate, welches Sternberg folgendermassen formuliert:

«Die gegenwärtig ausgeführten Beobachtungen ergeben, dass die Bewegung des Poles sich in zwei Bewegungen, in eine mit einer 431-tägigen Periode und konstanter Amplitude, — und in eine andere mit einer jährlichen Periode, zerlegen lässt. Die jährliche Bewegung ist überaus kompliziert und kommen in ihr ausser der thatsächlich stattfindenden Polverschiebung sehr wahrscheinlich auch alle Fehler in der Jahresperiode, wie die von Kimura entdeckten, zum Ausdruck».

Die Polverschiebungen werden in Diagrammen dargestellt und bezeichnet man die Kurve, welche die Bewegung des Poles zum Ausdruck bringt, als Polodie. Diese Kurve erstreckt sich

räumlich von $-0,2''$ bis $+0,2''$ und ist demnach die Amplitude der Polverschiebung äusserst klein ¹⁾).

Hieraus ergibt sich klar, dass jene Verlegung der Rotationsachse, jene Verschiebung der Pole, zu der die Geologen ihre Zuflucht nehmen, um die Aenderungen des Klimas, welche in gewissen Lebensepochen der Erde stattgefunden haben, zu erklären, mit denjenigen Aenderungen der Breiten, welche von den Astronomen bemerkt und studiert werden, nichts gemein hat. Die von den Geologen angenommene Verschiebung der Pole erscheint somit als eine Hypothese, welche sich einstweilen durch die Ergebnisse der astronomischen Forschung nicht bestätigen lässt.

Ueber die Ursachen der Polverschiebung äussert sich Küstner ²⁾ folgendermassen: «Die Ursache . . . möchte ich suchen in den gewaltigen, der Energie der Sonne entstammenden Vorgängen in der Atmosphäre und Hydrosphäre der Erde, mit ihrem gesammten Einfluss auf die luftförmigen, flüssigen und festen Theile der Peripherie des Erdballes, durch welchen unablässig Winkelausschläge zwischen der Hauptträgheitsaxe und der momentanen Rotationsaxe notwendig hervorgerufen werden müssen».

Wenn wir die Erklärung Küstners durch die oben angeführten Diagramme der Vertheilung der Sonnenenergie auf die Erdoberfläche vervollständigen und uns die Periodizität des Druckes, welcher sowohl von der Wärmeenergie, als auch von der Lichtenergie der Sonne ausgeübt wird, vergegenwärtigen, so müssen wir zugeben, dass die Erklärung Küstner's sehr viel für sich hat.

¹⁾ Das Studium der Polverschiebung ist in eine neue Phase getreten; mit ihr beschäftigt sich eine internationale Organisation, die Kommission zur Bestimmung der Polhöhe.

²⁾ Ich zitiere sie nach der Arbeit Sternberg's. S. 145.

Laplace hat gesagt, dass sich die ganze Astronomie auf die Unveränderlichkeit der Lage der Rotationsaxe der Erde und auf die Gleichartigkeit dieser Bewegung stützt. Zu diesem Ausspruche von Laplace können wir noch Folgendes hinzufügen: die ganze Astronomie stützt sich auf die absolute Unbeweglichkeit derjenigen Grundstücke, auf denen sich unsere Observatorien befinden.

Wenn wir den Glauben an die Unveränderlichkeit der geographischen Breiten für die Punkte der Erdoberfläche aufgeben, d. h. die Möglichkeit einer Verschiebung der Massen zugeben, so wird die Verschiebung des Poles, d. h. die Aenderung der Breite eines Ortes nureine scheinbare und nicht mehr durch die Verschiebung der Rotationsaxe der Erde bedingt sein. Die gebirgsbildenden Prozesse, die säkularen Küstenschwankungen, die mikroseismischen Bewegungen — alles dieses spricht zu Gunsten der Unbeständigkeit der Erde und müssen wir mit grosser Spannung die Resultate der internationalen Beobachtungen der Astronomen an den Observatorien, welche die Erde längs dem Breitengrade $39^{\circ}8'$ umgürten, abwarten.

Einstweilen jedoch haben wir kein Recht dazu, zwecks geologischer Hypothesen Verschiebungen der Erdachse in so weiten Grenzen, wie das einige Forscher thun, vorauszusetzen.

Selbstverständlich besitzen wir noch keine realen Anhaltspunkte, welche die Annahme einer Verlegung ausgedehnter Theile der Kontinente von einer Breite zur anderen rechtfertigen könnten, doch wenn wir unserer Phantasie Freiheit geben, so können wir annehmen, dass die Miocänbildungen auf Spitzbergen oder auf den Neusibirischen Inseln Bildungen niedriger Breiten sind, welche durch die Arbeit der Sonnenenergie verlegt worden sind.

Ist dieses der Fall, so brauchen die Miocänbildungen in der Schweiz und auf Spitzbergen nicht durchaus isochron zu sein; sie werden bloss isoklimatisch sein.

Wie die Untersuchungen Kerners beweisen, änderten sich die thermischen Verhältnisse der Erde während ihrer geologischen Epochen sehr wenig; die klimatischen Verhältnisse jedoch konnten, abhängig von der Vertheilung von Wasser und Land unter denselben Breitengraden, zu verschiedenen Zeiten sehr verschieden sein. Genauer können dies natürlich nur die Paläontologen beurtheilen, falls sie sich von dieser Frage interessante und für die Wissenschaft fruchtbringende Resultate versprechen.

An der Entscheidung dieser Frage kann ich mich leider nicht betheiligen.

Somit führt alles oben Besprochene zu dem Ergebnisse, dass das geologische Leben der Erde in seinem ganzen Umfange das Resultat der Einwirkung der Sonnenenergie auf die ursprüngliche Erdoberfläche ist, und dass die Kontinente und Ozeane, Flüsse und Thäler, Gletscher und Vulkane, Erdbeben und säkularen Hebungen und Senkungen des Festlandes derselben Quelle entstammen, aus welcher das gesammte organische Leben der Erde und alle Bewegungsformen ihre Kräfte schöpfen.

Kapitel X.

Methode zur Erforschung der Temperaturverhältnisse der Erdoberfläche. Ueber die Nothwendigkeit der Gründung einer internationalen Organisation zur Erforschung der Temperaturverhältnisse der Erde.

Aus allem oben Dargelegten folgt, wie bereits erwähnt wurde, dass das geologische Leben der Erde in seinem ganzen Umfange das Produkt der Einwirkung der Energie der Sonne

auf die Erdoberfläche ist. Hierin liegt die grosse Bedeutung, welche das Studium der Wirkung der ponderomotorischen und chemischen Kräfte der Sonne auf die Erdoberfläche für die Geologie besitzt.

Niemand von den Lesern und um so weniger ich selbst kann daran zweifeln, dass unsere gegenwärtigen Kenntnisse auf dem Gebiete der quantitativen Bestimmung der Sonnenenergie äusserst gering und nicht genügend durch Thatsachen begründet sind; andererseits ist es uns allen klar, wie schwierig und kompliziert das Studium dieser Frage ist. Auf die grosse Bedeutung der Lösung dieser Frage für die Wissenschaft, hat Bezold ¹⁾ schon längst hingewiesen.

Wir dürfen jedoch nicht vor Versuchen, die Lösung dieser Frage zu finden, zurückschrecken; dieses wäre unverzeihlich. Wir können jedoch uns diese Aufgabe und ihre Ausführung erleichtern, wenn wir Folgendes berücksichtigen.

Vor Allem müssen wir diese Frage in mehrere Theile zerlegen und uns damit zufrieden geben, wenn bei einem ersten Versuche diese Frage zu lösen, keine sehr genaue Lösung erhalten werden kann. Ich glaube diesen Umstand besonders betonen zu müssen, denn nicht selten wird ein hoher Grad von Genauigkeit angestrebt und die Erkenntnis dessen, dass dieses unmöglich ist, schreckt bisweilen sogar sehr unternehmungslustige Forscher ab. Wie wichtig auch die genauen Untersuchungen von Viola, Langley u. a. sind, trotzdem haben, wenigstens meiner Ansicht nach, die ersten, höchst ungenauen Bestimmungen der Grösse der Sonnenenergie von Pouillet und Herschel, — in ihrer vollen historisch-philosophischen Beleuchtung — nicht nur nichts an Werth verloren, sondern gewinnen im Gegentheil für die Wissenschaft immer mehr an Bedeutung.

¹⁾ v. Bezold. W. Der Wärmeaustausch etc. Sitz. d. Akad. zu Berlin. 1892. S. 1139.

In Kapitel III haben wir mit Nachdruck darauf hingewiesen, dass Beobachtungen der Bodentemperatur in der Art, wie sie gegenwärtig ausgeführt werden, uns nicht die Möglichkeit gewähren, den Gang des Wärmeregimes der Erdoberfläche festzustellen und in absoluten Einheiten auszudrücken.

Diese Behauptung lässt sich hauptsächlich durch die unbestreitbare Thatsache stützen, dass der Erdboden als Objekt, welches der Wirkung der Sonnenenergie ausgesetzt ist, ein Körper ist, dessen physikalische Konstanten ausserordentlich mannigfaltig und schwankend sind.

Es genügt darauf hinzuweisen, dass geringe Schwankungen des Wassergehalts die Angaben der Thermometer in hohem Grade zu beeinflussen vermögen und dass dieser Umstand den auf den Angaben der Bodenthermometer basierenden Berechnungen jene Ueberzeugungskraft nimmt, welche wir von der mathematischen Formulierung einer physikalischen Erscheinung zu fordern berechtigt sind. Eine beständige Berücksichtigung Konstanten ist in Anbetracht der Kompliziertheit dieser Aufgabe variabler unmöglich.

Uebrigens kann uns die Bestimmung der Temperatur des Erdbodens oder der Oberfläche eines Wasserbassins wohl kaum endgiltige, beweisende Zahlen liefern. Den Beweis dafür finde ich in den Arbeiten Schuberts ¹⁾, welcher den jährlichen Wärmeaustausch im Erdboden und in Gewässern bestimmte. Die von ihm gefundenen Zahlen bieten uns nicht die Möglichkeit, an die Lösung der uns interessierenden Frage heranzutreten.

Schubert bestimmte, von den theoretischen Erörterungen Bezolds ausgehend, die physikalischen Konstanten des Erd-

¹⁾ Schubert, J. a) Der jährliche Gang der Luft- und Bodentemperatur im Freien und der Wärmeaustausch im Erdboden. Berlin. 1900; b) Der Wärmeaustausch im festen Erdboden, in Gewässern und in der Atmosphäre. Berlin. 1904.

bodens und berechnete auf Grund der betreffenden Temperaturangaben die Wärmemengen, welche in jedem gegebenen Momente in einer Erdbodenschicht von bestimmter Dicke enthalten sind. Die gleichen Berechnungen führt er auch für Gewässer aus.

Er berechnet diese Mengen für den Anfang jedes Monats, bestimmt sodann die Differenzen zwischen diesen Grössen und dem Jahresmittel und erhält so in Grammkalorien den jährlichen Wärmeaustausch. Der Betrag des jährlichen Wärmeaustausches hängt von der Dicke der Schicht, welche in Betracht gezogen wurde, ab. Dieses tritt bei seinen Berechnungen des Wärmeaustauschs in Gewässern besonders deutlich hervor. So z. B. beträgt der jährliche Wärmeaustausch für den Bodensee wenn man die Beobachtungen bis zu 15 Metern Tiefe in Betracht zieht, 18000 Grammkalorien pro Quadratcentimeter Oberfläche, bei Zugrundelegung von Beobachtungen bis zu 30 Metern Tiefe dagegen 25000 Grammkalorien:

Für den Genfer See bei 30 Metern Tiefe 29000 Grammkalorien.

» » » » » 60 » » 37000 »

Bei der Besprechung der Temperaturverhältnisse des Erdbodens wurde bereits erwähnt, dass im Erdboden Schichten, welche eine höhere Temperatur besitzen, mit Schichten, welche eine niedrigere Temperatur besitzen, abwechseln. Schubert giebt Mittel aus langjährigen Beobachtungen und tritt in seinen Angaben diese Thatsache sehr deutlich hervor. Es lässt sich dieses nicht durch das Gesetz der Ausbreitung der Wärme erklären; der Grund kann nicht in einem Wechsel von Wärme- und Kältewellen, welcher in der Tagesperiode gesetzmässig hervortritt, liegen. Dieses Abwechseln beweist entweder, dass die Beobachtungsergebnisse ungenau sind, oder aber, dass es nicht nur vertikale, sondern auch horizontale Wärmewellen giebt¹⁾.

¹⁾ Das Fehlen einer Gleichförmigkeit im Gange der Bodentemperaturen wird

Die Sonnenenergie, welche einem aller Vegetation baaren Theile des Erdbodens zugeführt wird, wird in sehr verschiedenartiger Weise verbraucht: ein Theil derselben wird von der Erdoberfläche reflektiert, ein zweiter dient zur Erwärmung des Erdbodens, ein dritter wird zu chemischen Reaktionen verbraucht, ein vierter leistet durch Wasserverdunstung mechanische Arbeit, ein fünfter wird vom Erdboden ausgestrahlt.

Die einem mit Vegetation bedeckten Theile des Erdbodens zugeführte Sonnenenergie dagegen erfährt eine ungleich compliciertere Umwandlung. Ein gewisser Antheil von ihr wird durch die vegetativen Prozesse, welche in den Pflanzen vor sich gehen, absorbiert. Es ist ausserordentlich schwer, den Antheil der Sonnenenergie, welcher zu der einen oder der anderen Arbeitsleistung verwandt wird, zu bestimmen und kann ich mir zur Zeit kein System von experimentellen Methoden, welches zum Ziele führen dürfte, vorstellen.

Wie aus dem Obengesagten hervorgeht, ist es für uns wichtig zu wissen, wieviel Sonnenenergie die Erde thatsäch-

durch folgende kleine Tabelle, welche nach Daten von Schubert zusammengestellt ist, bewiesen. Durch fetten Druck sind diejenigen Temperaturangaben hervorgehoben, welche offenbar von der Norm abweichen.

Namen der Stationen.	Lufttemperatur in Celsiusgraden.	Tiefen in Metern.					
		0,01	0,15	0,30	0,60	0,90	1,20
Kurwien 1876—1890 .	8,2	9,1	7,7	7,3	7,7	7,8	7,8
Melkerei 1876—1890 .	7,3	8,4	7,0	7,0	7,3	7,1	7,1
Hagenau 1876—1890 .	11,0	10,6	9,6	9,5	10,1	10,2	10,3

lich im Laufe des Jahres unter verschiedenen Breiten empfängt und wieviel sie davon an den Weltenraum abgibt. Die Differenz dieser beiden Beträge, d. h. die Jahresbilanz ist dann eben diejenige Menge an Sonnenenergie, welche unter dem gegebenen Breitengrade auf sämtliche physikalische Prozesse verwandt wird. Dieses halte ich für die erste Aufgabe; die zweite würde in der Untersuchung der Vertheilung des positiven oder negativen Betrages der obenerwähnten Differenz bestehen.

Eine mehr oder weniger befriedigende Lösung der ersten Frage auf experimentellem Wege kann, wenn auch in sehr roher Weise, mit Hilfe eines allgemein zugänglichen Apparates erzielt werden, dessen Konstruktion auf folgendem Principe beruht.

Stellen wir uns einen Körper vor, dessen Gewicht, Volumen und physikalische Konstanten uns bekannt sind. Legen wir ihn auf die Erdoberfläche und setzen wir seine horizontale Oberfläche, deren Flächeninhalt uns bekannt ist, tags der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen in ihrer natürlichen Richtung und nachts der direkten Ausstrahlung aus. Dabei wollen wir uns bemühen diesen Körper so zu placieren, dass nur an seiner oberen Seite eine Energiezufuhr von aussen, resp. eine Energieabgabe stattfinden, dagegen an den Seitenwänden und an der Bodenfläche weder eine Energiezufuhr, noch eine Energieabgabe erfolgen kann.

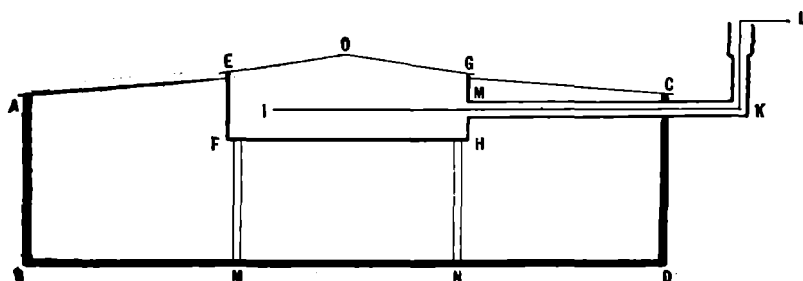
Wenn wir die Temperatur des Körpers kennen, so werden wir auch wissen, wieviel Wärmeenergie in ihm enthalten ist, und kennen wir seine Temperatur für bestimmte Zeitintervalle, so können wir die denselben entsprechenden Wärmeenergie-Zunahmen und Abnahmen bestimmen.

Es ist unmöglich, diese Idee konstruktiv in idealer Vollkommenheit zu verwirklichen, doch ist eine technische Ausführung derselben, welche es gestattet, genügend zuverlässige Resultate zu erhalten, wohl möglich.

In Fig. 12 ist die Konstruktion dieses Apparates schematisch angedeutet.

ABCD stellt einen festen und dichten zylindrischen Holzkasten dar, welchen man gut firnist, um ihn nach Möglichkeit wasserdicht zu machen. Sein Durchmesser beträgt 60—80, seine Höhe 25—30 Centimeter. In diesen Kasten wird ein zylindrisches Ebonitgefäß EFGH, dessen Durchmesser 15—20 und dessen Höhe 5—8 Centimeter beträgt, eingesetzt. Das Ebonitgefäß ist mit einer dünnen Röhre MK, welche gleichfalls aus Ebonit besteht, und mit einem Kupferdeckel EOG, der

Fig. 12.



die Form eines sehr stumpfen Kegels besitzt, versehen. Der Deckel muss das Gefäß EFGH vollkommen hermetisch schliessen. Der Deckel EOG überragt mit seinen Rändern ein wenig den gleichfalls konischen Deckel AC, welcher den Kasten ABCD bedeckt (letzterer Deckel muss folglich in der Mitte mit einer Oeffnung, welche dem Durchmesser des Ebonitgefäßes EFGH entspricht, versehen sein).

Das Ebonitgefäß wird mit irgend einer Flüssigkeit gefüllt, welche jedoch weder verdunsten, noch innerhalb der Temperaturgrenzen -70 bis $+70^{\circ}$ gefrieren darf und deren

physikalische Eigenschaften sich überhaupt möglichst wenig ändern ¹⁾).

Der Kasten ABCD wird mit einem schlechten Wärmeleiter gefüllt. Stellen wir einen solchen Kasten auf den Erdboden, so dürfen wir bis zu einem gewissen Grade von Genauigkeit annehmen, dass die Temperatur der Flüssigkeit im Ebonitgefäße eine direkte Funktion der durch die auf den geschwärzten Kupferdeckel fallenden Sonnenstrahlen bewirkten Erwärmung ist; nachts entspricht die Temperatur der Flüssigkeit der Stärke der Ausstrahlung derselben Oberfläche.

Placieren wir im Gefäße EFGH in entsprechender Weise den Empfangsapparat eines Richard'schen Thermographen oder eines elektrischen Thermometers von beliebiger Konstruktion, und verbinden wir ihn vermittelst der Röhre MK ²⁾ mit einem Registrierapparat, so erhalten wir eine graphische Darstellung der Temperaturänderungen, welche in der Flüssigkeit im Verlaufe einer gewissen Periode, z. B. in 24 Stunden, erfolgen. Kennen wir das Gewicht und das Volumen der Flüssigkeit, sowie ihre physikalischen Konstanten, so können wir diejenige Wärmemenge, welche die Flüssigkeit in 24 Stunden aufgenommen, sowie auch diejenige Wärmemenge, welche sie im selben Zeitraum verloren hat, leicht graphisch berechnen. Wir erhalten auf diese Weise annähernd die tägliche Wärmebilanz für einen gegebenen Punkt der Erdoberfläche.

Setzen wir die Beobachtungen ein ganzes Jahr hindurch fort, so können wir die Jahresbilanz berechnen.

¹⁾ Einige Chemiker empfahlen mir zu diesem Zwecke ein schweres Mineralöl von entsprechender Mischung. Die Amplituden bestimme ich auf Grund der in der Litteratur vorhandenen Daten und eigener Beobachtungen und habe ich dabei eine Verwendung des Apparates sowohl unter niedrigen, als auch unter hohen Breiten im Auge.

²⁾ Die Röhre MK soll den Druck der Flüssigkeit im Gefäße regulieren und bei der Ausdehnung derselben, den Ueberschuss aufnehmen, bei der Kontraktion aber ihn wieder zurückgeben.

Ich habe mit einem in primitiver Weise nach demselben Prinzip konstruirten Apparate Versuche angestellt. Dank der Liebenswürdigkeit von J. W. Schukewitsch wurde dieser Apparat auf dem Hofe des physikalischen Nikolai-Censralobservatoriums aufgestellt und die Angaben des Quecksilberthermometers des Apparates von einem der Angestellten des Observatoriums notiert. Die Beobachtungen wurden wohl nur sehr kurze Zeit und dabei nicht in bestimmten Zeitintervallen gemacht; doch schon diese wenigen Daten beweisen, dass wir bei einer entsprechenden Konstruktion des Apparates und einer automatischen Registrierung der Temperaturangaben wohl berechtigt sind anzunehmen, dass der Apparat den an ihn gestellten Erwartungen entsprechen und uns die Wärmebilanz der Erdoberfläche angeben dürfte.

Ich führe hier die Notierungen für den 26. Februar 1904 neuen Styls an:

	Temperatur in C°	
	des Petroleums im Gefässe.	der Luft.
6 h 48' a. m.	— 19,5	— 16,9
7 » 30' » »	— 20,1	— 17,3
8 » — » »	— 20,0	— 16,8
9 » — » »	— 18,6	— 16,4
10 » — » »	— 16,4	— 15,0
12 » 3' p. m.	— 12,2	— 12,5
1 » 4' » »	— 10,5	— 11,3
2 » 15' » »	— 9,2	— 10,5
3 » 15' » »	— 9,4	— 10,6
4 » 25' » »	— 10,5	— 10,9
5 » 8' » »	— 11,7	— 11,3
6 » 40' » »	— 13,2	— 11,7
8 » — » »	— 14,1	— 12,6
9 » 6' » »	— 14,7	— 13,1
10 » 30' » »	— 16,0	— 14,3

Unter Benutzung der Daten dieser Tabelle und unter der Annahme, dass die Konstante unseres Apparates pro Quadratcentimeter der reagierenden Oberfläche und pro 1° C. Q Grammkalorien beträgt, können wir annähernd die Wärmebilanz für den Zeitraum von 6 Uhr 48 Minuten morgens bis 10 Uhr 30 Minuten abends berechnen. Während des Zeitraums von 6 Uhr 48 Minuten morgens bis 7 Uhr 30 Minuten morgens wurden an Wärme $Q (20,1 - 19,5) = Q \cdot 0,6$ Grammkalorien abgegeben.

Von 7 Uhr 30 Min. bis 2 Uhr 15 Min. erhielt der Apparat die Wärmemenge $Q (20,1 - 9,2) = Q \cdot 10,9$ Grammkalorien; von 2 Uhr 15 Min. bis 10 Uhr 30 Min. dagegen verlor er die Wärmemenge $Q (16,0 - 9,2) = Q \cdot 6,8$ Grammkalorien.

Die Bilanz beträgt demnach $10,9 Q - (6,8 Q + 0,6 Q) = 3,5 Q$ Grammkalorien.

Einige Meteorologen, welche ich mit der Idee des oben beschriebenen Apparates bekannt machte, wiesen u. a. darauf hin, dass Thau, Regen, Reif und Schnee die Angaben des Apparates sehr beeinflussen werden, so dass man keine richtige Vorstellung von der Wärmebilanz erhalten könne.

In der That sind Regen, Thau, Reif und Schnee Faktoren, welche die Reaktion quantitativ beeinflussen und halte ich es nicht für nötig, den Apparat vor dem Einflusse von Regen, Thau und Reif zu schützen. Dem Schnee wird man allerdings nothwendiger Weise von dem Apparat wegschaffen müssen, doch wäre es vielleicht nützlich, den ganzen Winter über einen zweiten Apparat von derselben Konstruktion unter einer intakten Schneedecke stehen zu lassen.

Aus der oben gelieferten Beschreibung folgt, dass der Apparat aus zwei Theilen, einem aktiven, dem Ebonitgefäße, und einem indifferenten Theile, dem Holzkasten besteht.

Je zweckentsprechender man das Verhältniß der beiden Theile zu einander wählt, desto vollkommener wird der Apparat und desto werthvoller werden seine Angaben sein.

Seinem Wesen nach ist dieser Apparat kein absolutes Instrument, sondern vielmehr ein variirbarer Apparat und erfordert daher eine allseitige Untersuchung.

An ihm muss eine ebenso allseitige Kritik geübt werden, wie sie an den von der Briticsh Association zur Bestimmung der Radiation der Sonne vorgeschlagenen Apparaten geübt wurde, doch halte ich es für nothwendig, darauf aufmerksam zu machen, dass der vorgeschlagene rohe Apparat uns eine reale Vorstellung von der Grösse der Ausstrahlung zu geben imstande ist, mithin eine absolute Lücke in unseren Kenntnissen ausfüllen kann. Wenn wir auch mit Chwolson sagen müssen, dass das Studium der Abkühlung durch Strahlung mit grossen Schwierigkeiten verknüpft ist, dürfen wir doch nicht vor diesen Schwierigkeiten zurückschrecken. Ich möchte noch Folgendes bemerken. Wenn ich den Apparat vorschlage, müsste ich diesen Vorschlag durch die Resultate eigener Beobachtungen stützen. Leider war es mir bis jetzt infolge äusserer, von mir unabhängiger Gründe trotz meines Wunsches nicht möglich, einen den Anforderungen vollkommen entsprechenden Apparat anfertigen zu lassen, um mit ihm Beobachtungen zu machen.

Schon anfangs habe ich bemerkt, dass wir die Wärmebilanz der Erde in verschiedenen Breiten kennen müssen. Mit complicierten aktinometrischen -Beobachtungen, welche selbstverständlich unseren Bedürfnissen entsprechend umgestaltet werden müssten, können wir dieses Ziel nicht erreichen, denn dazu müssten wir complicierte und theure Stationen errichten. Der von mir vorgeschlagene Apparat dagegen kann dank seiner Einfachheit (mit einem Richard'schen Thermographen) jeder meteorologischen Station, den Händen jedes zuverlässigen Be-

obachters anvertraut werden. Die Kosten dürften nicht mehr als 500 MK. pro Apparat betragen.

Der zweite Theil unserer Aufgabe, d. h. die Bestimmung der Bedeutung der «Jahresbilanz der Sonnenenergie», ihre Eintheilung nach der Art der von der Sonnenenergie bewirkten Reaktionen, erscheint uns zur Zeit als so kompliziert, dass wir uns einstweilen jeglicher Vorschläge enthalten müssen. Wir können höchstens bemerken, dass das Studium der Verdunstung uns einen nicht geringen Dienst leisten könnte. Ebenso wichtig ist das Studium der physikalischen Konstanten von genau bestimmten petrographischen Typen.

Ausser den Beobachtungen der Wärmebilanz der Erdoberfläche sind jedoch, wie aus den oben erwähnten Thatsachen und den aus ihnen gefolgerten Schlüssen hervorgeht, noch Untersuchungen anderer Art erforderlich.

In erster Linie gehört hierher eine Reihe von Untersuchungen, welche mit den Mitteln, über welche die meteorologischen Centralanstalten verfügen, sehr gut ausgeführt werden könnten. Diese Untersuchungen würden in der Beobachtung der Temperaturschwankungen in grösseren Tiefen, als es jetzt üblich ist, bestehen. Bekanntlich werden nur in Paris Beobachtungen der Bodentemperatur bis zu einer Tiefe von 36 Metern angestellt; eine in dieser Tiefe befindliche Erdschicht kann aber nicht als thermisch absolut indifferent betrachtet werden. Ausserdem wäre noch zu bemerken, dass Paris unter einem Breitengrade gelegen ist, welcher mehr oder weniger in das Gebiet des thermischen Gleichgewichtes fällt.

Es wäre für uns von grosser Bedeutung zu erfahren, ob in denjenigen Erdschichten, welche sich unter der sogenannten neutralen Schicht befinden, jährliche Temperaturschwankungen stattfinden oder nicht und daher wäre es von Wichtigkeit in verschiedenen Breiten ununterbrochene Beobachtungen der Temperatur in etwas tieferen Erdschichten anzustellen.

In unserer Zeit, wo die Konstruktion von elektrischen Thermometern und von Registrierapparaten eine hohe Stufe der Vollkommenheit erreicht hat und anderseits, infolge der Entwicklung der Bohrtechnik, der Preis für die Anlage von Bohrlöchern ein sehr mässiger geworden ist, kann die Ausführung derartiger Beobachtungen die Mittel, über welche die meteorologischen Centralanstalten, sowie die astronomischen Observatorien verfügen, nicht überschreiten. Meines Erachtens wäre es von grossem Interesse, die Bodentemperatur in der Tiefe von 10, 25, 50 und 100 Metern zu beobachten.

Unter Zugrundelegung der allgemeinen Bodenverhältnisse, wie z. B. für das Observatorium zu Pawlowsk, dürfen wir annehmen, dass die Anlage entsprechender Bohrlöcher auf nicht mehr als 500—600 Rubel zu stehen kommen würde. Die physikalische Ausrüstung würde wahrscheinlich mit etwas grösseren Kosten verknüpft sein.

Zum Studium der Temperaturverhältnisse des Erdinnern müssen alle Gelegenheiten, wo eine Messung der Temperatur der tiefen Erdschichten möglich ist, benutzt werden. Weder tiefe Bergwerken, noch Bohrlöcher dürfen unbeachtet gelassen werden.

Die äusserst geringe Anzahl der vorhandenen geothermischen Daten ist ein Beweis dafür, wie wenig Beachtung Untersuchungen dieser Art bisher gefunden haben und wie wenig Bedeutung ihnen beigelegt wurde.

Im Bergbau werden diese Beobachtungen total vernachlässigt, zu ihnen nimmt man nur in solchen Fällen seine Zuflucht, in denen extreme Temperatursteigerungen den regelmässigen Gang der Arbeit stören. Indessen wäre doch die Kenntniss der Temperaturverhältnisse eines Bergwerkes schon für die Regulierung der Ventilation im Bergwerke von Bedeutung und dürfte man daher selbstverständlich wenigstens die Beobachtung der Luft-

temperatur in den Bergwerken nicht vernachlässigen. Von ungleich grösserer Bedeutung wären natürlich Beobachtungen der Temperatur der Gesteine, besonders bei neuen Minengrabungen. Es ist anzunehmen, dass, wenn die geologischen Institutionen aller Länder die Aufmerksamkeit ihrer Mitglieder und Mitarbeiter, sowie die der Bergbauingenieure und Bergwerksbesitzer auf diese Seite der Frage lenken würden, das Datenmaterial der Geothermik schnell anwachsen würde.

Ich erlaube mir zu hoffen, dass die Erforschung der Wärmeverhältnisse der Erdrinde in nächster Zukunft eine Frage bilden wird, welche die durch Nationalhass entzweite Erdbevölkerung segensreich zu vereinen beitragen dürfte. Ich hoffe, dass auf einem der nächsten geologischen Kongresse die Frage hinsichtlich der Nothwendigkeit aufgeworfen werden wird, die Wärmeverhältnisse des Erdinnern mit Hilfe von unmittelbaren Beobachtungen, welche auf Kosten der einzelnen, durch eine internationale Organisation vereinten Völker ausgeführt werden, zu studieren.

Der Glaube die Möglichkeit der Verwirklichung eines solchen Vorschlages findet seine Berechtigung auch darin, dass mein Vorschlag nicht neu ist. Schon Laplace und Thomson erkannten die Bedeutung der Arbeiten in dieser Richtung. Ein, auf den ersten Blick, phantastisch erscheinender Vorschlag eines französischen Gelehrten ist in Erinnerung geblieben, nach welchem mit den vereinten Kräften aller Völker, mit Hilfe ihrer zu Friedenszeiten unter dem gemeinsamen Banner der Wissenschaft geeinten Streitkräfte in der kaspischen Niederung ein tiefes Bohrloch angelegt werden sollte.

Zurzeit ist die Frage der Erforschung der Temperatur des Erdinnern bereits soweit gediehen, dass es zu ihrer Weiterentwicklung nur eines letzten Anstosses bedarf. Einen solchen Anstoss erwarten wir vom nächsten internationalen geologischen Kongresse.

Es wäre vielleicht erwünscht, wenn die geologischen Institutionen der verschiedenen Länder, die physikalischen Observatorien und die gelehrten Gesellschaften sich der Mühe unterziehen würden für die Länder, denen sie angehören, das entsprechende Datenmaterial zu ordnen.

Zu einer solchen, und zwar genügend vollständigen Gruppierung reicht, wie ich mich persönlich überzeugt habe, die Arbeitskraft eines einzelnen Menschen nicht aus. Deshalb wende ich mich an meine wissenschaftlichen Fachgenossen mit dem Vorschlage, diese Frage zuerst in kleinen Kreisen zu besprechen und auf dem Kongresse schon mit dem gesammelten Datenmaterial und mit bestimmten Vorschlägen zu erscheinen.

Meiner Ansicht nach wäre dem Kongresse vorzustellen:

- 1) Ein Verzeichniss der Beobachtungen der Temperatur der Erdbodenschicht.
- 2) Ein Verzeichniss der Beobachtungen der Temperatur in Bergwerken, Tunneln und Bohrlöchern.
- 3) Ein Verzeichnis der Beobachtungen der Temperatur der Gewässer.
- 4) Vorschläge, an welchen Punkten der Erdoberfläche mit Hilfe einer internationalen Organisation tiefe Bohrlöcher—ausschliesslich zum Studium der Temperaturverhältnisse im Erdinnern — angelegt werden müssten.

Meine Arbeit wurde in ihren Hauptzügen der Mineralogischen Gesellschaft zu Petersburg im April 1904 vorgelegt, einige Abschnitte derselben in der Septembersitzung desselben Jahres. Erst hiernach erfuhr ich vom Erscheinen der Arbeit von Franz Treubert: «Die Sonne als Ursache der hohen Temperatur in den Tiefen der Erde, der Aufrichtung der Gebirge und der vulkanischen Erscheinungen». Zu derselben Zeit, bevor

ich mich noch mit der eben erwähnten Arbeit bekannt gemacht, veröffentlichte ich im Centralblatt für Miner. Geolog. und Paläont. (1904, № 23) eine kurze Notiz. Eine Durchsicht der Arbeit von Treubert, welcher das gleiche Ziel verfolgt, lehrt, dass seine Methode sich von der meinigen wesentlich unterscheidet.

Напечатано по распоряженію Императорскаго С.-Петербургскаго
Минералогическаго Общества.

Типо-Литографія К. Биркенфельда (В. О., 8-я лин., № 1).