

www.e-rara.ch

Vorträge über Geologie

Henrich, Ferdinand

Wiesbaden, 1878

ETH-Bibliothek Zürich

Shelf Mark: Rar 30234

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-73965>

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

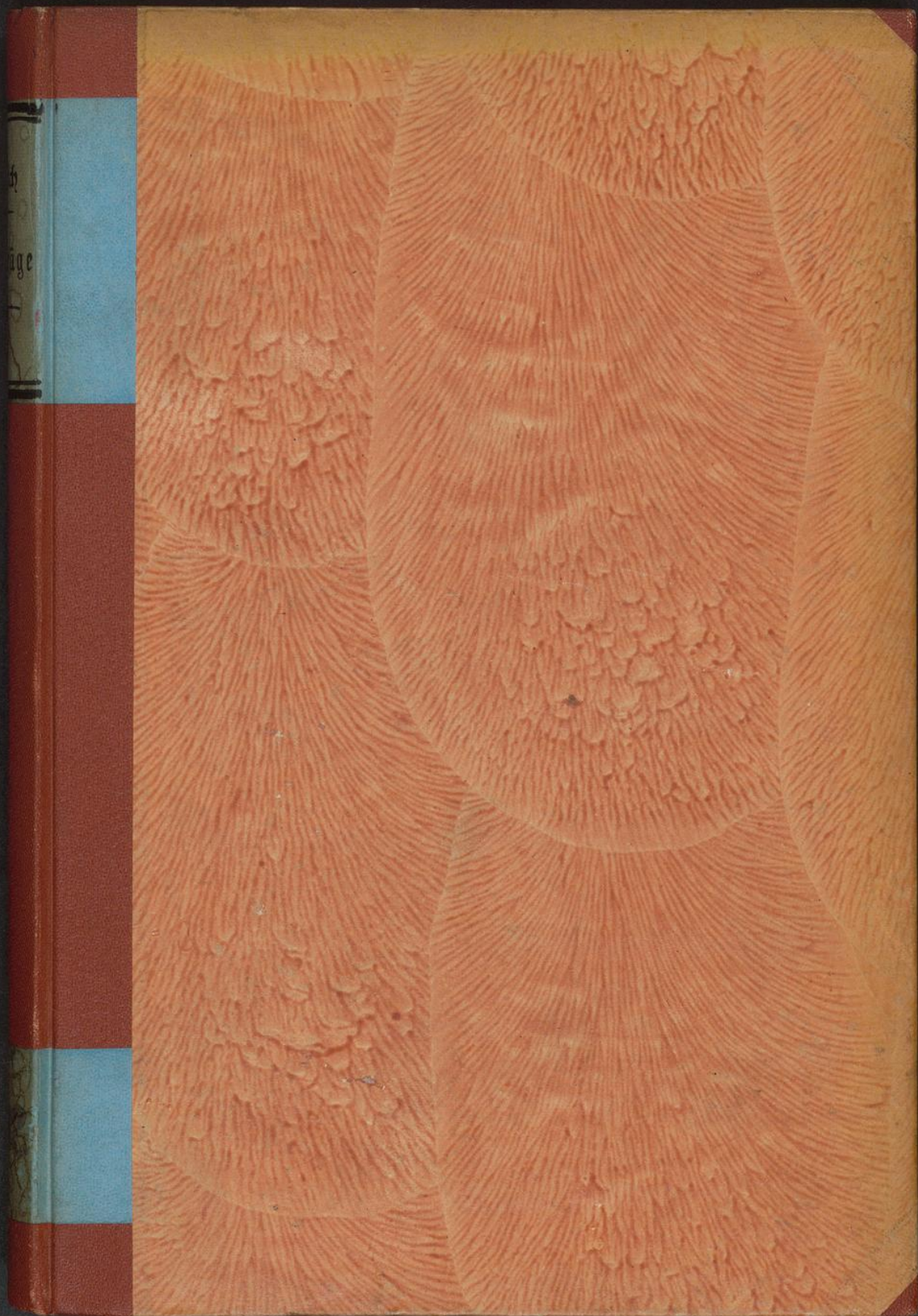
e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelinformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

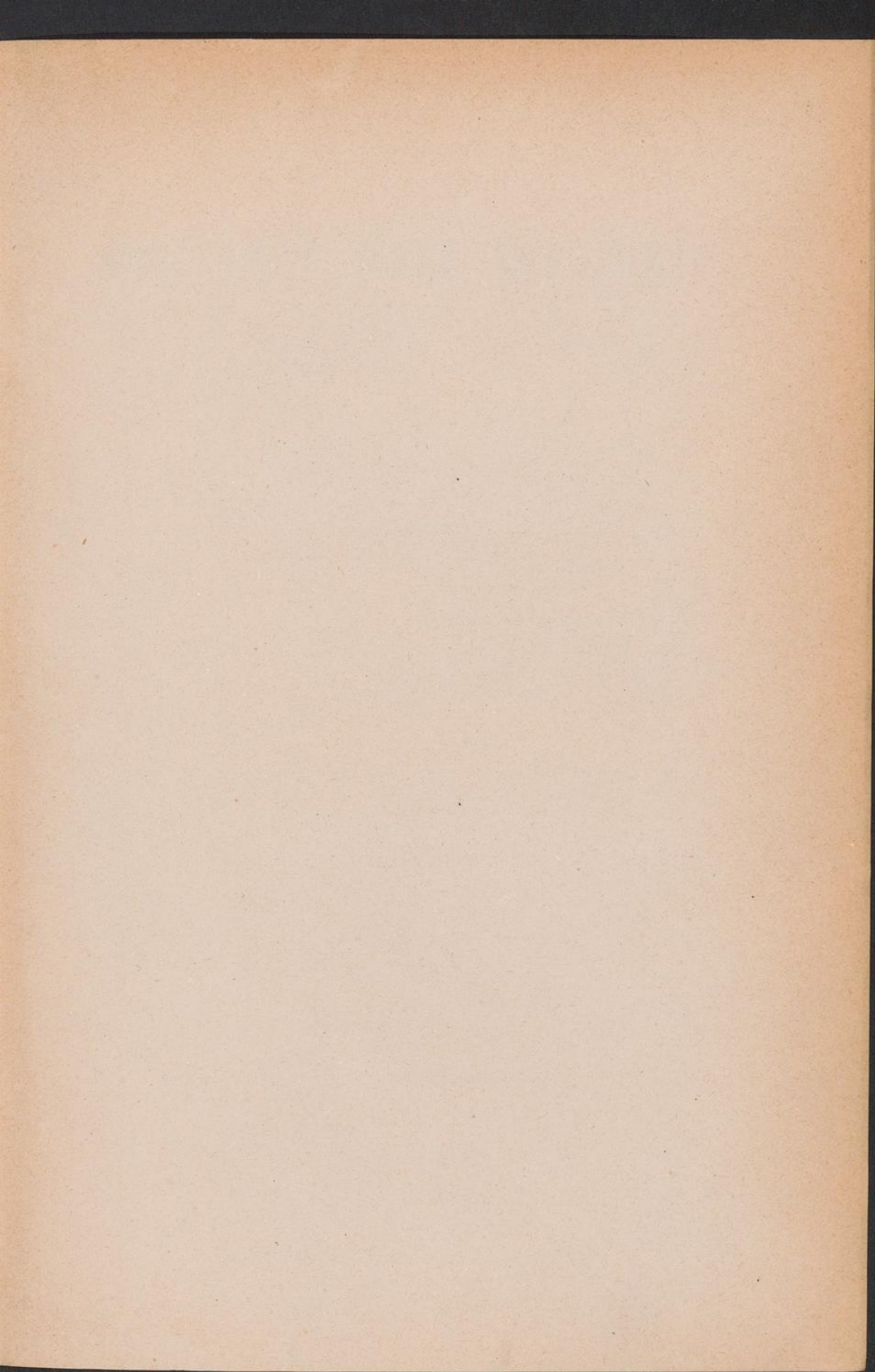


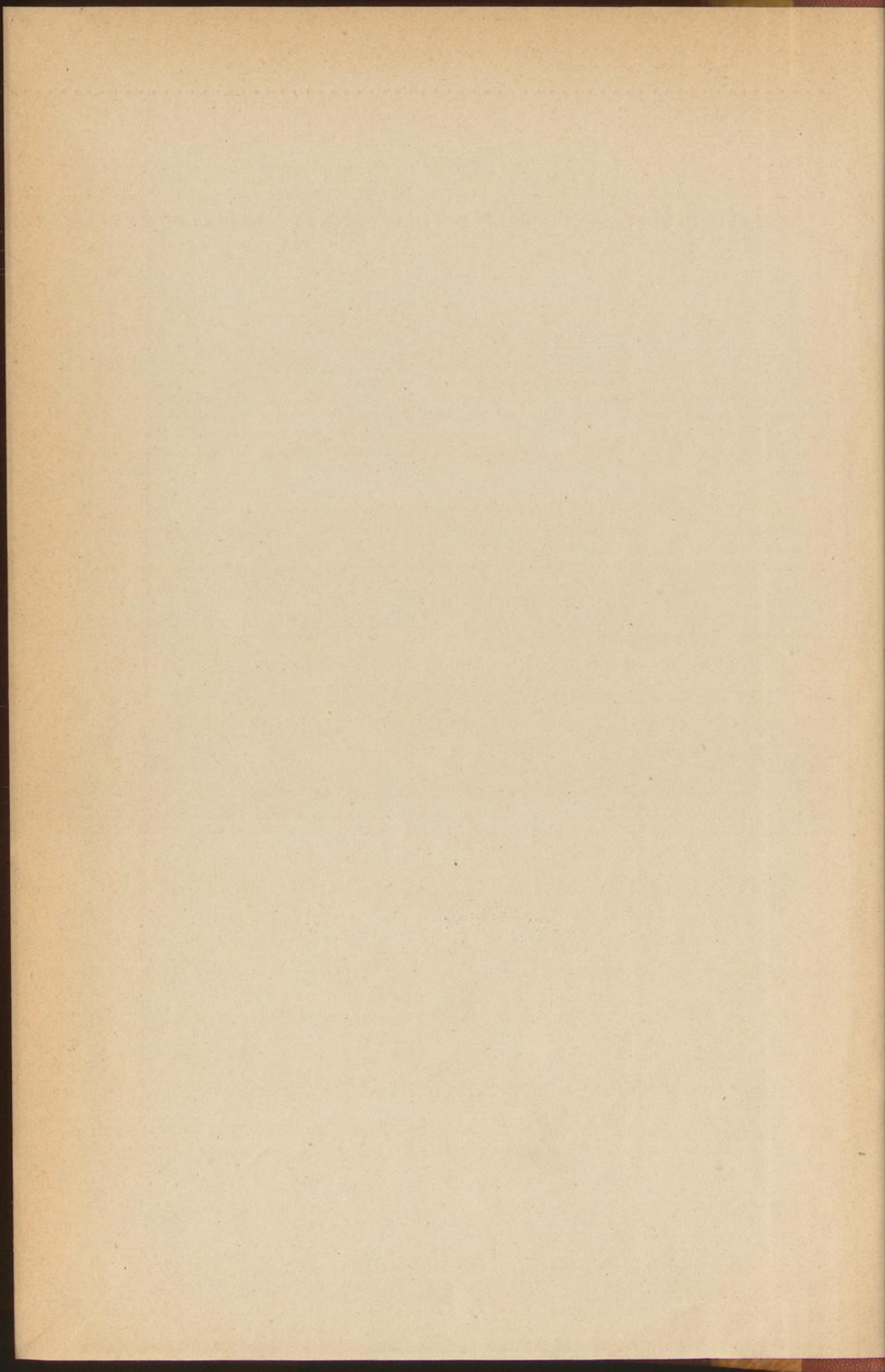
8. 7212

Rolr 30234

3

Legat
von Herrn Professor
Oswald Heer.





Vorträge über Geologie

von

F. Henrich,

Oberlehrer am Real-Gymnasium in Wiesbaden.

Mit 25 Holzschnitten.



Wiesbaden 1878.

Verlag von M. Birkhoff.

Vorträge über Oologie

1892

Dr. Schmidt

Dr. Schmidt

Dr. Schmidt

Dr. Schmidt

Vorrede.

Diese Vorträge sollen den Leser in ansprechender Weise in die wichtigsten Gebiete der Geologie einführen.

Sie behandeln zunächst diejenigen Gegenstände, die ein allgemeineres Interesse haben; durch Besprechung der noch streitigen Punkte dürften aber diese Abhandlungen, für welche die Form von Vorträgen gewählt worden ist, weil eine solche Form eine freiere Wahl der zu behandelnden Gegenstände gestattet, auch für den Eingeweihten nicht ohne Interesse sein.

Möge das Buch in erster Linie Allen Denen empfohlen sein, die sich auf kurze und angenehme Art mit der geologischen Wissenschaft vertraut machen wollen.

Wiesbaden im Januar 1878.

Der Verfasser.

Vorrede

Diese Vorrede soll den Leser in ansehnlicher Weise in die wichtigsten Theile der Geologie einführen.
Sie besteht aus zweien Theilen: der ersten, die ein allgemeines Interesse haben; durch Beschreibung der nach historischen Zeiten geordneten, aber die Wissenschaften für welche die Form von Vorfällen gewahrt worden ist, weil eine solche Form eine feste Basis der geologischen Wissenschaften bildet, und für den Leser ein Anknüpfungspunkt ohne Interesse sein.
Wäre das Buch in erster Linie einen Zweck empfinden, die sich auf diese und andere Weise mit der geologischen Wissenschaft befaßt machen wollen.

Wien, den 1. März 1871.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erster Vortrag. Einleitung.	1—15
Gegensatz zwischen Neptunisten u. Plutonisten. — Werners Auftreten. — Erklärung der Schicht. — Streichen u. Fallen. — Sind die Schichten aus Wasser abgelagert? — Werth der Versteinerungen. — Ueber- sicht der Formationen. — Bildung der Erde nach Werner. — Wider- legung der Werner'schen Hypothese.	
Zweiter Vortrag. Wärmeverhältnisse des Erdinnern.	16—48
Wie weit dringt die Sonnenwärme in die Tiefe? — Temperatur- beobachtungen in Bergwerken u. artesischen Brunnen. — Versuche die Temperaturzunahme zu erklären: Davy's Hypothese. — Volger's u. Mohr's Hypothese (Zusammenbrückung u. Senkung). — Widerlegung dieser Hypothesen. — Die Hypothese von einem heißflüssigen Erd- innern. — Erfolgte die Erstarrung von Außen nach Innen oder um- gekehrt. — Um wie viel wurde das Volumen der Erde durch Abküh- lung vermindert. — Spaltenbildung, Thal- u. Bergbildung sind Fol- gen der Abkühlung. — Woher rührt die Abplattung. — Mohr's Er- klärung der Abplattung. Widerlegung derselben. — Gründe für eine ursprünglich heißflüssige Erde. — Die Erde u. alle Planeten sind von der Sonne abgeschleudert. — Widerlegung der Einwände, die man gegen eine heißflüssige Erde vorgebracht hat. Die Temperaturen im Bohrloche zu Sperenberg. — Die Dunker'sche Tabelle ist unrichtig. Neue Tabelle. — Die Temperaturen in Seen u. Meeren u. deren Er- klärung.	
Dritter Vortrag. Ueber die vulkanischen Erscheinungen.	49—66
Was sind thätige u. erloschene Vulkane? — Zahl der Vulkane u. Art u. Weise ihres Vorkommens. — Reihenvulkane, Centralvulkane. — Höhe der Vulkane. — Terrassenbildung. — Besteigung eines Vulkans. Aus was bestehen die vom Vulkan ausgehenden Dämpfe. — Chemische Vorgänge im Innern u. an der Oberfläche des Vulkans. — Analyse einer Zünerole, Sublimationsprodukte. — Erklärung der Salmiakbil- dung u. anderer Mineralbildungen. — Bildung einer neuen Insel von Hoffmann beobachtet.	
Vierter Vortrag. Ueber vulkanische Erscheinungen.	67—94
Asche, Sand, Lapilli; Höhe, bis zu welcher sie geschleudert werden. — Aschenregen des G. Guntur. — Eruption des Tambora. — Der Schlammstrom in der Provinz Tasik malaju Ind'ang. — Erklärung des Aschenregens u. der Schlammströme. — Größe der Lavaströme. — Parafitische Regel. — Geschwindigkeit der Lava. — Hohlräume in der Lava u. deren Erklärung. — Eintheilung u. Charakteristik der Laven. — Analyse vulkanischer Produkte. — Die Aschen unter dem Mikroscope betrachtet. — Erhebungs- u. Aufschüttungstheorie. — Wo- her kommt der Wasserdampf in den Laven? — Kann Wasser tropfbar flüssig bis zu den größten Tiefen kommen? — Die Pfaff'sche Tabelle. — Tabelle nach Magnus, Arago u. Dulong. — Unzuverlässigkeit die- ser Tabellen. — Möglichkeit des Aufsteigens einer Lavasäule. — Mofetten u. deren Erklärung. — Zusammenhang zwischen heißen Quel- len u. Vulkanen u. zwischen Vulkanen untereinander.	

	Seite
Anhang. Höhe der Vulcane über dem Meere.	95—98
Zünftler Vortrag. Erdbeben.	99—128
Erdbeben sind Begleiter vulkanischer Erscheinungen. — Art u. Weise der Erschütterung. — Central- lineare- u. transversale Erdbeben. — Seismometer, Seismochronograph. — Berechnung der Tiefe des Erdbebensitzes. — Tabelle für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. — Wo findet die Maximalschütterung statt? — Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in verschiedenen Gesteinen. — Erdbeben ohne Geräusch. — Das Getöse. — Wie ist es möglich, daß man Detonationen ohne Erdbeben hört. — Wie weit pflanzen sich die Detonationen fort? — Veränderungen an der Erdoberfläche, durch Erdbeben erzeugt. — Spalten. — Hervorbrennen von Wasser u. Schlamm. — Trübung der Quellen. — Veränderungen an Bächen u. Flüssen. — Seebeben. — Große Wellen, häufige Begleiter der Erdbeben. — Ursache der Seebeben. — Ursache der großen Wellen. — Ursache der Erdbeben. — Verschiedene Ursachen können Erdbeben im Gefolge haben.	
Sechster Vortrag. Ueber Gletscher.	129—151
Je höher wir steigen, desto kälter wird es. — Ursache dieser Erscheinung. — Schneelinie. — Warum häuft sich der Schnee nicht mehr u. mehr an. — Firn, Gletschereis. — Luft im Firn. — Gewicht des Gletschereises. — Größe der Gletscher. — Tiefe der Gletscher. — Moränen. — Arbeit des Gletschers. — Farbe des Gletschermajers. — Das Wasser unter dem Gletscher ist höher als 0. — Spalten. — Ursache der Spaltenbildung u. Arten der Spalten. — Bäche auf der Oberfläche des Gletschers. — Runde Löcher. — Ursache derselben. — Gletschertische. — Abschmelzen des Gletschers. — Bewegung des Gletschers. — Analogie mit einem Strome. — Ursache der Bewegung. — Saussure's Erklärung. — Theorie von Rendu u. Forbes. — Erklärung nach der mechanischen Wärmetheorie. — Künstliche Nachahmung von Gletschereis.	
Anhang. Die Besteigung der Jungfrau nach Desor.	151—158
Siebenter Vortrag. Ueber die Eiszeit.	159—176
Die Bedingungen der Gletscherbildung. — Merkmale früherer Gletscher. — Spuren früherer Gletscher im Thal der Arve, im Haslithal u. Rhonethal. — Erratische Blöcke auf den Abhängen des Jura. — Wie sind diese Blöcke dahin gekommen? — Sind auch Gletscherspuren aus früherer Zeit auf der Südseite der Alpen? — Die ganze Schweiz war ehemals mit Eis bedeckt. — Dauer der Eiszeit. — Die Eiszeit in Norwegen, England, Amerika u. s. w. — War die Eiszeit in allen Ländern gleichzeitig? — Ist große Kälte die Ursache der Eiszeit? — J. Croll's Erklärung.	
Achter Vortrag. Das Wasser in Form von Quellen.	177—205
Natürliche Springquellen. — Artesische Brunnen. — Erscheinungen in artesischen Brunnen. — Quellen in der Wüste bei Suez. — Erklärung der Quellen. — Quellen am Horeb. — Intermittirende Quellen. — Kalkhaltige Quellen. — Incrustationen. — Kiesel säurequellen. — Eruptionen an Geysern. — Erklärung derselben. — Analyse des Geysir-Wassers. — Kohlen säurequellen. — Mathematische Theorie derselben. — Wie viel Kohlen säure liefern manche Quellen.	
Neunter Vortrag. Das Wasser in Form von Bächen, Flüssen u. Seen.	206—233
Wirkung des Wasser, wenn es starken Fall hat. — Gefälle des Rheins. — Gerölle an den Abhängen des Rheins. — Die mechanischen Veränderungen im Rheinthal, seit den ältesten Zeiten. — Woher stammen die Gerölle im Mosbacher Sande? — Ursprung des Löß. — Wodurch entstehen Thäler? — Können Thäler durch Gletscher ausgehöhlt werden? — Schwebende u. gelöste Theile in Flüssen. — Analysen. — Delta. — Entstehung von Seen. — Die Alpenseen. —	

Das Kaspiſche Meer. — Das Todte Meer. — Entſtehung des Todten Meers. — Natronſeen.

Zehnter Vortrag. Das Meer. 234—260

Analyſe des Meerwaſſers. — Bildung des Steiſalzes. — Das Meer war früher reicher an Salzen. — Elemente, die im Meerwaſſer gefunden worden ſind. — Gehalt des Meerwaſſers an Gaſen. — Bei welcher Tiefe können lebende Weſen noch exiſtiren. — Das Meerleuchten. — Ueber den Bathybius. — Die Grundproben der Challenger Expedition. — Die Meeresſtrömungen. — Wie weiſt man die Meeresſtrömungen nach. — Erklärung der Meeresſtrömungen. — Welche Rolle ſpielen die Meeresſtrömungen in der Geologie.

Elfter Vortrag. Der Torf. 261—274

Wirkungsweiſe u. Veränderungen der Pflanzen im Haushalte der Natur. — Entſtehung des Torfs. — Das Anſchwellen des Torfs. — Ausbrüche an Mooren. — Umwandlung der Pflanze durch Feuchtigkeit u. Luft. — Gute u. ſchlechte Torfbildner. — Beſtandtheile des Torfs. — Analyſe des Torfs. — Analyſe von Torfaſchen. — Einſchlüſſe im Torf. — Mineraliſche Einſchlüſſe. — Erklärung der Einſchlüſſe. — Verbreitung des Torfs.

Zwölfter Vortrag. Die Steinkohlen, (Chemisch-Techniſches). 275—290

Beſtandtheile der Steinkohle. — Durch Liegen verlieren die Steinkohlen an Werth. — Welche Rolle ſpielt der Sauerſtoff in den Kohlen? — Warum befeuchtet man Kohlen? — Aſche der Steinkohlen. — Wie beurtheilt man die Steinkohle in Bezug auf ihren Brennwerth? — Warum beſtimmt man den Heizwerth der Steinkohlen nicht aus ihrem Gehalt an Kohlenſtoff, Waſſerſtoff zc. — Disponibler u. nicht disponibler Waſſerſtoff. — Welche Kohlen geben das beſte Gas? — u. welche die beſten Koks? — Schlagende Wetter.

Dreizehnter Vortrag. Ueber Steinkohlen (Geologiſches). 291—312

Begrenzung der Steinkohlen nach oben u. unten. — Geſteine die in der Formation auftreten. — Länder, in denen die Steinkohle auftritt. — Mulden. — Mächtigkeit der Flöze. — Welche Pflanzen kommen in der Formation vor? — Kommen auch in anderen Formationen Kohlen vor? — Aus was iſt die Steinkohle entſtanden? — Können Seetange Steinkohlen bilden? — Unſere Steinkohle ſtammt nicht von Seetangen. — Kann man in der Subſtanz der Steinkohlen noch Landpflanzen nachweiſen? — Warum gibt Braunkohle ein ſaures, Steinkohle ein ammoniakaliſches Deſtillat? — Warum bildeten ſich nur in der Steinkohlenzeit ſo mächtige Flöze? — Dauer der Steinkohlenperiode.

Vierzehnter Vortrag. Ueber das Alter des Menſchengeschlechts. 313—331

Kurze Charakteriſtik der verſchiedenen Perioden. — In welcher Periode ſind Menſchenreſte zu erwarten? — Thiere, die mit menſchlichen Ueberreſten zuſammen gefunden werden. — Klima der Quarzzeit. — Wie entſtehen Höhlen? — Sagen zu welchen gewiſſe Thierknochen Veranlaſſung gaben. — Cuvier's Auftreten. — Die Entdeckungen der Herren Tournaſ u. Chriſtol in der Höhle von Vize. — Die Engiſhöhle. — Schmerling's Funde. — Dipont's Unterſuchungen. — Der Neanderthal Menſch. — Anſichten über denſelben von Schaaſhaufen, Huxley zc. — Entdeckung in der Kent's Höhle. — Höhle von Lherm im Departement Arriège. — Die Grotte von Cro-Magnon. — Funde in der Grotte Mabelaine.

Fünfte Vortrag. Fortſetzung. 332—346

Findet man die Reſte menſchlicher Werkzeuge nur in Höhlen oder im Freien? — Die Funde im Kieſe von Abbeville. — Boucher de Perthes Sammlung. — Zweifel gegen die Echtheit der von ihm gefundenen Gegenſtände. — Die geologiſche Beſchaffenheit des Somme-Thales. — Wie wurden die Werkzeuge angefertigt. — Beweis daß der

Mensch mit ausgestorbenen Thieren zusammengelebt hat. — Warum finden sich keine menschliche Knochen unter den Werkzeugen u. Thierknochen. — Auffindung eines menschlichen Unterkiefers bei Moulin Duignon. — Wie weit zurückreichen die menschlichen Ueberreste? — Die Funde im Ries von Hampshire in England. — Wie viel Jahre ist der Mensch schon auf der Erde. — Menschliche Reste aus der Tertiärzeit. — Läßt sich aus den aufgefundenen menschlichen Schädeln eine Aufeinanderfolge von Rassen erkennen?

Druckfehler.

Seite	26	Zeile	24	von oben	lies	Erstarrung statt Erklärung.
"	95	No.	18	"	"	Epomeo statt Epemea.
"	96	"	4	"	"	Morne Garou statt Morne Garon.
"	"	"	75	"	"	Pepandajan statt Pegandajan.
"	97	"	88	"	"	Temboro statt Tembero.
"	"	"	102	"	"	Merbabu statt Werbabu.
"	"	"	107	"	"	3244 statt 2244.
"	98	"	128	"	"	Tobreonu statt Tobreono.
"	"	"	151	"	"	Puracé statt Puraré.
"	167	Zeile	4	"	"	Martigny statt Martigan.
"	202	"	17	"	"	leicht statt nicht.
"	227	"	10	"	"	einstens statt meistens.

Erster Vortrag.

Einleitung.

Die meisten von Ihnen haben schon von Neptunismus und Plutonismus reden hören, zweien Gegensätzen, wie sie schärfer kaum gedacht werden können.

Neptunisten nannte man im Anfange dieses Jahrhunderts diejenigen, welche behaupteten, der feste Boden auf dem wir leben habe sich aus Wasser ehemals niedergeschlagen und welche alle, oder doch die meisten Thatfachen, die im Gebiete der Geologie beobachtet wurden, mit Hilfe des wässerigen Elementes zu erklären versuchten.

Die Plutonisten behaupteten dagegen, es sei unmöglich daß der feste Boden, den wir bewohnen, einstens aus Wasser sich niedergeschlagen habe; die Erde, darauf wiesen unlängbare Thatfachen hin, müsse einstens in einem geschmolzenen, in einem heißflüssigen Zustande sich befunden haben; ihre Wärme habe sie in den Weltraum, der ja sehr kalt sei, allmählig ausgestrahlt, und dadurch habe sie eine feste Kruste erhalten, die den noch heißflüssigen Erdkern umhüllte. Demgemäß suchten sie viele Thatfachen, deren Erklärung mit Hilfe des Wassers nicht recht gelingen wollte, dadurch in ein klares Licht zu setzen, daß sie das geschmolzene, das heißflüssige Element zu Hilfe nahmen.

Das waren die Gegensätze, um die es sich handelte. Die eine Partei beanspruchte als Bildungselement das Wasser, die andere das Feuer. Man muß gestehen, um schneidendere Gegensätze ward nie gestritten; selten ward aber auch ein Kampf mit solcher Erbitterung geführt wie der der Neptunisten und Plutonisten. Wie es aber gewöhnlich geht, daß ein Streit

dann am heftigsten entbrennt, wenn die streitenden Parteien verhältnißmäßig noch wenige, ihre Ansicht stützenden Thatfachen kennen, so ging es auch hier. Im Anfange dieses Jahrhunderts, als der Streit ernster zu werden begann, kannte man noch lange nicht die Thatfachen, die zu Gunsten der Plutonisten sprachen, und hätte man sie gekannt, so würde selbst ein Werner den Schlüssen, die man daraus zog, sich nicht haben verschließen können; denn gerade die eifrigsten Vertheidiger der neptunischen Lehre Werners waren es, welche seiner Sache, nach langen mühevollen Forschungen, den empfindlichsten Stoß versetzten.

Sie fragen, welche Thatfachen waren es denn, welche die neptunische Erdbildungsansicht, und welche, die die siegende plutonische hervorriefen?

In Aegypten hatte man lange vor Christi Geburt die Wirkungen des Nilwassers kennen gelernt; man sah, wie dieser Strom nach jeder großen Ueberschwemmung einen fruchtbaren Absatz zurück ließ; man beobachtete, daß nicht weit von der Mündung des Stromes durch die jährlichen Abjäge Inseln gebildet, oder vorhandene Inseln mit dem Festlande verbunden wurden. Auch hatte man bemerkt, daß das Meer, wenn es im Aufruhr an die Ufer schlägt, gewaltige Eingriffe in das feste Land macht. Das reichte hin um den Erdbildungsansichten der Aegypter einen rein neptunischen Charakter auszudrücken.

Anders war es in Griechenland. Hier war kein Strom, dessen Wirkung so gewaltig in das Culturleben der Völker eingriff wie in Aegypten und das eingeengte Meer konnte hier bei weitem nicht die Wirkungen hervorbringen wie an der Küste Aegyptens. Dagegen hatte man häufig Gelegenheit die Entstehung neuer Inseln mitten im Meere zu beobachten. Solche Inseln erschienen in kurzer Zeit unter heftigen Erzitterungen des Landes und Meeres, unter Dampf- und Feuererscheinungen, nicht, wie in Aegypten, nach langer Zeit, durch jährliche nicht beunruhigende Niederschläge. Die Sagen vom Vulkan, der bald auf dieser, bald auf jener Insel seinen Sitz genommen, vom Kampf der Götter mit den Titanen, welche zur Strafe in die Erde gebannt, mit mächtigen Bergen belastet, sich darunter von Zeit zu Zeit noch regen, geben von vulkanischen Erscheinungen in den frühesten Zeiten einen interessanten Beleg. Kein Wunder daher, daß die Erdbildungsansichten der Griechen ein plutonisches Gepräge tragen. So sehen wir denn, daß die Gegensätze, die noch jetzt in der Geologie

eine so wichtige Rolle spielen, seit den ältesten Zeiten in ihren Grundzügen vorhanden waren. Es stände aber schlimm mit der Geologie als Wissenschaft, wenn das alle die Thatfachen wären, welche zur Unterstützung der beiden Erdbildungsansichten vorgebracht werden könnten. Den Alten war oft die geringste Thatfache der Anhaltspunkt zu einer geistreichen Idee. Hier führte sie ihr Gange zur Anstellung allgemeiner Betrachtungen, die nicht aus hinreichenden und sorgfältigen Beobachtungen entsprungen waren, zu weit. Das Gebäude war schon fertig, ehe noch die Grundmauern errichtet und Material genug vorhanden war. Daher kam es, daß erst so spät, zu Ende des vorigen Jahrhunderts durch Werner in Freiberg, die Geologie eine wissenschaftliche Grundlage erhielt, auf welcher bis jetzt mit Erfolg weiter gebaut worden ist. Wollen Sie den Ausbau kennen lernen, so lassen Sie mich mit dem Fundamente den Anfang machen.

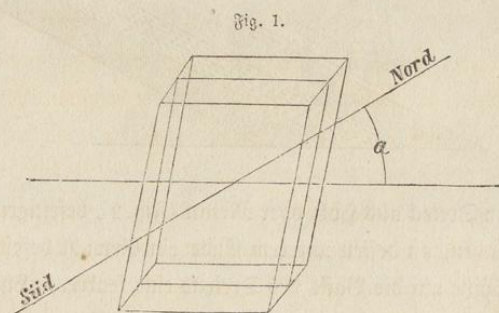
Werner, indem er die Gebirgsmassen, die er in seinem Wirkungskreise vorfand, einer näheren Prüfung unterwarf, fand, daß sie bald aus diesem, bald aus jenem Gestein zusammengesetzt waren. Den verschiedenen Gesteinen gab er besondere Namen. Die Namen Grünstein, Grauwacke, Syenit, Granit, Gneiß rühren von ihm her.*) Indem er sein Augenmerk auf die Art und Weise ihres Vorkommens richtete, fand er, daß manche Gebirge aus einzelnen Parallelmassen bestehen, die mit mehreren ähnlichen Massen von gleicher Lage verbunden und durch parallele oder nahezu parallele Flächen begrenzt sind. Die Dicke der Parallelmassen ist in der Regel nicht bedeutend, während ihre Ausdehnung in Länge und Breite oft viele Meilen beträgt. Man nennt solche Parallelmassen Schichten. Wenn Sie sich eine anschauliche Vorstellung von Schichten verschaffen wollen, so legen Sie zwei, oder mehrere Bücher übereinander und denken sich die Ausdehnung in Länge und Breite vielfach größer, während die Dicke etwa die nämliche bleibt. Die Oberfläche dieser Bücher repräsentirt die parallelen Seitenflächen, die Masse des Buches selbst die Masse der Gebirgsschicht. Bisweilen sind diese Flächen eben, bisweilen gekrümmt. Recht deutlich können Sie diese Schichten an manchen Steinbrüchen und Kiesgruben sehen. Woher, fragte Werner, kommen diese parallelen Flächen? Wenn die Natur früher die Kunst besessen hat, so überlegte er, Gebirgs-

*) Hoffmann, Jr., Geschichte der Geognosie.

massen in parallele Schichten zu zerlegen, so wird sie es jetzt noch nicht verlernt haben. Er sah sich in der Natur um und fand den Schlüssel zur Erklärung. — Wenn Ströme im Frühjahr mächtig anschwellen, und aus ihrem Bette treten, um das benachbarte Land weit und breit zu überschwemmen, so reißen sie vom Boden Theile los und führen sie fort. Fließt ein solcher Strom durch einen See, wie das nicht selten vorkommt, so stößt die schnell sich bewegende Wassermasse des Stromes gegen die ruhige Wassermasse des Sees. In Folge davon werden die vom Strome fortgerissenen Theilchen zunächst herumwirbeln, dann zu Boden fallen. Sie werden eine Lage von Schlamm bilden, die eine größere oder geringere Dicke besitzt, je nachdem der Strom sehr lange, oder nur kurze Zeit über die Ufer getreten war. Der erste Absatz ist gebildet, und im nächsten Frühjahr erfolgt der zweite in ähnlicher Weise mit gleichem oder nur wenig verschiedenem Material. Es ist aber klar, daß der erste während dieser Zeit sich vollständig gesetzt und durch den eigenen Druck oder durch Krystallisationseinflüsse fester geworden ist. Erfolgt im nächsten Frühjahr der zweite Absatz, so wird er sich zwar über den ersten hinlegen, allein sich ihm nicht so anschließen, als wenn er unmittelbar auf ihn gefolgt wäre. Nach dem zweiten Absatz kommt der dritte u. s. f. Schließlich wird der ganze See trocken gelegt. Läßt man durch diese Absätze einen Schacht schlagen, so wird sich zeigen, daß es Massen sind, an welchen deutlich die parallelen Flächen unterschieden werden können und solche Massen haben wir Schichten genannt. Die Dicke einer Schicht, d. h. der senkrechte Abstand zweier parallelen Flächen wird die Mächtigkeit der Schicht genannt. Da, wo Flüsse in das Meer einmünden, sind die Bedingungen ausgedehnter Schichtenbildung gleichfalls vorhanden. Man muß sich aber hüten die Schichtung mit der plattenförmigen Absonderung oder parallelen Zerklüftung zu verwechseln. Die parallelen Flächen der Schichten zeigen uns an, daß zwischen der Bildung der einzelnen Schichten eine kürzere oder längere Pause eingetreten ist, in welcher sich nichts oder nur wenig abgelagert hat. Die parallelen Flächen der plattenförmigen Absonderung, die in den Steinbrüchen so häufig auftritt, deutet eine Unterbrechung der Ablagerung keineswegs an. Die plattenförmige Absonderung ist durch Contraction oder Druck der noch nicht vollkommen erhärteten Masse oder durch theilweise Zersetzung des Gesteins entstanden. Die oberste Schicht eines Schichtensystems muß immer

die jüngste, die unterste immer die älteste sein. — Damit ist uns ein Maßstab gegeben, das relative Alter der Gebirgsschichten zu ermitteln. In dem oben angenommenen Falle ist jede höhere Schicht um ein Jahr älter als die darunter liegende. Aus der Anzahl der Schichten können Sie einen Rückschluß machen auf die Zahl der Jahre, die nothwendig war, um den See trocken zu legen. Fänden sich beispielsweise 10000 Schichten, so waren 10000 Jahre nothwendig um den See trocken zu legen. — Wenn die Bedingungen der Schichtenbildung in jedem Jahre die nämlichen bleiben, so wird auch das Material der einzelnen Schichten im Allgemeinen dasselbe sein. Wenn aber das Material in irgend einer vorhandenen Gebirgsmasse wechselt, so kann auch die Bildung der Schichten nicht genau in der vorgetragenen Weise vor sich gegangen sein. Nun ist es gar nicht selten, daß Schichten von einer gewissen mineralogischen Zusammensetzung abbrechen und von anderen, anders zusammengesetzten Schichten überlagert werden. Wenn wir fragen, warum haben denn die ausliegenden Schichten eine andere Zusammensetzung als die unmittelbar darunter liegenden, so müssen wir die Lage der beiderlei Schichten zunächst genau untersuchen und dann dürfen wir mit einer Hypothese hervortreten.

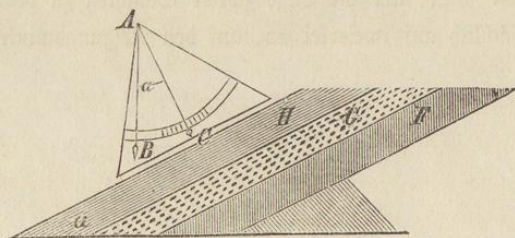
Werner that dies zuerst und trug damit eine neue fruchtbringende Idee in die Geologie. Er sagte, um die Lage zweier Schichten zu beurtheilen, kommt es hauptsächlich auf zweierlei an, auf den Neigungswinkel, welchen jede Schicht mit einer Horizontalebene bildet, und auf die Längsrichtung, welcher eine Schicht folgt. Um die Längsrichtung festzustellen, braucht man nur den Winkel zu wissen, welchen irgend eine in der Ebene der Schicht gedachte Horizontallinie



mit dem Meridian (Fig. 1) bildet. Den Neigungswinkel einer Schicht gegen eine Horizontalebene nennt man das Fallen, den Winkel a der Horizontallinie mit dem Meridian das Streichen der Schicht. Wie

bestimmt man diese Winkel? — Ich nehme hier ein Buch und repräsentire damit eine Schicht. Lege ich dies Buch horizontal, so hat es kein Fallen und kein charakteristisches Streichen; es hat kein charakteristisches Streichen, weil jede Linie, auf der Ebene der Decke gezogen, horizontal ist und unendlich viele Linien durch einen beliebigen Punkt in der Ebene des Buches gezogen werden können, von denen jede mit dem Meridian einen anderen Winkel bildet; es hat kein Fallen, weil es selbst horizontal liegt. Erhebe ich aber das Buch an der einen Seite, so kann nur eine einzige horizontale Linie durch einen willkürlich in der Ebene des Deckels gewählten Punkt gezogen werden und diese eine Linie bildet mit der Richtung nach Norden d. h. mit dem Meridian einen einzigen Winkel, auf dessen Bestimmung es ankommt. Nun wissen Sie, daß jede Magnetnadel, in der Mitte an einem Punkte unterstützt, sich nahezu nach Norden stellt. Construiren Sie sich einen Kreis, ziehen Sie durch den Mittelpunkt desselben 2 aufeinander senkrechte Linien, von denen Sie die eine mit Nord-Süd, die andere mit Ost-West bezeichnen und theilen Sie den Umfang des Kreises von Norden anfangend in 360 Theile, so brauchen Sie nur die Magnetnadel in der Mitte des Kreises zu unterstützen

Fig. 2.



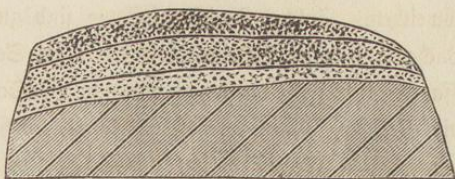
und die Nord-Südlinie in die Richtung der erwähnten Horizontallinie zu bringen, um an dem Ende der Nadel das Streichen abzulesen. Um das Fallen zu bestimmen, construiren Sie sich

ein Dreieck aus Holz oder Metall (Fig. 2), befestigen an der Spitze einen feinen Faden, an dessen unterem Ende ein Gewicht befestigt ist, und ziehen von der Spitze auf die Basis des Dreiecks eine senkrechte Linie. Stellen Sie das Dreieck auf eine horizontale Ebene, so wird der Faden über die senkrechte Linie fallen. Denken Sie sich jetzt in der Ebene einer Schicht eine Linie, welche auf der horizontalen, die das Streichen abgibt, senkrecht steht, und legen Sie die Basis des Dreiecks auf diese Linie (Fig. 2), so wird der Faden AB senkrecht herabhängen und mit der Linie AC den gesuchten Winkel α

bilden. Der Bergmann bedient sich zur Messung der 2 Winkel eines Instrumentes, welches Busssole genannt wird.

Rehren wir nun wieder zu dem Fall zurück, wo Schichtensysteme von einer gewissen mineralogischen Zusammensetzung überlagert werden von anders zusammengesetzten Schichtensystemen. Wir untersuchen, ob das Streichen und Fallen der beiderlei Systeme das nämliche ist und finden, daß dem so ist. Was werden wir daraus schließen? Das, daß die oberen Schichten Absätze sind, ganz auf ähnliche Weise gebildet, wie die unteren. Warum ist aber das Material ein anderes? — Darauf erhalten wir zunächst keine Antwort. Haben wir Grund anzunehmen, daß die beiden Systeme aus Wasser abgesetzt worden sind, und haben wir uns überzeugt, daß die obersten Schichten Gesteine sind, die nicht auf chemischem Wege umgewandelt wurden und ursprünglich mit den unteren identisch waren, so müssen wir es für wahrscheinlich halten, daß nach dem Absatz des unteren Schichtensystems eine Veränderung an der Oberfläche der Erde eingetreten ist, weil sonst unmöglich das Wasser mit einmal anders zusammengesetzte Partikelchen ablagern konnte. Das Wasser hat vielleicht seinen Lauf gewechselt, floß durch Gesteine von anderer Beschaffen-

Fig. 3.



heit als vorher und lagerte ein anderes Material ab. Stimmen die beiden Schichten in ihrem Streichen und Fallen nicht überein, so gilt ganz dasselbe mit dem Unterschiede, daß die ursprünglichen Schichtensysteme durch irgend welche Kräfte gehoben oder gesenkt worden sind ehe die darüberliegenden sich abgelagert haben (Fig. 3).

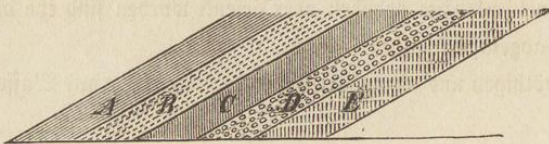
Welche Gründe nöthigen uns anzunehmen, die Schichten seien aus Wasser abgelagert?

Die Analogie der vorhandenen Schichten mit den in der Bildung begriffenen Schichten unserer Seen und Meere ist an sich ein starker Beweis. Einen stärkeren, unzweifelhaften finden wir in vielen, wenn auch nicht in allen Schichten, folgenden nämlich.

In allen Seen und Meeren leben Thiere, die allmählig absterben. Ihre Gehäuse werden mit den sich gleichzeitig bildenden Schichten begrä-

ben. Zieht sich das Wasser von den entstandenen Schichten weg, so werden sich die Knochen oder Gehäuse dieser Thiere auffinden lassen. Finden wir daher in irgend welchen Schichten Knochen oder Gehäuse von Wasserthierien, so müssen wir schließen, daß diese Schichten aus Wasser sich abgelagert haben. Einen bewundernswürdigen Reichthum von Thierformen finden wir häufig in den aufeinanderfolgenden Schichten, Formen, die in den heutigen Seen und Meeren zum Theil noch vorkommen, zum Theil aber auch nicht. Solche Schichten mit Thierüberresten finden wir, was noch merkwürdiger ist, oft in einer Höhe von 1000 bis 3000 Meter über dem Meere in einer Lage, als ob sie eben erst aus Wasser abgesetzt worden seien. Und nicht jede Schicht enthält die nämlichen Thierformen. Gewisse Schichten enthalten Thierformen, die untereinander vollständig übereinstimmen. Diese Schichten werden überlagert von anderen, deren Thierformen mit den vorhergehenden nicht die mindeste Aehnlichkeit haben. Auf diese folgen wieder andere Schichten, deren Thierformen mit den unmittelbar vorhergehenden nur zum Theil übereinstimmen, zum größten Theil aber abweichen. Solche Schichtensysteme sind zu vergleichen einem classischen Buche, auf dessen Blättern wir Seite für Seite etwas Schönes und Interessantes antreffen, verstehen wir nur die Schriftzüge des Buches. So oft wir es lesen, finden wir etwas Neues, vorher nicht Geahntes. Der wird den größten Genuß davon haben, der es am meisten und gründlichsten studirt, keiner aber wird es ausstudiren. — Lassen Sie uns sehen, welchen Gebrauch die Geologie von diesen Thierformen — Petrefacten genannt — macht. — Es seien *ABCDE* mehrere übereinander liegende Schichten, von

Fig. 4.



denen jede gewisse, ihr eigenthümliche Petrefacten enthält (Fig. 4), die in den anderen Schichten nicht vorkommen. Wir gehen

an einen anderen weit entfernten Ort und treffen hier 3 gut entblößte Schichten an, *FGH* (Fig. 2). Die Untersuchung ergibt, daß die Petrefacten der Schicht *F* übereinstimmen mit den Petrefacten der Schicht *E*. Wir schließen daraus, daß die Schichten *F* und *E* ungefähr gleichzeitig aus Wasser abgesetzt worden sind. Die Schicht *G* enthält Petrefacten, welche mit denen der Schicht *B*

übereinstimmen, folglich muß *G* gleichzeitig oder nahezu gleichzeitig mit *B* abgelagert worden sein. Nun fehlen aber die Schichten *C* und *D* an dem zweiten Orte (Fig. 2). Was schließen wir? Wir schließen, zur Zeit als die Schichten *C* und *D* an dem ersten Orte (Fig. 4) gebildet wurden, war die Schicht *F* durch irgend eine Ursache trocken gelegt worden. Wir untersuchen die Petrefacten der Schicht *H* und finden, daß sie mit denen der Schicht *A* nur zum Theil übereinstimmen, zum größten Theile aber nicht. Jetzt kommt es darauf an zu bestimmen, welche von den beiden Schichten *H* und *A* die jüngere, und welche die ältere ist. Wir haben gefunden, daß die Schichten *G* und *B* zu gleicher Zeit abgelagert worden sind, weil ihre Petrefacten vollkommen übereinstimmen. Vergleichen wir nun die Petrefacten der Schicht *H* mit denen der Schicht *G* und die von *A* mit denen von *G*. Angenommen, wir finden, daß von 100 Petrefacten der Schicht *H*, 60 mit denen von *G* übereinstimmen, 40 aber nicht, und daß von 100 Petrefacten der Schicht *A* 20 mit denen von *G* übereinstimmen, 80 aber nicht, so können wir schließen, die Schicht *H* sei jünger als die Schicht *A*; denn es ist wahrscheinlich, daß die Thierarten im Wasser nur ganz allmählig ausstarben und durch andere, mehr oder weniger ähnliche Formen ersetzt wurden. Wurde die Schicht *B*, die mit *G* gleich alt ist, nach ihrer Bildung trocken gelegt, so nahm die Bildung der Schicht *H* ihren Anfang. Schon war ein großer Theil derselben gebildet, als durch irgend welche Ursache die Schicht *B* in das Bereich des Wassers kam. Die Schicht *A* setzt sich jetzt ab und enthält diejenigen Petrefacten, die in dem Wasser nun vorhanden sind. Starben zur Zeit, in welcher die Schicht *B* trocken lag, viele Thierarten in dem Meere aus, so müssen diese in der Schicht *A* fehlen, in der Schicht *H* aber vorhanden sein. Auf diese und ähnliche Grundsätze gestützt, haben die Geologen das relative Alter aller bekannten Schichten, in denen Thierreste vorkommen, ermittelt. Das absolute Alter irgend einer Schicht wird niemals angegeben werden können, weil jeder Anhaltspunkt zur Bestimmung desselben fehlt. Die folgende Tabelle gibt die aufeinanderfolgenden Formationen*) in übersichtlicher Weise.

*) Unter Formation versteht man eine Reihenfolge von Schichten, welche unter gleichen oder nahezu gleichen Verhältnissen unmittelbar nach einander gebildet worden sind.

Uebersicht der Formationen.

Zeitabschnitte.		Formationen.	Synonyme.	
Recentes Zeitalter (Neuzeit).		Recente Formationen.		
Quartär-Zeitalter (Diluvialzeit).		Erratische und Lössfor- mationen.		
Tertiär- oder Molasse= periode.	Pliocenz. Miocenz. Eocenz.	Subapenninenfor- mation. Molasseformation. Flysch- und Nummu- litenformation.	Molasse= Gruppe.	Tertiäres Zeitalter.
Kreide= periode.	Kreidezeit. Quaderzeit. Neocomzeit.	Kreideformation. Quaderformation. Neocomformation.	Kreide= Gruppe.	
Jura= periode.	Wieldenzeit. Jurazeit. Liaszeit.	Wieldenformation. Juraformation. Liasformation.	Dolith= Gruppe.	Secun- däres Zeitalter.
Trias= periode.	Keuperzeit. Muschelkalkzeit. Buntsandsteinzeit.	Keuperformation. Muschelkalkformation. Buntsandsteinformation.	Salz= Gruppe.	
Dyas= periode.	Zechsteinzeit. Zeit des Rothliegenden.	Permische Formation.	Dyas= Gruppe.	
Steinkoh- lenperiode	Steinkohlenzeit. Kohlenkalkzeit.	Steinkohlenformation. Kohlenkalkformation.	Kohlen= Gruppe.	Ueber- gangs= Zeitalter.
Grau- wacken= periode.	Devonzeit. Silurzeit. Cambriſche Zeit.	Devonformation. Silurformation. Cambriſche Formation.	Grau= wacken= Gruppe.	
Cozoon= periode.	Cozoische Zeit.	Cozoonformation.		
Alzoische Periode.	Alzoische Zeit.	Krystalliniſche Schiefer- formation.		Primär= Zeitalter.

Wären alle Schichten auf der ganzen Erdoberfläche mit Petrefacten erfüllt, so unterläge es keinem Zweifel, daß auch alle aus Wasser abgeseht worden sind. Es gibt aber mächtige, weit verbreitete Schichten, in denen keine Spur von irgend einer Thier- oder Pflanzenform gefunden wird. Wie verhält es sich mit diesen, kann man auch bei diesen das relative Alter ermitteln, sind auch sie aus Wasser abgeseht? — Die erste Frage löst sich leicht, wenn die Schichten übereinander liegen. Sind sie aber räumlich getrennt, so läßt sich nur in seltenen Fällen eine Entscheidung mit der Bußsole treffen.

Was die zweite Frage anlangt, sind auch die petrefactenleeren Schichten aus Wasser abgeseht, so beantwortete sie Werner mit Ja, weil ihm im ganzen Bereiche der Natur nicht eine einzige Erscheinung bekannt war, welche in so vollkommener Weise die Schichtenbildung zu erklären geeignet war, als die Erscheinung der Niederschläge unter Wasser. Petrefactenleer seien diese Schichten, so meinte Werner, weil sie zu einer Zeit gebildet wurden, in welcher organische Geschöpfe auf der Erde noch nicht existirten. — Indessen gibt es auch Schichten, welche nicht aus Wasser abgeseht wurden, wie z. B. die übereinanderliegenden Lavaschichten. Werner ging daher zu weit, wenn er erklärte, alle Gesteine, wo und wie sie immer vorkommen, sind ursprünglich aus Wasser abgeseht, daher geschichtet. Wo die Schichtung nicht zu erkennen ist, da ist sie durch locale Einflüsse gestört oder unterbrochen. — Weil alle Gesteine aus Wasser abgeseht sein sollen, so können die Schichten eine starke Neigung nicht haben, weil auf einer stark geneigten Ebene Massentheilen nicht liegen bleiben, sondern herunterrollen. Wo daher stark geneigte Schichten vorkommen, da müssen spätere Störungen diese Schichten in diese Lage gebracht haben. Der Einsturz unterirdischer Höhlen kann als eine Ursache dieser steilen Schichtenstellung betrachtet werden. Wo Schichtung nicht aufzufinden ist, da können Krystallisationseinflüsse störend eingewirkt haben. Werner und die anderen Neptunisten sagten daher: die feste Erdkruste hat sich aus dem Wasser, in welchem sie früher gelöst war, nach und nach niedergeschlagen. Das Meer, nachdem es einen ersten Absatz gebildet hatte, zog sich allmählig zurück und kam später noch mehrmals an denselben Ort, weitere Absätze zu bilden. Indem es seinen Rückzug antrat, machte sich die mechanische Wirkung des Wassers geltend, das einestheils durch gewaltige Stürme mächtig

aufgeregt, anderntheils durch herrschende Strömungen in die kaum gebildeten Schichten bedeutende Einschnitte machte. Solche Einschnitte kennen Sie, es sind die Thäler (Fig. 5). Der Boden dieser Thäler muß demnach aus den Trümmern der benachbarten Anhöhen bestehen, und dies bestätigt die Erfahrung sehr häufig. Die Gebirgszüge geben in ihren Abhängen die Richtung an, in welcher sich das Meer zurückzog. Die Zeit, in welcher das Meer seine ersten Absätze bildete ohne organische Geschöpfe zu besitzen,

Fig. 5.



nannte Werner die Urzeit. Zwei große Ablagerungen nahm er in dieser Zeit an. Uebergangszeit nannte er die Zeit, in welcher das von organischen Geschöpfen belebte Meer seinen dritten Absatz bildete. Als sich das Meer zum dritten Male auf lange Zeit zurückzog, starben viele Geschöpfe aus und wurden durch neue Arten ersetzt. Diese neuen Arten mußten daher charakteristisch sein für die Schichten, welche in der folgenden Zeit, von Werner Flözzeit genannt, gebildet wurden.

Hiermit haben wir im Wesentlichen die Hypothese Werners von der Entstehung der festen Erdkruste kennen gelernt, eine Hypothese, die, wenn sie auch das Gepräge der Einseitigkeit an sich trägt, doch gar viele Erscheinungen auf eine äußerst einfache und sinnreiche Weise zu erklären vermag. Es ist daher nicht zu verwundern, daß sie am Ende des vorigen und am Anfange dieses Jahrhunderts so viele begeisterte Anhänger gefunden hat, die bemüht waren, ihre allgemeine Anwendbarkeit an allen Orten der Erde nachzuweisen.

Auffallen muß es zunächst, daß Werner der Vulkane, als einer allgemein verbreiteten großartigen Naturerscheinung, mit keinem Worte gedenkt. Unbekannt waren ihm die vulkanischen Erscheinungen keineswegs, doch hatte er niemals Gelegenheit, sie zu beobachten. Er kannte sie aus Beschreibungen und stand nicht an sie für Erdrbrände, also für ganz zufällige Erscheinungen zu erklären, die jetzt noch hier und da in Kohlen-

bergwerken durch Selbstentzündung des Kohlenstaubs erzeugt werden. Leopold v. Buch und Alexander v. Humboldt zeigten später nach jahrelangem gründlichem Studium der vulkanischen Erscheinungen, daß diese gewaltigen Naturphänomene keineswegs auf Erdbürände zurückgeführt werden können, daß die Ursache derselben ganz allgemeiner Natur sein müsse und daß diese Erscheinungen vielleicht mit der Bildung unserer Erde im innigsten Zusammenhange stehen.

Indem Werner das Wasser mehrmals über die jetzt bewohnte Erde treten ließ, erklärte er sehr einfach die Bildung der vorhandenen Schichten, die nacheinander folgenden geologischen Perioden und das Verschwinden organischer Geschöpfe in verschiedenen Ablagerungen, aber er erklärte nicht, durch welche Kräfte gezwungen das Meer fünfmal die Oberfläche überfluthete und fünfmal zum Rückzug gezwungen wurde. Nach Werner'schen Grundsätzen läßt sich dieses Zurückziehen und Anschwellen des Meeres in der That nicht erklären. Steile Schichtenstellungen, die nach Werners Hypothese durch Einsturz unterirdischer Höhlen oder andere locale Einflüsse entstanden sind, mithin eine weite Verbreitung und einen großen Einfluß auf den Charakter der Ablagerungen nicht haben können, sind in den Alpen sehr häufige und in großartigem Maßstabe auftretende Erscheinungen. Mittelfst Werner'scher Grundsätze ist es ganz unmöglich die steile Schichtenstellung in den Alpen zu erklären. Gebirgsabfälle können nach Werner nur durch die mechanische Wirkung des Wassers erzeugt worden sein und nicht anders. Betrachten wir einmal die Kette der Alpen, ein Gebirg, das sich von der Küste des Mittelländischen Meeres bis in die Ungarische Ebene erstreckt, mithin einen gradlinigen Verlauf von ungefähr 130 Meilen, bei einer Breite von 20 bis 40 Meilen besitzt. Da wo das Gebirg aus einer weit verbreiteten Ebene emporsteigt, besitzen die vordersten Glieder eine Höhe von 600 bis 1200 Meter. Im Inneren desselben erreichen einzelne Berge die drei- bis vierfache Höhe. Wie eine mächtige, von der Natur gezogene Mauer erscheint das Gebirg, und dieses Gebirg mußte nach Werner, so wie es jetzt ist, aus Wasser sich gebildet haben. Die Unebenheiten, die vielen Thäler und Pässe im Inneren wären lediglich die Wirkung des stark bewegten Meereswassers. Wo soll aber das Material, wo sollen die Abfälle hingekommen sein, welche zur Zeit der Bildung der Alpen die weithin sich erstreckenden Ebenen ausfüllen mußten; denn nach

Werners Theorie müßten die Ebenen zu beiden Seiten der Alpen mit ebenso bedeutenden Abfällen erfüllt gewesen sein, wie das Gebirg selbst. Und sollen nun die Abfälle vom Wasser weggespült worden sein und so glatt weggespült worden sein, daß man in der ganzen lombardischen und bairischen Ebene keinen einzigen bedeutenden Einschnitt auffinden kann? Was aber das Merkwürdigste ist, im Innern des Gebirges vermochten die Strömungen und Stürme die mannichfaltigsten Schluchten und Pässe hervorzubringen und außerhalb desselben spülten sie die kaum gebildeten Niederschläge so glatt hinweg, daß auch kein Hügel übrig geblieben ist. Hier läßt uns Werners Hypothese unbefriedigt. Wollen wir aber noch weiter gehen und fragen, wie es denn kommt, daß das nämliche Meerwasser früher die Kraft besessen hat alle die vorhandenen Gesteine aufzulösen und jetzt nicht mehr, so müssen wir gestehen, Werners Hypothese für die Bildung der festen Erdoberfläche ist zu verwerfen. Damit dies klar hervortrete, will ich folgende Rechnung anstellen. Der größte Theil aller Gesteine, welche die Oberfläche zusammensetzen, besteht aus Silicaten von Thonerde, von alkalischen Erden und von Alkalien. Ueber die Löslichkeitsverhältnisse dieser Silicate sind von G. Bischof mehrere Versuche angestellt worden, deren Resultate indessen zwischen sehr weiten Grenzen schwanken. Nimmt man an, daß ein Gewichtstheil eines Silicats in 100,000 Gewichtstheilen Wasser löslich ist und daß die Hälfte aller auf der Oberfläche vorhandenen Gesteine aus den genannten Silicaten bestehen, eine Annahme, die wie die vorhergehende gewiß nicht zu hoch gegriffen ist, so fragt es sich, wie groß ist die Wassermenge, die nöthig ist um nur diese Silicatengesteine aufzulösen. Um diese Frage zu lösen, muß man zunächst den Cubikinhalte sämmtlicher auf der Oberfläche vorhandener Gesteine kennen und muß das Gewicht der Cubikeinheit eines mittleren Silicatgesteins wissen. Nach Alexander v. Humboldt ist die mittlere Höhe der Continente annähernd 300 Meter, das Verhältniß von Wasser zu Land annähernd 2 zu 1. Wenn man nun noch den Halbmesser der Erde zu 6,377,361 Meter annimmt und das specifische Gewicht eines mittleren Silicatgesteins gleich 2,5 setzt, so hat man alle Daten, um die Rechnung ausführen zu können. *) Die Rechnung ergibt eine Wassermenge, die, wenn sie die Gestalt einer Kugel hätte, das Volumen unserer Erde annähernd

*) Ein Cubikmeter Wasser wiegt 1000 Kilogramm.

um das 5,8fache übertreffen würde. Der Halbmesser dieser Wasserkugel hätte die Länge von 11,511000 Meter und selbst eine so ungeheure Wassermenge wäre kaum im Stande die Hälfte aller vorhandenen Gesteine der Oberfläche aufzulösen. Außerdem ist nicht einzusehen, warum die Gesteine nicht gelöst blieben, nachdem sie einmal gelöst waren. Es ist einleuchtend, daß damit die Werner'sche Hypothese fallen muß. Die Annahme, daß das frühere Meerwasser Säuren enthielt, welche die Silicatgesteine weit leichter zu lösen vermochten als Wasser, ist unstatthaft, weil man nicht angeben kann, wo denn diese Säuren hingekommen sind. Sie konnten aber im Wasser schon aus dem Grunde nicht vorhanden sein, weil sie die Existenz organischer Geschöpfe unmöglich gemacht hätten.

So fiel denn das große Gebäude, das jahrelang kühn und siegreich vertheidigt wurde, den nagenden und stärker anstürmenden Wellen endlich zum Raub. Werner erlebte nicht mehr den Ruin; er war bereits dahingegangen. Mit ihm war die stärkste und mächtigste Stütze seiner Erdbildungsansicht gesunken. Jetzt ist nicht ein einziger Geologe mehr zu finden, der der Werner'schen Hypothese in ihrer Totalität noch huldigt. Sie dürfen aber nicht glauben, daß damit auch der Gegensatz zwischen Neptunisten und Plutonisten gefallen sei. Dieser Gegensatz existirt noch und zum Glück für die Wissenschaft. Sowie die Neptunisten unter Werner zu weit gingen und von den Plutonisten eines Besseren belehrt wurden, so gingen die Plutonisten nach Werner zu weit und wurden von den neueren Neptunisten in ihre Schranken zurückgewiesen.

Durch welche Thatfachen und Erscheinungen geleitet die Plutonisten zu der Hypothese von einem heißflüssigen Ursprung der Erde griffen, in welchem Verhältniß sie zu den Neptunisten stehen, um welches Feld sich beide Parteien jetzt streiten, das wird in den nächsten Vorträgen auseinander gesetzt werden.

Zweiter Vortrag.

Wärmeverhältnisse des Erdinnern.

Es ist bekannt, daß sich die Temperatur der verschiedenen Jahreszeiten den Gesteinen an der Oberfläche der Erde mittheilt. Die Wärme des Sommers dringt bis zu einer gewissen Tiefe, die Kälte des Winters gleichfalls. Da die Gesteine die Wärme sehr schlecht fortleiten, so muß in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche sowohl die höchste als die niedrigste Temperatur später eintreffen als an der Oberfläche. Die thermometrischen Versuche von Bischof in Bonn*) haben gezeigt, daß zu Bonn in einer Tiefe von 1,88 Meter die höchste Temperatur am 18. August, in 3,77 Meter Tiefe am 12. September, und in 5,65 Meter Tiefe erst am 2. October eintritt, dagegen an der Oberfläche wie bekannt schon im Juli. Die höchste Temperatur in 5,65 Meter Tiefe ist aber, wie die Versuche zeigten, mehr als die Hälfte kleiner als die höchste Temperatur an der Oberfläche und die niedrigste Temperatur in dieser Tiefe wurde bei weitem höher als die niedrigste Temperatur an der Oberfläche gefunden. Aus den erwähnten Temperaturen in 1,88, 3,77 und 5,65 Meter Tiefe ergibt sich, daß die Sonnenwärme ungefähr 26 Tage braucht, um 1,88 Meter tief in die Erde einzudringen. Nach Bischof's Versuchen ist die Differenz zwischen der größten und kleinsten Temperatur in 5,65 Meter Tiefe $2,12^{\circ}$ R., in 7,53 Meter Tiefe nur $1,125^{\circ}$ R. Die höchste Temperatur in 5,65 Meter Tiefe ist bei Bonn $9,85^{\circ}$ R., die niedrigste $7,73$. In 7,53 Meter Tiefe ist die höchste Temperatur $9,2^{\circ}$ R., die niedrigste $8,075^{\circ}$ R., die mittlere Temperatur in diesen Tiefen etwa $8,7^{\circ}$ R. In einer Tiefe von 19 bis 21 Meter verschwindet in

*) Bischof, Wärmelehre des Erdinnern.

den gemäßigten Zonen die Differenz zwischen der höchsten und niedrigsten Temperatur gänzlich; in der heißen Zone schon in 63 bis 94 Meter Tiefe. In solchen Tiefen herrscht das ganze Jahr die nämliche Temperatur und der Einfluß der Jahreszeiten kommt nicht mehr zur Geltung. Wenn man die Temperatur der Luft täglich viermal, von 6 zu 6 Stunden beobachtet, diese Beobachtungen ein ganzes Jahr oder mehrere Jahre hindurch fortsetzt und aus allen Beobachtungen das Mittel nimmt, so erhält man auch die mittlere Jahrestemperatur des Beobachtungsortes. Diese mittlere Jahrestemperatur herrscht wie die Beobachtungen zeigen das ganze Jahr hindurch in unserer Gegend in einer Tiefe von 16 bis 20 Meter. Denken wir uns die Jahreszeiten weg und an ihre Stelle die mittlere Jahrestemperatur gesetzt, so muß diese mittlere Jahrestemperatur auf die Gesteine der Tiefe denselben Einfluß haben wie die Temperatur der Jahreszeiten. Hätte von jeher an der Oberfläche die ihr jetzt entsprechende mittlere Jahrestemperatur geherrscht, so müßten die Gesteine bis zu den allergrößten Tiefen diese mittlere Jahrestemperatur angenommen haben.

Dem widerspricht aber die Erfahrung. Die thermometrischen Beobachtungen in Gesteinslöchern vieler Bergwerke, die mit großer Sorgfalt in verschiedenen Tiefen angestellt worden sind, zeigen daß die Temperatur mit der Tiefe entschieden zunimmt; sie lehren zugleich, freilich nur annähernd, die Tiefenstufe kennen, in welcher man 1° Temperaturzunahme erwarten darf. Einige Beispiele mögen das erläutern:

In den Bogenen:

Tiefe.	Temperatur.
339'	12,5 ⁰ Cels.
634'	13,1 "
948'	19,0 "
1333'	22,7 "

In der Schweiz:

Tiefe.	Temperatur.
322'	14,4 ⁰ Cels.
564'	15,6 "
677'	17,4 "

Die genauen und sehr zahlreichen Versuche von Reich in Freiberg führten zu dem Resultat: 1) daß mit der Tiefe die Temperatur entschieden zunimmt, 2) daß sie in jeder Tiefenstation constant ist, 3) daß die Tiefenstufe in welcher man 1° Temperaturzunahme erwarten darf, ungefähr 37 Meter beträgt, und 4) daß ein allgemeines Gesetz für die Wärmezunahme aus diesen Beobachtungen nicht zu entnehmen ist. Dieselben Resultate

tate haben sich fast überall aus den thermometrischen Beobachtungen ergeben. Eine der interessantesten Beobachtungsreihen liegt von Jakutsk in Sibirien vor. Jakutsk liegt unter 62° n. Br. und hat ein so kaltes Klima, daß der Erdboden bis zu großer Tiefe das ganze Jahr hindurch gefroren bleibt. Bei dem Abteufen eines Brunnens daselbst ergaben sich folgende Resultate:*)

Tiefe.	Temperatur.
7 engl. Fuß.	— 17,12 Cels.
15 „	— 13,12 „
20 „	— 11,38 „
50 „	— 8,19 „
100 „	— 6,81 „
150 „	— 5,81 „
200 „	— 5,00 „
250 „	— 4,25 „
300 „	— 4,12 „
350 „	— 3,31 „
382 „	— 2,92 „

Diese Beobachtungsreihe liefert wohl den schlagendsten Beweis für eine dem Erdinnern eigenthümliche, von der Sonnenwärme oder der mittleren Jahrestemperatur unabhängige Wärmequelle.

Die nämlichen Resultate, welche man aus den Beobachtungen in Bergwerken erhalten hat, ergeben sich auch aus den Temperaturbeobachtungen artesischer Brunnen. Artesische Brunnen sind senkrecht in die Erde getriebene Bohrlöcher, welche dem zwischen 2 wasserdichten Schichten in der Tiefe eingeschlossenen gespannten Wasser einen Weg zum Aufsteigen gestatten.

Bohrbrunnen bei Rüdersdorf unweit Berlin.		Bohrbrunnen von la Grenelle bei Paris.		Bohrbrunnen von Neusalzwerk bei Westphalen.	
Tiefe.	Temperatur.	Tiefe.	Temperatur.	Tiefe.	Temperatur.
380'	17,12 C.	917'	22,2 C.	580'	19,7 C.
500	17,75 „	1231	23,75 „	1285	27,5 „
655	19,75 „	1555	26,43 „	1935	31,4 „
880	23,50 „	1684	27,70 „	2144	33,6*) „

Daß dieser der Erde eigenthümliche Wärmeverrath eine allgemeine nicht auf bestimmte Localitäten beschränkte Erscheinung ist, das zeigt auf

*) Naumann, Lehrbuch der Geognosie Bd. 1.

das bestimmteste die mittlere Temperatur aller aus großer Tiefe kommenden Quellen. 20 Mineralquellen am Saacher See haben das ganze Jahr hindurch eine höhere Temperatur als die mittlere Jahrestemperatur der Oberfläche. *) 30 Gruppen von Mineralquellen zwischen Taunus und Vogelsgebirg, eine große Anzahl heißer Quellen am westlichen Abhang des Teutoburger Waldes und der Haar in Westphalen, die Mineralquellen in Hannover, die zwischen Elbe und Rhein, die des Erzgebirgs, Riesengebirgs zeigen dasselbe. In Krain, Steyermark, Kärnthen, Tyrol, in Frankreich von den Pyrenäen bis zu den Vogesen, überall wurde die mittlere Temperatur der Mineralquellen höher gefunden als die mittlere Jahrestemperatur des Ortes. Gedenkt man noch der vielen heißen Quellen, von denen manche eine Temperatur von 100° und mehr als 100° Cels. besitzen, so kann man keinen Augenblick zweifelhaft darüber sein, daß die Erde einen bedeutenden, von der Sonnenwärme unabhängigen Wärmevorrath in ihrem Schooße birgt. Nach all diesen Thatfachen ist man versucht weiter zu schließen und anzunehmen, daß die Temperatur fort und fort zunimmt, bis sie die Höhe erreicht hat, bei welcher die Gesteine sich in einem heißflüssigen Zustande befinden. Directe Versuche können das freilich aus mechanischen Gründen nicht darthun, die vulkanischen Erscheinungen aber, die uns heißflüssige, dem Erdinnern entquellende Massen vor Augen führen, legen Zeugniß ab, daß im Schooße der Erde eine Hitze existirt durch welche die schwereschmelzbarsten Gesteine in Fluß kommen.

Wie läßt sich diese Wärmezunahme nach dem Erdinnern, wie läßt sich der heißflüssige Erdkern erklären? — Sind es chemische, sind es physikalische, oder sind es mechanische Wirkungen, welche eine so ungeheure Wärme im Erdinnern zu erzeugen vermögen?

An Erklärungsversuchen aus dem einen und anderen Gesichtspunkte hat es nicht gefehlt; die Versuche sind aber so ungenügend ausgefallen, daß es sich kaum der Mühe verlohnt, sie nochmals zu widerlegen.

Davy's Hypothese, die sich auf die Entwicklung bedeutender Licht- und Wärmemengen bei dem Zusammentreffen von Natrium, Natrium oder Calcium mit Wasser gründet, stand lange Zeit in hohem Ansehen. Bedenken wir aber, daß diese Metalle, mit Wasser in Berührung gebracht,

*) Bischof, Wärmelehre.

das Wasser zerlegen und bedeutende Quantitäten von Wasserstoffgas liefern, welches wegen seiner geringen Schwere (es ist 14,4 mal leichter als Luft) sofort durch die Spalten und Risse entweichen und an der Oberfläche erscheinen müßte; bedenken wir, daß die Entwicklung bedeutender Wasserstoffgasquantitäten an der Oberfläche noch niemals beobachtet worden ist, und daß die Quantitäten von Kalium, Natrium und Calcium, welche in vulkanischen Producten gefunden worden, so gering sind, daß durch ihre Einwirkung auf Wasser allein unmöglich eine hohe Temperatur entstehen kann; bedenken wir weiter, daß die Annahme von Kalium, Natrium und Calciummetall in der Erde doch eine ganz eigenthümliche, durch keine einzige beobachtete Thatsache unterstützte Hypothese ist, so werden wir keinen Augenblick anstehen, Davy's Hypothese zu verwerfen.

Der Versuch, die Erdwärme aus der Annahme starker Elektromotoren im Erdinnern erklären zu wollen, ist ebenfalls als ein ungenügender zu bezeichnen. Es ist zwar wahr, daß durch die Wirkung starker Elektromotoren Wärme und Licht von großer Intensität entwickelt werden kann, allein es ist nicht zu begreifen, und keine einzige Thatsache weist darauf hin, daß Substanzen auf eigenthümliche Weise geordnet in der Erde sein sollen mit dem Vermögen, elektrische Ströme von solcher Stärke und Dauer zu erzeugen, daß ein Theil der starren Erdkruste durch sie in Fluß kommen könnte; es ist um so weniger zu begreifen, als die entwickelte Elektricität durch die Feuchtigkeit der Erde nach allen Richtungen abgeleitet würde und die Elektromotoren durch die geschmolzenen Gesteine zerstört würden.

Die innere Erdwärme hat man auch durch die mechanische Wärmetheorie zu erklären versucht.

Bolger*) war der erste, der behauptete, die Zusammendrückung tiefer Schichten durch höhere, die Senkung großer Gebirgsmassen, und die chemischen Vorgänge, erzeugt durch den Stoffumsatz, seien allein ausreichend, diese Erdwärme zu erklären. Sehen wir zu ob das wahr ist. Wir denken uns eine Säule festen Gesteins vom spec. Gewichte 2,6 mit einem Querschnitte von 1 Quadratmeter und einer Höhe von 1400 Meter. Diese Säule wiegt $1400 \cdot 2600 = 3640000$ Kilogr.

Wir stellen uns nun die Aufgabe zu berechnen, um wie viel eine unter der Säule befindliche, ein Meter dicke Schicht von demselben Gesteine durch

*) Bolger, Erde und Ewigkeit.

den Druck von 3640000 Kilogr. zusammengedrückt und erwärmt werden kann. Da die Zusammendrückarbeit der Gesteine nicht bekannt ist, so nehmen wir an, sie sei gleich der des Glases. Ein Glaswürfel von 1 Meter Seitenlänge wird durch den Druck von einer Atmosphäre um 0,000003 Meter in der Richtung des Druckes verkürzt; die Schicht von 1 Meter Dicke wird folglich durch die darüberstehende 1400 Meter hohe Säule um 0,000003. 353 oder um 0,001059 Meter zusammengedrückt*) oder verkürzt. Die 1400 Cubikmeter Gestein sinken mithin 0,001059 Meter tief und entwickeln eine Wirkungsgröße von 3640000 . 0,001059 Kilogrammometer. Dieser Wirkungsgröße entsprechen $\frac{3640000 \cdot 0,001059}{424} = 8,6$ Calorien. Mit 8,6 Calorien kann man 8,6 Kgr. Wasser von 0 auf 1° erwärmen, oder 4 . 8,6 = 34,4 Kgr. Gestein von 0 auf 1° Cels. oder 2600 Kgr. — entsprechend der Schicht von 1 Cubikmeter, um $\frac{1}{75}$ ° Cels. Denken wir uns von der Oberfläche der Erde nach der Tiefe Säule an Säule von 1 Quadratmeter Querschnitt und 1400 Meter Tiefe, so erhöhen diese die Temperatur einer darunter liegenden Schicht von 1 Meter Mächtigkeit durch Zusammendrücken um $\frac{1}{75}$ ° Celsius, also um eine verschwindend kleine Größe. Die beiden anderen Wärmequellen — Senkung und chemische Vorgänge — hält Volger selbst für unbedeutender. Nicht aber Mohr.*) Mohr sagt: Die in Wärme umgesetzte Arbeit der Sonne ist die Ursache der Wärme des Erdinnern. Die Sonne „sendet ununterbrochen Wärmestrahlen auf die Erde, welche davon zwar äußerlich erwärmt wird, allein diese Wärme immer wieder durch Ausstrahlung verliert. Dagegen wird durch die Sonne Wasser in Gaszustand verflüchtigt und in Gestalt von Wolken über die ganze Erde geführt. Hier fällt es als destillirtes Wasser herab, dringt in die Erde ein und kommt mit Bestandtheilen der Erde beladen wiederum aus denselben hervor. Wenn wir von dem Gehalte der Mineralquellen und Salzquellen als zu unbedeutend absehen, so sind es nur die Flüsse, welche mit gelösten Bestandtheilen des Festlandes dem Meere zuwiegen. Volger nennt dieselben unsichtbare Berge (?!), welche unbemerkt an uns vorüber fließen. Die als Schlamm sichtbaren Berge (!), welche vom

*) Es üben 3,97 Cubmtr. Gestein von 2,6 spec. Gewicht auf einen Quadratmeter denselben Druck aus wie eine Atmosphäre. Eine Atmosphäre drückt auf einen Quadratmeter mit 10332 Kgr.

**) Mohr, Geschichte der Erde, eine Geologie auf neuer Grundlage. 2. Aufl.

Fluß hinabgeführt werden, sind nur kurze Zeit während der Schneeschmelze oder von Gewittern veranlaßt, bedeutend. Im Durchschnitt verhalten sich die trübmachenden Stoffe zu den gelösten wie 1 zu 9. Wenn das Rheinwasser bei Basel in 100000 Theilen nach der Analyse nahezu 20 Theile feste, aufgelöste Bestandtheile, größtentheils kohlensauren Kalk, enthält, so führt es nach dem Querschnitt des Rheins und seiner Geschwindigkeit, jährlich eine Masse von 44 Millionen Cubikfuß Kalkfels, im Ganzen 59 Millionen Cubikfuß fester Bestandtheile weg, und bei Emmerich gehen jährlich 138 Millionen Cubikfuß vorbei. Diese Masse kommt größtentheils aus dem Innern der Erde, theils von festen Kalksteinen, theils von der Zersetzung kalkhaltiger Silicate. Man berechnet, daß die seit 5000 Jahre ausgeführte Steinmasse das ganze Flußgebiet des Rheines von 3500 Quadratmeilen mit einer fußhohen Schicht Fels bedecken könnte, oder daß auf dem ganzem Gebiete diese Masse in den Gebirgen fehlt. Wo diese Gesteine als Ganzes weggenommen werden entsteht eine Höhlung und leerer Raum (?), wo sie aber aus einzelnen Bestandtheilen der Gesteine abstammen, werden diese ausgezehrt und in ihrem Zusammenhange geschwächt und können dann auf die Dauer dem Drucke der auflagernden Schichten nicht widerstehen, sondern müssen durch Einsacken zusammensinken u.“ Soweit Mohr. Um eine Anschauung von der Wärme zu bekommen, die in der Erde durch Senkung großer Massen entsteht, nehmen wir an, in der Tiefe von einer Meile (7500 Meter) war zu irgend einer Zeit ein Hohlraum von 1 Meter Höhe und einem Quadratmeter Querschnitt, in welchen die darüber stehende Erdmasse hineinstürzte.*) Durch diesen Fall entstand so viel Wärme, daß man damit 45990 Kgr. Wasser von 0 auf 1° C. oder $4 \cdot 45990 = 183960$ Kgr. Gesteine von 0 auf 1° oder 18396 Kgr. Gesteine von 0 auf 10° C. hätte erwärmen können. Diese 18396 Kgr. Gesteine bilden eine 7,07 Meter hohe Säule von einem Quadratmeter Querschnitt. Denken wir uns die Gesteine der Erdoberfläche in lauter gleichhohe Säulen zerlegt und lassen jede einen Meter tief fallen, so ist die entstehende Wärme doch so gering, daß in der Tiefe einer Meile eine 7 Meter hohe Schicht, die sich um den ganzen Erdball herumzieht, nur um 10° könnte wärmer werden. Diese Schicht würde die unter und über ihr liegenden Schichten durch Leitung

*) Ausführlicheres hierüber findet sich in dem Programm des Realgymnasiums zu Wiesbaden vom Jahre 1872.

allmählig erwärmen, und wenn nach einer gewissen Zeit die ganze Wärme gleichmäßig bis zur Oberfläche gedrungen wäre, so würden alle Säulen ihre ursprüngliche Temperatur um $0,009^{\circ}$ C., also um eine verschwindend kleine Größe erhöht haben. Und dabei ist zu Gunsten der Mohr'schen Ansicht vorausgesetzt, daß das Wasser eine Meile tief eingedrungen sei und dann erst ausgewaschen habe. Diese Annahme ist naturwidrig. Viel naturgemäßer ist es, anzunehmen, an dem einen Orte wird in der Tiefe von 100 oder 200 Meter, an dem anderen Orte in 500 oder 1000 Meter Tiefe ein Hohlraum ausgewaschen, an einem dritten Orte kann das Wasser nicht eindringen, entsteht folglich auch kein Hohlraum. Hier müßte die Temperatur bis in die größten Tiefen constant sein. Dieser Fall ist bis jetzt noch nicht beobachtet worden, spricht daher gleichfalls gegen die Senkungstheorie.

Wäre die Senkung großer Gebirgsmassen die Ursache der Erdwärme, so müßten unter der Oberfläche an sehr vielen Orten und in sehr verschiedenen Tiefen Schichten sein, die vorzugsweise durch den Stoß erwärmt worden sind. Unter diesen und über diesen müßte die Temperatur abnehmen, da sie ja die Erwärmungscentra bilden. Und es ist gewiß nicht Zufall, daß man bis jetzt auch einen solchen Fall nicht constatiren konnte.

Wollte man die Temperatur heißer Quellen, wie das Mohr in seiner ersten Auflage thut, durch die Reibung, welche das Regenwasser beim Eindringen in die Erde erfährt, erklären, so kommt man auf so winzige Temperaturerhöhungen, daß man sogleich von dieser Erklärung absteht. Mohr sagt daher in seiner zweiten Auflage: „Die mechanische Arbeit des fließenden Wassers reicht nicht hin, die Wärme durch Reibung zu erklären.“*) Fünf Zeilen weiter heißt es aber: „Es ist demnach die Entstehung der warmen Quellen als genügend erklärt anzusehen.“ Und wodurch genügend erklärt? Dadurch, daß das Wasser bei seinem Eindringen in die Erde diejenige Wärme aufnimmt, die durch Senkung großer Gebirgsmassen entstanden ist. Wer das Beispiel, das wir zuletzt ausrechneten, genau ansieht und sich vergegenwärtigt, daß die Temperatur an der Oberfläche nach der Tiefe stetig zunimmt, daß also, wenn die Temperaturerhöhung wirklich durch den Fall großer Gebirgsmassen erzeugt worden ist, die entstandene

*) Mohr, 2. Aufl. Seite 208.

Wärme sich bereits gleichmäßig bis zur Oberfläche verbreitet haben muß, dem wird es ohne weitere Rechnung sehr unwahrscheinlich vorkommen, daß durch das Fallen großer Gebirgsmassen die Temperaturzunahme nach der Tiefe erklärt werden kann. Um die Unhaltbarkeit der Einsturztheorie über allen Zweifel zu erheben, lösen wir folgende Aufgabe. Wir wissen daß das Bohrloch bei Sperenberg 4052 Fuß (annähernd 1287 Meter) Tiefe erreicht, daß die Temperatur in dieser Tiefe 48° Cels. beträgt und daß die Temperatur von der Oberfläche bis zu dieser Tiefe ziemlich stetig zunimmt. Wir fragen nun, wie hoch müßte eine 1287 Meter hohe Säule fallen, damit sie die Temperatur des Sperenberger Gesteins erhalten könnte. Wir nehmen an, die Temperatur nehme bei je 32 Meter Tiefe um 1° C. zu. Zunächst denken wir uns wieder eine Säule von 1 Quadratmeter Querschnitt und $39.33 = 1287$ Meter Tiefe. Um die ersten 33 Cubikmeter Gestein, die 85800 Agr. wiegen um einen Grad zu erwärmen, braucht man 21450 Calorien; die nächsten 33 Cubikmeter erfordern 21450.2 Calorien, damit sie 2° C. wärmer werden, die letzten 33 Cubikmeter erfordern zu einer Temperaturerhöhung von 38° C. 38.21450 Calorien.*) Die Summe aller Calorien ist 15889450. Damit nun durch das Fallen einer 1287 Meter hohen Säule die Temperatur der Säule so gleichmäßig zunimmt und schließlich so hoch wird wie bei Sperenberg, müßte die 1287 Meter hohe Gesteinsäule nicht weniger als 2014 Meter tief herabfallen**), also fast noch einmal so tief herabfallen als sie selbst hoch ist. Das Sperenberger Bohrloch steht ganz in Stein Salz. Wollen wir daher nach der Einsturztheorie die hohe Temperatur des Stein Salzes erklären, so müssen wir denken, das Stein Salz lag früher 2014 Meter höher als jetzt und ist dann allmählig, oder richtiger plötzlich in eine 2014 Meter tiefe Höhle gestürzt. Ein respectabler Sturz in eine noch respectablere Höhle. Aber die Wärmezunahme ist doch vollkommen erklärt? Allerdings, vollkommen. Nur daß solche Höhlen nirgends vorkommen, nur daß solche Höhlen auch ganz unmöglich sind. Doch unmöglich oder nicht, die Cohäsion hat auch ihren Antheil, sagt Mohr. Cohäsion? „Sowie durch Hinzutreten von Wärme

*) Die mittlere Temperatur von Sperenberg wird zu 10° C. angenommen.

**) Einfacher berechnet sich die Tiefe des Fallens aus der Gl. $s = (N - n_1) \sigma.212$, wobei σ die spec. Wärme des Gests., s die Tiefe des Fallens, N die Temperatur in der Tiefe und n_1 die Temperatur der Oberfläche ist.

Cohäsion verschwindet, ebenso muß durch Eintreten von Cohäsion Wärme austreten. Gefrieren des Wassers, KrySTALLISIREN von Salzen kann nicht stattfinden, ohne daß ebensoviel Wärme austritt, als wieder zum Schmelzen des Eises, zum Lösen der Krystalle eintreten müßte. Demnach ist jede Cohäsionszunahme mit Wärmeentwicklung verknüpft. Wir sehen den Thonschlamm der Flüsse im Meer, den Sand der Dünen, die lockeren Gehäuse der Foraminiferen im Laufe der Zeit zu Thonschiefer, Sandstein, Kalkgebirgen erstarren und es entspricht diesem Vorgange eine langsam wirkende, aber ewig dauernde Wärmeentwicklung, denn die verdichtenden, kittenden Stoffe waren gelöst in meteorischem Wasser, dessen Wärme von der Sonne abstammt und sind in feste Gesteine übergegangen.“*) Daran hat gewiß noch Niemand vor Mohr gedacht. In der That, sein Scharfsinn ist zu bewundern. Das meteorische Wasser empfängt seine Wärme von der Sonne. Bei seinem Eindringen in die Erde löst es Stoffe auf und wenn diese Stoffe später sich abscheiden, so tritt Wärme aus. Wäre diese Wärme nur nennenswerth und die ganze Schlußfolge richtig, so brauchte Mohr nach einer weiteren Wärmequelle sich nicht umzusehen. Aber Pfaff**) hat sich schon verwundert, wie Mohr nur vergessen konnte, daß das Wasser, indem es die Stoffe löst, ebensoviel Wärme diesen Stoffen entzieht als später beim Abscheiden derselben frei wird. Ist nun durch die Einsturzhtheorie die Wärmezunahme nach dem Erdinnern genügend erklärt? Mohr sagt ja.

Um die Wärmezunahme nach dem Erdinnern zu erklären, nehmen wir eine ursprünglich heißflüssige Erde an. Diese heißflüssige Erde verlor einen Theil ihrer Wärme durch Ausstrahlung in den Weltraum — der mindestens so kalt sein muß, als die niedrigste Temperatur an den Polen — und erhielt in Folge davon eine feste Kruste. Im Innern ist sie aber noch jetzt heißflüssig.

Jetzt ist es begreiflich, warum die Erde von außen nach innen wärmer wird. Ein heißer Körper, der sich in einem kalten Medium bewegt, kühlt sich bekanntlich von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte so lange ab, bis seine Temperatur mit der des Mediums übereinstimmt. Unsere Erde ist noch im Abkühlen begriffen; fortwährend wird ihr Wärme durch heiße

*) Mohr, 2. Aufl. Seite 205.

**) Allgemeine Geologie von Pfaff, Leipzig bei Engelmann. Seite 22.

Quellen und durch vulkanische Thätigkeit entzogen und diese Wärme wird nicht wieder ersetzt. So langsam schreitet aber die Abkühlung jetzt voran, daß wir kaum einen Maßstab für die Länge der Zeit haben, in welcher die Temperaturerniedrigung im Innern des ganzen Körpers nur nennenswerth wird.

War die Erde ursprünglich heißflüssig, so war alles was wir jetzt auf ihr antreffen in einem andern, total verschiedenen Zustande. Zu einer gewissen Zeit bestand ihre Atmosphäre außer Dämpfen von flüchtigen Körpern hauptsächlich aus Kohlensäure, Wasserdampf und Stickstoff. Die chemische Einwirkung der Kohlensäure und des Wasserdampfes auf die Gesteine muß damals eine sehr energische gewesen sein, weil der Wasserdampf eine überaus hohe Temperatur haben mußte. Unter der Annahme, daß das jetzige Meer $\frac{2}{3}$ der Oberfläche bedeckt und im Mittel 4000 Meter tief ist, läßt sich die Temperatur des Wasserdampfes zu der Zeit berechnen, als er im Begriffe war, sich zu Wasser zu verdichten. Diese Temperatur betrug 395° C. (entsprechend einem Druck von 280 Atmosphären).*) Dieselbe Temperatur hatte auch das Wasser, das zuerst die Erdoberfläche bedeckte. Daß Wasser von so hoher Temperatur in Verbindung mit Kohlensäure Silicatgesteine rasch zersetzt, ist durch Versuche dargethan. Zu keiner Zeit entstanden daher so viele secundäre Gesteine als damals.

Aber fragen wir uns doch zuerst, erstarrte denn die heißflüssige Erde auch von Außen nach Innen und nicht umgekehrt. Sie werden sagen, selbstverständlich von Außen nach Innen. Es haben sich aber bedeutende Stimmen für die Erklärung von Innen nach Außen erhoben. Der erste, der mit Entschiedenheit die letztere Ansicht verteidigte, war Poisson**). Ihm folgte neuerdings W. Thomson. Poisson sagt: die Theile, die an der Oberfläche durch Abkühlung zuerst fest wurden, zogen sich zusammen, wurden also dichter als ihre Umgebung und sanken in die Tiefe. Außerdem aber mußte der außerordentlich starke Druck auf die innersten Massen diese weit früher zur Erstarrung disponiren. Folglich mußte die Erde zuerst im Innern fest werden. — Die Theile der Oberfläche, die durch Abkühlung dichter und fest wurden, sanken möglicher Weise, aber sie sanken dann nicht

*) $e = [1 + 0,007153 (t - 100)]^3$ worin e Druck in Atmosphären, t Temperatur in Graden nach Celsius.

**) Naumann, Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. Seite 61.

bis zum Mittelpunkte, sondern bis zu den Regionen, die mit ihnen gleiche Dichtigkeit hatten. Aber auch nicht einmal so tief. Die Theile der Oberfläche, die zuerst fest wurden, konnten nur sehr wenig in ihrer Temperatur von der noch flüssigen Umgebung verschieden sein, denn beide waren ja denselben Abkühlungsbedingungen neben einander ausgesetzt. Sant nun die fest gewordene Masse, so kam sie sogleich in Berührung mit heißeren, nahm deren Temperatur rasch an und wurde wieder flüssig. Aber wenn auch wirklich die fest gewordene Masse tief hätte sinken können, so wäre durch Reibung während des Sinkens so viel Wärme entstanden, daß sie durch diese Wärme wieder flüssig geworden wäre. Sehen wir doch einen heißflüssigen dahin schießenden Lavaström an. Mitten im Ströme schwimmen Schollen von fester Lava und ragen hoch aus der Lava empor. Warum sinken sie nicht unter? Weil sie leichter sind als die flüssige Lava. Und warum sind sie leichter? Weil während der Erkalting Dämpfe und Gase die Lava aufgebläht haben. Wird es nicht gerade so ursprünglich an der Erdoberfläche gewesen sein? Höchst wahrscheinlich. Nur noch in höherem Grade; denn viele Körper, die jetzt fest oder flüssig sind, wie z. B. Chlor-natrium, Wasser und andere, waren damals noch gasförmig in der Atmosphäre, und die Atmosphäre hielt damals nicht einer 76 Cent. hohen, sondern mindestens einer 280 . 70 Cent. hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht. Bei so hohem Drucke wurde die geschmolzene Masse mit Gasen und Dämpfen imprägnirt, die sich beim Festwerden der Masse ausschieden und diese aufblähten.

So lange die Erde noch heißflüssig war und eine sehr hohe Temperatur hatte, fand eine fortwährende Circulation der Massentheilen von der Oberfläche nach dem Innern zu und umgekehrt statt, eine Circulation, die noch begünstigt wurde durch die gewaltigen Fluthwellen, welche durch die Anziehung des Mondes und der Sonne hervorgebracht wurden. Ohne diese Circulation wäre es nicht zu begreifen, wie die schweren Metalle, Gold, Platin und andere an die Oberfläche gekommen sein sollten. Durch diese Circulation wurde aber auch die Temperatur des Erdinnern im Laufe der Zeiten bedeutend erniedrigt. Die Abnahme der Temperatur hatte eine Volumenverminderung der Erde im Gefolge. Um eine Vorstellung von dieser Volumenverminderung zu bekommen, müssen wir den Ausdehnungscoefficienten der Gesteine wissen, d. h. wir müssen wissen, um

wieviel die Einheit der Längendimension eines Gesteinskörpers sich verkürzt, wenn dieser Körper 1° kälter wird. Für Glas ist der Ausdehnungscoefficient gleich 0.000008*). Legen wir diesen Coefficienten auch den Gesteinen der Erde unter, so mußte der Durchmesser der Erde, bei einer Länge von 12762144 Meter um 10210 Meter verkürzt werden, wenn die Temperatur der ganzen Erde um 100° C. sich verminderte. — Sobald sich einmal eine erste Kruste gebildet hatte, schritt die Abkühlung im Innern äußerst langsam voran. In Folge davon wurde auch die Circulation im Innern schwächer und schwächer.

Die erste Kruste war noch ganz frei von Wasser. Sie wurde aber durch die vom Monde und der Sonne erzeugten Fluthwellen häufig durchbrochen.

Die Dicke der ersten Kruste nahm wahrscheinlich an der ganzen Oberfläche der Erde ziemlich gleichmäßig zu, weil sämmtliches Wasser in Dampfform die Erde umhüllte und die stärkere Ausstrahlung an den Polen verhinderte.

Die erste Kruste wurde auch durch die langsame aber stetige Abkühlung, die eine fortwährende Contraction im Gefolge hatte, durchbrochen. Die durch die Contraction erzeugten Spalten konnten außerordentliche Dimensionen annehmen, wie folgendes Beispiel zeigen wird. Nehmen wir an, zur Zeit als die Erdoberfläche eine Temperatur von 800° C. hatte, war der Durchmesser der Erde 12777144 Meter. Berechnen wir nun, um wie viel sich ein größter Kreis der festen Oberfläche verkürzen mußte, wenn die Temperatur von 800° C. auf 400° herabsank, und suchen wir dann den Umfang des größten Kreises in der Tiefe, der mit dem verkürzten an der Oberfläche gleiche Länge hat, so finden wir leicht die Tiefe der durch die Contraction erzeugten Spalte, gleich**) 20024 Meter. Der Umfang des größten Kreises an der Oberfläche wurde um 128450 Meter verkürzt. Es leuchtet ein, daß durch diese Contraction die ganze Erdoberfläche nach den verschiedensten Richtungen von Spalten durchzogen in Theile abgetheilt wurde***), die zu Niveaudifferenzen Veranlassung geben mußten. Lange also, ehe das Wasser auf der Oberfläche sich sammeln konnte, waren gewaltige Berge und Thäler entstanden.

*) Eisenlohr, Physik, 7. Aufl. S. 369.

**) $T = d_1 \cdot 0,000008 \cdot 200$, worin T die Tiefe der Spalte und d_1 der Durchmesser vor der Contraction ist.

***). Siehe darüber auch Pfaff. Allgemeine Geologie S. 193.

Als endlich die Oberfläche sich bis zu 395° C. abgekühlt hatte, begann das Wasser sich in den Thälern zu sammeln und auf die Gesteine einzuwirken.

Von nun an schritt die Abkühlung an der Oberfläche rascher voran; denn nicht nur wurde die Ausstrahlung wegen des verminderten Wasserdampfes stärker, das am meisten abgekühlte Wasser sank auch stets, wegen seiner größeren Schwere, auf den Boden der Oeeane und kühlte hier energisch ab.

Durch eine Abkühlung von 395° bis auf 10° C. konnten bei einem Durchmesser von 12769644 Meter wieder Spalten von 19672 Meter Tiefe entstehen. Daß dadurch das Spiel der Hebungen und Senkungen fortgesetzt wurde, versteht sich ganz von selbst. Und es ist begreiflich, daß die muldenförmigen Vertiefungen, hervorgebracht durch das Sinken bedeutender Erdmassen, größer sein mußten als die Erhebungen, die durch den Seitendruck entstanden. So ist denn die mittlere Höhe der Continente nach Humboldt auch nur 300 Meter, während die mittlere Tiefe der Oeeane ungefähr 4000 Meter beträgt.

Da wo die Einsenkungen am tiefsten waren, mußten die Hebungen auch die größte Höhe erreichen. Daher kommt es, daß der tiefere stille Oeean von steileren Gebirgsketten begrenzt ist als der flachere atlantische Oeean. So ist das Appalachische Gebirg in Nordamerika, desgleichen das Brasilianische Küstengebirg in Südamerika, den atlantischen Oeean begrenzend, unbedeutender als die den stillen Oeean begrenzenden Gebirge der Anden und des Felsengebirgs. Ebenso ist das Himalaja-Gebirg mit seinen Paralleletten, dem Oeeane zugewandt, größer als der Altai, der nach dem flacheren Eismeer sieht. Norwegen hat seine hohe Gebirgskette an der Küste des atlantischen Oeeans und es ist am leichtesten Finnischen Meere ganz flach.

Da die hohen Küstengebirge durch den Seitendruck entstanden, den keilförmig sich senkende Massen auf die Ränder ausübten, so müssen diese Gebirge nach der Landseite hin sanft absteigen. Und auch das bestätigt die Erfahrung im Allgemeinen.

Sie fragen, bei welcher Temperatur konnten organische Geschöpfe schon gedeihen?

Diese Temperatur ist höher als Sie vermuthen dürften. Sonnerat und Prevost sahen in Ostindien den Biter Agnus castus bei einer Quelle

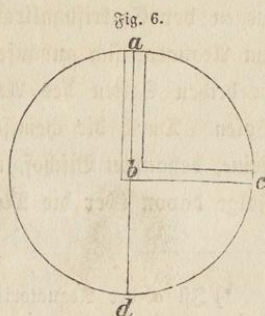
von 61°, auf der Insel Luzon sogar an einem 69° warmen Bache ge-
deihen. *) Die Ufer dieses Baches waren mit grünendem Rasen bekleidet
und diese und andere Pflanzen streckten ihre Wurzeln in das heiße Wasser,
in dem sogar mehrere Fischarten sich tummelten. Forster fand den Vitec
am Fuße eines Vulkans der Insel Tanna in einem 80° warmen Boden.
Desfontaines fand mehrere Pflanzen in der Nähe der 77° warmen Quelle
von Bona in der Berberch. Nach Adanson wachsen am Senegal verschie-
dene Pflanzen und bleiben grün, obgleich ihre Wurzeln in einem Sande
stecken, dessen Wärme manchmal 61° beträgt. Die Oscillaterien leben in
heißen Quellen von 46 bis 60°. Conserven finden sich in siedend heißen
Quellen. Dunbar und Hunter fanden an der Grenze der Vereinigten
Staaten einige 40 bis 50° warme Quellen, in denen nicht nur Conserven,
Kräuter, Gebüsch und Bäume wuchsen, sondern auch Muscheln lebten.
Eine ganze Reihe von Beispielen könnte noch angeführt werden, welche alle
dathun, daß bei so hoher Temperatur organische Geschöpfe existiren
konnten. Die Existenzbedingungen organischer Geschöpfe waren mithin,
wenn die Sonnenstrahlen die immer noch wasserdampfreiche Atmosphäre
zu durchbringen vermochten, schon in sehr früher Zeit vorhanden.

Sie werden denken, aus der Annahme eines heißflüssigen Urzustandes
der Erde kann man manche interessante Folgerungen ziehen, die auch mit
der Erfahrung im Allgemeinen übereinstimmen; welches sind aber die
weiteren Thatfachen, die so unmittelbar auf eine geschmolzene Erde hin-
weisen, wie die Thatfache der fortwährenden Wärmezunahme nach dem
Erdinnern?

Solcher Thatfachen gibt es noch mehrere. Die erste, die ich anführen
werde, war für einen Newton zur Annahme eines heißflüssigen Urzustandes
der Erde allein hinreichend. Wie bekannt hat die Erde nicht voll-
kommen die Gestalt einer Kugel. Sie ist an den Polen abgeplattet. Die
Form der Erde kommt einem Rotationssphäroid am nächsten. Wie könnte
aber die Erde an den Polen abgeplattet sein, wenn sie ursprünglich starr
war? Einen festen Körper mögen wir um eine Axe drehen so schnell wir
wollen, er wird seine Gestalt nicht ändern; anders ist es mit einem flüssigen.
Ich nehme hier ein Gefäß mit Wasser und gieße Del hinein. Das fette

*) Bischof, Wärmelehre des Erdinnern.

Del breitet sich auf dem Wasser aus, weil es leichter ist, ohne sich mit ihm zu vermischen. Gieße ich Alkohol hinzu, der leichter ist als Wasser und als Del, so mischt sich der Alkohol mit dem Wasser, nicht aber mit dem Del. Durch fortgesetztes Eingießen von Alkohol mache ich die Dichtigkeit des Gemisches von Wasser und Alkohol so groß, als die Dichtigkeit des Dels. Jetzt nimmt das Del, weil es den Anziehungskräften seiner Massentheilen überlassen ist, Kugelgestalt an. Unsere Erde frei im Weltenraume schwebend und den Anziehungskräften ihrer Massentheilen überlassen, mußte, wie dieses Del, Kugelgestalt annehmen. Stecke ich einen hölzernen Stift durch die Delfugel und drehe sie vorsichtig um diesen Stift, so plattet sie sich an den Polen ab und wird am Aequator dicker. Die nämliche Form mußte auch die Erde, die sich ja um eine Aze dreht, in ihrem heißflüssigen Zustande annehmen, und als sie allmählig erstarrte, mußte sie diese Gestalt, die Rotationsphäroid genannt wird, beibehalten. Der Grund der Abplattung einer um eine Aze gedrehten flüssigen Kugel liegt in der Centrifugalkraft. Die Mechanik gibt bei der Annahme, daß die Erde, als sie sich formte, flüssig war, die Mittel an die Hand die Größe der Abplattung zu berechnen. Das Problem, an dem sich die größten Mathematiker versucht haben, gehört zu den schwierigeren Problemen der Mechanik und kann in seinen Grundprincipien hier nur angedeutet werden. Sie wissen, unsere Erde dreht sich in 24 Stunden einmal um ihre Aze. Ein Körper am Aequator verliert dadurch etwas wenn auch nicht viel von seinem Gewichte ($\frac{1}{289}$ seines Gewichtes). Drehte sich die Erde 17mal so schnell als sie sich wirklich dreht, so würde ein Körper am Aequator sein ganzes Gewicht verlieren. Es könnte dort ein Mensch nicht mehr fallen, aber auch nicht mehr gehen; es käme ihm vor, als schwebte er in der Luft und könnte nur noch die Glieder nach allen Seiten bewegen, könnte aber weder rückwärts noch vorwärts fort kommen. Denken sie sich in der Erdkugel acd Fig. 6. zwei Flüssigkeitssäulen ab und bc , welche mit einander in Verbindung stehen. Indem die Kugel um ad gedreht wird, wird das Gewicht der Flüssigkeitssäule bc wegen der Centrifugalkraft leichter. Da die Säule ab an Gewicht nichts verliert und beide Säulen in Verbindung stehen,



so ist der Gleichgewichtszustand gestört. Damit er wieder hergestellt werde, muß die Flüssigkeit in der Säule *ab* sinken und in der Säule *bc* steigen. Laplace fand durch Rechnung die Größe der Abplattung*) unserer Erde gleich $\frac{1}{295}$ und Ivory, der die Untersuchungen von beschränkenden Voraussetzungen möglichst frei durchführte, fand sie gleich $\frac{1}{289}$. Dies stimmt aber mit dem aus mehreren Messungen gefolgerten Resultate, nach Bessel $\frac{1}{299}$, so genau überein, als man bei der Schwierigkeit des Problems nur immer erwarten darf.

Aber werden Sie fragen, kann die Erde nicht auf eine andere Weise abgeplattet worden sein? Allerdings, sagt Bischof**), sie kann nicht nur, sie ist auf eine andere Weise abgeplattet worden, wenn sie überhaupt abgeplattet ist, und zwar durch Erosion (mechanisches Abreiben). Wie kann aber das ruhige Meereswasser den Meeresboden erodiren? — Wäre das Wasser am Boden ruhig, so könnte eine Erosion nicht stattfinden. Sie wissen aber, daß es im Meere Stömungen gibt und wenn diese Strömungen am Meeresboden hingehen, so müssen sie diesen, da er uneben ist und der Strömung wahrscheinlich einen ungleichen Widerstand darbietet, erodiren. Es ist zwar noch nicht ausgemacht, welche und wie viele Strömungen bis zum Meeresboden hinabreichen, aus der Anwesenheit organischer Geschöpfe in großen Tiefen scheint indessen hervorzugehen, daß einige Strömungen bis zum Meeresboden reichen. Nehmen wir an, es sei so. Nehmen wir mit Bischof weiter an, die Erde sei ursprünglich „kugelförmig“ und mit Wasser ganz bedeckt gewesen, so fragt es sich, welche Form mußte sie annehmen, wenn das Wasser erodirend auf sie einwirkte. Zunächst mußte wegen der Centrifugalkraft das Wasser von den Polen zurücktreten und am Aequator sich anhäufen. Strömungen konnten folglich nur das Land zu beiden Seiten des Aequators erodiren, nicht aber das Land an den Polen. Durch die chemische Einwirkung des Wassers auf zersehbare Gesteine, behauptet Bischof, nahmen diese an Volumen zu und erhoben sich in Folge davon über die Meeresfläche***). Bedenken wir, daß z. B. die Zu-

*) Ist *a* der Aequatorialdurchmesser, *b* der Polardurchmesser so nennt man $\frac{a-b}{a}$ die Abplattung.

**) Bischof, Gestalt der Erde und des Meeresbodens.

***) Bischof, Geologie und Gestalt der Erde.

nahme des Volumens der Lava bei vollständiger Zersetzung derselben das 1,77 bis 2,43fache, und daß die Volumenzunahme krystallinischer Silicatgesteine (Granit, Gneiß etc.) das 1,3 bis 1,65fache des ursprünglichen Volumens beträgt, so können wir die Erhebung ganzer Länder aus diesem Gesichtspunkte zunächst gelten lassen, selbst wenn wir wissen, daß der größte Theil der auf der Oberfläche befindlichen krystallinischen Gesteine nur zum kleinsten Theil oder gar nicht zersetzt ist. Nur müssen wir uns wundern, warum nicht auch der Meeresboden, der doch am längsten und energischsten der zersetzenden Wirkung des Wassers ausgesetzt war, sich gleichfalls erhoben hat.

Was Bischof zur Annahme einer ursprünglich kugelförmigen Erde führte, das sind die bekannt gewordenen Tiefenmessungen. Sieben Punkte gibt es auf dem Meeresboden unter $36^{\circ} 49'$ bis $78^{\circ} 53'$ Br. und $8^{\circ} 44'$ bis $149^{\circ} 14'$ W. L. und $5^{\circ} 56'$ bis $118^{\circ} 55'$ D. L., welche vom Mittelpunkte der Erde nahezu gleichweit abstehen, mithin Radien einer nicht abgeplatteten Kugel sein sollen. Gewiß kann man auf dem festen Lande mehr als die dreifache Anzahl solcher Punkte finden und doch wird es Niemanden einfallen hieraus auf eine ursprünglich kugelförmige Erde zu schließen. Sieben Punkte auf dem Meeresboden, die gleichweit vom Mittelpunkt abstehen, beweisen nichts. Aus 7 Punkten kann man auch nicht im entferntesten ein annäherndes Bild von der Gestalt des Meeresboden erhalten. Das hat auch Bischof gefühlt, indem er sagt: „Sollten Peilungen innerhalb der Aequatorialzone noch mehr Punkte am Meeresboden liefern, die gleichweit vom Mittelpunkt der Erde abstehen, so würde man mit großer Wahrscheinlichkeit schließen können, daß der ganze ursprüngliche Erdkern kugelförmig, aber mit einer concentrisch ellipsoidischen Wasserhülle umgeben war und noch ist.“*)

Mohr, der die Abplattung der Erde nicht läugnet, fühlte wohl, daß, wenn durch die Centrifugalkraft das Wasser von den Polen zurücktritt, das Land um die Pole unmöglich erodirt werden könne. Er fügte also hinzu: „Alle Gebirge, die aus dem Meere hervorragen, sind der Verwitterung durch Wasser und Luft ausgesetzt, besonders aber durch Gletscherbildung und Senken des Gletschereises. Diese Gletscherwirkung ist um so ge-

*) Bischof, Gestalt der Erde.

waltiger und tiefer hinabgehend, als die Gebirge den Polen näher liegen.“ Es ist richtig, daß die Mächtigkeit und Verbreitung der Gletscher wächst mit der Höhe und Ausdehnung der Gebirge und mit ihrer Entfernung vom Aequator. Am Pole müssen demnach unter sonst gleichen Umständen die Gletscher die größte Mächtigkeit erreichen. Ein Gebirg an den Polen, das $1\frac{1}{2}$ Meilen über die Meeresfläche sich erhebt, muß demnach mit einer ungewöhnlich dicken Eisschicht überzogen sein. Da nun alle Gletscher sich bewegen, freilich äußerst langsam sich bewegen, so könnte man leicht glauben, daß die durch sie hervorbrachte Erosion um so stärker sein müßte, je mächtiger die Gletscher selbst sind. Das ist keineswegs unter allen Umständen der Fall. Das weiche Eis vermag auch unter dem stärksten Drucke nicht in einen harten Felsen zu bringen oder ihn abzuschleifen. Wer nur oberflächlich die Gletscher in den Alpen untersucht hat, wird das wissen. Die Erosion durch Gletscher in den Alpen beruht auf einem anderen Umstände. Die vielen steilen, fast senkrecht aufsteigenden Berggipfel sind nur wenig oder theilweise mit Schnee bedeckt. Werden sie am Tage von der Sonne erwärmt, so schmilzt ein Theil des Schnees und das entstehende Wasser dringt in die Spalten. Hier gefriert es, sowie die Sonne verschwunden ist, und sprengt, weil es sich ausdehnt, große und kleine Blöcke ab, die herab auf den Gletscher fallen. Im Fallen zertrümmern sie andere Gesteine und führen sie mit sich auf den Gletscher, der sie allmählig nach dem Thale bringt. Der Gletscher aber ist von Rissen und Sprüngen namentlich da durchzogen, wo er seine Neigung plötzlich ändert. In diese Risse fällt ein Theil der Steine. Die kleineren kommen auf den Boden, die größeren nicht oder nicht immer. Bei dem Weiterücken des Gletschers schließen sich die meisten Spalten, wenn die Neigung des Gletscherbettes sich nicht oder sehr wenig ändert. Jetzt liegen unter dem Gletscher scharfkantige große und kleine Steine, auf welchen der Gletscher mit seiner ganzen Last ruht, die er bei seiner Bewegung fortschiebt. Diese reißen den Boden auf, nicht aber das Gletschereis. Wenn nun an den Polen, nachdem sich das Wasser wegen der Centrifugalkraft zurückgezogen hatte, Gletscher entstanden, so bedeckten sie ein ziemlich glattes Gebirg, das frei von jenen Bergzacken war, die dem mächtigen Gobel die wirksamen Steine liefern. Die mächtige Eisdecke war daher ganz geeignet das darunter liegende Gebirg vor Erosion zu schützen.

Mohr, nachdem er einmal der Phantasie freien Flug gestattet, spricht ein großes Wort gelassen aus, indem er zuletzt sagt: „Welche Gestalt auch die Erde einmal gehabt haben möge, man gebe ihr Wasser und eine Rotation um ihre Achse, so muß sie zuletzt auf das abgeplattete Sphäroid herauskommen.“

Sehen wir uns auch einmal auf andern Weltkörpern um. Sehen wir zu, ob auch sie abgeplattet sind und ob auch bei diesen das Wasser die Ursache gewesen sein kann. Die Abplattung eines Planeten durch die Centrifugalkraft muß um so größer sein, je größer sein Halbmesser und je kleiner seine Rotationszeit ist. Die beiden Planeten Jupiter und Saturn, die größten des Planetensystems, haben einen weit größeren Halbmesser und eine weit kürzere Rotationszeit als unsere Erde, folglich müßten sie auch weit stärker abgeplattet sein als unsere Erde. Und sie sind es auch.*) Der Aequatorialhalbmesser des Jupiter beträgt nach Arago 9530 Meilen, ist also 11 mal größer als der Halbmesser unserer Erde, und dennoch rotirt dieser große Planet in der kurzen Zeit von 9 Stunden und 55 Minuten um seine Aye. Nach Bessel mißt der Aequatorialhalbmesser des Saturn 7840 Meilen, übertrifft also mehr als 9 mal den Halbmesser unserer Erde, während sich seine Rotation in 10 Stunden 29 Minuten vollzieht. In Folge dieser Verhältnisse beträgt die Abplattung beim Jupiter $\frac{1}{17}$ und beim Saturn $\frac{1}{10}$, d. h. also der Polarhalbmesser des Jupiter verhält sich zu dem Aequatorialhalbmesser wie 16:17, und der Polarhalbmesser des Saturn verhält sich zum Aequatorialhalbmesser wie 9:10, während dieses Verhältniß bei unserer Erde das von 298:299 ist. Jeder Pol des Jupiter liegt mithin um 555 und jeder Pol des Saturn um 770 Meilen dem Mittelpunkte seines Planeten näher als irgend ein Punkt des betreffenden Aequators. Wollte nun Mohr seine Theorie der Abplattung auch auf diese beiden Planeten (die vielleicht auch jetzt noch heißflüssig sind) anwenden, so müßte er auf ihnen, gleichwie auf unserer Erde, einen starren ursprünglich kugelförmigen Kern annehmen, welcher anfangs von einem tiefen ähnlich gestalteten Meere umfluthet wurde, wobei freilich das starre Material des Kerns, ebenso wie das flüssige Material des Meeres eine von den Gesteinen und von dem Meere unserer Erde himmel-

*) S. Neues Jahrbuch für Mineralogie 3. Heft. 1871. Aufsatz von Raumann.

weit verschiedene Beschaffenheit gehabt haben müßte, weil die mittlere Dichtigkeit des Jupiter nur $\frac{1}{4}$ und jene des Saturn nur $\frac{1}{7}$ der mittleren Dichtigkeit unserer Erde beträgt.

Die mittlere Dichtigkeit der Erde ist 5,5. Die mittlere Dichtigkeit der Gesteine an der Oberfläche etwa 2,6. Wäre die Erde ursprünglich vollkommen starr gewesen, so könnte man sich diese Thatfache nur durch die Annahme erklären, daß die Erde irgendwo in der Tiefe Massen von bedeutend größerer Dichtigkeit berge. Solche Massen würde aber das Pendel durch eine größere Anzahl von Schwingungen leicht verrathen. Bei der Annahme einer ursprünglich heißflüssigen Erde ist das hohe specifische Gewicht der Erde leicht zu verstehen; nach dem Gesetz der Schwere mußten die specifisch schwereren Theile nach dem Mittelpunkte, die specifisch leichteren Theile nach der Oberfläche kommen. Will man aber das nicht streng gelten lassen, weil durch die Strömungen auch schwerere Theile nach der Oberfläche geführt werden mußten, so kann man doch nicht läugnen, daß trotz der Strömungen die Dichtigkeit nach dem Mittelpunkte hin im Allgemeinen eine etwas größere sein mußte als nach der Oberfläche hin. Bedenkt man den ungeheuren Druck, dem die dem Mittelpunkte näheren Theile ausgesetzt waren und noch sind, so mußte, selbst in einer ganz homogenen flüssigen Masse, durch Compression nach dem Mittelpunkte hin eine größere Dichtigkeit entstehen. Und es ist nicht unwahrscheinlich, daß der hohe Druck, dem die dem Mittelpunkte näheren Theile ausgesetzt waren, diese wie Poisson angibt, zum Festwerden disponirte. Es ist daher durchaus nicht unmöglich, daß unsere Erde aus einem sehr heißen festen Kern, aus einer minder heißen flüssigen Kugelhülle und aus einer kalten Oberfläche besteht.

Es wurde vorhin des Pendels gedacht. Die Anzahl der Schwingungen, die ein Pendel an einem bestimmten Orte macht, läßt sich vermittelst des Gravitationsgesetzes und einer gewissen Annahme über die Lagerung der Schichten im Erdinnern berechnen. Sie läßt sich aber auch direct beobachten. Wenn man nun der Berechnung die Annahme zu Grunde legt, daß die Erde aus concentrischen Schichten von stetig zunehmender Dichtigkeit besteht, so stimmen die Beobachtungsergebnisse mit den Resultaten der Rechnung genügend überein, sonst nicht. Wenn man also eine kalte Erde ursprünglich voraussetzt, so muß man zu der weiteren Hypothese seine Zuflucht nehmen, daß diese kalte Erde aus concentrischen homogenen Schichten von zunehmen-

der Dichtigkeit besteht. Bedenken Sie, daß der Hypothese von einem heißflüssigen Urzustande der Erde auch nicht eine einzige Thatsache widerspricht, so müssen Sie zugestehen, daß sie eine sehr wohlbegründete ist.

Sie werden fragen, woher kommt es, daß die Erde ursprünglich heißflüssig war? Sie war heißflüssig, weil sie von einem heißflüssigen Körper — der Sonne — abgeschleudert worden ist.

Die Spectralanalyse*) gestattet uns, mit der größten Sicherheit nachzuweisen, daß in der Sonne, die 147 Millionen Kilometer von uns entfernt ist, fast alle Elemente vorkommen, die auch unsere Erde besitzt. Kirchhoff war der erste, welcher diese Entdeckung, die von außerordentlicher Tragweite ist, machte.***) Die Entdeckung gründet sich auf die dunklen Linien des Sonnenspectrums. Ein glühendes Gas absorbiert nämlich genau die Strahlen, welche es ausstrahlt. Der glühende Sonnenkern sendet Strahlen von allen Elementen aus, aus denen er besteht. Diese Strahlen gehen durch die minder heiße Atmosphäre der Sonne, in der sich auch noch viele Elemente im dampfförmigen Zustande befinden und werden hier absorbiert, sie erscheinen also im Spectrum als schwarze Linien. Die Sonne muß, weil sie in ihrer Atmosphäre glühende Eisendämpfe hat, eine sehr hohe Temperatur haben. Nehmen wir an, die Sonne und alle Planeten waren ursprünglich in einem staubförmigen Zustande im Weltraum, so können wir unter der Voraussetzung, daß diese staubförmige Masse eine eigene Drehung um eine Axe besaß, die hohe Temperatur der Sonne und den Ursprung der Planeten erklären. Nach dem Gravitationsgesetz ist die Größe der Anziehung zweier Massentheilchen direct proportional ihrer Masse und umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung. Da nun die resultirende Kraft durch den Mittelpunkt des Systems geht, so wurden alle Theilchen, wie weit sie auch entfernt waren, nach dem Mittelpunkte hingezogen. Waren die Massentheilchen so fein vertheilt wie die feinsten Nebelmassen, die wir jetzt noch im Weltraume sehen, so wogen viele Millionen Cubikmeilen noch nicht einen Gramm. In diesem Falle näherten sich die Massentheilchen anfangs sehr langsam dem Mittelpunkte.

*) Siehe darüber Schellen oder Roscoe, die Spectralanalyse.

**) Mit Sicherheit sind in der Sonnenatmosphäre nachgewiesen: Natrium, Baryum, Calcium, Magnesium, Eisen, Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Strontium, Cadmium, Cobalt, Wasserstoff, Mangan, Aluminium, Titan.

Allmählig eilten sie schneller und schneller, zuletzt stürzten sie mit solcher Energie nach dem Mittelpunkte, daß ein Erschütterungszustand der heftigsten Art entstehen mußte. Die durch diesen Ballungsact erzeugte Arbeit wurde in Wärme größtentheils umgesetzt und diese Wärme betrug nach Redtenbacher*) 180 Millionen Grade C., vorausgesetzt daß die specif. Wärme von 1 Kg. der sich ballenden Masse 0,2 und daß die Anfangstemperatur 0° C. war. Diese ungeheure Temperatur, bei der alle Massentheilechen nur gasförmig bestehen konnten, war selbst das größte Hinderniß der Vereinigung zu einer dichteren Masse. Indem aber die staubförmige kalte Masse in eine heiße und weit dichtere überging, wurde die Rotation, die wir ursprünglich vorausgesetzt haben, größer und größer und schließlich so groß, daß ein Körper am Aequator durch die Centrifugalkraft sein Gewicht verlor. Die geringste Kraft reichte jetzt hin ihn abzuschleudern. Diese Kraft konnte eine Eruption, konnte auch die vermehrte Centrifugalkraft sein. Nur auf diese Weise erklärt es sich, daß alle Planeten ohne Ausnahme in derselben Richtung um die Sonne kreisen, während doch die Kometen bald nach dieser, bald nach der entgegengesetzten Richtung um die Sonne laufen. Nur auf diese Weise erklärt es sich, daß alle größeren Planeten fast in ein und derselben Ebene, in der Ebene des Sonnenäquators, sich um die Sonne bewegen und daß sich alle wie die Sonne selbst von West nach Ost drehen. Auch ist es jetzt nicht Zufall, daß die Erde im Allgemeinen dieselben chemischen Elemente enthält wie die Sonne, es ist Nothwendigkeit.

Fassen wir noch die Erscheinungen auf dem Monde ins Auge und vergleichen sie mit denen unserer Erde. Der Mond hat keine, oder doch nur eine äußerst dünne Atmosphäre; denn die Lichtgrenze desselben ist scharf abgegrenzt, das hellste Licht der einen Seite geht unmittelbar in das tiefste Dunkel der anderen Seite über.**). Bei viel entfernteren Himmelskörpern sehen die Astronomen an der Grenze eine deutliche Abstufung des Lichtes, beim näheren Monde nicht. Die Fixsterne treten mit ganz ungeschwächtem Lichte bis an den Mondesrand und verschwinden dann plötzlich, zum Beweise, daß selbst die dem Monde am nächsten, mithin dichtesten Schichten seiner Atmosphäre so durchsichtig und fein sind, daß sie mit denen unserer Luft nicht weiter verglichen werden können.

*) Redtenbacher, Maschinenbau Bd. 2. S. 286.

**) Siehe Littrow, Wunder des Himmels.

Wäre auf dem Monde eine nur einigermaßen dichte Luftschicht, so müßte wegen der Refraction die beobachtete Dauer einer durch den Mond bewirkten Sternbedeckung von der leicht zu berechnenden bedeutend abweichen. Eine Abweichung findet aber keineswegs statt. Wo aber keine Atmosphäre ist, da kann auch kein Wasser sein, weil dieses sofort verdunsten müßte. In der That, man kann auf dem Monde nichts bemerken, was mit unsern weit ausgedehnten glatten Meeresflächen verglichen werden könnte. Die großen grauen Stellen des Mondes, die man mit dem Namen Meere belegt hat, sind voll von kleinen Erhabenheiten und Vertiefungen und können mit der Oberfläche unseres Meeres durchaus nicht verglichen werden. Die ganze Oberfläche des Mondes ist dicht besät mit Bergen und Thälern, die von großen und heftigen Eruptionen und Erschütterungen zeugen.

Um diese Erscheinungen zu erklären nimmt man zu einem heißflüssigen Ursprung des Mondes seine Zuflucht. Der Mond wurde von der Erde abgeschleudert und befand sich daher zu einer gewissen Zeit in einem ähnlichen Zustande wie jetzt unsere Erde. Bei den Eruptionen unserer Vulkane spielen erfahrungsgemäß Wasserdämpfe eine Hauptrolle; bei den früheren Eruptionen der Mondvulkane muß es wohl auch so gewesen sein. Wasserdampf entsteht aber aus Wasser. Und wenn der Mond jetzt kein Wasser mehr hat, während er es doch früher gehabt haben muß, so fragt es sich, wo ist es hingekommen? Setzen wir voraus, der Mond habe seine ursprüngliche Wärme größtentheils in den Weltraum ausgestrahlt, so läßt sich diese Frage so beantworten. Eine geschmolzene Masse, die ihre Wärme allmählig verliert, zieht sich fortwährend zusammen. In Folge davon bekommt sie nach allen Richtungen Risse und Sprünge, die theils groß, theils klein sein werden. Ein so bewegliches Element wie das Wasser, das den dichtesten Basalt und bei starkem Drucke Metalle zu durchdringen vermag, muß sofort in die Risse und Spalten eindringen, und weil es nach Voraussetzung in den größten Tiefen nicht mehr in Dampf von starker Spannung verwandelt werden kann, sich mehr und mehr dem Mittelpunkte nähern, folglich von der Oberfläche verschwinden. Was vom Wasser in dieser Beziehung gilt, gilt auch von der Luft. Die Gegenwart von Wasser und Luft an der Oberfläche der Erde scheint mir daher ein Beweis dafür zu sein, daß in der Erde eine repulsive Kraft existirt, die das Wasser und

die Luft verhindert tiefer einzubringen. Sonst ist nicht einzusehen, warum das Wasser, durch Spalten und Risse und durch die festen Körper selbst, nicht tiefer nach dem Mittelpunkte eindringen sollte, was um so leichter geschehen könnte, als das Meer an manchen Stellen 17000 Meter tief ist. Bei so ungeheurem Druck würde das Wasser nicht nur durch Basalt, es würde selbst durch Metalle hindurchgedrückt. Will man nicht annehmen, daß die Erde bis zum Mittelpunkte hin mit Wasser getränkt ist — so bleibt nichts übrig, als die Annahme eines heißflüssigen Erdinnern, weil sonst keine Kraft bekannt ist, die im Stande wäre das Eindringen des Wassers bis zum Mittelpunkte zu verhindern. Daraus folgt von selbst, daß die Meere in dem Maße, als die Erde sich weiter abkühlt, leichter und leichter werden, bis alles Wasser von der Oberfläche verschwunden ist. Unsere großen Wasserbecken werden dann einem Beobachter auf einem anderen Planeten vielleicht denselben Anblick bieten, den uns die Meere des Mondes gewähren. Der Beobachter würde bemerken, daß die Gebirge der Erde nach den Meeresbecken hin steil abfallen, nach der Landseite hin allmählig sich verflachen, wie wir das jetzt beim Monde so deutlich sehen.

Es bleibt mir noch übrig, das Wichtigste von dem zu erwähnen, was gegen die plutonische Erdbildungsansicht vorgebracht worden ist.

In der Geschichte der Erde von Mohr findet sich folgende Stelle*): „So war denn die allseitig zugegebene Zunahme der Wärme im Innern der Erde die einzige und letzte Stütze des Plutonismus, als ein Ereigniß eintrat, welches dieselbe auf eine grausame Weise zerstörte, nämlich die neuen Bohrungen im Steinsalzlager zu Sperenberg.“ Das Bohrloch von Sperenberg, 4042 Fuß tief, ist bis jetzt das tiefste. Es steht ganz im Steinsalz also in einem homogenen Gestein. Quellen, welche die Temperatur im Bohrloche hätten verändern können, wurden nicht entdeckt. Wenn also hier Temperaturbeobachtungen bis zu 4042 rh. Fuß mit Sorgfalt und Geschick ausgeführt wurden, so war zu erwarten, daß die Temperatur mit der Tiefe stetig zunimmt. Solche Beobachtungen sind gemacht worden und man muß gestehen, unter allen bis jetzt bekannten sind die Sperenberger bei weitem die zuverlässigsten, weil das Geothermometer, von unten und von oben durch Kautschukhüllen gegen die beständigen Strömungen im

*) Mohr, Gesch. der Erde. 2. Aufl. S. 199.

Bohrloche geschützt, die Temperatur des Gesteins während 10 Stunden annehmen mußte*). Und was ist das Resultat dieser Beobachtungen? Daß die Temperatur mit der Tiefe entschieden zunimmt. Damit aber das Gesetz der Wärmezunahme so deutlich wie möglich hervortrete, hat Herr Berg-rath Dunker mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate diejenigen Werthe berechnet, welche den absolut richtigen am nächsten kommen und da hat es sich denn gezeigt, daß die Temperatur mit der Tiefe zwar zunimmt, daß aber die Temperaturzunahme für je 100 Fuß mit der Tiefe kleiner und kleiner wird. Dieses Resultat war nicht zu erwarten; denn wenn die Erde im Innern heißflüssig ist, so muß die Temperatur bis zu sehr bedeutender Tiefe stetig zunehmen. Doch sehen wir uns erst die Dunker'sche Tabelle an.

Dunker'sche Tabelle.

Tiefe des Bohrlochs.	Beobachtete Temperatur (nach Réaum.)	Berechnete Temperatur (Réaum.)	Differenz zwischen der berechneten und der beobachteten Temperatur.	Temperaturzunahme für 200 Fuß nach der Beobachtung.	Temperaturzunahme für 200 Fuß nach der Berechnung.	Quadrate der Differenzen.
700	17,275	15,654	— 1,621	1,505	2,195	2,6276
900	18,780	17,849	— 0,931	2,367	2,094	0,8667
1100	21,147	19,943	— 1,204	0,363	1,994	1,4496
1300	21,510	21,937	+ 0,427	1,767	1,893	0,1823
1500	23,277	23,830	+ 0,553	1,464	1,793	0,2840
1700	24,741	25,623	+ 0,882	1,763	1,692	0,7779
1900	26,504	27,315	+ 0,811	2,164	1,591	0,6577
2100	28,668	28,906	+ 0,238	1,328	1,217	0,5664
3390	37,238	36,756	— 0,482			0,2323

Summa 7,6445

Die vorletzte Rubrik zeigt, wie die Temperaturzunahme für 200 Fuß kleiner und kleiner wird. Die Formel

$$T = 7,18 + 0,0129857 \cdot S - 0,00000125791 S^2,$$

nach welcher die Temperaturen berechnet worden sind, lehrt sogleich, daß in der Tiefe von 5162 rh. Fuß schon das Maximum der Temperatur, näm-

*) Ausführlich spricht hierüber Dunker in der Zeitschrift für Berg-, Hütten- und Salinenwesen. 20. Bd. S. 207 bis 238.

lich $40,695^{\circ}$ R. eintritt, daß von da an die Temperatur abnimmt, bei 10323 Fuß gleich $7,18$ ist, bei 10849 Fuß gleich Null und bei 13652 gleich -50° R. ist.

Das also ist das Ereigniß, das auf so grausame Weise die letzte Stütze des Plutonismus zerstörte. Darf man sich da wundern, wenn Vogt, noch vor Kurzem ein Plutonist, jetzt sagt*): „Die Wärme nimmt also nach unten zu, aber in stets verminderter Proportion. Wäre ein solches Resultat möglich, meine Herren, wenn im Innern der Erde eine constante Wärmequelle existirte? Wie will man dem einfachen gesunden Menschenverstande gegenüber behaupten, man müsse beim Annähern eines Fingers an eine Lichtflamme stets größere Entfernungen durchmessen, je näher man der Flamme kommt, um mehr Wärme zu empfinden? Eine Wärmequelle hätte also eine um so größere und um so intensivere Wirkung je weiter sie entfernt ist und ihre Wirkung verminderte sich in dem Maße als man sich ihr nähert u. s. w.“

Wenn Vogt oder Mohr oder sonst Jemand im Stande wäre eine Temperatur von $37,24^{\circ}$ R. in 3390 Fuß Tiefe genügend zu erklären ohne Zuhilfenahme eines heißflüssigen Erdbinnern, dann müßte man sich gewiß nicht wundern. So lange aber so hohe Temperaturen im Erdbinnern nicht auf andere Weise genügend erklärt werden können, muß man nach Gründen suchen, welche diese stets kleiner werdende Temperaturzunahme zu erklären im Stande sind.

Falß**) meint, concentrische Kugelhüllen von gleichem Inhalt, deren Temperatur nach dem Mittelpunkte hin gleichmäßig zunimmt, müßten die Eigenthümlichkeit zeigen daß die Temperaturdifferenzen für gleiche Entfernungen auf dem Radius immer kleiner würden. Das ist an sich vollständig richtig, kann aber in Sperenberg keine Anwendung finden, weil die Tiefe viel zu gering und die Temperaturdifferenzen allzusehnell abnehmen.

Das Bohrloch von Sperenberg ist mit Wasser gefüllt. Die Temperatur dieses Wassers ist an der Oberfläche am niedrigsten in der Tiefe am höchsten. Da nun, wie durch Versuche in Sperenberg bewiesen ist, das kältere und schwerere Wasser fortwährend in die Tiefe sinkt, das wärmere, leichtere dagegen in die Höhe steigt, so wird die Temperatur des

*) Ueber Vulkane, Vortrag von Vogt. Basel 1875.

**) Falß, Gedanken und Studien über den Vulkanismus. Seite 174.

Gesteins nach der Tiefe fort und fort erniedrigt, nach der Oberfläche hin dagegen beständig erhöht. Es ist aber wahrscheinlich, daß diese Veränderungen der Gesteintemperatur nicht bedeutend sind. Wird ein Thermometer in die Tiefe eines solchen Bohrlochs gebracht, so wird es von den hinabsinkenden kälteren Strömungen getroffen und es zeigt, wie die Versuche lehren, die Temperatur des Gesteins um 3 bis 4° R. zu niedrig an. Schließt man, wie das in Sperenberg geschehen ist, das Thermometer zwischen 2 mit Wasser gefüllte Kautschukhüllen, welche die Wassersäule oben und unten absperren, ein, so kann es von Strömungen direct nicht mehr getroffen werden.

Wird es jetzt die Temperatur des Gesteins genau annehmen? Nach meinem Dafürhalten nicht; denn es ist nicht von allen Seiten von Stein- salz eingeschlossen. Die untere Kautschukhülle wird bespült von Wasser, das nicht ganz die Temperatur des umgebenden Gesteins hat, die obere Kautschukhülle wird getroffen von Wasser, das etwa 3° kälter ist als das Gestein. Wenn nun das Thermometer 10 Stunden in der Tiefe bleibt, wie in Sperenberg, so muß der zwischen den Kautschukhüllen eingeschlossenen Wassersäule Wärme entzogen werden. Je größer die Tiefe ist, in der die Beobachtungen gemacht werden, desto größer ist der Fehler in der Temperatur, die das Geothermometer angibt. Doch reicht auch das nicht aus, die Temperaturen zu erklären, die aus der Dunker'schen Formel folgen.

Haben also Mohr und Vogt nicht recht? In der That, wenn die Dunker'sche Formel richtig wäre, so müßte man mit dem Plutonismus brechen; denn wir hätten dann eine Centralkälte und nicht eine Centralwärme zu erklären.

Sehen wir uns die Dunker'schen Resultate näher an, so fällt uns auf, daß die Summe der Fehlerquadrate bei 8 mit aller wissenschaftlichen Schärfe gemachten Beobachtungen 7,6445, daß also jede Beobachtung nahezu um einen Grad falsch sein soll. Noch viel auffallender ist der Umstand, daß die Temperaturdifferenzen aus den Beobachtungen gezogen bald größer bald kleiner als 1,7, aus der Rechnung genommen fortwährend von 2,195 bis 1,217 abnehmen und daß die Temperaturdifferenz zwischen Rechnung und Beobachtung einmal sogar bis auf 1,621 steigt. Das sind so auffallende Thatfachen, daß sie uns zwingen, die Rechnung noch einmal zu führen. *)

*) S. darüber meine Abhandlung in dem Jahrbuch für Mineralogie 1876. S. 270.

Tragen wir zunächst die Tiefen als Abscissen und die dazu gehörigen Temperaturen als Ordinaten auf, so sehen wir auf den ersten Blick, daß die Temperaturen auf einer geraden Linie liegen. Wenn also irgend eine Gleichung das Gesetz der Wärmezunahme ausdrücken soll, so muß es die Gleichung der geraden Linie und nicht die der Parabel sein.

Mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate findet man die Gleichung: $T = 12,273 + 0,00744925 \cdot S^*$)

Hiernach gestalten sich die Temperaturen so:

Tiefe in rh. Fuß.	Beobachtete Temperatur (R.).	Berechnete Temperatur (R.).	Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung.	Temperaturzunahme für 200 Fuß nach der Beobachtung.	Temperaturzunahme für 200 Fuß nach der Berechnung.	Quadrate der Fehler.
700	17,275	17,487	+ 0,212			0,0450
900	18,780	18,977	+ 0,197	1,505	1,490	0,0388
1100	21,147	20,467	— 0,680	2,367	1,490	0,4624
1300	21,510	21,957	+ 0,446	0,363	1,490	0,1989
1500	23,277	23,446	+ 0,169	1,767	1,490	0,0286
1700	24,741	24,936	+ 0,195	1,464	1,490	0,0381
1900	26,504	26,426	— 0,078	1,763	1,490	0,0061
2100	28,668	27,916	— 0,752	2,164	1,490	0,5655
3390	37,238	37,525	+ 0,287			0,0824

Summa 1,4658

Alle in der Dunker'schen Tabelle hervortretenden unerklärlichen Erscheinungen sind jetzt verschwunden. Die Summe der Fehlerquadrate ist 5,3mal so klein als bei Dunker, die Differenzen zwischen Rechnung und Beobachtung sind bald positiv bald negativ und erreichen nur ein einziges Mal die Größe 0,752. Der wahrscheinliche Fehler bei Dunker ist 0,7, jetzt ist er 0,3; er ist also mehr als zwei Mal so klein als bei Dunker. Die Temperaturzunahme, die nach Dunker mit der Tiefe kleiner und kleiner wird, wird jetzt größer und größer und beträgt 0,745° R. auf 100 rh. Fuß. Nicht die Bohrungen in Sperenberg also, Professor Mohr wollte dem Plutonismus die letzte Stütze rauben. Aber diese Bohrungen bestä-

*) S. die Tiefe in Fuß und T die Temperatur in Graden nach Réaumur.

tigen das Gesetz der fortwährenden stetigen Wärmezunahme auf das entschiedenste.

Man hat gesagt, wenn die Temperatur von der Oberfläche nach dem Mittelpunkte hin stets zunimmt, so muß das Wasser der Seen und Meere, namentlich wenn diese sehr tief sind, vom Boden aus stark erwärmt werden. Wenn die Temperatur bei 115 Fuß Tiefe ungefähr um 1° R. zunimmt, so muß bei einem 8000 Fuß tiefen See oder Meer einmal eine Bodentemperatur von 70° R. geherrscht haben, und wenn sie auch im Laufe der Zeit abgenommen hat, so wird sie doch immer, auch jetzt noch, merklich wärmer als die mittlere Jahrestemperatur der Oberfläche sein, mindestens kann sie nicht unter diese Temperatur gekommen sein. Die Untersuchung der Bodentemperatur sehr tiefer Seen oder Meere, meinte man, müßte daher entscheidend sein für die Richtigkeit der plutonischen Erdbildungsansicht. Die angestellten Beobachtungen zeigten aber, daß in tiefen Seen oder Meeren die Bodentemperatur weit niedriger ist als die mittlere Temperatur der Oberfläche. Der Genfer See z. B. hat am Boden, in einer Tiefe von 950 Fuß die Temperatur $4,32^{\circ}$ R., der Brienzer See in einer Tiefe von 500 Fuß die Temperatur $3,84^{\circ}$ R. *) Peron schließt aus seinen eigenen Beobachtungen und denen von Irvine und Forster: 1) daß die Temperatur des Meeres, weit von den Küsten, in jeder Tiefe niedriger als an der Oberfläche sei und mit zunehmender Tiefe immer mehr abnehme, 2) daß dies sowohl in den Eismeeen als am Aequator stattfinde, nur daß in gleichen Tiefen die Kälte in den Polargegenden verhältnißmäßig weit größer ist als unter dem Aequator. Aus den Beobachtungen von Ross, Sabine und Horner folgt dasselbe.

Auf einer Reise um die Welt in den Jahren 1823 bis 1826 hat Venz zahlreiche Temperaturbeobachtungen im Meere angestellt, aus denen sich ergibt: 1) die Temperatur des Weltmeeres nimmt von 45° n. B. bis zum Aequator bis auf 6000 Fuß Tiefe beständig ab (größere Tiefen wurden nicht untersucht); 2) die Abnahme der Temperatur geschieht anfangs schnell, wird immer langsamer und zuletzt fast unmerklich.

Der Punkt, wo die Abnahme unmerklich zu werden anfängt, scheint mit der größeren Breite mehr nach der Oberfläche zu rücken. Bei 41°

*) G. Bischof, Wärmelehre des Erdinnern.

liegt er etwa in 1200 Fuß, bei 32° in 1800 Fuß, bei 21° in 2400 Fuß Tiefe. Die niedrigste Temperatur, die Lenz in der Tiefe fand, betrug 1,76° R. Die niedrigste Temperatur, die in einer Tiefe von 3900 Fuß unter 67° n. B. von Irvine beobachtet wurde, betrug — 2° R. Einzelne Stellen im Ocean, z. B. die, wo der Golfstrom seinen Ursprung nimmt, zeigen allerdings eine bedeutend höhere Boden- als Oberflächentemperatur. Diese Stellen sind aber so selten, daß sie nicht in Betracht kommen können, um so weniger, als es wahrscheinlich ist, daß hier vulkanische Erscheinungen mitspielen. Das Gewicht all dieser Thatfachen, die unbestritten sind, war für Manche so groß, daß sie die plutonische Erdbildungsansicht über Bord warfen und zu der entgegengesetzten, zu der Annahme einer Centrafkälte im Erdinnern ihre Zuflucht nahmen. Wir wollen zusehen, ob die zuletzt vorgetragenen Thatfachen mit der plutonischen Theorie wirklich im Widerspruch sind. Nach der Art und Weise, wie ich die Bildung der Meeresbecken vorgetragen habe, ist es nach dem Früheren klar, daß an keinem Orte des Meeres ursprünglich eine viel höhere Temperatur als 395° C. gewesen sein kann. Das ursprünglich heiße Meerwasser mußte bei der fortschreitenden Abkühlung der Erdoberfläche so lange Wärme verlieren, bis die Lufttemperatur in ihr jetziges Stadium getreten war. Nun ist bekannt, daß reines Wasser seine größte Dichtigkeit bei 4° C. erlangt; von 4° aber nach 0° hin nimmt seine Dichtigkeit ab; von 4° aufwärts nimmt sie gleichfalls ab. Wasser von 0° hat gleiche Dichtigkeit mit Wasser von 8,2 C. Ich nehme nun an, ein See habe in seiner ganzen Tiefe die mittlere Jahrestemperatur der Oberfläche, etwa 9°, und empfangen vom Boden keine Wärme. Im Sommer, wenn die Oberfläche stark erwärmt wird, muß das Wasser seine Temperatur ändern, die obersten stark erwärmten Wasserschichten theilen ihre Temperatur den darunterliegenden mit. Da aber das Wasser ein sehr schlechter Wärmeleiter ist, so geht diese Mittheilung äußerst langsam vor sich. Die Beobachtungen von de la Beche haben gezeigt, daß man sich in einer Tiefe von 40 Faden = 73 Meter eine Schicht denken kann, welche als absoluter Nichtleiter der Wärme von oben nach unten zu betrachten ist. Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse im Winter. Nimmt die Temperatur der obersten Schichten ab, so sinken diese, weil ihre Dichtigkeit größer wird, so tief, bis sie Wasser von gleicher Dichtigkeit antreffen. Ist die Tempe-

ratur an der Oberfläche bis zu 4° C. gesunken, so haben die obersten Schichten die größte Dichtigkeit erreicht; sie müssen daher bis auf den Boden herab sinken; allmählig breitet sich auf diesem die erste Schicht Wasser von 4° C. aus. In den darauf folgenden Wintern kommen neue Schichten von 4° warmem Wasser zu der ersten hinzu, bis der Gleichgewichtszustand eingetreten ist. An die Oberfläche kann dieses 4° warme Wasser nicht leicht kommen, eben weil es die größte Dichtigkeit besitzt. Erhält aber das Wasser vom Boden aus noch Wärme, so wird das nieder-sinkende Wasser von 4° C. den Boden allmählig abkühlen, während es selbst Wärme empfängt und wieder in die Höhe steigt. Das wird so lange dauern, bis der Boden auf 4° bis zu großer Tiefe abgekühlt ist. Dann aber muß über dem Boden eine Wasserschicht von 4° fortwährend liegen bleiben. Wenn nun die Temperatur des Wassers im Tiefsten der Seen um $0,75$ bis $3,15^{\circ}$ C. höher als 4° gefunden wird, so kann dies nur darin seinen Grund haben, daß das Wasser vom Boden aus auch jetzt noch fortwährend Wärme empfängt.

Wie ist es nun mit dem Meere? An einer Stelle hatte das Meerwasser am Boden die Temperatur -2° R., an einer andern die Temperatur $-1,6^{\circ}$ R. In niederen Breiten hat es gewöhnlich die Temperatur $1,76$ R. Das scheint mit dem Vorhergehenden im Widerspruch zu sein. In der That, wenn das salzhaltige Meerwasser beim Erwärmen oder Erkalten sich genau wie Süßwasser verhielte, so wäre diese Erscheinung nicht wohl zu erklären. Meerwasser zeigt aber beim Kälterwerden nicht die Unregelmäßigkeiten des süßen oder reinen Wassers. Es hat seine größte Dichtigkeit nicht wie dieses bei 4° ; es gefriert nicht wie süßes Wasser, wenn es kälter als 0° wird. Die Dichtigkeit des Meerwassers nimmt von 8° bis zu -3° R. regelmäßig ab; Meerwasser gefriert erst, wenn seine Temperatur unter -3° R. herabsinkt. Wenn nun unter dem Aequator, wo die niedrigste Temperatur nicht unter 18° bis 17° R. herabkommt, in großer Tiefe eine Temperatur von $1,76^{\circ}$ angetroffen wird, so hat das seinen Grund darin, daß die gewaltigen Meeresströmungen von den Polen her das Wasser in der Tiefe abkühlen, während die warmen entgegengesetzten Strömungen das Wasser der Oberfläche in hohen Breiten erwärmen. Wenn aber im hohen Norden bei sehr großer Meerestiefe am Boden die Temperatur doch nicht bis auf -3° R.

herabsinkt, so ist dies ein Beweis dafür, daß auch hier noch das Meerwasser vom Boden aus Wärme empfängt. *) Weit entfernt also, daß die angeführten Thatfachen über Temperaturabnahme in Seen und Meeren der plutonischen Erdbildungsansicht widersprechen, können sie nur durch diese erklärt werden.

*) G. Bischof, Wärmelehre des Erdinnern.

Dritter Vortrag.

Ueber die vulkanischen Erscheinungen.

Wir wenden uns heute zu den vulkanischen Erscheinungen, jenen großartigen Naturphänomenen, die in blendender Pracht und vernichtender Wirksamkeit ihres Gleichen im ganzen Kreise der Natur nicht wieder haben. — Unter Vulkan versteht man einen Berg, der von Zeit zu Zeit oder auch fortwährend geschmolzene Massen ergießt und Gase und Dämpfe aushaucht. Man macht einen Unterschied zwischen thätigen und erloschenen Vulkanen und versteht unter thätigen Vulkanen diejenigen, welche noch jetzt Eruptionen oder Ausbrüche haben, oder in historischen Zeiten doch gehabt haben, während die erloschenen Vulkane seit Menschengedenken keine Thätigkeit entwickelt haben und nur durch die charakteristische Form, die später besprochen wird, und durch die Gesteine des Abhangs als Vulkane erkannt werden. Zwischen beide stellt man als Uebergangsglied die Solfataren, das sind Vulkane, die zwar geschmolzene Massen nicht ergießen, aber durch die charakteristische Form und durch das beständige Ausstoßen von Wasserdampf und Schwefelwasserstoff das Spiel der unterirdischen Kräfte verrathen. Wissenschaftlich ist dieser Unterschied nicht, da sowohl einzelne Solfataren als auch manche für erloschen gehaltene Vulkane in gewaltige Thätigkeit übergangen und unermessliche Verwüstungen angerichtet haben. Die Frage nach der Ursache der vulkanischen Erscheinungen und nach der Entstehung des Berges kann erst besprochen werden, wenn die allgemeinen Verhältnisse der Vulkane, ihre Verbreitung, die Art und Weise ihres Vorkommens, ihre Form, ihre Wirkungsweise u. erörtert worden sind. — Es war eine irrige Ansicht, der man früher huldigte, die

vulkanischen Erscheinungen für locale, nur hier und da vorkommende Phänomene zu halten, denen eine große Bedeutung für die Umgestaltung der Erde nicht zukomme. Ebenso falsch war es, diese Erscheinung durch Erdbrände erklären zu wollen, seitdem man erfahren hat, welche ungeheuerer Menge von Gasen, Dämpfen und geschmolzenen Massen dem Erdbinnern entsteigen, Massen, welche durch die größten Erdbrände unmöglich gebildet werden können; denn geschmolzene Massen von einiger Bedeutung sind bei Erdbränden noch gar nicht beobachtet worden.

Die Zahl aller Vulkane auf der ganzen Erde ist noch nicht bekannt. Zu Werners Zeiten kannte man ungefähr 193, Humboldt zählte schon 407, und jetzt kennt man etwa 670*), worunter 270 thätige. In keinem Welttheile fehlen sie, obwohl sie in dem einen in größerer Anzahl vorkommen als in dem anderen. In Europa sind der Vesuv in Italien und der Aetna auf Sicilien die bedeutendsten thätigen Vulkane. Auf den nahen Inseln sind als thätige Vulkane besonders zu bezeichnen der Epomeo auf Ischia, der Stromboli, Lipari und Vulkano auf den Liparischen Inseln. In Island sind die bedeutendsten thätigen Vulkane der Hella und der Skaptar Jökull. Was Afrika anlangt, so erstreckt sich die genauere Kenntniß der thätigen Vulkane nur auf die Inseln, welche diesen großen Continent umgeben. Die Küsten und das Innere Afrikas sind in Bezug auf Vulkane nur wenig untersucht. Im Innern von Asien, weit vom Meere entfernt sind etwa 3, an den Küsten dagegen etwa 17 thätige Vulkane bekannt, von welchen der Klintschewskoja Skopa auf Kamtschatka, der Temboro auf Sumbava, der Guntur, Gelungung und Tengger auf Java besonders bemerkenswerth sind. Australien zählt etwa 8 und Amerika 49 thätige Vulkane. In Amerika sind besonders bemerkenswerth der Popocatepetl und der Xorullo in Mexiko, der Pinchincha und Cotopaxi in Quito.

Mit Ausnahme der drei erwähnten Vulkane in Centralasien, deren Vorhandensein mit voller Sicherheit nicht verbürgt ist, liegen alle thätigen und die meisten erloschenen Vulkane in der Nähe der Meeresküste oder im Meere selbst. Es ist dies eine äußerst merkwürdige Thatsache, auf welche mit Recht von allen Geologen ein großes Gewicht gelegt wird; sie scheint

*) Zuchs, vulkan. Erscheinungen.

anzudeuten, nicht nur, daß ohne Wasser vulkanische Thätigkeit unmöglich ist, sondern auch, daß die Bildung vulkanischer Gegenden mit der früher besprochenen Meeresbeckenbildung in einem innigen Zusammenhange steht. Dieser Satz gewinnt eine noch größere Bedeutung, wenn ich hinzufüge, daß da, wo im Innern größerer Continente erloschene Vulkane vorkommen, die Existenz eines früheren Meeres in der Regel leicht nachzuweisen ist. An ein bestimmtes Klima sind die Vulkane nicht gebunden. Sie kommen unter allen geographischen Breiten vor, in den eisigen Regionen Islands sowohl, als in den brennenden Gegenden Quito's und in den gemäßigten Zonen Italiens.

Isolirt kommen sie nur selten vor, in der Regel treten mehrere nebeneinander auf und zwar wie es scheint nach bestimmten Gesetzen geordnet. L. v. Buch hat diese Gesetze des Nebeneinandervorkommens zuerst aufgestellt, indem er den Unterschied zwischen Reihenvulkanen und Centralvulkanen feststellte. Die Reihenvulkane liegen hintereinander längs einer bestimmten Linie, gleichsam auf einer Spalte. Diese Linie hat häufig einen geradlinigen, bisweilen einen wenig bis stark gekrümmten Verlauf. Die Entfernung der einzelnen, einer Linie zugehörigen Vulkane ist verschieden; einzelne liegen nahe nebeneinander, andere haben einen Abstand von 6 bis 12 Meilen und mehr. Solche Vulkane, auf einer Linie hintereinander gelegen, nennt man einfache Reihenvulkane. Bisweilen laufen zwei Linien, jede mit Vulkanen besetzt, einander parallel oder nahezu parallel; eine solche Gruppierung nennt man eine doppelte Vulkanenreihe. Diese 2 Linien sind nicht immer gleich lang, aber sie sind häufig mit einander durch eine Kreuzungsklinie verbunden, die ebenfalls mit einem, gewöhnlich mit mehreren Vulkanen besetzt ist. Bisweilen fällt auch eine einfache Vulkanreihe nahezu, oder geradezu in die verlängerte Richtung einer zweiten einfachen Vulkanenreihe, so daß beide zusammen als eine einzige große Reihe betrachtet werden können. — Ein sehr schönes Beispiel einer geradlinigen einfachen Vulkanreihe haben Sie in Chile. Die Reihe zählt etwa 33 Vulkane, die in der Nähe der Meeresküste liegend dieser parallel laufen.

Sie beginnt mit dem San Clemente und endigt nach einem geradlinigen Verlauf von 240 Meilen mit dem Coquimbo. Nach einem Zwischenraum von 90 Meilen folgt ihr die einfache Vulkanreihe von Bolivia und

Peru, die, gleichfalls an der Meeresküste gelegen, ein wenig gebogen erscheint, mit dem Vulkan von Atacama beginnt und nach einem Verlauf von 105 Meilen mit dem Vulkan Arequipa endigt. Die ganze Reihe zählt 15 Vulkane. Nicht minder schön ist die einfache Vulkanreihe Centralamerikas, die ebenfalls ein wenig gekrümmt ist, etwa 50 Vulkane zählt und 190 Meilen weit an der Südwestküste hinläuft. Die 3 genannten Reihen haben nahezu die Richtung der Cordilleren und können als eine einzige große Reihe von 740 Meilen Länge aufgefaßt werden. — An den erloschenen Vulkanen der Auvergne in Frankreich haben Sie ein interessantes Beispiel einer doppelten Vulkanreihe. Die östliche Reihe, von Norden nach Süden ziehend, hat einen Verlauf von 8 Stunden. Die westliche, mit der ersten ungefähr parallele Reihe erstreckt sich nur $1\frac{1}{2}$ Stunden weit. Beide Reihen sind verbunden durch den Vulkan Puy de Chaumont.

Unter Centralvulkanen versteht man mehrere Vulkane, die um einen größeren, einen Centralvulkan herum liegen. Der Centralvulkan hat die bedeutendste Höhe, steht etwa in der Mitte und zeigt die stärksten Eruptionen, beherrscht also gewissermaßen die andern. Die Gruppe der canarischen Inseln liefert Ihnen ein schönes Bild für Centralvulkane. Hier ist der Pic auf Teneriffa, ein hoher, alle um ihn liegenden weit überragender thätiger Vulkan, der den Namen Centralvulkan mit Recht verdient. Alle andern Vulkane, die nicht reihenförmig angeordnet sind, treten meistens gruppenweise auf, können aber ohne Zwang nicht leicht als Centralvulkane betrachtet werden, weil sie keinen Hauptvulkan aufzuweisen haben, der, was Größe und Stellung anbelangt, als Centralvulkan bezeichnet werden könnte. Man hat daher für so gelegene Vulkane den Namen Vulkangruppe in Anwendung gebracht und diesen Namen auch auf die Centralvulkane, und zwar mit Recht, ausgedehnt.

Was die Höhe der Vulkane anbelangt, so ist sie sehr verschieden. Einige steigen mehr als 20,000 Fuß über die Meeresfläche, andere nur 600 Fuß und noch andere erheben sich nicht einmal bis zum Wasserspiegel. Zwischen diesen Extremen schwankt die Höhe aller Vulkane. Indem Sie dieses hören, werden Sie vielleicht denken, die Höhe sei ein Element von untergeordneter Bedeutung, das in keiner wichtigen Beziehung zur Natur

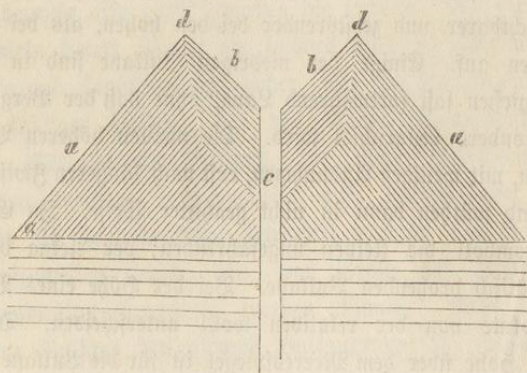
der vulkanischen Berge steht. Dem ist nicht so. Sowie die größere oder geringere Höhe aller Gebirge in einer äußerst wichtigen Beziehung zum Klima und zur Cultur eines Volkes steht, so steht die Höhe der vulkanischen Berge außerdem in einer wichtigen Wechselwirkung mit deren Eruptionen. — Je höher nämlich ein Berg ist, desto größer muß auch sein Umfang und namentlich seine Masse sein. Denken Sie sich 2 vulkanische Berge, einen hohen und einen niedrigen, von welchen jeder in seiner Mitte eine Säule geschmolzenen Materials von gleichem Durchmesser enthält, die bis zu unbekannter Tiefe hinabreicht. Es ist klar, daß die höhere Säule des größeren Berges sowohl auf ihre Unterlage, als auf die sie einschließenden Wände einen weit größeren Druck ausübt, als es die niedrigere Säule des kleineren Berges ihrerseits vermag. Nun stehen die im Inneren des Berges waltenden Kräfte in fortwährendem Kampfe mit dieser geschmolzenen Säule; sie suchen die Säule zu heben und aus dem Berge heranzuschleudern. Das gelingt ihnen bei der niedrigeren Säule weit leichter als bei der höheren und schwereren. Bei der letzteren muß die Kraftanstrengung eine ganz andere, weit größere sein als bei der ersteren. Die Eruptionen treten daher im Allgemeinen zwar seltener, aber auch weit furchtbarer und zerstörender bei den hohen, als bei den niedrigeren Vulkanen auf. Einige der niedrigen Vulkane sind in beständiger Thätigkeit, ergießen fast fortwährend Lava, ohne daß der Berg oder seine Umgebung besonders beunruhigt wird. Die meisten höheren Vulkane dagegen entfalten, mit wenigen Ausnahmen, erst nach längeren Zwischenräumen ihre Kräfte und wüthen dann in nicht geahnter Weise. In Europa vertritt der Stromboli die kleinen ungefährlichen, der Aetna dagegen die großen majestätisch drohenden Vulkane. Bei der Höhe eines Berges muß man die absolute von der relativen wohl unterscheiden. Die absolute Höhe oder die Höhe über dem Meerespiegel ist für die Vulkane bei weitem weniger wichtig als die relative, oder die Erhebung des Berges über seine unmittelbare Umgebung. Nur aus der letzteren läßt sich ungefähr ein Rückschluß auf die Größe der Thätigkeit des Vulkans und auf die Stärke der Eruption machen; denn die Erhebung des Vulkans über seine Umgebung ist das Produkt der unterirdischen Kräfte. Die relative Höhe der meisten Vulkane ist indessen noch unbekannt; von den folgenden kennt man sie:

Name des Berges.	relative Höhe.
Monte nuovo	438 Fuß
Besuv	1413 "
Korullo	1480 "
Gumung Guntur	3930 "
Gualatieri	4500 "
Cotopaxi	8700 "
Klitschewskoja Skopa	15040 "

Unter allen Vulkanen scheint der Klitschewskoja Skopa die größte relative Höhe, der Anconcagua die größte absolute Höhe (22434 Fuß) zu besitzen. Die Höhe der vulkanischen Berge ist veränderlich, einestheils weil heftige Erschütterungen häufig den obersten Theil des Berges vernichten, andernteils weil anhaltende Ergießungen und Auswürfe ihn erhöhen.

Die Eigenthümlichkeit vulkanischer Berge, glühende Massen zu ergießen, bedingt auch die charakteristische Form derselben. Obgleich ein Vulkan mit dem andern in der Gestalt nicht genau übereinstimmt, so ist doch die Urform, oder besser die ideale Form bei allen die nämliche. Die Fig. 7

Fig. 7.



zeigt diese Form. Wir müssen dabei die äußere Form von der inneren wohl unterscheiden. Die äußere Form ist die eines mehr oder weniger abgestumpften Kegels, dessen Neigungswinkel α zwischen 18° und 37° schwankt. Die innere Form ist die eines Trichters. Der schlotartige Kanal c , Bocca genannt, reicht in unbekannte Tiefen hinab und enthält die schon erwähnte glühende Lavasäule. Die Höhlung zwischen bb nennt man Krater,

bb Kraterwand, und *dd* Kraterrand. Aus dieser idealen Form entwickeln sich im Verlaufe der Zeit die einzelnen Formeigenthümlichkeiten der verschiedenen Vulkane. Steigt z. B. die Lava aus der *Bocca c* in den Krater und erstarrt, so nennt man die oberste Fläche der erstarrten Masse Kraterboden. In der Mitte dieses Kraterbodens erblickt man häufig das Spiel der auf- und absteigenden Lavasäule, wenn sie die erstarrte Kruste durchbrochen hat. Verweilt die Lava, nachdem sie den Krater hoch angefüllt hat, längere Zeit in ihm, so beginnt die Erstarrung an den Kraterwänden und an der Oberfläche zuerst, weil hier die Abkühlung am größten ist, und schreitet nach der Mitte allmählig voran. Fließt nach längerer Zeit die Lava durch eine Seitenspalte in der Tiefe ab, so bleibt die erstarrte Masse an der Kraterwand zum Theil zurück. Steigt später die Lava bis beinahe zur anfänglichen Höhe und verweilt hier längere Zeit, so erstarrt wieder ein Theil. Entweicht die Lava abermals durch eine Spalte in der Tiefe, und wiederholt sich dieser Vorgang noch einigemal, so entstehen im Krater Terrassen. Auf diese Weise sind wahrscheinlich die Terrassen gebildet, die in dem Krater des Mauna Loa auf Hawaii so deutlich ausgeprägt sind. In einem und demselben Krater scheinen häufig mehrere Kanäle mit glühender Lava gefüllt in die Tiefe zu führen. Es ist aber wahrscheinlich, daß in nicht bedeutender Tiefe die *Bocca* sich in einzelne Arme getheilt hat.

Ich habe im Anfange thätige Vulkane diejenigen genannt, welche noch jetzt Eruptionen haben, oder doch seit Menschengedenken gehabt haben. Daraus folgt schon, daß jener gewaltsame Zustand der Thätigkeit, der für die Menschen und ihre Werke so verderbenbringend ist, bei thätigen Vulkanen nicht immer vorhanden ist, sondern daß er sich nur von Zeit zu Zeit einstellt. In der That, dieser Zustand ist mehr Ausnahme als Regel. Ein thätiger Vulkan scheint nach einer heftigen Eruption wieder Athem zu schöpfen, er scheint alle Kräfte sammeln zu wollen, um jene vernichtende Wirkung später mit Sicherheit hervorzubringen, durch die er das Entsetzen und die Bewunderung der Menschen erregt. Man unterscheidet daher die thätigen Vulkane im Zustande der Ruhe von den thätigen Vulkanen im Zustande der Erregung. Besteigen Sie einen thätigen Vulkan, so haben Sie mit manchen Schwierigkeiten zu kämpfen. Mühsam nur klimmen Sie den steilen Regel hinan; denn die locker aufgeschütteten Massen

rollen bei jedem neuen Schritt unter dem Fuße weg den Abhang hinab. Auf dem schmalen unregelmäßig eingeschnittenen Kraterrand stehen Sie und blicken mit Schauern in die Tiefe des Schlundes. Hier ist kein lebendes Wesen, kein Baum, keine Pflanze. Weiße, von Dämpfen gebleichte Wände steigen steil, fast senkrecht in die Tiefe hinab. Von allen Seiten rollen lose Steinchen mit dumpfem geheimnißvollem Rauschen auf den Kraterboden, der, voll von Schlacken und Schollen, ein Bild grauenhafter Verwüstung bietet. Aus allen Spalten und Rissen strömen unter zischendem Geräusch gewaltige Dampfmassen hervor, die sich rasch als weiße Wolken über den Krater erheben und von den Winden dahingetragen werden. Es ist nicht anders als befände man sich in einer mit vielen Maschinen arbeitenden Fabrik. Nur allmählig sammeln sich die betäubten Sinne und suchen vergebens den ganzen Zusammenhang zu ergründen. Eingehüllt ist der ganze Krater in Dämpfe. Ein starker Wind treibt jetzt die Dampfmassen seitwärts und Sie erblicken längs des Bodens hinzüngelnde Flammen von brennendem Schwefel, „einen schrecklich schönen oraniengelben Streifen.“*) Ein dumpfes aus der Tiefe herausdröhnendes Echo scheint eine Stimme aus jener andern Welt zu sein, an deren Eingang Sie zu stehen glauben. Sie wenden sich um, dem unheimlichen Orte zu entfliehen. Einen Blick noch nach der Tiefe des Kraters und ein glücklicher Zufall zeigt Ihnen eine neue fesselnde Erscheinung, es ist die auf- und niederwogende glühende Lavasäule der Bocca. Hellglänzend wie ein flüssiges Metall, wie glühendes Eisen, das dem Hochofen zum Gusse entströmt, steigt sie empor, die Tiefen des Kraters erhellend. Eine deutlich begrenzte lichtweiße Wolke windet sich rasch aus der Bocca, rothglühende Lavastücke mit sich fortreisend, und nieder sinkt die glühende Masse, um bald darauf in der nämlichen Weise zu erscheinen. Wie von elastischen Federn getragen, tastmäßig auf und nieder wogt die flüssige Säule. Ruhig und schweigend folgen Sie dem interessanten Schauspiel und glauben schon den ganzen Zusammenhang zu durchschauen, da ändert sich plötzlich die Scene. Höher als gewöhnlich steigt die glühende Säule; die darüber befindliche wirbelnde Dampfmasse scheint plötzlich stehen zu bleiben und eine rückgängige Bewegung anzutreten. Gleichzeitig erzittert der ganze Krater

*) v. Buch, geognostische Beobachtungen auf Reisen. Bd. 2.

und in eine sichtbar schwankeude Bewegung gerathen die lockeren Wände. Sie verspüren deutlich die Wirkung eines Erdbebens. Ein dumpfes polterndes Geräusch folgt gleich darauf und mit hell tönendem Geprassel stürzt eine große weiße Dampfmasse aus der Bocca, reißt Tausende glühender Schlacken mit sich fort und führt sie hoch, oft mehr als 1000 Fuß in die Luft; dann sinkt die Lava tiefer als gewöhnlich hinab und die erste taktmäßige Bewegung beginnt von Neuem.

Um die Bocca herum häufen sich die vom Dampfe fortgerissenen Schlacken und Steinchen allmählig an, und bilden einen Kegel, einen Vulkan im Kleinen, mit deutlich ausgebildetem Krater gleichsam sein Modell des Großen. Solcher Schlackenkegel kommen in einem Krater oft mehrere vor. Sie geben uns einen Wink über die Bildung des vulkanischen Berges selbst; denn so wie diese Schlackenkegel im Krater, das Produkt der Thätigkeit des Vulkans im Zustande der Ruhe sind, so ist wahrscheinlich der ganze vulkanische Berg das Produkt der öfters wiederholten Thätigkeit im Zustande der Erregung. Wir kommen indessen darauf noch einmal zurück. Der Kraterdurchmesser des Schlackenkegels ist im Vergleich zum Kraterdurchmesser des großen Kegels zwar klein, erreicht indessen an einzelnen Punkten die immerhin beträchtliche Größe von 200 Fuß und mehr, während der größte bekannte Kraterdurchmesser des Hauptkegels, der des Gunung Tengger, eine Länge von 20,000 Fuß (2 Stunden) besitzt. Aus dem quadratischen Verhältniß der beiden Durchmesser kann man einen ungefähren Schluß auf das Verhältniß der Kraftäusserung im Zustande der Ruhe und dem der Thätigkeit machen.

Sie werden jetzt nach den Ursachen der vorgetragenen Erscheinungen fragen. Bei dem Emporsteigen der flüssigen Lava bemerkten wir eine rasch emporwirbelnde Dampfmasse, eine sogenannte *Fuma-rolle*, nach deren Emporsteigen die Lava niedersank. Da diese Erscheinung fort und fort die nämliche bleibt, so können wir nicht daran zweifeln, daß nur die aufsteigenden Dämpfe die Ursache der Lavarhebung sind; die elastischen Dämpfe heben vermöge ihrer hohen Spannkraft die Lava in die Höhe, und winden sich aus der Säule heraus, ähnlich wie eine im Barometer aufsteigende Luftblase; dann aber sinkt die Lava vermöge ihres Gewichtes wieder in die Tiefe, bis eine neue Dampfmasse sie abermals emportreibt. Wir sahen aber auch, wie nach einiger

Zeit die Dampfmasse, nachdem sich die Lava höher als gewöhnlich erhoben hatte, plötzlich stehen zu bleiben und eine rückgängige Bewegung anzutreten schien. Wie erklärt sich dies? Das dürfte wohl keine Frage sein, daß diese Erscheinung auf einer Täuschung beruht; denn die leichten Dampfmassen, wenn sie einmal der Bocca sich entwunden haben, können unmöglich über einer glühenden Masse stehen bleiben, zumal sie noch durch diese einen Impuls zum Aufsteigen in die schwerere Luft bekommen. Wenn die Lava bei dieser Erscheinung höher als gewöhnlich stieg, so muß auch eine größere Dampfmasse sie gehoben haben. Diese Dampfmasse strömt noch aus der Bocca, wenn die Säule schon im raschen Sinken begriffen ist. Dadurch scheint uns die Dampfmasse erst stille zu stehen, dann eine rückgängige Bewegung zu machen. Tief im Innern des Berges sammelt sich mittlerweile eine sehr bedeutende Dampfmenge von ungewöhnlicher Spannung, welche glühende Lava hoch in die Luft schleudert.

Was sind das aber für elastische Dämpfe, welche solche Wirkungen hervorzubringen vermögen? Es sind vorzugsweise Wasserdämpfe. Man hat sich davon vielfältig überzeugt. Der augenfälligste Beweis dafür ist der folgende. Legt man den aufsteigenden Dämpfen Reiser in den Weg, so kühlen sie sich an diesen ab und verdichten sich zu Wassertropfen, die dann herabrinnen. Schäfer, die in der Nähe von Fumarolen Heerden hüten, benutzen diese Methode ihre Schafe zu tränken. Auf eine sehr sinnreiche Weise condensirte Breislach dieses Wasser, um es technisch zu verwenden. Dieser Naturforscher war längere Zeit Director einer Alaun- und Schwefelfabrik, welche mitten im Krater der Solfatara bei Puzzuoli lag. Dieser Lage wegen war es äußerst mühsam und beschwerlich das nöthige Wasser zu erhalten. Breislach faßte daher den Gedanken, die aus dem Krater aufsteigenden Dämpfe zu benutzen. Er baute einen 50 Fuß hohen, hohlen Thurm mit einer Kuppel und leitete die Dämpfe aus großer Tiefe hinein. Die Kuppel, an mehr als 200 Stellen durchbrochen, enthielt ebenso viele 8 bis 10 Fuß lange abwärts geneigte und nach Außen führende Röhren. Dadurch wurden die Dämpfe vielfältig zertheilt und hatten Gelegenheit tropfbar flüssig zu werden. Auf diese Weise erhielt er des Tages mehr als 80 Cubikfuß (6—7 Fässer) Wasser.*)

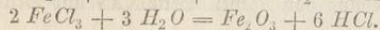
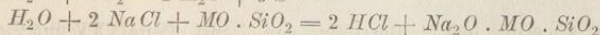
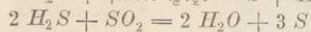
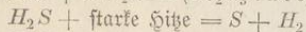
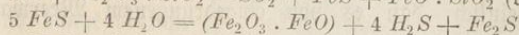
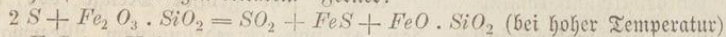
*) Hoffmann, Geschichte der Geognosie.

Wasserdämpfe sind es aber nicht allein, welche den Vulkanen im Zustande der Ruhe entströmen. Eine Anzahl anderer Gase ist den Wasserdämpfen beigemengt, welche zwar im Vergleich zu den Wasserdampfmassen stark zurücktreten, für die Vorgänge im Innern des Berges aber von großer Wichtigkeit sind. Einige derselben lassen sich schon durch den Geruch erkennen, wie z. B. Schwefelwasserstoff, Schweflige Säure und Salzsäure, andere sind durch die Analyse mit Sicherheit nachgewiesen worden; dahin gehören Wasserstoffgas, Stickstoffgas und Kohlensäure.

Der Schwefelwasserstoff entwickelt sich mit Wasserdämpfen gewöhnlich erst nach einer Eruption und entströmt dann Jahrhunderte lang dem Krater. Die großartigen Ablagerungen von gediegenem Schwefel an so vielen Vulkanen verdanken demselben ihre Entstehung. Dieses giftige Gas tödtet, wenn es in ziemlicher Menge auftritt, alles Lebende, das in seinen Bereich kommt, so daß der Boden mit Insekten, Vögeln und Thieren — deren Fleisch oft noch unversehrt ist, während die Knochen schon zerstört sind — häufig ganz bedeckt ist. Die Schweflige Säure kommt gleichfalls vor, wenn auch seltener und oft in verschwindend kleiner Menge. Ihr Vorkommen hängt mit dem des Schwefelwasserstoffs — zusammen. Kommen beide Gase, Schwefelwasserstoff und Schweflige Säure in einem Krater zusammen vor, so zersetzen sie sich wechselweise unter Bildung von Wasser und Schwefel. Das Vorkommen von Schwefliger Säure bedingt die Bildung schwefelsaurer Salze an den Vulkanen.

Das Ausströmen der Salzsäure ist die Ursache vieler Chlorverbindungen, die sich in schönen Krystallen hier und da finden. An Vulkanen, die Salzsäure aushauchen, fehlt häufig die Schweflige Säure und umgekehrt. Die Salzsäure bildet sich in der Regel an der Oberfläche der Laven durch Einwirkung des Wasserdampfes auf Kochsalz, das fast in allen glühenden Laven vorhanden ist — unter Mitwirkung der kiesel-sauren Bestandtheile der Lava.*)

*) Der Schwefel läßt sich nach Bunsen aus der Einwirkung von starker Hitze auf Schwefelverbindungen erklären. Ferner:



Die Kohlenfäure entwickelt sich nicht aus den Kratern aller Vulkane. Indessen kommt sie in einigen amerikanischen Vulkanen in solcher Menge vor, daß sie mit Ausnahme des Wasserdampfes alle andern Gasarten übertrifft. Dagegen entwickelt sie sich bei den meisten Vulkanen nach einer Eruption am Fuße und in der Umgebung des Berges oft mehrere Monate lang.

Wasserstoff ist von Bunsen mit Sicherheit nebst Stickstoff an den isländischen Vulkanen nachgewiesen worden, aber nur in sehr geringer Quantität. In 100 Gewichtstheilen einer isländischen Fumarole fand er:

Wasser	82,30	Gewichtstheile.
Kohlenfäure	15,47	"
Schwefelwasserstoff	1,17	"
Wasserstoff	0,76	"
Stickstoff	0,30	"

Bemerkenswerth ist, daß die nämliche Fumarole nicht immer dieselben Gasarten aushaucht. Die Temperatur der Fumarolen schwankt zwischen sehr weiten Grenzen. Trockene Fumarolen nennt man diejenigen, welche Dämpfe von festen Körpern ausstoßen.

Sie dringen aus Spalten und Rissen der Lava hervor und erscheinen in der Regel als weiße Dämpfe. Ihre Temperatur ist sehr hoch. Streichen diese Dämpfe über kältere Körper, so schlagen sie sich nieder, und es entstehen die Sublimationsprodukte. Diese bedecken daher häufig die Kraterwände und die Oberfläche der Lavaströme. Die wichtigsten sind: Chlornatrium, Chlorkalium, Salmiak, Chlorcalcium, Chlormagnesium, Eisenchlorid, Eisenchlorür, Chlorkupfer, Chlorblei*), Chlorkobalt, Schwefel, schwefelsaures Natron, schwefelsaures Kali, Gyps, Bittersalz, schwefelsaures Eisenoxydul, schwefelsaures Manganoxydul, Kupferoxyd, Borsäure, Schwefelverbindungen des Arsens, sowie Spuren von Jod und Selen.

Chlornatrium kommt gewöhnlich in sehr großer Menge vor und es ist höchst wahrscheinlich, daß es von eingedrungenem Meerwasser herrührt.

*) J. Roth, der Vesuv und die Umgebung von Neapel. Seite XXV und Seite 81 und 123.

Der Salmiak kommt häufig in sehr hübschen Krystallen vor und bedeckt nicht selten ganze Lavaströme.

Fertig gebildet, wie z. B. Chlornatrium, kommt er nicht aus dem Vulkan. Fließt ein Lavaström über einen mit Pflanzen bedeckten Boden, so verbrennt die Pflanze zum Theil, zum Theil aber bilden sich Sublimationsprodukte und unter diesen ist der Salmiak das gewöhnlichste. Es sind indessen auch Salmiakansflüge auf Laven gefunden worden, die über andere Laven, auf denen sich keine Spur von Vegetation befand, hingeflossen sind. Diese Salmiakbildungen lassen sich auf folgende Weise erklären. Wenn Wasser verdampft, so wird nach Schönbein ein kleiner Theil desselben zerlegt in Wasserstoff und Sauerstoff.*) Wasserstoff und Sauerstoff im Entstehungszustande verbinden sich sogleich mit dem Stickstoff der Luft und dabei entsteht salpetrigsaures Ammoniak, das mit der gleichzeitig sich entwickelnden Salzsäure Salmiak, salpetrige Säure und Wasser bildet.**)

Das Kupferoxyd entsteht aus der Einwirkung von Wasserdämpfen auf Kupferchlorid.

Die Borsäure wird von den Wasserdämpfen aus der Tiefe geführt.

Die schwefelsauren Salze entstehen aus der Einwirkung von Schwefelsäure auf Chlorverbindungen. Die Schwefelsäure selbst entsteht aus der schwefligen Säure durch Oxydation der letzteren.

Tritt ein Vulkan nach langer Ruhe endlich in den Zustand angestrengtester Thätigkeit, so bietet er Erscheinungen von solcher Stärke und Furchtbarkeit, daß selbst der Kühnste bescheiden gesteht, es sei ein Schauspiel für Götter, zu groß für sterbliche Menschen. Zunächst versiegen in der Umgebung des Vulkans häufig die Quellen und Brunnen. Die vorher leichte, weiße Rauchsäule des Kraters wird größer und größer und schwarze Dampfballen steigen hoch in die Luft. Fast scheint es, der Krater ist zu klein, sie alle zu fassen; garbenförmig breiten sie sich aus und verdüstern den ganzen Horizont. Verwundert betrachtet der Mensch die ungewohnte Erscheinung. Der vorher so feste Boden beginnt allmählig zu schwanken und bange verläßt Jeder die Wohnung, den Einsturz befürchtend. Tiefe

*) Fuchs, die vulkanischen Erscheinungen der Erde. S. 274.

**) $4 H_2O + 4 N = 2 NH_3 + H_2O + N_2O_3 = (NH_4)_2 O \cdot N_2O_3$.

Stille herrscht in der ganzen Natur. Ein höheres Wesen scheint der Vulkan allem, was lebt, Schweigen aufzulegen, um den ängstlich Lauschenden zu verkünden, welche nie geahnte Kraft und Majestät in ihm verborgen schlummerte. Der Boden aber beruhigt sich wieder und nur die drohende Rauchsäule flößt einige Furcht noch ein. Bald kehrt die allzufichere Menge zurück zu den Wohnungen, da erreicht sie unwiederbringlich das Verderben. Von Neuem erbebt die Erde, ein furchtbarer Knall, und niederstürzen Thürme, Paläste und Häuser und aus dem geborstenen Felsen springt mit Blitzesschnelle ein Feuerstrom in mächtigem Bogen, den Himmel erhellend, und ein Gluthstrom wälzt sich den Berg herab unwiderstehlich, die herrliche Pflanzung vernichtend; über blühende Städte eilt er hinweg, und was die wogende Erde verschonte, das entgeht seinem verzehrenden Grimme nicht. Rasch aus dem Krater fahren Millionen glühender Schlacken Tausende von Fuß hoch in die Luft; unaufhörlich brüllt der Vulkan; nicht anders, als würden viele Batterieen schweren Geschützes abgefeuert in einem Moment. Die heranbrechende dunkle Nacht vermehrt die Schrecken des Tages. Heftige Blitze durchzucken die Luft, von rollendem Donner gefolgt; ein mächtiger Orkan mischt heulend sich hinein und nieder strömen Fluthen von Schlamm, alles zerstörend; doch senkrecht über dem Krater erhebt sich majestätisch ein höheres Wesen, unabsehbar hoch in die Luft. Senkrecht steht, nicht gebeugt von Wetter und Sturm, weithin leuchtend die geisterhafte Feuersäule. *) Ruhig und sicher thront sie inmitten, die Katastrophe beherrschend — ein erhabener unbeschreiblicher Anblick. Glückselig der Mensch, der seine Habe verlassen, das nackte Leben gerettet. Von Schrecken und Staunen erfaßt, sieht er das Verderben einherschreiten, sieht seine Hoffnungen, seine Werke vernichtet in einem Augenblick, in dem er es nicht ahnte, mit einer Schnelligkeit, von der er nicht träumte. Vernichtet erkennt er die höheren waltenden Mächte, doch die Zeit gießt lindernden Balsam in das verödete Herz und erweckt die schlummernde Hoffnung.

Nicht uninteressant ist es, die Schilderungen von Naturforschern zu hören, welche Augenzeugen von Eruptionen waren.

Friedrich Hoffmann erlebte selbst die Bildung einer ganz neuen Insel**)

*) Der Widerschein der glühenden Lava des Kraters in den Dampfswolken.

**) Hoffmann, Geschichte der Geologie. Seite 453.

in dem Meere von Sicilien im Jahre 1831, etwa 8 Meilen von Sciacca und gibt davon die folgende Schilderung:

„Der Bildung der Insel voraus gingen einige nicht sehr bedeutende Erdstöße, welche 5 Tage lang, vom 28. Juni bis 2. Juli die Bewohner von Sciacca in Schrecken setzten, und von welchen 2 der stärksten in Palermo gespürt wurden.

Man ahnte damals überall und auch zu Sciacca durchaus nicht die Bedeutung dieser Erdstöße; nach dem letzten derselben begann indeß wahrscheinlich der Ausbruch, welcher die neue Insel erzeugte auf dem Meeresgrund an einer Stelle, welche nach zuverlässigen Angaben etwa 600 bis 700 Fuß tief war. Das erste Erscheinen der dadurch erzeugten Beunruhigung an der Oberfläche des Meeres war bereits am 8. Juli durch ein vorüberfahrendes Schiff wahrgenommen worden; man beschrieb die Erscheinung wie das Erheben einer großen Wassermasse, welche unter donnerähnlichem Getöse etwa 10 Minuten lang aufwärts sprudelte und dabei eine Höhe von etwa 80 bis 90 Fuß erreichte. Sie sank dann nieder, und wiederholte sich an derselben Stelle in unregelmäßigen Zeitabständen von 15, 20 bis 30 Minuten; während sich aus ihr eine dicke Rauchwolke entwickelte, welche den ganzen Horizont einhüllte. Die Aufregung des Meeres in der Umgebung war sehr groß, viele todte Fische schwammen umher.

An der Küste von Sicilien ahnte man noch gar nichts von diesem sonderbaren und so unerwarteten Ereigniß. Während ein ungewöhnlich trüber und nebliger Horizont alle Aussicht in die Ferne verhinderte, sah man am 12. Juli Morgens zuerst eine große Menge kleiner poröser Schlackenstücke auf dem Meere umherschwimmend, welche ein frischer Südwestwind an die Küste trieb. Man roch gleichzeitig zu Sciacca und in der Umgegend einen auffallenden und lästigen Schwefelwasserstoffgeruch. Die kleinen Steinbrocken, deren Herkunft ein Räthsel war, bildeten am Lande eine oft mehrere Zoll starke Schicht, und die Fischer, welche in See gingen, fanden in geringer Entfernung von der Küste das Meer so mit derselben bedeckt, daß sie zuweilen genöthigt waren, mit den Rudern sich Platz durch sie zu machen. Gleichzeitig zeigte das Meer an seiner Oberfläche viele frisch getödtete Fische umhertreiben, deren sehr viele gesammelt und verkauft wurden.

Am 13. Juli mit Tagesanbruch sah man am Meereshorizont eine hoch aufsteigende Rauchsäule und am Abend eine Feuererscheinung in derselben, welche die Bewohner von Sciacca nicht mehr zweifeln ließ, daß ein vulkanischer Ausbruch sich ereignet habe. Sie zeigte sich ununterbrochen fortwährend, ihre Entfernung von der Küste war aber zu groß, als daß man etwas Genaueres über dieselbe hätte ausmitteln können. Den ganzen Tag sah man die gleichförmig fast senkrecht emporsteigende Rauchsäule, von Zeit zu Zeit hörte man sehr deutlich ein donnerähnliches Getöse herüber tönen und am Abend bligten sehr häufig helle Feuerstrahlen darin auf, wie das Wetterleuchten in warmen Sommernächten.

So sah auch ich diese Erscheinung, welche man theilweise schon weither aus dem Innern der Insel von hohen Bergen aus bemerken konnte, und es glückte mir am 24. Juli derselben so weit als möglich war näher zu kommen. Im Heranfahen von Sciacca aus bemerkte man zuerst etwa in $1\frac{1}{2}$ Meilen Entfernung eine nur wenig über dem Meere hervorragende schwarze kleine Insel, welche der Rauchsäule zur Unterlage diente. Wir näherten uns derselben bis auf etwa eine Viertelstunde und sahen deutlich daß sie den über dem Wasser hervortretenden Rand eines kleinen Kraters von etwa 600 Fuß im Durchmesser bildete, welcher in fortwährenden Ausbrüchen begriffen war und sich dadurch sichtlich immer höher und höher hervorarbeitete, indem die ausgeworfenen Massen sich regelmäßig und nur durch die Windrichtung modificirt um ihn aufschütteten. Aus der Mündung dieses Kraters stiegen zunächst ununterbrochen und mit sehr großer Heftigkeit, doch geräuschlos, große Ballen von schneeweißen Dämpfen auf. Sich aneinander fettend und durcheinander rollend, bildeten dieselben eine besonders im Sonnenschein überaus prächtige, glänzende Säule, deren Erhebung über dem Meer wir mit Wahrscheinlichkeit auf 2000 Fuß schätzten. Durch diese geräuschlos stets emporwirbelnde Rauchsäule schossen dann und wann, schnell vorübergehend, schwarze Schlackenwürfe, welche die Dampfvolken mannigfaltig durcheinander rollten. Das Prachtvollste der ganzen Erscheinung zeigte sich in den von Zeit zu Zeit erfolgenden heftigsten Ausbrüchen schwarzer Schlacken-, Sand- und Aschenmassen.

Unmittelbar unter und neben der weißen Rauchsäule erhob sich dann furchtbar drohend, oft bis zu 600 Fuß und darüber, eine dichte schwarze Rauchsäule, welche an ihren oberen Enden sich garbenförmig ausbreitete.

In derselben war ein ununterbrochenes heftiges Arbeiten der stets von Neuem wieder herausgeschleuderten Sand-, Aschen- und Schlammmassen bemerkbar, welche zu Tausenden an ihrem Umfange rings umherflogen und herabstürzten. Jeder Stein, welcher durch den erhaltenen Schwung etwas weiter flog als die Hauptmasse, führte einen Schweif schwarzen Sandes hinter sich her, und es entstanden dadurch merkwürdige strahlenförmige Gruppierungen wie Raketenbüschel von dunkler Farbe, oder wie Cypressenzweige, welche einen unbeschreiblich schönen Anblick gewährten.

Während der ganzen Zeit der Dauer dieses drohenden Phänomens züchte das Meer von den zahlreichen in dasselbe niederfallenden offenbar stark erhitzten Sand- und Aschenmassen; weiße Dampfwolken stiegen rings aus demselben empor und entzogen bald die Insel unseren Blicken. Inzwischen ließ sich ein Plagen und Rässeln der in der Luft aneinanderschlagenden Steine, und ein Rauschen wie das eines niederfallenden Hagelschauers oder heftigen Regengusses vernehmen. Keine Flammen fuhren aus dem Krater und kein Leuchten war in demselben erkennbar, dagegen sah man in Augenblicken hoher Steigerung des Auswurfes eine große Zahl von oft hellleuchtenden Blitzen durch die schwarze Aschensäule hin- und herzucken und einem jeden derselben folgte deutlich ein lauter und lange anhaltender Donner, welcher, von fernher gehört, oft ein gleichförmig fortrollendes Getöse zu sein schien. So dauerte diese majestätische Erscheinung wechselnd oft nur 8 bis 10 Minuten und selbst bis nahe an eine Stunde lang ununterbrochen fort, dann verschwand sie und es trat eine mehr oder minder lange Periode der Ruhe ein, während welcher nur das Aufstoßen der Dampfballen fort dauerte.

Diese Reihenfolge starker Ausbrüche schüttete die hier in Frage stehende Insel in kurzer Zeit bis zur Höhe von etwa 200 Fuß über dem Meere, und bis zu einem Umfang von gewiß völlig einer Viertelstunde auf, und nachdem sie immer schwächer und schwächer geworden waren, endigten sie am 12. August, etwa einen Monat nach ihrem Anfange. Die neue Insel konnte nun gefahrlos besucht werden und ihre Produkte wie ihre ganze Bildung sind deßhalb später einer sehr genauen Betrachtung unterworfen worden. Ich selbst war am 26. September wieder dort, zwei Tage später Constant Prévost; doch übten die Wellen an dem ringsum frei aus ihnen hervorragenden Sand- und Schlackenberge sehr bald sichtbar

ihre zerstörende Kraft. Sie benagten ihn äußerlich sichtlich von allen Seiten, verkleinerten ihn mehr und mehr und im December desselben Jahres verschwand er von der Oberfläche. Man hat später ihn sogar so tief weggespült gefunden, daß der Schifffahrt durch das Dasein einer Sandbank an dieser Stelle keine Gefahr mehr zu erwachsen schien. Indeß haben uns neuere Nachrichten belehrt, daß am 16. Mai 1833 neue Ausbrüche an derselben Stelle wieder begonnen haben, welche spurlos vorübergegangen sind.“

Vierter Vortrag.

Ueber vulkanische Erscheinungen.

Wir sahen in dem vorhergehenden Vortrage, daß, abgesehen von der Intensität des Getöses, von der Menge und Beschaffenheit der Auswürflinge, die Erscheinungen im Zustande der Aufregung mit denen im Zustande der Ruhe des Vulkans übereinstimmen. Wie bei diesen, so sind auch bei jenen die Wasserdämpfe die Ursache der Eruption. Wenn aber die Leistung der Wasserdämpfe im Zustande der Ruhe eine verhältnißmäßig geringe ist, so ist sie im Zustande der Erregung eine so ungeheurere, daß wir sie mit nichts zu vergleichen vermögen und daß der Gefühls- und Gehörsinn allein nicht im Stande ist, die Größe auch nur annähernd richtig zu beurtheilen. Um einen ungefähren Begriff von der Leistungsfähigkeit solcher Wasserdämpfe zu bekommen, müssen wir wissen, welches Quantum von festem Material durch eine einzige Eruption geliefert, in welcher Zeit es geliefert wird und endlich in welcher Form es zum Vorschein kommt. Was zunächst den letzten Punkt betrifft, so ist zu bemerken, daß die Größe der Auswürflinge außerordentlich verschieden ist, so daß der nämliche Vulkan gleichzeitig Felsstücke von 8 bis 9 Fuß Durchmesser und Staub, so fein wie das feinste Mehl, ausschleudert. Diesen Staub, der aus den nämlichen Bestandtheilen wie die Lava und die übrigen Auswürflinge besteht, nennt man vulkanische Asche. Erreicht das ausgeworfene Material etwa die Größe eines Hirsekorns, so nennt man es vulkanischen Sand. Kapilli oder Papilli nennt man unregelmäßige, eckige oder auch abgerundete Bruchstücke poröser schlackiger Lava von der Größe eines Erbsenforns bis zu der einer Wallnuß. Größere

Stücke von krummflächiger oder kugliger Gestalt nennt man vulkanische Bomben. Diese bilden sich in der Luft aus halbflüssigem Material, das durch einen Stoß in rotirende Bewegung versetzt wird. Die Verschiedenheit in der Größe des Korns ist nicht schwer zu begreifen. Die aufgestiegenen Auswürflinge treffen beim Herabfallen auf andere, die noch im Steigen begriffen sind, zertrümmern sie und werden selbst zum Theil zertrümmert. Ein Theil der so zerkleinerten Masse fällt in den Krater zurück, um noch einmal ausgeworfen zu werden, der größte Theil fällt seitwärts nieder. Dieser Vorgang wiederholt sich fort und fort, bis der Vulkan sich erschöpft hat. Die in schräger Richtung geworfenen Stücke fallen größtentheils in ihrer ursprünglichen Form und Größe nieder.

Der Cotopaxi soll bei seiner Eruption im Jahre 1533 Felsstücke von 8 bis 9 Fuß Durchmesser in schräger Richtung über $1\frac{1}{2}$ Meilen weit geschleudert haben. Am Aetna sind faustgroße Stücke über 6000 Fuß hoch in die Luft geflogen. Die Höhe der Aschen- und Schlackensäule am Vesuv im Jahre 1779 schätzte Hamilton auf mindestens 10000 Fuß. Bei der fürchterlichen Eruption des Bepandajan im Jahre 1772 wurde eine so ungeheure Menge glühender Steine und Felsblöcke ausgeschleudert, daß 40 Dörfer verschüttet und mehr als 3000 Menschen ums Leben kamen. Heftige Erdbeben, verbunden mit schrecklich rollendem unterirdischem Donner gingen der Eruption voraus. Die ausgeworfene Masse verbreitete sich über einen Landstrich von 3 deutschen Meilen in die Länge und $1\frac{1}{4}$ Meilen in die Breite.

Weit großartiger ist aber die Erscheinung des Aschenregens, der gewöhnlich die Eruption beschließt, bisweilen aber auch allein auftritt. Mächtige schwarze Kugelnwolken schießen rasch aus dem Krater rotirend in die Höhe, bis die Wurfkraft durch die Schwerkraft gezügelt ist. Die oberste, wenn sie nicht mehr weiter steigen kann, weicht seitwärts aus und wird von den Lüften dahingetragen. Ununterbrochen aber arbeitet der Krater und Wolke folgt auf Wolke bis zu unabsehbarer Höhe, den Himmel verdunkelnd. So nimmt die ganze Erscheinung jene düstere Gestalt an, die Plinius treffend mit der Gestalt der Pinie vergleicht, dem stolzen Baume des wärmeren Italiens, dessen Laub von wenigen Zweigen in gleicher Höhe getragen über dem schlanken Stamm hoch in der Luft schwebt. Fast keiner Eruption fehlt diese düstere Gestalt, deren Schatten bald die ganze

Gegend in eine Finsterniß hüllt, durch welche die Sonne höchstens wie eine matte blutrothe oder gelbe Scheibe hindurchschimmert, wenn nicht, wie es häufig vorkommt, der helle Tag in finstere Nacht umschlägt. Vor diesem Aschenregen gibt es keine Zufluchtsstätte. Ueber Land und Meer eilt er dahin. Jeder Baum mit allen seinen Blättern, jede Pflanze wird durch ihn bedeckt und das Meer wird in der Nähe der Küste oft so besät, daß die Schiffer Mühe haben sich durchzuarbeiten. Wenn die Lavaströme furchtbar sind durch ihre Alles verzehrende Gluth, durch die Schnelligkeit ihres Laufes und die Unwiderstehlichkeit in der Bahn, so erstrecken sie sich doch nur wenige Meilen weit und verheeren nur einen verhältnißmäßig schmalen Strich. Nicht so die Asche; sie fällt ruhig, oft Tage, oft Wochen lang ununterbrochen nieder, bedeckt die ganze Umgegend, ohne den kleinsten Winkel zu vergessen mit 100 und mehr Fuß mächtigen Schichten und verbreitet sich nicht bloß ein paar Meilen weit, sondern sucht Tausende von Quadratmeilen heim. Junghuhn*) beschreibt den Aschenregen des G. Guntur auf Java im Jahre 1843, den er in einer Entfernung von 22 Stunden (109632 Meter) beobachtete, ungefähr in folgender Weise. So wie an den vorhergehenden Tagen, wehte auch am 4. Januar ein sanfter Ostwind, der sich jedoch gegen 12 Uhr legte. Todtenstille herrschte jetzt in der Natur. Der Himmel war ziemlich heiter, und die wenigen Wolken die im Luft-ocean dahin schwammen, deuteten durch ihre Bewegung nach Westen auf einen Ostwind in diesen hohen Regionen. Kurz nach 1 Uhr zeigte sich am östlichen Horizonte eine sonderbare graue Färbung, welche sich allmählig über einen immer größeren Raum ausbreitete, gegen 2 Uhr schon bis an den Zenith gestiegen war und die ganze östliche Hälfte des Himmels überzog. Wenn ich die Erscheinung anfangs wenig beachtet und schwere, weit verbreitete Gewitterwolken in ihr vernuthet hatte, so war sie doch nun zu auffallend, um eine solche Erklärung zuzulassen. Ich setzte mich daher ins Freie und betrachtete mit gespannter Aufmerksamkeit den Himmel, nur von Zeit zu Zeit nach meinen Instrumenten sehend. Die bläuliche Färbung der höchsten Luftschichten schritt vom Zenith aus immer weiter nach Westen vor, wurde immer dunkler und warf einen sonderbaren bläulich-büsteren

*) Junghuhn, Java, seine Gestalt, Pflanzendecke und Bodenart. 2. Abtheilung. 2. Ausgabe. Seite 76.

Schatten auf das schöne Land von Sukabumi. Diese bläuliche Tinte der Luft, die ganz gleichmäßig war, contrastirte sonderbar mit den weißlichen Schäfchenwolken und mit den noch tiefer dahinschwimmenden Wollen, deren Bewegung gegen Westen immer träger wurde, bis sie um 3 Uhr in unsichtbaren Wasserdampf sich auflösten und aus dem Gesicht verschwanden. Die Todtenstille in der Luft war so vollkommen, daß auch kein Blättchen sich rührte und daß alle lebende Wesen einen hangen Eindruck zu empfinden schienen. Die Hälfte der Gebirgsbewohner stand schweigend und staunte den Himmel an, die andere Hälfte brachte in abergläubischer Meinung die Reisstampfer in Bewegung, von deren taktmäßigem Klang das Gebirg erschallte, sodaß die Todtenstille, die außerdem herrschte, nur noch banger empfunden wurde. Einige Thiere fingen an zu heulen und Vögel flogen krächzend aus dem höheren Gebirge herab. Ein großes Ereigniß schien bevorzustehen und eine finstere Decke sich auf die Erde herabzusinken. Um 3 Uhr war nur noch ein kleines Segment der Himmelskugel erhellt, der ganze übrige Himmel glich einem indigoblauen Teppich, der allmählig düsterer und düsterer wurde. Um 4 Uhr war der letzte lichte Streifen am Horizonte verschwunden und dunkle Nacht bedeckte das ganze Land. Die Javanen liefen ängstlich mit Fackeln einher. Es war ein eigenthümliches, purpurnes Dunkel — weit verschieden von dem Dunkel der Abenddämmerung — das mit der ringsumher herrschenden Todtenstille auf etwas Außerordentliches deutete. Um 4½ Uhr, als die Dunkelheit aufs Höchste gestiegen war, löste sich das Räthsel. Vulkanische Asche fiel sanft und gleichmäßig herab und bildete auf der Oberfläche des Bodens und der Gewächse einen staubigen, grauen, etwas bräunlichen Ueberzug. Dieser Aschenregen fand ohne alle elektrische Erscheinungen und ohne wässerige Niederschläge statt. Nachdem er eine halbe Stunde lang gleichmäßig angehalten hatte, wurde der Himmel wieder heller, so daß gegen 6 Uhr, nachdem der Aschenregen beendet war, noch einmal die Sonne mit ihrem Scheidestrahle das getröstete Land belächelte. — Junghuhn versäumte nicht, sogleich weißes Papier auszubreiten und die Asche aufzufangen; auch zog er von allen Seiten Erkundigungen ein und wurde so in den Stand gesetzt den Flächenraum und die Masse der darauf gefallenene Asche zu bestimmen. Diese Fläche gleicht einer lang gezogenen Ellipse, deren größte Achse 164448 Meter (= 33 Stunden) und deren kleine

Achse 95014 Meter (19 Stunden) beträgt. Die Masse der gefallenen Asche wog annähernd 330 Millionen Centner, und diese ungeheure Aschen- und Sandmenge wurde in 3 Stunden von 9 bis 12 Uhr vom Vulkane ausgespien. Sie schwebte in einer Höhe von mindestens 9000 Fuß. Die Seite des Würfels, der sich aus der Asche bilden ließe, hätte eine Länge von 1383 Fuß. Diese Eruption gehört indessen zu den kleinsten; verglichen mit der Ascheneruption des Temboro auf Sumbawa im Jahre 1815 verhält sie sich etwa wie die Größe eines Baches zu dem mächtig geschwellenen Strome, oder wie die Stärke des Funkens einer Elektrifirmaschine zu dem zackigen Blitz, der den Himmel erleuchtet. Die Eruption des Temboro im Jahre 1815 begann den 5. April; sie offenbarte sich durch Explosionen, welche alle Viertelstunden gehört wurden und erreichte den 10. April ihre größte Hefigkeit. Ungeheure Rauchsäulen entstiegen dem Krater; bisweilen war der ganze Berg wie mit Feuer übergoßen, dann aber wurde der obere Theil durch Rauch- und Aschenwolken wieder in Finsterniß gehüllt. Die Schläge und Erschütterungen waren so furchtbar, daß auf Sumbawa die Mauern der Häuser zerprangen und daß in einer geradlinigen Entfernung von 383712 Meter (76 Stunden) vom Temboro das englische Kreuzerschiff Benares, in der Meinung schwere Kanonenschüsse zu vernehmen, Truppen zur Recognoscirung ausandte; in einer Entfernung von 1041404 Meter (208 Stunden) vom Temboro hielt man die Schläge ebenfalls für nahen Kanonendonner, ja selbst in der enormen Entfernung von 3288960 Meter (658 Stunden) glaubte man noch Kanonendonner zu vernehmen!). Bei solchem Aufruhr der unterirdischen Mächte konnte das Meer nicht ruhig bleiben. Und so erhob sich am 10. April Vormittags in der Bucht von Bima eine gewaltige Woge, 12 Fuß höher, als je zur Zeit der höchsten Springfluth, spülte Bäume, Häuser und Dörfer im Nu hinweg und warf große Fahrzeuge weit auf das Land, und als ob alle Elemente sich zum Untergang der armen unglücklichen Bewohner verschworen hätten, begann nun auch das Luftmeer in unermesslicher Weise zu wüthen. Die übermäßige Erhitzung einzelner Lufträume durch glühende Lava hatte das Gleichgewicht des Luftoceans gestört und so erhob sich am 10. April, an demselben Tage, an welchem die unterirdischen Kräfte sich in ihrer

*) Zinghuhn, Sava.

ganzen Furchtbarkeit entfalteten, an welchem das Meer so vernichtend auf das Land einstürmte, gleichsam als wollten sich die gigantischen Mächte im riesigen Kampf auf Tod und Leben bekämpfen — erhob sich, sage ich, im westlichen Theile des Reiches Sangar ein Wirbelwind, der Dörfer und Wälder umriß und auch die stärksten Bäume entwurzelte, der Menschen, Thiere, Bäume, Häuser, kurz alles, was er nur antraf, emporhob und wie Strohhalme in der Luft herumtrieb. Eine Stunde lang wüthete dieser Orkan, dann warf er seine Beute zum Theil in das benachbarte Meer, wo die Baumstämme noch Monate, ja Jahre lang umhertrieben. — Das Auswurfsmaterial des Vulkans bestand aus himsteinartigen Lavaschlacken, aus Bimsteinen und aus einer feinen grauen Asche. Mit Bimstein wurde das ganze Meer rund um Sumbawa bis in die Bucht von Bima hin 2 Fuß hoch bedeckt. In einer Entfernung von 109632 Meter (22 Stunden) ostwärts vom Vulkan stürzten die Häuser unter der Last der darauf liegenden Asche zusammen. Zu Banjuwangi, in einer Entfernung von 373710 Meter (75 Stunden) lag die Aschenschicht noch 8 Zoll hoch. Zu Sumenep auf Madura und zu Grefik in einer Entfernung von 575553 Meter (115 Stunden) war die Sonne durch den Aschenregen 3 Tage lang total verfinstert. Die Asche flog soweit als es vom Vesuv bis nach Königsberg ist. Die Fläche, welche gleichzeitig verfinstert wurde, ist größer als ganz Deutschland.

Groß ist die Zahl der Menschen, welche bei diesem Ereigniß ihren Tod fanden. Auf Sumbawa kamen 12000 Menschen ums Leben, auf der Insel Lombok 44000, wovon auch viele durch Hunger. Wunderbar ist die Todesart, welche die Natur für diese Unglücklichen ausgesucht hat. Einige starben durch Feuer, andere durch Wasser, wieder andere durch Luft und noch andere durch Erde, nämlich durch die Asche des Vulkans. Was diese 4 Elemente verschonten, das wurde durch epidemische Seuchen und durch Hungersnoth hinweggerafft. Selbst des Königs von Sangar Tochter starb des Hungertodes. Vom Reiche Dampo blieben 40 Menschen, von den Königreichen Pekat und Temboro nur 3 übrig. Wären diese Reiche stark bevölkert, so würde sich die Zahl der Todten auf Hunderttausende belaufen haben.

Der Temboro fuhr fort Asche auszuwerfen bis zum 15. Juli, also über 3 Monate, jedoch mit allmählig verminderter Heftigkeit. Durch die

heftige Anstrengung wurde der obere Theil des Kraters zerstört, sodaß nach der Eruption der Temboro niedriger war als vorher. Denkt man sich auf der Fläche eines Kreises, dessen Radius 363712 Meter (73 Stunden) lang ist, eine 2 Fuß hohe Aschenschicht, so hat man ungefähr ein Bild von der Masse, welche der Vulkan ausgeworfen hat. Wollte man aus dieser Masse einen Würfel formen, so hätte dessen eine Seite die Länge von 6656 Meter ($1\frac{1}{3}$ Stunden). Aus einer solchen Masse könnte man 3 Berge formen, jeden so groß wie den Montblanc, oder 185, jeden so groß als den Vesuv.

Eine so ungeheurere Eruption macht uns staunen und verlegen; denn wir erhalten zum erstenmale ein annäherndes Bild von der unbegreiflichen Größe und Energie entfesselter Naturkräfte.

Wenn man von einer Ascheneruption wie die eben geschilderte hört, so sollte man meinen, etwas Großartigeres und Furchtbarereres könnte es im ganzen Reiche der Natur nicht wieder geben; wenn man dann aber die vulkanischen Schlammernuptionen studirt, ihre Schnelligkeit, Größe und Energie kennen lernt, so muß man sich gestehen, daß sie an Furchtbarkeit selbst den Aschenausbrüchen nicht nachstehen, wenn sie an Großartigkeit auch zurückstehen.

Eine heftige Erschütterung geht der Erscheinung voran, dann stürzt eine ungeheure Masse Wasser den Regel herab, mit Blitzesschnelle dahinschießend, rafft Asche, Steine, Felsen, Dörfer, Wälder, ohne Wahl mit sich fort, wühlt die Erde auf, tiefe Schluchten bildend, und verwandelt oft in wenigen Stunden die blühendste Landschaft in die schrecklichste Wüste. Solch ein Schlammstrom war es vielleicht, der einstens die blühenden Städte Pompeji und Herculaneum zerstörte, und solch ein Schlammstrom war es auch, der am 8. Oktober 1822 die fruchtbaren Ebenen und Berggehänge der Provinz Tasik malaju Jude'iang und Singaparna verwüstete. Junghuhn in seinem Werk „Java“ berichtet darüber etwa Folgendes:

Ueber die reichbegabten Fluren dieses ewig grünen Landes ergoß am 8. Oktober 1822 die Sonne ihre goldenen Strahlen; heiter lächelte der Himmel und kein Wölkchen trübte den Horizont. In tiefer Ruhe lag die animalische Schöpfung; verborgen im schattigten Dickicht ruhte die Schaar der lieblichen Sängere; sorglos lagen die Menschen in ihren Hütten, nichts ahnend. Eine tiefe, feierliche Stille herrschte in der Natur, und nur der Ruf eines Priesters der von seiner baummüngürteten Mosksee

herab die Herrlichkeiten Allah's verkündete, war die einzige menschliche Stimme, die im ganzen Kreise ertönte, würdig des Augenblicks, in welchem die Menschen aus der zeitlichen Ruhe in die ewige hinübergerufen werden sollten; denn noch nicht war der feierliche Ton verklungen, da schreckte ein donnerndes brüllendes Getöse die Bewohner plötzlich aus ihrem Schlafe. Entsetzt fliehen sie aus ihren Hütten und als sie ihre Blicke zum Berge Gefungung emporhoben, gewahrten sie schwarze mächtige Rauchsäulen, die mit Blitzesschnelle hervorschossen und den hellsten Tag im Augenblick in die finsterste Nacht verwandelten. Wild durcheinander stürzt alles, und im nächsten Augenblicke schon waren einige Tausende nicht mehr unter den Lebenden; denn unendliche Schlammfluthen stürzten nieder von dem Berge, alles hinwegraffend. Ein wüthendes Schlammmeer, ein dampfender Pfuhl ward im Augenblick die blühendste der Landschaften. Winzige Bäche, die vorher das grüne Land durchrieselten, waren zu reißenden, verheerenden Strömen angeschwollen, die unbarmherzig über das Land dahineilten. In das Brausen dieser Bäche, in das Brüllen des Kraters, in das Krachen zerplitterter Wälder, in das Poltern fortgewälzter Felsmassen, in das verzweiflungsvolle Jammergeschrei der Tausende von Menschen, dröhnte laut der rollende Donner, begleitet von schrecklichen Blitzen. Um 5 Uhr aber war alles vorbei. Erschöpft ruhten alle Elemente und Todtenstille herrschte rings in der ganzen Natur. Die Wolken zerstreuten sich und hell wurde der ganze Himmel und die Sonne sah mittheilend herab aus heiterer Höhe auf die verstümmelten Leichen, die in dampfendem Wasser dahinschwammen.

Zwei Thatfachen sind es zunächst, deren Erklärung uns jetzt obliegt: die Erscheinung des Aschenregens und die Erscheinung der mächtigen Schlammströme. Es wurde schon früher erwähnt, daß durch Reibung und Stoß aufsteigender und niederfallender halb erstarrter Auswürflinge ein Zertrümmerungsproceß in großem Maßstabe gegeben ist, durch welchen unzweifelhaft Asche gebildet werden muß. Es ist aber auch ebenso unzweifelhaft, daß ein Aschenausbruch wie der des Tambora unmöglich durch einen bloßen Zertrümmerungsproceß erklärt werden kann; denn hier fuhr die Asche fertig gebildet aus dem Krater in Form schwarzer rotirender Wolken hoch in die Luft, und wenn Reibung und Stoß zu ihrer Bildung mitwirkten, so konnte die Zertrümmerung nur im Krater selbst vor sich

gehen; im Krater selbst ist aber ein so großartiger Zertrümmerungsproceß, wie er hier vorausgesetzt werden muß, nicht wohl denkbar.

Wir müssen uns daher nach einem anderen Erklärungsversuche umsehen. Sie wissen, daß Wasser, welches in ein mit Pulver geladenes Gewehr gebracht wird, nach dem Losschießen in den feinsten Wasserstaub zerfliehet. So wie dieser Wasserstaub bei großer Kälte sofort zu dem feinsten Eisstaub gefrieren würde, so muß die flüssige Lava — durch eine energische Dampfexplosion zerfliehet — zu dem feinsten Staub erstarren. Die Bocca repräsentirt hier den Lauf des Geschüßes, die hochgespannten Wasserdämpfe das entzündete Pulver, und die flüssige Lava das Wasser. Den Anfang der Erscheinung kann man sich so vorstellen: Eine Dampfblase windet sich durch die Lava und ist in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche im Stande die darüberstehende Lavasäule herauszuschleudern. Die darunter befindliche Lavasäule vom Drucke befreit, wird von dem in ihr befindlichen Wasser, das sich jetzt momentan in Dampf verwandelt, mit donnerartigem Getöse herausgeschossen. Stoßweise folgen jetzt die Eruptionen, jedesmal von heftigen kanonenschußähnlichen Schlägen verkündet. Bei jeder Explosion wird Lava zerfliehet. Die zerfliehende Lava kommt durch die unregelmäßige Form der Bocca in rotirende Bewegung, ähnlich wie eine Kugel durch die Züge des Gewehres und erhält dabei zugleich jene kugelförmige Gestalt, die bei allen Ascheneruptionen so charakteristisch auftritt. Daß indessen bei einem Ausbruche wie der des Tambora der Aschenregen lediglich das Product einer fort und fort wiederholten Zerfliehung des flüssigen Materials des Berges gewesen sein soll, das ist auch nicht sehr wahrscheinlich. Es scheint vielmehr noch eine andere Kraft im Spiele gewesen zu sein, die in Verbindung mit den Dampfexplosionen ohne Unterbrechung jenen staubartigen Zustand schon in der Bocca mit Sicherheit hervorzubringen im Stande war. Diese zweite mitwirkende Kraft scheint jener Wasserdampf zu sein, der sich fort und fort nebst Chlornatriumdampf aus erkaltender vom Druck befreiter Lava entwickelt. Die Erklärung des Aschenregens mit Hilfe des letzten Satzes wäre dann diese: Wird durch eine Explosion glühende Lava rasch emporgeschleudert, so wird der in der Lava durch den Druck gebundene Wasserdampf plötzlich entbunden; rasch entweicht er und trägt dadurch zu einer vollständigen Zerfliehung der emporgeworfenen Masse vielleicht das meiste bei.

Wie aber, fragen Sie, erklärt es sich, daß aus dem nämlichen Krater, aus welchem glühende Lava hervorstürzt, ein Meer von Wasser sich ergießen kann? So paradox diese Erscheinung zu sein scheint, so einfach ist ihre Erklärung. Die Kratervertiefungen mancher Vulkane sind nämlich zugleich auch Sammelplätze für meteorische Niederschläge, die an den Kraterwänden herabrinnen, und am Boden als kleine Bäche zusammenfließen. Wird mehr Wasser zugeführt als verdunstet, so entstehen nach und nach Seen, sogenannte Kraterseen, die bisweilen den ganzen Krater ausfüllen, bisweilen auch nur als kleinere oder größere Pfützen erscheinen. In Java sind solche Seen häufige Erscheinungen. Sie treten aber nur in den Kratern auf, welche von sehr hohen, mit Wald bedeckten Wänden oder Bergrücken umgeben sind. Selbstverständlich darf der Kraterboden nicht mit glühender Lava erfüllt sein, wenn sich Seen darin bilden sollen. Der Vulkan muß in einem Solfataren-ähnlichen Zustande sich befinden. Hat er in sehr langer Zeit keine Eruption gehabt, so ist das Wasser im Krater gewöhnlich hell und trinkbar, im anderen Falle sauer und salzig. Dieses saure salzige Wasser entsteht im Krater theils durch Auflösen der durch Säuren und Wasserdämpfe der letzten Eruption veränderten Gesteine, theils dadurch, daß schweflige Säure-haltige Fumarolen, indem sie sich durch das Kraterwasser hindurcharbeiten, diesem die schweflige Säure abgeben. Diese schweflige Säure wird durch den Sauerstoff der im Wasser enthaltenen Luft in Schwefelsäure übergeführt, welche ihrerseits die Thonerde- und Alkalien-haltigen Lavasilicate zersetzt und die Zersetzungsproducte, gewöhnlich Alaune, auflöst. In 11 Kraterseen auf Java ist das Wasser sauer und salzig; in 7 anderen dagegen hell und süß. Diese 7 Seen liegen in erloschenen Kratern, jene 11 aber in ruhenden Vulkanen. Manche Krater haben 2 bis 3 Seen, die durch einen Querdamm von einander getrennt sind. Ist nun ein Krater zur Zeit der Eruption mit vielem Wasser angefüllt, so begreift man sehr wohl die furchtbaren Ueberschwemmungen, die bei einer plötzlichen Entleerung entstehen müssen, zumal wenn sich noch jene verheerenden Platzregen hinzugesellen, die durch die vulkanischen Gewitter hervorgerufen werden. Einige Vulkane in Ouito scheinen unterirdische Wasserbehälter zu haben, in denen sogar Fische vorkommen. Diese Fische werden durch Bäche, die sich in die Wasserbehälter ergießen, eingeführt. Hier leben sie gesellig beisammen und vermehren sich, bis eine starke

Eruption sie mit all dem Wasser auswirft. In Quito warf einstens der Cotopaxi eine so ungeheure Menge von Fischen aus, daß ihre Fäulniß die ganze Gegend verpestete. — Daß diese Erklärungsweise der Schlammruptionen einfach und naturgemäß ist, leuchtet ein; daß sie aber auch die einzig richtige ist, das geht daraus hervor, daß die Größe der Schlammströme stets im Verhältniß zur Größe der Kraterseen und zur Menge des niedergefallenen Regens steht. Die Vulkane, deren Gipfel mit ewigem Schnee bedeckt ist, können gleichfalls sehr bedeutende Schlammströme liefern, wenn ein großer Theil des Schnees durch die bei einer Eruption entwickelte Hitze plötzlich zum Schmelzen kommt.

Die Größe der Lavaströme ist nicht minder bewundernswerth als die der Schlammströme. Der Lavastrom des Vesuv im Jahre 1779 kam einem Würfel von 383 Fuß Seitenlänge, der vom Jahre 1760 einem Würfel von 670 Fuß gleich. Der Lavastrom des Vesuv, welcher im Jahre 1794 Torre del Greco zerstörte, war 17500 Fuß lang; er erreichte die Stadt mit einer Breite von mehr als 2000 Fuß bei einer Höhe von 40 Fuß. Gleichzeitig mit ihm wälzte sich gegen Mauro ein anderer Lavastrom, dessen Volumen halb so groß war, sodaß diese eine Eruption über 685 Millionen Cubikfuß geschmolzene Masse lieferte. Diese Lavamasse entspricht einem Würfel von 882 Fuß Seitenlänge. Der Lavastrom, der im Jahre 1776 auf der Insel Bourbon ausbrach, kam einem Lavawürfel von 1264 Fuß, der vom Jahre 1787 einem Würfel von 1362 Fuß Seitenlänge gleich. Die größten Lavaströme sind indessen auf der Insel Island von dem Skaptar Föthull ergossen worden. Im Jahre 1783 wurde dort so viel Lava ergossen, daß man 60 Quadratmeilen 600 Fuß hoch damit aufschütten konnte. Diese Lavamasse entspricht einem Würfel von 26550 Fuß Seitenlänge. Mit ihr könnte man 6 Berge aufbauen, jeden so groß wie der Montblanc. Diese Zahlen geben ein annäherndes Bild von der wunderbaren Größe der Naturkräfte.

Bei den niedrigen Vulkanen strömt die Lava gewöhnlich aus dem Krater, bei den hohen und höchsten in der Regel am Abhange des Kegels hervor. Die Ursache hiervon ist leicht einzusehen. Die flüssige Lavasäule übt einen bedeutenden Druck aus auf die Seitenwände der Bocca. Dieser Druck ist um so größer, je höher die Säule in der Bocca steht. Sind die Seitenwände hoher Vulkane nicht stark genug, diesem Drucke zu widerstehen, so müssen sie reißen; in die gebildete Spalte wirft sich die Lava

und spritzt am Abhange hoch im parabolischen Bogen hervor. Die Spalte reißt in der Regel vom Gipfel nach dem Fuße hin und ist bisweilen mehrere Tausend Fuß lang. Außer dem Drucke der flüssigen Lavasäule wirken (in der Regel) zur Spaltenbildung noch die heftigen durch Wasserdämpfe verursachten Explosionen mit. Werden mehrere Risse gebildet, wie das nicht selten vorkommt, so spritzt aus jedem Risse, so fern er mit der Bocca communicirt, glühende Lava. Im Laufe der Eruption entstehen dann, ähnlich wie im Krater selbst, auf den Rissen kleinere oder größere Schlackenkegel, rings am Abhange des Vulkans; man hat sie parasitische oder Schmarotzerkegel genannt. Am Vesuv sah man im Jahre 1794 die Lava aus mehreren Oeffnungen längs einer entstandenen Spalte im parabolischen Bogen hoch in die Luft spritzen. Ueber jeder Oeffnung bildete sich ein parasitischer Kegel.

Die Lava fließt wie jeder andere flüssige Körper. Die Schnelligkeit des Fließens hängt ab von dem Neigungswinkel des Bergabhanges, von dem größeren oder geringeren Flüssigkeitsgrade und von der Menge der nachdrängenden Lavamasse. Die Lava, welche am 12. August 1805 dem Vesuv ausströmte, soll in den ersten 4 Minuten einen Weg von 3 italienischen Meilen zurückgelegt haben. Mit Windesschnelle schoß sie über den Kegel in die Weinberge hinab und erreichte in 3 Stunden die Straße von Torre del Greco. Unter allen Vesuvischen Lavaströmen war sie die schnellste und dünnflüssigste. Der Lavastrom des Mauna-Loa vom Jahre 1852 legte in 2 Stunden 15 englische Meilen zurück. Die angeführten Geschwindigkeiten mögen vielleicht die größten sein, welche man bis jetzt bei Laven beobachtet hat. Die meisten Lavaströme haben eine geringere Geschwindigkeit; bei einigen ist die Geschwindigkeit äußerst gering. Der Lavastrom des Vesuv vom Jahre 1822 rückte bei Resina nur 5 bis 6 Fuß in der Stunde vor. Der Lavastrom des Aetna vom Jahre 1819 war nach 9 Monaten noch in Bewegung und rückte in einer Stunde etwa 3 Fuß weiter. Im ersten Moment des Ausfließens ist die Lava am dünnflüssigsten, kann daher auch die größte Geschwindigkeit haben. Ihre Oberfläche gleicht dann geschmolzenem Eisen, das dem Hohofen entströmt. Diese Oberfläche kühlt sich indeß rasch ab und bedeckt sich mit einer rauchenden Kruste, unter welcher die flüssige Lava sich weiter bewegt. Diese Kruste wird abwechselnd zerrißen und wieder hergestellt. Dadurch entstehen die mannichfaltigsten, bizarrsten Formen. Hier und da schwellen Blasen auf durch die

sich entbindenden Dämpfe. Die Blasen zerplatzen mit heftigem Geräusch und geben Veranlassung zur Bildung von Schlackenhügeln. Zu beiden Seiten des Lavastromes häufen sich die Schlacken in der Regel so sehr, daß der Lavastrom zwischen zwei Schlackendämmen sich bewegt. Auf der Unterfläche des Stromes bildet sich ebenfalls ein Schlackenpanzer, der, ähnlich dem der Oberfläche, bald zerrissen bald wieder hergestellt wird. So bewegt sich denn die Lava gleichsam in einem Schlackensack, der in demselben Maße sich verlängert, wie der Lavastrom vorwärts dringt. Dieser Schlackensack leitet die Wärme äußerst schlecht, schützt daher die eingeschlossene Lava vor schneller Erkaltung. So ist es zu begreifen, wie ein Lavastrom nach 9 und mehr Monaten noch langsam fließen kann. Daher kommt es auch, daß flüssige Lava, da wo sie sich ins Meer stürzt, nicht jenes heftige Geräusch und jene furchtbaren Explosionen erzeugt, die man zu erwarten berechtigt ist, wenn Wasser mit Feuer sich mischt. Der sogleich sich bildende Schlackenpanzer verhindert nebst dem gebildeten Wasserdampf das Zutringen des Wassers zu der flüssigen Lava. Spallanzani fand am Aetna eine Lava 11 Monate nach ihrem Ausbruch noch so heiß im Innern, daß ihre Spalten rothglühend erschienen und ein hineingehaltener Stock sofort in Flammen aufging. Den Lavastrom des Aetna vom Jahre 1832 fand Elie de Beaumont zwei Jahre nach dem Ausbruch noch so warm, daß man in die aus den Spalten hervorstömenden Wasserdämpfe den Finger nicht halten konnte. Ein Vesuvischer Lavastrom entzündete 3 1/2 Jahre nach seinem Ausbruch noch hineingeworfene Holzstücke. Einige Lavaströme des Aetna haben sogar nach 25 und 30 Jahren noch Wasser in Dampf verwandelt. Sogar 44 Jahre nach ihrem Ausbruch wurde die Lava des Koruslo in Mexico dampfend gefunden.

Wie groß die Hitze der Lava unmittelbar nach dem Erguß, oder im Innern des Kraters selbst ist, das ist unbekannt, weil man Versuche darüber nicht anstellen kann. Aus der Wirkung aber, welche die Lava während ihres Fließens an zugänglichen Orten auf Gegenstände ausübt, kann man ungefähr auf ihre Hitze im Krater selbst schließen. Trifft sie in ihrem Lauf auf Bäume, so steht der obere Theil derselben sogleich in lichten Flammen, während der von der Lava umhüllte Stamm aus Mangel an Sauerstoff verkohlt. Als die Vesuvlava vom Jahre 1779 in das Carmeliterkloster bei Torre del Greco unweit Neapel eindrang, da schmolzen die

gläsernen Trinkgeschirre, ohne daß sie mit der Lava in unmittelbare Berührung kamen. Schlackenstücke, welche 43 Tage nach dem Ausbruche der Vesuvlava vom Jahre 1779 in einen trichterförmigen Strudel geworfen wurden, wurden sogleich durchglüht und geschmolzen. Recupero machte im Jahre 1776 am Aetna die Beobachtung, daß ein 50 Fuß hoher Schlacken-
hügel, welcher von zwei, aus dem großen Lavaströme plötzlich hervor-
brechenden glühenden Lavabächen umgeben wurde, in der Zeit einer Viertel-
stunde gänzlich zusammenschmolz.

Betrachtet man ein geflossenes Lavastück genauer, so gewahrt man unzählige Hohlräume oder Blasenräume, welche, theils größer, theils kleiner, die ganze Masse durchziehen. Bisweilen sind sie so klein, daß man sie nur mit bewaffnetem Auge erkennen kann, häufig aber so groß, daß man sie schon von ferne deutlich erkennt. Diese Eigenthümlichkeit der Lava zeigt sich besonders an der Oberfläche eines geschmolzenen Lavaströms. Die Blasenräume sind hier am größten und sind in unendlicher Anzahl vorhanden, so daß bisweilen die Oberfläche des Stromes das Aussehen einer porösen, schwammigen Masse besitzt. Von der Oberfläche nach der Mitte des Stromes nehmen die Hohlräume allmählig ab; die Mitte des Stromes ist ganz dicht und compact; Hohlräume, weder kleine noch große, sind nicht oder nur ausnahmsweise hier vorhanden. Von der Mitte nach der Unterfläche des Stromes hin ist die Lava bisweilen compact, bisweilen mit Hohlräumen durchzogen, die, wenn sie auftreten, besonders an der Unterfläche in großer Anzahl und gut ausgebildet vorhanden sind. Viele dieser Blasenräume haben eine ganz regelmäßige Form, die Form einer Mandel, während andere unregelmäßig ausgebildet erscheinen. — Um diese Thatfachen zu erklären, müssen wir uns erinnern, daß die im Krater befindliche Lava eine große Menge von Dämpfen enthält, welche wegen des Druckes der darüber befindlichen Lavamassen nicht entweichen können. Ist die Lava aber von dem hohen Drucke befreit, so entbindet sie fortwährend Dämpfe, die man auch immer von der Oberfläche eines fließenden Lavaströmes aufsteigen sieht. Diese Dämpfe, die sich in der ganzen Dicke des Lavaströmes von der Unterfläche bis zur Oberfläche entwickeln, sind es, welche die Bildung der Blasenräume bedingen. Der Flüssigkeitsgrad eines Lavaströmes nimmt, wie leicht einzusehen ist, von der Oberfläche nach der Mitte hin zu, von der Mitte nach der Unterfläche langsam ab.

An der Oberfläche ist der Strom wegen der bedeutenden Wärmeausstrahlung am zähflüssigsten, in der Mitte ist er am dünnflüssigsten. Wird daher seine Oberfläche von Dämpfen durchzogen, während diese Oberfläche langsam erstarrt, so müssen die Blasen stecken bleiben und für die Oberfläche besonders charakteristisch sein. Nicht so ist es in der Mitte und von der Mitte bis zur Unterfläche, sofern die Unterfläche ein die Wärme schlecht leitender Schlackenpanzer ist. In der Mitte und an der Unterfläche steigen die Dampfblasen auch auf und durchziehen die ganze Dicke des Stromes. Wenn aber die Lava, während die Dämpfe hindurchziehen, nicht erstarrt, so werden die Hohlräume durch den Druck der darüber befindlichen Lavamasse in dem flüssigen Magma schnell verschwinden und können daher in der Mitte bis zur Unterfläche nicht vorhanden sein. Fließt ein Lavaström über eine Pflanzendecke, so findet eine bedeutende Gasentwicklung und eine rasche Abkühlung der Unterfläche des Stromes statt. Die Lava erstarrt unten rasch und die aufsteigenden Gase können nicht entweichen. Die Folge davon ist, daß auch die Unterfläche des Stromes, ähnlich wie die Oberfläche, mit Blasenräumen besät ist. Was die eigenthümliche Form vieler Hohlräume, die Mandelform anlangt, so erklärt sie sich in folgender Weise. Ist eine Gasblase eben im Aufsteigen begriffen, so sucht sie sich nach allen Richtungen gleichmäßig auszudehnen. Der auf ihr lastende Druck plattet sie oben und unten ab, während sie zugleich, durch die Kraft der nachdrängenden Lavamasse in die Länge gezogen, die Form einer Mandel annehmen muß. Die Vereinigung mehrerer regelmäßig gebildeter Blasenräume muß natürlich ein unregelmäßiges Gebilde geben. Da nun die Dampfblasen dicht neben einander aufsteigen, so wird es nicht selten vorkommen, daß zwei und mehr eben gebildete Hohlräume sich vereinigen und so die unregelmäßigsten Formen hervorrufen. Die Schlacken und Lapilli sind von solchen Hohlräumen gleichfalls häufig durchzogen.

Noch eine andere bemerkenswerthe Eigenthümlichkeit zeigt sich häufig in den Lavafeldern, jene Höhlen nämlich, deren Länge bisweilen Hunderte von Fuß beträgt, während ihre Breite und Höhe 20 und mehr Fuß erreicht. Auf Island ist eine solche Höhle besucht worden, deren Höhe 34 bis 36 Fuß beträgt, während ihre Breite 50 bis 54 Fuß, ihre Länge aber 5030 Fuß ist. Die Decke dieser Höhle ist mit Lavastalaktiten besetzt, die, ähnlich herabhängenden Eiszapfen, der Erscheinung ein eigenthümliches

wildes Gepräge geben. Die Seitenwände der Höhle sind gestreift und cannelirt. Die Bildung einer solchen Höhle beobachtete Hoffmann einstens auf seiner Reise in Italien. Ein Lavaström bedeckte sich an seinen Rändern und auch in der Mitte langsam mit Lavaschollen. Diese Lavaschollen ketteten sich von beiden Rändern nach der Mitte hin allmählig aneinander und bildeten schließlich eine fest geschlossene Decke, unter welcher die glühende Lava abfloß. Der Lavaström haute auf diese Weise ein eigenthümliches Gewölbe und rigte und furchte während des Durchfließens und Erhaltens die erstarrten Seitenwände.

Untersucht man die mineralogische Beschaffenheit der geflossenen Masse, die wir Lava genannt haben, so findet man eine merkwürdige Uebereinstimmung derselben bald mit den Basalten, bald mit den Trachyten; nicht selten scheint die Lava in der Mitte zwischen Basalten und Trachyten zu liegen.*) Ein und der nämliche Vulkan ergießt im Laufe der Zeit nicht immer dieselbe Lava; er scheint wählerisch bald die eine bald die andere Lavaart an das Tageslicht zu fördern. Das Aussehen der Lava ist entweder glasig**) oder steinig oder krystallinisch. Im ersten Falle hat

*) Man unterscheidet daher Basaltlava, Trachyllava und Trachydoleritlava. Bei den Basaltlaven besteht die Grundmasse aus Augit und Labrador, bei den Trachyllaven aus Sanidin und Oligoklas, bei den Trachydoleritlaven aus Oligoklas, Labrador und Augit. Die Basaltlava enthält gewöhnlich noch Magnetkies.

**) Die glasige Lava besteht aus einer vollständig amorphen Masse, die homogen und gleichmäßig ausgebildet einzelne Individuen nicht erkennen läßt. Ihre Ranten sind scharf, schneidend, durchsichtig oder durchscheinend. — Die steinartige Lava ist auch von dichter Beschaffenheit, ähnlich dem künstlichen Steingut ohne Glasglanz. Sie besteht indessen größtentheils aus einem sehr innigen Gemenge äußerst kleiner Krystalle, die mit dem bloßen Auge nicht zu erkennen sind. Die steinartige Lava geht an einigen Orten allmählig in die glasige über oder entwickelt sich aus ihr. — Die krystallinische Lava besteht aus einem deutlichen Gemenge krystallinischer Individuen, hier und da aus deutlich ausgebildeten Krystallen, die aber mehr oder weniger zerbrochen oder zerstört sind. Sie scheinen gewöhnlich in der Grundmasse mehr oder weniger lose eingebettet zu liegen. Sie zeigen zahlreiche Risse und Sprünge und sind an den Ranten gewöhnlich abgerundet. Durch den Einschuß solcher Krystalle bekommt die Lava die Porphyrystruktur. Auch die krystallinische Lava geht in die steinartige über. Einigemal hat man Lava beobachtet, die nach dem Erguß als ein feiner Sandbach den Abhang herunterrollte. Es ist dies eine äußerst interessante Erscheinung, die man auch an einigen Hochofenschlacken beobachtet hat. Kaum war die Schlacke aus dem Hochofen entfernt, da gerieth sie in lebhafteste Bewegung wie ein Ameisenhaufen und zerfiel in den feinsten Sand. Die Unterscheidung zwischen Lava und Basalt oder Lava und Trachyt ist oft mit

die Lava das Aussehen einer aus dem Hohofen gezogenen Schlacke und ist unter Umständen von der letzteren nicht wohl zu unterscheiden. Die steinige Lava sieht künstlichem Steingute mehr oder weniger ähnlich. Die krystallinische Lava besteht aus einem Gemenge krystallinischer Individuen.

Der Bimsstein, der im praktischen Leben so mannichfach verwendet wird, ist gleichfalls vulkanischer Natur und bildet den Uebergang von den eigentlichen Laven zu den vulkanischen Auswürflingen, indem er sich sowohl in Strömen findet, als auch in Form von Auswürflingen.*) Er ist eine besondere Ausbildungsweise der Lava. Er hat ein blasiges, schaumiges Aussehen, ist glasartig und schwimmt auf Wasser, obwohl er viel schwerer ist als Wasser. Die vielen mit Luft gefüllten Poren desselben ertheilen ihm die Eigenschaft zu schwimmen. Nicht jeder Vulkan liefert Bimsstein. Der Vesuv, der Aetna und noch andere Vulkane haben noch niemals Bimsstein hervorgebracht. Woran dies liegt, kann bis jetzt mit Bestimmtheit nicht gesagt werden. Der Bimsstein entsteht, wie es scheint, aus einem weniger flüssigen, also auch weniger heißen Material, dessen zahlreich eingeschlossene Wasserdämpfe die Masse durchzogen haben, während die Masse dabei rasch erkaltete.

Nicht nur in mineralogischer, auch in chemischer Beziehung stimmen die Laven und die anderen vulkanischen Produkte mit den Basalten oder Trachyten mehr oder weniger überein. Dies ist von großer Wichtigkeit für das

Schwierigkeiten verbunden. Die Basalte haben einen starken Wassergehalt, die Basaltlaven gewöhnlich nicht. Die Basalte enthalten in der Regel 2% Wasser. Doch gibt es einige Laven, namentlich ältere, die bis zu 2,3% Wasser enthalten. Das Vorkommen von Zeolith in Blasenräumen läßt gewöhnlich auf einen Basalt schließen, obwohl Zeolithe auch in manchen Laven vorkommen. Die trachytischen Laven zeichnen sich vor den Trachyten durch den Mangel an jenen großen Sanidinkrystallen aus, die für den ächten Trachyt so charakteristisch sind. Indeß ist auch dieses Merkmal nicht immer zutreffend. Bei der krystallinischen Lava sind die Krystalle nicht fest mit der Grundmasse verwachsen, sondern liegen lose darin, anders ist es mit den Krystallen echter Basalte und Trachyte. Bei diesen sind die Krystalle mit der Grundmasse verwachsen, sowie die Feldspathkrystalle im Porphyr. Aber auch dieses Merkmal ist nicht absolut entscheidend.

*) Dies gilt auch für den Obsidian, der eine vollkommen glasige Masse mit deutlichem muscheligem Bruche vorstellt, die bald schwarz, bald braun, bald grün gefärbt ist. Einige Obsidiane sind bituminös. Die kugeligen Bildungen im Obsidian (Sphärolithbildung) scheinen den Uebergang von vollkommenem Glas zu feinerer und krystallinischer Lava anzudeuten.

Schicksal einer von vulkanischen Erscheinungen heimgesuchten Landschaft; denn wenn auch alle Vegetation momentan von Grund aus zerstört wird, so entsteht doch schon nach wenigen Jahren aus der vulkanischen Asche ein sehr fruchtbarer Boden. Nicht so ist es freilich mit der Lava. Während die fein gepulverte vulkanische Asche rasch durch die Kohlensäure der Luft und durch das Wasser zersetzt und dadurch vegetationsfähig wird, wird die massige Lava nach Jahrhunderten oft noch ganz frisch und unverändert gefunden. Ist sie glasartig, so bleibt sie wie es scheint für alle Zeiten vegetationsunfähig. Die chemische Zusammensetzung vulkanischer Produkte ist folgende:

Bimsstein von Santerin analysirt von Abich.		Obsidian von Guades Loupe analysirt v. Deville.	Asche des Gunung Suntur auf Java analysirt von Schweizer.	Luff des Epomeo auf Nischia analysirt von Abich.	Basaltlava vom Vesuv im Jahre 1834 ergossen analysirt von Abich.	Trachytlava von Island analysirt von Bunsen.
Kieselsäure	69,79	74,11	51,64	54,57	49,23	75,12
Thonerde	12,31	10,44	21,89	17,93	15,77	11,34
Eisenoxyd	4,66			5,49		3,92
Eisenoxydul		6,25	10,79		11,85	
Kalk	1,68	2,12	9,34	0,77	6,97	1,73
Magnesia	0,68	0,44	3,32	0,77	6,01	0,39
Kali	2,02	1,15	0,55	5,23	4,01	1,85
Natron	6,69	4,84	2,92	6,40	5,56	4,39
Wasser			0,60			0,41
Wasser und Chlor	2,93			8,19		
Manganoxydul		0,78				

Die krystallinischen sowie auch die feinen Laven enthalten bald große bald mikroskopisch kleine Krystalle in außerordentlicher Anzahl. Man erkennt, namentlich in Dünnschliffen, aufs deutlichste Krystalle von Feldspath, Augit, Hornblende, Glimmer, Magneteisen und Olivin. Diese Krystalle sind wahrscheinlich schon vor dem Ausfluß der Lava gebildet worden. Um das zu begreifen, muß man bedenken, daß die heißflüssige Lava durchaus nicht zu vergleichen ist mit einer aus dem Hohofen abgezapften Schlacke. Diese Schlacke ist gänzlich frei von Wasser, nicht aber jene Lava in der

Bocca. Die Lava ist mit hochgespannten Wasserdämpfen vollständig imprägnirt und diese dürften die Hauptursache der krystallinischen Ausbildung sein. Sowie die Lava vom Drucke befreit an die Luft kommt, entweichen die Dämpfe. Wäre die langsame Abkühlung die Ursache der Krystallbildung, so müßten die mittleren und unteren Theile eines Stromes, die sich nur äußerst langsam abkühlen, viel krystallinischer sein als die oberen. Das ist aber bis jetzt nicht beobachtet worden. Außerdem hat man frisch ausgeworfenen vulkanischen Sand, der sich sehr rasch abkühlte, sowie vulkanische Asche vollkommen krystallinisch gefunden. Leucitkrystalle wurden von Monticelli und Covelli beschrieben, die zum Theil angeschmolzen waren, was nur innerhalb des Vulkans geschehen konnte*).

Die Bestandtheile der Sande und Aschen, unter dem Mikroskope untersucht, unterscheiden sich von den Bestandtheilen der aus demselben Vulkane geflossenen Laven besonders in folgenden Punkten. Die Bestandtheile der Aschen zeichnen sich aus**):

1) Durch eine große Anzahl von Glaseinschlüssen in den Krystallen. In den Aetna-Sanden strogen die farblosen triklinen Feldspathe von runden und eiförmigen, verschieden gefärbten und mit Bläschen ausgestatteten Glaseinschlüssen, womit auch die flaschengrünen Augite überladen sind.

2) Durch eine große Menge von Mikrolithen in den Augiten und Leuciten.

3) Durch das Vorherrschende von Glassubstanz, welche selbständig in der Masse der Sande und Aschen auftritt.

4) Durch die ungewöhnliche Menge von leeren, durch Gase und Dämpfe erzeugten dunkelumrandeten Poren sowohl in den Gläserchen, als in den Krystallen.

Ueber die Entstehung des eigentlichen vulkanischen Berges gibt es zweierlei Theorien. Nach der einen ist der vulkanische Berg aufgebaut aus Lavaströmen, Schlackenschichten und Sand; nach der anderen, die von L. von Buch herrührt und Erhebungstheorie genannt wird, ist er durch eine unterirdische Kraftäußerung in ganz kurzer Zeit hervorgetrieben worden. In einem solchen Erhebungskegel entsteht entweder eine Spalte, durch welche

*) Scrope, Ueber Vulkane. Seite 99.

**) Birtel, die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine.

er mit dem heißflüssigen Erdinnern in Verbindung steht und durch welche später die Laven hervortreten, oder es entsteht keine Spalte. Im letzteren Falle zeigt der Berg die eigenthümliche Domform. Lava ist alsdann aus dem Gipfel oder aus dem Abhang niemals ergossen worden.

Die Erhebungstheorie wurde hauptsächlich gestützt durch die mächtigen Lavaschichten am Abhange mancher Vulkane, die nicht selten eine Neigung von 25 bis 30° haben.

Auf einem 25 bis 30° geneigten Terrain konnten Lavamassen, so glaubte man, eine zusammenhängende Masse gar nicht mehr bilden. Man nahm daher an, sie seien ursprünglich auf wenig geneigtem Boden geflossen und später durch eine unterirdische Kraft mit dem Berg emporgetrieben worden. Seitdem man erfahren hat, daß Lava auch auf so stark geneigtem Boden fließt, ohne den Zusammenhang zu verlieren, hat man sich mehr der Aufschüttungstheorie genähert.

Wäre uns ein Blick in das Innere eines vulkanischen Berges vergönnt, und könnten wir die Lavasäule verfolgen bis zu ihrem Ursprung, dann wäre es nicht mehr schwer eine vollständige Theorie des Vulkanismus aufzustellen. So lange das nicht ist, müssen wir aus den bekannten Erscheinungen selbst eine Theorie ableiten, welche unser Vorstellungsvermögen befriedigt und mit den Thatfachen sich nicht im Widerspruch befindet.

Fragen wir uns zunächst, wie kommt die große Menge von Wasser, die in Dampfform aus dem Krater strömt, in die flüssige Lava. Wir haben in dem zweiten Vortrage gehört, daß der Wasserdampf, als die Oberfläche der Erde sich bis zu 390° C. abgekühlt hatte, anfang tropfbar flüssig sich niederzuschlagen. Dieser Temperatur entspricht ein Druck von ungefähr 280 Atmosphären. Als die Gesteine der Oberfläche noch heißflüssig waren, waren sie mit Wasserdampf von noch weit höherer Temperatur und weit höherem Drucke in Berührung. Nun ist es bekannt, daß flüssige Körper von Gasen und Dämpfen unter hohem Drucke imprägnirt werden, und daß diese Gase und Dämpfe erst dann entweichen, wenn der Druck abnimmt. Daß das auch für heißflüssige Gesteine gilt, lehrt die aus dem Krater fließende Lava. Wenn es nun im Erdinnern noch heißflüssige Gesteine gibt, so stehen diese unter einem weit höheren Drucke als dem von 280 Atmosphären und sie mußten auch von jeher unter einem

solchen gestanden haben; denn spaltete auch die Erde zu verschiedenen Zeiten, so füllten sich diese Spalten sogleich mit Wasser, das verhinderte, daß die entblößte heißflüssige Masse unter einen geringeren Druck kommen konnte. Die Wasserdämpfe und Chlornatriumdämpfe, welche die heißflüssige Masse bei diesem Drucke aufnehmen kann, konnten daher noch niemals entweichen. Die heißflüssige Masse des Erdinnern enthält demnach bis zu einer gewissen, freilich unbekannten Tiefe von Anfang her Dämpfe von Wasser und Chlornatrium. Ob diese Dämpfe ausreichen, die ungeheure Menge von Wasserdämpfen, die eine Eruption begleiten, zu erklären, läßt sich nicht entscheiden. Fragen wir daher: Kann nicht ein Theil der Dämpfe von Meerwasser, das durch den Meeresboden bis zu der heißflüssigen Zone gedrungen ist, herühren? Wie schon früher angegeben, kann das Meerwasser, vermöge des auf ihm lastenden Druckes, bis zu den allergrößten Tiefen eindringen, wenn es hier nicht in Dampf verwandelt wird, welcher dem darüberliegenden Druck das Gleichgewicht hält. Leider ist der Zusammenhang zwischen Druck und Temperatur von Wasserdämpfen über 230° C. nicht bekannt. Die Versuche von Regnault führten nur zu empirischen Formeln, nicht zu einem allgemein gültigen Gesetze. Und selbst diese empirische Formeln weichen von einander nicht unerheblich ab. Pfaff*) berechnet unter Zugrundelegung der Formel von Regnault folgende Tabelle.

Tiefe unter der Oberfläche.	Die in dieser Tiefe herrschende Temperatur.	Spannkraft der Wasserdämpfe bei dieser Temperatur in Atmosphären.	Druck einer Wassersäule von 10000, 20000, 80000 u. f. w. Fuß in Atmosphären.
10000 Fuß	100		300
20000 „	200	153	600
80000 „	800	1416	2400
100000 „	1000	1877	3000
200000 „	2000	2403	6000

Sofort ersieht man aus der Tabelle, daß der Druck der Wassersäule stets erheblich größer ist als die Spannkraft des Wasserdampfes in der betreffenden Tiefe. Pfaff schließt daher mit Recht, daß Wasser bis zu dem

*) Pfaff, Allgemeine Geologie S. 142.

heißflüssigen Erdbinnern gelangen kann, ohne sich in Dampf zu verwandeln, und fügt dann hinzu: „es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, daß die Formel von Regnault für die Temperatur von 1000° an nicht mehr Geltung haben wird, und zwar in der Art, daß das absolute Maximum der Spannkraft des Dampfes nicht die Höhe erreichen kann, die wir nach ihr finden, daß der Dampf schon früher zu Wasser verdichtet wird.“ Leider gibt er nicht an, warum das im höchsten Grade wahrscheinlich ist.

Außer Regnault haben noch andere Männer Formeln aufgestellt, namentlich Magnus und Arago und Dulong.*) Rechnet man nach diesen Formeln so kommt man zu folgenden Tabellen:

Tiefe unter der Oberfläche in Fuß.	Die in dieser Tiefe herrschende Temperatur.	Spannkraft der Wasserdämpfe bei dieser Temperatur in Atmosphären.	Druck einer Wassersäule von 10000 20000 u. s. w. in Atmosphären
10000	100	1	300
20000	200	159	600
80000	800	3416	2400
100000	1000	16990	3000
200000	2000	47260	6000

10000	100	1	300
20000	200	148	600
80000	800	7822	2400
100000	1000	22762	3000
200000	2000	36025	6000

Die erste Tabelle ist nach der Formel von Magnus, die zweite nach der von Arago und Dulong berechnet. Nach diesen Tabellen ist die Sache freilich ganz anders. Darnach kann das Wasser nicht tiefer eindringen als etwa 80000 Fuß; denn in dieser Tiefe hielte der Wasserdampf einer mehr als 100000 Fuß hohen Wassersäule das Gleichgewicht. Da aber beide

*) Formel von Magnus: $\log p = \frac{5,2223 (t - 100)}{234,69 + t}$; f. Weisbach, Maschinenmechanik S. 809. Formel von Arago und Dulong: $p = [1 + 0,007153 (t - 100)]^5$ worin t die Temperatur und p den Druck in Atmosphären bedeutet.

Formeln so sehr abweichende Resultate liefern, so sind sie, so wie auch die Regnault'sche, für höhere Temperaturen nicht zu verwerthen und alle Schlüsse, die man darauf baut, sind gänzlich unzuverlässig. Die Frage, ob das Meerwasser tropfbar flüssig bis zu dem heißflüssigen Erdinnern gelangen kann, läßt sich von einem anderen Gesichtspunkte beleuchten. Es ist bekannt, daß Wasserdampf durch sehr hohe Temperatur, bei gewöhnlichem Luftdrucke, in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt wird. Daß er auch unter sehr hohem Drucke noch zerlegt wird, ist zwar direct nicht bewiesen, wird aber höchst wahrscheinlich, wenn man an den Wasserstoff und die Wasserstofferuptionen in der Sonnenatmosphäre und an die dunklen Wasserstofflinien des Sonnenspektrums denkt. Unter gewöhnlichem Drucke liegt die Zersetzungstemperatur zwischen 2000 bis 3000° C. Bei sehr hohem Drucke mag sie weit höher liegen. Die aus dem Krater ausfließende Lava erreicht bei weitem nicht eine Temperatur von 3000° C. In sehr großer Tiefe dürfte übrigens diese Temperatur erreicht und auch bedeutend überschritten werden. Hier ist dann jedenfalls die Grenze, bis zu welcher Wasser dringen kann, wenn die Regnault'sche Formel richtig sein sollte. Sind aber die anderen Formeln für hohe Temperaturen richtiger, dann rückt diese Grenze der Oberfläche viel näher und 100000 bis 200000 Fuß dürfte dann etwa die größte Tiefe sein, bis zu welcher Meerwasser tropfbar flüssig noch dringen kann.

Aus dem Gesagten geht hervor, daß Meerwasser durch den Boden hindurch bis zu der Lavafäule sickern kann. Es kann indessen auch durch plötzlich entstehende Spalten dahin gelangen. Solche Spalten können durch heftige Explosionen entstehen und es ist gar nicht nothwendig, daß sie einen sehr weiten Verlauf haben, weil die meisten Vulkane in der Nähe des Meeres liegen, sie können aber auch durch Spannungsdifferenzen in dem Gestein entstehen.

Es erhebt sich jetzt die Frage: Wie ist es möglich, daß eine Lavafäule von dem heißflüssigen Erdinnern bis zur Oberfläche emporgepreßt wird?

Da der Erde fortwährend Wärme entzogen wird, so findet eine stetig fortschreitende Volumenverminderung statt. Die Folge davon ist eine Spannungsdifferenz in den Gesteinen, die sich so lange steigert, bis sie durch eine oder mehrere Spalten aufgehoben wird. Das Gewicht der

durch die Spalten zum Theil oder ganz losgelösten Massen, das vorher von den angrenzenden Gesteinen zum Theil getragen wurde, ruht nun größtentheils oder ganz auf dem flüssigen Erdinnern. Von dieser stärkeren Pressung befreit sich die heißflüssige Masse durch Aufsteigen in einer Spalte. Ist die sich senkende Masse groß, so ist der Druck groß und das Aufsteigen kann bis zur Oberfläche stattfinden. Hier wird so lange Lava ausfließen, bis der Druck der aufgestiegenen Lavasäule dem Gewichte der gesunkenen Masse das Gleichgewicht hält. Ist die gesunkene Masse weniger groß, so kommt die Lava nicht einmal bis zur Oberfläche. Findet das Meerwasser Zutritt, so können heftige Erdbeben im letzteren Falle entstehen. Erdbeben können auch schon entstehen, wenn der in der Lava gebundene Wasserdampf dem über der Lava befindlichen Druck das Gleichgewicht hält. Solche Erdbeben hätten ihren Sitz in nicht bedeutender Tiefe unter der Oberfläche.

Kommt die Lava zum Ausfließen und es tritt auf die eine oder andere Weise Meerwasser in größerer oder geringerer Tiefe zu ihr, so erfolgen die mehr oder weniger heftigen Erscheinungen, die früher geschildert wurden. Die stärksten Paroxysmen werden dann eintreten, wenn die Spalte durch Jahrhunderte hindurch an einer oder mehreren Stellen sich verstopft hat und durch die hochgespannten Dämpfe in der Tiefe aufgesprengt wird. Die Thatfache, daß vor einer heftigen Eruption die Quellen und Bäche versiegen und das Meer häufig zurücktritt, spricht entschieden für ein Eindringen von Wasser zu dem vulkanischen Herde.

Dies ist in kurzen Zügen die Hypothese, von der wir glauben, daß sie bis jetzt die vulkanischen Erscheinungen am besten erklärt. Sehen wir noch zu, ob die mancherlei Eigenthümlichkeiten der vulkanischen Erscheinungen, die früher erwähnt worden sind, mit dieser Hypothese im Einklang stehen. Wir wissen, daß Vulkane nur im Meere oder an der Meeresküste vorkommen. Nach der vorgetragenen Hypothese muß dies so sein. Verfolgen wir die Oberfläche einer Kugel, deren Mittelpunkt der Erdmittelpunkt und deren Radius etwa $1\frac{1}{2}$ Meile kürzer als der Radius unserer Erde ist. Auf dieser Oberfläche ist die Temperatur sehr verschieden. Wo sie unter dem Meere hinzieht ist die Temperatur um 300 bis 400° niedriger als unter dem Land. An der Grenze zwischen Meer und Land und unter dem Meer selbst findet folglich die bedeutendste Spannungsdifferenz statt. Hier und nirgends sonst müssen sich daher Spalten bilden, die eine sehr große Er-

streckung haben können. Und es ist recht wohl denkbar, daß die Lava an mehreren Punkten derselben bis zur Oberfläche herausgepreßt wird. Damit erklärt sich die eigenthümliche Erscheinung der Reihenvulkane. Es ist aber auch möglich, daß durch das Sinken des Meeresbodens mehrere sich kreuzende Spalten gebildet werden, und daß auf verschiedenen Punkten dieser Spalten Vulkane sich ausbilden. Wenn Sie alle erwähnten Erscheinungen noch einmal dem Geiste vorüberführen, so finden Sie manche, die sich der Erklärung nicht fügen will. Das liegt aber nicht an der Hypothese; denn keine der erwähnten Thatfachen steht mit ihr im Widerspruch. Der Grund davon liegt darin, daß von vielen Erscheinungen die Anzahl der beobachteten Thatfachen noch zu mangelhaft und zu gering ist und darin, daß die einschlagenden Zweige der Naturwissenschaften bis jetzt noch nicht auf der Höhe stehen, von der aus eine innige Verknüpfung aller Erscheinungen allein möglich ist. Um dies an einigen Beispielen zu zeigen, wollen wir zunächst die Mofetten betrachten, die besonders an dem Besuv häufig beobachtet worden sind. Unter Mofetten versteht man Ausströmungen von Kohlen säuregas oder, besser gesagt, Kohlen säurequellen, die am ganzen Umfange des Vulkans nach dem Ausbruche emporsteigen. Monate lang fließen diese Quellen mit großer Energie in Kellern, auf Feldern, in Gärten, zwischen den Reben aus den unfruchtbaren Lapilli wie aus der vortrefflichsten Dammerde und in den dichtesten Wäldern. Weit sogar vom Mittelpunkte der Verwüstung, auf dem Grunde des Meeres, steigt das Gas empor. Die Fische eilen ihm zu entfliehen und gehen entschlossen in die Netze der Fischer. Ein ganzer See von Kohlen säuregas entsteht um den Vulkan und gefährlich ist es in seine Nähe zu kommen. Die Vögel, die nichts ahnend dicht über der Erde dahinfliegen, fallen plötzlich todt darnieder. Schon oft trieb der Bauer seinen Esel vom Markte zurück nach dem Dorfe auf dem stets sicheren Weg, als plötzlich das Thier umfällt und erstickt und ihn zur schnellen Flucht zwingt. Dem Menschen der aufrecht steht, sind diese Mofetten weniger gefährlich, weil das Kohlen säuregas schwerer als Luft ist und daher nur eine wenig hohe Schicht über der Erde bildet, und Plinius kam nur deswegen ums Leben durch dieses Gas, weil er sich niederlegte. Ganze Weinberge und Baumpflanzungen gehen durch dieses Gas zu Grunde. Das ist nun doch eine seltsame Erscheinung. Nicht aus dem Krater, aus dem alle anderen Gase sich entwickeln, nein,

am Abhange, am Fuße des Vulkans und weit entfernt von diesem strömt das tödtliche Gas aus Rissen, die oft kaum sichtbar sind. *) Nicht während der Eruption bildet sich der Kohlen säuresee, sondern nach der Eruption, oft erst wochenlang nachher beginnt plötzlich das Gas der Erde zu entquellen. Wie kommt nun dies? — Diese Frage ist nicht so leicht zu beantworten, weil die Beobachtungen über die Mofetten und was damit zusammenhängt noch zu mangelhaft sind. Wir müßten z. B. wissen, ob die Mofetten nach der Eruption bei jedem Vulkane auftreten, ob das Hervorbrechen aus den Rissen überall so lange nach der Eruption eintritt, ob nicht auch während der Eruption an einigen Orten Kohlen säure hervorströmt, in welcher Entfernung vom Vulkankegel überhaupt noch Kohlen säure strömt, welches die Gesteine sind von der Oberfläche nach dem Erdinnern zu, durch welche das Gas strömt. Diese Fragen, wenn sie durch die Beobachtungen gelöst werden könnten, würden viel Licht über die Ursache der Erscheinung verbreiten, und, es ist keine Frage, eine bündige Theorie der Mofetten hervorrufen. Bis jetzt hat man besonders zwei Hypothesen über die Entstehung dieser Kohlen säurequellen aufgestellt. Die eine beruht auf der Thatfache, daß kohlen saurer Kalk, wenn er stark erhitzt wird, in Kalk und Kohlen säure zerfällt. Sind daher in vulkanischen Gegenden in der Tiefe Kalklager und bringt die Hitze der Lava bis zu ihnen, so muß Kohlen säure entbunden werden und aufsteigen. Sind diese Kalklager sehr tief unter der Oberfläche, so begreift man, warum so lange nach der Eruption die Kohlen säure zum Vorschein kommt; auch ist es nicht mehr befremdend, daß sie monatelang fließt; denn wenn die Hitze einmal bis zu dem Kalkgestein gedrungen ist, so wird sie, wegen der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit des Gesteins noch lange auf es einwirken. Mit dieser Erklärung könnte man zufrieden sein, wenn nicht an vielen Orten Kohlen säurequellen wären, die Jahrzehnte, sogar Jahrhunderte lang fließen, und wenn nicht das Ausströmen von Kohlen säure an allen Orten eine ganz gewöhnliche Erscheinung wäre. Anzunehmen, daß überall, wo Kohlen säure fließt, in der Tiefe Kalklager durch Hitze zersezt werden, ist gewagt, namentlich

*) Die Thatfache, daß auf dem Meeresboden starke Entwicklungen von Kohlen säuregas auftreten, liefert den Beweis, daß Risse, wenn auch noch so fein, vom Meeresboden nach der Tiefe gehen. Kann durch dieselben Kohlen säure aufsteigen, so kann auch Wasser bis zum Ursprung der Kohlen säureentwicklung gelangen.

wenn die Kohlensäure jahrelang ausströmt. Daher hat G. Bischof noch eine andere Erklärung gegeben, die in vielen Fällen richtig sein dürfte. Sie beruht auf dem Versuche, daß kohlen-saurer Kalk oder kohlen-saure Magnesia oder kohlen-saures Eisenoxydul durch fein zertheilte Kieselsäure und siedendes Wasser in kiesel-sauren Kalk und freie Kohlensäure zer-setzt wird. Sind in der Erde irgendwo diese Bedingungen vorhanden, so ist die Entwicklung der Kohlensäure nicht mehr räthselhaft. In welcher Tiefe aber die genannten Bedingungen zur Kohlensäure-Entwicklung vorhanden sind, das läßt sich, so interessant es auch zu wissen ist, in den meisten Fällen nicht angeben, und in diesem Punkte wird unser Wissen noch lange lückenhaft bleiben.

In welchem Zusammenhange heiße Quellen und Vulkane stehen, das ist genau noch nicht bekannt, obwohl man weiß, daß an vielen Orten eine Beziehung zwischen beiden vorhanden ist. So ist es eine wohlbekannte Thatsache, daß die meisten Quellen am Fuße der Vulkane Schwefelwasserstoff und Kohlensäure oder nur Kohlensäure enthalten, zwei Gase die keinem Vulkane zu fehlen pflegen und die besonders im Zustande der Ruhe aus dem Krater ausgestoßen werden. Ob aber diese Quellen aus Dämpfen entstehen, die aus der Bocca durch Spalten entweichen und sich condensiren, oder ob sie gewöhnliche Quellen sind, in die Kohlensäure und Schwefelwasserstoff eindringen, das läßt sich bis jetzt mit Sicherheit in einem gegebenen Falle nicht entscheiden.

Nicht minder räthselhaft ist die Art der Wechselwirkung zweier nicht weit von einander entfernten Vulkane, zwischen welchen mit ziemlicher Bestimmtheit ein Zusammenhang nachgewiesen ist. Die Liparischen Inseln befinden sich etwa in der Mitte zwischen Aetna und Vesuv. Unter 20 Eruptionen auf den Liparischen Inseln, die zwischen den Jahren 200 v. Chr. und 1750 n. Chr. verzeichnet sind, fielen 4 zusammen mit den gleichzeitigen Ausbrüchen des Aetna und Vesuv, 7 waren gleichzeitig mit Ausbrüchen des Aetna und 2 fielen zusammen mit Vesuveruptionen, während 6 stattfanden, ohne daß der Aetna oder der Vesuv in bemerkbarer Aufregung war. Auf Kamtschatka ist der Antagonismus zwischen dem Schiwuletsch und der Klitschewskoja Skopa in die Augen fallend. Der erste Vulkan war vom Jahre 1735 bis 1740 ruhig, während der zweite fortwährend arbeitete. Vom Jahre 1790 bis 1810 war es umgekehrt, der Klitschewsko-

koja Skopa ruhte und der Schiwuletsch war in ununterbrochener Thätigkeit. Im Jahre 1853 gerieth der Vulkan Kliutschewskoja in Thätigkeit, als plötzlich der Gipfel des Schiwuletsch zusammenstürzte, und die Eruption am Kliutschewskoja aufhörte. Noch andere ähnliche Erscheinungen sind verzeichnet. Sie liefern den Beweis, daß ein Zusammenhang zwischen manchen Vulkanen besteht, wie es auch nach der vorgetragenen Hypothese sein muß. In den Kratern mancher Vulkane sieht man nicht selten zwei Eruptionscentra, in denen das Spiel der vulkanischen Thätigkeit ununterbrochen vor sich geht. Offenbar theilt sich hier in einer gewissen Tiefe der schlotartige Kanal in zwei Arme. Bisweilen liegt das eine Eruptionscentrum höher als das andere und nur das höher gelegene ist in voller Thätigkeit, während aus dem tiefer gelegenen Lava gar nicht ausfließt. In diesem Falle ist der eine Kanal in der Tiefe verstopft, weil sonst nach hydrostatischen Gesetzen Lava aus dem tiefergelegenen Regel ausfließen müßte. So mag es auch sein mit Vulkanen, die auf ein und derselben größeren Spalte sich aneinander reihen. Wäre hier die Spalte nicht an verschiedenen Punkten verstopft, so müßten alle Vulkane in Thätigkeit sein, wenn der höchste in Thätigkeit ist. — Damit habe ich Ihnen das Wichtigste und Interessanteste aus der Lehre vom Vulkanismus vorgeführt. Wenn wir bedenken, mit welchen Opfern an Zeit und Geld die Erforschung vulkanischer Erscheinungen verbunden ist, welche Mühseligkeiten und Gefahren die Forscher zu bestehen haben, so können wir, rückblickend auf das Gewonnene, dem Ringen des menschlichen Geistes nach Wahrheit und Erkenntniß unsere Bewunderung nicht versagen; denn für den ersten Augenblick scheint das Unternehmen, die vulkanischen Erscheinungen erklären zu wollen erfolglos zu bleiben. Diese Erscheinungen sind einer zusammenhängenden, aus verschiedenen Gliedern gebildeten Kette zu vergleichen, von welcher wir einzelne Glieder genau, viele nur zum Theil und andere gar nicht kennen, und schwierig ist es, aus Bruchstücken das Ganze zu construiren. Wenn daher auch die aufgestellte Hypothese so manches gut erklärt, so ist sie wahrscheinlich noch weit entfernt, der Ausdruck der absoluten Wahrheit zu sein. Und wenn wir Ursache haben mit Stolz auf das Gewonnene zu sehen, so dürfen wir nicht vergessen zugleich mit Bescheidenheit auf das zu Erringende zu blicken, damit dem Streben nach Wahrheit ein neuer Impuls gegeben werde.

Beobachter.
Buijt.
Hörner.
Hoffmann.
Kozet.
Hoffmann.
Dufrénoy.
Hoffmann.
Abich.
D'Urville.
Dupuget.

*) Aus C. W. C. Fuchs die vulkanischen Erscheinungen der Erde.

	Fuß.	Met.	Beobachter.
35) G. Lamongan	4510	1465	Deville.
36) Soufrière de Guadeloupe . . .	4567	1484	
37) G. Empong	4740	1540	
38) Morne Caron auf St. Vincent (Antillen)	4740	1540	
39) Omotepl.	4785	1554	Zunghuhn.
40) Drofi	4900	1592	
41) Ometepec	4900	1592	
42) Hekla	4961	1612	
43) G. Saputang	5000	1624	
44) Dalay Dsaiit	5000	1624	
45) G. Kelut	5017	1630	
46) Pic de Langle (Jefo)	5020	1631	
47) Vulkan von Tuxtla	5118	1662	
48) Makuschin	5136	1668	
49) Vulkan de Viejo	5216	1694	
50) G. Sumbing (Java).	5238	1702	
51) Snaefjall Joekul (Island). . . .	5432	1764	
52) Ghyafialla Joekul (Island). . .	5500	1787	
53) Seret Berapi	5500	1787	
54) G. Pachan.	5532	1797	
55) Telaga Bodas.	5687	1847	
56) G. Whahan	5766	1873	
57) Luhu Radja	5850	1900	
58) G. Alabat	6000	1949	
59) Droefa Joekul (Island)	6000	1949	
60) Tangkuban Prau	6030	1959	
61) G. Guntur.	6100	1981	
62) Nanteles	6300	2046	
63) Wilitjchinskaja Skopa	6330	2056	
64) Tongarivo (Neu Seeland) . . .	6500	2111	Hochstetter.
65) Rovalo	6587	2120	
66) Momotombo	6600	2144	
67) G. Gagat	6756	2195	
68) G. Salak	6760	2196	Zunghuhn.
69) G. Tengger (Java)	7080	2300	
70) Osorno (Chile)	7083	2301	
71) G. Malawar	7086	2302	
72) Cimadef auf Bourbon	7200	2339	Zunghuhn. Ferrer.
73) G. Zbjen (Java)	7265	2360	
74) Pico alto (Azoren)	7328	2380	
75) G. Pegandajan (Java)	7400	2404	
76) Poworotnaja Skopa	7442	2417	Beechy.
77) San Vincente	7500	2436	
78) Vulkan von Bourbon	7507	2438	
79) Schischaldinskoi	7578	2462	
80) Olymp in Californien	7635	2480	
81) Tobaltschinskaja Skopa	7800	2534	

	Fuß.	Meter.	Beobachter.
82) Vulkan von Tristan da Cunha	7800	2534	
83) G. Wilis	7957	2585	
84) Hassan Dagb	8000	2599	
85) Awatschinskaja Skopa	8214	2668	Lütke.
	8199	2663	Erman.
	8500	2761	Beech.
	8360	2715	Erman.
86) Awatscha	8463	2749	
87) G. Patuha (Java)	8490	2758	
88) G. Tembero	8496	2760	Lütke.
89) Jupanow	8587	2789	Dewille.
90) Fuego (Capverd. Inseln)	8620	2800	
91) Vulkan von Antuco	8940	2904	
92) G. Merapi (Java)	8980	2917	
93) G. Merapi (Sumatra)	9000	2924	Hochstetter.
94) Kuapahu (Neu Seeland)	9010	2927	
95) G. Rajaman	9040	2937	
96) G. Singalang	9235	3000	
97) Wotos	9255	3006	
98) Papagayo	9320	3027	
99) G. Gedé (Java)	9326	3029	
100) Pangerango (Java)	9405	3055	
101) Tjerimai	9590	3115	
102) G. Werbabu	9600	3119	
103) G. Raon	9682	3145	
104) G. Sindoro	9898	3215	Erman.
105) Schiwuletsch	9955	3234	Lütke.
106) Kronoskaja Skopa	9986	2244	Raffles.
107) G. Ardjuno	10000	3248	
108) G. Dempo (Sumatra)	10065	3270	
109) G. Latvu	10122	3288	
110) Mauna Wororai	10200	3313	
111) Aetna	10348	3361	
112) G. Sumbing	10390	3375	
113) Mauna Hararai	10506	3413	Frangius.
114) Frazu	10570	3434	
115) Chiriqui	10627	3452	
116) G. Agoeng auf Bali	10630	3453	
117) G. Slammat	10700	3476	
118) Clarence Pic auf Fernando Po	10774	3500	
119) Vulkan von Carthago	10900	3541	
120) Terror	11010	3576	
121) Pico blanco	11090	3602	
122) Koriazkaja Skopa	11200	3638	
123) Agmangan	11266	3659	
124) Colima	11320	3677	
125) Maeman	11408	3706	Dewille.
126) Pic de Tenide (Teneriffa)	11480	3729	Jungbuhn.
127) G. Semeru			

	Fuß.	Meter.	Beobachter.
128) Tobreono	11500	3735	
129) G. Radjani	11651	3785	
130) Crebus	11700	3801	
131) Alaghez (Kaufasus)	12000	3898	
132) Turquerres	12030	3908	
133) Kleine Ararat	12162	3951	
134) Mount Reignier	12290	3992	
135) Volcan de Agua	12300	3995	Hall.
136) Argaens	12400	4028	
137) Cofre de Perote	12534	4071	
138) Vulkan von Pasto	12620	4099	Bouffingault
139) Mauna Loa	12910	4194	Wilkes.
140) Demawend	13790	4480	
141) Toluca	14220	4619	
142) Cumbal	14654	4760	Bouffingault
143) Carguairazo	14706	4777	
144) Itzacihuatl	14730	4785	
145) Sabalan	14787	4804	
146) Pinchincha	14940	4853	
147) Klutschewskoja Skopa	15040	4886	
148) Sinchulaga	15420	5009	
149) Tunguragua	15471	5026	
150) Kasbek (Kaufasus)	15512	5039	
151) Vulkan von Puraré	15983	5192	
152) Mauna Roa	16020	5204	King.
153) Sangay	16080	5223	
154) Große Ararat	16230	5262	
155) Citlaltepetel	16300	5295	
156) Jliniffa	16362	5315	
157) Capac Urcu	16602	5393	
158) Pic von Orizaba	16776	5449	Ferrer.
159) Popocatepetel	16702	5425	Saberriere.
160) Eliasberg	16758	5444	
161) Chipicani	16998	5522	
162) Vulkan von Tolima	17190	5584	
163) Arequipa	17200	5587	
164) Elbruz	17352	5636	
165) Cotopaxi	17712	5753	
166) Antisana	17956	5833	
167) Cayambe Urcu	18170	5902	
168) Hood	18360	5964	
169) Chacami	18391	5974	
170) Tacora	18520	6016	
171) Pomarebe	20360	6614	
172) Gualatieri	20600	6692	
173) Parimacutu	20670	6714	
174) Chuquibamba	21000	6822	Pentland.
175) Unconagua	21770	7072	

Fünfter Vortrag.

Erdbeben.

Bei der Schilderung vulkanischer Ausbrüche habe ich jener heftigen Erschütterungen der Erde gedacht, die Erdbeben genannt werden. Mit der Erscheinung der Erdbeben wollen wir uns heute befassen.

Erdbeben kommen fast immer als Begleiter vulkanischer Ausbrüche vor, vulkanische Ausbrüche sind aber nicht immer die treuen Begleiter der Erdbeben. Groß und erhaben sind die vulkanischen Erscheinungen, furchtbar und majestätisch. Dem Beobachter, der sie zum ersten Male sieht, entsinkt der Muth und versteinert steht er da. Doch bald gewöhnt sich der Mensch aus sicherer Ferne an das Ungeheure. — Anders bei den Erdbeben. Während eine Eruption oft wochen-, oft monatelang fort-dauert, ist ein Erdbeben in wenig Augenblicken vorüber. Es ist eine flüchtige, gespenstische Erscheinung. Keine Gegend ist vor ihr sicher; un-vernuthet ist sie da und im Augenblicke verschwunden. Ehe man sich umsieht, liegen die Kirchen, die Häuser, die Mauern darnieder. Hier ist keine sichere Ferne, aus welcher man mit Muße beobachten und zählen kann, nichts was das Auge blendet und die Phantasie erweitert. Einem unheimlichen Feinde sind wir überliefert und vermögen ihm nicht zu ent-fliehen. Des Unsichtbaren Tücke erregt und spannt alle unsere Nerven. Erwartungsvoll stehen wir da, unfähig etwas anderes zu denken als das Unglück, das im nächsten Moment über uns hereinbrechen kann. „Und was uns so wundersam ergreift ist die Enttäuschung von dem an-gebornen Glauben an die Ruhe und Unbeweglichkeit des Starren der festen Erdschichten. Von früher Kindheit sind wir an den Contrast zwi-schen dem beweglichen Element des Wassers und der Unbeweglichkeit des

Bodens gewöhnt, auf dem wir stehen. Alle Zeugnisse unserer Sinne haben diesen Glauben befestigt. Wenn nun urplötzlich der Boden erbebt, so tritt geheimnißvoll eine unbekannte Naturmacht als das Starre bewegend, als etwas Handelndes auf. Ein Augenblick vernichtet die Illusion des ganzen früheren Lebens. Enttäuscht sind wir über die Ruhe der Natur; wir fühlen uns in den Bereich zerstörender unbekannter Kräfte gesetzt*.)“ Und fragen uns verwirrt: Steht nichts mehr fest auf dieser Erde?

Was aber ist die Ursache dieser Erscheinung? Sind es hochgespannte Wasserdämpfe, die sich vergeblich bemühen, den über ihnen lastenden Druck zu bewältigen, sind es Senkungen oder Zerreißungen der Erdkruste oder Einstürzungen unterirdischer Hohlräume oder Glitschungen ganzer Berge? Alle diese Ursachen können Erzitterungen der Erde zur Folge haben. Aber nur ein sorgfältiges Vergleichen aller im Gefolge der Erdbeben auftretenden Erscheinungen und ein genaues Abwägen zwischen der Größe der Erscheinung und der Größe der Kraft können in einem gegebenen Falle der wirklichen Ursache näher kommen.

Fragen wir uns daher zunächst: In welcher Weise äußert sich die Erschütterung der Erde? Nach allen Beobachtungen äußert sie sich hauptsächlich in zweierlei Weise. Die Erde wird entweder vertikal auf und ab, oder wellenförmig bewegt. Die erste Bewegungsart nennt man die succussorische, die zweite die undulatorische. Die letztere ist nur eine Folge der ersteren. Sie werden das gleich einsehen. Ich knüpfe hier ein Seil an und halte das andere Ende in der Hand. An dem Bogen, den es in der Mitte macht, sehen Sie, daß es nur schwach gespannt ist. Jetzt führe ich einen Schlag auf das Seil, senkrecht gegen seine Länge. Bemerken Sie die Folge. Die Bewegung im Seile schreitet in Form einer deutlich sichtbaren Welle weiter. Sie wurde hervorgebracht durch einen Stoß von unten nach oben. Denken wir uns unter unseren Füßen in großer Tiefe einen unverhältnißmäßig viel stärkeren Stoß, so bekommen wir das Gefühl der succussorischen Bewegung. In einer gewissen Entfernung von uns wird man eine deutliche undulatorische Bewegung wahrnehmen. Bei dem Seile konnte sich die Bewegung nur nach einer Rich-

*) Humboldt, Kosmos I.

tung fortpflanzen, bei einer Explosion im Erdinnern wird sie sich bei gleicher Gesteinsbeschaffenheit, vom Erschütterungscentrum aus nach allen Richtungen fortpflanzen.

Beispiele von succussorischer Bewegung werden mehrere angeführt. Bei dem großen Erdbeben von Calabrien im Jahre 1783 sollen nach Hamilton die Steine des Straßenpflasters und selbst Menschen und Häuser in die Höhe geschleudert worden sein*). Bei dem Erdbeben, welches am 14. August 1851 die Städte Melfi, Barile und Rapolla zerstörte, wurden nach Scacchi viele Thatfachen beobachtet, die auf eine succussorische Bewegung deuteten**).

Die undulatorische oder wellenförmige Bewegung der Erde tritt in verschiedenen Graden der Stärke auf, von einem schwachen, ganz unschädlichen Erzittern bis zu deutlich fühlbarer und sichtbarer Wellenbewegung. So wie man im Sommer, wenn der Wind über das Getreide dahinstreicht und die einzelnen Halme sich neigen und wieder emporrichten, eine deutliche Welle über das Saatsfeld sich bewegen sieht, so sieht man das Fortschreiten einer starken undulatorischen Bewegung ganz besonders deutlich an Wäldern, unter welchen die Bewegung sich hinerstreckt. Bei dem Erdbeben von Calabrien neigten die Bäume sich so stark, daß sie mit ihren Aesten in einander geriethen. Bei dem Erdbeben im Staate Missouri im Jahre 1811 beobachtete Bringier die wellenförmige Bewegung im Walde. Die stolzen Bäume, die bei starkem Winde verächtlich sich nur in den Wipfeln regten, neigten demüthig das Haupt bis fast zur Erde***). Auch hat man das Krachen der Aeste und das Nechzen und Stöhnen erst auf der einen, dann auf der anderen Seite vernommen.

Alle Empfindungen, welche auf der See ein starker Wellenschlag bei Menschen erzeugt, stellen sich dann auf dem Lande ein. Als Gemellaro am 2. September 1852 sich mit einigen Führern auf dem Monte Finocchio superiore im Val del Bove am Aetna befand, wurde der Berg plötzlich in wellenförmige Bewegung versetzt und Gemellaro, wie auch einzelne seiner Führer, hatten die Empfindung der Seekrankheit***).

*) Naumann Lehrbuch der Geognosie. 2. Aufl. S. 187.

**) Naumann L. d. G. S. 188.

***) Zuchs, die vulkanischen Erscheinungen der Erde. S. 367.

Die Wirkung der Wellenbewegung auf Gegenstände, die senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung stehen ist eine ganz andere, weit verhängnißvollere als auf solche, die in der Fortpflanzungsrichtung selbst stehen. Als am 20. Februar 1835 die chilenische Stadt Conception zerstört wurde, bekamen alle Mauern, die in der Fortpflanzungsrichtung lagen, nur mehr oder weniger weit klaffende Sprünge, während die Mauern senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung niedergeworfen wurden.

Früher hat man noch eine rotatorische Bewegung annehmen zu müssen geglaubt. Alle Erscheinungen indessen, welche für eine solche Bewegung angeführt wurden, lassen sich ohne Schwierigkeit durch die undulatorische Bewegung erklären. Humboldt führt als bemerkenswerthe Beispiele in dieser Beziehung die Krümmung von Baumpflanzungen, die vorher parallel waren, und die Verdrehung von Aekern, die mit Getreidearten bedeckt waren, an. Eine unzweifelhafte Verdrehung hat man an mehreren Obelisken wahrgenommen, deren Abbildungen vorliegen. Bei dem Erdbeben von Calabrien im Jahre 1783 wurden die zwei vor dem Kloster des heiligen Bruno in der Stadt Stefano-del-Bosco stehenden Obelisken derart mitgenommen, daß der Sockel unverrückt blieb, während die einzelnen Steine gegen einander verdreht wurden*). Bei dem Erdbeben von Belluno am 29. Juni 1873 bei welchem Farra und Puos fast vollständig in Schutt verwandelt wurden, fand R. Falb**) auf dem Friedhofe zu Farra einen Obelisken, dessen sechs Bestandtheile gegen einander verschoben, während der Sockel unverrückt geblieben war. Falb setzt hinzu: „Ich konnte mich nun durch aufmerksame Beachtung aller solcher Erscheinungen überzeugen, daß sie durch die rasche Aufeinanderfolge mehrerer heftiger Erschütterungen hervorgebracht wurden, von denen die einen aufstoßend, die anderen wellenförmig wirkten.“ Falb setzt dann S. 224 als dritte Bedingung hinzu, daß die Schwingungsrichtung der aufeinander folgenden Stöße nicht dieselbe sein darf. Und es unterliegt gar keinem Zweifel, daß eine Verdrehung der einzelnen Steine auf diese Weise zu Stande kommen kann. Denn wird durch eine aufstoßende Bewegung der

*) Naumann, Lehrb. d. Geogn. S. 189.

**) R. Falb, Gedanken und Studien über den Vulkanismus. S. 27 und S. 223.

Obelisk auf der einen Seite von dem Sockel getrennt und erfolgt gleich darauf während der Obelisk noch schwebt, eine zu der vorigen senkrechte Welle, so trifft beim Herabfallen der Obelisk den Sockel an einer anderen Stelle und erscheint daher verdreht. Allein es ist ein Unterschied ob etwas so sein kann und ob es wirklich so ist. Die ganze Erscheinung läßt sich auf die einfachste Weise durch einen Versuch erläutern. Ich habe hier ein ziemlich schweres Lineal, das ich auf den Tisch lege und an dem einen Ende beschwere. Das andere Ende ragt über den Tisch hinaus. Ich lege nun einen leichten Würfel auf den Theil des Lineals, der auf dem Tische ruht, drücke mit der Hand das Lineal an und führe einen leichten Schlag in schräger Richtung von unten auf das Lineal. Mit dem ersten Schlage sehen Sie schon den Würfel gegen die Unterlage verdreht. Auf den ersten Würfel lege ich einen zweiten und führe in derselben Weise einen Schlag gegen das Lineal. Jetzt sehen Sie beide Würfel gegen ihre Unterlage verdreht. Auch durch mehrere auf einander folgende leichte Schläge in derselben Richtung vollzieht sich die Drehung. Man hat daher durchaus nicht nothwendig seine Zuflucht zu einer Aenderung der Stoßrichtung zu nehmen, um die angeführten Drehungserscheinungen zu erklären.

Erdbeben, die von einem Punkte aus nach allen Richtungen sich verbreiten, nennt man centrale. Sie dürften nach dem was vorher gesagt worden ist leicht glauben, daß alle Erdbeben centrale sein müssen. Dem ist aber nicht so. Man hat noch lineare und transversale Erdbeben unterscheiden zu müssen geglaubt. Lineare Erdbeben hat man diejenigen genannt, bei welchen die Bewegung der Erde besonders in einer einzigen Richtung erfolgte. — Transversale Erdbeben. — Denken Sie sich eine gerade Linie von beliebiger Länge rücke parallel mit sich selbst stets weiter und jeder Punkt der geraden Linie werde gleichzeitig in derselben Weise erschüttert, so haben Sie die Erscheinung, die man transversales Erdbeben genannt hat.

Ein centrales Erdbeben war dasjenige, welches im Jahre 1783 Calabrien heimsuchte. Der Hauptsitz dieses Erdbebens war der südlichste Theil von Calabrien, von der Südspitze Italiens*) Capo delle Armi bis

*) Hoffmann, Geschichte der Geognosie. S. 317.

zu der Verengerung zwischen den beiden Meerbusen von Eufemia und Squillace. Dieser Theil von Italien wird von der hohen Bergkette von Aspromonte etwa in der Mitte durchzogen. Westlich von dieser Bergkette liegt das Städtchen Oppido. Hier war das Centrum des verheerenden Erdbebens, denn rings um Oppido in einem Kreise von $5\frac{1}{2}$ geographischen Meilen Radius war alles von Grund aus zerstört worden. Dörfer, Berge und Städte waren so umgestürzt und durch einander geschoben, daß von dem früher vorhandenen Zustande kaum eine Erinnerung noch übrig blieb. In einem Kreise von 18 geographischen Meilen Radius waren die Wirkungen noch sehr stark. Messina ward fast ganz zerstört. Auf den Liparischen Inseln empfand man die Stöße sehr wohl, auch erkannte man deutlich, daß sie etwa von Oppido her sich einstellten. Was noch besonders merkwürdig bei diesem Erdbeben ist, das ist daß das Erschütterungscentrum am 7. Februar nicht mehr Oppido, sondern Soriano war, 4 bis 5 Meilen nordöstlich von Oppido. Der letzte sehr heftige Stoß erfolgte am 28. März. Das Erschütterungscentrum war abermals 5 bis 6 Meilen nach Norden gerückt und befand sich etwa bei Girifalco. Die drei Orte, Oppido, Soriano und Girifalco liegen fast genau in einer von Südwest nach Nordost gerichteten Linie, welche dem Streichen der hohen Bergkette von Aspromonte parallel geht. Ein centrales Erdbeben war auch das bekannte Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755, ebenso dasjenige, welches im Jahre 1846 die Rheinlande erschütterte und dessen Centrum St. Goar war, sowie auch das Erdbeben von Herzogenrath vom 22. Oktober 1873.

Die linearen, oder longitudinalen Erdbeben gehen gewöhnlich parallel der Richtung einer Gebirgskette, und selten ist es, daß sie quer über die Kette weggehen. Auch bei ihnen geht die Erschütterung vorzugsweise von einem Punkte aus, von dem sie sich dann hauptsächlich in einer Richtung fortpflanzt. Die Erschütterungen in Chile, in Peru, pflanzten sich vorzugsweise auf der Westseite der Anden parallel dem Streichen der Gebirgskette fort. — Ein interessanter Fall einer linearen Fortpflanzung wird von dem Erdbeben erzählt, das im Jahre 1746 Lima und Callao zerstörte. Am Strande des Oceans waren Wachtposten ausgestellt und diese verspürten die Stöße der Reihe nach. Diejenigen, welche von Callao am weitesten, sowohl nach Süden wie nach Norden entfernt waren, empfan-

den die Erschütterung am schwächsten und am letzten*). Das Erdbeben, welches am 26. März 1812 Caracas zerstörte, pflanzte sich vorzugsweise in der Richtung ONO nach WSW fort und zwar nicht längs der Küste, sondern im Innern der Gebirgskette, soweit diese hauptsächlich aus Gneiß und Glimmerschiefer besteht**).

Als transversales Erdbeben wird von Naumann dasjenige angeführt, welches am 4. Januar 1843 die Vereinigten Staaten heimsuchte. Die Erschütterungszone ging von NNO nach SSW, von Cincinnati über Nashville nach der westlichen Grenze von Alabama. Alle Orte, die mit dieser Axe parallel waren, sollen gleichzeitig in derselben Weise, alle darauf senkrechten Orte nach einander erschüttert worden sein.

Was auch immer die Ursache der Erdbeben sein mag, die Erschütterungen der Oberfläche sind die Folge eines Stoßes oder einer Explosion in einer gewissen Tiefe oder einer Spaltenbildung, bewirkt durch Contraction. Man sollte daher meinen, von dem Erschütterungszentrum aus müßte sich die Bewegung nach allen Richtungen gleichmäßig fortpflanzen. Sämmtliche Erdbeben müßten sonach centrale und lineare sein. Wie kommt es also, daß man von centralen, linearen und transversalen Erdbeben spricht? Die Erdbeben, die als lineare angeführt werden, sind besonders längs der Kette der Cordilleren und längs der Kette von Venezuela aufgetreten. Die erste Gebirgskette läuft der Meeresküste entlang von Chile bis weit über Mexico hinaus, die zweite erstreckt sich von der Insel Trinidad längs den Küsten von Neu Andalusien, Venezuela, Caracas nach Neu-Granada. Hier konnte man allerdings nur eine Richtung vorzugsweise wahrnehmen; denn die Erschütterungen im Meere können gar nicht verfolgt werden, und die Erschütterungen im Gebirge und jenseits des Gebirges sind, wenn das Erschütterungszentrum in der Nähe der Meeresküste liegt, bereits so abgeschwächt, daß sie kaum mehr empfunden werden. Sie sind aber wahrscheinlich auch nicht hinreichend erforscht. Außerdem muß man bedenken, daß vom Erschütterungszentrum aus die Schwingungen nur dann gleichmäßig sich nach allen Richtungen fortpflanzen, wenn das Gestein homogen ist. Das dürfte aber nur in den

*) Hoffmann, S. 324.

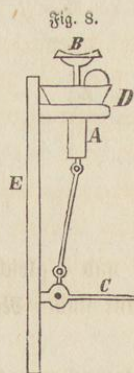
**) Hoffmann, S. 324.

allerwenigsten Fällen der Fall sein. Weiter ist zu bedenken, daß Spalten und Risse die Erschütterungen sehr rasch dämpfen. Wenn alle oder mehrere dieser Verhältnisse zusammenkommen, so kann ein Erdbeben leicht für ein lineares von uns gehalten werden. Es ist daher auch begreiflich, daß Einige ein und dasselbe Erdbeben für ein lineares, Andere für ein centrales halten. Das schon erwähnte Erdbeben von Calabrien, das wir als centrales aufgeführt haben, kann auch als Beispiel eines linearen Erdbebens gelten, weil die Erschütterungen längs der westlichen Gebirgskette entschieden am stärksten waren. Die Erdbeben, die die Folge einer Spaltenbildung sind, können noch am meisten den Charakter von linearen Erdbeben annehmen.

Was die dritte Art von Erdbeben anlangt, so glaube ich, daß die Zeitbestimmungen erst genauer, die Erschütterungsweisen erst sorgfältiger studirt und verglichen werden müssen, ehe man mit Bestimmtheit von transversalen Erdbeben sprechen kann. Es ist daher nichts gerechtfertigter als der Wunsch nach Instrumenten, die mit Zuverlässigkeit die Richtung und die Zeit eines Erdbebens auf das genaueste angeben. Instrumente, welche die Richtung eines Erdbebens angeben, nennt man Seismometer oder Seismographen. Das bekannteste rührt von Cacciatore, dem Direktor der Sternwarte in Palermo her.

Ein cylinderförmiges Gefäß von geringer Höhe aber großem Durchmesser ist horizontal aufgestellt. Der Mantel ist an 8 Punkten, die gleichweit von einander entfernt sind und gleichen Abstand von dem Boden haben, durchbohrt. Außen schließen sich an die Löcher kleine Röhren an, die in darunter stehende Gefäße münden. Das cylinderförmige Gefäß wird bis an den unteren Rand der Löcher mit Quecksilber gefüllt. Tritt nun eine Schwankung des Bodens ein, so hebt und neigt sich das Gefäß in der Richtung, in der sich die Bewegung fortpflanzt. Es fließt mithin das Quecksilber zuerst in der einen, und dann in der gerade gegenüberliegenden anderen Röhre ab. Die Richtung der beiden Röhren gibt die Richtung, in der sich das Erdbeben fortpflanzt an, und die Menge des ausgeflossenen Quecksilbers ist ein Maß für die Stärke des Erdbebens. Annähernd kann man schon die Richtung der Fortpflanzung finden, wenn man ein beliebiges, oben offenes und weites Gefäß zum Theil mit Wasser füllt und Kleie darauf streut.

Nicht minder wichtig als ein Seismometer ist ein Instrument, welches die Zeit des Eintritts eines Erdbebens angibt. Lasaulz *) hat ein Instrument construiert, das sowohl die Richtung als auch die Zeit namentlich die letztere zuverlässig angibt. Dieses Instrument, Seismochronograph genannt, das sich unter einer jeden Wanduhr anbringen läßt, hemmt, sowie ein Erdstoß erfolgt, sogleich das Perpendikel der Wanduhr. Diese zeigt dann, namentlich wenn sie mit einem Secundenzeiger versehen ist, mit großer Genauigkeit den Eintritt des Erdbebens an. Die Fig. 8 gibt eine Vorstellung von der Einrichtung des Instrumentes. *A* ist eine Büchse, durch welche ein dünner Metallstab geht, auf dessen oberem Ende das Tellerchen *B* angebracht ist. Dieser Metallstab wird durch eine Feder, die sich in *A* befindet in die Höhe gedrückt, so daß das Instrument so steht, wie es die Figur jetzt zeigt. Legt man aber auf das Tellerchen eine kleine Kugel, so wird die Feder zusammengedrückt, der Metallstab senkt sich und drückt den Hebelarm *C* in die Höhe, so daß er parallel mit *E* steht. *D* ist ein runder Holzteller mit 8 regelmäßigen Einschnitten, in welchen die Kugel, wenn sie abgeworfen wird, fällt. Der ganze Apparat **) wird so an eine Uhr angeschraubt, daß das Perpendikel, wenn die Kugel auf dem Tellerchen liegt und folglich der Hebel *C* parallel *E* steht, ungestört hin und her schwingen kann. Erfolgt nun ein Erdstoß, so wird die Kugel abgeworfen, der Metallstab mit dem Tellerchen schnell in die Höhe und der Hebel *C* kommt in die Lage, welche die Figur zeigt. Das Perpendikel der Uhr schlägt gegen den Hebel *C* und wird durch diesen still gestellt. Gleichzeitig gibt das Gefach, in welchem die Kugel liegt, die Richtung des Stoßes annähernd an. Selbstverständlich muß der Apparat, wenn er seinen Zweck erfüllen soll, an Uhren angebracht sein, die einen übereinstimmenden Gang haben. Die genaue Zeit des Eintritts eines Erdbebens belehrt uns nicht nur über die



*) Lasaulz, Das Erdbeben von Herzogenrath.

**) Das Instrument ist sechs Mal größer als die Figur und wird von Mechanikus Eschbaum in Bonn billig hergestellt.

Werthe für c und t erhalten, so ergibt sich h aus der Gleichung 1):
 $h = c \cdot t$.

Die Gleichungen 2 und 3 gelten nur, wenn die Erdkrümmung vernachlässigt wird, wenn h ziemlich groß, und das Gestein homogen ist. Ist die Tiefe des Erdbebensitzes unbedeutend, so rückt der Punkt a dem Punkte b so nahe, daß da gleich e wird und bd gleich $(T - t) c$ als Hypothenuse angesehen werden kann. Dann hat man die Gleichung

$$(T - t)^2 c^2 = e^2 + h^2$$

woraus

$$T = t + \frac{\sqrt{e^2 + h^2}}{c}.$$

Vermittelt der letzten Gleichung hat Professor Kortum das Erdbeben von Herzogenrath untersucht. Aus drei Zeitangaben berechnete er zuerst t , c und h und suchte diese Werthe vermittelt der Methode der kleinsten Quadrate zu verbessern*).

*) Professor von Seebach in seinem Werke „Das Mitteldeutsche Erdbeben vom 6. März 1872,“ war der erste, der die vorhergehenden Betrachtungen angeregt und ein graphisches Verfahren zur Ermittlung der Tiefe des Erdbebensitzes angegeben hat, das er auf folgende Rechnung gründet. In unserer Figur 9 denken wir uns die Linien bh und dl verlängert bis zum Schnittpunkte den wir o nennen wollen. Den Winkel der beiden Geraden bh und dl nennen wir mit Seebach φ . Die Zeit, in welcher das Erdbeben sich von a bis d fortpflanzt sei T so folgt aus dem Dreieck ado :

$$ad^2 = ao^2 + do^2 - 2ao \cdot do \cos \varphi.$$

Ist ρ der Radius der Erde so folgt aus dieser Gleichung:

$$(cT)^2 = \rho^2 + (\rho - h)^2 - 2\rho(\rho - h) \cos \varphi$$

$$(cT)^2 = 2\rho^2 + h^2 - 2\rho h - 2\rho(\rho - h) \cos \varphi$$

$$(cT)^2 = h^2 + 2\rho(\rho - h) 2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

$$(cT)^2 = h^2 + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2} \left(1 - \frac{h}{\rho}\right)$$

$$(cT)^2 = h^2 + 4\rho^2 \sin^2 \frac{\varphi}{2}$$

annähernd, weil $\frac{h}{\rho}$ vernachlässigt werden kann. Da $2\rho \sin \frac{\varphi}{2}$ annähernd gleich e ist, so folgt aus der letzten Gleichung

$$c^2 T^2 = h^2 + e^2$$

oder

$$\frac{c^2}{h^2} T^2 - \frac{e^2}{h^2} = 1.$$

Noch früher als Seebach hat Mallet die Tiefe des Erdbebensitzes mit Erfolg zu ermitteln gesucht. Mallet ging von folgender Betrachtung aus. Wenn die Erschütterung vom Punkte *a* Fig. 9 ausgeht, so sind die Neigungswinkel *bda*, *bga*, *bfa*, unter welchen die Stöße die Oberfläche treffen, um so spitzer, je weiter vom Punkte *b* weg die Punkte *d, g, f* liegen. Ist die Erschütterung so stark, daß die Elasticitätsgrenze des Gesteins überschritten wird, so entstehen Spalten, die auf der Richtung der Linien *ad*, *ag*, *af* senkrecht sein müssen. Mißt man die Entfernung dieser Spalten, den Neigungswinkel und die Richtung derselben, so kann man den Punkt *a* sowohl construiren als berechnen. Und damit hat man auch die Tiefe *h* gefunden.

Die folgende Tabelle*) enthält die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und

	Tiefe des Erdbebensitzes in Meter.			Fortpflanzungsgeschwindigkeit.	
	Minimum.	Mittel.	Maximum.	in der Minute in geograph. Meilen.	in der Secunde in Meter.
1) Mitteldeutsches Erdbeben vom 6. März 1872 (Seebach).	14394	17956	21592	6	742
2) Rheinisches Erdbeben v. 29. Juli 1846. (Schmidt).		38806		4,59	567,6
3) Erdbeben von Herzogenrath. 22. October 1873 (Lasaulz).	5045	11130	17214	2,67	360,2
4) Neapolitanisches Erdbeben v. 16. December 1857. (Mallet).	5102	9275	15037	2,1	259,7
5) Erdbeben von Sissein 15. Januar 1858. (Schmidt).		26266		1,66	206

Dies ist die Gleichung der Hyperbel, wenn *T* und *e* als variabel angenommen werden.

Trägt man vom Punkte *b* aus die Entfernung als Abscisse und die Zeit des Erdbebeneintritts als Ordinate auf, so erhält man eine Hyperbel an deren regelmäßigen Verlaufe man erkennen kann, ob die beobachteten Zeiten genau sind oder nicht.

Wenn man auf der linken Seite der vorstehenden Gleichung statt *cT* setzt, *ct + (T - t) c* so bekommt man die von uns entwickelten Gleichungen 2) und 3).

*) Aus A. von Lasaulz: Das Erdbeben von Herzogenrath.

Tiefe des Erdbebensitzes von mehreren nach den vorhergehenden Principien untersuchten Erdbeben.

Die Tiefe des Erdbebensitzes ist in den meisten Fällen nach dieser Tabelle überraschend klein. Sie ist weit weg von jener Tiefe, in welcher man in der Regel die Gesteine als geschmolzen annimmt. Ja sie dürfte in den meisten Fällen noch in geschichteten Gesteinen zu suchen sein. Freilich muß man nicht vergessen, daß alle diese Resultate nur unter den früher angegebenen Bedingungen volle Gültigkeit haben. Immerhin liefern sie uns einen Anhaltspunkt zur Beurtheilung der Tiefenwerthe, innerhalb welcher wir den Sitz des Erdbebens zu suchen haben.

Gleichzeitig lernen wir, daß diejenigen Erdbeben am zerstörendsten wirken, deren Sitz in nicht großer Tiefe ist, wie z. B. das Neapolitanische, während diejenigen, deren Sitz in großer Tiefe ist, wie z. B. das Mitteldeutsche, nur wenig oder gar keinen Schaden angerichtet haben, obwohl das Verbreitungsgebiet und folglich die Intensität eine ganz außerordentliche war. Es kann dies auch gar nicht überraschen, wenn man bedenkt, daß die Intensität des Stoßes mit dem Quadrate der Entfernung vom Stoßmittelpunkte abnimmt.

Es ist überhaupt irrig zu glauben, daß senkrecht über dem Stoßmittelpunkte *a* s. Fig. 9 also in *b*, die größten Zerstörungen vorhanden sein müssen. Es wäre das nur dann der Fall, wenn *a* dem Punkte *b* sehr nahe läge, und wenn die Stoßintensität in *a* eine so große wäre, daß die Gebäude in *b* in die Luft geschossen würden. Liegt der Punkt *a* aber 1 bis 2 Meilen tief unter *b*, und ist die Stoßintensität keine ungewöhnliche, so werden die Gebäude in *b* nur wenig vertikal gehoben und sinken vermöge ihres Gewichtes wieder in die frühere Lage ohne großen Schaden zu nehmen, zurück. Anders ist es aber an dem Punkte *d*, wo die Erschütterung wellenförmig ist. Die Stoßrichtung werde durch die Linie *ad* repräsentirt. Verlängern wir sie über *d* hinaus und zerlegen die Stoßkraft in eine horizontale und eine vertikale Componente, so ist es offenbar, daß an den Punkten der Erdoberfläche die größten Zerstörungen erfolgen müssen, an denen die horizontale Componente ihren Maximalwerth erlangt. Um diese Punkte zu finden, bezeichnen wir die Intensität des Stoßes in *a* mit *i* dann ist die Intensität*) im Punkte *d*

*) s. Seebach, das mitteldeutsche Erdbeben.

gleich $\frac{i}{ad^2}$. Bezeichnen wir den Winkel bda mit ε so ist die horizontale Componente der Stoßkraft gleich.

$$\frac{i}{ad^2} \cos \varepsilon = \frac{i}{ad^2} \cdot \frac{e}{ad} = i \frac{e}{(h^2 + e^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Diese horizontale Componente soll ein Maximum sein, daher muß sein:

$$0 = \frac{d}{de} i \frac{e}{(h^2 + e^2)^{\frac{3}{2}}} = i \frac{(h^2 + e^2)^{\frac{3}{2}} - 3e^2(h^2 + e^2)^{\frac{1}{2}}}{(h^2 + e^2)^3}.$$

Woraus folgt:

$$h^2 + e^2 = 3e^2$$

und folglich

$$1) e = \frac{h}{\sqrt{2}} *).$$

Daß in der Entfernung $e = \frac{h}{\sqrt{2}}$ wirklich die horizontale Componente ein Maximum erreicht, folgt aus dem zweiten Differentialquotienten:

$$\frac{d^2}{de^2} i \frac{e}{(h^2 + e^2)^{\frac{3}{2}}} \text{ der für } e = \frac{h}{\sqrt{2}},$$

den Werth:

$$- 3e \sqrt{h^2 + e^2} - \frac{6e^3}{\sqrt{h^2 + e^2}}$$

annimmt, also negativ ist.

Alle Orte, welche von dem Punkte b eine Entfernung gleich $\frac{h}{\sqrt{2}}$ haben, werden durch das Erdbeben am meisten beschädigt. Umgekehrt kann man wieder aus diesen am stärksten beschädigten Orten und ihrer Entfernung vom Punkte b einen Schluß auf die Tiefe des Erdbebensitzes machen.

Erfolgt die Explosion längs einer Spalte und nicht wie wir bisher immer vorausgesetzt haben in einer sphärischen Hülle, so gelten alle entwickelten Formeln nicht oder nur annähernd.

Vergleicht man die Geschwindigkeit der Fortpflanzung bei den in der Tabelle Seite 110 genannten Erdbeben, so sieht man, daß sie zwischen sehr weiten Grenzen schwankt. Man muß sich darüber nicht wundern;

*) Man findet leicht das bekannte Verhältniß $e : h : ad = 1 : \sqrt{2} : \sqrt{3}$.

denn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit hängt nicht nur ab von der Stärke der Stöße, sondern auch von der Beschaffenheit und der Structur des Gesteins. Die Versuche von Mallet*), die Fortpflanzungsgeschwindigkeit durch Pulverexplosionen in verschiedenen Gesteinen zu finden, sind daher sehr dankenswerth. Mallet stellte Versuche in festem und lockerem Granit, sowie im Sande an. Er bediente sich zu dem Zwecke eines Gefäßes mit Quecksilber, von dessen ruhiger Oberfläche ein Fadenkreuz reflectirt wurde. Im Momente der Erschütterung verschwand das Fadenkreuz, weil das Quecksilber bewegt wurde. Es war also nur noch nöthig, die Zeit von dem Momente der Explosion bis zu dem Momente des Verschwindens des Fadenkreuzes durch einen Chronographen zu bestimmen. Mallet fand auf diese Weise:

Geschwindigkeit der Fortpflanzung im nassen Sande:	294	Meter	in	der	Sec.
" " " " lockern Granit:	396	"	"	"	"
" " " " festen Granit:	506	"	"	"	"
Die Geschwindigkeit des Schalles in der Luft ist:	332	"	"	"	"

Häufig wird bei Erdbeben eines eigenthümlichen Geräusches Erwähnung gethan, das nicht verwechselt werden darf mit jenem Geräusch, das durch die Bewegung der Gegenstände selbst entsteht. Dieses eigenthümliche Geräusch äußert sich auf die mannichfaltigste Weise. Manchmal ist es zu vergleichen dem Rollen eines entfernten Donners, oder dem Geräusch, das beim Vorüberfahren eines schweren Wagens entsteht; manchmal wird es, und zwar bei demselben Erdbeben, nur an anderen Orten, verglichen mit einem Brausen, von dem man nicht weiß, geht es über oder unter uns her; manchmal ist es zu vergleichen dem raschen Flügelschlag von Vögeln, die eilend über uns hinziehen, oder dem schrillen Brausen des Gebläses eines Hochofens, das allmählig in ein donnerndes Rauseln übergeht, wie ein in mäßiger Entfernung vorüberfahrender Eisenbahnzug. Nicht selten glaubt man Kanonenschüsse, oder eine Reihe krachender Schläge zu hören.

Es kommt auch vor daß Erdbeben von gar keinem Geräusche begleitet sind; ja oft hört man ein heftiges unterirdisches Getöse, ohne merkbare Erschütterung. In Guanaguato, der Bergstadt des Mexicanischen

*) Naumann, S. 212.

Hochlandes hörte man vom 9. Januar 1784 über einen Monat lang sich beständig wiederholende, langsam rollende Donner und abwechselnd dazwischen kurze krachende Schläge, ohne daß weder auf der Oberfläche, noch in den 1500 Fuß tiefen Bergwerken das leiseste Erbeben verspürt worden wäre. Trotzdem erregte dieses unterirdische Gebrüll einen solchen Schrecken, daß fast alle Einwohner aus der Stadt flüchteten. Das Getöse war übrigens nur auf einen verhältnißmäßig kleinen Raum des gebirgigen Theils der Sierra beschränkt, verzog sich mit allmählig abnehmender Stärke und ist nicht wieder vernommen worden*). Auch in Central-Amerika kennt man solche unterirdische Donner, *Retumbos* genannt, die mit einer Eruption oder mit Erdbeben nicht verbunden sind. Auf der dalmatischen Insel Meleda ist Aehnliches bekannt. Hier begannen im März 1822 Detonationen, die ein paar Jahre fortbauerten und meist ohne Erschütterung vorübergingen. Diese Detonationen glichen völlig dem Schalle entfernter Kanonenschüsse, waren also nicht donnerähnlich. Sie folgten so rasch aufeinander, daß man in einer Nacht über 100 zählen konnte. Im August und September 1823 erreichten sie eine solche Stärke, daß die Bevölkerung in die größte Bestürzung gerieth. Auch hier waren sie auf einen kleinen Raum beschränkt, ereigneten sich aber zu allen Jahreszeiten, zu allen Tagesstunden und bei jeder Witterung**).

Zu den Erdbeben, die ohne Geräusch vorübergegangen sind, gehören viele der heftigsten Erdbeben in Chile. Das heftige Erdbeben von Riobamba am 4. Februar 1797 ging ebenso ohne alles Geräusch vorüber. Das Getöse geht häufig der Erschütterung voraus, häufig wird es gleichzeitig mit ihr empfunden und nur selten folgt es der Erschütterung nach.

Am 6. Juli 1834 ging in Glarus dem Erdbeben ein Geräusch voraus, das dem Brausen des Sturmwindes verglichen wurde***).

Fünfzehn bis zwanzig Minuten nach dem Erdbeben von Riobamba trat ein furchtbares Getöse ein, das allein unter den Städten Quito und Ibberra vernommen wurde, die weit weg von dem Schauplatze der Zerstörung lagen.

Könnte man das Getöse analysiren, so würde man jedenfalls inte-

*) Humboldt, Kosmos I.

**) Raumann, Seite 194.

***.) Fuchs, die vulkanischen Erscheinungen der Erde S. 403.

ressante Aufschlüsse über die Art der Erschütterung, und über manche Vorgänge im Erdinnern erhalten. Unsere Fähigkeit etwas Sicheres über ein Geräusch anzugeben, ist aber eine außerordentlich geringe. Wie unsicher sind wir allein über die Quelle eines Tones oder eines Geräusches, wenn unser Auge uns nicht zugleich mitbelehrt. Wie vermag uns ein Rauchredner, der ganz in unserer Nähe steht, zu täuschen. Die Töne, die er bildet, glauben wir bald in weiter Ferne, bald über, bald unter uns zu hören, und doch kommen sie aus nächster Nähe. So haben schon Viele während eines Erdbebens ein Geräusch in der Luft gehört, das sie mit dem Flügelschlag der Vögel oder mit dem Pfeifen eines Gebläses verglichen, und wahrscheinlich waren es Gase, die mit Geräusch aus Spalten hervorströmten.

Ist der Sitz der Erschütterung in ziemlicher Tiefe und das Gestein ringsum compact, so können wir wohl ein Erdbeben, aber nicht leicht einen Ton oder ein Geräusch aus der Tiefe vernehmen; denn an der Oberfläche, wo die Erschütterung durch das Gestein auf die Luft übertragen wird, ist die Schwingung des Gesteins, namentlich wenn die Oberfläche aus Sand und Kies besteht, bereits so gedämpft, daß sie unser Ohr nicht mehr als Schall empfindet. Stehen aber Spalten oder mit Wasser gefüllte geschlossene Kanäle (Quellen) mit dem Sitz der Erschütterung und mit der Erdoberfläche in Verbindung, so ist die Möglichkeit einen Ton oder ein Geräusch in der Tiefe zu vernehmen vorhanden. Wird die Erschütterung in der Tiefe durch Wasser bis zur Oberfläche fortgepflanzt, so muß das Geräusch dem Erdbeben vorausgehen, wird sie aber durch Luft fortgepflanzt, so kann es dem Erdbeben nachfolgen oder mit ihm gleichzeitig sein, weil die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles im Wasser weit größer, in der Luft aber, wie wir vorhin gehört haben, bald gleich, meistens aber kleiner, als im Gestein ist.

Wie ist es aber möglich, daß wir Detonationen ohne Erdbeben empfinden? Auf dreierlei Weise scheint es mir möglich zu sein. Wenn ein Kanal, wie bei Vulkanen mit heißflüssiger Lava gefüllt ist, die mit Wasserdämpfen imprägnirt sind und ein Theil der Lavasäule wird durch aufsteigende Dampfblasen hinausgeschleudert, so wird die darunter befindliche Lavasäule von einem großen Drucke momentan befreit. Die hochgespannten Wasserdämpfe dieser Lavasäule schleudern jetzt unter Explosion einen Theil

der Säule aus dem Kanal, ähnlich wie die in einem Kessel eingeschlossenen Wasserdämpfe, wenn ein Siedeverzug oder eine schadhafte Stelle vorhanden ist, den Kessel und seine Umgebung mit Explosion in die Luft schleudern. Der Sitz der Explosion kann tief in der Bocca sein, ohne daß die Ebene, aus der sich der Vulkan erhebt, merklich erschüttert wird, wenn nur der Regel sich hoch über die Ebene emporhebt. Denken wir uns zweitens in irgend welcher Tiefe einen hohlen Raum, der durch mehr oder weniger weite Spalten mit der Oberfläche communicirt und lassen hier Wasser plötzlich in Dampf, oder Dampf von mäßiger Spannung plötzlich in Dampf von hoher Spannung verwandelt werden, oder lassen von der Decke des Hohlraums Felsmassen herunterstürzen, so wird die Erschütterung der Luft eine momentane und sehr energische sein. Die Möglichkeit eines Tones oder Geräusches ist also auch hier vorhanden, und obwohl die Erschütterung auch zum Theil auf das Gestein in der Tiefe übertragen wird, so können wir doch an der Oberfläche unterirdisches Getöse wahrnehmen, ohne merkliche Stöße zu empfinden; denn es ist ja eine alte Erfahrung, daß tiefe Brunnen oder Höhlen, die über ihnen stehenden Gebäude vor Erschütterungen schützen oder wenigstens die Erschütterungen bedeutend abzuschwächen vermögen.

Wenn drittens die Erschütterung oder Explosion vorzugsweise auf Wasser übertragen wird, so kann das Getöse wahrscheinlich auch auf große Entfernungen weiter gepflanzt werden, ohne daß ein Erdbeben empfunden wird.

Es werden Entfernungen angegeben, bis zu welchen Detonationen fortgepflanzt worden sein sollen, die staunenerregend sind. Bei dem Ausbruche des Vulkans Temboro wurde das Getöse bis auf 260 Meilen vernommen. Die Detonationen des Vulkans Cosiguina in Nicaragua im Jahre 1835 wurden zu Santa-Fé-de-Bogota in Südamerika, also auf 230 Meilen Entfernung deutlich vernommen. Das Getöse des Cotopaxi während seiner Eruption im Jahre 1744 wurde in der Stadt Honda am Magdalenaflusse wie unterirdischer Kanonendonner vernommen. Honda liegt 109 Meilen nördlich vom Cotopaxi; das donnerartige Getöse des Vulkans von St. Vincent in den kleinen Antillen wurde in einer Entfernung von 120 Meilen an den Ufern des Rio Apure vernommen*).

*) C. W. C. Fuchs, die vulk. Erscheing. S. 404.

Noch weiter aber als der Schall, sind Erschütterungen der Erde fortgepflanzt worden. Nach Humboldt sind die Erdbeben der Küste von Chile und Peru bisweilen 600 Stunden weit empfunden worden. Das Erdbeben in Venezuela am 21. Oktober 1766 erstreckte sich von der Insel Trinidad über Cumana und Caracas bis nach Maracaibo 150 Meilen weit. Das Erdbeben, welches am 11. Januar 1839 die Insel Martinique heftig erschütterte, pflanzte sich durch die ganze Kette der Antillen über 120 Meilen weit fort. Sogar auf 400 bis 500 Meilen Entfernung vom Erschütterungscentrum aus soll sich das Erdbeben von Lissabon am 1. November 1755 erstreckt haben. Man schätzt die Erschütterungsfläche auf 700000 geographische Quadratmeilen. Das entspricht ungefähr dem 13. Theil der gesammten Erdoberfläche. Bei dem Erdbeben von Valdivia am 7. November 1837, das sich über einen ansehnlichen Theil des großen Oceans verbreitete, sollen 100 Längengrade und 40 Breitengrade erschüttet worden sein.

Auf die genannten Zahlen ist kein allzugroßer Werth zu legen; denn wenn solche Thatfachen nicht von geübten Beobachtern gesammelt und gesichtet werden, so laufen viele Uebertreibungen und Ungeheuerlichkeiten mit unter. Wenn aber auch die Entfernungen richtig sein sollten, so könnte man doch nicht leicht nachweisen, daß die Bewegung von ein und demselben Erschütterungscentrum aus soweit fortgepflanzt worden ist. Es ist ja sehr wohl möglich, daß an mehreren Punkten einer Spalte gleichzeitig oder nacheinander Erschütterungscentra entstanden sind.

Von hohem geologischem Interesse sind die durch Erdbeben hervorgerufenen Veränderungen der Erdoberfläche, insbesondere die Spalten, die Senkungen und Hebungen. Spalten sind die stetigen Begleiter heftiger Erdbeben. Nicht selten schließen und öffnen sie sich bei demselben Erdbeben innerhalb weniger Minuten mehrmals. In festem Gestein bleiben sie in der Regel am längsten sichtbar. Im Laufe der Jahre aber werden sie allmählig ausgefüllt, theils durch hineingefegten Staub, theils durch herabbröckelndes Gestein, theils durch Schlamm Massen, die durch Regengüsse hineingespült werden, theils durch Absätze, welche das an den Wänden herabtröpfelnde, mit chemischen Bestandtheilen beladene Wasser hinterläßt. Auf diese Weise entstehen jene Silber-, Kupfer-, Blei- und Zinkführenden Gänge, welche für den Bergbau von so großer Wichtigkeit

sind. Bei dem Erdbeben in Chile, am 19. November 1822, welches das ganze dortige Litoral in ein höheres Niveau drängte, wurde der Granitboden einiger Küstenstriche von parallelen Spalten durchrissen, welche zum Theil $1\frac{1}{2}$ englische Meilen weit landeinwärts verfolgt werden konnten*).

Als am 16. November 1827 die Gegend von Bogota in Neu-Granada von einem heftigen Erdbeben erschüttert wurde, entstanden am Wege nach Guanacas weitklaffende Spalten; andere öffneten sich bei Costa und der Fluß Tunza stürzte sich sofort in die geöffneten Schlünde.

Während des fürchterlichen Erdbebens, welches im Jahre 1770 die Insel St. Domingo verheerte, wurde das Land von zahllosen Spalten durchsetzt; und als Jamaika im Jahre 1692 so schrecklich heimgesucht wurde, bildeten sich oft hunderte von Spalten, die sich zum Theil schlossen und dann wieder von Neuem öffneten. Viele Menschen stürzten in sie hinein, einige in die Tiefe, andere ragten zum Theil noch hervor. Bei dem Schließen der Spalten wurden sie zerquetscht, bei der Wiederöffnung aber mit großen Wassermassen herausgeschleudert.

Dieses Hervorbrechen von Wasser mit Sand und Schlamm ist noch an vielen anderen Orten während des Erdbebens beobachtet worden. Bei dem Erdbeben des Mississippihales spritzte Wasser vermischt mit Sand und Schlamm bis zur Höhe der höchsten Bäume aus den entstandenen Spalten hervor. Aehnliches geschah bei den Erdbeben von Calabrien, von Caracas, Guadeloupe, Catania, Armenien und anderen. Da in der Erde zahlreiche wasserführende Schichten oder Wasseradern vorhanden sind, so ist es sehr wohl möglich, daß bei dem Durchgang einer Erdbebenwelle diese lockeren Schichten eine starke Compression erfahren, wodurch Wasser mit Sand und Schlamm aus eben gebildeten Spalten hervorgepreßt wird. Schwemmt das Wasser an der Ausbruchsstelle einen Theil des anstehenden Erdreichs weg, so entstehen jene Rundlöcher, die nach dem Erdbeben von Calabrien so charakteristisch bei Rosarno angetroffen wurden. Von den Rändern dieser Rundlöcher strahlten kleine Furchen aus. Die Rundlöcher selbst verengerten sich nach unten trichterförmig und en-

*) Naumann, Lehrb. der Geogn. S. 223.

digten zuletzt in einem schmalen Canal, aus dem das Wasser aus der Tiefe hervorgebrungen war*).

Die Erscheinung des Ausströmens von Schlamm nimmt bisweilen große Dimensionen an. Vor dem ersten Stöße des Erdbebens von Calabrien floß nicht weit von Laureana aus dem Grunde zweier Schluchten eine Menge Kalkschlamm aus, welcher sich bald so anhäufte, daß er wie Lava abwärts strömte und nach der Vereinigung einen Strom von 225 Fuß Breite und 15 Fuß Höhe bildete, der sich eine italienische Meile lang weiterbewegte. Auch bei S. Lucido und anderen Orten überschwemmten breite Schlammströme alle tieferen Punkte dermaßen, daß nur noch die Gipfel der Bäume und die Giebel der Häuser-Ruinen aus dem Schlamme hervorragten**).

Die zu Tage ausfließenden Quellen erleiden durch die Erdbeben bald vorübergehende, bald bleibende Veränderungen. So verminderte sich während der Erdbeben in den Pyrenäen im Juni 1660 die Temperatur der warmen Quellen von Bagnères plötzlich um mehrere Grade. Dagegen wurden bei dem Erdbeben von Calabrien die Thermen von St. Eufemia, und bei dem Erdbeben vom 2. Februar 1828 die heißen Quellen auf der Insel Ischia in ihrer Temperatur gesteigert. Durch das Erdbeben von Lissabon wurden mehrere Quellen in der Provence getrübt und in ihrem Abflusse gestört; die heißen Quellen von Tepliz erlitten eine plötzliche Trübung, versiegten nachher auf kurze Zeit, brachen aber dann durch Eisenoxydhydrat geröthet, mit so ungewöhnlicher Heftigkeit und Fülle hervor, daß alle Baderassins überliefen und daß selbst ein Theil der Vorstadt überschwemmt wurde. Durch das große Erdbeben in Armenien im Jahre 1840 wurde der Lauf der Quellen des heiligen Jakob so verändert, daß sie seit jener Zeit an einer anderen Stelle ausfließen***).

Auch Bäche und Flüsse erleiden oft vorübergehende, oft bleibende Veränderungen. Nach den Erdstößen am 13. Januar 1833 zu Linköping in Schweden versiegte der Metalafluß, so daß man trockenen Fußes hin-

*) Naumann, Lehrb. der Geogn. S. 226.

**) Naumann, S. 226.

***) Naumann, L. d. G. S. 227.

durchgehen konnte. Auf Jamaica wurde bei dem Erdbeben von 1692 der Fluß oberhalb Spanisch-Town durch den Einsturz seiner hohen fast senkrechten Uferwände aufgedämmt, so daß die weiter aufwärts liegenden Gegenden 9 Tage lang überschwemmt wurden; in einigen gebirgigen Gegenden der Insel hörten die Flüsse erst 24 Stunden lang auf zu fließen, dann stürzten sie mit verstärkter Gewalt hervor und schwemmten Millionen von Baumstämmen in das Meer. Während des Erdbebens in den Pyrenäen im Jahre 1678 schwoll die Garonne ohne vorher zu versiegen oder sich zu vermindern, in einer Nacht dermaßen an, daß alle Brücken und Mühlen oberhalb Toulouse fortgeführt wurden*). Nach Drell schwoll zur Zeit der großen Erdbeben in Nordamerika, während 1811 und 1812 der Erdboden unterhalb Neu-Madrid dergestalt an, daß der Mississippi in seinem Laufe vorübergehend aufgedämmt wurde. Die Stromschnellen des San Juan, des Ausflusses des Nicaraguasees, sind erst im 17. Jahrhundert durch stufenartige Hebung seines Bettes entstanden. Während er früher für größere Fahrzeuge ununterbrochen schiffbar war, müssen jetzt die Reisenden von San Juan bis Nivas vier Mal die Boote wechseln**).

Daß auch Landseen und Meere durch Erdbeben erregt werden, ist oft beobachtet worden. Während des Erdbebens in Chile, am 20. Februar 1835, wurden Schiffe, die bis 100 englische Meilen von der Küste entfernt segelten, von heftigen Stößen erschüttert. Bei dem großen Erdbeben von Lissabon im Jahre 1755 empfand man auf Schiffen westlich von Lissabon, sowie bei St. Lucar, im tiefen Fahrwasser solche Stöße, daß man glaubte, die Schiffe seien auf ein Felsenriff aufgefahren. Man traf schon Anstalten, die Mannschaft zu retten, bis man durch Tiefenmessungen den Irrthum erkannte. In dem Meere der Molukken wurde ein Schiff während eines Erdbebens dermaßen erschüttert, daß die Kanonen in die Höhe sprangen und die Strickleitern zerrissen. Als Baldivia am 7. November 1837 durch ein Erdbeben zerstört wurde, erhielt ein Wallfischfahrer unweit der Insel Chiloe so heftige Stöße, daß er seine Masten verlor***).

*) Naumann, L. d. G. S. 227.

**) Naumann, aus dem Ausland, 1857. S. 87.

***) Naumann, L. d. G. S. 229.

Noch interessanter und wichtiger als diese Seebeben sind jene, bei Erdbeben häufig beobachteten Fluthwellen, die mit unwiderstehlicher Macht gegen die Ufer anstürmen und sich weit in das Meer hinauserstrecken. So zog sich, etwa eine Stunde nach den ersten heftigen Stößen des Erdbebens von Lissabon, das Meer weit vom Ufer zurück und stürzte dann mit einer 40 Fuß hohen Welle in die Straßen der Stadt, alles verwüstend. Nach dem Rückzuge kehrte sie mit stets verminderter Wucht noch mehrmals wieder. Es wird ausdrücklich bei diesem Ereignisse erwähnt, daß die Ebbe bereits eingetreten war und der Wind vom Land her wehte, als die Welle auf die Stadt einstürmte, sodaß die Erklärung, die Welle sei durch Fluth und Sturmwind entstanden, von vornherein ausgeschlossen ist. An der ganzen Westküste Portugals fand dieselbe Bewegung in mehr oder weniger starkem Grade statt; sie erstreckte sich auch südlich bis an die Straße von Gibraltar und erreichte namentlich bei Cadix einen hohen Grad von Heftigkeit. Hier zerstörte die Welle Mauern und Wälle, rollte Kanonen vom schwersten Kaliber 100 Fuß weit fort. Die Welle erstreckte sich über einen großen Theil des atlantischen Oceans*), denn sie wurde auf den Azorischen und Canarischen Inseln, in Großbritannien und auf den kleinen Antillen stark verspürt. Die weite Verbreitung dieser Welle ist namentlich von G. Bischof geleugnet worden. Es steht indessen dieser Fall nicht isolirt da. Lima wurde am 28. October 1746 durch ein Erdbeben zerstört. In der nahen Hafenstadt Callao sah man an demselben Tage das Meer sich erst zurückziehen und gleich darauf mit einer hohen Fluthwelle gegen die Stadt einstürmen. Die Stadt und fast die ganze Bevölkerung wurde vertilgt. Von den 23 im Hafen liegenden Schiffen versanken 19 auf der Stelle, während die 4 andern auf das Land geschleudert wurden. Das Land soll sich damals gesenkt haben und Darwin, der im Jahre 1835 den Ort besuchte, stimmt der Ansicht bei. Darwin erlebte auch das Erdbeben in Chile, am 20. Februar 1835, durch welches Valdivia und Concepcion zerstört wurden**). Auch hier trat das Meer erst weit zurück und brach dann mit unwiderstehlicher Gewalt in die Hafenstadt Talcahuano ein, die sie nebst 70 Dörfern gänzlich zerstörte. Ebenso

*) Naumann, L. d. G. S. 229.

**) Darwin, Reisebeschreibung.

rasch als sie gekommen war, stürzte die Welle zurück und kam mit stets verminderter Heftigkeit noch mehrmals wieder. Die Stadt war dem Erdboden gleich gemacht und Pfützen von salzigem Wasser standen da, wo stolz sich vorher Haus an Haus reihte. Die ganze Küste, berichtet Darwin war mit Holz und Möbeln so bedeckt, als wenn Hunderte von Schiffen gestrandet und dann zerschellt worden wären. Das Wasser der Bucht wurde schwarz und hatte deutlichen Schwefelwasserstoffgeruch. Bei dem Erdbeben von Jamaica im Jahre 1692 wälzte sich das Meer mit unwiderstehlicher Gewalt in die Stadt Port-Royal und schwemmte eine Fregatte über die Häuser hinweg. Auch aus neuerer Zeit ist Ähnliches bekannt. Herr von Hochstetter legte am 21. Januar 1869 der Wiener Akademie einen Bericht über die Flutherscheinungen vor, die im Gefolge des großen Erdbebens in Südamerika vom 13. bis 16. August 1868 waren. Diesem Berichte entnehme ich das Folgende über den Verlauf der großen Welle.

Weg der Welle von	Entfernung in Seemeilen.	Zeitdauer der Reise.		Geschwindigkeit pro Stunde in Seemeilen.
		Stund.	Min.	
Arica bis Valdivia	1420	5	0	284
Arica bis zu Chatam-Inseln . .	5520	15	19	360
Arica bis Dyttefston (Neu-Seeland).	6120	19	18	316
Arica bis Newcastle (Australien) .	7380	22	28	319
Arica bis Apia (Sancoa) . . .	5760	16	2	358
Arica bis Hilo (Sandwich-Inseln).	5400	14	25	329
Arica bis Honolulu (Sandwich-Inseln)	5580	12	37	442

Die Geschwindigkeit der Welle war wie man sieht, auf den verschiedenen Wegen verschieden. Da sie aber abhängig ist von der Breite der Welle und der Meerestiefe, so erklärt sich die verschiedene Geschwindigkeit durch die ungleiche Meerestiefe auf den verschiedenen Wegen. Vergleicht man die Zeit, welche diese Welle gebraucht hat, um die einzelnen Wege zurückzulegen, mit der Zeit, welche die vom Monde erzeugte Meereswelle braucht, um dieselben Wege zurückzulegen, so ergibt sich folgendes.

Zwischen Arica und Newcastle liegen 22 Fluthstunden, die Erdbebenwelle brauchte 22 Stunden 28 Minuten. Zwischen Arica und Apia liegen 16 Fluthstunden; die Erdbebenwelle brauchte 16 Stunden 2 Minuten. Zwischen Arica und den Sandwichinseln liegen $13\frac{1}{2}$ Fluthstunden, die Erdbebenwelle brauchte ebensoviel Zeit. Herr von Hochstetter schließt daraus: „Die vollständige Uebereinstimmung der Bewegung der lunaren Fluth und der Erdbebenfluth kann somit als unzweifelhaft erwiesen betrachtet werden.“ Wenn, wie es möglich ist, diese Welle durch ein unter dem Meere hinziehendes Erdbeben entstanden ist, so war die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwas größer als 221 Meter in der Secunde, also etwa so groß wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Neapolitanischen Erdbebens am 16. December 1857.

Wir müssen uns jetzt nach dem Grund der vorgetragenen Erscheinungen fragen. Wenn wir ein Gefäß mit Wasser füllen und von unten auf den Boden einen kurzen kräftigen Schlag führen, so schwingen die Wassertheilchen über und in der Nähe der Stoßrichtung vertical auf und ab, in größerer Entfernung davon entsteht dagegen die gewöhnliche Wellenbewegung. Bei den Seebeben scheint der kurze kräftige Schlag durch eine Explosion unter dem Meeresboden hervorgebracht zu werden. Diejenigen Schiffe, welche in der Nähe der Stoßrichtung segeln, müssen daher die Empfindung haben, als ob sie aufgefahren wären.

Ist dieser Stoß nun kräftig genug, so wird der Meeresboden momentan mit der darüberliegenden Wassermasse gehoben um gleich darauf durch die Schwere wieder nieder zu sinken. Die unmittelbare Folge hiervon ist ein Rückzug des Meeres vom Ufer und eine darauffolgende Welle. Weil die Bewegung durch den Meeresboden auf das Wasser übertragen wird, so muß das Erdbeben der Welle vorausgehen, was mit den Beobachtungen vollkommen übereinstimmt. Es ist nicht unmöglich, daß gleichzeitig Spalten aufreißen, in welche große Wassermassen hineinstürzen. Und Mitchell*) hat geglaubt, die ganze Erscheinung durch ein bloßes Versinken großer Wassermassen in Höhlen erklären zu können; allein welche Dimensionen müßten solche Höhlen haben, um Wellen zu erzeugen wie die angeführten; und wodurch sollten solche Höhlen entstehen? Wir

*) f. Naumann, L. d. G. S. 231.

scheint, daß vielleicht jenes Zurückweichen des Meeres durch Aufreißen von Spalten erklärt werden kann, welches man im Jahre 79, als Pompeji und Herculaneum zerstört wurden, beobachtete. Damals bemerkte man zwar ein starkes Zurücktreten des Meeres, sodaß alle Seethiere todt auf dem Trocknen zurückblieben, aber keine darauffolgende große Welle. In ähnlicher Weise trat auch, als der Monte nuovo gebildet wurde, das Meer bei Bajae zurück, und auch hier blieb jene unheilvolle Welle aus.

Es tritt nun die Frage an uns heran: Was ist die Ursache der Erdbeben? Diese Frage wurde bisher von verschiedenen Autoren verschieden beantwortet. Jeder glaubte eigenmächtig den Standpunkt ausschließlich vertreten zu müssen, den ihm seine Richtung in der Geologie vorzeichnete. Aber wenn dieselbe Erscheinung durch verschiedene Ursachen hervorgebracht werden kann, so muß die Untersuchung darauf gerichtet sein, für jeden gegebenen Fall die besondere Ursache zu ermitteln.

Die Erdbeben, wie wir aus dem Vorgetragenen wissen, können durch verschiedene Ursachen erzeugt werden, folglich muß unser Hauptbestreben darauf gerichtet sein, Merkmale zu finden, welche für die mancherlei Ursachen charakteristisch sind. Sind solche Merkmale gefunden, so können wir für jeden bestimmten Fall die Ursache mit Sicherheit angeben. Bis jetzt sind solche charakteristische Merkmale nicht aufgefunden worden und wir müssen uns vorläufig begnügen, die einzelnen Ursachen aufzuführen.

Das stetige Zusammenvorkommen von Erdbeben und vulkanischen Ausbrüchen weist uns auf eine gemeinschaftliche Ursache beider Erscheinungen hin. Und wir haben früher gehört, daß es hauptsächlich hochgespannte Wasserdämpfe sind, welche jene Erscheinungen bedingen. Sind es auch hochgespannte Wasserdämpfe, so müssen wir uns jetzt fragen, welche die unabhängig von vulkanischen Eruptionen auftretenden Erdbeben zu erzeugen vermögen? Und die Analogie mit den andern Erdbeben beantwortet uns diese Frage mit ja. Wie aber sollen wir uns die Art und Weise der Dampfentwicklung vorstellen? (Pfaff*) denkt sich in ver-

*) Pfaff, Allgemeine Geologie.

schiedenen Tiefen unter der Oberfläche Höhlen, die zum Theil mit Wasser gefüllt sind. Stehen diese Höhlen durch eine Spalte mit dem heißflüssigen Erdinnern in Verbindung und wird durch Contraction heißflüssiges Material bis zu den Höhlen hinaufgepreßt, so wird Wasser momentan in Dampf von hoher Spannung verwandelt, der unter Umständen die darüber liegenden Schichten zu heben, d. h. ein Erdbeben zu erzeugen vermag.

Man könnte gegen diese Hypothese vielleicht einwenden, daß große Höhlen in 2 bis 4 Stunden Tiefe unter der Oberfläche nicht häufig vorkommen dürften; meiner Ansicht nach hat man aber auch gar nicht nöthig, sich Höhlen in dieser Tiefe zu denken. Steht eine Spalte mit dem heißflüssigen Erdinnern in Verbindung, so münden in diese Spalten zahlreiche Risse, durch welche Wasser mit der heißflüssigen Säule in Berührung kommt. Ist der sogleich entstehende Wasserdampf auch nicht im Stande die darüber befindlichen Schichten zu heben, so vermag er doch hier und da die Risse zu erweitern und Raum für ein stärkeres Eindringen von Wasser zu schaffen. Daß auf diese Weise schließlich dasselbe erzielt wird wie durch die Annahme großer Höhlen, ist einleuchtend, namentlich wenn man bedenkt, daß die Lava, vom Drucke befreit, selbst schon eine große Menge von Dämpfen entbindet. Aber so unzweifelhaft es ist, daß auf diese Weise Erdbeben entstehen können, so gewiß ist es, daß sie auch noch durch andere Ursachen hervorgebracht werden.

Boussingault*) war der erste, der die größeren Erdbeben der Anden durch innere Einstürze, durch ein Zusammensetzen der gegen einander aufgerichteten Theile der Gebirgsketten zu erklären versuchte. Darwin und Virlet schlossen sich in der Hauptsache an Boussingault's Ansicht an, und Necker**) hat im Jahre 1840 eine ähnliche Ansicht durch treffliche Gründe unterstützt. Necker zeigt, wie im Laufe der Zeiten unterirdisch fließende Wasser durch Auflösen von Steinsalz, Gyps, Kalkstein oder durch Auswaschen von Sand und Thon, Höhlen erzeugen, durch deren schließlichen

*) Nach Raumann in den Annales de chimie et de phys. t. 58, 1835, p. 81 ff.

**) Neues Jahrbuch für Mineralogie 1840. S. 111. (Nach Raumann's Angabe).

Einsturz Erdbeben entstehen müssen. Volger, Bischof und andere erklären die Erdbeben ausschließlich aus diesem Gesichtspunkt. Wenn die ganze über der Höhle stehende Erdmasse einsinkt, so muß an der Oberfläche eine Vertiefung sichtbar werden, welche als charakteristisches Merkmal für diese Ursache von Erdbeben angesehen werden kann. Freilich können auch Erderschütterungen durch das Herabfallen großer Felsmassen entstehen, ohne daß das ganze Gewölbe über der Höhle zusammenbricht. In diesem Falle fehlte jene charakteristische Vertiefung und folglich das sichere Merkmal, das uns über die Ursache des Erdbebens belehren könnte.

Erdbeben können auch dadurch entstehen, daß in einer gewissen Tiefe Spalten aufreißen. Wir haben früher gehört, daß auf der Oberfläche einer Kugel, deren Mittelpunkt der Erdmittelpunkt und deren Radius $1\frac{1}{2}$ Meile kürzer ist als der Radius unserer Erde, die Temperatur sehr verschieden ist. Da wo die Oberfläche dieser Kugel unter dem Meere hinzieht, ist die Temperatur 300 bis 400° niedriger als da, wo sie unter dem Festlande herzieht. An der Grenze zwischen Meer und Land ist folglich die Spannungsdifferenz am größten und hier ist die Bildung weitflächender Spalten auf große Entfernungen hin und folglich das gleichzeitige Auftreten von Erdbeben möglich. Erdbeben, die auf diese Weise entstehen, haben ein ganz charakteristisches Merkmal; sie müssen eine deutlich ausgesprochene lineare Verbreitung haben, und es ist nicht so unwahrscheinlich, daß diejenigen Erdbeben Südamerikas, die eine vorwiegend lineare Verbreitung hatten, auf diese Weise entstanden sind. Erdbeben, die als centrale bezeichnet werden müssen, können dieser Ursache nicht leicht ihre Entstehung verdanken.

Die Frage, ob Sonne und Mond einen Einfluß auf Erdbeben haben, ist zuerst von Perrey ausführlicher behandelt worden und von Falb zur Aufstellung einer Theorie verwerthet worden, nach welcher er sämtliche Erdbeben aus einem Gesichtspunkte erklären zu können glaubt*). Ist nämlich die Erde im Innern heißflüssig und die feste darauf liegende Erdkruste nicht allzudick, so muß die vereinte Anziehung des Mondes und

*) Das Nähere findet sich in den Grundzügen zu einer Theorie der Erdbeben und Vulkanausbrüche von R. Falb und in:

Gedanken und Studien über den Vulkanismus von R. Falb.

der Sonne eine Welle erzeugen, ähnlich der Meereswelle, welche Ebbe und Fluth bedingt. Während aber das Wasser dem Zuge des Mondes ungehindert folgen kann, vermag die Welle im Erdinnern das nicht; sie findet einen Widerstand in der auf ihr liegenden Kruste, den sie zu bewältigen sucht. Das wird ihr nicht gelingen, wenn die über ihr liegende Masse compact ist. Ist sie aber von Spalten durchzogen, die mit großen Reservoirs communiciren, so steigt ein Theil des heißflüssigen Erdinhalts durch die Spalten in jene Reservoirs*) und von diesen durch Canäle mehr oder weniger nahe an die Oberfläche. Hier entstehen durch sich entwickelnde Gase Explosionen und folglich Erdbeben. Das Aufsteigen der Lava wird mithin nicht der Contraction, sondern jener Reaction zwischen heißflüssigem Erdinnern und fester Erdkruste zugeschrieben, die durch die Anziehung von Mond und Sonne bedingt ist. Damit ist eine ganz unregelmäßige Erscheinung — die Erdbeben — in Zusammenhang gebracht mit einer ganz regelmäßigen — der Stellung zwischen Sonne und Mond. — Und es ist leicht einzusehen, daß Erdbeben vorausgesagt werden können, wenn überhaupt diese ganze Theorie richtig ist. Da man aber nie wissen kann, welcher von den vielen Canälen verstopft und wie stark er verstopft und wo er verstopft ist, so kann man natürlich nur die Zeit, nicht aber den Ort, an dem das Erdbeben auftritt, angeben. Nun wissen wir, daß fast an jedem Tage Erdbeben auftreten, folglich ist die Richtigkeit der Voraussetzung sehr schwer zu controliren. Indessen ist es sehr zweifelhaft, ob die innere Fluth im Stande ist, heißflüssige Massen von solchem Gewichte in die Höhe zu treiben, zumal sie ja doch durch die bald folgende Ebbe wieder zurücksinken müssen. Ganz besonders schwierig ist es, das erste Aufsteigen der heißflüssigen Masse in eine vorhandene Spalte zu begreifen. Nicht unmöglich ist es dagegen, daß diese innere Fluth einen gewissen Einfluß auf eine durch Contraction aufgestiegene Säule ausübt. Wie hoch dieser Einfluß anzuschlagen ist, läßt sich mit Bestimmtheit nicht angeben.

*) Dieses Aufsteigen durch Spalten in Reservoirs ist zuerst von englischen Geologen, namentlich von J. Scrope (siehe dessen Werk über Vulkane) zur Geltung gebracht worden.

Alle übrigen Kräfte, welche man auch noch hier und da als Ursache der Erdbeben anführen hört, wie z. B. Wirbelfürme, galvanische Ströme und andere übergehe ich. — So sehen wir denn, daß jene geheimnißvolle Erscheinung der Erdbeben noch manches Räthsel birgt, welches die fortschreitende Wissenschaft zu lösen hat, daß aber auch der Anfang zu einer exacten Erdbeben-theorie in jenen Formeln liegt, welche wir oben mitgetheilt haben.

Sechster Vortrag.

Ueber Gletscher.

Eine Reise nach den Gletschern der Alpen ist für den Freund großer, erhabener Naturscenen nicht minder lohnend als für den Naturforscher, der in diesen mächtigen Eisströmen den Schlüssel sucht für die merkwürdige und in vieler Beziehung räthselhafte Erscheinung der früheren Eiszeit.

In dem Maße als Sie in den Alpen höher steigen, in dem Maße wird es kälter, und bald kommen Sie in eine Höhe, in welcher der Schnee, der im Laufe eines Jahres fällt, nicht mehr wegschmilzt. Steigen Sie noch höher, so kommen Sie an eine Grenze, über welcher der Regen nicht bekannt ist. Aber haben Sie auch schon nachgedacht, woher das kommt? Alles was wir täglich sehen, halten wir für sehr natürlich; denken wir drüber nach, so stoßen wir nicht selten auf ungeahnte Schwierigkeiten. So auch in diesem Falle. — Unsere Atmosphäre erstreckt sich ungefähr 120000 Meter in die Höhe. Sie ist am dichtesten an der Oberfläche und nimmt rasch mit der Höhe an Dichtigkeit ab. — Der von der Sonne ausgehende Licht- und Wärmestrahle durchschneidet und erwärmt dieses Luftmeer und verliert dadurch von seiner eigenen Wärme. Er muß daher auf einem 3000 Meter hohen Berggipfel wärmer sein als in der Ebene und folglich müßte dieser Berggipfel stärker erwärmt werden, als ein entsprechender Theil der Ebene. Der berühmte Geologe Saussure beobachtete auf dem Gipfel des Cramont 2755 Meter über dem Meere ein Thermometer, das in einer geschwärzten Schachtel sich befand, während gleichzeitig ein zweites Thermometer zu Courmayeur unter denselben Umständen beobachtet wurde. Courmayeur liegt 1250 Meter tiefer als der

Gipfel des Gramont und in der That zeigte das Thermometer in dieser Höhe einen Grad mehr als zu Courmayeur, wiewohl die Luft auf dem Gramont bedeutend kälter war als zu Courmayeur. Martins und Bravais*) fanden, daß auf dem Grand Plateau des Montblanc, wo die Temperatur der Luft unter Null war, die Wärme der Sonnenstrahlen bedeutender war als zur selben Zeit in Chamouni, wo das Thermometer im Schatten 19° zeigte. Das kommt daher, daß Chamouni 2890 Meter tiefer liegt, als das Grand Plateau des Montblanc.

Wenn Sie sich an einem schönen Tage im Sommer auf dem Gipfel des Rigi oder des Faulhorn zur Erde setzen, so empfinden Sie eine behagliche Wärme, eine Wärme, die man in der Ebene nicht kennt; der Boden besitzt dort nicht jene Frische, die gar oft die Ursache schmerzhafter Rheumatismen ist; er ist vollkommen trocken und warm. Sehen Sie sich die kleinen Alpenblümchen an, die zwischen den Felsspalten geschützt stehen. Ihre gesättigte Farbe und würziger Duft geben berebtes Zeugniß von der intensiven Wärme in dieser Höhe. Woher kommt denn aber die Kälte, wenn der Sonnenstrahl in dieser Höhe wärmer als in der Ebene ist? Lassen Sie uns sehen. Es gibt Körper, welche die leuchtenden Wärmestrahlen durchlassen, ohne durch sie erheblich erwärmt zu werden, die dunkeln aber nicht oder nur unvollständig. Zu diesen Körpern gehört die Luft. Der leuchtende Wärmestrahle der Sonne**), indem er die Luft durchschneidet, gibt nur wenig Wärme an sie ab, während der dunkle Wärmestrahle, der gleichzeitig mit ihm die Luft durchströmt von der Luft größtentheils aufgenommen wird. Der leuchtende Wärmestrahle erwärmt nun die Oberfläche der Erde. Diese wird dadurch zu einer Wärmequelle mit dunkeln Wärmestrahlen und diese können nicht mehr alle in den Weltraum zurückstrahlen, weil die Luft und namentlich die mit Wasserdampf gesättigte Luft sie nur sehr langsam durchläßt: Es wird mithin eine ziemlich bedeutende Menge der Sonnenwärme durch die dichte Luft an der Erdoberfläche festgehalten. Anders ist es auf einem hohen Gipfel, wo die Luft dünner und reiner, die empfangene Wärme rascher und vollständiger in den Weltraum zurückschickt. Dieser Gipfel kann durch die

*) Ch. Martins. Von Spitzbergen nach Sahara, übersetzt von Vogt.

**) Wärmestrahle mit kürzerer Wellenlänge als dunkler Wärmestrahle.

Sonne am hellen Tage sehr stark erwärmt werden, weil die leuchtenden und dunklen Wärmestrahlen der Sonne mit größerer Macht auf ihn wirken; kaum ist aber die Sonne unter, so strahlt er durch die dünne und heitere Luft die empfangene Wärme in den Weltraum aus. So kann es kommen, daß hoch auf den Schneefeldern die Luft eiskalt ist, während die leuchtenden Wärmestrahlen Gesicht und Hände rösten. Das ist indessen keineswegs die einzige Ursache der Kälte auf hohen Bergen. Es gibt noch eine zweite.

Sie wissen, daß die Luft, wenn man sie zusammendrückt, wärmer, wenn man sie zwingt sich auszudehnen, kälter wird. Wenn daher Südwinde die warme Luft des Mittelmeers nach Norden treiben, so muß diese Luft den mächtigen Wall der Alpenkette übersteigen, sich ausdehnen und kälter werden. Die Höhe der Quecksilbersäule des Barometers ist der Maßstab für die Größe der Ausdehnung. Auf der Spitze des Mont-Blanc mißt diese Quecksilbersäule 423,74 Millimeter, an den Ufern des Mittelmeeres 760 Millimeter. Um wie viel wird nun die Luft kälter, wenn sie zu dieser Höhe hinanstiegt? Um 20 bis 32° R., je nachdem sie feucht oder trocken ist. Daraus sehen Sie, daß dieselbe Luft, die an den Gestaden des Mittelmeeres brennend heiß ist, auf dem Gipfel des Mont-Blanc eisig kalt ankommt. Und da diese warme Luft viel Wasserdampf enthält, so schlägt sich derselbe an den Abhängen der Alpen als Schnee in dem Maße nieder, als die Luft höher steigt. Tritt diese Luft über den Kamm in die Thäler, so hat sie den größten Theil ihrer Feuchtigkeit verloren, sie wird beim Niedersinken wieder dichter, folglich wärmer und erscheint nun trocken. Sie ist allen Thalbewohnern der Schweiz unter dem Namen Föhn wohlbekannt.

Je höher man sich also über die Oberfläche der Erde erhebt, desto kälter muß es werden und folglich muß es längs den Alpen eine Linie geben, über welcher der Schnee, der im Laufe eines Jahres fällt, nicht mehr ganz wegschmilzt. Diese Linie bildet die Grenze des ewigen Schnees. Unter ihr herrscht Bewegung und Leben, über ihr Ruhe und Einförmigkeit. Unter ihr drängen sich Hunderte von blüthenreichen Pflanzen dem Lichte entgegen und Thiere aller Art tummeln sich geschäftig herum, über ihr ein trostloses Eisfeld, groß und erhaben, aber von keinem lebenden Wesen bewohnt, von keiner Pflanze beschattet, die lautlose Stille nur

bisweilen unterbrochen von dem Heulen des Orkans und dem dumpfen Donner stürzender Lawinen. Diese Schneelinie fällt indessen nicht zusammen mit derjenigen Linie, in welcher die mittlere Temperatur 0° ist, wie aus der folgenden Zusammenstellung hervorgeht:

	Linie von 0° . Schneelinie.	
Nordabfall der Alpen.	1980 Meter	2600—2700 Meter.
Centralalpen.	2080 „	2730—2800 „
Montblanc-Kette.	2340 „	2860—3100 „

Die Schneelinie liegt darnach 700 bis 800 Meter höher als die Isotherme von 0° und fällt in eine Höhe, deren mittlere Temperatur -4° C. beträgt. Am Aequator liegt die Schneelinie 5300 Meter über dem Meere. — Ueber der Schneelinie muß sich der Schnee an den Abhängen der Berge so lange anhäufen, bis ein Grad der Steilheit erreicht ist, bei welchem weiterer Schnee nicht mehr liegen bleibt. Gleichzeitig werden die unteren Schneeschichten von den oberen so stark gedrückt, daß ein Zustand entsteht, bei welchem der geringste Druck, den neues Schneegestöber oder ein Windstoß verursacht, die unteren Schichten zum Gleiten bringt. Einmal auf schiefer Ebene im Gleiten, wird ihre Geschwindigkeit größer und größer, neue Massen werden mitgerissen, pfeilschnell wird die Luft durchschnitten und unaufhaltsam stürzt die Lawine mit donnerartigem Getöse ins Thal. Das ist die eine Art, wie die Natur dem Anwachsen des Schnees über der Schneegrenze vorbeugt. Es gibt noch eine zweite.

Zwischen den hohen Berggipfeln befinden sich oft kesselartige Vertiefungen von 2500—5000 Meter Durchmesser, welche ungeheure Mengen von Schnee zu fassen vermögen. Auch hier würde sich der Schnee fort und fort anhäufen, wenn nicht aus einer Oeffnung der Mulde ein Theil des Schnees herausgepreßt würde. Dieser Theil, der sich auf wenig geneigter Ebene oft 1483 bis 1887 Meter unter die Schneegrenze herabzieht, wird Gletscher genannt. Zu den bemerkenswertheften Eigenthümlichkeiten des Gletschers gehört die, daß er ähnlich wie ein Strom, nur ungleich langsamer auf schiefer Ebene herabfließt. Die Schneemulde (Firnmulde) mit ihrem Gletscher gleicht einem See mit Abfluß.

Der in den Hochregionen fallende Schnee ist nicht flockig wie in der Ebene, sondern nadel- oder sternförmig oder körnig und voll-

kommen trocken, so daß er an einem steilen Abhange wie Sand herabfällt.

Dabei zeigt er eine Mannichfaltigkeit von Formen, die zum Erstaunen ist. Aus einem Centralkerne schießen 6 Strahlen, genau unter einem Winkel von 60° nach Außen. An jedem Strahle entspringen unzählige kleinere, unter demselben Winkel, die wunderbarsten Figuren bildend. Regelmäßigkeit und Schönheit eifern um die Wette und die kunstvollste Sticerei kann nichts liefern, was sich an Formschönheit mit diesen Schneesternen vergleichen ließe. Doch nicht lange behalten sie ihre Form. An warmen Tagen schmilzt die Sonne die äußersten Spitzen ab und die kleinen dadurch entstehenden Wassertropfchen gefrieren des Nachts zu Eis. Dies wiederholt sich noch öfter und so geht der Schnee allmählig in eine körnige Masse über, die Firn genannt wird.

In diesen Firn tritt der Wanderer an warmen Tagen wie in lockerm Sand einen Fuß tief. Während der Nacht wird er aber so fest, daß der Fuß keine Spur zurückläßt. Die jüngsten Firnkörner haben Linsen- bis Erbsengröße, erscheinen mattweiß und schließen viel Luft ein, die indessen bald zum größten Theile verschwindet, theils durch das fortwährende Eindringen und Gefrieren von Schmelzwasser, theils dadurch, daß sie durch den Druck neu fallender Schneemassen herausgepreßt wird. — Indem so der Firn fort und fort umgeformt wird, geht er allmählig in Gletschereis über. Dieses Gletschereis unterscheidet sich von Flußeis etwa, wie sich Marmor von Kalkspath unterscheidet. Flußeis ist krystallinisch, Gletschereis körnig. Führen Sie gegen einen Kalkspathkrystall einen Schlag, so spaltet er längs einer bestimmten Krystallfläche. Setzen Sie einen Keil auf das Eis und treiben ihn an, so bildet sich nach einer bestimmten Richtung ein Riß. Wenn Sie denselben Versuch mit Marmor oder Gletschereis machen, so findet kein Spalten statt, so bildet sich kein Riß.

Während Sie indessen an dem Marmor sogleich die einzelnen Körner erkennen, erscheint Ihnen frisch ausgeschnittenes Gletschereis vollkommen homogen. Hauchen Sie es an, so werden die Körner, die sich durch die Wärme von einander loslösen, sichtbar. Diese Körner haben nicht selten eine Größe von 5 bis 6 Centimeter. Sie sind um so größer, je weiter vom Ursprunge des Gletschers und je tiefer im Gletscher sie liegen. Setzen Sie ein großes Stück Gletschereis den Strahlen der Sonne aus, so zer-

fällt es in einen Körnerhaufen. Da die Gletscherkörner unregelmäßig sind und mit ihren Flächen gegeneinandergedrückt werden, so muß es zwischen den einzelnen Körnern Zwischenräume geben und diese sind es, in welche beim Anhauchen die warme Luft zuerst tritt und eine Schmelzung der berührenden Flächen verursacht. Man nennt diese Zwischenräume, die überaus fein und vielfach verzweigt sind, Haarspalten. Sie sind häufig luftleer, manchmal enthalten sie auch kleine Luftbläschen, vielleicht die Reste jener im Firn in so großer Menge vorkommenden Luft. Gegen das Ende des Gletschers haben diese Bläschen häufig eine platte Form. An den höheren Theilen erscheint das Eis der vielen Luftbläschen wegen matt weiß, dagegen prachtvoll blau an den tieferen Theilen, wo die Bläschen fehlen oder nur in geringer Menge vorhanden sind. Dieses Blau hat nicht selten einen Stich ins Grüne. Aus der folgenden Tabelle erhält man einen Begriff von der Menge der Luft im Firn und im Eise:

Aus 1 Kilogramm Firnschnee wurden erhalten. 64 Cubikcentimeter Luft*).

„ 1 „ weißen blasigen Gletschereis 15 „ „

„ 1 „ blauen blasenfreien Gletschereis . . . 1 „ „

Was die Dichtigkeitsverhältnisse anlangt, so ist das specifische Gewicht

von lockerem Schnee 0,111

„ dichtem Firnschnee 0,628

„ weißem blasigem Gletschereis 0,871

„ blauem Gletschereis 0,909

„ Wassereis 0,908.

Die Größenverhältnisse der Gletscher sind sehr mannigfaltig. Der längste aller Schweizergletscher ist der Aargletscher. Er erstreckt sich auf eine horizontale Entfernung von 16000 Meter bei einer Breite von 550 bis 1450 Meter. Der mächtigste Gletscher seiner Masse nach ist das Eismeer (Mer de Glace) bei Chamouni, dessen unterer Theil Glacier des Bois genannt wird. Bei einer Breite von 300 bis 1000 Meter erstreckt er sich 1400 Meter bis zum Col du Géant, die Entfernung gleichfalls horizontal gedacht. Ueber die Dicke der Gletscher sind die Beobachtungen ziemlich spärlich und unzuverlässig, weil es so überaus schwierig ist, den Gletscherboden zu erreichen. Agassiz**) erreichte am Aargletscher mit der Sonde bei einer Tiefe von 260 Meter noch nicht den Gletscherboden.

*) Mousson, die Gletscher der Jetztzeit.

**) Agassiz, geologische Alpenreise von Desor und Vogt.

Nach seinen Schätzungen muß die Tiefe nicht selten 400 bis 500 Meter betragen. Die Neigung der Gletscheroberfläche wechselt von 2° bis 30° . Die mittlere Neigung des Des Bois Gletschers auf die ganze Erstreckung von 14000 Meter ist ungefähr 9° . Denken Sie sich das Rheinthal von Bingen abwärts bis zur Höhe der einschließenden Berge mit Eis ausgefüllt, so haben Sie ein anschauliches Bild von der Größe dieses Gletschers.

Die Gletscheroberfläche bietet dem Beobachter nicht jenes blendende Weiß, das für die Schneemuken so charakteristisch ist, sie ist oft ganz bedeckt mit Schutt und mit Steinen aller Größe. Das Auftreten dieser Steine auf der Oberfläche der Gletscher kann sogar benutzt werden, um die Grenze zwischen Firn und Gletscher zu finden.

Sie werden fragen, woher kommen die Steine und warum finden sie sich nicht in den Schneemuken?

In einer Höhe von 2000 bis 3000 Meter schmilzt der im Winter gefallene Schnee im Sommer wieder weg. Die feste Gesteinsunterlage wird vom Frühling bis Herbst von Wasser vollkommen durchtränkt. Gefriert nun in kalten Nächten dieses Wasser in den Gesteinspalten, so dehnt es sich mit unwiderstehlicher Gewalt aus. Das Gestein wird losgebrochen und fällt entweder gleich herab, oder wird durch die Gewalt einer stürzenden Lawine auf den Gletscher herabgerissen. Hier bleibt es am Rande des Gletschers — am Gletscherufer — liegen. In keiner Region schreitet die Zerstörung und Abbröckelung des Gesteins mit solcher Schnelligkeit vorwärts als in dieser 2000 bis 3000 Meter hohen. Sie erfolgt aber in dieser nicht allein. Auch in viel höheren Regionen schmilzt an warmen Tagen der Schnee an der Oberfläche, das gebildete Schneewasser dringt in die Spalten des Gesteins, zersetzt und lockert es. Würbe gemacht, vermag es nicht mehr die Last des darauf ruhenden Schnees zu tragen; es rutscht daher mit diesem herab. Durch dieses fortwährende Loslösen mächtiger Gesteinsmassen, entsteht die charakteristische Zuspitzung der Berge, die Nadelform, die man vielleicht nirgends schöner sehen kann als in Chamouni. Schlanke Pyramiden, zum Theil bedeckt, zum Theil frei von Schnee, erheben sich auf blendend weißer Basis und beherrschen stolz die Umgebung. Aber der Zahn der Zeit nagt mächtig an ihnen und die schlanke Form gereicht ihnen zum Verderben; denn der schützende

Schnee bleibt auf so steiler Fläche nur in ganz dünner Schicht liegen, und diese wird rasch durch die Kraft der Sonnenstrahlen geschmolzen, das Wasser sickert in das Gestein, gefriert des Nachts, sprengt Stück für Stück ab, bis die ganze Pyramide einst so stolz, nach einigen Jahrtausenden ein Trümmerhaufen im Thal erscheint. — Warum sieht man nun diese Gesteinstrümmer nicht in den großen Schneemulden? In diese stürzen doch auch Blöcke und Schutt? Ohne Zweifel, wenn auch nicht in der Menge wie an der Schneelinie, weil dort die mächtige nie wegschmelzende Schneedecke das Gestein vor plötzlichen Temperaturänderungen und folglich vor Verwitterung und rascher Loslösung schützt. Stürzen indessen von benachbarten steilen Felswänden bisweilen Trümmer in die Schneemulden, so fallen sie tief in den lockeren Schnee, und wenn ja der begleitende Schutt auf der Oberfläche liegen bleibt, so wird er in wenigen Tagen wieder zugeschneit.

Diese Trümmeranhäufungen auf den Gletschern nennt man Moränen und unterscheidet Seitenmoränen (oder Gandecken), Mittelmoränen (oder Gufferlinien), Endmoränen und Grundmoränen.

Die Seitenmoränen bilden zwei mächtige Schuttwälle zu beiden Seiten eines Gletschers und erstrecken sich bis zum Ende desselben. Sie fehlen keinem Gletscher. Die Trümmermassen liegen ohne alle Ordnung durcheinander. Sand, Schlamm, Steine aller Art bis zu mächtigen Felsblöcken thürmen sich nicht selten bis zu einer Höhe von 60 Meter. Fehlt an irgend einer Stelle die Seitenmoräne, so ist sie durch Gletscherspalten verschlungen worden.

Die Mittelmoräne breitet sich etwa auf der Mitte des Gletschers aus und bietet dem Gletscherwanderer ein schwer zu überwindendes Hinderniß. Die Blöcke der Mittelmoräne sind durchweg scharfkantig und eckig. Durch welche Kraft kommen sie auf die Mitte des Gletschers? Saussure hielt sie für Seitenmoränen, die nach der Mitte vorrückten. Freilich konnte er nicht angeben, warum die Seitenmoräne mit einmal von dem Rande des Gletschers nach der Mitte hin sich bewegen sollte. Die Erklärung ist indessen leicht. So oft zwei Gletscher zu einem einzigen sich vereinigen, müssen zwei Seitenmoränen eine Mittelmoräne liefern. Daher kommt es auch, daß die Gesteine der Mittelmoräne deutlich gesondert sind und daß uns nicht selten schon die Farbe der Gesteine eine linke und eine rechte

Seite der Mittelmoräne anzeigt. Die größeren Gletscher haben mehrere Mittelmoränen, und es gestattet die Anzahl derselben einen Schluß auf die Anzahl der Gletscherzuflüsse.

Die Endmoräne ist ein regelloser Trümmerhaufen von großer Mächtigkeit; alle Steine, welche der Gletscher bis zu seinem Ende trägt, fallen hier in dem Maße herab, als der Gletscher abschmilzt. Rückt der Gletscher vor, so schiebt er die Moräne, wie groß sie auch sei, vor sich her, zieht er sich zurück, so bildet er eine neue Moräne. An der Endmoräne kann man daher nicht nur erkennen, daß ein Gletscher früher weiter vorrückte als jetzt, sondern auch wie viel er weiter rückte. Einen mächtigen Eindruck auf den Beschauer macht die Endmoräne des Glacier des Bois bei Chamouni. Lange, ehe man den Fuß des Gletschers erreicht, erblickt man unzählige Steine, runde und eckige. Die eckigen haben nicht selten colossale Dimensionen, die runden dagegen erreichen nur einen Durchmesser bis zu 60 oder 70 Centimeter. So neu und überwältigend ist dieser Anblick, daß man erstaunt stille steht in diesem Chaos von Steinen. Und mitten durch schäumt der Gletscherbach, Schlamm und kleinere Steine mit sich führend, deren stetes Gegeneinanderschlagen ein eigenthümliches Geräusch verursacht, das vernehmlich genug die Bildung von Detritus verkündet. Nur die wenigsten Steine, die der Gletscher trägt, gelangen unverändert bis zum Fuße desselben. Die mittelgroßen und kleineren Steine und namentlich den Schutt verschlingen die Spalten, durch welche folglich der größte Theil der Gesteinsfragmente auf den Boden des Gletschers kommt und die Grundmoräne bildet. Beim Fortrücken des Gletschers schließen sich diese Spalten und nun ruht eine 100 und mehr Meter hohe Eismasse auf diesen Steinen und drückt sie gegen das Gletscherbett. Alle weicheren werden dadurch auf das Feinste zermalmt, die härteren aber während des Fortschreitens des Gletschers abgerieben und gerundet. Sie verlieren dadurch bedeutend von ihrer Masse und daher kommt es, daß die oben erwähnten gerundeten Steine, die früher auf dem Gletscherbette lagen und durch das fortschreitende Eis bis zum Fuße des Gletschers gelangten, selten einen Durchmesser von 60 bis 70 Centimeter erreichen.

Was geschieht mit den Producten dieses Zermalmungs- und Abreibungsprocesses? Sie werden größtentheils durch den Gletscherbach fort-

geführt, die feinsten Theilchen nicht selten 50 und mehr Meilen, die größeren weniger weit. Einige kühne Gletscherfahrer, die durch Klüfte unter den Gletscher drangen, fanden das Gletscherbett mit einer Schlammsschicht bedeckt, unter welcher eine fast spiegelglatte Fläche mit nahezu parallelen Streifen sich zeigte. — Es ist das sehr natürlich. Der Gletscher, indem er voranschreitet, drückt die staubartige Masse, dieses Polirpulver, gegen das Gletscherbett und glättet es um so vollkommener, je feinkörniger, homogener das Bett ist. An grob- und ungleichkörnigen Gesteinen ist die erzeugte Glättung daher unvollkommen, die Streifen sind roh und ungleich. Diese Streifen entstehen durch harte Kiesel- oder Feldspathstückchen, die in die untere Gletscherfläche eingedrückt sind. Am Glacier des Bois habe ich selbst in einer Randspalte ein Stückchen Eis vom Boden losgelöst und fand die untere Fläche so dicht mit Feldspath- und Quarzstückchen besetzt, daß es unmöglich war, noch ein weiteres einzufügen. Durch diese Gesteinsbruchstücke wird der Gletscher zu einem imposanten Hobel, dem nichts widerstehen kann. Die Streifen, die er mit diesen Steinchen zieht, folgen allen seinen Windungen. An manchen Stellen wo das Gletscherbett sich verengt, wird das Eis an den Felsen in die Höhe gedrückt; und dadurch entstehen vertikale Streifen. Diese Streifen in ihrer Regelmäßigkeit auf polirten Flächen, wo wir sie auch finden, zeigen stets einen Gletscher an. In der Schweiz findet man sie häufig an Orten, die meilenweit von Gletschern entfernt sind. Wir schließen daraus, daß die Gletscher früher eine größere Ausdehnung gehabt haben. Wenn solche polirte mit Streifen versehene Flächen indessen der Wirkung des fließenden Wassers ausgesetzt sind, so verlieren sie schnell die Streifen und die Politur, wenn das Gestein weich ist. Die allgemeine Rundung bleibt zwar, allein die Oberfläche, die jetzt durch die vom fließenden Wasser fortgerissenen Theilchen in unregelmäßige Masse bearbeitet wird, nimmt jene eigenthümliche, zwar glatte aber durch Erhöhungen und Vertiefungen häufig ausgezeichnete Form an, die für Rollsteine charakteristisch ist. Wo wir daher platte Flächen an Felsen sehen, müssen wir nicht gleich schließen, daß sie von Gletschern herrühren; erst wenn wir Politur und Streifen, ja selbst Politur allein erkennen, dürfen wir sicher sein, daß sie die Wirkung eines Gletschers ist.

Nicht minder ausgezeichnet als das Gletscherbett sind auch die runden

Steine unter dem Gletscher. Auch deren Oberfläche ist polirt und gestreift. Kommen sie aber nur ganz kurze Zeit in den Gletscherbach, so verschwindet die Politur mit den Streifen und sie zeichnen sich vor gewöhnlichen Rollsteinen zum Theil nur noch durch ihre Größe aus. Runde Steine in großer Menge, wenn sie weder Politur noch Streifen zeigen, sind daher kein untrügliches Merkmal früherer Gletscher, selbst dann nicht, wenn sie eine beträchtliche Größe erreichen.

Der Gletscherbach fließt aus einem prächtig blauen oder blaugrünen Portale von 4 bis 30 Meter Höhe. Er ist ganz trüb und erst wenn alle mechanisch mitgerissenen Theilchen sich niedergeschlagen haben, nimmt das Wasser jene wundervoll blaue Farbe an, die der Genfer See in so hohem Grade zeigt. Das Wasser dieses Sees ist reines Gletscherwasser. Der Gletscherbach hat im Sommer eine Temperatur, die stets höher als 0° ist, selten aber 2 Grad erreicht. Er fließt im Sommer am stärksten, im Winter nimmt seine Stärke allmählig ab, doch versiegt er selten ganz. Daraus folgt schon, daß der Sonnenwärme der größte Antheil an der Stärke des Baches zukommt, aber auch daß sie nicht die einzige directe Ursache desselben ist. Sie ist die directe Ursache von dem Wasser, welches aus der Abschmelzung der Gletscheroberfläche hervorgeht, und auch von dem Wasser, welches an den Bergabhängen herabfließt und in das Gletscherthal mündet. Aber jenes Wasser, welches auch im Winter unter dem Gletscher fließt, rührt zum Theil von Quellen, die aus dem Gletscherbett hervorsprudeln, zum Theil von der Arbeit, welche der Bewegung des Gletschers entspricht. Diese Arbeit ist nicht unbedeutend. Der Bewegung des Eismeeres im Winter entspricht eine Arbeit, die in Wärme umgesetzt, in jeder Secunde 35 Kilogramm Eis von 0° in Wasser von 0° zu verwandeln vermag*).

Woher kommt es nun, daß das Wasser des Gletscherbaches bei seinem Ausflusse, im Sommer eine Temperatur hat, die stets höher als 0° ist? Die Höhle aus der es fließt, erstreckt sich oft sehr weit unter dem Gletscher hin und communicirt durch Spalten an verschiedenen Orten mit der

*) Die Rechnung stützt sich auf die Voraussetzung, daß die Länge des Eismeeres bei Chamouni 14000 Meter, die mittlere Breite 700 Meter, die mittlere Tiefe 100 Meter, die mittlere Neigung 9° , das specifische Gewicht des Eises 0,909 und das tägliche Vorrücken 118 Millimeter beträgt.

äußeren Luft, so daß das Princip der communicirenden Röhren zur Geltung kommt. Die eine Röhre ist mit kalter, folglich schwerer Luft — der Luft unter dem Gletscher — die andere Röhre dagegen mit warmer, folglich leichter Luft — der äußeren Luft — erfüllt. Die Folge davon ist, daß die schwere Luft in der einen Röhre sinkt und aus dem Gletscherportale ausfließt. Indem sie ausfließt kommt durch die oberen Spalten warme Luft nachgeflossen und erwärmt den Raum unter dem Gletscher, wodurch das Wasser des Gletscherbaches wärmer und die Höhle erweitert wird. Gerade umgekehrt ist es im Winter, wenn die äußere Luft unter 0° ist. Die kalte äußere Luft strömt dann durch das Portal unter den Gletscher und kommt durch das Eis auf 0° erwärmt aus den oberen Spalten hervor. Die Höhle kann jetzt nicht erweitert, sie muß verengert werden, weil alles Wasser, welches aus dem rauschenden Bach an Decke und Wände spritzt, gefriert.

Die Spalten, wo sie auch auftreten, sind stets die Wirkung einer Spannungsdifferenz im Eise. Gegen Spannung verhält sich das Gletschereis nämlich wie Glas, es bricht, und bricht fast ebenso scharf längs einer bestimmten Linie wie das Glas. Man kann das an vielen Gletschern beobachten. Ich will nur einige hervorragende Beispiele anführen. Am unteren Ende des Eismeeres, dem Chapeau gegenüber geht der Neigungswinkel des Gletscherbettes von 12° zu 20° über*). Die Spannungsdifferenz zwischen der Oberfläche und der Unterfläche ist mithin eine sehr bedeutende und das Eis bildet in Folge davon unzählige Spalten; es löst sich in Blöcke von collossaler Größe auf, welche unter dem Einflusse der Witterung häufig die Form von Thürmen, Keilen und Pyramiden annehmen, von denen einzelne aufrecht stehen, andere so geneigt sind, daß sie jeden Augenblick zu stürzen scheinen. Aus der Ferne glaubt man einen Wasserfall zu sehen, der plötzlich erstarrt ist. Solche Stellen hat man Eiscascaden genannt. Man kann sich an diesem wundervollen Chaos nicht satt sehen. Stürzt eine Pyramide herab, so trifft sie unter donnerartigem Getöse auf eine Eisklippe und zermalmt sie zu Pulver. — Der obere Theil des Eismeeres der Glacier du Géant und auch der Glacier du Talèfre zeigen ähnliche Eiscascaden.

*) Forbes, Reisen in den Savoyer Alpen, bearbeitet von Leonhard.

Aber selbst ein ganz geringer Wechsel in der Neigung des Gletscherbettes genügt, um den Gletscher Spalten reißen zu lassen. Dem Angle gegenüber geht das Eismeer von 4° Neigung zu 9° über. Die Folge davon ist ein System von Spalten, welche den Gletscher fast unüberschreitbar machen*). Weiter hinauf tritt eine Aenderung der Neigung von 3 auf 5° ein. Sie ist in der Nähe kaum bemerkbar, dennoch kommt der Gletscher nicht über sie hinweg, ohne auseinander

Fig. 10.



Rosenlauri-Gletscher.

zu reißen. Eine Gletscherwanderung ohne einen kundigen Führer, ist der Spalten wegen immer sehr gewagt. Man beachtet die schmalen Spalten im Anfange nicht und verfolgt die einmal eingeschlagene Richtung. Auch etwas breitere werden noch übersprungen. Bald kommt man zu Spalten, vor deren Abgrund man mit klopfendem Herzen steht. Sie sind noch nicht 3 Fuß breit und doch hat man nicht das Herz darüber zu springen, weil der kleinste Fehltritt den Sturz in die Tiefe zur Folge haben würde.

*) Tyndall, die Wärme.

Man sucht ihnen aus dem Wege zu gehen, eine neue Richtung wird eingeschlagen, aber neue Abgründe schrecken uns zurück. Durch die Einförmigkeit völlig irre gemacht, finden wir nicht mehr den Rückweg, wir können weder vorwärts noch rückwärts, und Glück genug, wenn uns aus der Ferne ein Kundiger erblickt und aus dem Labyrinth befreit. Aber auch selbst die besten Führer werden nicht selten irre und erklären dann häufig die Wirkung so zahlloser ähnlicher Gegenstände durch Zauberei. Die Spalten entstehen aber nicht ausschließlich durch eine Neigungsänderung des Gletscherbettes.

Windet sich der Gletscher um eine Krümmung des geschlängelten Gletscherthales, so ist zwischen dem Gletscherrande und der Gletschermitte eine bedeutende Geschwindigkeits-, mithin Spannungsdifferenz und eine große Zahl weit klaffender Spalten ist die Folge davon.

Aber auch da, wo das Gletscherthal dieselbe Richtung und Neigung beibehält, bilden sich Spalten, die vom Rande nach der Mitte laufen. Und diese legen Zeugniß ab von der außerordentlichen Sprödigkeit des Eises. Das Eis bewegt sich nämlich in der Mitte schneller als am Rand. Ein Querschnitt durch das Eis wird in Folge davon nach einiger Zeit gekrümmt erscheinen. Die Curve aber ist länger als ihre Sehne, folglich entsteht zwischen einem am Rande gelegenen und einem in der Mitte des Querschnitts gelegenen Punkte nach einiger Zeit eine Spannung, deren Maß die Differenz der Curven- und Sehnenlänge ist. Diese Differenz beträgt selbst nach mehreren Tagen noch nicht einen Millimeter. Trotzdem zerreißt der Gletscher von dem Rande nach der Mitte hin und bildet kleine Randspalten.

Agassiz*) und Hugi**) haben das Spaltenwerfen des Gletschers verfolgt. Es kündet sich durch ein krachendes oder klingendes Geräusch an. Das Eis erbebt und ein Sprung bildet sich vor dem Auge des Beobachters, der bald langsam vorrückt, bald sprungweise forteilt, oft bedarf er dazu mehrerer Tage. Es ist immer dieselbe Stelle des Gletscherthales, an welcher das nachrückende Eis Spalten wirft, weil die Ursache, welche die Spannung erzeugt, an dieser Stelle fortbesteht. Hört unterhalb dieser

*) Agassiz, geologische Alpenreise.

**) Hugi, Wesen der Gletscher.

Stelle die Spannung im Eise auf, so schließen sich die Spalten durch den Druck des nachrückenden Eises.

Alle bis jetzt angeführten Spalten gingen quer über den Gletscher. Es gibt aber auch Spalten, die senkrecht zu diesen sind, folglich mit der Längsrichtung des Gletschers parallel laufen. Sie entstehen, so oft der Gletscher aus einer Verengung des Gletscherthales austritt und sich erweitert. Bei dem Breiterwerden des Gletschers muß nothwendig eine transversale Spannung entstehen, die Längenspalten zur Folge hat.

Die Oberfläche des Gletschers erleidet im Sommer bedeutende Veränderungen durch Wärme, Winde und Regen. Betritt man an einem warmen Tage den Gletscher, so findet man die Oberfläche gelockert; das Eis hat sich unter dem Einfluß der Sonnenwärme an der Oberfläche in Körner aufgelöst, über die man ohne einzubrechen schreitet.

Ein kleiner Bach schlängelt sich durch dieselben und verschwindet bald in einer Spalte. Ein anderer stürzt durch ein rundes Loch in unabsehbare Tiefe. Staunend stehen wir vor dem gähnenden Schlund. Die Reinheit des Eises in der Tiefe, seine prachtvoll blaue Farbe bilden einen wirksamen Gegensatz zu dem schmutzigen und zerbröckelten Eise der Oberfläche. Das Rauschen des Wassers in der Tiefe contrastirt nicht minder stark mit der lautlosen Stille der Umgebung. Raum aber sind die letzten Sonnenstrahlen hinter den Bergen verschwunden, so wird das Rauschen schwächer und schwächer und Todesstille herrscht auf dem Gletscher, bis der aufgehende Sonnenstrahl das Bächlein von Neuem erweckt. Wie entstehen solche runde Löcher? — Wenn ein Bächlein auf der Gletscher-oberfläche in eine Spalte stürzt, so fließt es kurz vor seinem Verschwinden senkrecht oder nahezu senkrecht zu der Richtung der Spalte. Durch das fortwährende Aufschlagen gegen die Hervorragungen in der Tiefe und auch durch eine 0° wenig übersteigende Temperatur höhlt der Bach das Eis senkrecht zur Längsrichtung der Spalte aus. Schließt sich nach einiger Zeit diese Spalte, so bleibt ein rundes oder nahezu rundes Loch zurück, das mit dem Gletscherbett in Verbindung steht.

An warmen Tagen sieht man häufig zahlreiche parallele kleine Löcher senkrecht zur Gletscheroberfläche. Auf dem Boden eines jeden Loches findet sich ein Steinchen. Solcher Steinchen liegen unzählige auf der Gletscherfläche. Weil sie klein sind, werden sie von der Sonne durch und

durch erwärmt, schmelzen das Eis und sinken ein. Unter günstigen Umständen können diese Löcher größere Dimensionen annehmen. Mehrere neben einander liegende Steinchen werden erwärmt und sinken ein. Die entstandenen Löcher sind mit Schmelzwasser von 0° gefüllt. Wird das Wasser an der Oberfläche durch die Sonnenwärme auf 4° erwärmt, so sinkt es auf den Boden und leichteres Wasser von 0° steigt in die Höhe. Bis dieses wieder auf 4° erwärmt ist, hat das untere Wasser seine Wärme an Eis abgegeben, folglich Eis weggeschmolzen und ist nun leichter geworden. Es steigt mithin wieder in die Höhe und wird durch schwereres Wasser von 4° ersetzt. Wiederholt sich dieser Vorgang oft, so wird aus den vielen neben einander liegenden Löchern ein einziges größeres, das eine ansehnliche Tiefe erreichen kann.

Während kleinere Steine in der angegebenen Weise das Eis zerstören, schützen größere Steine das unter ihnen liegende Eis vor der Wirkung der Sonne; es tritt dann nicht selten folgende Erscheinung ein. Rings um den großen Stein wird das Eis weggeschmolzen und ein Eispfeiler von dem Umfange des Steines erhebt sich allmählig über die Oberfläche. Auf ihm ruht der schützende Block. In dem Maße aber als der Eispfeiler höher und höher wird, benagt ihn die warme Luft und die schiefe auffallenden Sonnenstrahlen. Endlich ist er zu schwach, den mächtigen Block zu tragen. Dieser rutscht herab, um bald sich wieder zu erheben. Weil solch ein Block auf einem Eispfeiler wie eine Tischplatte auf ihrem Fuße ruht, nennt man ihn Gletschertisch. Die Höhe der Eisschicht, die im Juli oder August durch die direkte Wirkung der Sonne abgeschmolzen wird, ist nicht genau bekannt; doch dürfte sie schwerlich 3 bis 5 Millimeter übersteigen.

Weit bedeutender ist die Abschmelzung die der Föhnwind bewirkt. Denken wir uns, dieser Wind streiche über einen 1000 Meter breiten Gletscher mit einer Geschwindigkeit von 3 Meter. Dabei gebe er so viel Wärme an den Gletscher ab, daß seine Temperatur bis auf 4 Meter Höhe über dem Gletscher, um 15° sinkt. Wie hoch ist die Eisschicht, die dieser Wind in 24 Stunden wegsmilzt? Da 1 Kubikmeter Luft 1,297 Kilogramm wiegt und die spezifische Wärme der Luft 0,238 ist, so nimmt, wie eine kleine Rechnung lehrt, jeder Quadratmeter der Eisfläche in einer Stunde 200 Wärmeeinheiten auf. Mit 79 Wärmeeinheiten kann man

1 Kilogramm Eis von 0° in Wasser von 0° verwandeln, mit 200 Wärme-einheiten kann man folglich 2,53 Kilogramm Eis schmelzen. Da das specifische Gewicht des Eises 0,909 ist, so ist die Höhe der Eisschicht, deren Grundfläche ein Quadratmeter und deren Gewicht 2,53 Kilogramm ist 2,8 Millimeter. In jeder Stunde wird daher der Gletscher durch einen solchen Fönwind um 2,8 Millimeter, in 24 Stunden um 67,2 Millimeter niedriger.

So sehr setzt selbst ein starker und warmer Regen dem Gletscher nicht zu; denn nehmen wir einen Regen von 25° Celsius Wärme und setzen voraus, er bilde eine 40 Millimeter hohe Wasserschicht, so vermag dieselbe das Eis doch nur um 14 Millimeter abzuschmelzen.

Eine der bemerkenswerthesten Eigenthümlichkeiten des Gletschers ist seine Bewegung. Den Bewohnern der höchsten Alpentheile war sie lange bekannt. Hugi war aber der erste, der die Größe dieser Bewegung bestimmte*). Nach ihm haben Agassiz, Forbes und Tyndall sehr umfassende Beobachtungen über das tägliche und jährliche Vorrücken des Gletschers angestellt. Die Resultate dieser Beobachtungen sollen in Kürze mitgetheilt werden.

Der Gletscher bewegt sich nicht nur im Sommer, sondern auch im Winter. Und wenn die Bewegung auch im Frühjahr und Sommer am stärksten ist, so hört sie doch an keinem Tage des Jahres völlig auf, wie aus der folgenden Tabelle hervorgeht.

Die mittlere tägliche Bewegung auf dem Margletscher ist nach Agassiz:

Vom 21. Juli bis 16. August	223 Mm.	Vom 17. Febr.	bis 13 März	231 Mm.
„ 16. Aug. „ 6. Sept.	198 „	„ 13. März	„ 17 „	204 „
„ 6. Sept. „ 12. „	267 „	„ 17. „	„ 17 April	183 „
„ 12. „ „ 24. „	212 „	„ 17. April	„ 30 Mai	374 „
„ 24. „ „ 23. Oct.	194 „	„ 30. Mai	„ 13 Juni	343 „
„ 23. Oct. „ 19. Dec.	153 „	„ 13. Juni	„ 22 „	330 „
„ 19. Dec. „ 11. Jan.	133 „	„ 22. „	„ 6 Juli	222 „
„ 11. Jan. „ 19. Jan.	256 „	„ 6. Juli	„ 18 „	165 „
„ 19. Jan. „ 17 Febr.	279 „			

Der Anblick der Tabelle lehrt, daß die Bewegung im Allgemeinen unregelmäßig ist. Trägt man die Zeiten als Abscissen und die Geschwindigkeiten als Ordinaten auf und verbindet die den Geschwindigkeiten

*) Hugi, das Wesen der Gletscher.

zugehörnden Punkte durch eine stetige krumme Linie, so bekommt man ein anschauliches Bild von dieser Bewegung. Die Gestalt dieser Curve macht es wahrscheinlich, daß die Temperatur der Luft einen bedeutenden Einfluß auf die Größe der Geschwindigkeit ausübt. Die Geschwindigkeit der Bewegung nimmt nämlich vom 16. August bis 6. September (1845) ziemlich rasch ab, steigt dann bis zum 12. September sehr rasch, erreicht ein Maximum und nimmt bis zum 24. September fast ebenso rasch wieder ab. Vom 24. September bis zum 11. Januar nimmt sie langsam ab und erreicht am 11. Januar ein Minimum. Vom 11. Januar bis zum 19. Januar nimmt sie ganz ungewöhnlich zu, erreicht im Februar ein Maximum und nimmt bis zu einem Minimum im April ziemlich rasch ab. Jetzt nimmt sie rasch zu, erreicht im Mai ihren größten Werth und nimmt bis zum Juni sehr rasch ab. Die größte Geschwindigkeit fällt mithin nicht in die heißen Monate Juni, Juli, August, sondern in den Mai, in welchem der Föhnwind herrscht.

Die Bewegung des Gletschers zeigt die größte Analogie mit der Bewegung eines Stromes. Wie die Geschwindigkeit des Wassers in der Mitte des Stromes am größten ist, nach den Ufern hin aber kleiner und kleiner wird, so nimmt auch die Geschwindigkeit des Gletschereises von der Mitte nach dem Ufer mehr und mehr ab. Und wie die Geschwindigkeit des Wassers von der Oberfläche nach der Tiefe allmählig abnimmt, wegen der Reibung, so nimmt auch aus demselben Grunde die Geschwindigkeit des Eises nach dem Gletscherbett hin ab. Die Analogie geht noch weiter. Ein Strom, der um eine Krümmung sich windet, verlegt seine größte Geschwindigkeit nach der Concavität des Ufers*). So ist es auch mit dem Gletscher. War die größte Geschwindigkeit des Eises vor der Krümmung des Gletscherthales in der Mitte des Gletschers, so ist sie nachher aus der Mitte nach der Concavität hin gerückt. Geht das Gletscherthal aus einer Verengerung in eine Erweiterung über, so breitet sich das Eis aus und erfüllt die Erweiterung gerade so wie es Wasser thun würde, mit dem einzigen Unterschiede, daß im Gletscher sich Längspalten bilden.

*) Die Concavität beurtheilt unter der Voraussetzung, man schwimme mit dem Strom.

Wie ist diese eigenthümliche Bewegung eines festen Körpers zu erklären? Sauffure glaubte sie durch ein Rutschen auf schiefer Ebene erklären zu können. Wenn ein Körper auf schiefer Ebene einmal ins Gleiten gekommen ist, so nimmt seine Geschwindigkeit fort und fort zu. So müßte es auch mit dem Gletscher sein. Die Erfahrung lehrt aber, daß dies nicht der Fall ist. Außerdem kommt ein Gletscher selbst bei einer Neigung von 20 bis 30° noch nicht zum Gleiten. Da nun die größeren Gletscher im Durchschnitt noch nicht einmal eine Neigung von 12° haben, so könnten diese sich überhaupt nicht bewegen. Sie bewegen sich aber dennoch. Charpentier versuchte daher eine andere Erklärung. Das Gletschereis, sagte er, ist von unzähligen Spalten durchzogen, von größeren und kleineren. In diese Spalten dringt das Schmelzwasser und erfüllt sie ganz oder theilweise. Des Nachts gefriert dies Wasser, dehnt sich aus und drückt nun das Eis nach der Richtung des kleinsten Widerstandes, folglich thalabwärts. Wenn diese Erklärung richtig wäre, dann könnte sich der Gletscher nur des Nachts bewegen, im Winter bliebe er unverrückt stehen. Das ist aber nicht der Fall. — Wodurch soll das die Spalten füllende Wasser gefrieren? Durch die niedrige Temperatur während der Nacht? Nimmermehr. In kalten Nächten würde sich über dem Wasser eine Eiskruste bilden, die das darunter stehende Wasser vor weiterem Eindringen der Kälte bewahrte. Durch die niedrige Temperatur des Eises? Die Temperatur des Eises ist, soweit die Beobachtungen reichen in der Tiefe 0°. Aber die Temperatur des Schmelzwassers ist auch 0°; es bedarf also nur einer sehr geringen Kälte, um das Wasser zum Gefrieren zu bringen? Nein, einer sehr großen. Jedem Kilogramm Wasser von 0° müssen 79 Wärmeeinheiten entzogen werden, ehe es in Eis von 0° übergehen kann, die Theorie von Charpentier ist daher unhaltbar.

Rendu und nach ihm Forbes hielten das Gletschereis für eine zähe, halbflüssige Masse, die wie Honig oder Theer durch die Schwere auf geneigter Ebene herabfließt. Und allerdings, wenn Eis zähe und halbflüssig ist, so muß es die Erscheinung des Fließens zeigen, die vorhin angeführt wurde. Aber es ist ja doch auch spröde. Wo Spannung im Eise vorkommt, bricht es wie Glas und wirft Spalten. Kann denn ein Körper zähe und spröde zugleich sein? Unmöglich. So muß das Gletschereis eine Eigenschaft besitzen, vermöge welcher es bei seiner Sprödigkeit sich

unter gewissen Umständen verhält wie ein zäher Körper. Und diese Eigenschaft besitzt es allerdings.

Wenn Sie ein Gemisch von Wasser und Eis erwärmen, so zeigt der Quecksilberfaden eines Thermometers trotz der zugeführten Wärme immer auf denselben Punkt, den Nullpunkt, so lange noch Eis ungeschmolzen im Gefäße ist. Und erst, wenn alles Eis geschmolzen ist, beginnt er zu steigen. Wenn Sie umgekehrt ein Gefäß mit Wasser von 0° in eine Kältemischung stellen, zeigt ein in dem Gefäße stehendes Thermometer so lange auf denselben Punkt — Nullpunkt — als noch Wasser vorhanden ist. Und erst, wenn alles Wasser zu Eis geworden ist, sinkt der Quecksilberfaden. Weil das Thermometer im ersten Falle die zugeführte, im zweiten Falle die abgeführte Wärme nicht anzeigt, sagt man, Wasser von 0° besitze eine gewisse Menge latenter Wärme. Wenn nun in den Regionen der Firnmulden, wo die Temperatur sehr niedrig, der Schnee folglich kälter als 0° ist, an warmen Tagen Schnee an der Oberfläche wegschmilzt, so sickert das entstehende Wasser in die tieferen Regionen, gibt seine latente Wärme ab und wird zu Eis. Gleichzeitig verliert aber der Schnee in der Tiefe seine niedrige Temperatur und kommt allmählig auf 0° . Das ist der Grund, warum der Gletscher auch in der Tiefe immer dieselbe Temperatur 0° zeigt.

Ein Gemisch von Eis und Wasser kann indessen, ohne daß das Wasser gefriert, durch hohen Druck eine unter 0° liegende Temperatur annehmen. Es wurde dies fast gleichzeitig von James Thomson und Clausius aus der mechanischen Wärmetheorie gefolgert und von W. Thomson durch den Versuch bestätigt. Comprimirt man in einem passenden Gefäße ein Gemisch von Wasser und Eis, so sinkt für den Druck je einer Atmosphäre der Gefrierpunkt um $\frac{1}{44}$ eines Grades Réaumur. Wie ist das möglich? — Nur dadurch, daß unter der Einwirkung des Druckes freie Wärme latent wird. Freie Wärme wird latent, indem etwas Eis in dem Gemische schmilzt. Indem aber etwas Eis wegschmilzt, nimmt das Gemisch ein kleineres Volumen an, vermag folglich das Gemisch dem Drucke mehr nachzugeben. Das Gletschereis ist einem sehr hohem Drucke, dem Drucke der eigenen Schwere ausgesetzt, befindet sich aber nicht in einem hermetisch verschlossenen Gefäße. Der hohe Druck bewirkt eine Temperaturerniedrigung und ein Wegschmelzen des Eises.

Das entstandene Wasser vermag durch die gleichzeitig entstehenden feinen Risse zu entweichen und sich dem Drucke zu entziehen. Wir bekommen dadurch Wasser von 0° und Eis von niedrigerer Temperatur als 0° . Das Wasser wird folglich, wenn der Druck nachläßt oder aufhört, wieder gefrieren. Dadurch aber, daß unter dem hohen Drucke Gletschereis Sprünge bildet und zum Theil wegschmilzt, vermag es dem Drucke nachzugeben und sich umzuformen. Es läßt sich das leicht durch Versuche zeigen. Nehme ich zwei beliebige Eisstücke und drücke sie gegeneinander so sinkt die Temperatur der Berührungsflächen unter Null, in Folge davon gefriert das vorhandene oder entstehende Wasser und kittet die beiden Eisstücke zusammen. Es geschieht dies um so schneller, je stärker der Druck, um so langsamer, je schwächer er ist.

Hier ist ein hohler, eiserner Cylinder, den ich mit Schnee fülle. Ich setze diesen massiven cylindrischen Stempel — der sich leicht in dem leeren Cylinder auf und ab führen läßt — auf den Schnee und lasse die hydraulische Presse auf den Stempel wirken. Der Schnee schrumpft zusammen. Ich fülle von neuem, presse wieder und fahre fort, bis der Cylinder gefüllt ist*). Jetzt stoße ich die gepresste Masse heraus und Sie sehen, wie unter dem hohen Druck der Schnee zu einem harten, scharfkantigen und trübe durchscheinenden Eiscylinder geworden ist. Ich stoße mit diesem Cylinder auf den Tisch. An dem eigenthümlichen scharfen Geräusch können Sie beurtheilen, wie hart er ist. Es repräsentirt uns dieser Cylinder das Firneis, wie es sich unter dem Drucke der ungeheuren Schneemassen bilden muß. Auch es ist trüb und undurchsichtig wie dieser Cylinder wegen der großen Menge von Luft, die es einschließt. Ich stelle diesen trüben Cylinder zwischen zwei Holzplatten unter die hydraulische Presse und setze diese in Bewegung. Jetzt sehen Sie, wie die Luft ausgepresst wird und an dem Umfange als weißlicher Schaum erscheint. Ich zerschlage den Cylinder und presse die Stücke noch mehrmals zwischen Holz. Jetzt sind alle klar und durchsichtig. Ich bringe sie in die vorige cylindrische Form, setze den Stempel darauf und lasse die Presse spielen. Jetzt stoße ich die gepresste Masse heraus und Sie sehen einen klaren, harten und scharfkantigen Cylinder vor sich gleichsam Gletschereis. Es

*) Helmholtz, populäre wissenschaftliche Vorträge und Tyndall, die Wärme.

zeigt dieser Versuch zugleich, wie sich die wild durcheinander liegenden Blöcke und Bänke der Eiscascaden unterhalb des Falles zu einer einzigen Masse wieder vereinigen. Das eigenthümliche Anarren und Knacken, welches Sie beim Antreiben der Presse vernommen haben, könnte Sie zu der Vermuthung bringen, die Eisstücke seien unter dem Drucke pulverisirt worden, das Pulver habe dann die Form vollkommen erfüllt und sei wieder zusammengefroren. Daß dem nicht so ist, werden Sie gleich sehen.

Ich zerschlage den Cylinder in einzelne Stücke, bringe sie in die cylindrische Form, stopfe die Zwischenräume mit Schnee aus und presse wieder. Hier ist die gepresste Masse und wie Sie sehen, besteht der Cylinder aus klaren Eisstücken die durch trübes Eis von einander getrennt sind. Die Eisstücke haben nicht mehr die ursprüngliche Form; sie sind platt gedrückt, allein man unterscheidet sie sehr wohl von dem trüben Eis, das vom Schnee herrührt. Ich kann das noch deutlicher zeigen, wenn ich diesen klaren Eiscylinder zwischen 2 Holzplatten presse. In dem Momente, wo die Presse auf den Cylinder einwirkt, bemerken Sie eine unermessliche Zahl äußerst feiner Risse wie eine trübe Wolke durch den Eiscylinder schießen, die zum größten Theile verschwinden, wenn der Druck nachläßt. Der Cylinder wird während des Pressens merklich trüber. Diese Trübung rührt von einer großen Zahl haarfeiner, das Eis durchziehender Linien her, welche der optische Ausdruck äußerst feiner Spalten sind. Hört der Druck auf, so verschwinden sie zum größten Theil, weil das während des Pressens entstandene Wasser in den Spalträumen gefriert und die getrennten Theile wieder verkittet. Pressen wir den Cylinder noch mehr, so wird er immer niedriger und jetzt fängt er an am Rande einzureißen und Spalten zu bilden, gleichsam Gletscherspalten im Kleinen.

Die Nachgiebigkeit des Eises gegen Druck läßt sich auf eine noch stärkere Probe stellen. Ich habe hier einen gußeisernen Cylinder, dessen Höhlung sich unten verengert. Ich setze diesen Eiscylinder ein, setze darauf den Stempel und treibe die Presse an. Jetzt sehen Sie unten einen Eiscylinder aus der Form treten, dessen Durchmesser weit kleiner als der Durchmesser des ursprünglich angewandten Eiscylinders ist. Ich lasse die Presse weiter spielen, und jetzt sehen Sie, wie die freie Endfläche des Eiscylinders sich wölbt, wie sie dicker und dicker wird. Noch mehr treibe

ich die Presse an und jetzt bilden sich Längsspalten. Es ahmt dieser Versuch zugleich einen Gletscher nach, der sich durch ein enges Felsenthor zwingt, sich dann in ein weites Thal ausbreitet, und Längsspalten wirft, wie wir das am Rhonegletscher so schön sehen.

Die Bewegung der Gletscher beruht mithin darauf, daß das Gletschereis unter dem Drucke der nachrückenden Massen, auf schiefer Ebene das Bestreben zum Gleiten hat, daß das Eis unter diesem Drucke unzählige feine Sprünge bildet, durch welche es den Eiskörnern möglich wird sich zu verschieben und sich dem Drucke momentan zu entziehen. Der größte Theil dieser Sprünge verschwindet dann hinterher, weil das gleichzeitig entstehende Wasser durch Gefrieren die getrennten Eistheile wieder zusammenkittet. Den größten Widerstand erfährt das Eis da, wo es am stärksten gepreßt wird, also auf dem Gletscherbett oder an Vorsprüngen und Windungen. Da wir aber schon früher gesehen haben, daß durch die Bewegung des Gletschers eine bedeutende Reibungswärme entsteht, so wird das Eis auch da, wo es den meisten Widerstand erfährt am schnellsten wegschmelzen und dadurch um so leichter über die Hindernisse hinwegkommen.

Anhang.

Die Besteigung der Jungfrau aus „Agassiz und seiner Freunde geologische Alpenreisen“, nach Desor.

Die Besteigung der Jungfrau begann von den Möriler Sennhütten aus, die im Herzen des Gebirgs gelegen, einen natürlichen Mittelpunkt für Excursionen nach allen Richtungen über das Eismeer bilden. — Ich freute mich den Mörilsee mit seinen schwimmenden Eisbergen wieder zu sehen. Als ich ihn im Jahre 1839 zum ersten Male in Agassiz Gesellschaft besuchte, hatten diese schwimmenden Gletschertrümmer den lebhaftesten Eindruck auf mich gemacht. Zu meinem großen Erstaunen fand ich ihn sehr verändert; er schien weit kleiner, sein Wasserstand weit niedriger zu sein und die schwimmenden Eisberge waren in weit geringer Zahl vorhanden. Ein Walliser Hirte, der uns begleitete, theilte mir auf meine

Erkundigung hin mit, der See sei im Herbst verfloffenen Jahres durch den Gletscher abgelaufen und habe seither nie wieder die Höhe seines vorigen Wasserstandes erreicht. Deshalb hatten wir auch den Kanal, welcher ihn früher ableitete, trocken gefunden.

Von dem Ufer des Sees stiegen wir sogleich auf den Gletscher, der ein sehr geringes Gefälle ($2,58^{\circ}$ im Mittel) hat und daher eben ist. Man hat etwa 2 Stunden auf festem Eise zurückzulegen, bevor man an die unbedeutenden Schründe kommt, welche hier den Firn von dem Gletscher trennen. Dieser Firn ist gewiß an Reinheit und vollkommener Gleichförmigkeit der schönste in der Schweiz. Schon aus der Ferne unterscheidet ein gewisses ältliches Aussehen ihn von den blendend weißen Schneefeldern der Hochregion. Seine Fläche ist in der Mitte eingedrückt und an den Seiten erhaben, wie ein ungeheures Becken; wie bekannt, ist diese Eigenthümlichkeit allen Firnsfeldern eigen.

Um $9\frac{1}{2}$ Uhr Morgens langten wir am Fuße der steileren Gehänge an. Wir machten nach $4\frac{1}{2}$ stündigem Marsche Halt und nannten den Ort „Ruheplatz“. Dieser Ruheplatz bildet ein weites Amphitheater, in dessen Schooß sich fünf große Zuflüsse des Gletschfirnes vereinigen. Die beiden größten behaupten die Mitte. Der eine steigt von der Jungfrau, der andere von dem Mönch herab.

Wir ließen den größten Theil unseres Mundvorraths am Ruheplatz und nahmen nur wenig Brod, einige Flaschen Wein, verschiedene Geräthschaften, Beile, Hacken, Seile und unsere meteorologischen Instrumente mit. Um 10 Uhr gelangten wir an die ersten Schneefeldern und hofften um 1 Uhr schon den Gipfel zu erreichen, ja er schien so nahe, daß mehrere ihn schon in 2 Stunden erreichen zu können glaubten. Gegen unser Erwarten fanden wir an dem Schnee gerade keinen günstigen Boden für unser Fortkommen; er hatte sich weder fest genug gesetzt, noch war eine hinlängliche Kruste darauf, welche unser Einsinken bis an die Kniee hätte verhindern können. Bald betraten wir das Reich der Schründe, welche sich besonders am Fuße der steileren Gehänge einstellen. Wir sahen deren von mehr als 100 Fuß Breite. Doch ließen sie sich leicht umgehen oder sie waren überwölbt. Wir rückten daher langsamer vor, als wir wünschten. Ungeachtet aller Vorsicht, brachen einige von uns ein, ohne indessen Schaden zu nehmen. Wir erstiegen so mehrere Abstufungen, und stets

nach Westen uns richtend, erreichten wir bald eine Erweiterung der Kluft, um welche von allen Seiten Schneekuppen in die Höhe starrten, deren höchste die Jungfrau war.

Der Hauptführer ließ uns Halt machen, um sich über den einzuschlagenden Weg zu entscheiden. Wir unsererseits sahen allenthalben nur unübersteigliche Schwierigkeiten; rechts senkrechte Abstürze, links Eisberge, die den Einbruch zu drohen schienen und vor uns einen ungeheuren Schrund, den Bergschrund, wie die Führer ihn nannten, der in seiner unübersteiglichen Weite uns entgegen gähnte. Es war fast Mittag, die Hitze groß, die Widerstrahlung des Lichtes vom Schnee unerträglich. Man muß nothwendig unter solchen Umständen, zur Schonung der Augen wie der Gesichtshaut grüne Schleier haben, die freilich das Sehen sehr erschweren und die Hitze im Gesicht vermehren. Agassiz zog vor, sich das Gesicht rösten zu lassen und warf den Schleier weg. Wir zogen gerade auf den großen Schrund los der hinter einer vierten Abstufung des Bodens lag. Es schien ein bodenloser, schief in die Schneemassen eindringender Riß zu sein, der nirgends schmaler als 10 Fuß war. Er konnte also mit unserer Leiter überschritten werden. Unmittelbar jenseits war aber die Steilheit der fünften Terrasse wirklich zurückschreckend. In einer Länge von 30 Fuß stieg sie gewiß mit 50° an, und der Schnee, welcher bis dahin weich und zusammenhängend gewesen, wurde plötzlich so außerordentlich fest, daß unsere Führer sich genöthigt sahen, Stufen zu hauen. Unser Muth wurde also hier auf die erste Probe gestellt. Mit Hilfe der Führer und eines Seiles überwandten wir diese Schwierigkeit leicht.

Hinter einer letzten Abstufung lag nun unser nächstes Ziel, der Kottthalsattel, ein scharfer Kamm, dessen nördliche Wand von den Gehängen des Kottthalgletschers überzogen ist. Der Schnee war wieder weich, und wir marschirten mit vieler Leichtigkeit. In der Mitte des Abhanges schien ein neues Hinderniß uns vor fernerm Vordringen abhalten zu wollen. Eine zweite Spalte sperrte unseren Weg; auch sie drang, wie die erste, in schiefer Richtung in den Schnee ein, so daß die eine Wand des Schlundes über die andere herüberhing und weit dünner war, ein Umstand, der das Uebersteigen erschwerte. Der Hauptführer Jakob fand bald eine Stelle, an welcher er über die Spalte springen konnte. Drüben angelangt, reichte

er uns die Hand und Agassiz und ich waren ihm schon gefolgt und standen auf dem nördlichen Rande des Schrun des, als wir plötzlich ein dumpfes Krachen unter unseren Füßen hörten, während zugleich der Schnee auf dem wir standen, sich langsam senkte. Der drüben auf dem andern Ufer Stehende, der das Krachen hörte und uns einsinken sah, schrie entsetzt: „Um Gottes Willen, schnell zurück.“ Jakob ließ sich aber nicht einschüchtern, befahl ihm zu schweigen und stieg nur um so schneller bergan, uns winkend zu folgen, während er in gleichgiltigem Tone wiederholte: „Es ist nüt, numme voran.“ Mein Herz schlug schneller als gewöhnlich in diesem Augenblicke; doch setzten wir ein solches Vertrauen in unseren Führer, daß wir ohne Zaudern ihm folgten, obgleich es viel vernünftiger schien, umzukehren. Unser Beispiel ermutigte auch den noch drüben Stehenden, uns wieder zu folgen. Wir fragten nach der Ursache dieses seltsamen Zufalls. Die Führer behaupteten, die frische Schneeficht des Jahres habe sich auf die älteren Schichten niedergelassen. Jakob hatte dieses Phänomen schon mehrmals erlebt und es stets ungefährlich gefunden.

Um 2 Uhr langten wir auf dem Rottthalkamme an. Er ist zwischen zwei hohen Gipfeln ausgespannt, nördlich steht der Jungfraugipfel, südlich die Endspitze des Kreuzberges. Die im Rottthale angehäuften Nebel erlaubten uns nur flüchtige Blicke in das fürchterlich zerrissene Hochthal, in dessen Schlünde das Volk die unter dem Namen der Herrn vom Rottthale bekannten bösen Geister versetzt. Wir schätzten die Höhe des letzten Gipfels auf 800 bis 1000 Fuß. Trotz seiner Steilheit hofften wir ihn in einer Stunde zu erklimmen; bald aber sahen wir, daß das Wer schwieriger sei als wir vermuthet hatten. Wir fanden keinen Schnee mehr, sondern festes glattes Eis, so daß die Führer tiefe Stufen inhauen mußten, um das Ausgleiten zu verhindern. Wir rückten daher äußerst langsam vor. Seit einer Stunde stiegen wir unablässig, ohne daß der Gipfel sich uns zu nähern schien. Plötzlich wurden wir von einem Nebel umhüllt, so dicht und undurchdringlich, daß die Hintersten kaum die Spitze des Zuges Befindlichen gewahren konnten. Es war dies an einer Stelle mit 45° Neigung. Das Eis war so hart und fest, daß wir einmal nur 15 Schritte in der Viertelstunde machen konnten. Zu gleicher Zeit wurde es so empfindlich kalt, daß wir fürchten mußten, uns die Füße

zu erfrieren. Unsere Lage war wirklich kritisch. Da stellte Agassiz an Jakob die Frage, ob er noch immer hoffe uns da hinauf zu bringen, worauf dieser antwortete, er habe nie daran gezweifelt. Und mit dem Rufe Vorwärts befeelte er alle mit neuem Eifer. Einer der Führer, der den Anblick des ungeheuren Abgrundes zu unserer Rechten nicht ertragen konnte, verließ uns. Und in That, Kopf und Fuß desjenigen, der uns folgen wollte, mußte schwindellos und sicher sein.

Der letzte Kamm war noch zu besteigen. Da wir keine Zeit zu verlieren hatten, so stiegen wir gerade auf und nicht im Zickzack. Wir marschirten stets auf der Schneide des Kammes, weil hier das Eis weicher war, ein Umstand, der das Besteigen sehr erleichtert. Den Abgrund hatten wir stets vor Augen. Ein Dach von Schnee, dessen Breite zwischen 1 bis 3 Fuß schwankte, hatte sich über den Abgrund hinausgebaut. Mehre Male drang mein Stock, wenn ich ihn weiter als gewöhnlich zur Seite setzte, durch das Schneedach hindurch, das an manchen Stellen kaum 2 Fuß dick war, und wir konnten durch solche Löcher senkrecht hinab auf die weiten Schneefelder sehen, welche zu unseren Füßen sich ausdehnten. Die Führer, statt uns hiervon abzurathen, ermunterten vielmehr die, von deren Schwindellosigkeit sie überzeugt waren, zu öfterem Durchschauen durch diese Zuglöcher; und es war dies wirklich eine vortreffliche Uebung, um sich vor allem Schwindel zu bewahren, und stets mehr Sicherheit zu gewinnen.

Die Nebel umhüllten noch immer den Gipfel; nur gegen Osten, nach dem Eiger, dem Mönch und den hohen Spitzen hin, welche die beiden Margletscher einschließen, war die Aussicht frei. Schon verzweifelden wir an dem Gelingen unseres Unternehmens, als plötzlich der Wolkenschleier, der uns den Gipfelberg verhüllte, zerriß und die Jungfrau unseren erstaunten Augen die ganze Schönheit ihrer mächtigen Formen enthüllte. Die Freude, welche wir bei dieser unerwarteten Veränderung empfanden, kann ich nicht beschreiben. Das Gelingen unserer Unternehmung schien jetzt gesichert zu sein. Nach kurzem Ansteigen in der nämlichen Richtung drehten wir uns plötzlich links ab nach einer Stelle, wo der nackte Fels zu Tage lag und überschritten so die schiefe Fläche des Kegels, dessen Breite hier noch mehrere hundert Fuß beträgt. Während dieser wenigen Schritte konnten wir den Gipfel nicht sehen; als wir aber auf dem Felsen angelangt

waren, erblickten wir, wie durch Zauberei einige Schritte von uns die höchste Kuppe, die uns so lange, während des Aufsteigens zu fliehen schien. Aber wir waren immer noch nicht oben. Wir ruhten ein wenig und sahen hier zum ersten Male die Schweizerebene vor uns. Die Gebirge, die uns so klein vorgekommen waren, wuchsen um die ganze Höhe, die wir zurückgelegt hatten.

Nahe an dem Felsen macht der Kamm einen kleinen, winkeligen Absatz, von dem wir mit Schrecken gewahrten, daß zu dem Gipfel nur ein scharf zugeschnittener Kamm führte, dessen Breite zwischen 6 bis 10 Zoll wechselte, während die Gehänge seiner beiden Seiten zwischen 60 bis 70 Grad Neigung hatten. Der Kamm mochte etwa 20 Fuß lang sein. Es ist unmöglich, weiter zu kommen, rief Agassiz und wir Alle stimmten ihm bei. Jakob dagegen behauptete, es sei sehr leicht und versicherte, wir würden alle den Gipfel erreichen. Er legte nun sein Gepäck ab und stieg in der Art vorwärts, daß er die Schneide des Grates unter dem rechten Arm hatte. So ging er langsam auf dem linken Abhange des Kammes, den Schnee zusammenstampfend und erreichte in wenig Minuten den Gipfel.

Die Fläche des Gipfels ist ein kleines Dreieck von etwa 2 Fuß Länge und $1\frac{1}{2}$ Fuß Breite, dessen Basis gegen die Ebene schaut während seine Spitze die Fortsetzung des schmalen Grates ist, über den man hinaufklettern mußte. Da nur eine Person auf dem Gipfel Platz hatte, so stieg zuerst Agassiz, auf Jakobs Arm gestützt hinauf. Er blieb etwa 5 Minuten oben. Als er zurückkam, schien er mir sehr ergriffen. Er flüsterte mir zu, noch nie sei er in solcher Stimmung gewesen. Nach ihm war die Reihe an mir. Ich fand keine Schwierigkeit; aber auf dem Gipfel angelangt, konnte ich ebenso wenig wie Agassiz, meine Gemüthsbewegung unterdrücken. Ich blieb zwar nur wenige Minuten, aber lange genug oben, um das Panorama für immer meinem Gedächtnisse einzuprägen. Dann eilte ich zu Agassiz zurück. Ich fürchtete, der tiefe Eindruck, den das großartige Schauspiel auf mich gemacht, möchte meiner gewöhnlichen Sicherheit Eintrag thun und ich fühlte das Bedürfniß, die Hand meines Freundes zu drücken. Ich glaube, nie war ich glücklicher, als da ich mich zu seiner Seite in den Schnee setzte. Wir hätten geweint, wären wir allein gewesen; allein die Macht der Gewohnheit ist

so groß, daß selbst in 12000 Fuß Höhe die erkaltende Etiquette uns beherrschte und wir uns der Thränen schämten.

Nicht die ungeheure Ausdehnung des Gesichtskreises ist es, welche den Aussichten der Hochkuppen ihren eigenthümlichen Reiz verleiht. Das Gemälde, das sich in unserer nächsten Nähe aufrollte, fesselte uns am meisten. Vor uns breitete die grüne Ebene sich aus, und die niederen Ketten der Boralpen zu unseren Füßen erhöhten durch ihre scheinbare Einförmigkeit die gewaltigen Formen der hohen Gipfel, die ihre Häupter fast bis zu unserer Höhe reckten. Die Thäler des Oberlandes, welche noch kaum mit Nebel erfüllt gewesen waren, deckten sich hier und da auf und durch den Riß der Wolken erkannten wir dann die Welt. Vor allem aber zogen Mönch und Eiger unsere Aufmerksamkeit auf sich. Wir schauten hier von oben auf sie nieder und konnten so ihre Formen im Einzelnen untersuchen. Auf der westlichen Seite, diesen Giganten gegenüber, erhob sich eine andere nicht weniger colossale Kuppe, das Silberhorn. In der nämlichen Richtung sahen wir noch eine andere, durch ihre Schlankheit ausgezeichnete Spitze, welche wir für das Gletscherhorn hielten und hinter dieser eine dritte, die Ebene — Fluh. Diese und noch mehrere andere Hörner ohne Namen, bilden die nächste Umgebung, den Hofstaat der königlichen Jungfrau.

Gegen Süden war die Aussicht durch Wolken beschränkt. Doch wurden wir für diesen Mangel durch eine Erscheinung entschädigt, die uns alle auf das Lebhafteste interessirte. Gegen Südwesten hatten sich dicke Nebel angehäuft. Sie erhoben sich aus dem Rottthale und sammelten sich nördlich auf dem Ramme, welcher dieses Thal von dem Lauterbrunnenthal trennt. Schon fürchteten wir zum zweitenmale von ihnen eingehüllt zu werden. Allein sie begrenzten sich plötzlich vor uns; ohne Zweifel hinderte ein aus der Ebene an den Schneewänden heraufziehender Luftstrom ihre Ausdehnung in dieser Richtung. So sahen wir uns denn vor einer senkrechten Nebelwand, deren Höhe wir auf wenigstens 12000 Fuß schätzten. Da die Temperatur der Luft unter dem Gefrierpunkt stand, so waren alle feinen Nebeltröpfchen zu Eis erstarrt und glänzten im Sonnenschein in allen Regenbogenfarben. In der Dampfmasse aber war ein Wogen und Kochen, als wenn eine Welt aus dem Chaos sollte geschaffen werden.

Die Thermometer zeigten 3 Grade unter Null an. Die Umgebung beschäftigte uns aber derart, daß wir von Kälte nichts verspürten. Der Himmel über uns war vollkommen klar und sein Blau so dunkel, daß es fast schwarz erschien. Sterne sahen wir nicht, obgleich sie in so großen Höhen selbst bei Tage sichtbar sein sollen. Zu unserem großen Erstaunen sahen wir auf der Oberfläche des zu Tage gehenden Gesteins einige Flechten, ganz frisch und wohl erhalten, deren einige, selbst Flächen von mehreren Quadratzoilen überdeckten. Auf den menschlichen Organismus hatte die verdünnte Luft hier oben gar keinen Einfluß.

Wir steckten noch eine kleine Fahne auf den Gipfel, kletterten bergab und kamen des Abends um 11 1/2 Uhr glücklich zurück.

Siebenter Vortrag.

Ueber die Eiszeit.

In meinem letzten Vortrage habe ich Ihnen die Erscheinungen der Alpen-Gletscher vorgeführt. Ich brauche wohl kaum zu erwähnen, daß die Gletscher, überall, wo sie nur immer vorkommen, dieselben Eigenthümlichkeiten darbieten. Die Alpengletscher stehen nur einzig in Europa da, was Großartigkeit, Mächtigkeit und Ausdehnung betrifft. Und das aus guten Gründen. Die Alpen ragen mit geräumigen Bergkesseln in die Schneeregion. Diese Kessel sind die unerschöpflichen Speisereservoirs der Gletscher. Ohne sie kommen selbst höhere Gebirge als die Alpen nur zu Gletschern zweiter oder dritter Ordnung wie z. B. der Kaukasus mit seinem 5636 Meter hohen Elbrus und seinem 5037 Meter hohen Kasbek, welche die Schneelinie um 2000 Meter überragen. Die Alpen liegen ferner in einer Gegend, die reich an Feuchtigkeit und Niederschlägen ist.

Die Gebirge, welche die Tartarei, Bucharei und Mongolei begrenzen, stehen an Größe denen der Schweiz nicht nach, und doch fehlen ihnen die Gletscher, weil die Luft, die über die großen Wüsten und Steppen streicht, einen Grad von Trockenheit erreicht, der die Niederschläge selbst bei großer Winterkälte auf ein überaus kleines Maß herabdrückt. So sind denn in den Alpen die zwei Hauptbedingungen vereinigt, welche imposante und zahlreiche Gletscher hervorzubringen vermögen.

Diese Bedingungen müssen indessen früher in einem noch höheren Grade vorhanden gewesen sein, denn die Gletscher der Alpen waren zu einer gewissen Zeit so groß, daß die jetzigen damit verglichen, als Zwerge erscheinen. Und woher wissen wir das? Das wissen wir aus den Spuren,

welche sie zurück gelassen haben. Wie Sie wissen, schließt man auf die Existenz ehemaliger Gletscher besonders aus 3 Merkmalen: aus der Anwesenheit von Moränen, aus dem Vorhandensein von polirten und nach einer gewissen Richtung gestreiften Flächen und aus dem Vorhandensein von scharfkantigen, eckigen Blöcken, die mit dem Gestein auf dem sie liegen petrographisch nicht übereinstimmen. Jedes von den 3 Merkmalen außer dem letzten, ist für sich vollkommen ausreichend, die Existenz eines früheren Gletschers mit Sicherheit zu erweisen. Sehen wir also zu, wo und wie weit wir die Spuren früherer Gletscher verfolgen können.

Wenn wir uns auf dem Eismeer bei Chamouni dem Vorgebirge Angle nähern, so bemerken wir, daß die ganze Oberfläche dieses Vorgebirgs abgerundet, geglättet und gestreift ist. Wir können diese Glättungen und Streifen mit denen vergleichen, welche der Gletscher vor unseren Augen bildet und der Vergleich lehrt, daß sie mit diesen übereinstimmen. Sie sind noch sehr deutlich 300 Meter über der Eisfläche und verschwinden erst am Fuße der hohen Spitzen. Reichte aber der Gletscher früher bis zu dieser Höhe, so war seine Endmoräne auch weiter vorgeschoben als jetzt. Und so ist es in der That. Zu einer gewissen Zeit, die keineswegs der größten Ausdehnung der Gletscher entsprach, erstreckte sich die rechte Seitenmoräne des Eismeeres in Form eines ungeheuren Dammes quer durch das Chamouni-Thal und versperrte es, so daß die Arve in ihrem Laufe gehemmt, einen See bildete, dessen einzelne Wasserstände noch durch die horizontalen Terrassen, welche den Stromlauf begrenzen, erkenntlich sind. Bei Anlegung der Straße ist dieser Damm durchbrochen worden und man konnte sich leicht überzeugen aus dem Sand, den Kieseln und den bunt durch einander geworfenen eckigen und runden Blöcken daß er ehemals eine Endmoräne gewesen sein mußte*).

Wenn wir von Chamouni nach Genf thalabwärts gehen, so stoßen uns überall die Spuren früherer Gletscher auf. Nicht weit von Chamouni liegt der Weiser Montcuart, der von ungeheuren Protoginblöcken umgeben ist. Diese Blöcke bildeten einmal die Endmoräne des Eismeeres und des Glacier des Bossons. Einer dieser Blöcke ist 24,7 Meter lang, 9 Meter breit und 12 Meter hoch. Es ist ein wahrer Hügel, der sich

*) Martins, Von Spitzbergen nach Sahara.

über alle ihn umgebenden Bäume erhebt. Von Montcuart aus erreicht man in kurzer Zeit das Dorf Les Duches das letzte im Chamounithal. Hier biegt der Weg rechts um und steigt in die enge Schlucht der Montées. Wenn irgendwo für den Gletscher die Gelegenheit günstig war, gewaltige Spuren seines Daseins zurückzulassen, so war es hier, wo er aus einem breiten Thal in eine enge Schlucht umzubiegen und weiter zu schreiten gezwungen wurde. Hier mußte der Gletscher sich erheben, mächtiger werden in dem Maße als die Schlucht der Montées enger als das Chamounithal ist. Die Randmoränen mußten in die Höhe geschoben und mit ungeheurer Gewalt gegen das anstehende Gestein gedrückt werden. Und so sehen wir in der That Les Duches gegenüber, auf dem rechten Ufer der Arve 3 Hügel mit geglätteten und gestreiften Flächen, auf denen zahlreiche eckige und scharfkantige Protoginblöcke ruhen. Bis zur Höhe von 593 Meter über dem rechten Ufer der Arve erblickt man Rundhöcker um Rundhöcker mit scharfen einradirten Strichen, die aufwärts steigen, weil der Gletscher sich hier in die Höhe schob. Steigt man hinab in die Schlucht der Montées, so erblickt man auch hier Rundhöcker mit Streifen und erratischen Blöcken in Menge. An der Pont Pelissier stieg Martins an beiden Ufern der Arve in die Höhe um zu sehen, wie hoch hinauf die Spuren des Gletschers sich verfolgen ließen. Auf dem rechten Ufer fand er noch geglättete Felsen und erratische Blöcke in einer Höhe von 758 Meter auf dem linken Ufer in einer Höhe von 683 Meter. Die horizontale Entfernung beider Punkte beträgt 4 Kilometer.

Gletscher von solcher Mächtigkeit sind jetzt in der Schweiz nicht mehr zu finden, und doch war dieser Gletscher noch lange nicht der mächtigste der Eiszeit. Er erstreckte sich bis Genf und wurde hier von dem weit mächtigeren Rhonegletscher verschlungen. Man darf aber nicht glauben, daß er auf ein Minimum reducirt in Genf ankam. Zwischen Chamouni und Genf mündeten noch mehrere Seitengletscher in ihn und verstärkten ihn dermaßen, daß er das breite Thal von Cluses bis Genf bis zu 600 Meter Höhe über der Arve ausfüllte. Ich habe mich bei Bonneville selbst davon überzeugt. Bonneville liegt 5 Stunden von Genf. Die beiden Berge, welche es einschließen, der Möle und der Brezon sind Kalkberge. An den Abhängen des Brezon, auf dem linken Ufer der Arve,

in einer Höhe von 350 Meter ungefähr, stieß ich auf einen mit Moos fast ganz bedeckten, großen, eckigen Granitblock. Seine Gefährten, die in nicht sehr ferner Zeit in gleicher Höhe mögen gelegen haben, sind jetzt eine Zierde Bonneville's. Die neue Brücke über die Arve ist ganz aus ihnen erbaut. Noch höher zieht sich den Abhängen des Brezon entlang die Seitenmoräne des früheren Gletschers hin. Sie ist wohl erhalten und besteht aus Kalksteinen, die meistens gerundet sind.

Das Arvethal ist nicht das einzige, in welchem sich die Spuren früherer Gletscher leicht nachweisen lassen. Es gibt Thäler, wie z. B. das Haslithal, in denen sie so auffallend und ohne Unterbrechung sich zeigen, daß sie Jedem, der nur einmal dieses Thal durchwandert hat, für immer sich einprägen. Zwischen Meyringen und Imgrund finden sich die ersten deutlichen Spuren. Das Thal von Imgrund ist durch einen ansehnlichen Bergrücken, den Kirchet, von dem Meyringer Thal getrennt. Wahrscheinlich stante dieser Bergrücken einst die Arve so, daß sie einen See von mehreren hundert Metern Tiefe bildete. Jetzt fließt sie durch eine ungeheure Spalte im Bergrücken, der aus Kalkstein besteht und mit zahlreichen Granitblöcken besät ist. Der Granit steht erst viel weiter oben im Thale an, er muß also durch irgend ein Medium hierher transportirt worden sein. Aber durch welches? durch einen starken Strom? Wie könnte ein Strom, und wäre er auch der mächtigste, große Granitblöcke auf einen 260 Meter hohen, steilen Bergrücken wälzen? Wenn er es könnte, wie kommt es, daß diese Blöcke noch scharfkantig, noch eckig sind, nachdem sie einen Wälzungsproceß auf weiter Strecke in einem Meer von Steinen, Sand und Schlamm durchgemacht haben? Wie kommt es, daß die Gewalt des Stromes durch diesen Bergrücken nicht gebrochen worden ist, daß diese Blöcke nicht am Fuße des Bergrückens abgesetzt worden sind? Nein, ein Strom kann es nicht gewesen sein, aber wir wissen es ja, es war ein Gletscher, der bei seinem Rückzuge diese Granitblöcke auf dem Kirchet sitzen ließ. Verfolgen wir seine Spuren. Drei Stunden von Meyringen, Arve aufwärts, ist eine Häusergruppe, genannt Im-Boden. Hier bemerkt man an den fast senkrechten Granitwänden Schlißflächen mit parallelen Furchen bis zur Höhe von 300 bis 400 Meter. Die Furchen haben etwa einen Zoll im Durchmesser und stehen ein bis zwei Fuß von einander ab. Besonders deutlich sind sie an einer

Verengerung des Thales, wo sich der Gletscher staute, in die Höhe schob und mit verdoppelter Kraft, die in seiner Masse sitzenden Steine und Steinchen gegen die Granitwände presste. Die Furchen gehen daher an der Verengerung aufwärts, während sie vorher horizontal laufen.

Weiter aufwärts über dem Handeck-Fall, wird das Thal wilder und großartiger. Dunkle Fichten beschatten bisweilen den Weg und runde Kuppeln, majestätisch hoch, wohl geschliffen, starren uns entgegen. Wahrscheinlich waren hier Felsvorsprünge, die der Gletscher abhobelte, glättete und zu unvergleichlichen Kuppeln formte. Die vollkommenste Schlifffläche indessen, glatt wie ein Spiegel, mit Ritzen so fein, so regelmäßig, als hätte ein Diamant sie in den Granit gegraben, sieht man an der Helleplatte. Die Oberfläche der Helleplatte beträgt wenigstens 1000 Quadratmeter. Die Politur ist überall die gleiche. Nur am Wege ist sie verwittert. Aber die Quarzadern, die hier den Granit durchziehen und der Verwitterung widerstehen, zeigen noch deutlich die Politur und die Ritzen. Agassiz's Namen ist hier eingemeißelt mit der Jahreszahl 1838 und dem Worte Eisschliff.

Je mehr man sich der Grimsel nähert, desto mannichfaltiger und auffallender sind die Schliffe. So weit das Auge reicht, es erblickt nichts als geschliffene Flächen. Die Felsen gleichen bisweilen riesigen Cylindern, die bis an den Fuß der höchsten Rämme reichen. Im Grimselgrund selbst, erblickt man Rundhöcker an Rundhöcker, wohl geschliffen in einer Mannichfaltigkeit und Ausdehnung, die Staunen erregt. Für ein erstes Studium der Gletscherschliffe ist kein Thal geeigneter als das Haslithal.

Verfolgen wir nun auch noch die Gletscherspuren im Rhonethal. Der Stadt Yvergen gegenüber, 3 Stunden ungefähr vom Genfer See entfernt, treffen wir Flächen, so glatt wie eine Schiefertafel bis zu bedeutender Höhe. Yvergen gegenüber auf der anderen Seite des Thales, sind die erraticen Blöcke von Monthey, so genannt von der unten im Thale gelegenen Stadt Monthey. Sie bedecken einen Bergabhang ungefähr 150 Meter über der Rhone und erstrecken sich meilenweit längs der Bergseite. Diese Blöcke von Granit, 10 bis 20 Meter im Umfang, sind phantastisch übereinander gehürmt und außen zum Theil verwittert. Sie drängen sich dicht aneinander und bilden oft Höhlen, welche Hirten und Herden

bei schlechtem Wetter ein willkommenes Obdach gewähren*). Weiter aufwärts, zwischen St. Maurice und Martigny ist der Wasserfall der Sallanche, Pissevache genannt, auf dem linken Rhoneufer, der sich über eine 40 Meter hohe Felswand ins Rhonethal stürzt. Klettert man hier ungefähr 500 Meter in die Höhe zu dem Thal, durch welches die Sallanche fließt, so erheben sich nackte Felsen in steilen Abstürzen zu beiden Seiten des Bettes. Diese Felsen haben deutliche, horizontale Streifen und Furchen, die untrüglichen Merkmale früherer Gletscher; auch fehlen die erratischen Blöcke nicht.

Sind es die genannten Thäler allein, in welchen sich die Spuren ehemaliger Gletscher finden lassen? Nein. Das Thal der Reuß, des Rheins, kurz alle Thäler der Schweiz zeigen jetzt noch die Spuren früherer mächtiger Gletscher.

Aber wir finden auch erratische Blöcke auf den Abhängen des Jura, 140 Kilometer (28 Stunden) entfernt von den Alpengletschern, erratische Granitblöcke mit scharfen Ecken und Kanten, die unmöglich von dem Jura stammen, weil dieser ein Kalksteingebirge ist, Blöcke, deren petrographische Beschaffenheit ihre Heimath unzweifelhaft verräth, deren Mineralcombination uns sagt, ich stamme vom Mont Blanc und ich vom Monte Rosa, wir alle aus dem Rhonethal. Es ist kein Zweifel. Diese Granitblöcke stammen wirklich daher und sind über eines der breitesten und tiefsten Thäler der Welt, oft 50 und 60 Stunden weit von ihrer Heimath transportirt und abgesetzt worden. Am Chasseron im Jura finden sie sich 614 Meter über dem Neuenburger See und 1051 Meter überm Meer**). Von hier aus lassen sie sich längs des Jura nordöstlich bis Solothurn und südwestlich bis Genf verfolgen. Die Grenze dieser Blöcke bildet einen höchst interessanten Bogen am Jura; einen Bogen, dessen einer Endpunkt bei Solothurn im Thalboden, dessen anderer bei Gex im Thalboden liegt, während der höchste Punkt des Bogens am Chasseron 614 Meter über dem Neuenburger See liegt. Einige von diesen Blöcken haben colossale Dimensionen. Der „Peter von Bot“, 300 Meter über dem Neuenburger See, hat 17 Meter Länge, 6,6 Meter Breite und 13,3 Meter Höhe und

*) Forbes, Reisen in den Savoyer Alpen.

**) Lyell, das Alter des Menschengeschlechtes, übersezt von Büchner.

ist ein Gneißblock. Er ist aber noch lange nicht der größte. Es gibt Blöcke, die noch zweimal bis dreimal so groß sind. Und diese Blöcke sollen durch den Rhonegletscher dahin gekommen sein?

Man nehme eine Karte der Schweiz und vergleiche die Breite der beiden Thäler, des Rhonethales und des Thales zwischen Jura und den Alpen. Das Thal zwischen Jura und den Alpen (48 Kilometer breit) ist nahezu zehn Mal so breit als das Rhonethal, dessen Breite nur 5 Kilometer etwa ist. Der Rhonegletscher, indem er aus dem engen Thale in das breitere trat, erfüllte letzteres zwar vollständig, allein seine Höhe mußte in dem Maße kleiner werden, als er sich in die Breite ausdehnte. Wir wissen aber, daß am Jura die Blockgrenze noch 614 Meter über dem Neuenburger See anzutreffen ist.

Man überlege nun, welche ungeheure Mächtigkeit dieser Rhonegletscher gehabt haben mußte, wenn von ihm jene Blockgrenze herrührt.

Man stößt auf weitere Schwierigkeiten, wenn man bedenkt, daß die Spuren des Rhonegletschers bei Bex und St. Maurice im Rhonethal nur bis zur Höhe von 500 bis 800 Meter, also nicht viel höher als am Jura selbst angetroffen worden sind.

Freilich kann man sagen, nicht der Rhonegletscher allein füllte das große Thal; alle Thäler, welche in dasselbe einmündeten, hatten ihre Gletscher, die nothwendigertweise den Rhonegletscher nicht unerheblich verstärken mußten.

Immerhin dürfte man fragen:

Müssen es denn gerade Gletscher gewesen sein, welche die Blöcke auf den Jura verführt haben? Sehen wir nicht heute noch in den nordischen Meeren Eisschollen mit eben so großen Blöcken beladen nach Süden treiben? Und können nicht in der Schweiz ähnliche Eisschollen auf einem See, der das Becken zwischen Jura und Alpen erfüllte, mit Blöcken beladen einhergeschwommen sein? Ohne Zweifel, wenn ein solcher See vorhanden war, konnten und mußten diese Erscheinungen eintreten. Aber wir haben gesehen, daß die Blockgrenze am Jura einen Bogen bildet, der vom Chafferon, wo er am höchsten ist, einerseits nach Bex, andererseits nach Solothurn hin, mehr und mehr herabsteigt. Eisschollen, die nach dem Jura schwammen, mußten beim Stranden ihre Bürde in gleicher Höhe am Jura absetzen. Die Blockgrenze würde dann eine gerade

Linie längs dem Jura und nicht einen Bogen bilden. Daß die Blockgrenze auf dem Chasseron am höchsten ist, das erklärt sich nach der Gletschertheorie sehr einfach dadurch, daß der Chasseron genau in der Verlängerung des Rhonethales liegt. Bei seinem Austritt aus dem Rhonethal erfüllte zwar der Rhonegletscher das breitere Thal, blieb aber in der Mitte, also längs seiner Axe am mächtigsten.

Ein See kann das Thal zwischen Jura und Alpen auch deswegen nicht ausgefüllt haben, weil nicht abzusehen ist, welche Berge ihn nördlich eingeschlossen haben sollten. Aber muß es denn gerade ein See gewesen sein? Ein Meer konnte das Tiefland bedecken. Dann müßten in den diluvialen Ablagerungen der Schweiz und Deutschlands die deutlichsten Meeresbildungen anzutreffen sein. Es ist aber keine Spur einer Meeresbildung zu bemerken, ganz abgesehen davon, daß die bogenförmige Blockgrenze am Jura durch das Meer nicht erklärt werden könnte. Die Thatfache, daß sich die Spuren des Rhonegletschers zwischen Vevy und St. Maurice nur 500 bis 800 Meter hoch verfolgen lassen, während sie am Chasseron im Jura noch 614 Meter hoch kenntlich sind, erklärt sich dadurch, daß diese Spuren durch Zerbröckelung des Gesteins oder durch Abwaschung im Rhonethal verschwunden sind. Auch hat man sich mehr begnügt, sie überhaupt nur aufzufinden, als die höchsten Orte aufzusuchen, an denen sie noch sichtbar sind. Am Riffel bei Zermatt, findet man indessen geglättete Felsen mit Streifen in einer Höhe von 2670 Meter ungefähr 170 Meter über dem jetzigen Gletscher.

Den entscheidendsten Beweis dafür, daß die Blöcke durch Gletscher und nicht durch schwimmende Eisschollen transportirt worden sind, hat Guypot geliefert. Er sagt: Wenn diese Blöcke durch schwimmendes Eis fortgeführt worden sind, dann müssen sie unregelmäßig zerstreut sein. Den einen Eisschollen trieb der Wind dahin, den andern dorthin. Sind sie aber durch Gletscher transportirt worden, so müssen sie gesetzmäßig zerstreut sein. Ein Block, der zur rechten Randmoräne gehörte, kann niemals auf die linke Seite des Thales, und einer der zur linken Randmoräne gehörte, niemals auf die rechte Seite gekommen sein.

Die Mineralcombination vieler Blöcke macht es möglich, die Berge anzugeben, von denen sie abstammen. Und es zeigt sich die überraschende Thatfache, daß alle Blöcke, die von der rechten Seite des Rhonethales

stammen, auch auf der rechten Seite, und alle die von der linken Seite stammen, auf der linken Seite sich jetzt noch finden. Schwimmende Eisschollen hätten dem Strome folgen müssen. Da wo das Thal sich im rechten Winkel umbiegt — wie bei Martigay — wären sie, dem Strome folgend, von der rechten Seite auf die linke gelangt. Da dies aber nicht der Fall ist, und die angeführte Gesetzmäßigkeit nicht blos am Rhonegletscher, sondern auch am Rheingletscher nachgewiesen ist, so ist es über allen Zweifel erhaben, daß die Verbreitung der Blöcke nur durch Gletscher und nicht durch schwimmende Eisschollen erfolgt sein kann.

Hierfür sprechen auch jene halbmondförmigen Wälle, die aus ungeschichteten, runden und eckigen Steinen bestehen, und die sich als langgestreckte Hügelzüge scharf aus der Umgebung abheben. Sehr deutlich treten sie auf in den Kantonen Luzern und Nargau. Auch in Bern und bei Bern kann man sie kennen lernen. Sie haben eine Höhe von 30 bis 70 Meter und sind als Endmoränen eines Gletschers aufzufassen.

Wenn auf der Nordseite der Alpen einstmal so mächtige Gletscher sich ausbreiteten, so werden sie auf der Südseite nicht minder groß gewesen sein. Und in der That, hier waren sie ebenso imposant. Auch hier ließen sie unvergängliche Spuren ihres Daseins zurück und ihre Größe stand im Verhältniß zur Größe der jenseitigen Gletscher. Der größte Gletscher auf der italienischen Seite war wohl derjenige, welcher vom Montblanc und Monte Rosa kommend, das Thal von Aosta durchschritt und zwischen Ivrea und Caluso jene staunenerregende Anhäufung von Schlamm, Sand, Kies, Steinen und Felsblöcken zurückgelassen hat, welche sich 24 Kilometer weit ausbreitet, und an manchen Orten 500 Meter hoch ist*). Die innere Structur dieses Walles wurde durch einen Eisenbahntunnel bloßgelegt, und es zeigten sich dicht neben einer großen Masse ungeschichteten Eisflözes, geschichtete Lager von Kies, Sand und Lehm, welche so gewunden waren, daß sie durch einen vertikalen Schacht zweimal wären durchbohrt worden.

Eine Eigenthümlichkeit der Gletscher ist es, periodisch vorzudringen und wieder zurück zu weichen. Bei dem Vordringen wird die Endmoräne, wenn sie nicht zu groß ist, weiter geschoben. Alle Steine rollen dann

*) Lyell, das Alter des Menschengeschlechtes.

bunt durcheinander. Ist die Endmoräne aber zu mächtig, so findet beim Vordringen des Gletschers eine Zusammenschiebung statt, durch welche die Biegung oder Zusammenhaltung der geschichteten Ablagerungen, die sich etwa während des Rückzuges gebildet hatten, hervorgebracht wird.

An mehreren Orten der Schweiz werden ungeschichtete, von Gletschern herrührende Gesteine, überlagert von geschichteten, auf welche wieder ungeschichtete folgen. Da nun geschichtete Gesteine nur unter Mitwirkung des Wassers können gebildet werden, so muß nach der Ablagerung der untersten ungeschichteten Gesteine eine Veränderung auf der Erdoberfläche vor sich gegangen sein, weil sonst nicht einzusehen ist, warum auf einmal geschichtete Gesteine die ungeschichteten überlagern. Diese Veränderung bestand darin, daß an Stelle des Gletschers Wasser trat. Nach der Mächtigkeit, der unter Mitwirkung desselben gebildeten geschichteten Ablagerungen zu urtheilen, verlief ein sehr großer Zeitraum, ehe wieder an die Stelle des Wassers ein Gletscher trat, von dem die obersten ungeschichteten Gesteine herrühren. Man hat aus dieser Thatsache auf zwei weit von einander getrennte Eiszeiten schließen zu müssen geglaubt. Allein die Annahme, daß der eine Gletscher sich längere Zeit hindurch zurückzog, und dann wieder vordrang, erklärt die Erscheinung noch auf einfachere Weise.

Große Endmoränen, die halbkreisförmig ein Thal quer durchzogen, mußten, als die Gletscher anfangen abzuschmelzen, zur Entstehung von Seen Veranlassung geben. Und es ist keine Frage, daß manche Seen Oberitaliens ihr Dasein den gewaltigen Stirnwällen früherer Gletscher verdanken.

Nach alledem unterliegt es keinem Zweifel, daß zu einer gewissen Zeit, welche auf die Tertiärzeit folgte, die Schweiz mit Eis bedeckt war und folglich ein Klima hatte, wie es jetzt im hohen Norden angetroffen wird.

Man darf nicht erwarten, aus dieser Zeit eine große Anzahl von Ueberresten aus der Thier- und Pflanzenwelt zu finden. Immerhin werden einige Bergkluppen frei von Eis, gleich Inseln aus dem Eisfelde hervorgeragt haben und spärlich mit Pflanzen bedeckt gewesen sein, mit Pflanzen, die ein so niedriges Klima zu ertragen befähigt waren. Und so zeigen denn auch einige wenige aus der Eiszeit stammende Pflanzen

und Insekten einen hochnordischen Charakter. Selbst in den Sicilischen Meeren lebten in der nachtertiären Zeit vorwiegend nordische Muscheln: *Cyprina islandica*, *Panopaea Norvegica*, *Leda pygmaea* und andere*).

Ueber die Dauer der Gletscherzeit lassen sich zuverlässige Zahlen nicht angeben. Einen ungefähren Begriff von der Dauer dieser Eiszeit bekommen wir, wenn wir unser Augenmerk auf die Verbreitung der überaus zahlreichen erratischen Blöcke richten. Unter der Voraussetzung, daß jene früheren Gletscher mit derselben Geschwindigkeit voranschritten, wie ihre zwergartigen Nachkommen, die jetzigen Gletscher, läßt sich berechnen, wie lange einzelne Blöcke auf dem Eise geruht haben, ehe sie abgesetzt wurden. Der früher erwähnte „Peter von Bot“ vom Montblanc stammend, kam durch das Thal von Trient in das Rhonethal und bedurfte ungefähr 1000 Jahre zu seiner Reise an den Neuenburger See. Die Granitblöcke von Seeberg brachten 2000 Jahre auf dem Gletscher zu, bis sie aus dem Hintergrunde des Gringerthales zu ihrer jetzigen Station kamen. Wie viele Blöcke machten einen ebenso großen Weg, lagen also ebenso lange auf dem Eise, nachdem die ersteren schon abgesetzt waren, denn ganz unmöglich ist es, daß diese Blöcke zu gleicher Zeit auf das Eis fielen. Sie folgten sich in ununterbrochener Reihenfolge, wie das auch jetzt noch der Fall ist. Bedenkt man nun, daß die Gletscher, nachdem sie ihre größte Ausdehnung erreicht, wahrscheinlich eine sehr lange Zeit auf ein und derselben Grenzlinie stehen blieben, sie hätten ja sonst unmöglich so mächtige Endmoränen aufwerfen können, daß sie sich dann wie auch jetzt, periodisch zurückzogen und wieder vorschoben, daß, während dies geschah, Kohlenlager von ziemlicher Mächtigkeit gebildet wurden, so kommt man zu dem Schlusse, daß diese Eiszeit Behntausende von Jahren gedauert haben muß.

Die Schweiz ist es nicht allein, die eine Eiszeit aufzuweisen hat; Norwegen, Schweden, Schottland, Irland, Amerika und selbst Syrien tragen die deutlichsten Spuren früherer Gletscher.

Den Küsten der Ostsee entlang, trifft man einen ungeschichteten Blocklehm. Die Blöcke sind oft von bedeutender Größe und stammen theils

*) Lyell, das Alter des Menschengeschlechts.

aus Schweden und Norwegen, theils aus Finnland. Wie kamen sie an ihren jetzigen Ort? Durch schwimmendes Eis. Woher aber das Eis? Aus Norwegen und Schweden, welches einst ebenso mit Eis bedeckt war wie die Schweiz und wie heutzutage Grönland. Mächtige Gletscher stiegen aus den Skandinavischen Bergen bis in die See. Hier brach das Eis ab und trieb mit Blöcken beladen weiter. An den Bergen aber blieben jene unverkennbaren geradlinigen Streifen zurück, um einstens untrügliches Zeugniß abzulegen von der Vereisung Norwegens und Schwedens.

In Schottland hat man die abgeschliffenen und geritzten Felsen bis zu einer Höhe von 1000 Meter über dem Meere verfolgt. Wo man auch immer in Schottland die Oberfläche der Felsen von dem sie bedeckenden Blocklehm entblößt, man wird sie in der Regel abgeschliffen und gefurcht finden. An manchen Orten finden sich auf dem Blocklehm Seemuscheln. Daraus muß man schließen, daß das Land nach der Eiszeit unter den Seespiegel gesunken ist und später wieder gehoben wurde.

Die Berge des englischen Seebezirks tragen die unzweideutigsten Spuren der Eiswirkung. Wir finden hier nicht nur jene abgeschliffenen und gefurchten Flächen, auch jene Rundhöcker (*roches moutonnées*), die in den Schweizer Alpenthälern so häufig sind, finden sich hier.

In Irland sind die Zeichen der Eiswirkung bis zu 800 Meter Höhe an den Bergen verfolgt worden. Zahlreiche Muscheln aus der Eiszeit, die sich in Meerischen Bildungen südöstlich von Dublin in einer Höhe von 300 bis 400 Meter finden, deuten darauf hin, daß Irland während eines Theiles der Eiszeit größtentheils unter Wasser stand.

Amerika hatte gleichfalls eine Eiszeit. Die Zeichen der Eiswirkung lassen sich hier noch 10° weiter südlich verfolgen als in Europa. Und was besonders charakteristisch ist, sie finden sich in Gegenden, wo die Berge eine sehr mäßige Erhebung haben.

In Syrien lassen sich die Moränen früherer Gletscher am Libanon bis zu 1300 Meter unter dem Gipfel nachweisen, während jetzt auf dem Gipfel in einer Höhe von 3400 Meter der Schnee das ganze Jahr hindurch nicht mehr liegen bleibt. Wo früher mächtige Gletscher gewaltige Moränen aufwarfen, da erheben sich stolz jetzt dunkle Cedern. Eine größere Ausdehnung der Gletscher ist mit Sicherheit im Kaukasus, im

Himalaya, in den Cordilleren und in Neu-Seeland nachgewiesen. Dagegen hat man in dem nördlichen Sibirien, in dem Altai- und Baikalgebirge, sowie in den damit zusammenhängenden Ketten die Spuren früherer Gletscher bis jetzt nicht entdecken können.

Die Eiszeit, war sie in all den genannten Ländern gleichzeitig? In allen ist sie auf die Tertiärzeit gefolgt; und da außerdem die Schalthiere und Säugethierreste der Eiszeit überall im Allgemeinen übereinstimmen, so war die Eiszeit in den genannten Ländern (nach der Sprache der Geologie) gleichzeitig. Damit ist freilich nicht gesagt, daß auch die größte Ausdehnung der Gletscher in den Alpen und in Amerika z. B. zu derselben Zeit stattfand. In Amerika konnte sehr wohl die größte Ausdehnung in eine Zeit fallen, in welcher die Alpengletscher schon Zehntausende von Jahren im Rückzuge begriffen waren.

Man hat oft die Eiszeit als eine Erscheinung von so räthselhafter Natur angestaunt, daß man nichts im Gebiete der Geologie mit ihr zu vergleichen wußte. Man hat die wunderbarsten Hypothesen ausfindig gemacht, sie zu erklären. Und doch hat man alle Ursache, über Erscheinungen der Jetztzeit, die wir für ganz natürlich halten, weil wir sie täglich sehen, nicht minder zu staunen. So ist es eine bekannte Thatsache, daß das westliche Europa ein ganz exceptionelles Klima besitzt, ein Klima, das sich durch eine sehr hohe Wärme auszeichnet. Man sollte doch meinen, alle Orte, welche gleiche geographische Breite und gleiche Höhe über dem Meeresspiegel haben, müßten eine gleiche, mittlere Jahrestemperatur besitzen, weil sie von der Sonne gleich stark erwärmt werden. Und doch ist das nicht der Fall. Man mag die Isothermen*) des Jahres, oder auch einzelner Monate vergleichen, stets findet man, daß dieselben an den westeuropäischen Küsten am weitesten nach Norden sich erheben und erst in Amerika einerseits und in Asien andererseits normal werden. Woher rührt dies? Von localen Ursachen. Und von welchen? Wie es scheint von der Existenz des warmen Golfstromes und der denselben begleitenden Luftströmungen. Die mittlere Jahrestemperatur von Stockholm wäre sonst ungefähr 4° niedriger als sie jetzt ist und Neapel hätte das Klima Bostons.

*) Diejenigen Linien auf der Erdoberfläche, welche dieselbe Temperatur besitzen.

So ist es ferner bekannt, daß in Neu-Seeland zwischen dem 40. und 45. Grade südlicher Breite die Gletscher bis zu 210 Meter Meereshöhe, also in größere Tiefen hinabsteigen als irgendwo in den Alpen, ja, daß das Ende mancher Gletscher mitten in einer tropischen Vegetation ist. Und doch erreichen die höchsten Bergspitzen dort noch lange nicht die Höhe des Montblanc. Der höchste Berg Neu-Seelands ist der Mount Cook in $43\frac{1}{2}^{\circ}$ südlicher Breite. Er erreicht 4023 Meter, der Montblanc dagegen 4810 Meter Höhe. Beinahe ebenso hoch als der Mount-Cook ist der Tasmann. Andere Bergspitzen steigen bis zur Höhe von 3050 bis 3350 Meter. Der Sommer Neu-Seelands ist nicht viel wärmer als der Sommer Englands, der Winter aber hat im Durchschnitt die Temperatur des April oder October in England; der nördliche Theil der Insel Neu-Seeland hat eine mittlere Jahrestemperatur von $12\frac{1}{2}^{\circ}$ R., der südliche von $8\frac{1}{2}^{\circ}$ R. Auch in Neu-Seeland ist eine frühere Eiszeit nachgewiesen, die Hochstetter*) durch die Annahme höherer Berge erklärt. Und jetzt noch ist die Entwicklung der Gletscher in Neu-Seeland im Verhältniß zu den Berghöhen bedeutender als in den Alpen.

Wir würden gewiß noch mehr über die Eiszeit erstaunen, wenn wir ihre Spuren in Italien, zwischen Neapel und Venedig, also ungefähr zwischen dem 40. bis 45. Grad nördlicher Breite anträfen. Wir würden wahrscheinlich zuerst an eine ungeheure Kälte denken, ohne zu überlegen, daß selbst der südliche Theil Neu-Seelands, mit seinen mächtigen Gletschern, die mittlere Jahrestemperatur von Genf noch um mehr als einen Grad übertrifft.

So gipfelten denn auch die meisten Erklärungen der Eiszeit in dem Beweise, daß da, wo jetzt die Spuren großer Gletscher gefunden worden sind, früher eine viel niedrigere Temperatur geherrscht hat als jetzt. Man hat berechnet, daß durch die Präcession der Aequinoctien periodische Temperaturschwankungen auf beiden Erdhälften stattfinden müssen. Im Verlaufe von 21000 Jahren, erhält durch diese Präcession die südliche Erdhälfte etwas mehr Licht und Wärme als die nördliche; in den nächsten 21000 Jahren ist es umgekehrt. Man hat weiter berechnet, daß die Bahnen der Planeten Schwankungen unterworfen sind derart, daß sich

*) Hochstetter, Neu-Seeland.

diese Bahnen bald mehr dem Kreise, bald mehr einer gestreckten Ellipse nähern. Die Erdbahn ist in diesem Falle. Gegenwärtig ist der Unterschied zwischen dem Kreisdurchmesser und der großen Achse der Erdbahn etwa 800 Erdhalbmesser, vor 200000 Jahren, war dieser Unterschied beinahe viermal so groß. Damals betrug er 3000 Erdhalbmesser, und es ist klar, daß die klimatischen Verhältnisse unter diesen Umständen etwas anders waren, als jetzt. Die Sommer unserer Erdhälfte waren damals weniger heiß, die Winter weniger kalt. Man hat berechnet, daß, wenn die mittlere Jahrestemperatur der Schweiz um 4° niedriger wird, die Schneegrenze an den Alpen 752 Meter tiefer herabgeht*). Unter diesen Umständen werden dann auch die Gletscher um den gleichen Betrag tiefer in die Ebenen hinabsteigen und die Gletscher von Chamouni werden Genf erreichen. Man hat berechnet — was hat man nicht alles berechnet! Bei all' diesen Rechnungen hat man vergessen, daß eine sehr niedrige Temperatur das Anwachsen der Gletscher durchaus nicht fördert; denn Schnee schlägt sich nieder aus den Wolken, die Wolken entstehen aus Wasserdampf, Wasserdampf durch Wärme. Nun nehme man in dieser Kette das letzte Glied, die Wärme hinweg, so ist der Gletscher Urquell versiegt.[†] Nichts ist klarer. Daß aber sehr viel Wärme nothwendig ist, um so mächtige Gletscher wie die früheren Schweizer Gletscher zu erzeugen, wird folgende Betrachtung zeigen.

Um Wasser von 20° C. in Dampf von derselben Temperatur zu verwandeln, sind 593 Calorien nothwendig; das heißt, so viel Wärme wird erfordert, daß man mit ihr 593 Kilogramm Wasser um 1° C. erwärmen könnte. Da nun die spezifische Wärme des Eisens 0,1138 ist, so könnte man mit 593 Calorien auch 593 Kilogramm Eisen um 9° oder 5337 Kilogramm Eisen auf 1° oder 5 Kilogramm Eisen auf 1056° C. erwärmen**). Bei 1056° C. schmilzt das Gußeisen. Wir können daher mit der Wärmemenge, welche 1 Kilogramm Wasser von 20° C. in Dampf von 20° C. verwandelt, 5 Kilogramm Gußeisen zum Schmelzen bringen. Man denke sich jetzt einmal die Eismasse, welche früher die Schweiz bedeckte, durch ein Volumen von geschmolzenem Eisen, welches drei Fünftel

*+ so viel könnte
Grünland & Spitz-
bergen warm
Gletscher haben !!*

*) Die Rechnung stützt sich auf den Erfahrungssatz, daß die Temperatur bei je 188 Meter Höhe, um einen Grad abnimmt.

**) Siehe darüber auch Tyndall, die Wärme.

von dem Volumen des Eises beträgt, ersetzt und frage sich, ob man auch dann noch zur Erklärung dieser Erscheinung zu einer großen Kälte seine Zuflucht nehmen würde. Gewiß nicht. Man würde vielmehr umgekehrt allen Scharfsinn aufbieten, die hohe Temperatur der früheren Zeit zu erklären.

Wärme können wir mithin nicht entbehren; eine verminderte Strahlung, eine geringere Wärmeausgabe von Seiten der Sonne in früherer Zeit sind Ungereimtheiten, die nicht länger in Betracht kommen können. Vielmehr müssen wir die Bedingungen, unter denen jetzt noch große Gletscher entstehen, auch für die frühern Gletscher der Schweiz fordern. Diese Bedingungen sind, wie uns das Beispiel Neu-Seelands lehrt, ein warmes, sehr feuchtes Inselklima und mächtige Condensatoren, d. h. sehr hohe Berge. Die erste Bedingung war in der That zur Eiszeit erfüllt. Europa hatte ein Inselklima. Die Ausdehnung der Meere und Süßwasserflächen war zur Eiszeit weit bedeutender als jetzt. Zudem stand die ganze Sahara unter Wasser. Die Sahara ist jene ungeheure Wüste, welche sich quer durch ganz Afrika und einen Theil Asiens erstreckt und der Breite nach 12 bis 16 Breitengrade umfaßt. Zudem fällt sie in die heiße Zone. Die Winde, die damals über die Sahara nach Italien und der Schweiz zogen, waren mit Wasserdampf gesättigt und ein guter Theil der früheren Gletscher verdankte dem Saharameer sein Dasein. Woher wissen wir aber, daß gerade zur Eiszeit die Sahara unter Wasser stand? Die Muscheln, welche in der Wüste gefunden werden, stimmen mit denen des Mittelländischen Meeres überein. Sie stammen folglich aus der Periode, welche auf die Tertiärzeit folgt. Und da auch die Eiszeit nachtertiär ist, so fällt sie in die Zeit, in welcher die Sahara unter Wasser stand.

Die zweite Bedingung — sehr hohe Berge — erfüllen die Schweizer Alpen noch jetzt; es ist aber wahrscheinlich, daß diese Bedingung zur Eiszeit in noch höherem Maße erfüllt wurde. Woraus schließen wir das? Aus den ungeheuren Ablagerungen von Detritus, welcher das ganze Rheinthal bis zu bedeutender Höhe anfüllte und noch zum Theil füllt und der größtentheils aus den Alpen stammt.

Aber die Flora und Fauna der Eiszeit trägt einen hoch nordischen Character. Wie stimmt dies wieder mit einem warmen Klima? Von einem

ist nicht sicher!

Boden, der mit Eiswasser getränkt ist, kann man nichts anders erwarten, als daß er hochnordische Formen ernährt. — Wohl, aber einige Pflanzen dürften auch auf eisfreien und von Eiswasser nicht durchtränkten Inseln gewachsen sein. Wenn dies der Fall war, müssen diese Pflanzen den Character der gemäßigten Zone verrathen? Nichts weniger. Jeder der jemals bei warmem Wetter einem Gletscher sich nahte, wird überrascht worden sein durch einen kalten, vom Gletscher kommenden Wind. Streicht ein sehr warmer Wind über große Eisflächen, so verliert er nach und nach seine Wärme bis zu einer gewissen Höhe über dem Eis. Schlagintweit, der darüber Versuche angestellt hat, kam zu folgendem Resultat. Die Tagestemperatur, die im Mittel ungefähr 9° war, war in einer Höhe von:

0,16 Meter 0,97; 1,95 3,40

über dem Eis im Mittel:

2,6° C. 4,9° 5,7° 6,3° C.

Diese Versuche sind auf der Pasterze angestellt. Es unterliegt keinem Zweifel, daß die Temperaturen noch weit niedriger ausgefallen wären, wenn die Beobachtungen in einem weit und breit mit Eis bedeckten Lande hätten angestellt werden können. Pflanzen, die von so kaltem Winde jahraus jahrein angeweht werden, müssen selbstverständlich einen hochnordischen Character zeigen. Daß die Thierwelt am Ufer der benachbarten Meere und Seen einen nordischen Character trägt, ist nicht zu verwundern, weil ja wahre Ströme von Gletscherwasser im Sommer in diese Meere und Seen sich ergossen und deren Temperatur bedeutend herunterdrückten.

Die vorgesehrte Erklärung der Eiszeit gibt uns über die Vergletscherung von Norwegen und Schweden keinen befriedigenden Aufschluß.

James Croll in seiner Schrift *Climate and Time in their geological relations* erklärt die ganze Eiszeit aus den periodischen Aenderungen der Excentricität in der Erdbahn. Bei besonders großer Excentricität muß diejenige Erdhälfte, deren Winter in die Sonnenferne fällt, eine niedrigere Mitteltemperaturverhalten, als die entgegengesetzte. Außerdem wird durch die Präcession der Eintritt des Frühlings und Herbstes in jedem Jahrhundert verändert. Beide Erscheinungen können in gleichem Sinne wir-

kend, die mittlere Temperatur einer Erdhälfte in verstärktem Maße verändern. Der gleichzeitige Eintritt beider Erscheinungen läßt sich voraus berechnen, und wenn die Eiszeit mit ihnen zusammen hängt, läßt auch ihr Eintritt sich voraus berechnen.

Aber selbst unter den günstigsten Umständen würde die Temperaturerniedrigung einer Erdhälfte nach Croll so unbedeutend sein, daß unmöglich eine Eiszeit wie die geschilderte erklärt werden könnte. Es hat diese ungleiche Erwärmung einer Erdhälfte auf Kosten der anderen noch eine wichtige Veränderung auf unserer Oberfläche im Gefolge. Und diese ist es, welche eine Eisperiode hervorzurufen im Stande ist. Und was ist das für eine Veränderung? Die constanten Luftströmungen — Passatwinde — werden eine bestimmte von der Wärmevertheilung abhängige Richtung bekommen und da nach Croll die warmen Meeresströmungen hauptsächlich durch diese constanten Windrichtungen regulirt werden, so werden auch sie nach einer bestimmten Richtung hingelenkt. Gegenwärtig geht ihre Richtung nach Norden und das ist der Grund, warum die nördliche Hemisphäre verhältnißmäßig so warm ist und so hoch hinauf bewohnbar bleibt. In einer früheren Zeit gingen diese Strömungen nach Süden und dadurch wurde die nördliche Hälfte kühler und kühler, bis sie endlich vergletscherte. Ob diese Bedingungen allein bei der gegenwärtigen Vertheilung von Wasser und Land eine Vergletscherung hervorzubringen im Stande sind, mag dahin gestellt sein, soviel ist gewiß, daß sie eine Verschiebung der Wärme auf der Oberfläche im Gefolge haben, deren Betrag freilich nicht angegeben werden kann.

Die Richtigkeit dieser Hypothese vorausgesetzt, wäre die letzte Eiszeit vor 80000 Jahren gewesen. Die nächsten Eiszeiten würden nach 150000, nach 500000 und nach 800000 Jahren eintreten.

Achter Vortrag.

Das Wasser in Form von Quellen.

Wenn man dem Wasser auf seinem Wege durch die Erdoberfläche folgt, so muß man erstaunen über die Arbeit, die es im Laufe der Zeit zu verrichten vermag. Der Wassertropfen der einen Stein höhlt, der führt auch ganze Berge hinweg, der dringt auch durch die dichtesten Gesteine, zerlegt sie und verschafft uns einen fruchtbaren Boden. Unermüdlich eilt er über und durch die Oberfläche, löst hier auf, setzt dort ab, erfrischt, belebt und erhält noch dazu die ganze organische Welt.

Wer sieht eine Quelle dem Felsen entspringen und freut sich nicht an dem geheimnißvollen Murmeln, an dem freudigen Plätschern, an dem klaren perlenden Strahl, der nun über Kieseln sanft dahineilt und Wälder, Felder und Wiesen befruchtet? Dem Gefangenen gleich, der freudig das wiedergewonnene Licht des Tages begrüßt, entsteigt er der finsternen Felsengrotte, aufblühend mit magischem Lichte im Glanze der Sonne und leiser rauschend eilt er zur Tiefe nieder. „Ragen Klippen dem Sturz entgegen, schäumt er unmutig, stufenweise zum Abgrund. Im flachen Bette schleicht er das Wiesenthal hin, und in dem glatten See weiden ihr Antlitz alle Gestirne*.“

Da, wo einst Troja soll gelegen haben, öffnet sich das Thal Tuzla-ssu (Salzwasser) und bietet dem Beobachter bald blau, roth, bald gelb und weiß gefärbte Gesteine. Hin und wieder bemerkt er Lachen, in denen sich ein sehr salziges Wasser sammelt, nach dessen Verdunstung eine, gewöhnlich weiße, bisweilen auch anders gefärbte Salzmasse zurückbleibt. Dieses

*) Göthe, Gesang der Geister über den Wassern.

Wasser rührt von Quellen, die im Hintergrunde zahlreich den Thalwänden entspringen. Da wo die Thalwände zu einer engen Schlucht zusammenrücken, entspringt ein mächtiger, dampfender Wasserstrahl hoch im parabolischen Bogen aus der Felswand, der, einzig in seiner Art, heißes Wasser ergießt und bei seinem Ausfluß im Durchmesser einen Fuß mißt. Wir haben hier eine natürliche Springquelle, die alle künstlichen in Schatten stellt. In der Grotte Male-Mort bei St. Etienne in der Dauphiné ist eine andere Springquelle, von geringerem Durchmesser, die 7 bis 8 Meter hoch emporsteigt.

Die Ursache des Emporsteigens dieser natürlichen Springquellen, gründet sich, wie auch bei den künstlichen, auf das Gesetz communicirender Röhren. Wenn man zwei Röhren durch eine dritte verbindet, und sie mit Wasser füllt, so stellt sich das Wasser in der einen Röhre so hoch wie in der andern. Ist die eine Röhre länger als die andere, so fließt aus der kürzeren so lange Wasser aus, bis es in beiden gleich hoch steht. Sorgt man dafür, daß die längere Röhre fortwährend gefüllt bleibt, so springt das Wasser aus der kürzeren nahezu bis zur Höhe der längeren fort und fort empor. Darnach ist es klar, daß auf dem Gipfel eines Berges Quellen unmöglich sind. Die früheren Angaben, wonach auf dem Gipfel mancher Berge Quellen entspringen sollen, haben sich als irrig herausgestellt. So zeigte Arago*), daß eine Quelle, die auf dem Gipfel des Mont Ventoux emporsprudeln soll, noch 195 Meter unter dem Gipfel liegt. Ebenso wird eine Quelle, die 6 Meter unter dem Gipfel des Brocken im Harze liegt, von dem Wasser gespeist, das auf den Rücken des Berges fällt und durch Spalten herabrinnt.

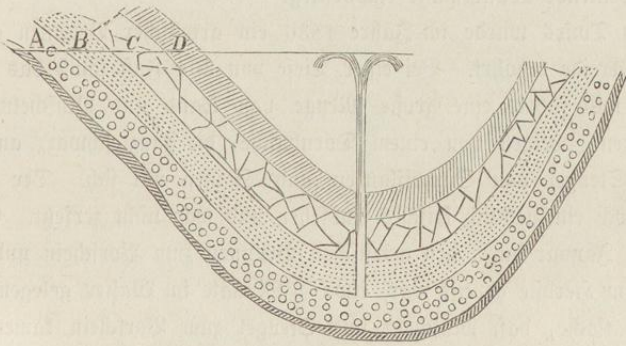
Es kommt nun darauf an, zu zeigen, daß in den Gesteinen der Erdoberfläche communicirende Röhren möglich sind. In den meisten ungeschichteten Gesteinen, Granit, Syenit, Basalt, Trachyt, Porphyr finden sich Spalten mehr oder weniger vertikal, durch welche das Wasser herabläuft. Diese Spalten kreuzen sich und bedingen dadurch die prismatische oder säulenförmige Absonderung. An der Oberfläche sind sie zum Theil durch Thon, Sand oder Kies verstopft und unsichtbar. In der Tiefe bilden sie aber eben dadurch communicirende Röhren, deren kürzestem

*) Annuaire 1834 S. 192, nach G. Bischof, Lehrb. der Geol.

Schenkel das Wasser entquillt. Zu Aberdeen in Schottland hat man im Granit eine Wasserader in einer Tiefe von 180 Fuß erbohrt. Sie rührt von einer mit Sand und Kies erfüllten Spalte und steigt 6 Fuß über die Oberfläche*). Ebenso hat man zu Wildbad in Württemberg fünf Bohrlöcher nicht weit von einander in den Granit niedergetrieben und in einer Tiefe von 60 Fuß, Wasser von 29 und 30° erbohrt. Die Spalten, in denen das Wasser in der Tiefe fließt, sind wahrscheinlich gegen den Horizont stark geneigt und konnten deswegen durch ein Bohrloch nicht leicht verfehlt werden. Dieses Bohrloch führt jetzt das Wasser auf dem kürzesten Wege zur Oberfläche.

Aufsteigende Quellen sind auch noch auf andere Weise möglich. Wechseln wasserdichte Schichten — Lehm-schichten — mit wasserdurchlassenden Schichten — Sand, Kies oder zerklüftetem Kalkstein — ab, und werden die Schichten an beiden Enden aufgerichtet, so muß dem kürzeren Schenkel Wasser entquellen, wenn der längere damit angefüllt ist. Treibt man

Fig. 11.



ein Bohrloch nieder, das die Schicht A erreicht, so springt das Wasser über die Oberfläche um so höher, je höher der längere Schenkel über den Ausflußpunkt ragt. Quellen, die auf diese Weise erbohrt werden, nennt man artesische Brunnen. Oft kann man mit ziemlicher Sicherheit angeben, wo artesische Brunnen können erbohrt werden. In den Thälern aller Gegenden, auf deren Höhen zerklüfteter Kalkstein zum Vorschein kommt, ist die Erbohrung wahrscheinlich.

*) Compt. rend. 1836 No. 24 p. 575 nach G. Bischof.

An artesischen Brunnen sind einige interessante Erscheinungen beobachtet worden, die über die Beschaffenheit unterirdischer Schichten, in denen sich das Wasser bewegt, Licht verbreiten. Unmittelbar nach dem Erbohren des Brunnens tritt das Wasser nicht selten mit großer Energie hervor, gleichwie ein plötzlich angelassener Springbrunnen, und erst nach mehreren Stunden stellt sich ein regelmäßiger Ausfluß ein. Diese Erscheinung erklärt sich durch die Annahme einer Höhle im Erdinnern, in welcher Gase durch das hindurchfließende Wasser comprimirt worden sind. Zu Nangis bei Melun, hatte man bereits 180 Fuß tief gebohrt, ohne Wasser zu erhalten. Plötzlich drang ein Luftstrom hervor, so stark, als wenn er durch ein Gebläse erzeugt worden wäre. Hier hatte man ohne Zweifel den Hohlraum angebohrt, in dem die Gase — wahrscheinlich atmosphärische Luft — abgesperret und comprimirt wurden. Die Erbohrung von Hohlräumen gehört nicht zu den Seltenheiten. Zu St. Ouen in Frankreich z. B. ist es vorgekommen, daß der Bohrer bei 150 Fuß Tiefe mit einmal in einen Hohlraum, einen Fuß tief, hinabsank*), aus welchem eine bedeutende Wassermasse emporstieg.

Zu Tours wurde im Jahre 1830 ein artesischer Brunnen gänzlich in der Kreide erbohrt. Bei einer Tiefe von 364 Fuß schoß das Wasser hervor und führte eine große Menge von Sand und Muscheln, nebst zolllangen Zweigen von einem Dornbusche, die ganz schwarz ausfahen, ferner Stengel von Sumpfpflanzen und Samen mit sich. Der Samen hatte noch ein ziemlich frisches Aussehen und war nicht zerseht. Er kam am 30. Januar durch den artesischen Brunnen zum Vorschein und hatte, da er im Herbst gereift war, etwa 4 Monate im Wasser gelegen. Aus der Thatfache, daß Muscheln und Stengel zum Vorschein kamen, muß man schließen, daß das Wasser in unterirdischen, ziemlich großen Kanälen und nicht im Detritus sich bewegte, weil sonst die Muscheln und Stengel wären abgesetzt worden. Ebenso muß man schließen, daß der Ort, von welchem diese Stengel und Samen entführt worden sind, ziemlich weit von Tours entfernt sein müsse, weil der Samen 4 Monate lang von fließendem Wasser fortgetragen wurde. Man vermuthet daher den Ursprung des Wassers in einigen feuchten

*) Lyell, principl. of geol. Bd. 2 S. 84, übersezt von Hartmann.

Thälern der Auvergne oder des Vivarais, etwa 30 Meilen weit von Tours*).

Aus dem Wechsel wasserdichter und wasserdurchlassender Schichten kann die Landwirthschaft da Nutzen ziehen, wo Sümpfe eine Gegend ungesund und unfruchtbar gemacht haben. Es genügt, in den Sümpfen Bohrlöcher bis zur nächsten wasserdurchlassenden Schicht zu treiben, um sie in kurzer Zeit trocken zu legen. Einen Beleg hierzu bietet die Ebene von Paluns bei Marseille, die jetzt mit reichen Weingärten prangt, ehemals aber sumpfig war und dem Beobachter einen unfreundlichen Anblick bot. Der König René ließ in diesen Sümpfen Bohrlöcher bis zur nächsten wasserdurchlassenden Schicht treiben, legte Gräben an, die er mit den Bohrlöchern in Verbindung setzte und verwandelte die ödeste Landschaft in den blühendsten Garten. Das abgeleitete Wasser gelangte durch unterirdische Kanäle nach dem Hafen Mion bei Cassis und trat hier als Springquelle hervor.

Einiger sehr interessanten aufsteigenden Quellen in der Wüste bei Suez gedenkt Fraas**). Diese Quellen fließen an der Dase Min Musa aus 4 bis 5 Meter hohen, kegelförmigen Hügeln mit einer Temperatur von 17 bis 23° R. und liefern theils Trinkwasser, theils ungenießbares Bitterwasser. Eine von diesen Quellen liegt tausend Schritte östlich von der Dase und fließt von einem 5 Meter hohen Hügel herab, an dessen Fuße einsam eine Palme steht. Der Durchmesser des Wasserbassins ist 1,3 Meter. Den Boden bedeckt ein tintenschwarzer Schlamm, in dem Insektenreste, Infusorien, namentlich aber Diatomeen gefunden werden. Zahlreiche Wasserkäfer, die sich an der Hand fest beißen, Melanien, die lustig im lauen Wasser herumkriechen, und Hunderttausende von durchsichtigen Pinselflöhen (Cypris delecta) tummeln sich in der einsamen Quelle. Das Wasser fließt aus einer handbreiten Rinne ab und hat kaum den Fuß des Hügels erreicht, da ist es auch spurlos im Wüstenlande verschwunden. Wie kommt es, daß es mitten im Wüstenlande emporsteigen kann? Von Millionen kleiner Cypridinen kommt es, die mit ihren Kalkschalen den Sand cementirten und den Hügel aufbauten. So

*) Lyell, principl. of geol.

**) Oscar Fraas: Aus dem Orient. S. 183.

verdanken wir hier den einen aufsteigenden Schenkel der communicirenden Röhren dem unermüdlichen Schaffen organischer Wesen. Das Wasser selbst stammt von dem 2 bis 3 Meilen entfernten Nahah-Gebirge, dessen Schichten anfangs schwach gegen das Meer geneigt sind. In diesen Schichten fließt das spärliche Wasser, und da, wo die Schichten abbrechen und steil abfallen, fließt es aus. Hier aber würde es sogleich von dem heißen Sande verschlungen, wenn nicht die kleinen Thierchen vorsorglich es eingebaut und aufgestaut hätten. Die ganze Dase ist so ein Geschenk dieser kleinen nimmer müden Geschöpfe.

Fehlt in den communicirenden Röhren der eine aufsteigende Schenkel, so fließt die Quelle horizontal oder gegen den Horizont geneigt, nach unten ab. Auch eine einzige, mehr oder weniger geneigte Röhre ermöglicht die Existenz solcher Quellen. Jeder Brunnen, der in festem Gestein niedergetrieben wird, kann als eine hierher gehörige Quelle betrachtet werden. Das feste Gestein, von zahlreichen feinen Rissen durchzogen, nimmt das Regenwasser auf, und läßt es durch die Risse langsam zur Tiefe in den Brunnenschacht tröpfeln. — Auch die unterirdischen Flüsse müssen hierher gezählt werden. Es gibt deren sehr viele in verschiedenen Ländern. Im Kalkgebirge kommen sie am häufigsten vor und unter allen Kalkgebirgen ist vielleicht der Karst, die Gebirgsplatte Krains und Istriens das merkwürdigste. Zahlreiche Trichter, durch welche das Regenwasser in die Tiefe stürzt, durchlöchern das Kalkgebiet. Das Wasser aber kommt später in Form eines Flusses oder einer Quelle zum Vorschein. So ist der Timavo in Istrien, der bei Duino ins Meer fließt, einer der interessantesten unterirdischen Flüsse. Seine 3 Hauptarme bieten ein großartiges Schauspiel, wie sie brausend dem Felsenschöße entströmen und stolz auf ihrem Rücken von der Quelle bis zur Mündung Schiffe tragen. Auch die Wasserfälle können ohne Zwang hier eingereiht werden. Zu den merkwürdigsten gehört der Niagarafall, dessen Donner 75 Kilometer weit gehört wird. Er führt in der Secunde 2500 Cubikmeter Wasser. Durch die Ziegeninsel theilt er sich in 2 Arme, von denen der eine 600 Meter, der andere 270 Meter breit ist. Beide stürzen sich dann 45 Meter und 49 Meter in die Tiefe. Weit großartiger noch ist der von Livingstone entdeckte Wasserfall des Zambesi. Zwei gewaltige Ströme, der eine 1700 Meter, der andere 560 Meter breit, stürzen sich 106 Meter tief in eine

schmale senkrechte Spalte des Basaltgesteins. Dampfsäulen steigen wirbelnd aus dem Abgrund und Dampfwolken schweben 300 bis 350 Meter hoch über der Wasseroberfläche.

Durch den Detritus sinkt das Wasser schnell in die Tiefe. Ruht dieser Detritus auf wasserdichtem Gestein, so kann das Wasser in der Tiefe weder abfließen noch verdunsten. Treibt man hier einen Schacht nieder, so trifft man Wasser an, das fast ein constantes Niveau behauptet, und so leicht nicht versiegt. Auch dieses Wasser muß als eine hierher gehörige Quelle betrachtet werden.

D. Fraas*) erzählt von einer höchst interessanten Quelle, die aus einer Granitwand fließt, wie folgt: „So sieht ein scharfes Auge am Fuße des Horeb wie des Musa in ziemlicher Höhe über der Thalsohle, an der glatten, kahlen Bergwand einzelne grüne Flecke in schwindelnder Höhe. Anfangs diese Stellen für Stöcke von Epidot oder Pistazit erachtend, welche an der röthlichen Granitwand sich breit gemacht hätten, belehrte mich der Beduine, daß hier oben Wasser wäre und gute Jagdplätze für Steinhühner. Auf der linken Thalseite des Klosterthals, ward nun zu einem der nächstliegenden grünen Flecke hinaufgeklettert. Senkrecht erhebt sich hier aus dem Gebirgsschutt in röthlichem Farbenton eine Granitwand, an deren Fuß sich zuerst ein Feigenbaum erkenntlich macht und beim Nähertreten Buschwerk und grüne Kräuter sich zeigen, hervorgerufen durch ein kleines Wasserbassin, das aus einer Quelle in unmittelbarer Nähe gespeist wird. Diese läuft wunderlicher Weise aus der glatten Granitwand etwa in Brusthöhe heraus, sie ist zwar nicht stark, etwa in der Stärke eines Stuttgarter Brunnenrohrs, aber genügt, das künstlich angelegte Bassin am Fuß der Wand zu füllen, aus welchem ein kleines terrassenförmig angelegtes Gärtchen von einigen Ruthen Größe gewässert wird. An und für sich schon mußte es auffallen, aus der glatten Granitwand eine Quelle fließen zu sehen, das Auffällige mehrte sich, als sich bei näherer Beobachtung die Oeffnung, aus der das Wasser floß, als eine künstlich gemachte herausstellte. Ein Loch von einigen Zoll Durchmesser ist hier mittelst eines Schlaginstrumentes, dessen Spuren man deutlich genug noch wahrnimmt, in die Wand getrieben und wurde damit

*) Oscar Fraas: Aus dem Orient, Seite 24.

beiläufig eine halbschuhige Granitschale durchgebrochen, hinter welcher ein natürlicher Quellauf ist, der nunmehr durch die künstliche Oeffnung den Weg gefunden. Vergeblich sieht man sonst sich nach Wasserspuren an der Bergwand um, die etwa das Vorhandensein des früher hinter der Granitwand verborgenen Quells hätten verrathen können. An der 40 Fuß hohen Wand, die mit den Vertikalklüften des ganzen Musastockes parallel läuft, spiegeln nur die Blätterdurchgänge der Feldspathkrystalle im heißen Sonnenschein und keinerlei Anzeichen verrieth den Wasserschatz, der hinter der Wand steckte. Die Quelle ist von Menschenhand „aus dem Felsen geschlagen“ und ob auch das murmelnde Wasser sein Geheimniß nicht verräth und kein Sterblicher je erfahren wird, wer dasselbe zu Tage gelockt, so dachte ich doch an diesem wunderbaren Quell mit gewisser Vorliebe an den großen Kenner der Menschen und der Berge, an Moses, den Knecht Gottes, der nach Exod 17,6 „einen Fels in Horeb schlug, daß Wasser herauslief und das Volk trank.“ Offenbar rührt diese Quelle von einer Spalte, die sich in dem Gebirgsstocke aufwärts zieht, und durch welche das Wasser langsam herabrieselt; sie kann daher als eine zwei oder einschenkelige aufgefaßt werden.

Eine besondere Art von Quellen entsteht durch die Condensation von aufsteigenden Wasserdämpfen. In dem Krater von Puzzuoli z. B. findet sich eine solche, deren Wasser zu Bädern verwendet wird. Auch die intermittirenden Quellen müssen in Bezug auf ihren Ausfluß als eine besondere Art von Quellen aufgefaßt werden, bei welchen das Princip des Hebbers zur Geltung kommt.

Unter intermittirenden Quellen versteht man diejenigen, welche in regelmäßig wiederkehrenden Perioden abwechselnd ausfließen und aufhören zu fließen. Eine der interessantesten dieser Quellen ist in der Schweiz die Fontana Chistaina im Val d'Ausa.

In einer Höhle springt hier das Wasser aus dem Felsen in ein Becken. Dreimal des Tags quillt es hervor, Morgens, Mittags und Abends und dreimal unterbricht es seinen Ausfluß. Die nachstehende Figur 12 erläutert das Princip. Wenn die Höhle gefüllt ist, beginnt das Wasser auszufließen und fließt so lange, bis der Wasserspiegel in der Höhle in gleichem Niveau mit der Ausflußöffnung ist.

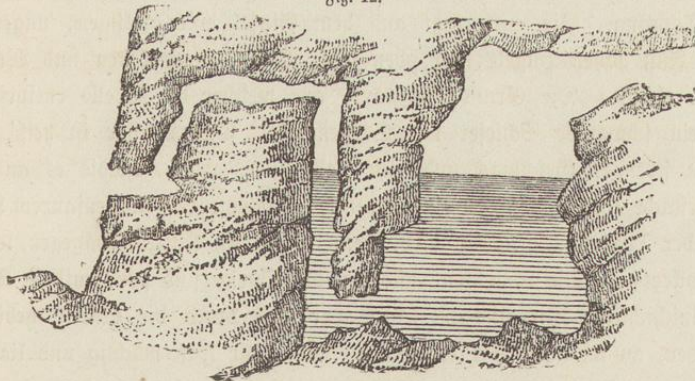
Weit wichtiger als diese physikalischen Verhältnisse ist für die Geo-

logie die chemische Zusammensetzung des Quellwassers. Zu den Bestandtheilen, die von dem Quellwasser theils chemisch aufgelöst, theils mechanisch fortgerissen werden, gehören hauptsächlich die folgenden: kohlensaurer Kalk, kohlensaures Eisenorydul, kohlensaures Manganorydul, kohlensaures Natron, Kochsalz, Kieselsäure, Talk, Thonerde und Bergöl. Der kohlensaure Kalk fehlt nur in wenigen Quellen. Da viele Quellen ihn vorzugsweise enthalten, so hat man diese

Kalkhaltige Quellen

genannt. Ueberall wo Kohlensäurehaltiges Wasser mit Kalkstein d. i. mit kohlensaurem Kalk zusammen kommt, wird ein Theil desselben gelöst und fortgeführt. Da das Regenwasser einen Theil der Kohlensäure der

Fig. 12.



Luft absorbirt, so ist dieses Wasser fähig, kohlensauren Kalk aufzulösen. Die Menge der Kohlensäure im Regenwasser vermehrt sich auf dem Wege in das Erdinnere noch bedeutend, zunächst indem das Regenwasser die faulende Erdkruste durchdringt und die sich hier bildende Kohlensäure absorbirt, sodann indem sie die aus dem Erdinnern aufsteigende Kohlensäure aufnimmt. Je mehr Kohlensäure das Wasser absorbirt, desto mehr kohlensauren Kalk vermag es aufzunehmen. Auch ist es bekannt, daß der kohlensaure Kalk um so leichter gelöst wird, je feiner er mechanisch vertheilt ist. Diejenige Quelle muß also unter sonst gleichen Umständen den meisten kohlensauren Kalk lösen, die mit Kohlensäure gesättigt, durch fein zertheilten Kalk fließt. Feinzertheilter kohlensaurer Kalk findet sich überall da, wo kalkhaltige Silikatgesteine durch die Kohlensäure der Luft unter

Mitwirkung von Wasser zersezt worden sind, wie dies z. B. auch in Wiesbaden der Fall ist. Bei dieser Zersezung bildet sich außer Thon und Kieselsäure besonders kohlen-saurer Kalk. Daher kommt es, daß die meisten Wiesbadener Brunnen, deren Wasser aus dem Taunus- oder Sericit-schiefer stammt, viel kohlen-sauren Kalk, während die Quellen in den bayerischen Alpen, deren Wasser durch compacte Kalkfelsen rieselt, nur sehr wenig kohlen-sauren Kalk enthalten.

Läßt man Kohlen-säure-haltiges Wasser an der Luft stehen, so entweicht die Kohlen-säure rasch. Kommt daher eine kalkhaltige Quelle an das Tageslicht, so verliert sie an der Luft alsbald ihre Kohlen-säure und in dem Maße als die Kohlen-säure entweicht, schlägt sich kohlen-saurer Kalk nieder. Einen Beleg hierzu bildet die Kalkquelle zu San Vignone in Toscana. Sie entspringt aus dem Gipfel eines felsigen, ungefähr 100 Fuß hohen Hügels, der oben flach ist und nach Osten und Westen sanft abfällt. Die Grundgebirgsart, aus welcher die Quelle entspringt, ist ein schwarzer Schiefer mit Serpentin*). Das Wasser ist heiß, hat einen strengen Geschmack und eine hellgrüne Farbe. Sowie es an die Oberfläche kommt, sezt es eine bedeutende Menge von kohlen-saurem Kalk ab, der Travertin genannt wird, wenn er fest ist, Kalktuff dagegen, wenn er locker ist. Die Schichten rund um die Quelle sind größtentheils Travertinschichten. Sie sind im Laufe der Zeit durch die Quelle gebildet worden, an manchen Stellen 15, 30 und mehr Fuß mächtig und liefern einen vortrefflichen Baustein. Wie bedeutend der Absatz von kohlen-saurem Kalk unmittelbar nach dem Ausflusse ist, das läßt sich daran ermessen, daß im Laufe eines jeden Jahres in der Leitungsröhre, die das Wasser unter einem Neigungswinkel von 30° in die Bäder führt, eine Travertin-masse von der Dicke eines halben Fußes gebildet wird. Bei dem Brechen des Travertins hat man in einer Tiefe von 5 bis 6 Fuß hier und da römische Ziegeln angetroffen. An einer Seite des Abhangs wird die Travertin-masse plötzlich durch den Orciafluß unterbrochen. Das Quellwasser wird hier von dem Flußwasser aufgenommen, rasch fortgeführt und so kommt der größte Theil des Kalkes, den die Quelle aus der Tiefe bringt, wahrscheinlich ins Meer. Die Bäder von San Vignone, sowie

*) Lyell, Principles of Geol. übersezt von Hartmann.

auch die Bäder von San Filippo sind in der Nähe des Amiata-Berges, der größtentheils aus vulkanischen Produkten besteht. Interessant ist die incrustirende Wirkung der Kalkquellen, die besonders in San Filippo benutzt wird, um Gegenstände in Vas-Relief herzustellen. Hier leitet man das Quellwasser durch Kanäle in verschiedene Behälter, damit es einen Theil seiner Bestandtheile, namentlich Kalk und Gyps absetze. Aus diesen Behältern führt eine Röhre das Wasser an die Decke eines Zimmers, von der es 10 bis 12 Fuß tief herabfällt. Während es herabfällt, bricht es sich an vielen zweckmäßig vertheilten Stäben so, daß es unten in lauter Wasserperlen ankommt. Setzt man hier die mit einer Seifenauflösung dünn überzogenen Formen aus, so setzt sich sofort eine feste marmorartige Masse ab, die einen schönen Abguß der Form liefert.

Eine andere nicht minder interessante Incrustationsweise beobachtet man an den kalkreichen Karlsbader Thermen. Diese Quellen entführen durch ihre mechanische Gewalt zahlreiche kleine Körnchen von Quarz, Granit und Feldspath dem Erdbinnern. Sowie sie mit dem Wasser an die Oberfläche kommen, wird eine concentrische Schicht von kohlensaurem Kalk auf ihnen niedergeschlagen. Dadurch schwerer geworden, sinken sie seitwärts nieder, treiben wieder in den Strudel und werden von Neuem in die Höhe gewirbelt. Ein zweiter Ansaß folgt dem ersten und das geht so fort, bis sie zu schwer, von dem Wasserstrom zur Seite gewirbelt werden. Hier bleiben sie liegen und werden durch kohlensauren Kalk zusammenge kittet. Dadurch entsteht der Karlsbader Sprudel- oder auch Erbsenstein, so genannt, weil diese Neubildungen gewöhnlich die Größe einer Erbse haben. Im Querschnitt zeigen sie lauter concentrische Schichten, die um ein Gesteinsfragment in der Mitte herumliegen. Wäre der Absatz auf diesen Gesteinsfragmenten ununterbrochen erfolgt, so hätten sich die Schichten nicht bilden können, da aber die Körnchen auf und ab gewirbelt wurden, so trat eine Unterbrechung im Absätze des kohlensauren Kalkes ein so oft die Körnchen in die Tiefe kamen, und dadurch allein ist die Schichtenbildung möglich geworden. Außer kohlensaurem Kalk enthalten die Karlsbader Thermen kohlensaures Eisenoxydul, kohlensauren Strontian, phosphorsauren Kalk, phosphorsaure Thonerde, Fluorcalcium, kohlensaure Magnesia und Kieselsäure. Die 6 ersten Bestandtheile setzen

sich wie Berzelius gefunden hat, in dem Maße ab, als das Wasser seine Kohlensäure verliert, die beiden letzten dagegen werden erst niedergeschlagen, wenn das Wasser verdunstet. Daher enthalten die Sprudelsteine in der Nähe der Quellen diese 2 Bestandtheile nicht.

Zu Neusalzwerk ist ein 2160 Fuß tiefes Bohrloch, aus welchem in der Secunde ein Cubikfuß Wasser ausfließt, das außer Kochsalz besonders kohlensaures Eisenorydul, kohlensauren Kalk und Kohlensäure enthält. Da wo dies Wasser kleine Cascaden bildet, bietet es der Luft mehr Berührungsflächen als vorher, die Kohlensäure entweicht und die Bildung von starken Kalk- und Eisenniederschlägen ist die unmittelbare Folge. Das Eisen wird aber nicht als kohlensaures Eisenorydul, sondern als Eisenorydhydrat niedergeschlagen. Sowie nämlich die Kohlensäure entweicht wird das Eisenorydul durch den Sauerstoff der Luft oxydirt und als Eisenorydhydrat niedergeschlagen. Solche Absätze sind in der Regel ockerbraun, kugelig und nierenförmig und haben die größte Aehnlichkeit mit Glaskopf, dessen Bildung daher auf diese Art erfolgt sein muß. Noch eine andere sehr bemerkenswerthe Thatsache, die uns über die Bildung kalkspathführender Gänge Aufschluß zu geben vermag, läßt sich hier beobachten. Der Absatz in der Nähe des Bohrloches besteht größtentheils aus Eisenorydhydrat und je weiter man sich von diesem entfernt, desto reiner trifft man den kohlensauren Kalk an. Würde nach längerem Laufe dies Wasser an einer Gebirgsspalte hinabsickern, so könnte sich ein Kalkspathgang bilden, der nur Spuren von Eisenorydhydrat enthielte. Und es ist bemerkenswerth, daß auch der reinste Kalkspath in der Regel noch Spuren von Eisen enthält. Sie begreifen jetzt auch leicht, wie sich Gänge und Lager von Eisenorydhydrat bilden können; denn wenn das Neusalzwerker Wasser gleich nach seinem Ausflusse an einer Spalte hinab rieselte, so würde sich zunächst ein Gang von Eisenorydhydrat bilden, der durch kohlensauren Kalk verunreinigt wäre.

Sie werden fragen, wie kommt es denn, daß sich die Kanäle, durch welche das Mineralwasser mit so vielen Substanzen beladen fließt, durch eben diese Substanzen nicht verstopfen? Sie wissen, daß kohlensaurer Kalk sich in Wasser nur dann löst, wenn das Wasser Kohlensäure enthält, und nur dann niedergeschlagen wird, wenn dies Wasser an der Luft seine Kohlensäure verliert. Sie wissen auch, daß kohlensaures Eisen-

oxydul, kohlensaurer Strontian und andere Substanzen sich ebenso verhalten und daß Gyps, Kochsalz und Magnesiumsalze sich niederschlagen, wenn das Wasser das sie in Lösung hat, verdunstet. Da nun Wasser nur in geschlossenen Kanälen aufsteigen kann und folglich mit Luft gar nicht in Berührung kommt, so kann es auch die Kohlensäure, die zur Lösung der Substanzen nothwendig ist, nicht verlieren, und kann ebenso wenig verdunsten, mithin können sich auch die Kanäle nicht mit Absätzen anfüllen. Weil Wasser nur in geschlossenen Kanälen aufsteigen und Absätze nur an der Luft bilden kann, so können Kalk- oder Eisengänge auch nur dadurch entstehen, daß kalk- oder eisenhaltiges Wasser in Spalten von oben herab rieselt. — Wenn man die sämmtlichen Bestandtheile einer Quelle erfahren will, dann muß man sich nicht begnügen, bloß das Quellwasser zu analysiren, man muß namentlich noch die Absätze des Quellwassers ins Auge fassen, weil sich in diesen diejenigen Bestandtheile, die von der Quelle nur in Spuren mitgeführt werden, concentrirt haben. Die Analyse solcher Absätze hat zur Entdeckung von Kupfer, Zinn, Antimon, Fluor, Arseniksäure und Phosphorsäure geführt. Alle Quellen, die Kochsalz in größerer Menge gelöst haben, führen auch kohlensaurer Kalk, kohlensaures Eisenoxydul und andere Bestandtheile mit sich. Um das Kochsalz zu gewinnen, müssen die Kalk- und Eisensalze erst entfernt werden. Dies erreicht man dadurch, daß man das Wasser in offenen, langen Kanälen mit der Luft in Berührung bringt, dann über Reiser rieseln läßt, so daß fast jeder Tropfen einige Zeit mit der Luft in Berührung bleibt, und seine Kohlensäure abzugeben gezwungen wird. Wenn auf diese Weise die Eisen- und Kalksalze niedergeschlagen sind, wird das Wasser so lange abgedampft, bis das Kochsalz sich absetzt.

Von nicht geringerem Interesse als die Kalkquellen sind die
Kieselsäurequellen.

Sie kommen an vielen Orten vor und haben häufig eine sehr hohe Temperatur. Die Kieselsäurequellen Islands werden Geysir genannt und diese bieten des Interessanten so viel, daß sie eingehender besprochen zu werden verdienen. — Sartorius von Waltershausen, der mit Bunsen Island bereist, und diese Quellen studirt hat, gibt ungefähr folgende Beschreibung. In einer etwa zwei Meilen breiten Ebene, die sich vom Fuße des Blafell gegen das Ufer des Meeres hin erstreckt, liegt das

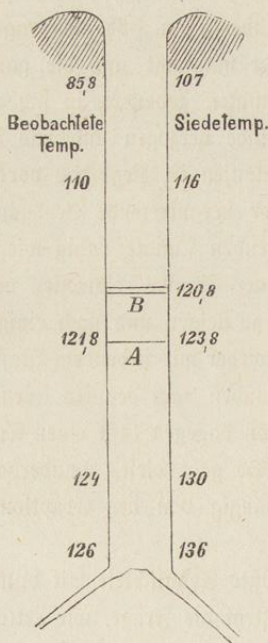
Quellensystem des großen Geyser am Fuße eines aus schiefbrigem Klingstein und grauem Trachyt zusammengesetzten Hügels, der den Namen Laugafjall führt. Der Blafell schließt das Geyserthal in Nordosten und ist theilweise mit Schnee bedeckt. Gegen Ost und Südost erblickt man flache Hügel und Bergreihen, über denen, von höheren Stellen aus gesehen, der Regel des Hekla erscheint. Schon aus der Ferne bemerkt der Reisende am Fuße des Laugafjall entlang an verschiedenen Stellen neben leichten, weißen Dämpfen, die über den Boden hinziehen, kräftigere Rauchsäulen wolkenförmig emporwirbeln; bald aber wird er in ein complicirtes System größerer und kleinerer warmer Quellen und Kochbrunnen eingeführt, die hier Jahraus Jahrein aus einem gemeinsamen vulkanischen Spaltensysteme hervorbrechen. Aus dichtem Kieselunter Abjaß, der die Form eines Kegels hat, bricht der große Geyser hervor. Der Kegel ist abgestumpft, von aschgrauer Farbe und unter 8 bis 10° geböschet. Ein natürlicher Kanal steigt 74 Fuß aus der Tiefe des Kegels senkrecht empor und erweitert sich oben zu einem Becken. Der Kanal oder besser die Röhre ist 10 Fuß weit. Der Durchmesser des Beckens von Norden nach Süden beträgt 52 Fuß, von Osten nach Westen 60 Fuß. Das Innere der Röhre und des Beckens, soweit man es sehen kann, ist mit einem glatten kieselartigen Stuck bekleidet, der hart genug ist, um den Schlägen eines Hammers zu widerstehen. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist das Becken mit kristallklarem, seegrünem Wasser erfüllt, das eine Temperatur von 82° C. besitzt. Es läuft in 3 kleinen Abflußrinnen über die nach Osten gewandte Böschung des Kegels ab. Nach einiger Zeit vernimmt man unterirdisches Donnern, das, wenn auch viel weniger laut, dem durchaus ähnlich ist, welches die Vulkane während ihrer Ausbrüche vernehmen lassen. Die Oberfläche des Geyserkegels wird dabei in eine zitternde Bewegung versetzt. Während diese Erscheinung einige Sekunden fortdauert, dann bisweilen momentan nachläßt und wieder um so stärker beginnt, schwillt das Wasser im Becken, es wird nach oben convex gewölbt und zu gleicher Zeit steigen große Dampfblasen hervor, welche an der Oberfläche platzen, und das siedende Wasser mehrere Fuß hoch empor schleudern. Darauf wird es still, dichter weißer Dampf, der von jedem leichten Winde über die Ebene getrieben wird, umhüllt für kurze Zeit das Bassin. In sehr regelmäßigen Zwischenräumen von einer Stunde und

20 bis 30 Minuten wiederholt sich dieselbe Erscheinung einen Tag lang und auch wohl länger ohne Unterbrechung, bis sie plötzlich einen etwas ernsteren Charakter annimmt. Stärkeres Donnern vernimmt man aus der Tiefe; im Bassin schwillt das Wasser, schlägt hohe Wellen und wirbelt umher. In der Mitte erheben sich weiße Dampfblasen und nach einigen Augenblicken schießt ein Wasserstrahl, in feinen, blendend weißen Staub gelöst in die Luft; er hat kaum eine Höhe von 80 bis 100 Fuß erreicht, und seine einzelnen Perlen sind noch nicht im Zurückfallen begriffen, so folgt ein zweiter und dritter, höher emporsteigender, dem ersten nach. Größere und kleinere Strahlen verbreiten sich nun nach allen Richtungen; einige schießen seitwärts, andere senkrecht unter zischendem Geräusche empor; ungeheure Dampfwolken wälzen sich übereinander und verhüllen zum Theil die Wassergarben; nur noch ein Stoß, ein dumpfer Schlag aus der Tiefe, dem ein spitzer alle anderen an Höhe überragender Strahl, auch wohl von Steinen begleitet nachfolgt und die ganze Erscheinung stürzt, nachdem sie nur einige Minuten gedauert, in sich zusammen. Ehe noch der dichte Dampf im Winde verzogen und das siedende Wasser an den Seiten des Kegels abgelaufen ist, liegt das vorher ganz mit Wasser erfüllte Bassin trocken. Der hervortretende Beobachter sieht das Wasser in dem in die Tiefe führenden Kanale ruhig wie in einem Brunnen stehen. Nach Verlauf von einer Stunde, bisweilen nach kürzerer Zeit fängt das Wasser im Kanale an zu steigen und nach einigen Stunden ist das Bassin bis zum Ueberlaufen wieder mit siedendem Wasser erfüllt. Die Detonationen pflegen 4 bis 6 Stunden nach der Ausleerung des Bassins sich wieder einzustellen, die Eruption dagegen läßt einen Tag, bisweilen 3 und 4 Tage auf sich warten. So geht dieses wunderbare Spiel Jahraus Jahrein und ist ganz unabhängig von den Eruptionen des Hekla.

Aber, werden Sie sagen, es hat die größte Aehnlichkeit mit vulkanischen Eruptionen. Allerdings, und nun entsteht die Frage, wie erklärt sich diese Erscheinung. Island hat, wie wir schon wissen, thätige Vulkane und zahlreiche Gletscher, aus deren Gewölben zu gewissen Zeiten große Wassermassen strömen, die sich meilenweit über das Land ergießen und die Ursache ausgedehnter Sümpfe sind. Ein Theil dieses Wassers versinkt durch Spalten und Ritzen in die Tiefe und kommt hier mit heißen

vulkanischen Gesteinen in Berührung. In Dampf verwandelt steigt es aufwärts und entweicht brausend aus Klüften und Schländen. Ist solch ein Schlund mit Wasser gefüllt, so entsteht jedesmal ein explosionsartiges Geräusch, wenn die heißen Wasserdämpfe beim Einstürmen condensirt werden. Das Wasser des Schlundes wird dadurch heiß und heißer und erreicht 100°C . Bei dieser Temperatur würde es schnell verdampfen, wenn es unter dem gewöhnlichen Luftdruck stände. Unter diesem steht es aber nicht; es steht vielmehr unter einem Drucke, der gleich ist dem Luftdrucke plus dem Drucke der Wassersäule des Brunnens (Schlundes). Ist diese Wassersäule 10,3 Meter (32 Fuß), so siedet das Wasser erst bei 121°C .; ist sie 20,7 Meter (64 Fuß) tief, so siedet es bei 134°C . Wir

Fig. 13.



wissen aber, daß der große Geyserhschacht 74 Fuß tief ist. Unter solchem Drucke siedet das Wasser erst bei 136°C . Nun hat Bunsen kurz vor einer Eruption mit geeigneten Instrumenten die Temperatur in verschiedenen Tiefen ermittelt und gefunden, wie aus der beistehenden Figur 13 ersichtlich ist, daß die Temperatur des Wassers an keinem Orte der Geyseröhre der Siedetemperatur gleichkommt. Bei A scheint eine locale Erwärmung statt zu finden, denn hier ist die Temperatur des Wassers nur 2°C . unter der Siedetemperatur, an allen übrigen Orten ist die Differenz weit größer. Das Wasser in der Geyseröhre rührt zum Theil von dem Wasserdampf, der durch kleinere sich verzweigende Kanäle einströmt, zum Theil von Quellen, die unten einmünden. Der einströmende Wasserdampf hebt die Wassersäule bis zu 6 Fuß und darüber

in die Höhe. Dadurch kommt das Wasser von A nach B. Seine Temperatur bei A war $121,8^{\circ}\text{C}$.; bei B siedet es aber schon bei $120,8^{\circ}\text{C}$. Plötzlich von A nach B versetzt, hat es daher in B mehr Wärme, als zum Sieden erforderlich ist. Dieser Wärmeüberschuß verwandelt das

Wasser im Augenblick in Dampf, der einen Theil des Wassers aus der Röhre schleudert. Vom Drucke befreit, kommen die unter *A* liegenden Wassersichten plötzlich zum Sieden, Eruption folgt auf Eruption, bis der Schacht zum Theil entleert und das Wasser so abgekühlt ist, daß es nicht mehr zum Sieden kommen kann. Langsam füllt sich der Schacht wieder mit Wasser und nach einer gewissen Zeit beginnt das Spiel von neuem. Die Eruptionen würden auch ohne die örtliche Erwärmung bei *A* stattfinden, wenn nur das Wasser des Schachtes durch einströmenden Dampf so hoch gehoben wird, daß es sieden kann. Aber hierin liegt gerade die Gefahr, daß die Eruptionen einmal aufhören.

Die Eruptionen müssen auch noch aus einem anderen Grunde mit der Zeit verschwinden. Das heiße Wasser der Geyser enthält Kieselsäure in Lösung.

Verdampft ein beträchtlicher Theil dieses Wassers, so schlägt sich Kieselsäure nieder. Indem nun das Geyserwasser überfließt, wird seine Oberfläche vielfach größer, das Wasser verdampft rasch, und Kieselsäure schlägt sich nieder.

Auf diese Weise baut sich der Geyser seinen eigenen Schacht und gräbt sich damit sein eigenes Grab; denn indem der Schacht höher und höher wird, wird der Druck in der Tiefe größer und größer und das Wasser wird schließlich nicht mehr so hoch erwärmt und nicht mehr so hoch gehoben, daß es zum Sieden kommen kann. Von Zeit zu Zeit sieht man dann noch das Wasser in der Mitte sich wenig heben und kräuseln und aus der Tiefe hört man dumpfe Schläge, aber es sind vergebliche Anstrengungen zur Eruption. Der Geyser ist zu einem „Lag“ oder zu einer „Cisterne“ geworden. Es gibt deren viele in Island. Ihre Schönheit, sagt Bunsen, ist unbeschreiblich. Ueber ihrer Oberfläche erhebt sich ein leichter Dampf; das Wasser ist vom reinsten Blau und überzieht mit seiner schönen Farbe die phantastischen Gebilde an den Wänden der Cisterne, während oft auf dem Grunde die Mündung des einstmal's mächtigen Geyfers sichtbar ist. Während die heißen Wasserdämpfe in der Tiefe die Kanäle durchströmen, zersetzen sie das Gestein und erweitern die Kanäle, so daß möglicherweise der Geyerschacht auch nach der Tiefe hin wächst. Nicht unwahrscheinlich ist auch die Bildung großer Höhlen.

Island steht nicht allein mit seinen Geysern. Auf Neuseeland hat Hochstetter*) ein anderes großes Geysergebiet entdeckt. Hier ist der Te Tarata sprudel, der an Schönheit und Großartigkeit den großen Geysir auf Island weit übertrifft. Von ihm gibt Hochstetter eine getreue Abbildung, aus der man wohl erkennen kann, daß dieser Geysir ganz einzig in seiner Art ist. Ein noch reicheres Quellengebiet hat F. W. Hayden im Norden der Vereinigten Staaten von Amerika, im Quellengebiet des Yellowstone und Madison River, entdeckt. Auch hier wie in Neuseeland und Island wird Kieselstein hauptsächlich abgesetzt. Außerdem findet sich aber auch noch Kalkstein, Eisenerz, Schwefel und Schlamm. Auch hier finden sich die Quellen im vulkanischen Gebiet.

Die Analyse des Geysirwassers auf Island gab nach Forchhammer in 10000 Theilen Wasser:

Kieselsäure	4,09
Natron	1,32
Kochsalz	1,68
Schwefelsaures Natron (Magnesia).	0,62
Gyps	0,34
	8,05.

Ein Kieselstein vom Geysir in Island gleichfalls von Forchhammer analysirt ergab:

Kieselsäure	84,43
Thonerde	3,07
Eisenoxyd	1,91
Magnesia	1,06
Kalkerde	0,70
Natrium und Natron.	0,92
Wasser	7,88
	99,97.

Da im Kieselstein Eisenoxyd und Thonerde vorkommt, so muß das Geysirwasser diese 2 Bestandtheile in so geringer Menge enthalten, daß die

*) Neuseeland von Hochstetter S. 272.

Analyse nicht im Stande ist, sie darin nachzuweisen. Ein Blick auf die vorstehenden Tabellen zeigt uns, daß die Kieselsäure im Verhältniß zu den Basen im Kieselstuf in bei weitem größerer Menge vorhanden ist, als im Geyserwasser. Der größte Theil der Basen wird daher vom Geyserwasser in Auflösung weitergeführt.

Sowie es heiße Kieselsäurequellen gibt, so gibt es auch kalte; sie bieten indessen keine besonderen Eigenthümlichkeiten. Doch lehren sie uns wie auch die heißen Quellen, daß Verbindungen von Kieselsäure, Thonerde und Eisenoxyd von Wasser gelöst werden können.

Ein besonderes Interesse beanspruchen noch die

Kohlensäure-Quellen.

Die Kohlensäurequellen, auch Kohlensäuerlinge genannt, treten vorzugsweise in der Nähe thätiger oder erloschener Vulkane und basaltischer Gesteine auf. In Deutschland finden sie sich in der vulkanischen Eifel, in den Umgebungen des Laacher Sees und des Siebengebirgs, des Westerwaldes und des Taunus, des Habichtswaldes, des Meißners, des Vogelsgebirgs und der Rhön, des Fichtelgebirgs, des Erzgebirgs, des Böhmisches Mittelgebirgs und des Riesengebirgs. Sie folgen genau den basaltischen Zügen von der Eifel bis zum Riesengebirg*). Indessen gibt es auch Kohlensäurequellen mitten in sedimentären Formationen, weit entfernt von Basalten und Vulkanen z. B. in Neusalzwerk, Pyrmont, Driburg und Meinberg.

Die Kohlensäure der Säuerlinge stammt nicht aus der Luft, sondern aus dem Innern der Erde; denn das in die Erde eindringende Regenwasser nimmt verhältnißmäßig nur sehr geringe Quantitäten von Kohlensäure aus der Luft und dem Humus der Dammerde auf, Quantitäten, die vom Wasser an der Oberfläche vollkommen absorbirt werden, also bei weitem nicht ausreichen das Wasser, wenn es in der Form einer Quelle wieder erscheint, zum Schäumen zu bringen. Es stammt mithin die Kohlensäure der Säuerlinge aus der Erde selbst.

Trifft die im Erdinnern sich entwickelnde Kohlensäure aufsteigende Quellen nicht an, so erhebt sie sich durch Spalten und Risse langsam bis zur Oberfläche. Hier wird sie durch den Luftzug verweht und entgeht ge-

*) G. Bischof, vulkanische Mineralquellen und G. Bischof's Geologie 1. Band.

wöhnlich der Wahrnehmung. Ergießt sie sich aber in Höhlen oder Keller, so füllen sich diese mit Kohlensäure (deren specifisches Gewicht 1,529 ist), und gefährlich ist es, solche Räume zu betreten, weil die Kohlensäure den Erstickungstod sogleich herbeiführt. In dem Dorfe Burgbrohl z. B. sind mehrere Keller ganz mit Kohlensäure angefüllt und die Bewohner dürfen es nicht wagen, sie zu betreten. In dem Thale das sich von Burgbrohl herabzieht, findet man in den Vertiefungen häufig todte Geschöpfe. Jeder Vogel, der unvermuthet die Kohlensäureatmosphäre bestreicht, sinkt plötzlich nieder und erstickt*).

Von jeher berühmt ist die Hundsgrotte beim See Agnano, unweit Neapel. Ohne Gefahr können Menschen in dieser Grotte gehen, aber jeder Hund, der mit seinem Kopfe dem Boden nahe kommt, bricht zusammen und erstickt nach kurzer Zeit. Sehr bekannt ist auch die Höhle von Montjoly in dem Lavaströme, der sich von Clermont nach Rojat in der Auvergne erstreckt. Auch auf deren Boden hat sich eine Schicht Kohlensäure ausgebreitet, die jahraus jahrein dieselbe zu sein scheint, während in Wirklichkeit die Kohlensäure, die momentan in der Höhle vorhanden ist, rasch durch die aus der Erde aufsteigende verdrängt und mit der Luft vermischt wird.

Trifft die Kohlensäure auf ihrem Wege nach der Oberfläche Wasser an, so wird sie von demselben verschluckt. Die Absorptionsfähigkeit des Wassers für Kohlensäure ändert sich mit der Temperatur und dem Drucke. Bei dem doppelten Drucke vermag es doppelt so viel, bei dem dreifachen, dreimal so viel, bei dem vierfachen ungefähr viermal so viel Kohlensäure zu absorbiren, als unter dem einfachen. Nicht so einfach ist das Verhältniß, wenn die Temperatur des Wassers sich ändert. Nach W. B. und R. C. Rogers, absorbiren 100 Raumtheile Wasser, die unter einem Drucke von 28 Pariser Zollen Quecksilber (Atmosphärendruck) stehen bei:

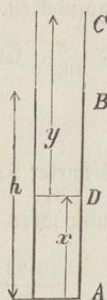
0°	R.	175,7	Raumtheile Kohlensäure.	
3,5°	"	147,9	"	"
8		122,2	"	"
12,5°		100,5	"	"

*) G. Bischof. L. d. G.

16,9° R.	83,8	Raumtheile	Kohlensäure.
21,4	68,6	"	"
25,8	57,5	"	"
30,2	50,3	"	"
52,5	11,4	"	"

Weil die Kohlensäure wie jedes Gas mit zunehmender Temperatur sich ausdehnt, so hat Rogers die Raumtheile auf 12,5° R. reducirt und dadurch die vorstehende Tabelle erhalten. Mit wachsender Temperatur, das sieht man sogleich, nimmt das Absorptionsvermögen des Wassers rasch ab und bei 12° R. und einem Barometerstande von 28 Pariser Zollen, absorbirt ein Cubikmeter Wasser genau einen Cubikmeter Kohlensäure von gleicher Temperatur. In einem Bohrloche von 20,6 Meter Tiefe vermag der unterste Cubikmeter Wasser, der unter einem Drucke von 3 Atmosphären steht, bei einer Temperatur von 12° R. 3 Cubikmeter Kohlensäure zu absorbiren. Steigt dieser Cubikmeter 10,3 Meter in die Höhe, so entweicht ein Cubikmeter Kohlensäure, welcher hier unter einem Drucke von 2 Atmosphären nur das Volumen eines halben Cubikmeters hat. Durch diese freie Kohlensäure wird das darüberstehende Wasser gehoben und rascher emporgetrieben. Das darunter befindliche, theilweise vom Drucke befreit, setzt noch mehr Kohlensäure in Freiheit und nun entstehen complicirte Verhältnisse, die wir genauer untersuchen wollen*).

Fig. 14.



h sei daher die Tiefe des Bohrlochs siehe Fig. 14. Den Luftdruck ersetzen wir durch eine 10,33 Meter hohe Wassersäule BC .

x sei die Entfernung irgend eines Querschnitts vom Boden in Meter.

y die Entfernung desselben Querschnitts von der Mündung B plus einer Wassersäule von 10,33 Meter.

a sei der Querschnitt des Bohrlochs.

k ein Coefficient der kleiner als 1, in der Regel aber nahezu gleich 1 ist.

$\frac{1}{n}$ ein ächter Bruch. Aus der Figur folgt:

$$1) \quad x = h + 10,33 - y.$$

*) Diejenigen, die nicht mathematisch gebildet sind, müssen das Folgende überschlagen.

Jeder Cubikmeter Wasser in A steht unter einem Drucke von $\frac{h + 10,33}{10,33}$ Atmosphären, vermag mithin, wenn das Wasser eine von 12^0 R. verschiedene Temperatur hat $k \frac{h + 10,33}{10,33}$ Cubicentimeter Kohlenensäure von gewöhnlicher Pressung zu absorbiren. k ist aus den Seite 196 mitgetheilten Versuchen von Rogers leicht zu berechnen. Hiervon soll jeder Cubikmeter in A $\frac{1}{n}$ absorbiren, so daß er enthält:

$$\frac{k}{n} \cdot \frac{h + 10,33}{10,33}$$

Cubikmeter Kohlenensäure von gewöhnlicher Pressung. Steigt ein solcher Cubikmeter zur Höhe x , so steht er unter dem Drucke von

$$\frac{y}{10,33} = \frac{h + 10,33 - x}{10,33}$$

Atmosphären. Unter diesem Drucke vermag ein Cubikmeter Wasser nur $k \cdot \frac{y}{10,33}$ Cubikmeter Kohlenensäure zu absorbiren, folglich entweichen:

$$\frac{k}{n} \cdot \frac{h + 10,33}{10,33} - \frac{ky}{10,33}$$

Cubikmeter Kohlenensäure. Diese stehen aber unter einem Drucke von $\frac{y}{10,33}$ Atmosphären, haben folglich das Volumen:

$$\begin{aligned} \frac{10,33}{y} \left[\frac{k}{n} \frac{h + 10,33}{10,33} - \frac{ky}{10,33} \right] &= k \left[\frac{h + 10,33}{ny} - 1 \right] \\ &= k \left[\frac{h + 10,33}{n(h + 10,33 - x)} - 1 \right]. \end{aligned}$$

Der letzte Ausdruck gibt das Kohlenäurevolumen an, welches aus einem Cubikmeter Wasser entweicht, wenn dieser um x Meter in die Höhe steigt, das Kohlenäurevolumen gemessen unter dem Drucke, den es in der Höhe x erleidet.

Aus diesem Ausdrucke folgt, daß das entweichende Kohlenäurevolumen 0 ist, wenn

$$2) \ x = \left(1 - \frac{1}{n} \right) (h + 10,33) \text{ ist.}$$

Wenn daher jeder Cubikmeter Wasser in A z. B. nur halb soviel Kohlenäure absorbirt, als seinem Absorptionsvermögen entspricht, so steigt, weil

Jetzt $n = 2$ ist, das Wasser zur Höhe $\frac{h + 10,33}{2}$ ohne nur ein Bläschen Kohlenensäure zu verlieren.

Aus demselben Ausdrucke folgt, daß für $x = h + 10,33$ die entweichende Kohlen Säuremenge unendlich groß ist, d. h. in den absolut luftleeren Raum würde das Wasser seine sämtliche Kohlen Säuremenge abgeben und diese würde dann den ganzen leeren Raum erfüllen.

Für $x = \infty$ wird der Ausdruck negativ, d. h. in einem unendlich tiefen Bohrloche mag noch so viel Kohlen Säure zuströmen, das Wasser vermag immer noch mehr aufzunehmen.

Für

$$3) x = (h + 10,33) \left[1 - \frac{k}{(1 + k)n} \right]$$

beträgt die entweichende Kohlen Säuremenge genau 1 Cubikmeter, das Kohlen Säurevolumen gemessen unter dem Drucke unter dem es steht. Ist daher der Querschnitt des Bohrlochs gleich oder kleiner als ein Quadratmeter, so folgt auf die unterste Wassersäule, hier eine das Bohrloch bis zu einer gewissen Höhe erfüllende Gasäule.

Die Summe aller Kohlen Säureräumtheile im Bohrloche, jeder Raumtheil gemessen unter dem Drucke unter dem er steht, findet sich auf folgende Weise. Da das Kohlen Säurevolumen, welches in der Höhe x aus einem Cubikmeter entweicht, gleich ist

$$k \left[\frac{h + 10,33}{n(h + 10,33 - x)} - 1 \right],$$

so ist das aus $a \cdot dx$ Cubikmeter entweichende Volumen

$$dV = ak \left[\frac{h + 10,33}{n(h + 10,33 - x)} - 1 \right] dx.$$

Integrirt man diesen Ausdruck zwischen den Grenzen

$$\left(1 - \frac{1}{n} \right) (h + 10,33) \text{ und } h$$

so erhält man:

$$4) V = ak \left[\frac{h + 10,33}{n} \ln \frac{h + 10,33}{n \cdot 10,33} - \frac{h - (n - 1) 10,33}{n} \right].$$

Aus dieser Gleichung folgt, daß $V = 0$ ist, wenn

$$h = (n - 1) 10,33 \text{ ist; d. h.}$$

Hat das Bohrloch die Tiefe $h = (n - 1) 10,33$, so wird in der ganzen Wassersäule kein Kohlenäurebläschen frei. Ist z. B. $n = 5$ d. h. absorbiert am Boden des Bohrlochs jeder Cubikmeter Wasser nur $\frac{1}{5}$ der Kohlenäuremenge, die seinem Absorptionsvermögen entspricht, so ist $h = 41,32$ Meter und in der ganzen Wassersäule wird nirgends ein Kohlenäurebläschen in Freiheit gesetzt, obwohl das Wasser an der Oberfläche mit Kohlenäure gesättigt ankommt. Hier entweichen dann ganz kleine Bläschen, weil Wasser an der Luft seine Kohlenäure langsam in Freiheit setzt.

Wenn $n = 1$ ist, d. h. wenn am Boden des Bohrlochs jeder Cubikmeter Wasser mit Kohlenäure gesättigt ist, erreicht V einen sehr großen Werth. Nehmen wir an, die Tiefe des Bohrlochs sei 25,12 Meter $n = 1$ und $k = 1$, so entbindet schon vom Boden des Bohrlochs an jedes Wassertheilchen ein Bläschen Kohlenäure, das sich beim Aufsteigen mehr und mehr vergrößert. Gleichzeitig entweichen aber neue Bläschen in solcher Menge, daß sie in bestimmter Höhe eine Gasäule bilden. Von nun an wechseln Gasäulen mit Wassersäulen ab, 7,4 Meter unter der Mündung entbindet jeder Cubikmeter Wasser einen Cubikmeter Gas, das Gas gemessen unter dem Drucke, unter dem er steht. Die Summe aller Kohlenäureräumtheile, jeden unter dem ihm entsprechenden Drucke gemessen, erhält man aus Gl. 4 wenn man für $n = 1 = k$ und für $h = 25,12$ setzt, gleich:

$$V = a \cdot 16,77 \text{ Cubikmeter.}$$

Es ist dann das Verhältniß von Wasser zu Kohlenäure in dem Bohrloche gleich 8,35 : 16,77 oder nahezu gleich 1 : 2*). Das Gesagte gilt unter der Voraussetzung, daß man sich die Gas- und Wassersäulen für einen Augenblick als ruhend denkt. Es dürfte indessen nicht leicht vorkommen, daß in der Tiefe des Bohrlochs das Wasser ganz mit Kohlen-

*) G. Bischof in seinem Lehrbuche der Geologie behandelt denselben Fall und findet das Verhältniß von Wasser zur Kohlenäure gleich 14 : 11. Dies rührt daher, daß Bischof nur näherungsweise die Aufgabe zu lösen sucht, indem er die Säule von 80 Fuß Höhe in 10 Theile theilt, das Wasser 8 Fuß aufsteigen und dann erst Kohlenäure entbinden läßt.

säure gesättigt wird. Wir betrachten daher noch einen zweiten, viel allgemeineren Fall.

Das Bohrloch sei 144,62 Meter tief und jeder Cubikmeter Wasser nehme in der Tiefe $\frac{1}{6}$ von der Kohlen säuremenge auf, die seinem Absorptionsvermögen entspricht. Setzt man in die Gl. 2 für $n = 6$ und $h = 144,62$ Meter, so findet man, daß das Wasser 129,15 Meter aufsteigt ohne nur ein Bläschen Kohlen säure zu entbinden. Von hier an entwickelt sich Kohlen säure in Menge. 2,6 Meter unter der Mündung entbindet jeder Cubikmeter Wasser einen Cubikmeter Kohlen säure nach Gl. 3. Die Summe aller Kohlen säureraumtheile ist nach Gl. 4:

$$V = ak . 8,18 \text{ Cubikmeter.}$$

Setzen wir, der Einfachheit wegen $k = 1$, so ist die Höhe aller Kohlen säuresäulen gleich 8,18 Meter. Da aber die Kohlen säure erst 15,47 Meter unter der Mündung anfängt sich zu entbinden, so enthält im Anfang die oberste 15,47 Meter hohe Säule nach Ausschleuderung von 8,18 Meter Wasser, 8,18 Meter Kohlen säure und 7,29 Meter Wasser. Die Höhe der gesammten Wassersäulen im Bohrloche ist jetzt $144,6 - 8,2 = 136,4$ Meter. Setzt man unter Vernachlässigung des Gewichtes der Kohlen säure in die Gl. 2 für $h = 136,4$ und $n = 6$ so findet man, daß das Wasser jetzt schon anfängt, Kohlen säure zu entbinden, wenn es 122,25 Meter hoch über den Boden des Bohrlochs gekommen ist. Die Summe aller Kohlen säureraumtheile, die sich von neuem entbindet, ist nach Gl. 4: wenn man $h = 129 - 122 = 7$ und $n = 1$ setzt:

$$V = a . 1,98 = a . 2.$$

Die ganze, aus Wasser und Kohlen säure bestehende 15,5 Meter hohe Säule wird daher plötzlich 2 Meter hoch gehoben. Eine Eruption erfolgt. Gas und Wasser werden aus der Mündung in die Höhe geschleudert. Wenn gerade so viel Wasser am Boden des Bohrlochs einfließt, als aus der Mündung hinausgeschleudert wird, so folgt Eruption auf Eruption ohne Unterbrechung. Fließt aber weniger Wasser ein, so ist die Sache anders. Gesezt, es fließe in der kurzen Zeit nur wenig oder gar kein Wasser zu und die 2 Meter hohe ausgeschleuderte Wasser- und Gas säule bestände fast nur aus Wasser, dann ist die gesammte Wassersäule $136,4 - 2 = 134,4$ Meter hoch. Die Gasentwicklung beginnt

jetzt nach Gl. 2 bei 120,5 Meter Höhe. Setzt man in die Gl. 4 für

$$h = 122,25 - 120,5 = 1,7 \text{ und } n = 1$$

so erhält man

$$V = a \cdot 0,2.$$

Es findet wieder eine plötzliche Erhebung um 0,2 Meter statt, und eine neue aber weit schwächere Eruption ist die Folge. Dieser folgen noch einige immer schwächer werdende nach, dann herrscht Ruhe. Die Kohlensäure steigt durch die noch vorhandenen kleinen Wassersäulen auf und das Wasser sinkt herunter; das Bohrloch füllt sich langsam wieder und das Spiel beginnt von Neuem.

Bemerkenswerth ist, daß dieselben Erscheinungen auch dann eintreten, wenn die drückende Wassersäule in dem communicirenden Schenkel gerade so hoch ist, wie in dem aufsteigenden. Ja sie kann sogar noch niedriger sein, wenn Kohlensäure in ihr nicht aufsteigt. Und um wie viel kann sie niedriger sein? Um die Höhe aller Kohlensäureraumtheile in dem aufsteigenden Schenkel. Indem man die Ausflußmündung tiefer legt oder Wasser auspumpt, kann man solche Quellen nicht zur Eruption bringen.

Die Stärke der Eruption wird noch durch einen anderen Umstand vermehrt. Gesezt, unter der Mündung des Bohrlochs stehe eine 10,33 Meter hohe Wassersäule, die eben im Ausfließen begriffen ist und darunter folge eine 10,33 Meter hohe Gasäule.

Die Gasäule steht unter einem Drucke von 2 Atmosphären. Ist die Hälfte des über ihr stehenden Wassers ausgestoßen, so daß sie unter einem Drucke von $1\frac{1}{2}$ Atmosphären steht, so ist ihre Höhe nach dem Geseze von Mariotte 13,77 Meter. Es wird mithin das über der Gasäule stehende Wasser während des Ausfließens durch die plötzliche Ausdehnung der darunter befindlichen Kohlensäure unter Umständen sehr merklich gehoben.

Aber wozu diese mühsamen theoretischen Spekulationen? Gibt es Quellen, auf welche diese Untersuchungen Anwendung finden? — Allerdings. G. Bischof erhobte selbst eine solche Quelle, von der er folgendes mittheilt*): „Das Bohrloch stand 33 Fuß tief im Alluvium des 300 Fuß davon entfernten Abflusses, und 47 Fuß im Thonschiefergebirge.

*) G. Bischof, Lehrb. d. Geologie S. 699 Bd. 1. 2. Aufl.

Die Kohlensäureentwicklung aus dem Bohrloche war mäßig, aber anhaltend. Nahe unter dem Alluvium kam man auf eine einige Fuß mächtige Schicht eines schwarzen, sehr zersetzten und breiartig gewordenen Schiefers, während andere quarzreiche Grauwackenschichten dem Bohren Schwierigkeiten entgegensetzten. Dies zeigt wie warme, mit Kohlensäure gesättigte Mineralwasser in hohem Grade zersetzend auf das Gestein wirken.

Der Wasserspiegel stand in dem Bohrloche höchstens einen Fuß über der Mhr. So lange das Wasser keinen Abfluß aus den Bohrlöchern hatte, zeigte sich nichts bemerkenswerthes. Als aber um das Bohrloch herum ein Bassin ausgegraben, die Bohrröhre ein Fuß unter dem Wasserspiegel abgeschnitten und das abfließende Wasser ausgepumpt wurde, traten die Erscheinungen intermittirender Quellen ein.

Der Ausfluß des Thermalwassers war nicht gleichmäßig sondern periodisch ab- und zunehmend und dies mit ebenso großer Regelmäßigkeit wie die Ebbe und Fluth des Meeres. Von einem Maximum des Abflusses bis zum folgenden versiechen 8 Minuten 42 Secunden. Zur Zeit des Minimums fließt das Wasser ruhig aus; bald nimmt aber die Kohlensäureentwicklung und mit ihr der Ausfluß des Wassers immer mehr zu, bis endlich zur Zeit des Maximums kopfgroße Gasblasen in großer Menge das Wasser mehrere Fuß hoch emporschleudern. Das Wasser ist dann in der heftigsten Aufwallung und schäumt wie im stärksten Sieden begriffenes Wasser. Dampfvolken erheben sich und erfüllen, wenn die Luft kalt ist, das ganze Bassin so mit Nebel, daß man das Bohrloch nicht mehr sieht. Diese Erscheinungen enden damit, daß nur noch einzelne, weit vom Bohrloche ab hörbare Stöße erfolgen, wodurch einzelne Wasserstrahlen hoch hinauffliegen. — Der Ausfluß des Wassers beträgt zur Zeit der Fluth zehnmal so viel wie zur Zeit der Ebbe.“

Das Kohlensäurequantum das einige dieser Quellen liefern, ist recht beträchtlich. Trommsdorff fand, daß die Gasquelle zu Kaiser-Franzensbad jährlich 2102400 Cubikfuß Kohlensäure liefert. Bunsen ermittelte die Menge der Kohlensäureexhalation aus den erbohrten Soolquellen zu Nauheim. Er fand sie gleich 8859200 Cubikfuß (26,4° warm) oder gleich 10000 Centner.

Kohlensäurequellen steigen unter sonst gleichen Umständen schneller auf, als Quellen ohne Gasgehalt; denn einmal wird die drückende Wasser-

fäule relativ um das Volumen aller Gasblasen in der aufsteigenden Säule vermehrt, dann aber schiebt jedes Kohlen säurebläschen das im Wasser aufsteigt, Wasser vor sich in die Höhe. Die Geschwindigkeit, mit der Kohlen säure in stehendem Wasser aufsteigt, hat Bischof*) ermittelt. Sie hängt nach seinen Versuchen nicht von der Höhe der Wassersäule, sondern von der Größe der Gasblasen ab und ist 10 par. Zoll in der Secunde.

Wenn der Kanal eines natürlichen Kohlen säurerlings bald vertikal, bald mehr oder weniger geneigt ist, dann tritt eine eigenthümliche Erscheinung auf. In dem vertikalen Schenkel des Kanals steigt die Kohlen säure rasch auf. Nicht so in dem stark geneigten. Hier setzen sich die Kohlen säureblasen an der Firste an und müssen von dem Wasser weitergeschoben werden. Sie hindern folglich die Bewegung des Wassers. So wie sie nun an das Knie gelangen, an welchem der geneigte Schenkel in den vertikalen übergeht, entsteht ein eigenthümliches Geräusch, das Rollern, aus welchem man umgekehrt auf die Beschaffenheit des Kanals schließen kann.

Einige Quellen enthalten neben Kohlen säure noch Schwefelwasserstoffgas. Man nennt sie Schwefelquellen. Sie kommen fast in allen Ländern vor. Mehrere genießen als Heilquellen einen großen Ruf. Nicht nur in der Nähe von Vulkanen, weit weg, an Orten, wo ein Zusammenhang mit Vulkanen nicht möglich ist, kommen sie vor und sind bald heiß, bald kalt. Eine ganz bekannte kalte Schwefelquelle ist die bei Weilbach. Außer Kohlen säure, Schwefelwasserstoff und sehr wenig Stickstoff enthält sie Schwefelsaures Natron, Chlornatrium, Kohlen saures Natron, kohlen sauren Kalk, kohlen saure Magnesia, Chlormagnesium, Kieselsäure und organische Substanz. Organische Substanz und das schwefelsaure Salz (gewöhnlich schwefelsaures Natron oder schwefelsaurer Kalk) fehlen keiner Schwefelquelle. In Weilbach erscheint auf dem Boden des Beckens, in welches die Schwefelquelle sich ergießt, die organische Substanz als eine grünliche flockige Masse. Die Bildung des Schwefelwasserstoffs erklärt sich in folgender Weise. Die organische Substanz reducirt das schwefelsaure Salz zu Schwefelmetall (Schwefelnatrium, Schwefelcalcium) und dieses Schwefelmetall wird durch die Kohlen säure des Wassers in Schwefel-

*) G. Bischof, L. der G. S. 683 Bd. 1. 2. Aufl.

wasserstoff und kohlensaures Salz verwandelt. Das kohlensaure Salz fehlt daher gleichfalls keiner Schwefelquelle.

Die Kanäle, durch welche das Wasser fließt, werden im Laufe der Zeit zersetzt und erweitert. Es bilden sich schließlich Hohlräume, die so lange zunehmen, als die darüberstehende Masse nicht in sie hineinstürzt. Nach erfolgtem Einsturz versiegt die Quelle, oder kommt an einem anderen Orte wieder zum Vorschein. Während wir im Anfang die Quelle als Befruchter und Erhalter der organischen Natur haben kennen gelernt, zeigt sie sich uns hier als Feindin der unorganischen. Unbemerkte unterminirt sie die feste Oberfläche und erreicht mit deren Untergang ihren eigenen.

Neunter Vortrag.

Das Wasser in Form von Bächen, Flüssen und Seen.

Das fließende Wasser hat das Bestreben, alle Unebenheiten der Erdoberfläche zu entfernen. Und es würde sicherlich schon längst alles feste Land dem Ocean zugeführt worden sein, wenn nicht eine Kraft existirte — die Kraft, welche ganze Länder langsam emportreibt — die dem fortwährenden Abwaschen und Abreiben entgegen wirkte. Wir bekommen von der ungeheuren Wassermenge, die seit dem Bestehen der Erde dem Festlande zugeföhrt hat, durch folgende Betrachtung einen Begriff. Nehmen wir die Höhe der jährlichen Regenmenge zu $\frac{1}{2}$ Meter auf der festen Oberfläche, so ist die Regenmenge in 16000 Jahren gleich einem die Erde zu zwei Dritttheilen umfluthenden Oceane von 4000 Meter Tiefe*). In 16000 Jahren wird daher alles Wasser der Erde einmal über das Festland gekommen sein. Seine Wirkung ist eine zweifache, eine chemische und eine mechanische. Von der mechanischen bekommen wir einen Begriff, wenn wir besondere Fälle ins Auge fassen.

Im Hintergrund des Vagne-Thales im Unter-Wallis ist der Gletscher von Gétroz. Hier lösten sich im Jahre 1818 Lawinen und Felsblöcke los und stauten den östlichen Arm der Dranse zu einem See von 2700 Fuß Länge, 650 Fuß Breite und 180 Fuß Tiefe. Am 16. Juni 1818 durchbrach das Wasser, das durch einen künstlichen Kanal zum Theil schon abgeselossen war, plötzlich den Damm und stürzte sich mit vernichtender Gewalt in das Vagne-Thal. Unterhalb der engen Schlucht von

*) Die mittlere Tiefe des Meeres ist etwa 4000 Meter.

Bourtier wurde ein Berg von Trümmern mehr als 200 Fuß hoch, mit Leichtigkeit fortgeschoben. Die mittlere Geschwindigkeit von 33 Fuß in der Secunde, mit der sich diese Wassermenge bewegte, die etwa 5mal so groß war als die in Basel vorbeiströmende bei hohem Rheinstande, riß Granitblöcke von nahe 1000 Cubikfuß Inhalt über 1800 Fuß weit fort *).

Im Vintschgau hatte Simony im Jahre 1825 Gelegenheit, die Wirkung von Wasserfluthen kennen zu lernen. Ungewöhnliche Schneemassen waren den Winter über gefallen. Im Juni stellten sich heftige und anhaltende Gewitterregen ein. Durch Föhnwinde wurde die Temperatur in den höchsten Regionen über das normale Mittel gebracht. Auf dem 7900 Fuß hohen Stilfser Joch stieg die Temperatur auf 7 bis 8° R. und brachte den Schnee in Fluß. Von allen Abhängen rauschte nun Wasser in solcher Fülle nieder, daß in 20 Tagen die Niederschläge $\frac{1}{6}$ von der mittleren Jahresmenge betrugen. Lawinen und angehäufter Detritus geriethen in Bewegung, häuften sich in den Thalschluchten an und bildeten Dämme. Mehr und mehr schwoilen jetzt die Wildbäche, durchbrachen diese Dämme und ergossen sich als reißende Ströme in das Thal, bald hier bald dort die Ufer zerstörend. Mehrere an der Etsch gelegene Dörfer wurden vernichtet.

Vom 13. bis 17. Juni, wo die Gewässer in allen Thälern ihren höchsten Stand erreicht hatten, schwoll der Mitter- und Grauner-See durch den Lang-Tauferer Bach so an, daß sein Damm plötzlich durchbrochen wurde und der Wasserüberschuß in den $\frac{1}{8}$ Meile tiefer gelegenen Heider-See stürzte **). Der Anprall war so stark, daß auch der Damm am Ausflusse der Etsch nicht widerstehen konnte. Mit unwiderstehlicher Gewalt wälzte sich nun das Wasser, das Bett tief auswühlend, nach Burgeis zu. Hier stürzte ein Haus nach dem andern ein und verschwand in den Fluthen. Bald erreichte das Wasser das Städtchen Glurns. Der Rambach, die Fluthen der Etsch vermehrend, drängte sie gegen die Stadtmauer. Die weggeschwemmten Bäume und Balken sperren sich zum Glück für das Städtchen, indem sie einen Damm bildeten, und das

*) Lyell Princ. of geol. übersetzt von Hartmann.

**) G. Bischof. L. d. G. S. 388.

Wasser ablenkten. Ungeheure Mengen von Detritus lagerten sich um Glurns und die gesammte Detritusmenge, die durch die Etsch in Bewegung gesetzt wurde, wird auf 10 bis 11 Millionen Cubikfuß geschätzt.

Nicht blos Flüsse mit starkem Gefälle, auch Platzregen vom Sturme gepeitscht vermögen in der Ebene mächtige Einschnitte zu bilden. Aggerien liefert hierzu Beispiele. Ch. Martins*) berichtet, daß dort ein ebenes Plateau in ein Massiv mannichfaltig gestalteter Berge durch die Wirkung des Regens umgewandelt worden ist. Es hat diese Thatsache für den ersten Augenblick etwas überraschendes, etwas unwahrscheinliches. Bedenkt man aber, daß die Wirkung des Stoßes proportional ist der Masse des Körpers und dem Quadrate der Geschwindigkeit, so erkennt man, von welcher außerordentlichem Einflusse bei einem heftigen Regen ein Orkan ist. Und in jenen Gegenden kommen Stürme vor, wie sie bei uns nicht bekannt sind. Auch begreift man jetzt, warum Wildbäche von starkem Gefälle und ungewöhnlicher Wassermenge so außerordentliche Zerstörungen und Vertiefungen hervorzubringen im Stande sind.

Aus demselben Grunde ist auch das Gefälle eines Flusses der Hauptfactor bei der Erosion seines Bettes. Das Gefälle aller Flüsse nimmt von ihrem Ursprunge bis zur Mündung im Allgemeinen ab, wie folgendes Beispiel lehrt:

Gefälle des Rheins**).

	Höhe über dem Meere in preußi- schen Fuß.	Entfernung nach dem Stromlaufe in preußischen Meilen.	Gefälle in Fuß pro Meile.
Rheinquelle über dem Bodensee . .	3585	21	170,7
Constanz	1225		
Schaffhausen	1163	5	12,4
Eglisau	1010	1 $\frac{1}{4}$	122,4
Basel	755	11 $\frac{1}{4}$	22,7
Straßburg	424	17 $\frac{1}{2}$	18,9
Mannheim	266,5	22 $\frac{3}{4}$	6,9

*) Ch. Martins, Von Spitzbergen nach Sahara.

**) Statistik Deutschlands von Dr. von Viebahn und G. Bischof L. d. G.

	Höhe über dem Meere in preußi- schen Fuß.	Entfernung nach dem Stromlaufe in preußischen Meilen.	Gefälle in Fuß pro Meile.
Mainz	239,9	10 $\frac{1}{4}$	2,6
Bingen	232	4	2
Coblenz	178,1	8 $\frac{1}{4}$	6,5
Bonn	133,9	8 $\frac{1}{2}$	5,2
Cöln	110,3	4 $\frac{1}{2}$	5,2
Düsseldorf	82,2	7 $\frac{1}{2}$	3,7
Wesel	47,6	9 $\frac{1}{4}$	3,7
Emmerich	31,5	5 $\frac{1}{4}$	3,1
Niederländische Grenze bei Bimmen .	27,1	1 $\frac{3}{4}$	2,5

Die Größe des Rheingefälles von der Quelle bis Constanz, das pro Meile 170,7 Fuß beträgt, wird in seinem ganzen übrigen Laufe nicht mehr erreicht. Sehr groß ist das Gefälle noch einmal zwischen Schaffhausen und Eglisau. Das rührt hauptsächlich von dem 85 Fuß hohen Wasserfall bei Laufen unterhalb Schaffhausen. Von Basel bis Bingen fließt der Rhein fast nur in angeschwemmtem Land — in Alluvionen, Detritus. — Nur am Kaiserstuhl und bei Oppenheim berührt er anstehendes Gestein. Da aber diese Alluvionen vom Rhein und seinen Nebenflüssen herrühren, so muß das ganze Thal von Basel bis Bingen früher ein See gewesen sein. Nun beträgt aber das Gefälle von Basel bis Bingen 523 Fuß, folglich muß entweder bei Bingen früher ein 523 Fuß hohes Riff den Rhein gestaut haben, oder Basel muß in jener Zeit 523 Fuß tiefer gelegen haben und mittlerweile gehoben worden sein, oder beide Erscheinungen fanden gleichzeitig statt. Sehen wir uns erst bei Bingen um. Bei Bingen zogen quer durch den Rhein Felsenriffe, die das wilde Gefähr zur Folge hatten und in nicht sehr ferner Zeit der Schifffahrt Schwierigkeiten bereiteten. Diese Felsen sind auch jetzt noch nicht ganz verschwunden, aber die Wasserstraße ist durch Sprengungen breiter und sicherer geworden. Früher waren die Riffe, wie wir sehen werden, viel höher. In dem Maße als sie durch Erosion erniedrigt wurden, wurde der See kleiner und kleiner. Die sehr große Breite des Rheins — 2000 Fuß bei Geisenheim — ist eine Folge der noch jetzt stattfindenden Stauung bei Bingen. Hand in Hand damit geht die zunehmende

Verlandung und Inselbildung zwischen Mainz und Bingen. Aber auch unterhalb Basel, wo das Gefälle größer ist als zwischen Mainz und Bingen bilden sich viele Inseln. Dies kommt daher, daß der Rhein hier sehr vielen und groben Detritus führt, der ihm namentlich durch die Aar bei Waldshut zugeführt wird. Der Rhein selbst führt zwar in den Bodensee sehr viel Detritus, aber aus dem Bodensee fließt er frei davon hervor.

Sehen wir zu, ob das Rheinthal von Basel abwärts früher tiefer lag als jetzt und später gehoben worden ist. Wenn wir an den Abhängen der Berge, die das Rheinthal einschließen, hinauf gehen, so treffen wir abwechselnde Lagen von Sand und Geschieben bis zu bedeutender Höhe an. Bei Wiesbaden finden wir sie bis zu 800 par. Fuß über dem Meer oder circa 600 par. Fuß über dem Rheinspiegel. Es sind Geschiebe von jeder Größe, vom feinsten Korn bis zu einem Meter Durchmesser. Besonders schön aufgeschlossen sind sie bei Mosbach und in der Nähe des Geisbergs. Bei Mosbach finden sich bisweilen scharfkantige und gerundete, rothe und graue Sandsteinblöcke unter den runden faustgroßen Quarz-Geschieben. Rother Sandstein kommt in der Nähe von Wiesbaden nicht vor; er findet sich erst im Odenwald, im Speßart und auch bei Rastatt, folglich müssen diese Sandsteinblöcke entweder durch den Neckar oder den Main oder auch durch den Rhein vermittelt Eisschollen zu einer Zeit transportirt worden sein, in welcher der Rhein mindestens noch 200 Fuß höher war als jetzt. Warum vermittelt Eisschollen? Weil sie nicht alle abgerollt und auch zu schwer sind, als daß sie durch die Kraft des fließenden Wassers allein den weiten Weg hätten zurücklegen können. Zweihundert Fuß höher als jetzt mußte der Rheinspiegel (Seespiegel) damals gewesen sein, weil diese Geschiebe so hoch über dem jetzigen Rheinspiegel liegen. Hätten nicht damals viel höhere Riffe bei Bingen den Rhein gestaut, so konnte der Rheinspiegel diese Höhe nicht wohl erreichen.

Noch höher über dem Rheinspiegel als diese Geschiebe bei Mosbach, liegen die Geschiebe in der Nähe des Geisbergs bei Wiesbaden (ungefähr 212 Meter über dem Meer) und am Binger, bei Rambach (ungefähr 260 Meter über dem Meer). Die Geschiebe am Geisberg stecken in Schichten von Kies oder Sand und erreichen, wie schon angegeben sehr bedeutende Dimensionen. Sie selbst, wie auch der Sand und der Kies, rühren vom Taunusgebirge unzweifelhaft her; denn das grüne, talkartige

Mineral, das sie auszeichnet, läßt über ihre Abstammung keinen Zweifel aufkommen.

Die Geschiebe am Bingert liegen im Sand und Kies. Zum größten Theile stammen sie vom Taunus. Die meisten sind mehr oder weniger abgerundet, nur wenige eckig. Ihre Größe ist sehr verschieden. Es gibt welche von 4, 10, 30, 65, 100 und mehr Centimeter im Durchmesser. Nun ist der Bingert ein kleiner Regel-Berg von circa 280 Meter Meereshöhe, auf dessen Gipfel die Rieslager mit den Quarz-Geröllen sich befinden. Wie sind, so müssen wir uns daher fragen, wie sind diese Gerölle, wie sind namentlich jene Felsblöcke von 1 Meter Mächtigkeit, auf den Gipfel eines Berges unter den Kies gerathen? Nicht anders als durch schwimmende Eisschollen; denn ohne diese konnten sie nicht wohl transportirt werden. Man könnte freilich auch an einen Gletscher denken, der sie auf seinem Rücken dahin transportirte. Allein ein Gletscher läßt, wie wir früher gehört haben, noch andere Spuren seiner Thätigkeit zurück und so lange diese nicht gefunden sind, dürfte bei einem so niedrigen Gebirgszug wie der Taunus, an Gletscher kaum zu denken sein. Die Rieslager am Bingert sind bedeckt mit einer ganz dünnen Schicht von bräunlichem Thon, der sich nur bei schwacher Strömung ablagern konnte. Wenn man auch geneigt sein dürfte, die Rieslager als Produkt der Wirkung des Rimbachs zu betrachten, der abgelagerte bräunliche Thon rührt nicht von ihm her. Er wurde abgelagert, als die ganze Umgebung bis zu 280 Meter Meereshöhe unter schwach fließendem oder still stehendem Wasser stand.

Ehe wir die Rieslager an den bezeichneten Stellen mit einander vergleichen, wollen wir eine kurze zusammenhängende Darstellung der mechanischen Veränderungen im Rheinthale seit den ältesten Zeiten folgen lassen; denn ohne Zweifel gehört die Entwicklungsgeschichte dieses Thales von Basel bis Mainz mit zu dem Lehrreichsten und Interessantesten in der Geschichte der natürlichen Veränderungen.

Der Schwarzwald und die Vogesen zeigen eine so große Uebereinstimmung in ihrem inneren Bau, daß sie in ältester Zeit ein zusammenhängendes Ganzes müssen gebildet haben.*) In der frühesten Zeit zeigte

*) F. Sandberger. Zur Urgeschichte des Schwarzwaldes: Im Ausland 1876, Nr. 47 und 48.

der Schwarzwald, der vorzugsweise aus Gneiß bestand, eine sehr einförmige Terraingestaltung, die zum erstenmale durch das Aufsteigen stockförmiger Granite verändert wurde. Längs der Grenze der Hauptmassen von Gneiß und Granit trat eine Senkung ein, so daß hier das Meer versteinерungsführende Schichten — echte Grauwacken — ablagern konnte. Dieser Grauwackenzug erscheint Müllheim gegenüber, bei Thann im Elsaß wieder und läßt sich tief in die Vogesen hinein verfolgen. Durch ihn wird wohl am schlagendsten bewiesen, daß Schwarzwald und Vogesen ursprünglich ein Ganzes bildeten. Am Ende der Kohlenperiode ist die Physiognomie des Schwarzwaldes noch wenig verändert. Zur Zeit des unteren Rothliegenden wurden gröbere und feinere Conglomerate, Sandsteine, Schieferthon und Brandschiefer, aus Gneiß und Granitschutt bestehend, abgelagert.

Hierauf folgte eine intensive vulkanische Thätigkeit, welche den Schwarzwald wesentlich veränderte. Die spitzen Regel und hohen Dome von Quarz- und Plattenporphyr, welche vorzüglich im mittleren Gebirge aus Gneiß und Granit emporstiegen, verliehen dem Schwarzwalde jene landschaftliche Schönheit, durch die er noch heute entzückt. Mit den Vogesen stand er aber auch jetzt noch in ununterbrochenem Zusammenhang.

Dieser Zusammenhang wurde unmittelbar vor der Ablagerung des oberen Buntsandsteins durch Aufreißen von parallelen Spalten zwischen Basel und Rastatt aufgehoben. *) Der erste Schritt war gethan zur Bildung jenes Thales, das später Rheinthal genannt wurde. Während der ganzen Trias- und Juraperiode war das Thal ein schmaler Meerbusen, der südwärts mit dem schweizerisch-französischen, ostwärts durch eine Meerenge zwischen Langenbrücken und den Löwensteiner Bergen mit dem Schwäbischen Zumeer in Verbindung stand.

Langsam hob sich dann der Meeresboden und bildete während der ganzen Kreide- und zu Anfang der Tertiärzeit einen Continent. Als sich am Süd- und Ostrande des großen Pariser Beckens, nach dem Niederschlage des muschelreichen Grobkalks, stellenweise Festland entwickelte, bildeten sich im Oberrheinthale wieder Absätze aus Süßwasserseen, die

*) J. Sandberger. Das Oberrheinthale in der Tertiär- und Diluvialzeit. Im Ausland 1873, No. 50. Das Folgende ist ein kurzer Auszug aus Sandbergers vortrefflicher Darstellung.

Land- und Sumpfschnecken einschließen, deren nächste Verwandte zum größten Theil im tropischen Asien, zum kleineren Theil im tropischen Amerika leben.

Während die Bevölkerung der Süßwasserseen und ihrer Umgebung sich langsam veränderte, sank das Rheingebiet von Delsberg bis Bingen tief und tiefer. Jetzt brach das Meer von Südwesten herein und breitete sich längs Odenwald, Schwarzwald, Vogesen und Haardt bis zum Rande des Hundsrücks, Taunus und Spessarts aus. Die Ufer dieses Meeres des „Mainzer Tertiär-Beckens“ sind noch überall deutlich zu verfolgen. Unzählige Haifischzähne, Bänke von Austern mit mancherlei schmarokenden Muscheln bezeichnen sie auf das unzweideutigste.

Nachdem das Rheinthal verhältnißmäßig nur kurze Zeit unter Wasser gestanden hatte, hob es sich wieder und durchlief alle Stadien vom stark gesalzenen Brackwassersee bis zum Süßwassersee. Die thierischen Reste geben auch hierüber die klarste Auskunft. —

Aber das Rheinthal jener Zeit war von dem der Jetztzeit noch sehr verschieden. Der Kaiserstuhl und die zunächst gelegenen jurassischen Berge sperren das Rheinthal bei Freiburg und bildeten eine Wasserscheide. Südlich von dieser Wasserscheide hatten die Bäche (oder Flüsse) einen südlichen, nördlich davon einen nördlichen Verlauf. Wodurch wird das bewiesen? Durch Gerölle, welche bei Delsberg im Berner Jura liegen und welche unzweifelhaft aus den Vogesen stammen. Diese Gerölle können aber nur durch Wasser, das von den Vogesen nach Süden hinfloß transportirt und abgelagert worden sein. Hier hatte also der Wasserlauf eine Richtung, die der heutigen entgegengesetzt war und das ist nur zu begreifen, wenn man bei Schaffhausen Dämme annimmt, die dem Rhein den Durchgang verwehrten. Nördlich von jener Wasserscheide floß Wasser in derselben Richtung, die heute der Rhein einschlägt. Dieses Wasser führte Schwarzwald- und Vogesengerölle thalabwärts bis nach Eppelsheim. Die jetzige Gestalt erhielt das Rheinthal erst, nachdem die Dämme bei Schaffhausen und Freiburg durchbrochen waren. Wann das geschehen ist, das läßt sich nicht angeben. Daß aber seit Ende der Tertiärzeit ununterbrochen daran gearbeitet worden ist, das ist gewiß. Wie hoch mit Geröll das Rheinthal damals schon angefüllt war, läßt sich mit Sicherheit nicht nachweisen. An vielen Orten aber von Basel bis Bonn trifft

man es bis zu 230 und 260 Meter über dem Meer. In diese Gerölle und Rieslager grub sich der damalige Rhein, der oft eine 50 mal so große Wassermasse führte als jetzt, sein Bett, nachdem die Dämme bei Bingen und unterhalb Bingen durchbrochen waren. Dieses Bett läßt sich eine bis zwei Stunden landeinwärts zu beiden Seiten verfolgen. Es liegt 150 bis 180 Meter über dem jetzigen Rheinspiegel und besteht unten aus Geröll und Sand und oben aus Löß, sogenanntem Berglöß zum Unterschied von dem Thallöß, der 40 bis 80 Meter über dem jetzigen Rheinspiegel auf Ries ruhend angetroffen wird. Die Bezeichnung Berglöß und Thallöß ist nicht sehr passend; denn bei Basel z. B. finden sich übereinander vier wohlerhaltene Terrassen aus Geröll, Sand und Löß, die uns zugleich zeigen, wie der Rhein sein Bett nur ganz allmählich tief und tiefer eingegraben hat. Wenn man nun den obersten Löß Berglöß, den untersten Thallöß nennt, welche entsprechende Bezeichnung soll denn da der mittlere haben?

Die im Ries und Sande zu Mosbach-Biebrich gefundenen Ueberreste von Thieren deuten auf ein Klima, das um mehrere Grade kühler gewesen sein muß als das jetzige. Auf ein kühleres Klima deuten auch jene großen von Eisschollen transportirten Blöcke im Ries. In jener Zeit (Diluvialzeit, Pleistocänzeit) hat schon der Mensch gelebt und den Kampf mit dem Kenthier, mit dem Mammuth und dem Höhlenbären siegreich bestanden.

Obwohl man in Frankreich, Belgien und England, wo gleichzeitige Ablagerungen aus dieser Zeit bekannt sind, die verschiedensten Waffen und Geräthschaften des damaligen Menschen im Ries in großer Anzahl gefunden hat, sind ähnliche Dokumente menschlicher Wirksamkeit bis auf den heutigen Tag in Biebrich-Mosbach nicht bekannt geworden. Ein Knochen aber, der vor einigen Jahren von Herrn A. Römer im Mosbacher Sande gefunden worden und der auf das Deutlichste künstlich gespalten ist, setzt die Anwesenheit des Menschen im Mainthal zur Zeit der Sandbildung in Mosbach außer allen Zweifel.

Vergleichen wir nun die Gerölle bei Mosbach-Biebrich mit denen am Geisberg und Bingert. Bei Mosbach finden sich hauptsächlich Gerölle von Quarz, Quarzit, Buntsandstein, Kalk, Gneiß, Sericitschiefer, Kiesel-schiefer und Basalt. Am Geisberg und Bingert finden sich nur Quarz-

Quarzit- und Sericittschiefergerölle, die vom Taunus stammen, Buntsandstein, Kalkgerölle, Kiefelschiefer und Basalt fehlen. Läßt sich mit Sicherheit angeben, woher der Buntsandstein, der Basalt und Kiefelschiefer u. s. w. gekommen ist, so wissen wir auch damit zugleich, ob von dem Rhein oder dem Main oder der Lahn oder einem Bach, der Riez mit Sand bei Mosbach abgelagert worden ist.

Sandberger*) hat zuerst die Gerölle von Schierstein bis nach Hofheim in Bezug auf ihre Abstammung genauer untersucht und gefunden, daß sie vom Main dahin transportirt worden sind; denn die Kiefelschiefer finden sich anstehend im Quellgebiet des Mains, im Fichtelgebirge, die Buntsandsteine durchschneidet der Main in seinem mittleren Lauf, die Gneißgerölle und Quarzbrocken mit großen Lamellen von Kaliglimmer stimmen sehr genau mit dem bei Aschaffenburg anstehenden Gneiß überein, die Kalkgerölle stammen aus der Gegend von Würzburg und aus dem Oberlauf der bei Hanau mündenden Kinzig. Die Kalkgerölle sind von besonderer Wichtigkeit, weil sie sich durch einschließende Petrefacten als der Triasformation angehörig legitimiren, die bei Würzburg und an der Kinzig durch den Muschelfall gut vertreten ist. Die Basaltgerölle scheinen aus der Gegend zwischen Frankfurt und Aschaffenburg zu stammen.***) Darnach haben wir bei Mosbach-Biebrich nicht eine Bildung des Rheins, sondern eine Bildung des Mains, wir haben das alte Maindelta vor uns. Wie der Rhein, so floß auch der Main damals in einem höher gelegenen Bett. Auch er verfügte damals wie der Rhein bei dem feuchteren und kälteren Klima über eine bedeutend größere Wassermasse.

Der Söß, der an Fruchtbarkeit dem Nilschlammeszu vergleichen ist, findet sich nicht nur im Main- und Rheinthal, auch im Rhone- und namentlich im Donauthal und an anderen Orten bildet er mächtige Ablagerungen.

*) F. Sandberger, die Land- und Süßwasser-Conchylien der Vorwelt. S. 762. Wiesbaden, Kreidel's Verl.

**) Nicht unerwähnt mag bleiben, daß der Landesgeologe R. Koch nach einem Zeitungsberichte anderer Ansicht zu sein scheint. Koch hält die Ablagerungen bei Hofheim für das Delta der Lahn, die ehemals durch das Thal von Wildsachsen floß. Er stützt diese Ansicht auf das Vorkommen von Doleriten in den Geröllen von Niederjossbach, die dem Westerwalde entstammen und auf das Vorkommen von Landschnecken in dem Delta bei Hofheim, welche gleichfalls im Westerwalde vorkommen.

Von dem gewöhnlichen Thon unterscheidet er sich hauptsächlich durch seinen Gehalt an kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, der bis zu 30% steigt. Mit Salzsäure befeuchtet braust er auf und ist dadurch leicht von Thon zu unterscheiden. Ihm beigemengt sind gewöhnlich Quarz und Glimmer, aber auch andere Mineralien aus dem Flußthale, in dem der Löß abgelagert ist. Im kalkreichen Löß begraben findet man eigenthümlich gestaltete Knollen „Lößmännchen“, „Lößpuppen“, auch „Kupfteine“ genannt, die im Innern von Sprüngen durchzogen sind und sich wahrscheinlich bald nach dem Niederschlage des Lößes abgeschieden haben. Sie bestehen aus kohlensaurem Kalk (55 bis 60%), kohlensaurer Magnesia (14 bis 18%), Eisenorydhydrat (4 bis 5%), Quarzsand und Thon (21%).

Daß der Löß sich aus Wasser und zwar aus langsam fließendem oder still stehendem Wasser abgesetzt hat, das ist keine Frage, denn rasch fließendes Wasser hätte die feinen suspendirten Thontheilchen in das Meer geführt. Da er aber so hoch über dem Ries abgelagert ist, so müssen wir schließen, daß er bei Hochwasser abgelagert worden ist. Er ist also bei Hochwasser im stillstehenden oder sehr langsam fließenden Wasser abgesetzt worden. Ist das nicht ein Widerspruch? — Keineswegs. Sehen wir nur zu was bei Hochwasser geschieht. Sowie der Fluß sein Bett überstiegen hat, dann breitet sich das Wasser weit in dem Thale aus. In dem Bette, wo die Geschwindigkeit des Wassers größer und größer wird, werden Gerölle mit Leichtigkeit weitergeschoben, aber auf den höher gelegenen Feldern, wo das Wasser seeartig sich ausgebreitet hat, steht es wegen der geringen Tiefe und großen Reibung fast still. Hier werden die feinen Schlammtheilchen, die das Wasser in Suspension mitführte, abgelagert. So bildet sich heute noch bei Hochwasser Löß und so hat er sich früher gebildet. Bestätigt wird diese Ansicht durch die Einschlüsse von Conchylien in Löß. Es sind fast nur Landschnecken, die in unmittelbarer Nähe der Flüsse gelebt haben, vom Schlamme überrascht und begraben worden sind. *)

Es drängt sich jetzt die Frage auf: Sind alle Thäler in derselben Weise gebildet worden wie das Rheinthale? — Wenn man die Einschnitte sieht, die ein kräftiger Regen in lockerem Gestein macht; wenn man sieht,

*) J. Sandberger, die Land- und Süßwasserconchylien der Bormwelt. S. 867.

wie sie fort und fort rückwärts schreiten und vertieft werden, wie die Grate zwischen den Einschnitten immer schärfer und niedriger werden, bis zwei Einschnitte einen einzigen bilden, wie die Wirkung gesteigert wird, wenn der Boden ohne Vegetation ist; wenn man beobachtet, wie an tiefer gelegenen Punkten, wo die Gewässer zusammenrauschen und Kollsteine führen, vor unseren Augen in der kürzesten Zeit Schluchten ausgehöhlt werden, nicht nur in lockerem, nein auch in festem Gestein, wenn man endlich bedenkt, daß vom Sturme gepeitschten Regenströmen eine potenzirte Wirkung zukommt, so kann man leicht geneigt sein zu sagen: Alle Thäler sind Produkte der Wasserwirkung. Es ist auch gewiß, daß bei allen ohne Ausnahme das Wasser eine große Rolle gespielt hat und noch spielt. Ebenso gewiß ist es aber auch, daß es Thäler geben kann und gibt, die auf andere Weise entstanden sind. Es ist zwar von Tyndall bezweifelt worden, daß Thäler durch Hebung entstehen können, allein durch einen einfachen Versuch läßt sich leicht zeigen, daß Thäler durch Hebung entstehen müssen. Man schiebe zwei gleich dicke Bücher so aneinander, daß sie eine horizontale Ebene repräsentiren, lasse auf jedes Buch da, wo sie zusammenstoßen, eine Kraft von unten nach oben wirken, durch welche die Bücher gehoben werden, so wird man sich überzeugen, daß auch bei mäßiger Erhebung sehr breite Thäler entstehen können. Etwas Charakteristisches zeigen in diesem Falle die gegenüberstehenden Schichten, so fern überhaupt Schichtung vorhanden war. Das Fallen der Schichten ist genau entgegengesetzt. Sind die gehobenen Gesteine aber ungeschichtet, so fällt dieses Merkmal weg und es ist eine sorgfältige Untersuchung des ganzen Thales und eine genaue Erwägung aller Umstände erforderlich, um zu erfahren auf welche Weise das Thal gebildet worden ist.

Die Frage ob Thäler auch durch Gletscher ausgehöhlt werden können bejaht Tyndall*) ganz entschieden, während Rüttimeyer**) sie ebenso entschieden verneint indem er sagt: „Mit Vergletscherung wird Thalbildung stille gestellt; sie geht nur außerhalb der Eisdecke vorwärts. Gletscherperioden sind die Ruheperioden, man möchte sagen Puppenzustände in der Ge-

*) Tyndall, In den Alpen.

**) Rüttimeyer, Thal und Seebildung.

schichte der Thäler; die thalbildende Kraft, die in dem Gletscher schlummerte erwacht zur Thätigkeit erst an dessen Ausgang“ und Tyndall beruft sich hauptsächlich auf die zermalnende Kraft des Gletschers und auf das Wasser, das unter dem Gletscher die Zerreibungsprodukte wegführt und sie am Portal in Form von Sand und Schlamm an das Tageslicht fördert. Diese Zerreibungsprodukte sind überzeugend; denn rühren sie, woran ja Niemand zweifelt, von der Arbeit des Gletschers, so kann man diesem Werkzeug, das im Thale fließt, auch nicht die Kraft zur weiteren Aus-
höhlung streitig machen. Rüttimeyer geht gewiß zu weit wenn er behauptet: Mit Vergletscherung wird Thalbildung stille gestellt. Sie wird nicht stille gestellt, sie geht nur langsamer vor sich, wenn der Gletscher in einem schon vorhandenen Thale sich bewegt. Anders ist es freilich wenn der Gletscher nicht in einem Thale fließt, wenn er erst das Thal bilden soll. Schon früher wurde gezeigt, daß dem Gletscher die aushöhlende Kraft nur zugeschrieben werden kann, wenn seiner Unterfläche jene scharfen Kiesel eingefügt sind, mit deren Hilfe er die härtesten Felsen abhobelt. Diese Kiesel stammen aber stets von Felsen, die den Gletscher überragen; sie fehlen folglich, wenn der Gletscher nicht im Thale fließt. Wenn man daher dem Gletscher das Vermögen ein vorhandenes Thal weiter auszugraben nicht absprechen kann, so kann man ihm doch die thalbildende Kraft nicht beilegen. Das Wasser ist in dieser Beziehung einzig, weil es nicht nur Erdtheilchen fortreißt, sondern auch auflöst und es ist vom höchsten Interesse zu erfahren, welche und wie viele Bestandtheile dem Meere durch Flüsse zugeführt werden.

Man kann dabei in zweierlei Weise zu Werke gehen, entweder man dampft ein gegebenes Quantum Wasser ein und wägt den Rückstand, oder man filtrirt erst, wägt den Rückstand auf dem Filter, dampft dann das Filtrat ein und wägt was nun zurückbleibt. Die letztere Methode verdient den Vorzug, weil man durch sie erfährt, wie viel schwebende Bestandtheile und wie viel aufgelöste Bestandtheile der Fluß mit sich führt. Da aber in den verschiedenen Jahreszeiten das Flußwasser bald mehr bald weniger Bestandtheile mit sich führt, so muß man die Analyse und die Wassermessung von Zeit zu Zeit wiederholen. Nur dadurch wird man in den Stand gesetzt zu sagen, dieser Fluß führt im Laufe eines Jahres soviel feste und soviel aufgelöste Bestandtheile dem Meere zu.

	schwebende Theile.	aufgelöste Theile.	Summa.
1) In 100000 Gewichtstheilen Wasser *) geschöpft im Rhein bei Bonn am 24. März 1851 waren	20,5	11,23	31,73
2) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft im Rhein bei Bonn am 27. März 1852 waren	1,73	17,08	18,81
3) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft in der Elbe bei Hamburg am 1. Juni 1852 waren	0,891	12,69	13,581
4) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft in der Donau bei Wien am 5. August 1852 waren	9,237	14,14	23,377
5) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft in der Weichsel bei Culm waren bei Eisgang im März 1853 . im April „ .	5,82 2,53	20,05 13,52	25,87 16,05
6) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft im Ganges waren an schweb. und aufgel. Theilen im Mittel . . .			86,86
7) In 100000 Gewichtstheilen Wasser geschöpft im Mississippi fand man an schweb. und aufgel. Theilen einmal das anderemal			80,32 58,82

Aus der Wassermenge des Ganges und dem Gehalte desselben an schwebenden und aufgelösten Theilen hat man berechnet, daß dem Meere jährlich 636807740 Cubikfuß Bestandtheile zugeführt werden. Diese Menge entspricht einem Würfel von 1853 Fuß Seitenlänge. Man könnte mit ihr ein Quadrat von 79800 Fuß Seitenlänge einen Fuß hoch bedecken.

Nach Whell führt der Mississippi dem Meere jährlich 3702758400 Cubikfuß feste Bestandtheile zu. Diese Menge entspricht einem Würfel von

*) G. Bischof, Lehrb. der Geologie. 1. Bd. S. 500.

1547 Fuß Seitenlänge. Mit ihr könnte man ein Quadrat von 60850 Fuß Seitenlänge einen Fuß hoch bedecken. Dessel berechnet weiter, daß zur Bildung des Mississippideltas, das 13600 englische Quadratmeilen groß ist, ein Zeitraum von 67000 Jahren erforderlich war. Wenn diese Zahlen auch nur annähernd richtig sind, so geben sie doch einen Begriff von der überaus großen Menge fester Bestandtheile, die jährlich dem Meere zugeführt werden. Sehen wir zu welche Verbindungen in Lösung, und welche in Suspension fortgeführt werden. In den folgenden Tabellen ist angegeben, welche und wie viel feste Substanzen in 100000 Thln. Wasser gelöst sind.¹⁾

	1. Rhein bei Basel im Herbst.	2. Rhein bei Straß- burg.	3. Rhein bei Bonn im März 1851. Wasser angeschwellen, trüb.	4. Rhein bei Bonn im März 1852. Wasser klar.	5. Donau bei Wien, 5. Aug. 1852. Wasser ziemlich klar.	6. Elbe bei Hamburg, 1. Juni 1852. Wasser trüb.
Kohlensäurer Kalk	12,79	13,56	3,24	9,46	8,37	6,98
„ Magnesia	1,35	0,50	1,22	0,65	1,50	0,39
Kieselsäure	0,21	4,88	2,05	0,89	0,49	0,54
Eisenoxyd	Spur	0,58	0,69	0,28	0,20	0,12
Manganoxyd	0	0	0,04	0	0	
Thonerde	Spur	0,25	0,10	0	0	0,72
Schwefels. Kalkerde	1,54	1,47	3,89	2,38	0,29	
„ Magnesia	0,39			1,81	1,37	3,94
„ Kali					0,20	
„ Natron	0,18	1,35		0,16		
Chlornatrium	0,15	0,20	}	1,45		}
Chlorkalium						
Chlorcalcium						
Chlormagnesium						
Kohlensäur. Natron						
Kieselsäur. Kali . . .						
Salpetersäure Salze		0,38				
Organische Sub- stanzen	0,33					
	16,94	23,17	11,23	17,08	12,42	12,69

*) G. Bischof. L. d. G. Bd. 1. S. 271.

	Rhone bei Genf 30. April.	Loire bei Orleans.	Seine oberhalb Paris.	Themse bei Green- wich 1. Jan.	Themse bei London Bridge 13. Oct. 1848.	Ar bei Bern im Herbst.	Arve im August.	Marne.
Kohlensaurer Kalk .	7,89	4,81	11,3	20,54	11,56	15,22	5,2	10,5
„ Magnesia	0,49	0,61	0,4			1,68	0,4	0,9
Kieselsäure	2,38	4,06	0,5	1,13	0,18	0,27	0,1	0,6
Eisenoxyd	0	0,55						
Manganoxyd	0	0						
Thonerde	0,39	0,71						
Schwefelsaurer Kalk	4,66		3,6	2,84	4,56	1,74	3,2	3,1
„ Magnesia	0,63		0,6	2,85		2,60	2,9	1,2
„ Kali . . .	0			1,96				
„ Natron .	0,74	0,34		0,21		0,09		
Chlornatrium	0,17	0,48		4,44	3,65	} 0,03		
Chlorkalium					0,33			
Chlorcalcium			1,0		6,24			
Chlormagnesium . .			0,8				0,7	1,7
Kohlensaures Natron		1,46						
Kieselsaures Kali . .		0,44						
Salpetersaure Salze	0,85							
Organ. Substanzen				5,82	10,00		0,3	
	18,20	13,46	18,2	39,79	36,52	21,63	12,8	18,0

Auf den ersten Blick sieht man, daß unter allen mineralischen Bestandtheilen der kohlen-saure Kalk in größter Menge vorhanden ist. Berechnet man aus den vorstehenden Tabellen, wie viel kohlen-saurer Kalk auf 100 Gewichtstheile der vom Wasser gelösten festen Bestandtheile kommt, so findet man, daß auf die Loire 35%, die Themse 43 bis 57%, die Elbe 55%, den Rhein 55 bis 75%, die Donau 67%, die Ar und die Seine 75% und die Rhone 82 bis 94% kohlen-saurer Kalk kommt. Der kohlen-saure Kalk rührt von den mächtigen Kalkgebirgen, welche die genannten Flüsse durchströmen. Daß der Kalkgehalt so stark variirt, das kommt von der Verdünnung, welche die Flüsse beim Schneeschmelzen und durch anhaltenden Regen erfahren. Aus dem Wasserquantum, das der Rhein führt und dem darin gelösten kohlen-sauren Kalk hat Bischof berechnet, daß jährlich 332539 Auestern von gewöhnlicher Größe das Material zur Schalenbildung geliefert wird.

Die kohlensaure Magnesia tritt gegen den Kalk sehr zurück, weil die Kalkgebirge nur sehr wenig kohlensaure Magnesia enthalten und weil selbst aus Kalksteinen mit großem Gehalt an kohlensaurer Magnesia, durch kohlensäurehaltiges Wasser nur sehr wenig kohlensaure Magnesia nach Bischofs Versuchen ausgezogen wird. Wo indessen die Flüsse magnesiahaltige Kalksteine durchschneiden, wie z. B. in den Berner Alpen, in Bündten und am Mont Blanc, da führen sie stets, wie das Beispiel der Nar. des Rheins und der Arve lehrt, eine größere kohlensaure Magnesiameenge mit sich.

Nach dem kohlensauren Kalk tritt der schwefelsaure Kalk in größter Menge auf. Da er leichter löslich ist als der kohlensaure Kalk, so würde er den letzteren übertreffen, wenn Gypsgebirge in solcher Ausdehnung vorkämen wie Kalkgebirge. Das ist aber bekanntlich nicht der Fall. Der geringe Gehalt an schwefelsaurer Kalkerde kann auch unter Umständen auf einer chemischen Zersetzung beruhen; denn wenn in einen Fluß gleichzeitig mit kohlensaurem Natron schwefelsaurer Kalk geführt wird, so bildet sich kohlensaurer Kalk und schwefelsaures Natron. Damit ist zugleich erklärt, warum in den Flüssen kohlensaures Natron nicht vorkommt, obwohl es doch in sehr vielen Quellen vorhanden ist. Bemerkenswerth ist noch die geringe Menge von Chlorüren und die verhältnißmäßig bedeutende Menge organischer Substanzen, die dem Meere zugeführt werden. Sehen wir nun zu, welche und wie viele Verbindungen in den schwebenden Theilen des Wassers vorkommen.

	I.	II.	III.	IV.	V.
Kieselsäure	57,63	66,20	50,14	58,97	79,53
Thonerde	10,75	12,35	4,77	9,97	13,45
Eisenoxyd	14,42	16,56	2,69	4,25	4,81
Manganoxyd	Spur	Spur	0,35		
Kalkerde	2,73	3,14	0,77	0,02	0,02
Magnesia	0,24	0,28	0,34	0,04	0,06
Kalk	0,89	1,02	0,55	1,11	1,50
Natron	0,39	0,45	0,54	0,84	1,14
Kohlensaurer Kalk . .			30,76	20,16	
Kohlensaure Magnesia			1,24	4,21	
Eisenoxydul			5,20		
Wasser u. organische					
Substanz	12,95		2,65	1,37	
	100	100	100	100,94	100,51

I. Analyse der im Rhein bei Bonn schwebenden Theile am 24. März 1851 als der Rhein angeschwollen war. *)

II. Dieselbe Analyse nach Abzug der organischen Substanz.

III. Abſatz des Rheindetritus da, wo er in den Bodensee fließt, gesammelt von G. Bischof im September 1851. Nach dem Trocknen bildete er ein sehr feines graues sandartiges Pulver ohne allen Zusammenhang mit deutlich erkennbaren Quarzkörnchen, silberweißen Glimmerblättchen und schwarzen Körnchen. Schwefelwasserstoff und Kohlensäure entwickelten sich, als er mit Salzsäure übergossen wurde.

IV. Löß auf dem Wege von Oberdollendorf nach Heisterbach von Kjerulf analysirt.

V. Dieselbe Analyse nach Abzug der Carbonate und der organischen Substanz.

Aus I erfahren wir, daß kohlensaurer Kalk auch wenn der Rhein angeschwollen ist unter den schwebenden Bestandtheilen nicht vorkommt. Das kommt daher, daß die geringen Mengen von kohlensaurem Kalk, welche Bäche und kleinere Flüsse ihm zuführen sehr schnell in der großen Wassermasse gelöst werden.

Die Bestandtheile I. haben eine gewisse Ähnlichkeit mit eisenreichen Thonschiefern; sie waren so fein vertheilt, daß sich das Wasser, das ganz ruhig in einem Glase stand, erst nach mehr als 4 Monaten klärte.

Die Analyse III zeigt, daß der Rhein bis zu seinem Einfluß in den Bodensee bedeutende Mengen von kohlensaurer Kalkerde schwebend mit sich führt. Die Glimmer- und Quarztheilchen, die man mit der Lupe erkennen konnte, stammen von den Granit-, Gneiß- und Glimmerschiefergebirgen des Rheinwald-Thales. Der Schwefelwasserstoff, welcher sich beim Beseuchten mit Salzsäure entwickelte, stammt wahrscheinlich von Schwefelcalcium, welches aus schwefelsaurer Kalkerde durch organische Substanzen gebildet worden ist.

Vergleicht man den Abſatz III mit dem Löß IV, so ist die nahe Uebereinstimmung beider nicht zu verkennen. Der Löß ist ein Thon mit sehr wechselnden Mengen von kohlensaurem Kalk. In unserem speciellen Falle IV ist der Gehalt an kohlensaurer Kalkerde groß. Sieht man daher von dem kohlensauren Kalk und der organischen Substanz in III ab

*) G. Bischof, Lehrb. der Geologie. Bd. 1. S. 498.

und berechnet wie viel Kieselsäure, Thonerde u. s. w. in 100 Gewichtstheilen des Absatzes sind, so tritt die Uebereinstimmung mit IV noch besser hervor. — Da der Rhein von seinem Austritte aus dem Bodensee bis zum Meer schwebenden kohlensauren Kalk nicht oder nur in verschwindend kleiner Menge führt, so fragt es sich, woher rührt der kohlensaure Kalk im Löß des Rheinthals. Der Rhein durchschneidet von Basel bis Mainz kein größeres Kalkgebirg. Wenn man nun annimmt, daß der Löß ein Absatz des Rheines ist, so muß man zugeben, daß auch der Kalk vom Rheine mechanisch mitgeführt und gleichzeitig abgesetzt worden ist. Dann kann aber der Rhein unmöglich durch einen Schweizer See geflossen sein; denn sonst hätte er, wie noch jetzt, allen schwebenden Kalk darin abgesetzt. Es liegt hier eine Schwierigkeit vor, die nicht so leicht zu lösen ist.

Die Donau erhält den größten Theil ihres Wassers durch den Inn, der in den Alpen entspringt. Der Inn durchschneidet auf große Erstreckung hin Kalkgebirge und führt daher kohlensauren Kalk in Lösung und in Suspension mit sich. Er fließt aber durch keinen See und daher kommt es, daß das Donauwasser bei Wien fast genau dieselben schwebenden Bestandtheile — namentlich auch kohlensauren Kalk — führt, wie der Rhein vor seinem Einfluß in den Bodensee. Im Allgemeinen weichen die schwebenden Bestandtheile der meisten Flüsse nicht sehr von einander ab. Diese schwebenden Bestandtheile sind es, welche der Fluß absetzt, wenn er sich in einen See oder ins Meer ergießt. Die gröberen setzen sich unmittelbar an der Einnündung ab und bilden das sogenannte Delta; die feineren können auf sehr weite Entfernungen hin durch Strömungen getrieben werden. Nach Pfaff's Versuchen,*) der trübes Flußwasser in einem 30 cent. hohen Gefäße ruhig bis zur Klärung stehen ließ, ergibt sich, daß die ganz feinen Theilchen in 3 Tagen etwa einen Centimeter sinken. Da nun das Meerwasser fast niemals ganz ruhig ist, so kann man an der Möglichkeit der Fortführung feiner Thontheilchen durch den ganzen Ocean nicht zweifeln.

Die im Wasser gelösten Theile übertreffen die suspendirten nach der Tabelle Seite 220 bedeutend. Der kohlensaure Kalk, der den Hauptbestandtheil der in Lösung befindlichen Substanzen ausmacht, liefert zahlreichen

*) Pfaff, Allgemeine Geologie. S. 306.

Meeresgeschöpfen das Material zur Schalenbildung. Da er nur durch kohlenensäurehaltiges Wasser gelöst bleibt, so kann er unter Umständen auch bald nach seinem Eintritt in das Meer Absätze bilden. Wenn nämlich der Fluß da einmündet, wo das Meer durch Winde stark aufgewühlt wird, so verliert das einmündende Wasser schnell die Kohlensäure und kohlen-saurer Kalk schlägt sich nieder.

Die vorhin erwähnten Deltas geben noch Veranlassung zu einigen Betrachtungen. Die Bodengestalt des Genfersees ist ziemlich unregelmäßig. In der Mitte hat er indessen fast überall eine Tiefe von 232 bis 310 Meter und es ist keine Frage daß er, wenn die Verhältnisse so bleiben wie sie jetzt sind, durch den Detritus der Rhone einstens ausgefüllt werden wird. Es läßt sich der Zeitpunkt, in welchem das geschehen sein wird im voraus berechnen, wenn man die jährlich durch die Rhone eingeführte Menge schwebender Theile kennt. Daß indessen seit der historischen Zeit die Rhone schon mächtige Schichten abgelagert hat geht daraus hervor, daß die alte Stadt Portus Valesiae, die einstens am Ende des Genfersees lag, jetzt mehr als 600 Meter landeinwärts liegt. Ein Blick auf die Karte genügt, um sich zu überzeugen, daß auch die ganze Strecke von Yev bis zur jetzigen Rhonemündung — eine Entfernung von 15000 Meter — dem Genfersee im Laufe der Zeit abgewonnen ist.

Am längsten bewohnt und bekannt ist wohl das Nildelta. Schon vor Herodots Zeiten war es die Meinung der aegyptischen Priester, daß Aegypten das Geschenk des Nils sei; und in der That läßt die Gestalt und die Bildung des niedrigen Landes darüber keinen Zweifel aufkommen, daß das Meer einst den Fuß der Felsen bespülte, auf denen die Pyramiden von Memphis stehen. Auf Veranlassung L. Horner's wurden im Niltal Bohrlöcher abgeteuft, in denen man 60 bis 70 Fuß unter der Oberfläche Reste von Ziegeln fand. Da nach den Untersuchungen Girards das Land durch den Nilschlamm in 100 Jahren um 5 Zoll erhöht wird, so müssen jene Ziegeln von Menschen herrühren, die vor 12000 Jahren gelebt haben. Der Fuß der Pyramiden von Memphis liegt jetzt etwa 80 Fuß über dem Spiegel des Mittelländischen Meeres, es muß daher eine noch größere Zahl von Jahrtausenden verflossen sein, seitdem dieses Meer jene Felsen bespülte. Diese Rechnung ist eine nur wenig zuverlässige, weil vorausgesetzt wird, daß die Erhöhung des Landes überall

eine gleichmäßige war, was doch nicht der Fall ist und daß die Verhältnisse immer so waren wie jetzt. An den unteren, dem Meere näher liegenden Theilen, erhöht sich das Land bekanntlich weit weniger als an den oberen. Immerhin sind auch diese Betrachtungen interessant, weil sie uns annähernd einen Begriff von den Zeiträumen geben, die nothwendig sind, so kleine Deltabildungen zu schaffen. In geringer Entfernung von den Nilmündungen ist das Meer 72 par. Fuß tief. Die Tiefe steigt von hier an allmählich bis zu 300 Fuß und geht dann fast mit einemmal in 2280 Fuß über. Reichte das Meer früher bis Memphis und war ursprünglich 300 Fuß tief, so waren zur Ausfüllung des Meerbusens 55555 Jahre nothwendig, war es aber 2280 Fuß tief, so verfloßen 420000 Jahre bis zur Ausfüllung.

Gumphry und Abbot stellten Untersuchungen über die Abschwemmung der Erdoberfläche im großen Flußgebiet des Mississippi an. Nach deren Rechnungen und Schätzungen wird in 6000 Jahren etwa 1 Fuß tief die Erde weggeschwemmt. Wenn die Verhältnisse das Abnagen durch Wasser fort und fort begünstigten und es fänden keine Hebungen statt, so müßte, da die Höhe der Continente im Mittel 1000 Fuß ist, nach 6 Millionen Jahren alles Land in das Meer eingeschwemmt sein, der Boden des Meeres würde dadurch nur um 500 Fuß erhöht, aber alle Seen der Erde könnten vollständig ausgefüllt werden und es bliebe noch viel Material übrig.

Daß schon viele Seen durch Flüsse ausgefüllt worden sind, ist bekannt und daß alle ausgefüllt werden müssen, wenn die Verhältnisse so bleiben wie jetzt, ist unzweifelhaft. Die Seen sind daher eine vorübergehende Erscheinung. Damit soll nicht gesagt sein, daß eine Zeit kommen wird, in der kein See mehr auf der Erde anzutreffen ist; denn die Möglichkeit der Seebildung bleibt für alle Zeiten bestehen. Welches sind denn aber die Bedingungen der Seebildung? —

Seen können entstehen durch Hebungen und Senkungen. Fände z. B. bei Rügen eine Hebung statt, so daß der jetzige Meeresboden über die Oberfläche käme, dann wäre die Ostsee ein geschlossener See. Durch Senkungen; denn dadurch entstehen Becken, in denen das Wasser sich sammelt. Seen entstehen auch dadurch, daß ein Thal durch Felsblöcke, Lawinen oder Moränen abgedämmt wird. Wenn endlich irgendwo der

Meeresboden durch Hebung an die Oberfläche kommt, so müssen Seen entstehen, wenn derselbe eine muldenförmige Beschaffenheit hatte. Daraus folgt, daß jeder einzelne See, wenn die Ursache seiner Bildung angegeben werden soll, auf das genaueste untersucht werden muß. Von besonderer Wichtigkeit ist daher die systematische Bestimmung der Tiefe nach allen Richtungen. In dieser Beziehung ist noch sehr wenig geschehen. Aber auch das wenige gibt schon manche interessante Aufschlüsse. Daß der Boden der italienischen Alpenseen unter dem Meerespiegel, der der Schweizer Seen über demselben liegt, läßt uns vermuthen, daß die italienischen Seen meistens mit dem Meere in Verbindung standen. Man darf nicht einwenden, daß alsdann ihr Wasser salzig sein müßte; denn da diese Seen Abfluß haben und von süßem Wasser gespeist werden, so mußte das Salzwasser alsbald verschwinden. In ihrem Boden vergraben dürften sich wohl noch Reste von Meeresthieren auffinden lassen. Eine kleine Anzahl von Fischen und namentlich eine Krebsart, die den Gardasee bewohnt, weisen mit großer Wahrscheinlichkeit darauf hin, daß wenigstens dieser See mit dem Meere in Verbindung gestanden hat. *)

Der Spiegel der Alpenseen liegt in verschiedener Höhe. Man kann daraus mit großer Wahrscheinlichkeit den Schluß ziehen, daß der Ursprung dieser Seen einem gemeinsamen Wasserbecken nicht zuzuschreiben ist. Bemerkenswerth ist, daß fast alle Alpenseen in der Fortsetzung großer Thäler liegen und daß somit eine enge Beziehung zwischen ihnen und den die Thäler und sie selbst durchströmenden Flüssen besteht.

Der tiefste der Alpenseen ist der Lago Maggiore. Trägt man seine Länge 45,6 Kilomet. auf, errichtet in der Mitte eine Senkrechte und trägt hier die größte Tiefe 845 Meter auf, verbindet dann die Endpunkte der Linie mit dem Endpunkte der Senkrechten, so bemerkt man, daß dieser See doch nur ganz allmählig abfällt und ein ziemlich flaches Becken der Länge nach bildet. Man kann die Vermuthung nicht unterdrücken, daß dieses Becken durch Senkung entstanden ist.

Der größte aller Seen ist das Kaspiische Meer, dessen Spiegel 26,2 Meter unter dem Spiegel des Schwarzen Meeres steht.

*) Rütimeyer, Thal- und Seebildung.

Es enthält in 1000 Thln. Wasser 8 Thl. Kochsalz, 3 Thl. schwefelsaure Magnesia, 0,6 Thl. Chlorcalcium, 0,5 Thl. schwefelsauren Kalk, 0,4 Thl. doppelt kohlensauren Kalk und 0,2 Thl. doppelt kohlensaure Magnesia. Da das Kaspiſche Meer keinen Abfluß hat und ſalzig iſt, ſo muß es früher mit dem Meere in Verbindung geſtanden haben oder der Kochſalzgehalt iſt ihm durch Flüſſe zugeführt worden. Die Analyſe des Uralflußwaſſers hat ergeben, daß dieſer große, das Kaspiſche Meer ſpeiſende Strom in 1000 Thln. Waſſer 3,6 Thl. Kochſalz enthält. Er allein kann ſolglich dem Kaspiſchen Meere das ſämmtliche Kochſalz im Laufe der Zeit geliefert haben und durch ihn allein muß bei gleichbleibenden Umſtänden das Kaspiſche Meer einſtens eine geſättigte Löſung werden. Immerhin fragt es ſich, ob nicht dennoch das Kaspiſche Meer mit dem Schwarzen Meere im Zuſammenhang ſtand. Da das dem Kaspiſchen Meere zufließende Waſſer durch Verdunſtung entweicht, die darin aufgelöſten Beſtandtheile aber zurückbleiben, ſo muß, wenn ein Zuſammenhang zwiſchen beiden Meeren früher beſtanden hat, das Kaspiſche Meer weit ſalziger als das Schwarze Meer ſein. Die Analyſe lehrt, daß das Kaspiſche Meer lange nicht ſo ſalzig iſt als das Schwarze Meer, ſolglich muß das Kaspiſche Meer früher ein Süßwaſſerbecken geweſen ſein, deſſen Kochſalzgehalt von den vielen Salzquellen herrührt, die der Uralfluß aufnimmt und die zum Theil vielleicht in dem See ſelbſt emporſteigen. Das ganze Kaspiſche Meer kann durch Senkung entſtanden ſein.

Das Todte Meer, von jeher der Sagen wegen berühmt, die in ſeiner Nähe ſpielten, liegt nicht, wie einige Reiſende berichtet haben, in einer vulkaniſchen Gegend, in der es Schwefel und Feuer regnet, es liegt im regulärſten Flözgebirge, das durch Verwitterung und Eroſion der großartigen Kreidefeſſen Geſtalten angenommen hat, wie ſie in den Kalkalpen ganz gewöhnlich ſind.*) Zwiſchen Ras el Feſſah und dem Ras Ghutweir und gegenüber an der Steilwand der Berge Moabs iſt auch nicht eine Spur weder von vulkaniſchem Geſtein, noch von Vulkanismus im weitesten Sinne zu ſehen. Keine Störung der Schichten, kein Knick, kein Bruch, keine Verwerfung oder Senkung, nichts von alledem iſt bemerkbar. Der Spiegel dieſes Sees liegt 392 Meter unter dem Spiegel des Mittel-

*) Aus dem Orient, geologiſche Beob. von Fraaſ.

ländischen Meeres. Die chemische Zusammensetzung des Wassers zeigt folgende Tabelle. *)

Aus dieser Tabelle ersieht man, daß das Wasser von der Oberfläche nach der Tiefe immer schwerer und salzreicher wird. Ganz besonders stark nimmt der Chlor- und Bromgehalt zu. Der Natriumgehalt wächst bis zu 200 Meter Tiefe. Von 200 Meter bis 300 Meter Tiefe nimmt er stark ab. Daraus folgt, daß sich fortwährend aus dem See Rochsalz nieder schlägt; aber nicht bloß Rochsalz, auch alle diejenigen Bestandtheile, die der Jordan in Suspension mit sich führt. Direkt bewiesen wurde das durch die Analyse einer Bodenprobe aus einer Tiefe von 212 Meter, nahe in der Mitte des Sees. Aus dieser Probe zog Wasser 20,5% Rochsalz aus. Der Rest bestand aus:

Rohlenjaurem Kalk	42,95
Kalk	1,40
Magnesia	1,66
Kieselsäure	36,17
Rohlenf. Magnesia	0,23
Eisenoxyd	8,41
Thonerde	9,04
	99,86

Tiefe in Meter.	Wasser.	Salze.	Chlor.	Brom.	Schwefel.	Kohlensäure.	Magnesium.	Natrium.	Calcium.	Strontium.	Spezialgewicht bei 15° H.
0	972,93	27,07	17,62	0,167	0,202	Spuren	4,19	0,88	2,15	0,47	1,021
0	952,32	47,68	29,82	0,83	0,676	"	3,47	7,84	4,48	0,77	1,037
0	794,21	205,78	126,52	4,568	0,494	"	25,52	22,4	9,09	3,54	1,164
20	795,68	204,31	145,5	3,20	0,362	"	29,88	13,11	11,47	3,52	1,187
42	739,1	260,99	165,4	4,83	0,44	"	41,0	24,78	3,69	2,42	1,215
120	737,35	262,64	166,3	4,57	0,45	"	41,3	25,0	3,70	3,99	1,222
200	728,39	271,60	170,4	4,38	0,45	"	42,0	25,1	4,21	4,50	1,230
300	721,86	278,13	174,9	7,09	0,52	"	41,4	14,3	17,26	4,38	1,256

*) Die Analysen sind ausgeführt von Terreil in Paris.

Der Boden des Todten Meeres repräsentirt uns hier einen Salzthon ähnlich dem in Hall und in Berchtesgaden. Das ganze Todte Meer erscheint als eine Mutterlange, aus welcher sich fortwährend Kochsalz ausscheidet. Die Chemie lehrt, daß Wasser um so weniger Kochsalz zu lösen vermag, je mehr Chlormagnesium und Chlorkalcium es enthält. Da nun alle drei Salze vom Jordan dem Todten Meere fortwährend zugeführt werden, Chlormagnesium und Chlorkalcium aber zerfließliche Körper sind, die nicht leicht auskrySTALLISIREN, so erscheint die constante Ausscheidung von Kochsalz aus dem Todten Meer als eine Nothwendigkeit.

Die Frage, stand das Todte Meer ehemals in Verbindung mit dem Rothten Meer, wurde bald bejaht, bald verneint. Sie wurde bejaht, weil das Todte Meer als ein concentrirtes Meerwasser erscheint, und weil es sowie die ganze Jordanspalte in der Verlängerung des Meerbusens von Akabah liegt. Der Spiegel des Todten Meeres hätte damals 392 Meter höher sein müssen als jetzt. Nun ist festgestellt durch Geschiebmassen, die bis zu 100 Meter Höhe über dem Spiegel des Todten Meeres an den Uferwänden hängen, *) daß ohne Zweifel der Wasserstand in früherer Zeit 100 Meter höher gewesen sein muß als jetzt. Darf man also nicht schließen, daß das Todte Meer mit dem Rothten Meer in Verbindung stand? — Nein, das dürfte man erst, wenn diese Geschiebe nicht 100 Meter, sondern 392 Meter über dem Todten Meer angetroffen würden, oder wenn man eine Senkung von 292 Meter seit jener Zeit nachweisen könnte. Ehrenberg fand in Wasser- und Grundproben aus dem Todten Meer jetzt lebende Süßwasserformen und schloß, daß dies Meer niemals mit dem Rothten Meer in Verbindung gestanden habe, weil die kleinen Meeresorganismen in ihm fehlen oder doch nur unbedeutend repräsentirt sind. Dieser Schluß ist indessen nicht gerechtfertigt; denn da sich fortwährend Absätze im Todten Meere bilden, so müßten die früheren Meeresorganismen längst unter diesen Schichten begraben liegen. Die Organismen, die jetzt im Todten Meere gefunden werden, können nur durch Flüsse eingeführt worden sein, weil in einer so concentrirten Lauge organische Geschöpfe nicht gedeihen.

Kann denn das Todte Meer ursprünglich ein Süßwassersee gewesen

*) Dsc. Fraas, Aus dem Orient, S. 74.

sein, der durch Verdunstung und durch Zufuhr von chemischen Bestandtheilen von Seiten der Flüsse allmählich zu einer gesättigten Lauge geworden ist? Alsdann müßten die Flüsse und namentlich der Jordan dieselben Bestandtheile führen, die das Todte Meer hat. Der Jordan enthält in 100000 Thln. Wasser 105,2 aufgelöste Bestandtheile, darunter

Chlornatrium*)	52,5
Chlormagnesium	25,0
Schwefels. Kalk	} 7,5
Schwefels. Magnesia	
Erdige Bicarbonate	15,2
Organische, stickstoffhaltige.	
bituminöse Stoffe	5,0
	105,2

Daß Brom nicht gefunden wurde rührt wohl daher, daß es in der untersuchten Probe in verschwindend kleiner Menge vorhanden war und daß vielleicht die Aufmerksamkeit nicht darauf gerichtet wurde. Von Chlorkalium wurden auch nur Spuren gefunden, die sich im Todten Meer bis zu mehreren Procenten concentrirt haben. Es steht also chemischer Seits nichts der Annahme im Wege, daß das Todte Meer ursprünglich ein Sammelbassin für Regen- und Flußwasser war. Es steht auch geologischer Seits nichts entgegen; denn da das Todte Meer in Kreidefelsen eingesenkt ist, die Tertiärschichten vom Libanon bis nach Aegypten aber vollständig fehlen, so war Palästina zur Kreidezeit zum letztenmale unter dem Meerespiegel. In der darauffolgenden Tertiärzeit war es schon über dem Meerespiegel, es fand folglich die Hebung noch während der Kreidezeit statt. Wie ein Blick auf die Karte lehrt, liegt das Todte Meer sammt dem Jordan in einer Versenkung, in einer Spalte. Nun ist es freilich möglich, daß diese Spalte während der Hebung, ehe das Meerwasser abgeflossen war, entstanden ist, es ist aber ebenfogut möglich, daß sie nach der Hebung sich gebildet hat, oder wenigstens während der Hebung, nachdem das Meerwasser abgeflossen war. Im letzteren Falle wäre das Todte Meer ein Süßwasserbecken gewesen, dessen Spiegel einmal 100 Meter über dem jetzigen Spiegel gelegen hat. Die Zuflüsse müssen in jener längst ver-

*) Jahrbuch für Mineralogie 1853, S. 187 u. G. Bischof, L. d. G. Bd. 2 S. 50.

gangenen Zeit weit stärker gewesen sein als jetzt, weil nur durch sie der Spiegel des Sees so hoch steigen und nur durch sie jene Geschiebmassen an den Uferwänden abgelagert werden konnten. Am Ende der Tertiärperiode trat jene merkwürdige Gletscherzeit ein, in welcher auch der Libanon mit einem Eismantel umhüllt wurde. Verlegen wir jene längst vergangene Zeit in diese Periode, so erklären sich die stärkeren Zuflüsse, so erklärt sich der höhere Wasserstand des Meeres auf das einfachste.

Es bleibt noch die Frage zu erörtern, in welcher Zeit das Todte Meer zu einer gesättigten Lauge geworden ist. Setzen wir voraus, daß die Verdunstung und der Wasserzufluß sich das Gleichgewicht halten, dann muß täglich nach Professor Bech eine Wasserschicht von 13,5 Millim. Höhe verdampfen. *) Der Jordan führt, wie schon angegeben, in 100000 Thln. Wasser 105,2 Thl. Salze dem Todten Meere zu. Nehmen wir die mittlere Tiefe des Todten Meeres gleich 260 Meter und setzen voraus, das Wasser sei gesättigt wenn auf 721,86 Gewichtstheile Wasser, 278,13 Thl. Salze oder was dasselbe ist, wenn auf 10000 Gramm Salz, 26000 Gr. Wasser kommen, so ergibt eine einfache Rechnung, daß in runder Zahl 20000 Jahre bis zur Sättigung verfließen mußten. Von da an schlug sich fortwährend Salz nieder. Das Todte Meer steht in Bezug auf Gehalt und Concentrationsgrad nicht einzig da. Es gibt noch viele Seen in Persien, Rußland, Kleinasien u. s. w., die in ähnlicher Weise entstanden sind, die Zufluß, aber keinen Abfluß haben und fortwährend Salze niederschlagen.

Bemerkenswerth sind noch diejenigen Seen, die ansehnliche Quantitäten von kohlensaurem Natron enthalten und daher Natronseen genannt werden. Sie finden sich in Ungarn, Aegypten, Asien, Africa und Amerika. Einige finden sich in der Nähe von Lavaströmen und rühren von Quellen her, die unter der Lava hervortreten. Der Van See**) an der Persischen Grenze im südlichen Ameristan enthält z. B.

Kohlensaures Natron .	0,861
Chlornatrium	0,938
Schwefelhaures Natron	0,333

*) Diese Höhe ist ungewöhnlich groß. In Württemberg z. B. war die größte Verdunstungshöhe in 24 Std. 2,2 Millim. In Palermo war sie im Juli 7,85 Millim.

**) G. Bischof, L. d. G. 1. Bd. S. 315.

Schwefelsaures Kali .	0,055
Kohlensaure Magnesia	0,055
Kieselsäure	0,018
Wasser	97,740
	100

Mineralquellen von ähnlicher Zusammensetzung, nur von viel geringerem Salzgehalt, finden sich in den Umgebungen des Laacher See und in vielen vulkanischen Gegenden. Daraus folgt, daß ihre Existenz an das Vorhandensein und die Zersetzung vulkanischer oder ähnlich zusammengesetzter Gesteine geknüpft ist. Die aus der Tiefe aufsteigende Kohlensäure zersetzt diese Gesteine und das Wasser bringt die Zersetzungsprodukte an das Tageslicht. Der Laacher See, der ganz in vulkanischem Gestein eingesenkt ist, ist auch ein Natronsee, der in 10000 Thl. Wasser:

Kohlensaures Natron .	1,1259
Chlornatrium	0,1791
Kohlensauren Kalk . .	0,5398
Kohlensaure Magnesia	0,2112
Kieselsäure	0,0295
Schwefelsaures Natron	0,0959 enthält.

Wenn dieser See einmal gesättigt ist, dann scheidet sich vorzugsweise kohlensaures Natron aus.

Behnter Vortrag.

Das Meer.

Jene große, die Erde zu zwei Dritttheilen umfluthende Wassermasse — das Meer — hat fast überall dieselbe Zusammensetzung und dasselbe specifische Gewicht 1,026 bis 1,029. Diese eigenthümliche Erscheinung erklärt sich durch die Mischung, welche es durch die Meeresströmungen fort und fort erfährt. Ohne diese Mischung müßte das Wasser am Aequator aus doppelten Gründen salzreicher, als in hohen Breiten sein; einmal ist in höheren Breiten eine geringere Verdunstung, dann aber auch ein reichlicherer Zufluß von süßem Wasser als am Aequator.

Von besonderer Wichtigkeit für die Geologie ist es, zu wissen, welche Bestandtheile beim Verdunsten des Meerwassers sich niederschlagen und in welcher Reihenfolge dies geschieht. Sehen wir uns zuerst die Analyse des Meerwassers an.*)

In 100 Thln. Meerwasser sind Salze	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Chlornatrium .	74,20	76,05	76,89	75,80	77,20	73,47	74,58	75,75	78,14
Chlormagnesium . .	11,04	9,00	8,05	8,87	8,09	11,64	10,36	8,84	6,54
Chlorcalcium . .	3,80	4,00	3,33	3,68	3,72	3,45	3,34	3,26	4,33
Bromnatrium .	1,09	1,15	1,30	1,23	1,20	0,87	1,15	1,21	1,46
Schwefels. Kalk	4,72	4,60	4,94	4,54	3,94	4,60	4,67	5,18	4,36
Schwefels. Magnesia	5,15	5,20	5,49	5,88	5,85	5,97	5,90	5,76	5,17
	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*) G. Bischof, L. d. G. Bd. 1 S. 423.

No. 1 ist aus der Nordsee $51^{\circ} 9' \text{ N. B. u. } 3^{\circ} 8' \text{ D. L. von Greenwich.}$

No. 2 ist aus dem Atlan-

tischen Ocean . . . $20^{\circ} 54' \text{ N. B. } 40^{\circ} 44' \text{ W. L.}$

No. 3 ist aus dem Atlan-

tischen Ocean . . . $41^{\circ} 18' \text{ N. B. } 36^{\circ} 28' = =$

No. 4 ist aus dem Hafen

von Callao . . . $12^{\circ} 5' \text{ S. B. } 77^{\circ} 14' = =$

No. 5 ist aus dem Hafen

von Tocopilla . . . $22^{\circ} 6' = = 70^{\circ} 16' = =$

No. 6 ist 420 Fuß tief aus

dem Stillen Meer $25^{\circ} 11' = = 93^{\circ} 24' = =$

No. 7 ist 12 Fuß tief aus

dem Stillen Meer $25^{\circ} 11' = = 93^{\circ} 24' = =$

No. 8 in der Nähe des

Cap Horn geschöpft $56^{\circ} 32' = = 68^{\circ} 47' = =$

No. 9 ist aus dem Atlan-

tischen Ocean . . . $0^{\circ} 47' = = 33^{\circ} 20' = =$

Es ergibt sich hieraus, daß das Meer in 1000 Thl. Wasser 35,28 Thl. Salze durchschnittlich enthält. Unter diesen Salzen überwiegt das Chlor-natrium alle übrigen bedeutend; dennoch scheidet es sich beim Eindampfen nicht zuerst ab, weil schwefelsaurer Kalk vorhanden ist. Von diesem schwefelsauren Kalk vermag Wasser nur sehr wenig zu lösen und daher scheidet er sich auch stets zuerst ab. Man könnte fragen, woher wissen wir, daß die Schwefelsäure gerade an Kalk und Magnesia im Meerwasser gebunden ist und nicht an Natrium oder Kalium. Darauf ist zu antworten, daß das eine bloße Annahme, ein Hypothese ist, denn bis jetzt wissen wir nicht, in welcher Form lösliche Salze neben einander bestehen. Es ist ebenso gut möglich, daß Schwefelsäure mit allen Basen verbunden vorkommt, als nur mit einer oder mit zweien. Dasselbe läßt sich von Chlor und Brom sagen. Aber das lehrt die Erfahrung, daß sich beim Concentriren des Meerwassers wasserhaltiger schwefelsaurer Kalk (Gyps) zuerst abscheidet. Alle bekannteren Salzlager ruhen daher auf Gyps. Einige sind noch nicht durchsunken wie z. B. das Salzager bei Sperenberg, dessen Liegendes selbst durch ein Bohrloch von 4042 Fuß nicht erreicht worden ist. Allein man darf darauf rechnen, daß auch dieses Salz auf Gyps aufruhet.

Das Sperenberger Salzlager ist bis jetzt das mächtigste der Welt. Wenn es durch Eindampfen eines vom Meere abgeschlossenen Beckens entstanden wäre, so müßte dieses Becken eine Tiefe von 105100 Meter gehabt haben. Eine solche Tiefe ist noch niemals im Weltmeer gefunden worden und es ist daher im höchsten Grade unwahrscheinlich, daß ein vom Meere abgetrenntes Becken eine solche Tiefe jemals erreicht hat. Trotzdem ist nichts gewisser, als daß das Salzlager von Sperenberg aus Wasser sich abgesetzt hat. Nur über die Art und Weise, wie es sich abgesetzt hat, kann man streiten. Ein tiefes Becken ohne Abfluß, das von Flüssen gespeist wird, in denen alle im Meerwasser vorhandenen Salze in entsprechendem Verhältniß vorkommen, muß schließlich wie das Todte Meer zur Sättigung kommen und Salz absetzen. Aber auch ein Meerbusen, der mit dem offenen Meere noch in Verbindung steht, kann unter Umständen zur Sättigung kommen. Denken wir uns einen tiefen Meerbusen, der mit dem offenen Meere durch eine weniger tiefe Oeffnung — Barre — in Verbindung steht. (Das Mittelländische Meer z. B. durch die Straße von Gibraltar.) Die oberen Schichten des Meerbusens werden wegen der Verdunstung schwerer, sinken in die Tiefe und werden durch leichtere ersetzt, bei denen sich der Vorgang wiederholt. Das schwerere Wasser in der Tiefe würde nach dem offenen Meere abfließen, wenn nicht die Barre den Weg versperrte. Die Folge davon ist eine stetig wachsende Concentration des Wassers. Sobald das specifische Gewicht des Wassers in der Tiefe 1,033 ist, beginnt die Ausscheidung des Gypses. Dieser überzieht den Boden und die Seitenwände des Beckens mit einer wasserdichten Lage und schützt von dieser Seite das künftige Steinsalz vor Abwaschung. Die Concentration wird immer größer und nun beginnt das Chlornatrium in durchsichtigen Massen über dem Gypse sich auszuschcheiden. Die Mutterlauge, zum größten Theile aus dem zerfließlichen Chlormagnesium und aus schwefelsaurer Magnesia bestehend, liegt über dem ausgeschiedenen Steinsalz und wächst so lange an, bis sie die Höhe der Barre erreicht hat. Von diesem Momente an tritt der Proceß in eine neue Phase. Die Mutterlauge, die vorher wegen der Höhe der Barre das offene Meer nicht erreichen konnte, fließt jetzt über die Barre, verdrängt vermöge ihrer Schwere das entgegenstehende Meerwasser und gelangt in das offene Meer. In dem Maße als sie abfließt, fließt Meerwasser in den Busen

und vermischt sich, vom Wind getrieben, mit der Mutterlauge. Die Verdunstungsfähigkeit des Wassers an der Oberfläche wird dadurch bedeutend vermindert. Es wird daher weit weniger Chlornatrium niedergeschlagen als vorher. Der vom Meerwasser immer wieder eingeführte Gyps verliert beim Ausscheiden und Niedersinken durch die wasseranziehende Mutterlauge einen Theil seines Wassers und ersetzt ihn durch Aufnahme von schwefelsaurem Kalium und schwefelsaurem Magnesium, so daß sich das alle Steinsalzföhlge im Hangenden begleitende Mineral Polyhalit, bildet. *) Bei noch stärkerer Concentration der Mutterlangen wird dem sich ausscheidenden und niedersinkenden Gyps alles Wasser entzogen und Anhydrit bedeckt jetzt das Steinsalz und schließt seine Bildung ab. Damit ist der die Steinsalzföhlge bedeckende sogenannte Anhydritthut auf die einfachste Weise erklärt. So von allen Seiten eingeschlossen und geschützt ist das Steinsalz dem Meere für Jahrhunderttausende entzogen und kann nur durch besonders günstige Umstände wieder in den Kreislauf eingeführt werden.

Die vorgeführte Bildungsweise des Steinsalzes erklärt auch den Mangel an organischen Geschöpfen in demselben. In dem Maße nämlich, als der Busen salzreicher wird, entfliehen die Meeresgeschöpfe über die Barre in das offene Meer und alle im offenen Meere lebenden Geschöpfe, deren Zug zufällig nach dem Meerbusen gerichtet ist, ergreifen die Flucht, sowie sie in die Nähe der Barre kommen und das ausströmende salzreichere Wasser schmecken.

Mit Nothwendigkeit folgt auch aus dem Gesagten, daß das offene Meer früher reicher an Chlornatrium war als jetzt. Man wird zu diesem Schlusse auch gedrängt, wenn man die stundenlang sich fortziehenden Steinsalzberge von Siebenbürgen mit steilabstürzenden, mehrere 100 Fuß hohen Wänden, wenn man das Salzgebirge bei Cardona am Südbhang der Pyrenäen, das von Regenströmen in Pyramiden, Hörner und Schluchten verwandelt worden ist und das durch regelmäßigen Bergbau abgebaut wird, und wenn man die noch mächtigeren Salzmassen südlich und nördlich vom Himalaya oder die die letzteren übertreffenden Salzgebirge, welche

*) Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft. Bd. 28. Vortrag von Dshsenius.

den 218 englische Meilen langen Salzsee von Titicaca in den Peruanischen Anden umgeben, betrachtet, die alle auf gleiche oder analoge Weise entstanden sind.

Nicht bloß reicher an Steinsalz war das Meer, auch Kalksalze enthielt es weit mehr als heute; denn darüber besteht kein Zweifel, daß die großen Kalkgebirge der Erde aus dem Meere niedergeschlagen worden sind. Nur über die Art und Weise, wie sie gebildet wurden, ist man nicht einig. Das Meer enthält nämlich keinen oder nur verschwindend kleine Mengen von kohlensaurem Kalk. Dieser muß daher aus dem schwefelsauren Kalk entweder durch Pflanzen oder durch Thiere oder durch beide erst in kohlensauren Kalk übergeführt werden und die Art und Weise dieser Ueberführung ist es, über welche gestritten wird. Wenn man aber so zugestehet, daß aller, mächtige Gebirge zusammensetzende kohlensaure Kalk aus dem Meere abgeschieden worden ist, so gibt man damit zugleich zu, daß das Meer früher weit reicher an Kalksalzen war, als jetzt. Das folgt auch nothwendig aus der früher besprochenen Bildung unserer Erde. Die eine Frage, ob auch damals, — als das mehrere hundert Grad heiße, wahrscheinlich mit Kohlensäure geschwängerte Wasser unter hohem Drucke die Gesteine zersetzte — aller Kalk in Form von schwefelsaurem Kalk vorhanden war, läßt sich nicht entscheiden. Nur so viel kann man schließen, daß das Meer in jener Zeit eine ziemlich gesättigte Lösung gewesen ist, in welcher lebende Wesen nicht existiren konnten. Dem entsprechend nennt man den ersten versteinungsleeren, überaus mächtigen, und zahlreiche Erzgänge und Mineralien führenden Schichtencomplex aus jener Zeit die azoische Formation.

Aus den oben mitgetheilten Analysen könnte man leicht schließen, daß Sauerstoff, Wasserstoff, Chlor, Brom, Schwefel, Natrium, Kalium, Magnesium und Calcium die einzigen im Meere vorkommenden Elemente sind. Den Untersuchungen von Vibras und namentlich Forchhammers verdanken wir die Entdeckung weiterer Elemente. Die Menge derselben ist aber so gering, daß sie quantitativ nicht bestimmt werden konnten. Es sind folgende:

1) Jod. Es findet sich in den breitblättrigen Tangen. Diese Tange ohne Wurzeln besitzen das merkwürdige Vermögen, das Jod aus dem Meerwasser in sich zu concentriren.

2) Fluor. Es wurde in den kalkigen Korallenstöcken, im Kesselstein transatlantischer Dampfschiffe und im Meerwasser direkt aufgefunden.

3) Phosphor. Wenn man Meerwasser zur Trockene verdampft, den Rückstand sorgfältig auswäscht, bis aller schwefelsaure Kalk gelöst ist, dann besteht er aus kohlensaurem Kalk, phosphorsaurem Kalk, Fluorcalcium, schwefelsaurem Baryt-Strontian und Kieselserde.

4) Stickstoff. Um ihn im Meerwasser nachzuweisen, hat man nur nothwendig, dieses mit Natronhydrat zu versetzen und zu destilliren. Im Destillat findet sich Ammoniak.

5) Silicium. Man kann es direkt in dem Rückstande, von dem unter 3 die Rede war, nachweisen. Es findet sich auch in den Schalen der Muscheln, in den Stöcken der Korallen und besonders in den Meeresschwämmen, namentlich in dem großen Becherschwamm. In dem letzteren ist es in solcher Menge vorhanden, daß der Schwamm nach dem Glühen seine Form und seinen Zusammenhang behält.

6) Bor. Die Borsäure ist im Meerwasser äußerst schwierig nachzuweisen. Doch ist es Forchhammer gelungen, durch einen sehr complicirten Proceß sie direkt nachzuweisen. Viel leichter läßt sie sich in *Fucus vesiculosus* und in der *Zostera marina* nachweisen. Wenn man die *Zostera marina* verbrennt, die Asche mit Wasser auslaugt und den Rückstand mit Schwefelsäure stark ansäuert und Alkohol zusetzt, so kann man die Borsäure nach dem Anzünden sofort an der grünen Flammenreaktion erkennen.

7) Kohlenstoff. Er findet sich mit Sauerstoff verbunden, in der Kohlensäure und auch verbunden mit Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff in organischen Substanzen.

8) Silber. Wahrscheinlich kommt es im Meerwasser als Chlorsilber vor, gelöst durch Chlornatrium. Direkt konnte es Forchhammer im Meerwasser nicht finden. Es läßt sich aber aus der Koralle *Pocillopora aleicornis* ausscheiden.

9) Kupfer. Direkt läßt es sich bis jetzt nicht nachweisen. In den Kalkabsonderungen der Meeresthiere und der Asche der Meerpflanzen läßt es sich aber leicht nachweisen.

10) Blei. Auch Blei läßt sich in den Pflanzen und Thieren des Meeres neben Kupfer nachweisen.

11) Zink. Findet sich in verhältnißmäßig bedeutender Menge in *Zostera marina* und *Fucus vesiculosus*.

12) Kobalt läßt sich in der Asche der Meerpflanzen nachweisen.

13) Nickel findet sich neben Kobalt in der Asche der Meerpflanzen.

14) Eisen. Es läßt sich direkt im Meerwasser nachweisen. Man hat nur nöthig, ein ziemliches Quantum Wasser einzudampfen, die löslichen Verbindungen mit Wasser auszuziehen und den Rückstand nach der gewöhnlichen Methode zu untersuchen. Es findet sich auch in der Asche der Meerpflanzen. Wenn man den Becherschwamm verbrennt, so bleibt, wie schon angeführt, die Kieselsäure in einer zusammenhängenden Masse in der Form des Schwammes zurück. Die Höhlungen in diesem Kieselstele, welche das Geschöpf ausgefüllt hat, sind nach dem Verbrennen mit einem dünnen Ueberzuge von Eisenoxyd bedeckt, wodurch bewiesen ist, daß das Eisen in die Substanz des Thieres selbst mit eingeht.

15) Mangan. Es läßt sich, wie das Eisen, direkt nachweisen. In der Asche der *Zostera marina* findet sich soviel Manganoxyd, daß man eine deutliche Chlorentwicklung bemerkt, wenn man Salzsäure hinzusetzt.

26) Aluminium. Forchhammer hat es durch ein sehr complicirtes Verfahren im Meerwasser direkt nachgewiesen.

17) Strontium. Strontium läßt sich unmittelbar in eingedampftem Meerwasser als schwefelsaurer Strontian nachweisen. Man hat indessen gar nicht nothwendig, Meerwasser zu diesem Zwecke einzudampfen. In dem Kesselstein der transatlantischen Dampfschiffe findet es sich in ansehnlicher Menge. In der Asche des *Fucus vesiculosus* findet sich Strontium neben Barium.

18) Barium. Es findet sich in ziemlicher Menge in den Meerpflanzen, in geringer Menge in den Kalkabsonderungen der Meeressthiere.

Arsenik und Lithium sind gleichfalls gefunden worden. Es sind daher bis jetzt im Meerwasser 29 Elemente mit Bestimmtheit nachgewiesen und darunter diejenigen, die auf der Erdoberfläche am verbreitetsten sind.

Wäre das Meer eine ruhig stehende Wassermasse, so müßte der Salzgehalt wie im Todten Meere von der Oberfläche nach der Tiefe überall zunehmen. In der Ostsee im Mittelmeer, im Polarmeer haben

die Versuche denn auch einen mit der Tiefe zunehmenden Salzgehalt constatirt. So fand man z. B. unter $72^{\circ} 1'$ n. B. und $11^{\circ} 3'$ w. L. *)

An der Oberfläche	die Dichte	1,0264,	den Salzgehalt	3,43%
In der Tiefe von 101 Meter	"	1,0268	"	3,48%
"	" 183	"	1,0269	" 3,50
"	" 490	"	1,0271	" 3,52

In der Tiefe von 490 Meter kommt hier der Salzgehalt nahezu dem mittleren Salzgehalte des Oceans gleich. In der Davisstraße und der Baffinsbucht ist der Salzgehalt des Wassers an der Oberfläche nicht merklich verschieden von dem des Wassers in der Tiefe.

Ganz anders sind die Verhältnisse im Atlantischen Meer oder wenigstens in einem Theil desselben. Das Wasser in der Tiefe ist hier weniger salzreich als das an der Oberfläche.

Im Atlantischen Meer unter $12^{\circ} 36'$ n. B. und $25^{\circ} 35'$ w. L. fanden sich in einigen von J. Roß geschöpften Proben:

An der Oberfläche	3,6196% Salz.
In 11100 Fuß Tiefe	3,5170 "
Unter $1^{\circ} 10'$ n. B. und $25^{\circ} 54'$ w. L. fanden sich:	
An der Oberfläche	3,5737% Salz.
In 1800 Fuß Tiefe	3,5520 "
In 3600 " "	3,5365**) "

Hier schwimmt also das salzreichere auf dem salzärmeren Wasser, und das ist dadurch möglich, daß letzteres eine viel niedrigere Temperatur hat und dadurch schwerer ist als ersteres. Ohne Zweifel rührt der kalte salzärmere Unterstrom von Norden.

Die Frage: Nimmt der Salzgehalt vom Aequator nach den Polen hin zu oder ab, scheint noch nicht endgiltig entschieden zu sein. Nach Untersuchungen Forchhammers nimmt er ab, aber nicht regelmäßig und nur ganz wenig; nach Anderen nimmt er zu.

Dem Gehalte des Meerwassers an Gasen wurde auf der Reise der

*) Die zweite deutsche Nordpolfahrt in den Jahren 1869 und 1870. 2. Bd.

**) G. Bischof, L. d. G. Seite 470. Bd. 1.

Bonité*) und der Porcupine**) eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Der Gasgehalt in 100 Raumtheilen Wasser schwankt zwischen 1,85 und 3,04 Raumtheilen. Das Mittel aus dreißig Analysen des Oberflächenwassers ergab 25,1% Sauerstoff 54,2% Stickstoff und 20,7% Kohlensäure. Mit der Tiefe nimmt die Menge des Sauerstoffs ab, die der Kohlensäure zu, eine Erscheinung, die sich aus dem Athmen der Meeresthiere erklärt. Je größer der Reichthum an Thieren in einer gegebenen Tiefe ist, desto geringer ist der Sauerstoff und desto größer der Kohlensäuregehalt. In derselben Tiefe kann an einem andern Orte eine größere Sauerstoffmenge und eine geringere Kohlensäuremenge vorhanden sein; dann kann man sicher schließen, daß an dem letzteren Orte die Meeresfauna weniger reich ist als an dem ersteren. Diese interessante Thatsache wurde während der Reise des Schiffes Porcupine constatirt, und der Chemiker dieser Expedition wagte in den Fällen gleicher Meerestiefe, aus der größeren oder kleineren Kohlensäuremenge, den größeren oder kleineren Reichthum an Meeresthieren vorherzusagen und seine Voraussagung erwies sich in jedem Falle als correct.

Es ist einleuchtend, daß der fortwährende Verbrauch des Sauerstoffs in der Tiefe wieder ersetzt werden muß; denn würde das nicht geschehen, so müßte sich auf dem Meeresgrunde bald eine unathembare an Kohlensäure überreiche Wasserschicht ansammeln. Dieser Ersatz geschieht dadurch, daß die Kohlensäure nach oben, der Sauerstoff nach unten diffundirt. An der Oberfläche findet daher ein fortwährender Austausch von Gasen statt. Die Kohlensäure des Wassers geht in die Luft und der Sauerstoff der Luft in das Meerwasser. Dieser Austausch wird sehr wirksam befördert durch wellenerregende Winde. Auf der Porcupine zeigte einmal die Analyse des Oberflächenwassers eine merkwürdige Unregelmäßigkeit. Der Procentgehalt der Kohlensäure, der im Mittel 20 war, fiel auf 3,3 herab, während der Gehalt des Sauerstoffs von 25 auf 37,1% hinaufstieg. Man war schon im Begriff, die Analyse als unrichtig zu verwerfen, als man sich erinnerte, daß das Wasser diesmal direkt hinter den Schaufelrädern genommen, während es sonst vom Bug aus geschöpft worden war. Durch die Schaufeln

*) Compt. rend. T. 6. p. 616 und G. Bischof, L. d. G. S. 473.

**) Naturforscher III. S. 199.

war das Oberflächenwasser in vielfache Berührung mit der Luft gekommen, verlor fast seine sämmtliche Kohlensäure und nahm dafür aus der Luft um so mehr Sauerstoff auf.

Jede Erregung der Meeresoberfläche von dem leisesten Gekräusel bis zur schäumenden Sturmvelle trägt zur Erhaltung des Thierlebens bis zu den tiefsten Tiefen wesentlich bei, weil sie für die Circulation und den Austausch der Gase sorgt. Sowie die Hebung und Senkung unserer Brustwände nothwendig ist, unser Blut flott und frisch zu erhalten, so ist die Erregung der Meeresoberfläche zur Lüftung der Säfte der Meeresbewohner erforderlich. Eine anhaltende Ruhe auf der Oberfläche wäre ebenso verhängnißvoll für die Existenz der Tiefseebewohner, wie das erzwungene Anhalten der Respirationsbewegung für den Menschen.

Die Frage nach der Tiefe, bei welcher lebende Wesen noch existiren können, hat man früher kurzweg dahin beantwortet, daß in einer Tiefe von 5 bis 600 Meter alles Leben im Weltmeere aufhören müsse. Zahlreiche Tiefseeforschungen haben indessen gelehrt, daß selbst auf dem Boden des Eismeeeres in einer Tiefe von 4900 Meter*) noch eine reiche und mannichfaltige Thierwelt gedeiht; sie haben weiter gelehrt, daß nicht die Tiefe, sondern die Temperatur, die Existenz und Mannichfaltigkeit des Lebens bedingt, und daß bei dem hohen Drucke, der niedrigen Temperatur und dem Mangel an Licht, nicht wie man früher glaubte, blos zwerghafte Geschöpfe, sondern wohl ausgebildete und selbst überraschend große Exemplare von Foraminiferen gedeihen.

Das Meer, namentlich das Eismeer, zeigt an einzelnen Stellen Verfärbungen, welche sich von der gewöhnlichen blauen oder hellgrünen Farbe desselben wohl unterscheiden und unabhängig sind von jeder optischen Täuschung, die durch Wolken oder Licht entstehen könnte. Den Wallfischfahrern war diese Erscheinung längst bekannt. Sie suchten solche Stellen auf, weil sie nach alter Erfahrung einen guten Fang zu erwarten hatten. Es war mithin voranzusehen, daß gewisse Thiere, die dem Wallfische zur Nahrung dienen, die Ursache dieser Verfärbungen seien. Scoresby behauptete daher, daß die Medusen, die von dem Wallfische in so

*) Tiefseeforschungen der Schwedischen Expedition im Jahre 1868, nördlich und westlich von Spitzbergen. Petermanns geographische Mittheilungen.

großer Menge vertilgt werden, die Ursache jener Verfärbungen sind. Brown*), der jahrelang diese Erscheinung beobachtet und untersucht hat, kam zu der Ueberzeugung, daß dennoch jene Medusen nicht die Ursache der Verfärbung sind. Die Farbe des Eismeeress wechselt nämlich von Ultramarinblau bis zum Olivengrün, von der reinsten Klarheit bis zur auffallendsten Trübung. Oft tritt diese Verfärbung in langen Streifen von 2 bis 3 Breitengraden nach der einen Richtung und 4 bis 50 Seemeilen nach der anderen Richtung auf. Manchmal ist der Uebergang vom grünen zum blauen Wasser ein allmählicher, ganz unmerklicher, manchmal ist er ein plötzlicher. In der Davisstraße und Baffinsbay durchstreicht das Fahrzeug oft in wenigen Stunden abwechselnde Parteen von dunkelschwarzem, grünem und himmelblauem Wasser, oft fährt man auch 50 und 100 Seemeilen durch gleichmäßig gefärbtes Wasser. Brown erkannte zwar, daß in jenem verfärbten Wasser Medusen in großer Menge vorkommen, daß aber dieses Wasser seine Farbe behält, wenn die Medusen aus irgend einer Ursache in die Tiefe steigen. Untersuchte nun Brown das Wasser, wenn die Medusen in die Tiefe sanken, so fand er darin unzählige Diatomaceen, jene winzigen Geschöpfe, die den Medusen zur Nahrung dienen, und diese scheinen die Ursache jener Verfärbung zu sein.

Das Meerleuchten, zu dessen Erklärung man früher die Thatfache heranzog, daß faulende Fische ein schwaches Licht zeigen, rührt gleichfalls von lebenden Meeresthieren. Collingwood**), der das Leuchten im Atlantischen, Indischen und Chinesischen Meere verfolgt hat, unterscheidet ein sanftes, fließendes, phosphorescirendes Aufleuchten, mondförmige Flecken stetigen Lichtes, Lichtpunkte oder Lichtfunken und wiederholt aufblühende Punkte. Das phosphorescirende Leuchten rührt von einem kugelförmigen, etwa 1 Linie großen Thierchen *Nootiluca*; die Flecken stetigen Lichtes erscheinen in der Regel unter der Oberfläche des Meeres und sind bedingt durch cylinderförmige, mehrere Zoll lange Thierchen (*Pyrosoma*) aus dem Kreise der Mollusken; die Lichtpunkte oder Lichtfunken, die am häufigsten gesehen werden, sowie auch wahrscheinlich die wiederholt aufblühenden Punkte, verdanken ihre Entstehung kleineren Crustaceen.

*) Naturforscher I, S. 150.

**) Naturforscher I, S. 74.

Als man zum erstenmale der Idee näher trat, Amerika mit Europa durch ein Kabel zu verbinden, stritt man darüber, ob auch der Meeresgrund geeignet sei, ein Kabel aufzunehmen. Viele behaupteten, er sei so felsig, daß er das Kabel zerschneiden müßte. Um hierüber ins Klare zu kommen, rüstete die englische Regierung ein Schiff aus und ließ den Meeresgrund in seiner ganzen Ausdehnung von Amerika nach Europa untersuchen. Die Grundproben, die selbst aus 15000 Fuß Tiefe heraufgeholt wurden, waren von ungewöhnlichem Interesse, da sie zum erstenmale zuverlässiges Material für die Untersuchung der Meeresabgründe darboten. Huxley wurde beauftragt, die Grundproben zu untersuchen. Er beschreibt sie als Ablagerungen, die aus kleinen runden Körperchen bestehen, die einen klaren Inhalt einschließen. Da diese Körperchen durch verdünnte Säuren schnell aufgelöst wurden, glaubte Huxley, sie könnten nicht organischen Ursprungs sein.

Einige Jahre später veröffentlichte Dr. Wallich seine Bemerkungen*) über die Existenz organischer Wesen in großen Meerestiefen. Er glaubte Organismen entdeckt zu haben, die ganz so aussahen, als wären sie aus einer Anzahl der von Huxley beschriebenen runden Körperchen gebildet. Huxley untersuchte darauf die Grundproben noch einmal genauer und fand, daß sie neben einer ungeheuren Menge kleiner Muscheln eine unzählige Menge kleiner unregelmäßiger, an der ganzen Oberfläche punktirter Kugeln von Gallerte enthielten. Diese Kugeln nannte er *Bathybius*. In jedem Kugeln fand er eine große Anzahl winziger Körnchen verbreitet, mit einem Durchmesser von $\frac{1}{40000}$ bis $\frac{1}{20000}$ Zoll.

Diese Körnchen, die sich gegen Reagenzien wie organische Körper verhielten, hielt Huxley eben deswegen für organische Gebilde. Damit war festgestellt, daß unter den Muscheln der Tiefe eine unendliche Zahl von Gallertkugeln, von Protoplasmasubstanz vorkommt, welche Körper der einfachsten Organismen umschließen. Diese Körper unterschied er noch nach ihrer Form in *Coccolithen* und *Coccosphären*. Die *Coccosphären* sind größere kugelige Körper, die aussehen, als ob sie aus vielen *Coccolithen* zusammengesetzt wären. Verdünnte Essigsäure zog aus den Schleim-

*) Naturforscher I, S. 331.

oder Gallertklümpchen (Bathybius) kohlensauren Kalk aus und zurück blieb eine gewisse Menge organischer Substanz, die auf das Innigste mit dem Kalk verbunden war. Nach den Reaktionen war diese organische Substanz als mehr oder weniger verändertes Protoplasma aufzufassen.

Bald darauf erhielt Hädcl aus einer Tiefe von 4450 Meter durch Prof. Thomson und Dr. Carpenter Tiefsceeschlamm. *) Der in Weingeist wohlconservirte Schlamm zeichnete sich durch seine überaus klebrige Beschaffenheit aus. Er glich einer dickflüssigen Lösung von Canadabalsam. Hädcl richtete seine Aufmerksamkeit sowohl auf die Schleim- oder Gallertklümpchen, als auch auf die eingebetteten Coccolithen. Die Coccolithen zeigten die Reactionen protoplasmatischer Körper, nicht aber die Schleimklümpchen. Die Schleimklümpchen, die bald als compacte Klumpen, bald als netzförmig verbundene Stränge erscheinen, ähneln vielmehr jenen wasserreichen indifferenten Gallertformen, welche die Hauptmasse des Medusenkörpers bilden, ziemlich nahe zu stehen. So glaubte man denn, daß gewissermaßen eine lebendige Schleimdecke den Boden des Meeres bedecke. Damit stand man vor einem neuen Räthsel. Tausend Fragen erhoben sich jetzt. Wie soll die Ernährung, wie die Fortpflanzung dieser formlosen Massen vor sich gehen; wo kommen alle diese Schleimklümpchen her und was mag aus ihnen werden; sind es Thiere oder Pflanzen, entstehen sie vielleicht durch Urzeugung u. s. w.

Als in den Jahren 1873 bis 1876 die Challenger-Expedition eine Umseglung der Erde zu rein wissenschaftlichen Zwecken unternahm, richtete auch sie ihr Augenmerk auf diesen Meereschlamm, zunächst, um die Anwesenheit der genannten Schleimklümpchen — Bathybius — zu constatiren, sodann auch um eine oder die andere Frage, die sich an sie knüpfte zu lösen. Obgleich sich die Gelehrten der Expedition alle Mühe gaben, den Bathybius in dem Meereschlamm nachzuweisen, ihre Bemühungen waren von Erfolg nicht gekrönt. Sie bezweifelten die Angaben Huxley's und Hädcl's durchaus nicht, aber sie fanden es räthselhaft, auch keine Spur von Bathybius anzutreffen. Die Hoffnung, ihn während der weiteren Fahrt dennoch zu finden, gaben sie nicht auf. Mittlerweile conservirten

*) Naturforscher III, S. 290.

sie den Meereschlamm in Weingeist. Als sie von Zeit zu Zeit darnach sahen, bemerkten sie, daß der in Spiritus aufbewahrte Meereschlamm ein sehr bewegliches, gallertartiges Aussehen annahm, und daß auch fleckige Massen sich bildeten. Herr Buchanan,^{*)} der Chemiker der Expedition, kam sogleich auf den Gedanken, daß der schwefelsaure Kalk, der bekanntlich durch Weingeist aus dem Meerwasser niedergeschlagen wird, für Bathybius könnte gehalten worden sein. Er wurde darin bestärkt durch die Erwägung, daß Huxley und Hädel Meereschlamm untersucht hatten, welcher in Weingeist aufbewahrt worden war. Es wurden daher Versuche angestellt mit Meereschlamm, der mit verschiedenen Quantitäten Weingeist zusammen gebracht worden war, und mit purem Meereschlamm, und dabei ergab sich folgendes. Wenn Meereschlamm mit seinem doppelten Volumen von Weingeist behandelt wird, so nimmt fast der ganze Niederschlag in kurzer Zeit krystallinische Form an. Mit einem großen Ueberschuß von Weingeist behandelt, bleibt der Niederschlag amorph und nimmt ein gallertartiges Aussehen an. Dieser gallertartige Niederschlag färbt sich mit Carmin und Jodlösung und hat, mit dem Meereschlamm gemischt, unter dem Mikroscope das von Hädel beschriebene Aussehen. Wird der Meereschlamm mit destillirtem Wasser gewaschen oder so wie er heraufkommt mit Farbestofflösungen behandelt, so zeigt er dieses Aussehen nicht. Das gallertartige Aussehen und die mit Carmin gefärbte Masse kann stets durch Behandeln mit destillirtem Wasser entfernt werden. So scheint denn der frühere Bathybius identisch zu sein mit dem amorphen schwefelsauren Kalk.

Die Challenger-Expedition holte ungefähr 350 Grundproben, die genau untersucht wurden. Nach Maßgabe dieser Proben unterscheidet Herr Murray^{**) 1)} Küstenablagerungen, die entweder blauen und grünen Lehm, oder grauen Lehm und Sand, oder rothen Lehm, oder Corallenlehm enthalten, 2) Globigerinen-Schlamm, eine sehr verbreitete Meeresablagerung, die südlich von 50° S. Breite nicht angetroffen wird, 3) Radiarien-Schlamm, eine Meeresablagerung, die nur im westlichen und mittleren stillen Ocean angetroffen wird, 4) Diatomeen-Schlamm, der nur südlich

^{*)} Naturforscher IX, S. 367.

^{**)} Naturforscher IX, S. 365.

von 50⁰ S. Breite gefunden wurde, 5) rothe und graue Thone, die häufigste Meeresablagerung, 6) Massen von Manganoryd, welche entweder in Knoten oder als Incrustationen, oder in Körnern in fast allen Meeres-tiefen angetroffen wurden. Niemals bestand eine Grundprobe lediglich z. B. aus Globigerinen-Schlamm oder Diatomeenschlamm; sie wurden aber unter 2 eingereiht, wenn mehr als die Hälfte Schlammes als Globigerinen-Schlamm, und sie wurde unter 4 eingereiht, wenn mehr als die Hälfte des Schlammes als Diatomeen-Schlamm erkannt wurde. Manchmal war es zweifelhaft, zu welcher Gruppe eine Grundprobe gestellt werden sollte. In diesem Falle entschied in der Regel der allgemeine Charakter der Probe.

Die Küstenablagerungen werden stets in der Nähe der Continente und Inseln angetroffen und reichen zuweilen 150 engl. Meilen (241,4 Kilomtr.) in das Meer hinein. Ihren Charakter empfangen sie von der Beschaffenheit des benachbarten Landes. Die grüne Farbe des Lehmes rührt oft von eingelagerten Glauconitkörnern (wasserhaltiges Eisenoxyd-silicat). In dem Lehm finden sich Partikelchen von Glimmer und Quarz, die um so kleiner sind, je weiter vom Lande weg sie im Meere gefunden werden. Bis zu 2745 Meter Tiefe wurden Pteropoden, Gasteropoden und Lamellibranchien-schalen und Küstenforaminiferenformen angetroffen. Von 2745 Meter bis 3111 Meter wurden die Schalen der Pteropoden und Heteropoden selten und seltener und in 5490 Meter fand man keine organischen Reste mit Kalkschalen. Kieselige Organismen traf man dagegen in allen Tiefen.

Die grauen Lehme und Sande wurden in der Nähe vulkanischer Inseln angetroffen. Charakter und Farbe erhalten diese Ablagerungen von beigemengten Bimstein- und Schlackenstückchen. An manchen Stellen überwiegen die Schalen von Meeresorganismen in diesen Lehmen. Bis 2745 Meter fanden sich auch hier Pteropoden, Heteropoden, Gasteropoden und Küstenforaminiferen; in größeren Tiefen werden die Pteropoden seltener und verschwinden endlich; Meeresforaminiferen fanden sich in allen Tiefen. Ablagerungen dieser Art wurden noch 200 engl. Meilen (321,8 Kilom.) vom Lande entfernt angetroffen.

Der rothe Lehm zeigte sich an der Ostküste von Südamerika vom Cap San Roque bis Bahia, die rothe Farbe rührt ohne Zweifel von den

eisenoxydhaltigen, ocherigen Massen, welche von den südamerikanischen Strömen in das Meer geführt werden. Bei allen Sondirungen wurden Foraminiferen, Heteropoden, Pteropoden, Gasteropoden, Lamellibranchien, Coccolithen und Rhabdolithen, nicht aber kieselige Organismen gefunden.

Der Korallen-Lehm findet sich in der Nähe der Korallenriffe und ist ausgezeichnet durch Trümmer von Korallenriffen, durch eine große Menge amorpher Kalkmassen und durch viele und große Foraminiferen. Bis zu 4575 Meter Tiefe verlängert diese Ablagerung ihren Charakter nicht. Nur die Farbe des Lehms, die bis 1827 Meter rosa war, ging mit wachsender Tiefe, bei stetiger Abnahme des Kalkes und Zunahme des Thones in roth über.

Der Globigerinenschlamm wird nächst dem Tiefsseethon am häufigsten am Meeresboden angetroffen. Er wurde in allen Tiefen von 457 Meter an bis zu 5307 Meter Tiefe gefunden. Ganz zu fehlen scheint der Globigerinenschlamm in der Arasura=See, in dem südlichen Ocean, südlich von 50° S. Breite und im nördlichen Ocean, im Norden von 10° N. Breite. Sein Vorkommen und Fehlen ist von Umständen bedingt, die bis jetzt noch nicht ermittelt sind. Der Globigerinenschlamm hat nicht immer dieselbe Farbe, noch dieselbe Zusammensetzung. Nicht allzuweit entfernt vom Lande enthält er Glimmer, Quarz, Bimstein- und Schlackenstückchen; sehr weit vom Lande trifft man nur Bimsteinstückchen an. In manchen Proben waren viele Reste kieseliger Organismen, in andern nicht. Auch Mangankörner und Manganknoten kamen in einigen vor. Einige Proben waren noch insofern interessant, als sie an der Oberfläche des Meeres Globigerinenschlamm und einen Fuß darunter fast reinen rothen oder braunen Thon anzeigten.

Organismen mit kieseligen Skeletten kommen zwar in allen Tiefen ziemlich reichlich vor, doch erlangen die kieseligen Reste derselben nur in beschränkten Gebieten eine solche Bedeutung, daß sie für die sich bildenden Ablagerungen charakteristisch werden. In großer Menge kommen die kieseligen Reste der Radiolarien und Diatomeen im mittleren und westlichen stillen Ocean vor, spärlich oder gar nicht im südlichen stillen Ocean und im Atlantischen Ocean.

Die verbreitetste oceanische Ablagerung ist der Tiefsseethon. Er findet sich in Tiefen, die 3654 Meter übersteigen, ist grau, roth oder dunkel chocoladenfarbig. Die rothe Farbe rührt von Eisenoxyd, die

chocoladenfarbige von Manganoryd. Sehr oft ist ihm kohlen-saurer Kalk in Form von Globigerinenschlamm beigemengt. Weiße oder bunte kleine Mineralstückchen finden sich in großer Anzahl in ihm. Quarz, Glimmer, Bimstein, Schlacke und Manganoryd kommen auch in größeren Stücken darin vor. Quarz und Glimmer scheinen nur an einzelnen Localitäten vorzukommen, Manganoryd fast immer. Bimstein und Schlacke scheinen über den ganzen Meeresboden verbreitet zu sein.

Von dem Bimstein werden Exemplare angetroffen, die zwischen der Größe einer Erbse und eines Apfels variiren. In der Nähe vulkanischer Mittelpunkte kommt der Bimstein in großer Menge vor, weniger häufig trifft man ihn in Küstenablagerungen, die weit von vulkanischen Gegenden entfernt sind. In den Ablagerungen des nördlichen stillen Oceans ist er häufiger als in denen des Atlantischen Oceans. Im nördlichen stillen Ocean wurden Häufchen von Bimsteinstückchen aus 4026 und 5307 Meter Tiefe herausgeholt. Die meisten Bimsteine haben ein abgerundetes Aussehen. Manche haben eine bedeutende, andere eine geringere Veränderung erfahren. Einige haben eine Kruste von Manganoryd, oder werden von demselben in Streifen durchsetzt; sehr oft bilden sie auch den Kern der Manganknoten. Sie enthalten Krystalle von Sanidin, Augit, Hornblende, Olivin, Quarz, Leucit, Magneteisen und Titaneisen, Mineralien, die auch in allen Arten oceanischer Ablagerungen vorkommen. Wahrscheinlich wurden diese Bimsteine von Vulkanen in die Luft geschleudert, aus welcher sie dann auf die Oberfläche des Meeres fielen. Hier schwammen sie solange herum, bis die Poren mit Wasser gefüllt waren und dann sanken sie unter. Auch jetzt trifft man noch häufig auf der Oberfläche des Meeres schwimmende Bimsteinmassen. Viele mögen auch vom Lande aus und durch Regengüsse oder Ströme in das Meer geführt worden sein. An zwei Stationen des stillen Oceans, viele hundert engl. Meilen vom Lande, fand man indessen Bruchstücke von Obsidian und von felspathiger oder basaltischer Lava von solcher Größe, daß die Annahme, sie könnten aus der Ferne hergeführt worden sein, nicht wohl zulässig erscheint. Zu ihrer Erklärung genügt die Annahme einer submarinen Eruption. Da vulkanische Massen in Form von Bimstein, von Asche oder Sand ganz allgemein auf dem Meeresgrunde verbreitet sind und mit der Zeit zerfällt

werden, so ist es nicht unwahrscheinlich, daß der Tieffeethon, der so weit vom Lande entfernt angetroffen wird, ein Zersetzungsprодукt dieser vulkanischen Massen ist.

Das schon mehrfach erwähnte Manganoryd gehört zu den interessantesten Bestandtheilen des Meeresgrundes. Es findet sich weit verbreitet in Form von Knoten, als Incrustation und als Ablagerung. Besonders häufig ist es im Tieffeethon und in dem organischen Schlamm, der reich an vulkanischen Trümmern ist, oder der in der Nähe vulkanischer Mittelpunkte vorkommt. In Küstenablagerungen, fern von vulkanischen Centren, wird es spärlich angetroffen und überzieht dann Korallenstückchen, Bimsteine und Ralkschalen. Ueberall aber wo Bimstein vorkommt, der viel Magneteisen, Olivin, Augit oder Hornblende enthält, und wo zugleich eine deutliche Zersetzung dieser Mineralien zu erkennen ist, oder wo vulkanische Asche, die sich bekanntlich sehr leicht zersetzt, in großer Menge vor Zeiten in das Meer gefallen ist, da findet man Manganoryd in Menge. Dieses Zusammenvorkommen von Manganoryd mit vulkanischen Mineralien gibt uns einen Wink über die Bildung des Manganorydes. Es scheint das Manganoryd ein Zersetzungsprодукt vulkanischer Mineralien zu sein.

Mangan kommt in den Laven fast ebenso häufig vor als Eisen. Im Magneteisen und in manchen Hornblende- und Augitvarietäten ist das Eisen manchmal theilweise durch Mangan ersetzt. Die Bildung des Manganoryd kann daher so gedacht werden. Die kiesel-sauren Verbindungen der vulkanischen Produkte werden durch die Kohlensäure des Meerwassers langsam zersetzt in Thone und in kohlensäure Verbindungen. Das hierbei entstehende kohlensäure Mangan wird durch den Sauerstoff des Meerwassers später in Manganoryd und freie Kohlensäure verwandelt. Da kohlensäures Mangan in kohlensäurehaltigem Wasser löslich, Manganoryd aber darin unlöslich ist, so muß das Manganoryd in dem Maße als es entsteht auf andere Körper sich niederschlagen, und in der That findet man es in der Regel als Ueberzug und in Form von Knoten. Durchschlägt man diese Manganknoten, so findet man sehr häufig einen fremden Kern, um welchen sich concentrische Schichten von Mangan gelagert haben. Je nach der Beschaffenheit des Bodens sind diese Kerne verschieden. Aber auch zwischen den einzelnen concentrischen Schichten trifft man bis-

weisen fremde Einschlüsse, die während der Manganablagerung zufällig eingeschlossen worden sind. Da wo der Meeresboden vollständig aus vulkanischer Asche besteht, oder wo er sehr hart ist, ist das Manganorhyd in Schichten abgelagert. Es ist nicht unwahrscheinlich, daß die Manganbildung da beschleunigt wird, wo durch feine Risse im Meeresboden Kohlensäure entweicht.

In dem Tieffeethon fand man auch noch kleine, runde, schwarze Theilchen, die vom Magneten sehr stark angezogen wurden und die sich auch in dem Bimstein wie in den Manganknoten fanden. Sie wurden als magnetisches Eisenerz und als Titaneisen erkannt. Weit interessanter als diese sind kleine runde Kugeln, die in den Thonen und Manganknoten fern vom Lande gefunden wurden.

Diese kleinen runden Kugeln schlugen aus einer Kupfervitriollösung Kupfer nieder und legitimirten sich dadurch als gebiegenes Eisen. Da man im Anfang glaubte, die runden Kugeln könnten von den beim Herausheben angewandten Instrumenten herrühren, so durchschnitt man Manganknoten ohne eiserne Instrumente und fand bisweilen diese runden Kugeln als Kerne, und auch diese schlugen Kupfer aus einer Kupfervitriollösung nieder. Nur in den Ablagerungen und Manganknoten, die weit vom Lande herausgeholt wurden, fand man sie, sonst nicht. Es ist daher möglich, daß sie kosmischen Ursprungs sind. Daß sie nur weit vom Lande weg gefunden wurden, erklärt sich dadurch, daß die in der Nähe des Landes in das Meer gefallen Kugeln von dem Detritus schnell begraben wurden. Merkwürdig ist, daß diese Kugeln sich nicht oxydirt haben. Diejenigen zwar, die von Manganorhyd umhüllt wurden, konnten nicht oxydirt werden, von denjenigen dagegen, die frei im Tieffeethon lagen, muß es Wunder nehmen, daß sie der Oxydation entgangen sind.

Wenn das Instrument in den Tieffeethon nur 1 oder 2 Zoll tief gesunken war, dann brachte es oft über 100 Haifischzähne und zwischen 30 bis 40 Ohrenknochen von Cetaceen herauf, von denen manche mit einer zolldicken concentrischen Manganhülle umgeben, während andere gar nicht oder nur wenig incrustirt waren. Da die Manganincrustation nur sehr langsam erfolgt, so spricht das Nebeneinanderkommen alter und junger Knochen in einer so dünnen Schicht für das hohe Alter dieser dünnen Schicht. Daß die Ablagerungen in der Tiefsee so langsam vor sich gehen ist in

jedem Falle zu erwarten, mögen sie nun durch Zersetzung der vulkanischen Gesteine oder durch Einschwemmungen vom Lande aus erfolgen. In den Küstenablagerungen wurden keine Haifischzähne, in dem Globigerinen-Radiolarien- und Diatomeenschlamm nur ein oder zwei Stück gefunden. Das beweist, daß die Ablagerungen an der Küste am schnellsten, der Globigerinenschlamm weniger schnell und der Tieffseethon am langsamsten sich bilden.

Zu den großartigsten und noch in vieler Beziehung räthselhaften Erscheinungen im Meere gehören die Strömungen. Man kann sie als äquatoriale und meridionale Strömungen unterscheiden. Die äquatoriale Strömung geht im Allgemeinen parallel mit dem Aequator von Ost nach West, die meridionale dagegen längs dem Meridian.

Sehen wir uns auf einer Karte den Aequatorialstrom an. Aus den Gewässern Guinea's fließt dieser Strom 100 bis 140 geographische Meilen breit mit einer Geschwindigkeit von 5 bis 6 geographischen Meilen innerhalb 24 Stunden nach dem Cap Roque. Neunzig geographische Meilen östlich von diesem Cap theilt er sich in zwei ungleiche Arme. Der schwächere fließt nach W. W. N, der stärkere nach Südwesten längs der Küste von Brasilien. Die letztere Strömung windet sich um das Cap Horn, fließt von da längs der Westküste von Südamerika bis etwa 15° S. Breite, wo sie mit der hier auftretenden großen Aequatorialströmung nach Australien hin ihren Lauf richtet. Diese Aequatorialströmung im stillen Ocean fließt zwar viel langsamer als die im Atlantischen Ocean, dafür reicht sie aber von Wendekreis zu Wendekreis und bildet einen majestätischen 750 geographische Meilen breiten Strom, dessen Nordrand die Insel Formosa bespült, in dessen Südrande Australien sich badet. In ihren warmen Fluthen herrscht reges Leben. Ganze Gruppen von Inseln und Bänken tauchen durch die Arbeit jener unermüdblichen kleinen Thierchen, der Korallen, empor.

An den ostindischen Inseln bricht sich die Kraft dieser Strömung. Der nördliche Theil wendet sich in der Nähe der Insel Formosa nach den Aleuten, läuft dann parallel mit der Westküste Nordamerikas und bildet schließlich den Fleurius-Wirbel. Der südlichere Theil erreicht in zwei Arme getheilt das Cap der guten Hoffnung. Der eine Arm windet sich zwischen Afrika und Madagascar an der Küste einher, der andere bleibt südlich von

Madagascar. Vom Cap der guten Hoffnung fließen beide vereint nach dem Busen von Guinea, um von neuem die Reise nach dem Cap Roque anzutreten.

Hier theilt sich wie schon angeführt der Strom in zwei Arme. Der schwächere, der nach W. W. N fließt, erreicht bei 35° B. L. seine größte Breite, 120 geographische Meilen, fließt bis 45° B. L. in fast gleichen Abständen nördlich und südlich vom Aequator, überschreitet den Aequator und fließt nach der Insel Trinidad hin.

Hier an schließt sich der Golfstrom, der merkwürdigste unter allen Strömen des Oceans. An seiner intensiv blauen Farbe unterscheidet ihn schon das geübte Auge von dem umgebenden Meerwasser und das Thermometer erkennt ihn noch im Eismeere an seiner hohen Temperatur. Mit einer Geschwindigkeit von 1,25 geographischen Meilen in der Stunde entströmt er der Floridastraße und eilt nach Norden. Zwischen Cap Florida und der Insel Bimini ist seine Breite am geringsten, $7\frac{1}{2}$ geographische Meilen. An Breite fortwährend zu, an Geschwindigkeit abnehmend, hält er sich an der Ostküste Nordamerikas und läßt sich auch durch den von Norden kommenden Kaltwasserstrom bis zu 40° N. B. nicht weit wegdrängen. Hier bei 40° N. B. nimmt sein Lauf eine andere Richtung. Die Sandbänke von Nantucket und St. Georg, die sich weit nach Osten vorschieben, lenken ihn nach Osten, gleich wie die Sandbänke, die in O. O. N. Richtung Neu-Fundland und Neu-Schottland vorlagern. Die Breite ist hier schon sehr bedeutend, sie beträgt 100 geographische Meilen, die Geschwindigkeit dafür um so geringer, 9 geographische Meilen in 24 Stunden. Die Temperatur, die in der Floridastraße 28° C. betrug, ist hier bis auf 20 bis 22° C. herabgesunken.

Bei 40° N. B. und 40° B. L. theilt sich der Golfstrom in zwei mächtige Arme, von denen der eine den bekannten Wirbel bildet, der das Sargasso-Meer einschließt, in welchem der Fucus natans die Oberfläche bedeckt, der andere sich nach Nordosten ins Polarmeer verläuft. Durch den kalten Labradorstrom mit seinen Eisbergen wird der letztere ein wenig abgekühlt und in seiner Kraft geschwächt,*) keineswegs aber vernichtet.

*) Ausführlich beschrieben findet man die Strömungen in Petermanns geographischen Mittheilungen 1867—1870.

Die verhältnißmäßig hohe mittlere Jahrestemperatur Englands und Scandinaviens rührt zum größten Theile von dem warmen Golfstromwasser.

Sie werden fragen: Welche Mittel gibt es, die Strömungen im Meere nachzuweisen? Die starken Strömungen erkennt der Schiffer leicht an der verminderten Geschwindigkeit seines Schiffes. Alle Strömungen und auch die schwächsten erkennt man an dem von ihnen aus fernen Gegenden mitgebrachten Treibholz. So hat der dänische Contre-Admiral Krümming eine Abzweigung des Golfstroms in der Davis-Straße und der Baffins-Bai durch das häufige Vorkommen der mexikanischen Pflanze *Mimosa scandens* nachgewiesen. Der bekannte Portugiesische Befehlshaber Cabral (1500 n. Chr.) hatte die Absicht nach Ostindien zu segeln. Er richtete seinen Lauf nach dem Cap der guten Hoffnung. Bis zu den Inseln des grünen Vorgebirgs kam ihm der Nordost-Passat trefflich zu Statten. Als er aber in die Region der Aequatorial-Calmen kam, hörte der Wind auf und seine Schiffe trieben ohnmächtig mit der Aequatorialströmung nach Brasilien. Cabral wurde so wider seinen Willen der Entdecker eines Landes. Man braucht indessen nicht so weit zurückzugreifen. Noch vor wenigen Jahren wurde der Oberst Sabine bei seiner Ueberfahrt von Sierra Leone nach New-York durch die Strömungen 400 geographische Meilen weit von seinem Wege verschlagen.

Die von dem übrigen Meerwasser abweichende Temperatur eines Streifens zeigt ebenfalls eine Strömung an. So wies Dr. Hayes bei seiner Ueberwinterung in Port Foulke eine Abzweigung des Golfstromes im Smith-Sund dadurch nach, daß er offenes Meer auch bei -45° R. constatirte.

Das Thermometer weist den Golfstrom auch noch in Spitzbergen und darüber hinaus nach. Lamont berichtet von dieser Abzweigung.*) Es ist ein schwacher Arm des Golfstromes, der um das Südcap Spitzbergens zu den 1000 Inseln geht. Gegen diese 1000 Inseln treibt mit Macht das Polareis. Sobald es die westlichste derselben erreicht hat, wird es in ganz kurzer Zeit geschmolzen, wiewohl die Polarströmung stark, der

*) Petermanns geogr. Mitth. 1870. S. 227.

Golfstromarm in der Breite von 77° schwach und nicht weniger als 1500 geographische Meilen von seinem Ursprunge, der Straße von Florida entfernt ist.

Da wo das Thermometer keinen Aufschluß geben kann über eine Strömung, wie z. B. in der Aequatorialströmung im stillen Ocean und wo auch Treibholz selten ist, da wird diese Strömung durch zahlreich auftretende Korallen, die nur im bewegten Wasser gedeihen, angezeigt.

Eine bündige Theorie der Meeresströmungen, aus welcher man die Richtung, die Stärke und Geschwindigkeit erklären könnte, ist nicht bekannt. Als Ursachen der Strömung sind bekannt die Winde, der Wechsel im specifischen Gewichte des Meerwassers, die Anziehung des Mondes und der Sonne und die Erdrotation.

Daß constant wehende Winde eine Strömung erzeugen können, ist ohne Zweifel. Daß sie aber eine so mächtige, von Ost nach West gehende Strömung, wie die Aequatorialströmung, zu erzeugen vermögen, während ihre eigene Richtung gar nicht von Ost nach West gerichtet ist, das ist nicht wahrscheinlich. Wenn man eine Erscheinung erklären will, so muß auch immer die Ursache in richtigem Verhältniß zur Größe der Erscheinung stehen. Das ist aber nicht der Fall, wenn man die Meeresströmungen lediglich durch constant wehende Winde zu erklären versucht.

Die Anziehungskraft des Mondes und der Sonne auf unsere Meere wird von dem russischen Marinecapitän Schilling*) als die Ursache der Strömungen angesehen. Die Anziehungskraft des Mondes, namentlich in Verbindung mit der Sonne, ist eine sehr bedeutende. Es steht also hier die Ursache in richtigem Verhältniß zur Größe der Erscheinung. Das allein genügt indessen noch nicht. Wir wissen, die Meeresströmungen sind horizontale. Die Anziehung des Mondes auf unsere Erde kann zunächst nur eine vertikal undulirende Bewegung im Gefolge haben. Wäre nun die Anziehungskraft des Mondes die Ursache der Strömungen, so könnte in dieser Strömung selbst Ebbe und Fluth nicht eintreten. Die Beobachtung lehrt aber, daß auch in der Aequatorialströmung Ebbe und

*) Schilling, die beständigen Strömungen in der Luft und im Meere. Berlin, D. Reimer 1874.

Fluth eintritt, folglich kann die Anziehungskraft des Mondes die Ursache dieser Strömung nicht sein.

Wenn man zwei mifchbare Flüssigkeiten von verschiedenem specififchen Gewichte zufammen bringt, fo finden Strömungen ftatt, bis die gefammte Flüssigkeit daffelbe specififche Gewicht hat.

Wir wiffen daß kalte Strömungen von Norden nach Süden und warme von Süden nach Norden gehen, deren specififches Gewicht von jenem verſchieden iſt. Wir können alfo unmöglich bei der Erklärung dieſer meridionalen Strömungen das specififche Gewicht außer Acht laffen. Ob aber bei der geringen Differenz im specififchen Gewichte nicht noch andere Faktoren zur Erklärung heran gezogen werden müſſen, das iſt eine andere Frage. In keinem Falle kann die Aequatorialſtrömung aus dieſem Geſichtspunkte erklärt werden.

Sehen wir alfo zu, ob die Erdumdrehung die letztere zu erklären im Stande iſt. Wenn wir uns eine ſtillſtehende Erde plötzlich in Rotation von Weſt nach Oſt verſetzt denken, ſo kann das bewegliche Waſſer nicht ſogleich die volle Geſchwindigkeit annehmen. Es wird zurückbleiben und eine mächtige Strömung von Oſten nach Weſten bilden. Im Laufe der Zeit wird dieſe Strömung ſich mehr und mehr vermindern. Durch den Druck und die Reibung wird das Waſſer mehr und mehr dem Erdballe anhaften, die Waſſertheilchen werden mehr und mehr die volle Geſchwindigkeit der Umdrehung annehmen und die Strömung hört auf. — Hört auf? Doch nur am Boden des Meeres, doch nur, wenn an der Oberfläche oder in der Nähe derſelben die Waſſertheilchen ihre leichte Verſchiebbarkeit verloren und damit die Eigenschaft feſter Körper angenommen haben, das heißt, wenn der ganze Ocean zu Eis erſtarrt iſt. So lange das nicht der Fall iſt, werden die Waſſertheilchen von der Oberfläche an bis zu einer gewiſſen Tiefe immer ein wenig zurückbleiben und dadurch eine Strömung von Oſten nach Weſten bilden. *)

Welche Rolle ſpielen die Meeresſtrömungen in der Geologie? Es iſt ſchon früher bemerkt worden, daß nach den Unterſuchungen von Wallich

*) Ausführlicheres hierüber findet man in Petermanns geogr. Mittheilungen, ferner in dem Werkchen von Jarz, die Strömungen im Nordatl. Ocean und in der Phyſiographie des Meeres von Gareis und Becker.

und Carpenter die Vertheilung der lebenden Wesen in den Meeren mehr von der Temperatur, als von der Tiefe des Wassers abhängt. Zwei Strömungen, eine warme und eine kalte, die am Meeresboden nebeneinander vorbeigehen, haben daher auf die Ablagerungen einen verschiedenen Einfluß. Die Ablagerungen unter der warmen Strömung bergen Organismen von mehr tropischem, die unter der kalten Strömung solche von nordischem Charakter. Diese zwei Ablagerungen in derselben Tiefe und auf demselben geologischen Horizont gehen in einander über und zeigen gleichwohl an und in der Nähe der entgegengesetzten Begrenzungen einen ganz verschiedenen Charakter in Betreff der eingeschlossenen Organismen. Kommt noch hinzu, daß der Meeresgrund unter der kalten Strömung Sand führt und daß in Folge davon die Fauna viel ärmer ist als unter der warmen Strömung, so könnte ein zukünftiger Geologe, der den mittlerweile gehobenen und zu Festland gewordenen Meeresgrund untersucht, leicht irregeleitet werden. Es würde ihn zunächst befremden, zwei in einander übergehende Ablagerungen von ganz verschiedenem mineralogischem paläontologischem Charakter anzutreffen. Den Sand mit seiner spärlichen nordischen Fauna fände er im Zusammenhang mit einem Kreidegebirge, das in seiner Gesamtheit aus einer zahlreichen Entwicklung von Kalkorganismen unter der warmen Strömung entstanden ist. Was ist natürlicher als der Schluß, den er vielleicht machen würde, daß diese zwei Ablagerungen in ganz verschiedenen geologischen Epochen gebildet worden sind. Er könnte noch weitergehen und in der gefundenen Thatsache den Beweis dafür erbracht glauben, daß zur Zeit der Bildung des Kreidegebirgs die Erde noch viel wärmer war als zur Zeit der Sandbildung.

Wenn eine warme Strömung über eine kalte hinweggeht und ein untermeerisches Gebirge reicht aus der kalten in die warme Strömung hinein, so können der Rücken und der Fuß des Berges in ihrer mineralischen Zusammensetzung vollständig gleich, in ihrer Fauna aber gänzlich verschieden sein. Auch hier könnte ein zukünftiger Geologe bei der Untersuchung des gehobenen Gebirges leicht die verschiedene Fauna auf Rechnung von verschiedenen geologischen Epochen setzen, die in ihrer Temperatur wesentlich verschieden waren, während sie doch durch zwei Meeresströmungen, die über einander weggehen, erklärt werden muß.

Die Meeresgrundproben, welche auf dem Schiffe Blix an mehreren Punkten des nördlichen Atlantischen Oceans unter warmen Strömungen heraufgeholt worden sind, sind in dieser Beziehung sehr lehrreich.*) Es ist die große Ähnlichkeit zwischen den Organismen dieser Proben und denen der Kreidezeit nicht zu verkennen. Die Organismen der Kreidezeit sind meistens Globigerinen, die der Meeresgrundproben ebenfalls. Könnte die völlige Uebereinstimmung beider nachgewiesen werden, so wäre der Schluß gerechtfertigt, daß die Globigerinen der Kreidezeit unter denselben Bedingungen gelebt haben wie die der Grundproben. Die Ablagerungen der Globigerinen wären dann seit der Kreidezeit bis heute ununterbrochen an bestimmten Punkten des nördlichen Atlantischen Oceans vor sich gegangen und wir befänden uns noch immer in der Kreidezeit.

Wird es in den früheren geologischen Perioden anders gewesen sein? werden die Meere nicht damals schon tief und von Strömungen durchzogen gewesen sein? Wenn ja, dann gelten auch diese Betrachtungen für die damaligen Perioden. Von einem plötzlichen Uebergang einer Periode in die andere kann dann keine Rede mehr sein. Wurde ein Theil des Meeresgrundes irgendwo über die Meeres-Oberfläche gehoben, so mußte auf dem übrigen Meeresboden eine Veränderung der Strömungen eintreten. Es konnte sich treffen, daß da, wo früher warme Strömungen hinzogen, jetzt kalte ihren Platz einnehmen. Die neuen Ablagerungen, die sich jetzt unter der kalten Strömung bilden, zeigen mit einmal eine ganz andere Fauna als die Schicht, die sie überlagern; die Organismen dieser neuen Ablagerung zeigen einen ausgesprochen nördlichen Charakter, während die der darunter liegenden Ablagerung einen entschieden südlicheren Charakter haben. Auch hier kann man bei der Untersuchung der gehobenen Ablagerungen leicht den Fehlschluß machen, daß nach der Ablagerung der untersten Schicht diese über Wasser kam und ein langer Zeitraum verfloß, während welches sich die Temperaturverhältnisse auf der Erde völlig umgestalteten. Nachdem dies geschehen, sank die Schicht wieder unter Wasser und die Organismen wurden begraben, welche den kälteren klimatischen Verhältnissen angemessen waren. Es wäre das wie gesagt ein falscher Schluß, denn

*) Naturforscher II, S. 291.

wir sahen, daß allerdings eine Umwälzung stattgefunden hat, durch welche aber nur die Richtung der Meeresströmungen geändert wurde. Die zwei Ablagerungen wurden unmittelbar nacheinander gebildet, die erste unter einer warmen, die zweite unter einer kalten Strömung. An einem anderen Orte kann es gerade umgekehrt sein. Ein Uebergang tropischer Formen in arktische ist nur möglich, wenn die warme Strömung ganz allmählig von der kalten verdrängt wird, so daß die Organismen hinreichend Zeit haben sich zu acclimatificiren.

Elfter Vortrag.

Der Torf.

Der Torf ist organischer Natur. Auf der Erde beginnt das Organische mit kleinen nur unter dem Mikroskope erkennbaren Gebilden, die sich in staunenerregender Weise vermehren. Im Wasser sind es die Algen, welche zuerst erscheinen, auf dem Lande die Flechten, die sich der Felsen bemächtigen. Die Keime dieser Gebilde sind überall in der Luft und besitzen eine Widerstandsfähigkeit, die uns zur Bewunderung zwingt. Sie sind immer und überall die Vorläufer höher organisirter Gebilde, für welche vorzubereiten sie bestimmt sind.

Da der Torf aus Pflanzen entstanden ist, so müssen wir die Wirkungsweise und die Veränderungen der Pflanzen im Haushalte der Natur erst kennen lernen. Ein massiges Gestein, z. B. Granit, scheint für die zarten Wurzeln der Pflanzen ganz undurchdringlich und dennoch sehen wir auf jedem Granitboden zahlreiche, mächtige Bäume in die Höhe schießen. Wenn wir einen Steinbruch besuchen, so bemerken wir, wie sich durch sonst ganz frisches Gestein ein Wurzelfaden windet, rings um welchen das Gestein vollständig zersetzt ist. Durch das an den Wurzelfasern überaus langsam herabfließende, mit Kohlensäure beladene Wasser geht die Zersetzung des Gesteins sehr rasch von Statten. Die Wurzeln verzweigen sich nach unten mehr und mehr und werden nach oben dicker und dicker, bis sie dicht an unzersetztem Gesteine anliegen. Wenn nun die im Sommer fast vertrockneten Wurzeln im Spätherbst mit Wasser getränkt werden, dann entsteht ein Kampf zwischen dem massigen Gestein und jenen Molecularkräften in der schwellenden Wurzel. So schwer und

massig das Gestein, und so unscheinbar jene Molecularkräfte, die auf kleine Entfernungen aber unwiderstehlich wirken, die schwellende Wurzel zerreißt das Gestein und bietet der Pflanze neue Wege zum Eindringen. Die ersten Risse, die hier als vorhanden vorausgesetzt werden, rühren in der Regel von Erdbeben oder von Hebungen oder Senkungen. Aber auch ohne diese vermag die Pflanze einen Boden sich zu erobern und wäre er auch noch so unfruchtbar.

Wer hat nicht schon Kalksteinfelsen mit glatter Oberfläche gesehen, die an einigen Stellen schwarzgrau, an anderen grün, gelb, braunroth oder marmorirt ausahen? Sehen wir uns solche Stellen genauer an, so finden wir, daß es förmliche Wiesen von winzig kleinen Flechten — von Schurfflechten, Blatterflechten, Krustenflechten und Lagersflechten — sind, die sich besonders auf der Wetterseite angesiedelt haben. Stürme und Regenschauer, Schnee und Eis konnten dem glatten Felsen nicht beikommen, aber jener kleinsten aller Pflanzen, der Schurfflechte ist es gelungen, ihre Wurzeln in ihn zu graben und sich dauernd auf ihm anzusiedeln. Der Felsen tritt jetzt in ein anderes Entwicklungsstadium. Von den Pflänzchen, die den Wasserdampf mit der größten Begierde aufnehmen und festhalten, wird er nicht bloß auf kurze Zeit, sondern dauernd angefeuchtet. Die abgestorbenen und verwesenden Flechten liefern dem Wasser Kohlensäure, wodurch es in den Stand gesetzt wird, kohlensauren Kalk und kohlensaures Kali, die Hauptnahrung dieser Flechten, zu lösen. Jetzt, wo mehr Nahrung in Aussicht steht, tritt auch eine stärkere Vermehrung der Pflänzchen ein. Jedes von ihnen hat noch dazu die Eigenschaft, in seinem Organismus zwei Säuren, Oxalsäure und Weinsäure, zu bereiten. Diese Säuren verbinden sich mit Kalk und Kali zu in Wasser unlöslichen, beziehungsweise schwer löslichen Salzen, die nach dem Absterben der Flechten zurückbleiben und den Boden schon mannichfaltiger machen. Bei der Verwesung der Flechten sowie aller Pflanzen entstehen dann Humussäuren, die die Gesteinsmasse weiter verändern und für Moose und Gräser vorbereiten.

Sind diese einmal da, dann stellen sich strauchartige Gewächse sehr bald ein. Der Wachholder und die Besenpfrieme (*Spartium scoparium*) treten auf mit ihren flachziehenden, nach allen Richtungen die Erdrume durchrankenenden, und sich mit zahllosen Fasern an alle Felsritzen anklammern-

den, peitschenförmigen Wurzeln, der Wachholder an kalkigem, die Besenpfrieme an sandigem Gestein. Während des Winters bergen Krammetsvögel oder Drosseln sich im Wachholdergebüsch*) und setzen mit ihrem Urathe die auf Streifzügen genaschten schwerverdaulichen Früchte vom Weißdorn, Hartriegel, Schwarzdorn, Schneeball und wilder Rose ab. Wenn dann im Frühling die ersten warmen Regen niedergehen, keimen diese Samen, treiben Wurzeln und bald erhebt sich ein dichtes Gestrüppe von Holzgewächsen, die allmählig den Berg in Besitz nehmen und ihn schützen, wenn heftige Gewitter- und Plagregen niederrauschen. Ihre belaubten Kronen sind gar wirksame Schirme selbst bei Wolkenbrüchen. Sie zertheilen den andringenden Regenstrom, und sanft niedergleiten ohne lebendige Kraft häufige Wasserrieseln. Die zahlreichen Wurzeln, Moose und Gräser setzen dem abfließenden Wasser von neuem Widerstand entgegen, so daß es nur eine äußerst geringe Geschwindigkeit hat. Einen großen Theil halten sie überdies noch zurück und sorgen, daß ihr Untergrund nie vollständig trocken und unfruchtbar wird.

Wenn nun der Mensch den Wald, den die Pflanze so mühsam aufgebaut, mit Gewalt niederreißt und zerstört, dann zeigen sich die schweren Folgen nur allzu schnell. Frankreich, das in den Revolutionsjahren von 1789—1793 so viele Gebirgswände entwaldete, weiß davon zu erzählen. Verschlammungen, Versandungen, häufige Uebersfluthungen und Versumpfungen ganzer Landstriche, die nächsten unausbleiblichen Folgen, waren es, mit denen Frankreich mehr als 80 Jahre zu kämpfen hatte.

Nicht bloß nackte Felswände eilt die Pflanze zu beschatten, auch den Sand der Wüste sucht sie zu befestigen. Wenn ihr das im Innern von Afrika nicht gelingt, so liegt es nur an dem gänzlichen Mangel an Feuchtigkeit. Was ihr aber hier nicht gelingt, das gelingt ihr an anderen Orten, wo die Lebensbedingungen günstiger sind. Am flachen Meeresstrande, wo Sand gehäuft liegt, ist alles öde und unwirthbar. Die lautlose Stille wird kaum unterbrochen durch flüchtige Vögel, die eilend das Weite suchen, nachdem sie die vom Meere ausgeworfenen Schalthiere verschlungen. Jetzt erhebt sich vom Meere her ein Wind und wie mit einem Zauberbschlage ändert sich die Scene. Wolken von staubförmigem

*) Senft, die Humus-, Marsch- und Torfbildung.

Sande fliegen landeinwärts, bedecken die fruchtbare Erde und ersticken die Pflanzen, verschütten Häuser und bilden Wälle, die, vom nächsten Winde weiter landwärts getrieben, das grüne Land in eine unfruchtbare Wüste verwandeln. Ohnmächtig steht ihnen des Menschen kunstgeübte Hand gegenüber, und gelingt es ihr schließlich das Feld zu behaupten, so gelingt es ihr nur durch Pflanzen, die sie auf dem Sande ansiedelt. Diese Pflanzen — die graue Schmiele (*Aira canescens*), das Sandrohr (*Arundo arenaria*), das Sandlieschgras (*Elymus arenarius*), das Sandried (*Carex arenaria*) — sind sehr genügsam, aber ihre Wurzeln laufen nach allen Seiten aus, sind stark verfilzt und umklammern die Sandkörner mit Macht. Ihre zahlreichen Halme und Blätter entziehen endlich gänzlich den Sand den Wellen des Luftmeeres.

Nicht minder merkwürdig als diese Gräser sind jene in das Meer eindringenden, landbildenden Mangle- und Mangrove-Bäume, welche an den Strommündungen Westindiens und Südamerikas unermessliche Waldungen bilden. Ihr außerordentliches Wurzelgeflecht entspringt nicht nur dem Fuße des Stammes, jedem Ast und Zweige entsproßt ein Säulenschaft, der niedersteigt zum Boden, Wurzeln schlägt und selbst wieder zum Baume wird. Wälzt die sturmbewegte See Wogen gegen sie heran, so bleibt der Schlamm und Sand in dem Wurzelnetz hängen und erhöht den Boden, der allmählich zu festem Lande wird. Weiter hinaus in das Meer bringen jetzt die Bäume, schaffen neues Land, bis ihnen endlich durch Felsen oder allzu große Tiefe ihre Grenze bezeichnet wird.

Aber wir brauchen soweit nicht zu gehen. Sehen wir nur zu, wie sich im Rhein und in anderen großen Flüssen Inseln bilden und erhöhen. Wenn an Orten, wo der Fluß ein geringes Gefälle hat, nach einer Hochfluth eine Sandbank sichtbar wird, so siedeln sich sogleich hochhalmige Gräser in Menge darauf an. Ihnen folgen hochstengelige Stauden des Rainfarn (*Tanacetum vulgare*), des Wasserwolfschlunds (*Scrophularia aquatica*) und des Weidenröschens (*Epilobium hirsutum*). Zu ihnen gesellt sich noch vom nahen Ufer her die Weide. Die Halme und Stengel aller dieser Gewächse bilden ein überaus dichtes, fast undurchdringliches Netzwerk. Wenn nun nach starkem Gewitterregen oder bei anhaltendem Landregen der Fluß anschwillt und die junge Insel überfluthet, so bleibt aller Sand und Schlamm in dem Netzwerk zurück und

erhöht die Insel. Indem aber die Geschwindigkeit des Wassers an der Insel durch die Gräser stark vermindert wird, erweitert sich die Insel an den Seiten und namentlich an ihrem unteren Ende durch Ansaß von Sand, Kies und Geröllen. Von Neuem setzen sich Pflanzen an und von Neuem folgen Ueberschwemmungen, welche in gleicher Weise die Insel erhöhen und erweitern, bis sie endlich so hoch geworden ist, daß das Wasser nur bei dem höchsten Fluthstand die Oberfläche der Insel noch erreicht. Wenn man auf solchen Inseln einen Schacht nieder treibt, so zeigen sich abwechselnde Schichten von verwesender Pflanzensubstanz, von schwarzem Thon, von Sand, Kies und Geröllen.

In Gräben mit langsam fließendem Wasser, in flachen Seebecken mit ganz reinem Wasser, sehen wir bald zahlreiche Organismen entstehen. Gewöhnlich sind es die Algen, — deren Keime überall in der Luft sind, — die zuerst erscheinen. Ihre Vermehrungsfähigkeit ist so groß, daß in kurzer Zeit Billionen von Individuen aneinandergereiht sind. Nach dem Absterben sinken sie zu Boden und vermodern. In fließendem Wasser wird dieser Moder bald weggeführt und kann daher keine bleibende Schicht von organischer Substanz bilden. Ebenso ist es in Seen oder Teichen mit wasserdurchlassendem Boden und fort und fort sich erneuerndem Wasser. Stellen sich aber gleichzeitig kleine Schalthiere ein, so bilden deren Schalen mit den mineralischen Niederschlägen des Wassers einen kalkhaltenden festen Letten, der den Boden überzieht und für Wasser undurchdringlich macht. Alle organische Substanz, die jetzt zu Boden fällt, vermodert langsam und bildet einen bleibenden Absatz. Höher organisirten Pflanzen ist nun der Weg geebnet.

Den Algen folgen schwimmende Moose, deren Vermehrungsfähigkeit eine unbegrenzte ist, denn in einer einzigen Fruchtkapsel erzeugen sie ein paar Millionen Samen. In förmlichen Rasen überziehen sie die Oberfläche des Wassers und liefern nach dem Absterben eine beträchtliche Menge sich absetzender organischer Substanz. Nun lassen auch die Blüthenpflanzen nicht mehr lange auf sich warten. Schlauchkräuter*) (Utricularien) mit niedlich gebauten, Wasser enthaltenden Bechern, die sich zur Blüthezeit mit Luft füllen, treten auf. Jetzt steigen sie aus dem

*) D. Heer, die Urwelt der Schweiz.

Grunde an die Oberfläche des Wassers, um ihre zierlichen Blüthen an Sonne und Luft zu treiben. Kaum ist das geschehen, so füllen sich die Becher wieder mit Wasser und untertaucht die Pflanze, um am Grunde Samen und Früchte zu reifen.

Laichkräuter und Myriophyllen gesellen sich zu ihnen, treiben ihre Stengel bis an die Oberfläche, strecken ihre Blüthen aus dem Wasser hervor, um nach der Befruchtung wieder unterzutauchen und Samen zu reifen. Die Seerose breitet auf der Wasseroberfläche ihre Blätter aus und bildet mit den Wasserlinsen eine schwimmende grüne Decke. Vom Ufer her rückt das Schilfrohr (*Phragmites*) ins Wasser hinein, treibt lange, sich seitwärts verästelnde Schosse, aus deren Knoten ganze Büschel von Wurzeln hervorbrechen, die einen mächtigen Fils erzeugen, dessen Fasern in dichten Massen den Boden bedecken. Seggen, Schafthalme, Binzen, Simsen, Wollgräser und Molinien eilen, mit ihrem dichten Wurzelgeflecht das Wasser vollständig zu bedecken und unsichtbar zu machen. Auf dieser über dem Wasser sich ausbreitenden Decke stellen sich nun noch andere Pflanzen ein. Moose (*Sphagnum*) umkleiden die Wurzeln größerer Pflanzen und bilden auch ganze Rasen. Indem sie die Feuchtigkeit nach Art eines Schwammes aus der Tiefe ziehen, veranlassen sie den Fieberklee, in ihrem weichen Polster sich einzunisten. Seinem Beispiele folgen die Moosbeere, die Andromeda mit ihren rosenrothen Blumen, der Sonnentau, auf dessen rothbraunen Blatthaarenspitzen Wassertropfen im Sonnenscheine mit allen Farben glänzen.

Die Decke wird allmählich dicker und fester. Thiere und Menschen, die vor kurzem noch einbrachen, können jetzt ohne Gefahr darübergehen. Und nun ist auch die Zeit für Holzgewächse gekommen. Die Haide (*Erica vulgaris*) und die kriechende Weide (*Salix repens*) haben sich schon angekündigt. Ihnen folgen die Schwarzerle und der Kreuzdorn, die Birke und die Föhre. Sowie die Bäume ein gewisses Gewicht erreicht haben, brechen sie durch und sinken unter das Wasser.

Was geschieht aber unter dem Wasser? Auf den Boden des Teiches oder Sees sinken alle abgestorbenen Pflanzen und vermodern und das Produkt der Vermoderung ist der Torf. Teiche oder Seen, die in der angegebenen Weise durch Pflanzen überwuchert werden, nennt man Moore. Wenn bei starken Regengüssen das Wasser anschwillt, so ereignet es sich

häufig, daß die Decke losreißt und eine schwimmende Wiese mit großer Tragfähigkeit bildet. Pferde galoppiren ohne einzubrechen auf ihr herum; unter ihren flüchtigen Hufen hebt und senkt sich der Boden gleich einem Kornfelde, welches der Wind bestreicht.

Die Oberfläche der Moore schwillt bisweilen an manchen Stellen gleich einer Blase nach heißen und sehr trockenen Sommermonaten an. Dieses Anschwellen rührt von Gasen, welche sich im Innern des Moores in Folge von Zersetzungen bilden. Es entsteht dabei ein eigenthümliches Geräusch, welches immer stärker wird, bis die Moordecke platzt und den Gasen freien Abzug gewährt.

Das Anschwellen kann auch noch einen anderen Grund haben. Der frische Torf hat die Sucht möglichst viel Wasser in sich aufzunehmen; er absorbiert 50 bis 90% seines Gewichtes. In Folge davon schwillt er um das Doppelte seines Volumens an und erhebt sich weit über die Ufer. Hier auf trockener Unterlage wird das Wasser durch den Druck der Torfmasse wieder ausgepreßt. Liegen nun solche Moore auf geneigter Ebene, so strömt am unteren Ende ein schwarzschlammiger Strom hervor, der das benachbarte Land durchwühlt und mit sich fortreißt. In dem moorreichen Irland sind solche Schlammanschübe nichts ungewöhnliches. Einer der verderblichsten fand im Juni und Juli 1821 bei Lismore statt.*) Der Ausbruch wurde verkündet durch eine meilenweit wahrnehmbare Erschütterung, die von einem donnerartigen Getöse begleitet war. Bei Kilnalady brach dann ein schwarzer, moorige Substanzen führender Schlammstrom mit gewaltigem Getöse hervor. Mit reißender Geschwindigkeit stürzte er über das Feld und verwüstete in einer Viertelstunde 300 Acker Landes. In seinem Innern gährte und kochte es ohne Unterbrechung, während er unaufhaltsam zerstörend vorwärts drang. Dreitausend Menschen waren beschäftigt einen 7 Fuß hohen Damm aufzuwerfen. Aber der Strom, an einigen Stellen 60 Fuß tief, durchbrach den Damm und kam erst zum Stehen, nachdem er fünf Meilen Landes total verwüstet hatte.

Die Vertorfung wird in folgender Weise eingeleitet. Wenn im Herbst die Pflanze abstirbt, so ist das Zellengewebe nicht mehr im Stande,

*) Walchner, Handbuch der Geogn. und Senft, die Humus-, Marschbildungen.

die in ihm vorhandenen Stoffe zu verarbeiten und zu befördern. Der Sauerstoff, der kurz vorher unter Einwirkung des Sonnenlichtes aus der aufgenommenen Kohlensäure durch die grünen Pflanzentheile gebildet worden ist, kann durch die geschlossenen Poren nicht entweichen und wirkt nun oxydirend auf die vorhandenen Substanzen. Die Proteinkörper (Eiweiß, Mehl) der Pflanze und die stickstofffreien Pflanzenbestandtheile, Zucker, Dextrin und Stärke werden zuerst angegriffen. Infolge davon entwickelt sich aus den Proteinkörpern Kohlensäure, Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff, während zugleich Ammoniak gebildet wird. Dieses Ammoniak verbindet sich mit den aus Zucker, Dextrin und Stärke entstehenden Humus Säuren zu humus saurem Ammon. Die genannten Gase, namentlich Kohlensäure und Schwefelwasserstoff, die weitere Verbindungen nicht eingehen, mehren sich, zersprengen endlich die Pflanzenoberhaut, entweichen und gestatten jetzt der äußeren Luft den Zutritt. Die in der ursprünglichen unveränderten Pflanze an Alkalien gebundenen Säuren: Aepfelsäure, Citronensäure, Weinsäure und Gerbsäure, werden durch neue, durch Oxydation entstehende Säuren, in Freiheit gesetzt und durch eindringenden Sauerstoff zuerst in Humus Säuren und schließlich in Kohlensäure umgewandelt.

Das von außen langsam eindringende Wasser löst nach und nach alle durch Oxydation entstandenen Verbindungen, die nicht entweichen konnten und zurück bleibt nur die Holzfaser mit Kieselsäure und unlöslichen Kalksalzen und wenig Harz oder Wachs. Die Umwandlung dieser Holzfaser erfolgt nun äußerst langsam, denn einmal ist sie geschützt durch die unlöslichen Salze und durch Harz, dann aber sind die Humus Säuren und Ammon, die hauptsächlich die Umwandlung bewirken, nur in äußerst verdünnter Lösung vorhanden. Von der Holzfaser werden daher zunächst die von Salzen und Harzen freiesten und weichsten Zellen angegriffen und gehen unter Bildung von wenig Kohlensäure und Wasser zuerst in eine gelbe (Ulmin) dann in eine dunkelbraune Masse (Humin) über.

Nimmt nun diese Masse viel Feuchtigkeit auf, so sinkt sie unter Wasser und ist nun gänzlich dem atmosphärischen Sauerstoff entrückt. Hier wird sie durch ihr eigenes Gewicht und durch später niedersinkende ähnliche Substanzen zusammengepreßt und verdichtet und nun findet eine äußerst langsame Umsetzung zwischen dem Kohlenstoff und dem Wasser statt. Bei

dieser Umsehung bildet sich vorzugsweise Sumpfgas und Kohlensäure, die zum Theil entweichen, zum Theil von der in Versehung begriffenen Masse absorbiert werden. In diesem Stadium der Umwandlung nennt man diese Masse reifen Torf, Pechtorf oder Torfkohe.

Der ganze Vorgang hat eine gewisse Aehnlichkeit mit der Verkohlung von Pflanzen in Meilern, nur daß bei dieser gewisse Substanzen z. B. Harze, Bitumen, Holzsäure u. s. w. zerseht entweichen, während sie vom Torf zurückgehalten werden. Der Torf ist mithin Holzkohe, die von Harzen, von Bitumen und Holzsäure getränkt ist.

Eine Pflanzensubstanz ist nach der Erfahrung um so mehr zur Vertorfung geeignet, je langsamer ihre Verwesung vor sich geht. Die Verwesung geht aber um so langsamer vor sich, je reicher an Gerbsäure, Harz, Wachs und unlöslichen Salzen die Pflanzensubstanz ist, um so schneller, je reicher an Stickstoff und Alkalien sie ist.

Die Wassermoose eignen sich wegen ihres relativ bedeutenden Kieselsäuregehaltes und der großen Wassermenge, die sie auffangen und die den Zutritt des Sauerstoffs verhindern, nicht gut zur Torfbildung. Ebenso wenig eignen sich die eigentlichen Gräser, (Gramineen) wegen ihres starken Gehaltes an Alkalien und Proteinsubstanzen und wegen ihrer Armuth an Gerbsäure und harzigen Substanzen. Man findet daher tief im Torf Halme, Blattstücken und Blätter derselben nur wenig verändert.

Sehr gute Torfbildner sind die Heidearten (Ericaceen), weil sie Harz und Gerbstoff, phosphorsaure und schwefelsaure Kalkerde und Kieselsäure enthalten, die Schwimmpflanzen (Myriophyllum, Chara, Lemna, Potamogeton*) und die größeren Bäume.

Daß außer den Pflanzen noch andere Factoren mehr oder weniger Einfluß haben, braucht kaum erwähnt zu werden. Heiße Sommer z. B. und Schnee- und regenarme Winter verhindern oder verzögern die Vertorfung der abgestorbenen Pflanzen; schattengebende Bäume aber befördern sie, weil ein Hauptelement der Vertorfung, die Feuchtigkeit, nicht leicht entweicht. Auch der Boden, auf dem die Vertorfung vor sich geht, hat je nach den löslichen Bestandtheilen die er enthält, einen gewissen Einfluß.

*) Senft, die Humus-, Marsch- und Torfbildung.

Der frische Torf, wenn er aus seiner Lagerstätte ausgehoben wird, erscheint entweder als eine schlammartige Masse, oder als eine dichte, flebrige, knetbare, fettem Thone ähnliche, dunkelbraune bis pechschwarze Masse, welche an der Schnittfläche einen wachs- bis pechartigen Glanz zeigt. Er besitzt die Eigenschaft 50 bis 90 % Wasser aufzusaugen. An die Luft gebracht läßt er das Wasser nur ganz langsam entweichen und zieht sich mehr und mehr zusammen. — Der vollständig ausgetrocknete Torf hat die Eigenschaft, Wasser anzuziehen und festzuhalten nicht mehr. Das specifische Gewicht des Torfs ist um so größer, je vollständiger er verkohlt ist. Je vollständiger er verkohlt ist, desto größer ist auch sein Werth als Brennmaterial.

Wird Torf der trockenen Destillation unterworfen, so entweichen Kohlen säure, Kohlenoxyd, Sumpfgas, Leuchtgas und Ammoniak und zurück bleibt eine glänzend schwarze Kohle, während in der Vorlage Holztheer, rohe Holz säure und ammoniakhaltiges Wasser sich ansammelt. Wird er unter Luftzutritt erhitzt, so verbrennt er unter Verbreitung eines eigenthümlichen brenzlich-bituminösen Geruches und unter Zurücklassung eines großen Quantums röthlicher oder weißgrauer Asche, bestehend aus Kieselsäure (wohl auch Sand), Phosphorsäure, Eisenoxyd, Kalkerde, Thonerde und Magnesia. Das Torfffeuer ist mehr ein Gluth- als ein Flammenfeuer.

Aus ganz trockenem, feingepulvertem Torf zieht Alkohol beim Erhitzen Paraffin aus. Wird dieser durch Erkaltenlassen abgeschieden und die weingeistige Flüssigkeit concentrirt und mit Wasser versetzt, so scheidet sich ein bräunliches Harz ab.

Aether zieht beim Kochen mit trockenem feingepulvertem Torfe Bitumen aus.

Kohlen saures Natron mit Torfpulver gekocht, färbt sich gelb bis kaffeebraun oder dunkelbraun. Aus dieser gelben Lösung scheidet Salzsäure Alminsäure, beziehungsweise Huminsäure ab.

Feingepulverter Torf mit Alkalilösung gekocht, entwickelt Ammoniak, während die Flüssigkeit gelb bis dunkelbraun wird. Aus dieser Flüssigkeit scheidet Salzsäure wieder Alminsäure oder Huminsäure ab. Filtrirt man den Niederschlag ab, so kann man noch im Filtrate Quellsäure nachweisen.

Der Torf von Vinum enthält nach Poggendorff:

	in der unteren Schicht.	in der mittleren Schicht.	in der oberen Schicht.
Erdbige Theile	7,36	8,28	7,10
Brennbare Theile	76,59	70,06	72,40
Wasser	16,05	20,66	20,40
	100,00	99,00	99,90

Analyse von Torfasche.*)

Aschenbestandtheile.	Torf aus dem Havellande				Torf bei Rassel.	Torf bei Hamburg.
	schwerer, dichter, brauner, mit wenig Pflanzen.	leichter, lockerer, fast nur aus Pflanzenresten bestehend.	Stück von Moosen und Niedgräsern.	schwerer aus dem Moor von Vinum.		
Kali	0,8	0,2	0,2	0,3	0,2	3,6
Natron		0,8	0,3	0,3	0,5	5,7
Kalkerde	45,7	33,3	37,0	39,3	5,8	14,7
Magnesia		3,0	3,0	2,4	0,7	24,4
Eisenoxyd	6,9	25,3	8,6	13,2	71,3	4,9
Thonerde	0,9	1,4	2,4	1,5	1,7	2,1
Kieselsäure	2,3	1,0	0,6	1,6	0,7	
Schwefelsäure	8,7	5,7	4,5	5,8	11,0	17,9
Chlor	0,6	0,3	0,3	0,4	0,1	2,1
Kohlensäure	17,1	18,8	30,6	24,5		
Phosphorsäure	3,6	1,1	1,1	5,5	6,3	3,9
Kohle			0,6			0,5
Sand	14,4	6,8	9,0	4,1	1,8	16,1
	101,0	98,7	98,2	97,9	100,1	95,9

Bemerkenswerth ist der geringe Gehalt an Kali und Natron und die sehr bedeutende Menge von Kalk und Eisenoxyd.

Die im Torf vorkommenden Einschlüsse und Pflanzenreste sind in vieler Beziehung sehr wichtig. Finden sich in den tiefsten Schichten eines Torflagers z. B. Pflanzenreste, deren Charakter von dem der in der Nähe des Torflagers wachsenden Pflanzen verschieden ist, so muß man den Schluß ziehen, daß das Klima oder daß die Vegetationsbedingungen seit der Ablagerung jener Pflanzenreste sich geändert haben.

*) Aus Kopp's Jahresbericht f. d. J. 1852, ausgeführt von Jäckel.

Obwohl in Sümpfen und Mooren zahlreiche Insekten und Mollusken leben, so finden sich in Torflagern verhältnißmäßig nur wenige Reste derselben. Wahrscheinlich wird die Kalkhülle dieser Thiere durch die fort und fort sich bildenden Humussäuren zu schnell gelöst.

Knochen oder auch ganze Gerippe von Wirbelthieren hat man schon oft in Torfmooren eingebettet gefunden. Wahrscheinlich tummelten sich diese Thiere auf der trügerischen Moordecke und brachen an einer schwachen Stelle ein, um für immer erhalten zu werden. So findet sich bisweilen in den Torfmooren der Insel Man und Irlands das Gerippe des ausgestorbenen Riesenhirschs. In dem Torfe bei Seligenstadt wurde der Schädel des *Bos primigenius* gefunden. In den Torfschichten von Wittgendorf bei Sprottau in Schlesien fand man die Reste des *Elephas primigenius* nebst den Resten von Ochsen, Hirschen und Fischen. Selten sind die Reste von Vögeln.

Im Jahre 1830 fand man in einem Torfmoor bei Hasleben in Thüringen zwei vollständige, noch mit Fleisch und Haaren versehene Menschenleichen, welche ihrer Kleidung nach aus der Zeit des Julius Cäsar oder des Augustus stammten. Um Hand- und Fußknöchel trugen sie goldene Spangen. An der Luft gingen diese Leichen sofort in Fäulniß über, so daß nur die Gerippe und die goldenen Spangen gerettet wurden. In einem Torflager bei Haraldskiver in Jütland fand man einen weiblichen Körper in mumienartigem Zustande, der an einem Pfahle befestigt war. Die Alterthumsforscher schreiben ihn der Königin Gunnhilde von Norwegen zu, die König Harald Blaataand im Jahre 965 in ein Torfmoor senken ließ. In Ostfriesland entdeckte man im Jahre 1817 beim Torfgraben im Friedeburger Amte in der Tiefe des Torfbodens ein Gerippe mit einem Gewande, das noch vollkommen erhalten war und das mindestens 2000 Jahre hier gelegen hatte.*)

Die mineralischen Einschlüsse, die der Torf enthält, rühren theils von den mineralischen Pflanzenbestandtheilen, theils von Umsetzungen zwischen diesen und den sich bildenden Säuren, theils von Reductionen. Zu den wichtigen mineralischen Einschlüssen gehören:

Der Schwefelkies. Er entsteht aus schwefelsaurem Eisenoxydul oder

*) Senft, die Humus-, Marsch- und Torfbildung.

aus quellsatzsaurem Eisenoxydul Ammoniak, durch Reduction verfaulender und Schwefelwasserstoff und Ammoniak entwickelnder Pflanzen.

Eisenvitriol. Der Eisenvitriol durchdringt bisweilen so den Torf, daß er aus ihm gewonnen wird. Er bildet sich durch Oxydation von Schwefeleisen, wobei gleichzeitig Schwefelsäure frei wird. Diese Schwefelsäure verbindet sich wieder mit den in dem Torfe vorhandenen Basen zu schwefelsauren Salzen. Auf diese Weise entsteht in dem Torf Gyps, Glaubersalz, Alaun und Bittersalz.

Kochsalz findet sich in einigen Torflagern Hollands, die so tief liegen, daß sie das Meerwasser zeitweise überfluthet.

Bivianit oder Eisenblau, wasserhaltiges phosphorsaures Eisenoxyd-
oxydul. Es kann sich bilden durch Umsetzung aus Eisenvitriol und phosphor-
saurem Kalk, welcher letztere in Baumstämmen und Thiersubstanzen immer
vorhanden ist. Seine Bildung ist auch in folgender Weise möglich. Die
eiweißartigen Pflanzenbestandtheile enthalten stets Phosphor. Wird dieser
Phosphor zu Phosphorsäure oxydirt, so kann er mit dem im Moor vorhan-
denen kohlen-sauren Eisenoxydul sofort phosphorsaures Eisenoxydul bilden, das
durch den Sauerstoff zu phosphorsaurem Eisenoxyd-
oxydul umgewandelt wird.

Schwefel. Der bei der Zersetzung eiweißartiger Pflanzenbestandtheile
auftretende Schwefelwasserstoff oxydirt sich in Berührung mit Luft schnell
zu Wasser, während Schwefel sich abscheidet. Auch aus Gyps kann sich
Schwefel abscheiden. Der Gyps wird durch die reducirende Wirkung der
kohlenreichen, in Zersetzung begriffenen Pflanzenbestandtheile zunächst in
Schwefelcalcium verwandelt. Dieses Schwefelcalcium wird durch Schwefel-
säure und Wasser sogleich in schwefelsauren Kalk und Schwefelwasserstoff
übergeführt und aus dem Schwefelwasserstoff entsteht unter dem Einflusse
des Sauerstoffs der Luft, Wasser und Schwefel.

Kupferkies und Zinkblende entstehen aus der Reduction der schwefel-
sauren Verbindungen und werden nur selten im Torfe angetroffen.

Das Nachwachsen des Torfes in Torflagern, die theilweise abgestochen
worden sind, ist eine vielfach bestrittene, jedoch jetzt sicher beobachtete
Thatsache. Es ist auch gar kein Grund vorhanden, warum der Torf nicht
von neuem sich bilden sollte, wenn die Bedingungen seiner Bildung von
neuem gegeben sind. Wenn freilich der Torf gestochen ist und die
Höhlungen werden mit Kies und Thon ausgefüllt, dann fehlen die Be-

dingungen eines üppigen Pflanzenwuchses und der Torf wird sich nicht wieder bilden.

Ueber die Zeit, in welcher der Torf nachwächst sind verschiedene Beobachtungen gemacht worden. Es ist aber leicht einzusehen, daß der Nachwuchs an verschiedenen Orten eine verschieden lange Zeit beansprucht, weil ja die Wachstumsbedingungen an jedem Orte andere sind. In den Bremer Mooren soll nach de Luc der Torf in 30 Jahren 6 Fuß dick nachgewachsen sein; an anderen Mooren beansprucht er für dieselbe Mächtigkeit die zehn-, ja die zwanzigfache Zeit. Die meisten Moorbildungen fallen in die historische Zeit, einige indessen, in denen *Elephas primigenius*, *Bos primigenius*, *Cervus megaceros* gefunden worden sind, müssen schon in der Diluvialzeit ihren Anfang genommen haben.

Die Torfmoore bedecken in manchen Ländern große Flächenräume. In Südbayern sind nach Sendtner 20 Quadratmeilen Landes von Mooren bedeckt. Das größte Moor in Bayern ist wohl das am rechten Ufer der Isar, zwischen München, Erding und Freising gelegene Erdinger Hochmoor, das sich über 4,6 Quadratmeilen erstreckt.

In Nordwestlichen Deutschland nimmt das Bourtanger Moor 25 Quadratmeilen, das Arenberger Moor 28 Quadratmeilen ein, die sämtlichen Moore in Hannover bedecken 120 bis 130 Quadratmeilen.

In Norddeutschland ist Pommern reich an ausgedehnten Torfflächen. In Hinterpommern bedeckt allein der Lebahruch 5 Quadratmeilen Landes.

In Irland nehmen die Torfmoore nach Lyell $\frac{1}{10}$ der ganzen Oberfläche des Landes ein. Lithauen besitzt ebenfalls ausgedehnte Torfflächen, die größten befinden sich indessen im östlichen Rußland.

12. Vortrag. *)

Die Steinkohlen. (Chemisch-Technisches.)

Die Steinkohle ist von Alters her bekannt. Die Gewinnung derselben in großem Maßstabe fällt aber erst in unser Jahrhundert. In England kannte man sie schon ums Jahr 833 und gewann sie bergmännisch im Jahre 1240. Die Zwickauer Kohlen wurden schon im 10. Jahrhundert abgebaut. Allgemeinen Eingang konnten sich die Steinkohlen in jener Zeit noch nicht verschaffen, zum Theil weil Holz noch im Ueberflusse vorhanden war, zum Theil weil der Rauch, den sie bei mangelhafter Ofenconstruction verbreiten, die Luft allzusehr verdirbt. Das starke Rauchen der Steinkohlen in dem Momente, wo sie auf glühende Koks geschüttet werden, ist eine auch heute noch nicht ganz beseitigte Calamität. Man muß sich daher nicht wundern, daß zu verschiedenen Zeiten Verbote gegen die Feuerung mit Steinkohlen erlassen wurden. In England wurden sie unter Eduard dem Zweiten (1306—1327) verboten, weil der Rauch als die Ursache ansteckender Krankheiten und anderer Uebel für Menschen, Thiere und Pflanzen angesehen wurde. Um dieselbe Zeit ungefähr wurden auch die Zwickauer Metallarbeiter verwarnt zu schmieden mit Steinkohlen, als einem Brennmaterial, das die Luft verpeste.**) Alle diese Verbote blieben erfolglos, obgleich Zuwiderhandlungen schwer geahndet wurden. Nachdem einmal die Steinkohle sich Eingang verschafft hatte, erließ man Gesetze gegen das Rauchen der

*) Dieser Vortrag, wiewohl nur zum Theil in den Rahmen des Ganzen passend, wurde der technischen Wichtigkeit der Steinkohlen wegen eingeschaltet.

**) Fleck, Technik der Steinkohlen.

Schornsteine in Fabriken. Leider blieben diese Geseze ohne den gewünschten Erfolg, obgleich es möglich ist, durch zweckmäßige Feuerungsanlagen in den Fabriken den Rauch, der aus kleinen, von den aufsteigenden Gasen mitgerissenen Kohlentheilchen besteht, zum größten Theile zu verbrennen.

Aus was besteht denn aber die Steinkohle? Sie besteht aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Asche. Diese Bestandtheile fehlen in keiner Steinkohle. Das quantitative Verhältniß derselben ist aber in allen Kohlen verschieden. Und das rührt daher, daß die Steinkohle, sowohl die gewonnene, als auch die noch nicht gewonnene, also noch unter der Erde befindliche, von Tag zu Tag in ihrer Zusammensetzung sich verändert. Die Steinkohle hat nämlich die Eigenschaft, Gase zu verdichten. Liegt sie nun in einem feuchten Raum, so wird sie Wasserdampf in ansehnlicher Menge absorbiren und mit diesem wahrscheinlich in Sumpfgas und Kohlensäuregas sich umsetzen. *) Es spricht hierfür die Thatsache, daß Sumpfgas und Kohlensäure in allen Steinkohlengruben auftreten, Sumpfgas freilich in größerer Menge als Kohlensäure. Nach der in der Anmerkung stehenden Formel müßten sich bei dieser Umsehung ebensoviel Raumtheile Kohlensäure als Sumpfgas in der Grube finden. Der geringere Kohlensäuregehalt der Grubengase läßt sich aus den Eigenschaften dieses Gases erklären. Kohlensäure ist schwerer, Sumpfgas leichter als Luft. Die Kohlensäure kann mithin durch Spalten in die Tiefe sinken, vom Wasser absorbirt und weiter geführt werden, Sumpfgas nicht, eben weil es leichter ist und sich auch in Wasser nicht so leicht löst als Kohlensäure. Kohlensäure wird von Steinkohlen in weit größerer Menge absorbirt als Sumpfgas und folglich muß aus beiden Ursachen der Kohlensäuregehalt der Grubengase geringer sein als der Gehalt an Sumpfgas. Wenn auch der Vorgang bei der Zersetzung nicht genau so ist wie ihn die Formel angibt, — nicht genau so ist, weil die Grubengase außer Kohlensäure und Sumpfgas auch noch Stickstoff und Eclatlgas enthalten — so ist doch die Anwesenheit von Sumpfgas und Kohlensäure in den Steinkohlengruben ein Beweis für eine fortdauernde Umsehung der Steinkohlen, durch welche ein Theil der nützlichsten Bestandtheile

*) $2C + 2H_2O = CO_2 + CH_4$.

derselben, namentlich Kohlenstoff und Wasserstoff aus ihr verschwindet. Und es ist klar daß, wenn durch diese Umsezung die Steinkohle allmählig ärmer an Kohlenstoff und Wasserstoff wird, sie als Brennmaterial an Güte verliert, wenn nicht gleichzeitig ein verhältnißmäßiger Theil der Mineralbestandtheile (Asche) fortgeführt wird. Ob das geschieht, das läßt sich mit Sicherheit nicht ermitteln, weil das Wasser, das allein diese Mineralbestandtheile fortführen kann, diejenigen Mineralbestandtheile, die es bei seinem Abflusse enthält, auch aus dem Nebengestein aufgelöst haben kann.

Steinkohlen, welche viele Jahre auf Lager gelegt werden, verlieren, wie die Versuche von Prof. Fleck lehren, an Werth. Nachdem nämlich Fleck mehrere Kohlenarten bei 100° getrocknet, analysirt, dann 9 Jahre lang in einem Schranke aufbewahrt und nach dem Trocknen bei 100° wieder analysirt hatte, zeigte sich bei allen Sorten eine Kohlenstoff- und Wasserstoffabnahme, dagegen eine Sauerstoffzunahme. Die Heizkraft der Steinkohle vermindert sich aber mit der Abnahme von Kohlenstoff und Wasserstoff und mit der Zunahme von Sauerstoff und von Mineralbestandtheilen. Das letztere ist selbstverständlich, denn Mineralbestandtheile sind eben unverbrennlich. Das erstere ist ebenso einleuchtend, denn Kohlenstoff und Wasserstoff erzeugen beim Verbrennen eine sehr hohe Temperatur. Wie ist es aber mit dem Sauerstoff? — Der Sauerstoff ist in der Kohle entweder mit Wasserstoff verbunden und dann entweicht er beim Verbrennen der Kohlen als Wasser, vermindert folglich die Temperatur und entzieht der Steinkohle brennbaren Wasserstoff, oder er ist nicht damit verbunden. Im letzteren Falle tritt er beim Verbrennen entweder gasförmig aus, oder er tritt mit einigen Elementen der Steinkohle chemisch verbunden aus. Tritt er gasförmig aus, so war er vorher irgendwie chemisch gebunden. Diese Bindung wurde durch die Wärme gelockert und aufgehoben. Es erforderte folglich die jetzt auftretende Gasform des Sauerstoffs eine gewisse Wärmemenge, die der brennenden Kohle entzogen wurde. Indem aber der Sauerstoff sogleich wieder mit Wasserstoff oder Kohlenwasserstoff verbrennt, liefert er wieder genau so viel Wärme, als er vorher zum Freiwerden erforderte. In diesem Falle ist er mithin weder nützlich noch schädlich. Tritt er dagegen mit einigen Elementen der Steinkohle chemisch verbunden aus, so vermindert er die

Heizkraft des Brennmaterials, weil das Austreten der Verbindung Wärme erfordert. In keinem Falle erhöht folglich der Sauerstoffgehalt der Steinkohle die Heizkraft derselben. Nimmt daher eine Kohle beim Liegen an der Luft an Sauerstoff zu, so nimmt ihr Heizwerth ab.

Am angemessensten erscheint die Annahme, daß der Sauerstoff mit dem Wasserstoff in der gut getrockneten, von hygroskopischem Wasser vollkommen befreiten Kohle chemisch verbunden ist. — So oft sich aber Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser verbindet, verbindet sich stets ein Gewichtstheil Wasserstoff mit 8 Gewichtstheilen Sauerstoff. Setzen wir voraus, daß beide Elemente auch in der Kohle in diesem Verhältniß mit einander verbunden sind, so haben wir zweierlei Wasserstoff in der Kohle zu unterscheiden, Wasserstoff, welcher mit Sauerstoff in der Kohle zu Wasser verbunden ist, der mithin bei der Verbrennung unwirksam ist und wirksamen Wasserstoff. Den wirksamen Wasserstoff nennt man disponiblen, den unwirksamen nicht disponiblen Wasserstoff, und es ist bemerkenswerth, daß jede Kohle sowohl disponiblen, als nicht disponiblen Wasserstoff enthält.

Man könnte die Frage aufwerfen: wie kommt es, daß man die Kohle häufig anfeuchtet, ehe man sie auf den Roß bringt, obwohl nach dem Vorhergehenden doch der Wassergehalt der Steinkohlen ihre Heizkraft vermindert; daß sogar Schmiede die brennenden Kohlen anfeuchten um eine höhere Temperatur zu erzielen? Man könnte vielleicht glauben, das Wasser würde in Wasserstoff und Sauerstoff zerlegt und diese beiden Gase lieferten bei ihrer Verbrennung zu Wasserdampf eine überaus hohe Temperatur. Allein, ganz abgesehen davon, daß die Temperatur der brennenden Kohlen nur selten so hoch ist, um Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff zu zerlegen und daß wohl auch, selbst wenn die Temperatur so hoch ist, der größte Theil des Wassers zuvor verdampft, ganz abgesehen davon, kann wie schon gezeigt, durch die Zerlegung des Wassers in Wasserstoff und Sauerstoff und durch deren Wiederverbrennung, eine höhere Temperatur deswegen nicht entstehen, weil die Zerlegung des Wasserdampfes ebensoviel Wärme erfordert, als durch die darauffolgende Verbrennung gewonnen wird. Es muß folglich ein anderer Grund existiren, der das Anfeuchten der Kohlen vortheilhaft erscheinen läßt.

Sehr trockene, staubreiche Kohlen ins Feuer gebracht, liefern viel

Rauch. Die kleinen Kohlentheilchen werden schnell zu kleinen glänzenden Koksstückchen, welche zum Theil in den Aschenraum fallen und so der Verbrennung entgehen, zum Theil die Kosspalten verstopfen, den Luftzug hindern und dadurch Unregelmäßigkeiten in die Verbrennung bringen. Feuchtet man solche Kohlen an, so geht die Verkokung langsamer vor sich, die kleinen Kohlentheilchen backen zu großen, lockeren Kuchen zusammen, die dann der Verbrennung nicht entgehen und das Rauchen wird vermindert. Das Anfeuchten verursacht auch hier einen Verlust, allein es verhütet größere Verluste. Wie ist es aber bei Schmieden? — Diese befeuchten nicht selten die brennenden Kohlen mit Erfolg. Sie befeuchten sie immer mit Vortheil, wenn die Kohlen so zusammenbacken, daß die Verbrennungsprodukte am Aufsteigen gehindert werden. Das hinzugefügte Wasser, momentan in Dampf verwandelt, zersprengt die Kohlen, die dann dem Sauerstoff mehr Berührungspunkte bieten.

Es ist Jedem schon aufgefallen, daß die Steinkohlen weit mehr Asche geben als das Holz. In 100 Kilogr. Tannenholz sind z. B. 0,328 Kilogr. Asche, in 100 Kilogr. guter Steinkohle dagegen in der Regel 2 Kilogr. Asche. Ganz natürlich, werden Sie denken. Wenn Pflanzentheile sich in Steinkohlen langsam umwandeln, so entweicht ein Theil des Kohlenstoffs, Wasserstoffs, Sauerstoffs und Stickstoffs aus den Pflanzentheilen, während die Mineralbestandtheile zurückbleiben. Das Endprodukt der Umwandlung, die Steinkohle, muß daher relativ reicher an Asche sein, und man kann sogar aus dem Aschengehalt der Kohlen berechnen, wie viel bei der Umwandlung der Pflanzentheile an Kohlenstoff, Wasserstoff u. verloren gegangen ist, vorausgesetzt, daß die Pflanzenbestandtheile dieselbe chemische Zusammensetzung hatten wie unsere heutigen Pflanzen. Wichtig. Ja man kann sogar aus dem Aschengehalt einen Schluß auf das Alter der Steinkohlen machen, wenn man durch Beobachtung gefunden hat, wie viel gasförmige Bestandtheile aus vermodernden Pflanzentheilen jedes Jahr entweichen. Immer unter der Voraussetzung, daß die Mineralbestandtheile der Pflanzen (Asche) durch Wasser nicht fortgeführt worden sind. Aber sind sie denn fortgeführt worden? Allerdings, wie aus der Vergleichung der nachstehenden Analysen zu ersehen ist.

Die Asche von Tannenholz enthält nach Karsten:

Kohlensaures Kali	11,30	Procent
Kohlensaures Natron . . .	7,42	„
Kohlensauren Kalk	50,94	„
Kohlensaure Magnesia . .	5,60	„
Phosphorsaure Kalkerde .	3,43	„
Phosphorsaure Magnesia .	2,90	„
Phosphorsaures Eisenoryd	1,04	„
Phosphorsaure Thonerde .	1,75	„
Kieselsäure	13,37	„

Die Aschen von folgenden Steinkohlensorten enthalten:

	I.	II.	III.	IV.	V.
Kieselsäure	59,56	64,21	56,51	58,99	62,44
Thonerde	12,19	28,78	31,89	26,19	31,22
Eisenoryd	15,96	2,27	0	5,14	2,26
Kalkerde	9,99	1,34	1,69	0,67	0,75
Magnesia	1,13	1,12	0,85	1,54	0,85
Kali	1,17	2,28	1,38	2,34	2,48
Natron	0	0	0,61	0	0
Eisenorydul	0	0	7,04	5,11	0

I. Asche von guten Kohlen mit 1,36 Proc. Aschengehalt nach Abzug von 8,2 Proc. Schwefelsäure in der Asche.

II. Asche von Kohlen geringer Qualität, die Kohle enthält 16,9 Proc. Asche. Die Schwefelsäure wurde auch hier abgezogen.

III. Asche von bituminösem Kohlenschiefer mit 61,65 Proc. Asche.

IV. Asche von blauem Kohlenschiefer nach Abzug von 11 Proc. Wasser.

V. Feuerfester Thon als Liegendes nach Abzug von 10,5 Proc. Wasser und 6,44 Proc. löslichen Natronsalzen.

Der Vergleich lehrt, daß die Asche der Pflanzen in kohlenensäurehaltigem Wasser löslich, die der Steinkohlen unlöslich ist. Die Mineralbestandtheile der Pflanzen, aus denen die Steinkohle entstanden ist, wurden daher durch Wasser fortgeführt, und an ihre Stelle traten unlösliche Silikatverbindungen. Und woher kamen diese? Auch das lehrt der Vergleich. Der Thon, welcher die Steinkohlen einschließt, hat nahezu dieselbe Zu-

sammensetzung, wie die Asche der Steinkohlen. Was liegt näher als die Annahme, daß die Asche der Steinkohle aus diesem Thon stammt, daß sie durch Wasser auf mechanischem Wege in die Steinkohle eingeschwenmt worden ist. Daß sich in der Asche der Steinkohlen Eisenoryd, statt Eisenorydul findet, darf nicht auffallen, weil das Eisenoryd von der Verbrennung des Eisentiefes herrührt, der nur selten in Kohlen fehlt. Die Asche der Steinkohlen ist daher etwas zufälliges und das ist der Grund, warum der Aschengehalt in den verschiedenen Steinkohlensorten so sehr veränderlich ist, warum es Steinkohlen mit so viel Aschengehalt gibt, daß sie als Brennmaterial nicht mehr betrachtet werden können. Die Frage liegt nahe, kann nicht der Wasser- und Aschengehalt der Steinkohlen allein schon zur Beurtheilung des Brennwerthes benützt werden? Allerdings; denn Steinkohlen sind unter sonst gleichen Umständen um so weniger werth, je mehr Asche und Wasser sie enthalten. Hat man daher durch einen Versuch festgestellt, auf wie viel Grad z. B. 100 Kilogr. Wasser durch ein Kilogr. aschen- und wasserfreier Kohle erhitzt werden können, so läßt sich leicht eine Formel aufstellen, welche, bei gegebener Aschen- und Wassermenge von einem Kilogr. irgend welcher Kohle, angibt, auf wie viel Grad 100 Kilogr. Wasser durch dieses Kilogr. Steinkohle erhitzt werden können. Anstatt zu ermitteln, auf wie viel Grad 100 Kilogr. Wasser erhitzt werden, kann man auch finden, wie viel Kilogr. Wasser von 0 Grad in Dampf von irgend welcher Temperatur (150° Cels. z. B.) durch ein Kilogr. aschen- und wasserfreier Steinkohle verwandelt werden und kann sodann eine Formel aufstellen, welche angibt, wie viel Kilogr. Wasser von 0 Grad in Dampf von 150° verwandelt werden durch ein Kilogr. irgend einer Steinkohle, deren Wasser- und Aschengehalt ermittelt ist. Eine solche Formel ist z. B. die folgende:

$$V = 208, - 0,082. a - 0,092. b^*)$$

In dieser Formel bedeutet a den Aschengehalt in 100 Thlen und b den Wassergehalt in 100 Thlen Steinkohle. Die Zahl 8,2 gibt an, daß 1 Kilogr. aschen- und wasserfreier Kohle (aus Zwickau) 8,2 Kilogr. Wasser von 0° in Dampf von 150° Cels. zu verwandeln vermag. V gibt an, wie viel Kilogr. Wasser von 0° in Dampf von 150° Cels. verwand-

*) Fleck, Technik der Steinkohlen.

deft werden durch ein Kilogr. Steinkohle, deren Afchengehalt a Procent und deren Wassergehalt b Procent beträgt. Ein Beispiel mag die Formel erläutern. Eine Kohle enthält in 100 Theilen 5 Thle. hygroskopisches Wasser und 26 Thle Afche. Hier ist $a = 26$ und $b = 5$. Daher ist

$$V = 8,20 - 0,082. 26 - 0,092. 5 = 5,61.$$

Ein Kilogr. dieser Kohle vermag daher 5,61 Kilogr. Wasser von 0° in Dampf von 150° Cels. zu verwandeln. Das hygroskopische Wasser bestimmt man dadurch, daß man ein bestimmtes Quantum einer gegebenen Kohle wägt, dann bei 100° Cels. trocknet und wieder wägt. Die Differenz der Wägungen gibt den Wassergehalt in der angewandten Substanz. Die Aschenmenge bestimmt man dadurch, daß man z. B. 100 Kilogr. Kohle in einem gut gereinigten Ofen verbrennt und dann die zurückbleibende Asche wägt.

Die folgende Tabelle*) gibt über den Brennwerth der Steinkohlen aus den verschiedensten Revieren zuverlässigen Aufschluß. Man braucht nur die Zahlen der Rubrik „Nutzbare Verdampfungskraft für 1 Kilogr. Steinkohle“ zu vergleichen. Die größte Zahl dieser Rubrik entspricht der besten Steinkohle.

Bezeichnung der Steinkohlenarten und ihres Ursprungs.	Aschen- gehalt in Procent.	Wasser- gehalt in Procent.	Nutzbare Verdam- pfungskraft für 1 Kilog. Steinkohle.
Steinkohle aus dem Zwickauer Revier.			
Ludwigslöh des Segen-Gotteschachtes	5,83	10,64	6,98
Mittl. Abthlg. B. des tiefen Planitzer Fl. von v. Arnims Werken	5,91	14,14	6,79
Drei und einhalbelliges Pechkohlsloh von Frisch Glück	3,37	13,69	6,78
Tiefes Pechkohlsloh des Vereinsglückschachtes	7,97	9,61	6,69
Pechkohle von Vereinsglück	5,20		6,64
Segen-Gottesloh des Segen-Gotteschachtes .	7,32	9,77	6,55
Zweites Floh des Bürgergewerkschachtes . . .	5,86	11,41	6,48
Zwickauer Pechkohle 1. Qualität	6,06		6,45
Zwickauer Pechkohle 2. Qualität	15,41		5,61
Zwickauer Kohlenklein			4,63

*) Die Technik der Steinkohlen von Fleck und Hartig.

Bezeichnung der Steinkohlenarten und ihres Ursprungs.	Aschen- gehalt in Procent.	Wasser- gehalt in Procent.	Nutzbare Verdam- pfungskraft für 1 Kilog. Steinkohle.
Steinkohlen aus dem Luga-Nieder- würschner Revier.			
Pechkohle vom Carlsschacht	6,07	14,59	6,35
Wasserkohle vom Bachschacht	6,75	24,76	5,34
Ungefeibter Kohlengrus vom Vereinigungsschacht	19,86	19,96	4,56
Kohlen aus dem Plauen'schen Grunde.			
Weiche Schieferkohle aus 4 verschied. Schächten	18,64	6,11	6,22
Rußkohle aus Potshappel	19,92	6,06	5,77
Kalkschieferkohle aus Hänichen	44,98	5,66	3,86
Steinkohlen aus dem Oberschlesischen Revier.			
Königin Louiengrube, Pochhammerflöz	4	3	7,06
Königsgrube, Flöz Heintzmann	3	3	7,10
Eugeniens Glückgrube, Carolinenflöz	2,5	3	6,34
Leopoldsgrube, Leopoldsflöz	5,5	3	6,24
Charlottegrube bei Czernitz	11,3	6	5,68
Steinkohle des Waldenburger Reviers.			
Segen Gottesgrube, S. Flöz	3	3	7,07
Conf. Glückgrube bei Hermsdorf 2. Flöz	8	2,5	6,92
Davidgrube, Hauptflöz	5	3	6,73
Steinkohle des Wettiner Reviers.			
Wettiner Grube, Oberflöz, Neuer Zug . . .	11,5	3	7
Schwarzkohle vom Deister.			
Vom Kloster Barfinghausen	15,3	4,6	6,66
Von Bröner Zechen	13,5	9,1	5,69
Steinkohle aus dem Inde-Revier bei Eschweiler.			
Jamesgrube, Flöz Großkohl	1,5	3	8,17
Centrumgrube, Flöz Fornegel	6	3	7,48
Steinkohlen aus dem Worm-Revier bei Aachen.			
Neulauerweg-Grube, Flöz Großstathwerk . . .	5	3	6,54

Bezeichnung der Steinkohlensorten und ihres Ursprungs.	Aschen- gehalt in Procent.	Wasser- gehalt in Procent.	Nutzbare Verdam- pfungskraft für 1 Kilog. Steinkohle.
Ruhrkohlen. (Revier Essen und Bochum.)			
Zeche Sälzer und Neuack, Flöz Röttgersbank	3,5	3	7,47
Zeche Louise Tiefbau, Flöz No. 8	4	3	7,37
Zeche Westphalia, melirt	9,9	5,2	7,14
Steinkohlen aus dem Saarbrücker Revier.			
Heinixgrube, Blücherflöz	3	3	7,26
Saarbrücker Schmiedekohle	21,5		6,06
Steinkohlen aus dem Pilsener Becken in Böhmen.			
Stückkohle von Märshan	19,4		6,42
Raschau	6,8		4,99

Vermöge dieser Tabelle kann man denn auch angeben, wie viel mal mehr eine gegebene Steinkohlensorte als Brennmaterial werth ist als eine andere. So ist z. B. die Kohle vom Flöz Großkohl 1,25 mal so viel werth als die Kohle vom Flöz Großstathwerk. Kostet der Centner von der ersten Kohle 100 Pfennige, so ist der Centner von der zweiten Kohle nur 80 Pfennige werth.

Man könnte fragen, warum bestimmt man nicht den Heizwerth einer Steinkohle aus dem Gehalt an Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff? Ohne Zweifel kann man ihn daraus berechnen, allein die Bestimmung von Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff setzt die Kenntniß der Elementaranalyse und viele Apparate voraus, ist folglich viel umständlicher als die Bestimmung des Wasser- und Aschengehaltes allein. Doch ist das nicht der Hauptgrund. Zur Analyse kann man nur ganz geringe Mengen von Steinkohlen verwenden und diese, aus einem Steinkohlenhaufen entnommen, werden in den seltensten Fällen der mittleren Zusammensetzung der Steinkohlen entsprechen.

Die chemische Analyse ist mithin in Bezug auf die Heizkraft der Steinkohlen von untergeordneter Bedeutung. Die Steinkohle wird aber nicht bloß als Brennmaterial verwendet, sie dient auch zur Vereitung

des Leuchtgases, der Koks und der Briquets. Daher fragt es sich, bietet die quantitative Analyse vielleicht Gesichtspunkte, aus welchen man beurtheilen kann ob sich eine Steinkohle zur Bereitung von Koks oder von Leuchtgas besonders eignet? Solche Gesichtspunkte bietet sie allerdings, doch müssen die unmittelbaren Ergebnisse der Analyse erst umgerechnet werden. Der Aschengehalt der Steinkohle ist nämlich wie wir schon wissen ein oft wechselnder, vom Zufalle abhängiger Faktor. Soll daher die Beurtheilung einer Steinkohle aus der Analyse eine sichere Grundlage haben, so muß sie von dem zufälligen Faktor befreit werden. Dies kann aber, wie folgendes Beispiel zeigen wird, sehr leicht geschehen. Eine gut getrocknete Steinkohle enthalte in 100 Thln:

Kohlenstoff	76,963
Wasserstoff	5,060
Sauerstoff und Stickstoff	12,742
Asche	5,235
	100,000

Ziehen wir die 5,235 Thle Asche von 100 ab, so bleiben 94,765 Thle aschenfreie Steinkohle. Es entsteht daher die einfache Regeldetri-
aufgabe:

In 94,765 Thln aschenfreier Steinkohle sind 76,963 Thle Kohlenstoff, in 100 Thln aschenfreier Steinkohle sind . . . ?

Man findet, daß 100 Thle aschenfreie Steinkohle 81,215 Thle Kohlenstoff, 5,339 Thle Wasserstoff und 13,446 Thle Sauerstoff und Stickstoff enthalten. Nicht minder leicht ist die Berechnung des disponiblen und nicht disponiblen Wasserstoffs. *)

8 Thle Sauerstoff verbinden sich stets mit 1 Thl Wasserstoff zu Wasser

1	"	"	"	$\frac{1}{8}$	"	"
13,446	"	"	"	$\frac{13,446}{8} = 1,681$	"	"

Die vorliegende Steinkohle enthält daher 1,681 Thle nicht disponiblen und folglich $5,339 - 1,681 = 3,658$ Thle disponiblen Wasserstoff.

*) Siehe Seite 277.

Damit die Kohlen in Bezug auf ihren Gehalt an disponiblen Wasserstoff verglichen werden können, berechnet man in der Regel, wie viel disponibler und nicht disponibler Wasserstoff auf 1000 Thle Kohlenstoff kommt, und auch diese Rechnung ist eine einfache Regelbetrrechnung, die formulirt also heißt:

Auf 81,215 Thle Kohlenstoff kommen 3,658 disponibler Wasserstoff
 " 1000 " " ?

Die Ausrechnung ergibt 45,05 Thle disponiblen und 20,70 Thle nicht disponiblen Wasserstoff.

Alle Kohlen, welche gute, feste Koks liefern, haben die Eigenschaft beim Erhitzen zu backen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß alle Steinkohlen, welche auf 1000 Thle Kohlenstoff weniger als 40 Thle disponiblen Wasserstoff haben, als Backkohlen nicht mehr gelten und daher gute, feste Koks nicht liefern können. Der hohe Werth analytischer Untersuchungen springt damit in die Augen. Die folgende Tabelle ist aus Flecks und Hartigs Technik der Steinkohlen entnommen.

Brennmaterial.	In 100 Gewichtstheilen getrockneter Substanz sind				Nach Abzug der Asche sind in 100 Theilen			Auf 1000 Gewichtstheile Kohlenstoff kommen	
	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff und Stickst.	Asche.	Kohlenstoff.	Wasserstoff.	Sauerstoff und Stickstoff.	disponibler Wasserstoff.	nicht disponibler Wasserstoff.
Kiefernholz, alte Stämme	49,9	6,1	43,4	0,63	50,2	6,1	43,7	13,35	108,8
Birkenholz	48,9	6,2	43,9	0,99	49,4	6,25	44,4	15,13	108,8
Eichenholz	48,9	5,94	43,1	2,03	49,95	6,06	44	11,4	110
Weißbuchenholz . .	48,1	6,12	44,9	0,87	48,5	6,17	45	10,4	117,6
Torf von Linum-Flatoro	53,7	4,84	31,7	9,74	59,5	5,36	35,2	12,2	74,1
Torf von Vulcaire	60,4	5,96	33,6	5,58	63,96	6,31	6,31	29,6	69,4
Braunkohle v. Köln	67	5,3	27,8	5,5	61,7	6,16	29,4	40,5	59,5
Braunk. v. Schönsfeld	61,2	5,2	21,3	12,3	69,8	5,9	24,3	41,1	43,5
Drei u. ein halbellig. Pechkohlenflöz									
Frischglück in Oberhöndorf . .	84	4,1	9,6	2,3	85,9	4,2	9,9	34,2	14,3
Scherbentkohlenflöz von Beshertglück	82,9	5,3	8,9	2,9	85,4	5,4	9,2	50,2	13,4
Lehrkohlenflöz der Fünfnachbargrube									
Oberhöndorf . .	77	5,1	12,7	5,2	81,2	5,3	13,4	45	20,7

Brennmaterial.	In 100 Gewichtstheilen getrock- neter Substanz sind				Nach Abzug der Asche sind in 100 Theilen			Auf 1000 Gewichtstheile Kohlenstoff kommen	
	Kohlen- stoff.	Wasser- stoff.	Sauer- stoff und Stickst.	Asche.	Kohlen- stoff.	Wasser- stoff.	Sauer- stoff und Stick- stoff.	dispo- nibler Wasser- stoff.	nicht dis- ponibler Wasser- stoff.
Rußkohlenflöz vom Kuroraschachte in Zwickau	75,6	2,9	14,4	7,1	81,3	3,2	15,5	153	23,8
Erst. Flöz d. Bürger- schachtes in Zwickau	73,5	3,9	12,2	10,4	82	4,3	13,6	31,8	20,8
Zweites Flöz des Bürgereschachtes .	78	4,1	12,8	5,1	82,2	4,3	13,5	32,3	20,6
Abthlg. B v. tiefen Flöze des Arnim- werkes in Planitz	77,6	4,3	16,2	1,9	79,1	4,3	16,5	28,9	26,1
Beustflöz (Saar- brücken)	72,4	4,5	15	8,1	78,8	4,8	16,4	35,6	26
Blücherflöz (Saar- brücken)	80,5	5,1	11,9	2,5	82,6	5,2	12,2	44,4	18,5
Berghaupten (Ba- den) gering. Qualit.	10	1,2	4,1	84,7	68,2	7,9	23,9	68	44
Berghaupten beste Qualität	81	3,6	7,4	8	88	4	8	34	11,4
Anthracit von Süd- mählen	92,6	3,3	2,5	1,6	94	3,4	2,6	32,5	3,4

Ebenso hat die Erfahrung gelehrt, daß die Kohlen eine um so größere Gasausbeute liefern, je mehr nicht disponiblen Wasserstoff sie enthalten und daß alle Kohlen als Gaskohlen betrachtet werden können, welche wenigstens 20 Kilogr. nicht disponiblen Wasserstoff auf 100 Kilogr. Kohlenstoff enthalten. Da die Güte der Koks mit der Menge des disponiblen Wasserstoffs, die Gasausbeute mit der Menge des nicht disponiblen Wasserstoffs wächst, so kann man den Satz aufstellen: Je bessere Koks die Steinkohle liefert, desto weniger Gas, je mehr Gas, desto geringere Koks liefert sie. Die Leuchtstärke eines Gases hängt ab von der Quantität der Kohlenwasserstoffe, die Menge der Kohlenwasserstoffe von der Menge des disponiblen Wasserstoffs, daher hängt die Güte des Gases von der Menge des disponiblen Wasserstoffs ab. Wenn daher eine Kohle, die gute Koks liefert, wenig Gas gibt, so gibt sie dagegen ein sehr gutes Gas und eine Kohle, die schlechte Koks und viel Gas liefert, gibt leider

ein geringeres Gas. Alle diese Sätze erleiden indessen eine gewisse Beschränkung wegen des Aschengehaltes der Kohlen.

Nehmen wir beispielsweise die Kohle von Berghaupten in Baden. Bei dieser kommen auf 1000 Kilogr. Kohlenstoff, 68 Kilogr. disponibler und 44 Kilogr. nicht disponibler Wasserstoff. Man könnte daher glauben diese Kohle sei nicht nur eine gute Gaskohle, sie sei auch eine gute Back- oder Koks-kohle. Weder das eine noch das andere ist sie. Und warum? Weil sie 84,7 Procent Asche enthält. Ein solch hoher Aschengehalt ist allerdings ganz abnorm. Allein von ihm aus gibt es Abstufungen bis herab zu 2 und 1% Asche. Die vorhergesundenen Sätze müßten mithin, sollten sie ganz zuverlässig sein, so formulirt sein: Eine Steinkohle, deren Aschengehalt zwischen den Grenzen x und y liegt, kann als Gaskohle betrachtet werden, wenn sie auf 1000 Kilogr. Kohlenstoff mindestens 20 Kilogr. nicht disponiblen Wasserstoff, sie kann als Backkohle betrachtet werden, wenn sie mindestens 40 Proc. disponiblen Wasserstoff enthält u. s. w. Diese Grenze x und y , zwischen welchen der Aschengehalt liegen darf, ist leider noch nicht bestimmt.

Eine sehr wichtige Frage ist ohne Zweifel die: wie verhält sich der Heizwerth der Kohlen zu dem der Koks. Zahlreiche Versuche haben zu dem Resultat geführt, daß im Mittel 100 Kilogr. Steinkohle als Heizmaterial so viel werth sind als 100 Kilogr. Koks.

Was die Gewinnung der Steinkohle anlangt, so ist sie häufig sehr mühsam und gefährvoll. Der Bergarbeiter macht in das Kohlenflöz einen horizontalen, möglichst tiefen Einschnitt, einen sogenannten Schram und schlägt dann den über und unter dem Schram gelegenen Flöztheil. Dabei ereignet es sich bisweilen, daß der über dem Schram befindliche Theil sich an einer unsichtbaren Kluft (Spalte) oder an einer glatten Fläche von selbst loslöst und die unvorbereiteten Arbeiter im Fallen begräbt. Tritt dieser Unglücksfall nicht ein, so wird der zum größten Theile losgelöste Flöztheil mit Keilen, Schrämspießen und Fäusteln hereingetrieben. In dem Maße, als der Abbau eines Ortes voranschreitet, verliert das Dachgebirg an Spannung. Jetzt gilt es Stempel einzusetzen, um das Hereinbrechen zu verhindern und es ist eine übel angebrachte Ersparniß, Stempel in zu geringer Anzahl anzuwenden. Trotz aller Sorgfalt bricht indessen das Dach bisweilen unter kanonenschußähnlichen Schlägen herein und drückt

dabei 15 bis 20 Zoll starke Stempel in sich zusammen. Noch gefährlicher für den Arbeiter ist das Rauben der Stempel in einem Abbauorte, dessen Dach zum Hereinbrechen gebracht werden soll. Nur die besonnensten und kühnsten Arbeiter sind jetzt verwendbar. Mit Seilen, Ketten und Haken fassen sie einen Stempel nach dem andern und stürzen ihn um, bis endlich das Dach, der Stützen beraubt, mit Getöse hereinbricht.

Die schlimmsten Feinde der Grubenarbeiter sind die bösen Wetter, nicht nur wegen der verheerenden Wirkungen die sie ausüben, sondern auch deswegen, weil der Arbeiter sich ihnen nicht leicht entziehen kann, und weil die Unvorsichtigkeit eines einzigen Menschen den Untergang von Hunderten im Gefolge hat. Der Bergmann unterscheidet zwischen matten Wetter, (sauerstoffarme, aber kohlen säurereiche Luft) Schwaden, (Luft mit so wenig Sauerstoff, daß Lichter erlöschen) brandigen Wetter (Luft mit viel Kohlenoxydgas) und schlagenden Wetter. Die letzteren sind die gefürchtetsten.* Man versteht unter schlagenden Wetter ein Gemisch von gewöhnlicher Luft mit leichtem Kohlenwasserstoffgas (Sumpfgas oder Grubengas), das sich durch die Hitze eines Grubenlichtes mit Explosion entzündet. Das leichte Kohlenwasserstoffgas ist geruch- und geschmacklos und gibt sich auch dem Gefühl nicht zu erkennen. In geringer Menge der Luft beigemischt ist es durchaus unschädlich und ungefährlich. Wenn ein Raumtheil Sumpfgas mit 30 Raumtheilen Luft gemengt ist, so findet durch ein brennendes Licht eine Explosion noch nicht statt. Der Saum des Lichtes zeigt sich indessen ganz schwach bläulich gefärbt. Wächst die Menge des Sumpfgases, so brennt ein Licht mehr und mehr unregelmäßig und zeigt dem Arbeiter die Nähe der Gefahr an. Sobald ein Raumtheil Sumpfgas mit 15 Raumtheilen Luft gemengt ist, entzündet sich das Gas durch ein brennendes Licht unter Explosion, die am stärksten ist, wenn auf einen Raumtheil Sumpfgas 8 bis 9 Raumtheile Luft kommen. Bei noch größerer Menge von Sumpfgas nimmt die Intensität der Explosion wieder ab. Ist das Verhältniß von Sumpfgas zu Luft gleich 1 zu 5 oder 1 zu 4, so findet eine Explosion nicht mehr statt. Das Licht erlischt in einem solchen Gemenge. Leider ist bis jetzt noch kein Mittel entdeckt worden, das die schlagenden Wetter gänzlich unschädlich zu machen geeignet wäre. Ein kräftiger Wetterwechsel entfernt die explosiven Gasgemenge sehr rasch aus der Grube. Er ist aber nicht immer herzustellen. Die Davy'sche

Sicherheitslampe ist ein unschätzbares Mittel gegen die Entzündung des explosiven Gemengs. Sie ist ein einfaches Grubenlicht, das von einem engmaschigen Drahtnetz umschlossen wird. Die Flamme des in dem Drahtnetz brennenden Lichtes vermag nicht, wegen fortwährender starker Abkühlung durch Luftströmung, über das Drahtnetz hinauszuschlagen, vermag folglich nicht die schlagenden Wetter zu entzünden. Wird aber das Netz beschädigt oder geöffnet, so steht das Leben von Hunderten auf dem Spiel. *) Der Leichtsinn mancher Arbeiter ist ganz unerhört. Da sie das explosive Gasgemenge auf keine Weise bemerken, so schließen sie, es ist auch nicht vorhanden. Sie öffnen ein wenig das Drahtnetz und richtig, ihre Logik bewährt sich unter zehn Fällen gewiß neunmal. Jetzt sind sie ihrer Sache sicher, sie öffnen wieder und im selben Augenblicke ist die Grube ein Flammenmeer und ein Grab für alle, die froh und arglos noch eben der Fülle ihrer Kraft sich erfreuten.

Das Grubengas entwickelt sich häufig ganz plötzlich aus einer Spalte, die geöffnet wurde. So hörten die Arbeiter der Walker-Steinkohlengrube bei Newcastle eines Tages ein heftiges Geräusch ähnlich dem des ausströmenden Kesseldampfes und in kurzer Zeit waren die Wetter auf eine Streckenlänge von 585 Meter mit explosivem Gase gefüllt. Die Davy'sche Lampe eines Aufsehers, der 365 Meter von dem Entwicklungsorte entfernt war, füllte sich ganz mit Feuer. Mit rascher Geistesgegenwart zog er den Draht zurück, aber das Feuer erlosch nicht. Zehn Minuten brannte das explosive Gemenge innerhalb des Drahtnetzes fort, unvernünftig das Netz zu durchbrechen, dann erlosch es und nach 15 Minuten war alle Gefahr verschwunden.

Die Wirkungen der Explosion sind ganz furchtbar. Blöcke von 20 Centner Gewicht werden fortgeschleudert, die Zimmerung zerplittert, Menschen gegen das Gestein geschleudert und gräßlich verbrannt. Aufwirbelt der Kohlenstaub und ersticht die wenigen, die zufällig am Leben geblieben sind und imprägnirt sie so, daß sie am ganzen Körper schwarz und kaum mehr zu erkennen sind.

*) An vielen Orten werden die Lampen so eingerichtet, daß sie durch den Arbeiter nicht geöffnet werden können.

Dreizehnter Vortrag.

Ueber Steinkohlen. (Geologisches.)

Die Steinkohlengruppe repräsentirt eine Formation von großer Mächtigkeit und weiter Verbreitung. Sie ruht auf den obersten Gliedern der devonischen Gruppe und wird bedeckt von den untersten Gliedern der Zechsteinformation. Man muß aber nicht denken, daß sie in ihrer ganzen Mächtigkeit — die manchmal 6000 und mehr Meter erreicht — aus Steinkohlen besteht. O nein. Die Steinkohle bildet nur untergeordnete Einlagerungen zwischen Schieferthon und Sandstein, Einlagerungen von verhältnißmäßig geringer Mächtigkeit.

Die große Mächtigkeit der Steinkohlenformation rührt hauptsächlich von dem Kohlenkalkstein, von Schieferthon- und Kalksteinbildungen. Der Kohlenkalkstein ist das unterste Glied der Formation. Er repräsentirt einen Kalkstein von grauer oder schwärzlicher Farbe, mit zahlreichen Meeressthiere. Land- und Süßwasserthiere kommen in ihm nicht vor; er ist daher eine Meeresbildung.*) Steinkohlen kommen in ihm nicht oder nur sehr selten vor; auch an Pflanzenabdrücken aus der Steinkohlenzeit ist er arm.

Die obere Abtheilung der Steinkohlenformation, die Steinkohlenbildung im engeren Sinne oder die productive Kohlenformation, ist aus Schichten von Schieferthon, Conglomeraten und Sandsteinen zusammengesetzt, die regellos mit einander wechseln und sich vielfach wiederholen. Zwischen dem Schieferthone und dem Sandsteine sind Steinkohlenflöze

*) Naumann, Lehrbuch der Geologie.

von größerer und geringerer Mächtigkeit eingelagert. Fast nur Landpflanzen, Landthiere und Süßwasserthiere finden sich in den Schieferthonen und Sandsteinen. Die obere Abtheilung der Steinkohlenformation ist mithin ihrer Hauptentwicklung nach keine Meeresbildung.

Die Conglomerate sind undeutlich geschichtet, mächtig, umschließen sehr selten einen Stammtheil einer größeren Pflanze und gehen allmählich in groben Sandstein über.

Die Sandsteine der Formation, auch Kohlen sandsteine genannt, sind grau, weiß, gelblich, thonig und glimmerhaltig. Sie sind in der Regel fest und eignen sich vortrefflich zu Bausteinen und bei scharfkantiger, poröser Ausbildung auch zu Mühlsteinen. Höchst merkwürdig sind die Wellenfurchen auf der Oberfläche mancher Sandsteinschichten, höchst merkwürdig wegen der guten Erhaltung. Der Millionen Jahre alte Wogenschlag des Meeres ist in diesen Kohlen sandsteinen aufs getreueste abgebildet. Sie werden fragen: wie ist eine solche Erhaltung der Wellenfurchen im Sande möglich? An den Ufern des Meeres sieht man allerdings den Wellenschlag im Sande sich abbilden. Wenn nun das Ufer gehoben und dadurch dem Wellenschlage entrückt wird, so werden Wind und Wetter in ganz kurzer Zeit jede Spur von Wellenfurchen verwischen. Ohne Zweifel. Die Wellen des stürmischen Meeres setzen sich indessen bis zu 180 Meter Tiefe fort und bilden auch hier im Sande breite und tiefe Wellenfurchen. Wird dieser Sand durch kalkige Bindemittel zu Sandstein, so sind die Wellenfurchen versteinert und der Erhaltung fähig. Auf diese Weise mögen jene Wellenfurchen im Kohlen sandstein gebildet und erhalten worden sein. Interessant ist dieser Kohlen sandstein auch noch deswegen, weil aus ihm sehr reiche Soolquellen entspringen.

Der Schieferthon ist ein Thon oder Letten, der durch Glimmerschuppen die Schieferstruktur angenommen hat und sandige Bestandtheile enthält. In ihm finden sich die schönsten und zahlreichsten Pflanzenreste der Steinkohlenformation. Er ist einem Buche zu vergleichen, auf dessen Blättern die Geschichte der ganzen Periode in eigenthümlicher aber unvergänglicher Schrift geschrieben ist.

Außer den genannten Gesteinen treten noch auf: thoniger Sphäroiderit, Kohleneisenstein, Gyps, Dolomit, Anhydrit und Stein Salz.

Die Steinkohle ist der Haupthebel der modernen Industrie. Sie ist

daher von höchster technischer und nationalökonomischer Bedeutung, und kommt denn auch in allen Welttheilen und unter allen Breiten vor. In Großbritannien nimmt die Steinkohlenformation eine Fläche von 480 deutschen Quadratmeilen ein. In allen ihren Gliedern (Kohlenkalk, Sandstein, Steinkohlen, Schieferthon) ist sie hier sehr mächtig entwickelt. Der kohlenführende Complex ruht fast überall auf dem Sandstein und dem Kohlenkalk. Einzelne Flöze erreichen eine Mächtigkeit von 9 Meter. Der gesammte Vorrath an Kohlen übersteigt weit eine Billion Centner.

Eine der englischen vollkommen entsprechende Steinkohlenbildung finden wir an dem Nordrand des belgisch-rheinischen Terrains. Sie erstreckt sich in Form eines ziemlich schmalen Streifens vom Nordabfalle der Ardennen das Maasthal entlang über Namür, Lüttich und Aachen, erleidet dann eine bedeutende Unterbrechung durch das Rheinthal, tritt weiter östlich an dem nördlichen Rande des westphälischen Devongebirges wieder hervor und erstreckt sich bis Stadtberge. Von großer Bedeutung ist auch die Kohlenformation bei Zwickau, die zwischen Dresden und Tharand und endlich die von Nieder- und Oberschlesien.

In Rußland nimmt die Steinkohlenformation einen ungeheuren Raum ein. Etwa ein Drittel des europäischen Rußlands wird von ihr unterteuft. Aber es ist besonders nur der Kohlenkalk, der hier zur Entwicklung gelangt ist. Die produktive Steinkohlenformation ist nur sehr schwach vertreten durch ein Becken am Donez.

Böhmen ist reich ausgestattet mit Steinkohlenflözen. Die Schweiz und Frankreich haben nur spärliche Lager aufzuweisen. In Italien ist die Steinkohlenformation nicht bekannt, in Spanien und Portugal dagegen erreicht sie ansehnliche Dimensionen. Auch im hohen Norden, auf der Bären-Insel und in Spitzbergen ist sie entdeckt worden, ebenso in Asien.

Am großartigsten auf der ganzen Erdoberfläche ist die Steinkohlenformation in Nordamerika entwickelt.

Auch hier ist es besonders der Kohlenkalk, der eine enorme Verbreitung besitzt. Allein auch die produktive Steinkohlenformation erstreckt sich über 6 größere Territorien. An manchen Orten erreichen die Flöze eine Mächtigkeit von 13 Meter.

Auch in Südamerika und in Australien ist die Steinkohlenformation

nachgewiesen worden. Sie ist somit fast in allen Ländern und unter allen Breiten bekannt.

Die Steinkohlen kommen gewöhnlich in Mulden (tellerförmige Becken) vor. In jeder Mulde sind in der Regel mehrere Flöze von verschiedener Mächtigkeit übereinander, die durch Schieferthon oder Sandstein getrennt sind. Die Mächtigkeit der Flöze ist sehr verschieden. Im Allgemeinen gilt die Regel, je mehr Flöze in einer Mulde, desto weniger mächtig, und je weniger Flöze, desto mächtiger die Flöze. Daß die Steinkohlen in Mulden vorkommen beweist noch nicht, daß sie auch ursprünglich in Mulden abgelagert worden sind. Da das Material aus dem die Steinkohle sich bildete im Laufe der Jahrhunderte sich langsam zersetzte und an Volumen abnahm, so mußten nothwendig Einsenkungen erfolgen, welche die Muldenform zur Folge hatten. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß die Muldenform ausschließlich durch Schwinden des Steinkohlenmaterials entstanden ist. In vielen Fällen kann das Steinkohlenmaterial in fertigen Mulden abgelagert worden sein. Merkwürdig ist die Art und Weise, wie diese ursprünglich horizontalen oder wenig geneigten Ablagerungen hier wellenförmig gebogen, dort steil aufgerichtet, dort an den Rändern zickzackförmig in die Höhe gerichtet sind. Genau anzugeben, welche Kräfte und wie diese Kräfte gewirkt haben müssen, damit solche Formen entstehen konnten, ist eine sehr schwere Aufgabe. Daß aber diese Unregelmäßigkeiten zum Theil durch Senkungen, zum Theil durch Hebungen und durch seitlichen Druck entstanden sind, darüber dürfte wohl kein Zweifel sein.

Ein und dasselbe Flöz hat nicht überall dieselbe Mächtigkeit. Von dem Rande nach der Mitte der Mulde werden die Flöze in der Regel mächtiger. Diese Erscheinung erklärt sich sehr leicht wenn man annimmt, daß überall, wo dies der Fall ist, das Material der Steinkohlen in ursprünglichen Mulden abgelagert worden ist. Im Westphälischen Kohlengebirg schwankt die Mächtigkeit der Flöze von 0,6 bis 1,2 Meter; in dem Saarbrücker Bassin von 0,6 bis 4 Meter, bei Zwickau von 1,8 bis 2,4 Meter, das Ruschkohlenflöz bei Zwickau erreicht sogar eine Mächtigkeit von 9 Meter. Eine ganz ungewöhnliche Mächtigkeit besitzt ein Flöz bei Montchanin in Frankreich, das stellenweise über 70 Meter mächtig ist. *)

*) Naumann, Lehrbuch der Geologie.

Ein Kohlenflöz bildet nur sehr selten eine ununterbrochene ungetheilte Masse im Querschnitt. Meistentheils ist es in Schichten abgetheilt durch ganz schmale Lagen von Letten oder Schieferthon (sogenannten Schären). Diese schichten- oder bankförmige Gliederung tritt sehr deutlich hervor, weil die schmalen Lettenlagen wie weiße oder hellgraue parallele Bänder zwischen den schwarzen Bänken hinschießen. Oftmals ändert sich die Qualität der Kohlen von Bank zu Bank. Sind die Flöze mächtig, so ist diese bankförmige Gliederung nicht unwillkommen, weil die dünnen Lettenlagen bei der Unterschrämung ein sicheres Anhalten gewähren.

Die Unterlage der Kohlenflöze, das sogenannte Liegende ist in der Regel ein mehr oder weniger sandiger Schieferthon, der mit zahllosen Pflanzenwurzeln erfüllt ist. Die Decke der Kohlenflöze, das sogenannte Hangende oder Dachgestein besteht aus Schieferthon, der reich ist an wohlerhaltenen Pflanzenabdrücken. Indessen nicht blos im Schieferthon finden sich Pflanzen-Abdrücke und verkohlte Pflanzenreste, auch in der Steinkohle selbst trifft man sie oft an. Selbst schwarz, heben sie sich in der schwarzen Steinkohlenmasse weniger ab, als in hellfarbigem Sandstein oder Schieferthon, springen nicht so in die Augen und werden daher häufig übersehen. Mit denen im darüberliegenden Schieferthon sind sie identisch.

Das Studium dieser Pflanzenreste hat manches interessante Resultat zu Tage gefördert. Es hat ergeben, daß all diese Pflanzenreste von Landpflanzen und nicht von Meerespflanzen stammen. Es hat ergeben, daß die verschiedenen Flöze ein und derselben Mulde eine Verschiedenheit der sie begleitenden Pflanzenreste erkennen lassen, die um so größer ist, je weiter von einander in vertikaler Richtung die Flöze liegen. Diese Verschiedenheit der Pflanzenreste zeigt sich ebensowohl in den Kohlen als im Schieferthon. Es hat ergeben, daß überall wo nur immer Steinkohlen gefunden wurden, in Amerika, Europa, Australien, Spitzbergen, auf der Bäreninsel, daß überall sage ich im Allgemeinen dieselben Pflanzen, in derselben Größe und Ueppigkeit vorkommen. Es hat ergeben, daß das Klima jener Zeit ein feuchtes, warmes und frostloses gewesen sein muß, dessen Temperatur im Mittel auf 20 bis 25° R. geschätzt wird. In jener Zeit herrschte überall auf der Erde ungefähr dieselbe Temperatur. Der Temperaturunterschied zwischen einzelnen Jahreszeiten war entweder noch sehr unbedeutend oder fehlte gänzlich. Die ganze Flora der Steinkohlen-

formation trägt das Gepräge einer tropischen Sumpf- und Morastvegetation und war demnach auf die flachen Niederungen der carbonischen Continente beschränkt. Sie ist arm an Species aber reich an identischen Arten. In keiner anderen Periode erreichte die Flora eine solche Ueppigkeit und Fülle, als in der Steinkohlenperiode.

Die in dem Sandstein und Schieferthon vorkommenden Pflanzenreste sind entweder in Kohle umgewandelt oder verkießt oder abgedrückt. Die liegenden Stämme sind gewöhnlich brettartig zusammengedrückt, die auf den Gesteinsschichten senkrecht stehenden sind dagegen in der Regel noch vollkommen cylindrisch oder kegelförmig. Und das ist leicht begreiflich. Die liegenden Stämme wurden durch das Gewicht der nach und nach auf sie abgesetzten Schichten zusammengedrückt, die stehenden, bei denen der Druck ringsum derselbe war, mußten ihre ursprüngliche Form im Allgemeinen beibehalten. Die Rinde dieser Stämme ist gewöhnlich in Kohle umgewandelt, das Innere derselben aber mit Sandstein oder Schieferthon und bisweilen sogar mit Conglomeraten ausgefüllt. So im Innern erfüllt und außen umgeben von einer bildsamen Masse, haben sich gleichzeitig innere und äußere Abformungen jener Stämme ausgebildet.

Sie werden fragen: Sind jene aufrechtstehenden Stämme an Ort und Stelle gewachsen, oder sind sie auf andere Weise in diese Lage gekommen? Sehen wir uns diese Stämme an. Häufig besitzen sie noch ihren Wurzelstock und endigen nach oben oder nach unten in einem Kohlenflöz. Bei Le-Treuil im Kohlenbassin von St. Etienne wurden ehemals viele aufrecht stehende Stämme entdeckt, deren Wurzeln aber nicht in demselben Niveau lagen. Offenbar wurden diese Stämme durch Wasser hierher geschwemmt. Wie kamen sie aber in die aufrechte Stellung, wenn sie durch Wasser transportirt worden sind? Wenn Bäume in großer Zahl zusammengeschwemmt wurden, so konnte es sich leicht ereignen, daß ein Baum in den Wurzeln eines zweiten stecken blieb. Dieser zweite, an seinem Ende schwerer als vorher, mußte nothwendig jetzt die aufrechte Stellung annehmen. Schwerlich aber dürften alle Bäume auf diese Weise in die aufrechte Stellung gekommen sein. Die meisten dürften diese Stellung einer allgemeinen Ursache verdanken und diese ist in folgendem physischen Gesetz zu suchen. Wenn ein regelmäßig gewachsener Stamm, der also die Form eines abgestumpften Kegels besitzt, im Wasser

schwimmt, so liegt seine Achse unter der Wasserfläche. In dieser Achse liegt auch der Schwerpunkt des Stammes. Der Schwerpunkt des verdrängten Wassers dagegen liegt unter dem des Stammes und beide Schwerpunkte liegen stets in einer Linie, die auf der Oberfläche des Wassers senkrecht steht. Das Wasser sucht nun in den Stamm einzudringen.*) Da die Rinde aber das Wasser nicht durchläßt, so dringt es nur von der Wurzel und der Krone aus ein. Dringt das Wasser in derselben Zeit von beiden Seiten gleich weit vor, so wird der untere, der Wurzel am nächsten liegende Stammtheil als der dickere, mehr Wasser aufgenommen haben als der obere. Der Schwerpunkt des Stammes wird daher nach der Wurzel hin rücken und der Stamm dadurch das Bestreben zeigen, sich senkrecht zu stellen. Ist er hinreichend von Wasser durchdrungen, so sinkt er in senkrechter Stellung unter, und wenn er nun von Schlamm umhüllt wird, so behält er diese Stellung für alle Zeiten. Ist dies aber nicht der Fall, so wird er allmählig von Wasser ganz durchdrungen, der Schwerpunkt rückt wieder nach der Krone an seinen ursprünglichen Platz und der Stamm bekommt seine frühere horizontale Lage wieder. Weitaus die größte Anzahl der gefundenen fossilen Holzstämmе hat nun aber die horizontale, nicht die vertikale Lage. Das mag daher kommen, daß viele Stämme sehr stark von der abgestumpften Kegelform abweichen und folglich in die vertikale Lage, außer durch einen Zufall, überhaupt nicht kommen konnten. Es ist aber auch möglich, daß sie vor ihrer Einhüllung mit Schlamm so lange im Wasser gelegen haben, bis sie, ganz von Wasser durchdrungen, wieder zur horizontalen Lage zurückgekehrt waren.

Welche Pflanzen waren es, die in der Steinkohlenzeit so üppig wucherten? — In erster Linie waren es die Sigillarien, Bäume von 15 bis 20 und 30 Meter Höhe und 1 bis 2 Meter Dicke. Sie verzweigten sich gabelig und waren mit schlanken, linearen



Fig. 15. Sigillaria.

*) Janßen in dem 2. und 3. Hefte des neuen Jahrbuchs für Mineralogie. 1868.

Blättern besetzt. Die Oberfläche der Sigillaria ist durch vertikale Furchen in abgerundete Längsleisten getheilt, auf welchen sich die Blattnarben befinden. Die Wurzeln der Sigillarien die man Stigmarien genannt

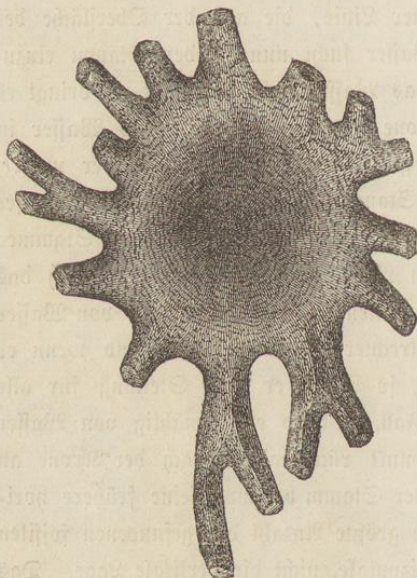


Fig. 16. Stigmaria.



Fig. 17. Lepidodendron.

hat, weil sie für besondere Bäume gehalten wurden, breiten sich allseitig in horizontaler Richtung vom Stamme aus, sind cylindrisch und mit kreisrunden Narben versehen.

Die Lepidodendren erreichten ungefähr dieselbe Höhe und Dicke.

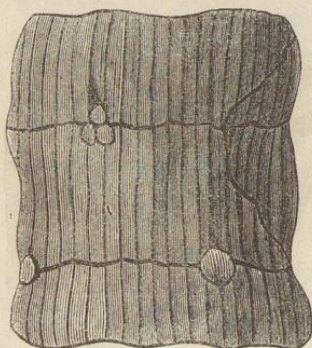


Fig. 18. Calamites.

Ihre Oberfläche ist mit rhombischen, lancettförmigen oder hexagonalen Narben dicht bedeckt und war mit langen linearen Blättern besetzt.

Die Calamiten erreichten 13 bis 14 Meter Höhe und 80 bis 100 Centim. Dicke. Sie enden nach unten kegelförmig. Die Schäfte der Calamiten besitzen einen centralen und zahlreiche peripherische Luftcanäle, sind längsgefurcht und quergegliedert und lassen häufig die Narben der

Zweige erkennen. Den Zweigen und Blattresten der Calamiten hat man die Namen: *Asterophyllites*, *Annularia*, *Sphenophyllum* gegeben.

Die Farne der Steinkohlenperiode waren zum großen Theil baumartige Gewächse mit 2 bis 3 Meter langen Wedeln. Nach ihrer Nervatur hat man die Blätter dieser Farne mit den Namen *Sphenopteris*, *Neuropteris*, *Odontopteris*, *Pecopteris*, *Cyclopteris* und *Alethopteris* besetzt.

Die Cycadeen und Coniferen der Steinkohlenperiode stehen an Zahl der Arten und Häufigkeit der Individuen weit hinter den Sigillarien, Lepidodendren, Calamiten und Farnen zurück. Die Coniferen werden vertreten durch mehrere *Araucarien*, die Cycadeen durch *Noeggerathia*.

Fand die Kohlenbildung nur in der Steinkohlenformation statt? Nein. In allen Formationen fand sie statt, aber so viele und so mächtige Flöze wurden weder vor noch nach der Steinkohlenperiode je wieder abgelagert. In der Silurformation finden sich schwache Anthracitflöze, deren Entstehung noch nicht völlig aufgeklärt ist, weil höher organisirte Pflanzen aus dieser Periode noch nicht gefunden worden sind.

In der Devonperiode treten zwar schon gefäßreiche, blüthenlose Pflanzen aus den Familien der Bärlappe, Farnen, Schachtalmen u. s. f. auf, Steinkohlenflöze von einiger Mächtigkeit sucht man indessen vergebens. Dagegen liegen die großartigen unterirdischen Petroleum-Reservoirs im nördlichen Pennsylvania im oberen Devon.

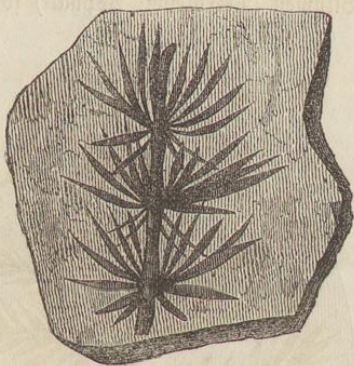


Fig. 19. *Annularia*.



Fig. 20. *Neuropteris*.

Auch in der Dyas (Rothliegendes, Zechstein) finden sich schwache, selten bauwürdige Kohlenflöze. Manche Schiefer der Dyas sind mit Bitumen (Petroleum, Asphalt) so durchdrungen, daß sie zur Gewinnung

von Steinöl, Asphalt und Leuchtgas Verwendung finden. Dieses Bitumen kann nur durch Zersetzung aus Pflanzen- oder Thierorganismen entstanden sein.

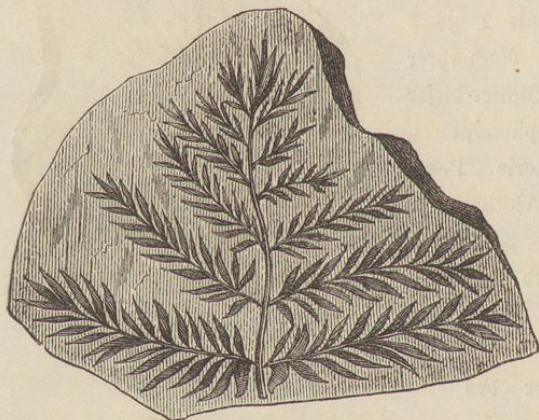


Fig. 21. Odondopteris.

In der Trias (Buntsandstein, Muschelfalk, Keuper) haben die Cycadeen sich mächtig entfaltet. Die Kohlen dieser Periode

sind sehr unrein, lettenreich und reich an Eisenties und eignen sich nicht zur Feuerung.

Weit besser sind die Kohlen der Juraperiode. Glänzend, schwarz, treten sie in den nordöstlichen Alpen schon in der untersten Etage der Juraformation, im Lias auf, und heißen daher auch Liaskohlen. An der oberen Grenze der Juraformation findet sich die Wälderkohe, die zwar wenig mächtig ist, an manchen Orten indessen doch abgebaut werden kann. Auch bituminöse Schiefer finden sich in der Juraperiode, die zur Gewinnung von Erdöl, Asphalt und Leuchtgas sich eignen.

Die Kohlen der Kreideformation sind gewöhnlich zu lettenreich, als daß sie mit Vortheil abgebaut werden könnten. Da, wo sie abbaubar vorkommen, ist ihre Mächtigkeit 10 bis 45 Centimeter.

Die Tertiärformation ist wieder reicher an Kohlen, wenn auch deren Mächtigkeit die in der Steinkohlenperiode nicht erreicht. Die Kohlen der Tertiärperiode heißen ihrer Farbe wegen Braunkohlen. Nicht selten erkennt man an ihnen deutlich die Holzstructur. Sie kommen besonders in Norddeutschland vor und sind in der Regel 2 bis 5 Meter mächtig. An einzelnen Orten erreichen sie 20 bis 25 Meter Mächtigkeit. Die blüthen-

tragenden Laubpflanzen, die in der Trias zum erstenmale auftreten, im Jura und in der Kreide immer noch spärlich vorkommen, gewinnen in der Tertiärperiode die Ueberhand und haben das Material zu vielen Braunkohlenflözen geliefert.

Der nachtertiären Zeit gehört der Torf an, der sich noch jetzt vor unseren Augen bildet. Er ist bald locker, bald compact, von Farbe braun bis schwarz, zeigt häufig ein filziges Gewebe von Pflanzen, die in Zersetzung begriffen sind und deren Form nicht selten noch deutlich erhalten ist. Dieser Torf der Jetztzeit entspricht der Kohlenbildung in früheren Perioden. Es drängen sich daher zwei Fragen auf: Ist die Kohle der früheren Perioden in gleicher oder in ähnlicher Weise gebildet worden, wie unser Torf, und warum sind nur in der Steinkohlenzeit und in keiner früheren noch späteren Zeit so zahlreiche und mächtige Kohlenflöze abgelagert worden.

Die Steinkohle, darüber sind alle Geologen einig, kann nur von Pflanzensubstanzen abstammen. Von welchen Pflanzen sie aber abstammt, ob von denen, die sich bisweilen noch in ihr finden oder von andern, darüber sind die Meinungen getheilt. Auch darüber gehen die Ansichten auseinander, ob diese Pflanzen da gewachsen sind, wo jetzt die Steinkohlenflöze liegen, oder ob sie dahin durch Wasser zusammen geschwemmt wurden.

Daß Baumstämme in Steinkohlen übergehen können, ist unzweifelhaft; denn es finden sich dicke Sigillarienstämme, im Sandstein und in der Steinkohle selbst, deren Rinde in Steinkohle verwandelt ist. Außerdem hat man an manchen Steinkohlen deutlich die Holzstructur mit dem Mikroscope nachweisen können. Es unterliegt daher keinem Zweifel, daß zusammengeschwemmtes Holz, das von Detritus bedeckt worden ist, unter günstigen Umständen in Steinkohlen übergehen kann. Wären aber alle oder die meisten Flöze aus zusammengeschwemmtem Holze entstanden, dann müßte sowohl das Liegende*) als auch das Hangende der Steinkohlenflöze reich an Abdrücken von Holzstämmen sein. Auch würde wahrscheinlich das Vorkommen eines Abdrucks in der Steinkohle selbst nicht Ausnahme sondern Regel sein. Es bieten sich auch noch andere Schwierigkeiten. Nehmen wir an, es werde Holz durch Flüsse oder Meeresströ-

*) Das Liegende ist die untere, das Hangende die obere Begrenzungsfläche.

mungen in Meeresbuchten durch Jahrhunderte hindurch angehäuft. In dieser langen Zeit wird gar manches Weichthier im Meere absterben und sammt seinem Gehäuse unter das aufgehäuften Holz gerathen. Wird nun auch das Geschöpf selbst schnell zerstört, so ist doch das Gehäuse widerstands- und erhaltungsfähig und es wäre geradezu unbegreiflich, wenn nicht bei solcher Entstehungsweise der Kohlen hier und da die Reste eines Meeressthieres in den Flözen gefunden würden. Bis jetzt ist aber nicht ein einziges Meeressthier in den Steinkohlenflözen gefunden worden, folglich dürften auch nur sehr wenige Flöze aus zusammengeschwemmtem, im Meere begrabenem Holze entstanden sein. Das wird auch durch folgende Betrachtung bestätigt. In einem und demselben Becken befinden sich in der Regel sehr viele Flöze übereinander, getrennt durch Schieferthons und Sandstein. Zur Zeit der Bildung des Schieferthons muß eine Veränderung der Oberfläche durch Hebung oder Senkung irgendwo stattgefunden haben, weil sonst nicht Schieferthon oder Sand, sondern Holzstämmen wären angeschwemmt worden. Nach Ablagerung des Schieferthons trat eine neue Hebung oder Senkung ein, durch welche die ursprünglichen Bedingungen der Holzanschwemmung an demselben Orte wieder hergestellt wurden. Dies wiederholte sich nun nicht einmal, sondern 50 und 100 mal und nicht blos in einer Mulde, sondern fast in allen Mulden. Nun sind Hebungen und Senkungen zwar ganz gewöhnliche Erscheinungen, allein ganz ungewöhnlich und auffallend ist es, daß die Fluß- und Meeresströmungen, durch welche ja allein das Holz transportirt werden konnte, nach jeder Hebung und Senkung, wie oft sie auch stattfand genau wieder ihren alten Lauf erhielten durch Hunderttausende von Jahren hindurch, oder im Fall der Boden, auf welchem das Holz angeschwemmt wurde, gehoben wurde, daß die spätere Senkung diesen Boden genau wieder in eine solche Tiefe versetzte, daß von neuem Holz auf ihm angeschwemmt werden konnte.

Stammt das Material der Steinkohlenflöze von den Pflanzen, die sich in dem Schieferthon und auch bisweilen noch in den Flözen selbst finden, oder von andern? Naumann zweifelt nicht daran, daß die Pflanzen, deren Reste man im Schieferthon und in der Steinkohle selbst findet, das Material zur Steinkohlenbildung geliefert haben. „In den Polargegenden würde freilich auch bei vorausgesetzter tropischer Wärme die lange Winternacht das Gedeihen einer so üppigen Pflanzentwelt erschwert haben, wie sie zur

Bildung von Steinkohlenflözen erforderlich gewesen zu sein scheint. Dagegen vermuthet G. Robert, daß wenigstens die Fucusvegetation von dieser langen Finsterniß nicht viel zu leiden hatte, und daß daher die Tange bedeutendes Material zu den Kohlenflözen Spitzbergens geliefert haben dürften.“*) G. Bischof spricht sich in Betreff der Tange dahin aus, daß sie gewiß Material zur Steinkohlenbildung geliefert haben und noch liefern. Er sagt**) „die schwimmenden Algen, welche bekanntlich im Süden der Azorischen Inseln eine über 4000 Quadratmeilen große, vom Golfstrom begrenzte Ansammlung bilden, mußten aber, wenn sie durch Vermoderung schwerer geworden, nach und nach zu Boden sinken, und da die Pflanzenbedecke sich immer wieder erneuerte, bedeutendes Material zur Steinkohlenbildung liefern.“ Bischof bezweifelt aber nicht, daß auch Torf und namentlich zusammengeschwemmtes Holz, Material zur Steinkohlenbildung geliefert haben. Fr. Mohr dagegen sagt, alle Steinkohle rührt von zusammengeschwemmten Meerespflanzen her. Sehen wir uns also diese Meerespflanzen, diese Tange der Jetztzeit an und fragen uns, ob sie im Stande sind, Steinkohlenlager von einiger Mächtigkeit zu bilden.

Die Seetange gedeihen nur da, wo das Meer flach und der Meeresgrund felsig ist. In diesen Felsen sitzen ihre Wurzeln. Während die Landpflanzen der Luft die Kohlen säure entziehen, nehmen die Tange die Kohlen säure aus dem Meerwasser. Zweige einzelner Tangarten, die vom Sturme losgerissen wurden, schwimmen mit Hilfe der Schwimmblasen häufig auf der Oberfläche des Meerwassers, tragen aber keine Frucht und gehen bald zu Grunde. Ueberall also, wo das Meer tief und der Meeresboden sandig oder schlammig ist, fehlen auch die Tange. In größeren Meerestiefen kommen nur vereinkelte, niedrige, haarfeine und zarte Tange fort, wurzelnd auf Steinen. In den Polarmeeren erreichen die Tange das Maximum ihrer Größe. Hier bilden sie förmliche Wälder. Die Stengel mancher Arten erreichen eine Länge von 81 Meter. Ihre Blätter von 8 Meter Länge werden von einer 1,8 Meter langen Schwimmblase getragen. Sie bestehen aus 76 bis 80 Procent Wasser, 1 bis 2 Procent Proteinkörper, 5 bis 10 Procent Asche und 6 bis 20 Procent Faser. Wenn solche Tange in unge-

*) Naumann, Lehrb. der Geologie.

**) G. Bischof, Lehrb. der chem. und phys. Geologie.

heurer Menge abgelagert und den Meeresströmungen entzogen werden, so unterliegt es wohl keinem Zweifel, daß daraus Steinkohlen werden können, sofern die Bedingungen der Vermoderung erfüllt sind. An den Orten dagegen, wo die Tange wachsen, können Kohlen aus Tangen nicht entstehen; denn hier ist der Meeresboden flach, den Wellen erreichbar, eine Vermoderung in großem Maßstabe daher nicht möglich. Denken wir uns aber trotzdem ein Kohlenflöz unter diesen Umständen gebildet, so müßte der Untergrund des Flözes (das Liegende), felsig oder steinig, nicht aber sandig oder thonig sein, weil die Tange nur in Felsen oder Steinen wurzeln.

Wenn also Steinkohlen aus Tangen werden sollen, so müssen die Tange durch Wind und Wellen von ihrem Standorte losgerissen und an irgend einem Ort im Meere durch constante Strömungen angehäuft werden. Ist ein Ort bekannt an dem das geschieht? Allerdings. Die große Meeresfläche zwischen den Azoren und den Inseln des mexikanischen Golfes ist seit Jahrhunderten bedeckt von einer einzigen Algen-species, dem *Sargassum baociferum*. Dieses *Sargassum* wächst hier, wo das Meer sehr tief ist, nicht, es soll durch Strömungen hieher getrieben und durch zahllose erbsen- große Luftblasen auf der Oberfläche erhalten werden. Seine Heimath ist merkwürdiger Weise nicht bekannt.

Was ist das endliche Schicksal dieser zahllosen Algen? Es ist möglich, daß sie nach dem Absterben zu Boden sinken und das Material zu Steinkohlenflözen liefern, es ist aber auch möglich, daß sie an der Oberfläche verwesen und zahllosen Meeressthieren zur Nahrung dienen. Unmöglich können ja alle Meeressthierie von Meeressthieren leben, viele müssen sich nothwendigerweise von Pflanzen ernähren. Ihre ganze Existenz muß daher an die Pflanzen des Meeres geknüpft sein. Und an welche Pflanzen? Eben an die uns bekannten Seetange: *Sargassum*, *Fucus* und andere. Darwin*) giebt folgende interessante Schilderung von den auf den Tangen lebenden Thieren. „Die Zahl lebendiger Geschöpfe von allen Ordnungen, deren Existenz auf das innigste mit dem *Fucus* zusammenhängt, ist wunder- voll. Man könnte ein dickes Buch schreiben, wollte man die Bewohner einer Flur von diesem Tang beschreiben. Fast jedes Blatt, mit Ausnahme derer, die auf der Oberfläche schwimmen, ist so dick mit Corallinen über-

*) Darwin, naturwissenschaftliche Reisen I.

kleidet, daß es ganz weiß ist. Auf den flachen Oberflächen der Blätter finden sich verschiedenartige Tellermuscheln, Trochen, nackte Mollusken und einige Divalven. Zahllose Crustaceen besuchen jeden Theil dieser Pflanze. Wenn man die großen verworrenen Wurzeln schüttelt, so fällt ein Haufen von kleinen Fischen, Muscheln, Sepien, Krabben von allen Ordnungen, Seeeiern, Seesterne, schönen Holothurien, Planarien und kriechenden Nereiden von einer großen Mannigfaltigkeit heraus. So oft ich einen Zweig eines Tanges untersuchte, entdeckte ich immer neue und merkwürdige Thiergestalten.“ Was sollen diese Thiere auf den Tangen, wenn sie hier nicht ihre Nahrung finden? Ohne Zweifel leben die meisten derselben von Tangen. Was geschieht aber mit den Resten der Tange? Nach dem Absterben sinken sie auf den Meeresgrund und liefern Steinkohlen. Steinkohlen? Nehmen wir an es sei so. Mit den abgestorbenen Tangen sinken zahlreiche Thiere oder Thiergehäuse in die Tiefe und kommen unter die in Bildung begriffene Steinkohle. Zahlreiche Gehäuse mögen zu Grunde gehen, mögen wieder verschwinden, ein großer Theil wird erhalten bleiben und in der Steinkohle einstens wiedergefunden werden, sei es versteinert, sei es abgedrückt oder noch wohlerhalten. Die ungeheure Menge von Kalkschalen wird die Steinkohle so aschenreich machen, daß sie als Brennmaterial gar nicht zu verwenden ist. Finden wir auch in unserer Steinkohle zahlreiche Meeres-thiere? Nicht ein einziges; ist auch sie so aschenreich, daß sie nur schwer zu verwenden ist? O nein, folglich müssen die Verhältnisse damals anders gewesen sein als jetzt, oder unsere Steinkohle stammt nicht von Tangen. Alle die zahlreichen Meeresgrundproben, wo immer man sie auch genommen hat, haben noch niemals eine Spur von vermoderter Pflanzenmasse enthalten. Ist es nun wahrscheinlich, daß es Tausende von Quadratmeilen auf dem Meeresgrunde gibt, wo Steinkohle in Bildung begriffen ist, wenn man bei dem Grundprobenziehen zwar stets Sand, Kalk, Thonpartikel, Schalen von mikroskopischen Kiesel- und Kalkorganismen, von Diatomeen und Foraminiferen, niemals aber Algen oder deren Humus gefunden hat?*) Auf den Strand der nordischen Seeküste werden durch die Gewalt des Windes und der Wellen oft große Quantitäten von Seetang geworfen. Ein Theil des Tangs wird von den Wellen wieder zurückgeholt, ein

*) Ferd. Cohn, im Naturforscher 1. Jahrgang.

anderer Theil wird von Sand bedeckt. Man sollte meinen, der letzere könnte vermodern und Humus liefern. Nein, in ganz kurzer Zeit ist keine Spur von dem Tang zu finden. Müßte man nicht, wenn die Steinkohlen von Meerespflanzen stammen, in dem Schieferthon und Sandstein zahlreiche Abdrücke dieser Pflanzen neben Landpflanzenabdrücken finden?

Mohr behauptet, die Steinkohle könne nicht aus Gefäßpflanzen (Landpflanzen) gebildet worden sein, weil diese ihre Struktur in alle Ewigkeit hinein behalten, sie können aber aus Tangen entstanden sein, weil diese aus einem schlüpfrigen Stoff bestehen, der bei der Vermoderung in eine weiche, schleimige, durchaus formlose Masse sich verwandele. Nun ist es an sich schon sehr kühn, zu behaupten, irgend ein Körper behalte seine Form in alle Ewigkeit hinein, von der Holzfaser der Landpflanzen nun gar es behaupten zu wollen, heißt aller Erfahrung widersprechen. Es ist richtig, daß die Holzfaser außerordentlich widerstandsfähig ist, daß man an einzelnen Stämmen oder Stammtheilen, die im Schieferthon oder Sandstein zu Kohle umgewandelt wurden, die Struktur erkennen kann. Folgt daraus, daß man sie deswegen auch an jeder Kohle, die aus Landpflanzen entstanden ist, erkennen muß? Gewiß nicht. Die Bedingungen und näheren Umstände, unter denen die Struktur erhalten bleiben kann, müssen in solchen Fällen erst erforscht werden. Aufgehäuete Holzstämme, von Schlamm oder Sand bedeckt und langsam vermodernd, werden ihre Struktur keineswegs behalten, wenn gleichzeitig ein ungeheurer Druck von der darüberliegenden Schlamm- oder Sandmasse auf sie ausgeübt wird. Nur wenn ein einzelner Stamm oder Zweig dem Drucke sich entziehen kann, vermag er auch seine Struktur zu erhalten. Ist es nun aber wahrscheinlich, daß das Steinkohlenmaterial sogleich einem so großen Drucke ausgesetzt wurde? Keineswegs. Die Absätze über dem Steinkohlenmaterial erfolgten langsam und gleichmäßig und erforderten Tausende von Jahren. Es wäre daher sehr auffallend, wenn Steinkohlen, aus Holz entstanden, nicht oft noch die Holzstruktur zeigen sollten. Aber wer sagt es denn, daß sie diese Struktur nicht auch oft zeigen? Im Jahre 1838 veröffentlichte Lint*) seine mikroskopischen Beobachtungen über mehr als 20 Sorten von Steinkohlen aus verschiedenen Formationen und von verschiedenen Orten. Nachdem er sie mit rectifi-

*) Abhandl. d. Berliner Akademie 1838.

cirtem Bergöl gekocht und dadurch ihre Durchsichtigkeit erhöht hatte, erkannte er deutlich Zellen. Auch bemerkte er, daß diese Zellen eine große Aehnlichkeit mit den Zellen des Linumer Torfes besaßen. Göppert behandelte die Steinkohle zuerst mit Salpetersäure, um Kali- und Kalksalze aufzulösen, verbrannte sie dann und untersuchte die Asche unter dem Mikroskope. Selbst bei den compactesten Steinkohlenvarietäten fand er nun deutliche Parenchym- und Prosenchymzellen. Und als er auf dieselbe Weise einen Anthracit aus der devonischen Grauwacke in Oberschlesien untersuchte, konnte er auch in ihm Zellen auf das deutlichste nachweisen. Bailey, Schulze und Dawson*) untersuchten zahlreiche Steinkohlensorten, und auch sie vermochten die vegetabilischen Zellen und Gefäße deutlich nachzuweisen. Selbst Sporen und Sporenkapseln konnte Dawson in Steinkohlen von Neu-Schottland, vom Cap Breton und aus Ohio nachweisen. Kann es entscheidendere Beweise für die Abstammung der Steinkohlen aus Landpflanzen geben als diese? Ganz unmöglich.

Was will dagegen der Einwand Mohr's, daß Torf und Braunkohlen, die unzweifelhaft aus Landpflanzen entstanden sind, bei der trockenen Destillation ein saures Destillat, Steinkohlen dagegen ein ammoniakalisches Destillat geben? Mohr sagt, nach meiner Theorie erklärt sich das auf die einfachste Weise. Als die Tange auf den Boden des Meeres fielen, sanken mit ihnen unzählige organische Geschöpfe, deren stickstoffhaltige organische Bestandtheile in den vermodernden Tangen zurückblieben. Was ist natürlicher, ungezwungener, als daß diese organischen Thierstoffe die Ursache des ammoniakalischen Destillates sind? — Nichts ist natürlicher. Aber wie kommt es denn, daß die Schalen der unzähligen Meeresthiere, die mit den Tangen in die Tiefe sanken, sammt und sonders verschwunden sind? Daß auch nicht eine einzige, weder versteinert, noch abgedrückt noch sonst wie erhalten vorkommt? Gibt es etwas unnatürlicheres als das? — Nichts ist unnatürlicher. Zunächst muß hervorgehoben werden, daß nicht alle Braunkohlen saure Destillate geben; einige liefern auch ammoniakalische Destillate, diejenigen nämlich, die in der Umwandlung am meisten vorgeschritten sind. Alle Pflanzen enthalten ja Stickstoff, wenn auch in geringer Menge. Bei der Vermoderung der Pflanzen treten hauptsächlich Sauerstoff und Wasserstoff aus, nebst

*) Zirkel, die mikroskopische Beschaffenheit der Gesteine.

wenig Kohlenstoff. Stickstoff tritt nicht, oder nur in äußerst geringer Menge aus. Die vermodernde Pflanzensubstanz wird daher relativ um so reicher an Kohlenstoff und Stickstoff, je ärmer sie an Sauerstoff und Wasserstoff wird. Nach einer gewissen, sehr langen Zeit, ist so viel Sauerstoff und Wasserstoff ausgetreten, daß saure Destillate nicht mehr entstehen können. Nun ist die Braunkohle im Vergleich zur Steinkohle sehr jung, die Vermoderung kann mithin bei der Braunkohle lange nicht so weit vorgeschritten sein als bei der Steinkohle, daher kann es durchaus nicht auffallen, daß Braunkohlen im Allgemeinen saure, Steinkohlen ammoniakalische Destillate liefern.

Aber, wird Professor Mohr sagen, alle Steinkohlen ohne Ausnahme liefern ammoniakalische Destillate. Ohne Ausnahme? Nicht doch. Die Steinkohlen in Centralrußland gleichen durchaus den Braunkohlen in der Struktur, dem Ansehen, der chemischen Beschaffenheit und in der Brauchbarkeit. Sie enthalten auch Honigstein, stammen aber dennoch aus der Steinkohlenperiode, weil sie zwischen Steinkohlenschichten eingebettet sind. *)

Was bleibt demnach übrig? Daß die Steinkohle aus den Pflanzen zum großen Theil stammt, die noch in ihr und in ihrer Bedeckung und Unterlage gefunden werden. Da die Behauptung Bischofs, daß diese Pflanzen nur durch Strömungen angeschwemmt worden seien, bereits widerlegt wurde, so müssen wir uns dahin entscheiden, daß diese Pflanzen zum größten Theil an Ort und Stelle gewachsen und in Mooren vermodert sind. Diese Pflanzen waren nicht wie unsere Waldbäume auf einem trockenen Boden gewachsen, sie waren auf sumpfigen moorigen Boden angewiesen. Hier starben sie ab und vermoderten und es mag leicht sein, daß auch zahlreiche Pflanzen durch Fluthen in diese Moore geschwemmt wurden. Damit soll aber nicht gesagt sein, daß sie allein das Material zur Steinkohle geliefert haben. Es mögen wie bei der Torfbildung noch zahlreiche kleinere Pflanzen mit langen Saugwurzeln beigetragen haben. Daß diese größeren Pflanzen aber selbst einen beträchtlichen Antheil an der Steinkohle haben, geht noch aus einer anderen Erscheinung hervor. Die Unterlage der Kohlenflöze ist, wie schon angeführt, Schieferthon. In diesem Schieferthon mußten die in Rede stehenden Pflanzen wurzeln.

*) Vogt, Lehrbuch der Geologie.

Und wie die Pflanzen selbst, so mußten auch die Wurzeln allmählig in Kohle übergehen. Der Schieferthon muß daher nothwendigerweise sehr reich an Kohlenstoff sein und er muß selbst noch die Form der Wurzeln hier und da erkennen lassen. Die Erfahrung bestätigt das. An den westlichen Gestaden von Nova Scotia wurden innerhalb einer Schichtenreihe von 4700 Meter 76 Kohlenflöze durchbohrt. Unter jedem auch noch so schwachen Flöze fand man im Schieferthon zahlreiche Wurzelformen ganz in Kohle umgewandelt. Wenn diese Kohlenflöze aus Tangen entstanden, welcher Zusammenhang besteht zwischen den Meerestangen und den Wurzeln dieser Landpflanzen? Wie sind die letzteren unter die ersteren gerathen? Wo sind ihre Stämme, ihre Zweige geblieben, warum sind nur gerade die Wurzeln da? Warum wiederholt sich 76 mal dieselbe Erscheinung: Wurzeln von Landpflanzen überlagert von Kohlen aus Seetangen? Warum? — Das wird Herr Professor Mohr wissen.

Wie ist es zu erklären, daß in demselben Bassin so viele Kohlenflöze wechsellagern mit Schieferthon und Sandstein? Schieferthon und Sandstein, beide verdanken ihr Dasein den Strömungen; das Material zu den Steinkohlenflözen wuchs aber in Mooren, also in stagnirendem Wasser. Wir müssen daher abwechselnde Hebungen und Senkungen des Erdbodens zu Hilfe nehmen. Durch die Senkung kam der Boden unter den Spiegel des Meeres und Flüsse konnten ihren Detritus ruhig absetzen; durch die Hebung über das Meeresniveau entstanden zahlreiche feichte Tümpel und sumpfige Niederungen, in welchen eine üppige Flora nach kurzer Zeit wucherte. Diese lieferte das Material für ein neues Steinkohlenflöz, nach dessen Bildung die Senkung und die Ablagerung des Detritus begann.

Eine andere wichtige Frage, die sich hier aufdrängt, ist die: Warum bildeten sich nur in der Steinkohlen- und in keiner späteren Periode so mächtige Flöze? Es ist nicht bekannt, daß vor der Steinkohlenzeit landbewohnende Thiere gelebt haben. In der Steinkohlenperiode treten, soweit bekannt, die ersten Reptilien und die ersten landbewohnenden Thiere auf, deren Zahl sich in den folgenden Perioden außerordentlich vermehrt. Die Nahrung dieser Thiere war vorzugsweise pflanzlicher Natur. Was sie verzehrten, war für die Kohlenbildung verloren.*) Doch dürfte

*) G. Bischof. Geologie. Bd. 1. S. 749.

dieser Betrag kaum in Betracht kommen. In den auf die Steinkohlenperiode folgenden Perioden konnten leicht ebensoviele Pflanzen wachsen als vorher und dennoch mußten nicht nothwendig Kohlenflöze daraus entstehen; denn der Bildung eines Kohlenflözes geht eine üppige Vegetation in sumpfigen Gegenden voraus. Fehlt diese Gegend, so fehlt die Hauptbedingung für die Bildung eines mächtigen Flözes. Große Urwälder, an die Jahrtausende hindurch die Art nicht gelegt wird, machen den Boden bituminös, aber Kohlenlager erzeugen sie nicht. So finden wir denn auch in den Schieferen und Kalksteinen der späteren Perioden bedeutende Quantitäten bituminöser Substanzen, aber nur selten abbauwürdige Kohlenlager. Der Bitumengehalt dieser Gesteine erreicht nicht selten 10 %. Wäre es möglich, den Kohlenstoffgehalt dieser Gesteine zu concentriren, so könnten in Anbetracht ihrer Mächtigkeit ansehnliche Flöze daraus gebildet werden.

Noch ein anderes Moment mag in Betracht kommen. Wir wissen, daß die Pflanzen die Kohlenensäure der Luft zersetzen, den Kohlenstoff der Säure zum Aufbau ihrer Organe verwenden, den Sauerstoff aber der Atmosphäre zurückgeben. Aller Kohlenstoff, der in der Erde vergraben liegt, ist der Luft entzogen worden. Die Luft wurde dadurch reicher an Sauerstoff, ärmer an Kohlenstoff. Die feste Erde war vor der Steinkohlenzeit von Thieren noch nicht bewohnt. Es ist möglich, daß die Ursache hiervon in dem Mangel an Sauerstoff und dem Ueberfluß an Kohlenensäure zu suchen ist. Der Ueberfluß an Kohlenensäure hat ohne Zweifel einen nicht unbedeutenden Antheil an der Leppigkeit der Vegetation in der Kohlenperiode gehabt. Daher ist nichts natürlicher, als daß die späteren Perioden in gleich langer Zeit so mächtige Kohlenlager zu bilden außer Stande waren. Die Kohlenensäure unserer jetzigen Atmosphäre enthält ungefähr 1400 Billionen Kilogr. Kohlenstoff. Denkt man sich diese Quantität auf die Oberfläche der ganzen Erde vertheilt, so bildet sie eine 2 Millim. dicke Lage von Kohlenstoff. *) Der Kohlenstoff, der in der Erde vergraben liegt, in ähnlicher Weise auf der Oberfläche der Erde vertheilt gedacht, würde eine weit dickere Schicht liefern; denn hier käme nicht nur der Kohlenstoff in Betracht, der in Form von Flözen

*) G. Bischof, Lehrb. der Geologie. Bd. 1. S. 261.

in der Erde liegt, sondern auch jener, der im Asphalt, im Erdöl und in allen bituminösen Gesteinen enthalten ist. Die Dicke dieser Schicht läßt sich unter einer gewissen Voraussetzung leicht berechnen. Nach der früher vorgetragenen Erdbildungstheorie war die Erde einmal heißflüssig. Chemische Verbindungen existirten in jener Zeit wahrscheinlich nicht, sie wurden erst möglich bei fortschreitender Abkühlung. Kohlenstoff und Sauerstoff konnten aber bei einer gewissen, noch ziemlich hohen Temperatur nicht neben einander bestehen, ohne sich zu Kohlensäure zu verbinden. Nehmen wir an, sämmtlicher Sauerstoff, der jetzt in der Atmosphäre sich findet, sei ehemals in Form von Kohlensäure in der Luft gewesen und sei durch Pflanzen aus Kohlensäure allmählig abgeschieden worden, während der Kohlenstoff in der Erde niedergelegt wurde, so berechnet sich ein Quantum Kohlenstoff, das die ganze Erdoberfläche 72 Centimeter dick umhüllen könnte.

Die Dauer der Steinkohlenperiode kann mit Sicherheit nicht angegeben werden, weil die zur Rechnung nothwendigen Daten fehlen. Unter gewissen Voraussetzungen kann man indessen Zahlen angeben, welche uns einen Begriff von der Länge dieser einen Periode zu verschaffen geeignet sind. Chevandier ermittelte die mittlere jährliche Production von zwei Buchenholzwäldern nach einem 63 jährigen Durchschnitt. Daraus berechnete er, daß die Vegetation unserer Wälder in 100 Jahren so viel Kohlenstoff liefert, als eine Steinkohlenschicht von gleicher Horizontalausdehnung und von 16 Millimeter Höhe Kohlenstoff enthält. Bei der Vermoderung der Pflanzensubstanzen verschwindet bekanntlich eine große Quantität von Kohlenstoff in Form von Kohlensäure und von Kohlenwasserstoff. Nehmen wir nun an, die Vegetation der Pflanzen in der Steinkohlenperiode lieferte in derselben Zeit ein gleiches Quantum von Kohlenstoff wie die jetzige Vegetation, es sei dagegen bei der Vermoderung der niedergelegten Pflanzensubstanzen ein Verlust an Kohlenstoff damals nicht entstanden, so finden wir leicht, daß zum Wachsen des Pflanzmaterials, aus dem die sämmtlichen Kohlenflöze bei Saarbrücken von 106 Meter Gesamtmächtigkeit entstanden sind, ein Zeitraum von 662500 Jahren nothwendig war.

Es könnte leicht scheinen, daß dieser Zeitraum wegen der ersten Annahme viel zu groß ausgefallen ist, weil doch ohne Zweifel damals in

derselben Zeit weit mehr Kohlenstoff abgeschieden werden konnte als heute. Bedenkt man aber, welche großen Quantitäten von Kohlenstoff bei der Vermoderung in Form von Kohlen säure und Kohlenwasserstoff abgeschieden werden, so wird die erste Annahme durch die zweite so ziemlich compensirt. Auch muß man nicht glauben, daß die Gesamtmächtigkeit der Flöze bei Saarbrücken einzig in ihrer Art sei. Nach Le-Plah sind am Donetz 225 verschiedene Flöze mit einer Gesamtmächtigkeit von 135 Meter nachgewiesen.*) In diesen 662500 Jahren ist nicht einbegriffen die Zeit, die zur Bildung der Sandstein- und Schieferthonschichten, welche die einzelnen Flöze von einander trennen, nothwendig war. Bei Saarbrücken beträgt die Gesamtmächtigkeit dieser Schichten 6174 Meter. Sie sind, darüber kann gar kein Zweifel sein, durch Strömungen abgelagert worden; die sandigen durch stärkere Strömungen als die thonigen. Die feinen Thontheilchen bleiben außerordentlich lange im Wasser suspendirt, ehe sie zu Boden sinken. Bedenkt man nun, daß die Schieferthone bei Saarbrücken vorwalten, bedenkt ferner die außerordentliche Mächtigkeit dieser Schichten, so kommt man zu der Ueberzeugung, daß die Bildung derselben einen Zeitraum, vielmal größer als 662500 Jahre, erforderte. Eine so ungeheuer lange Zeit beanspruchte allein die Bildung der productiven Steinkohlenformation.

*) Naumann, Lehrb. der Geogn. 2. Bd. S. 502.

Vierzehnter Vortrag.

Ueber das Alter des Menschengeschlechts.

Die Frage nach dem Alter des Menschengeschlechts beschäftigt schon Jahrhunderte lang die denkenden Köpfe. So lange man aber die Bibel und nicht die Natur zu Rathe zog, kam man über ein vages Vermuthen nicht hinaus. Erst als man anfing in den Schichten der Erde nach menschlichen Werkzeugen und menschlichen Gebeinen mit Erfolg zu suchen, erhielt man Anhaltspunkte für die Lösung jener Frage. Der Geologie fiel nun die Aufgabe zu, aus diesen Funden zuverlässige Folgerungen zu ziehen.

Die Geologie sucht die Geschichte der Erde zu enträthseln aus jenen Denkmälern — den Versteinerungen — die in den Schichten vergraben liegen. Auf Grund dieser Versteinerungen hat sie jene Perioden aufgestellt, die früher mitgetheilt worden sind (Seite 10). Wollen Sie erfahren, in welcher Periode menschliche Gebeine und Kunsterzeugnisse zu erwarten sind, so muß ich eine kurze Charakteristik dieser Perioden vorausschicken.

In den ältesten Schieferen finden sich schon Abdrücke von Pflanzen (Algen), aber nicht von Thieren, was beweist, daß die Pflanzen auf der Erde früher vorhanden waren als die Thiere. Die Pflanzen zeigen noch eine sehr einfache Organisation. Erst allmählig, im Laufe von Millionen von Jahren, haben sie sich zu jener Mannigfaltigkeit entwickelt, die wir heute bewundern. So verhält es sich auch mit den Thieren. Pflanzen wie Thiere waren im Anfang auf das Meer beschränkt. Da wo uns die Thiere zum erstenmale in größerer Anzahl entgegenreten, in der silurischen

Formation, sind sie schon hoch organisirt. Der Unterschied zwischen den Thierformen am Aequator und denen nach dem Pole hin tritt indessen weit weniger hervor als jetzt. Man hat daraus geschlossen, daß ein Temperaturunterschied auf der Erde damals noch nicht existirte, oder daß er ganz unbedeutend war. Unter den Thieren der Silurzeit zeichnen sich aus die Trilobiten, Graptolithen, Cephalopoden, Korallen und Crinoiden. Gegen Ende der Periode erscheinen zum erstenmale die Wirbelthiere in der Form von Fischen, die in der devonischen Periode zahlreich und mannigfaltig werden.

Während aus der silurischen Formation nur Meerespflanzen und Meeresthiere bekannt sind, begegnen wir in der devonischen Formation zum erstenmale neben diesen auch Landpflanzen — Coniferen, Farne und Calamiten. — Anfangs vereinzelt auftretend, breiten sie sich weiter und weiter aus und erreichen in der Steinkohlenperiode, begünstigt durch das feuchte und zugleich warme Klima, eine Ueppigkeit und Fülle, wie in keiner späteren Periode. Ihre Reste bilden unsere heutige Steinkohle. Die meisten Arten jener Pflanzen sind ausgestorben; nur einige — die Farne, die Bärlapp, die Schachtelhalme — haben sich bis auf unsere Zeit erhalten; ihre Dimensionen aber, gegen jene in der Steinkohlenperiode gehalten, sind zwerghaft zu nennen. Sparsam und vereinzelt treten in der Steinkohlenperiode die ersten Reptilien und landbewohnenden Thiere auf. Vor der Steinkohlenperiode, hat man gesagt, konnten Landthiere wegen des großen Kohlensäuregehaltes der Luft noch gar nicht existiren; die Pflanzen mußten ihnen vorausgehen, mußten die Luft sauerstoffreicher und kohlen-säureärmer machen. Ohne Zweifel fiel der Pflanze dieser Reinigungsproceß zu, aber ihr nicht allein. Die Kohlensäure selbst zersetzt mit Hilfe des Wassers im Laufe großer Zeiträume die festesten Silicate. Indem sie Kieselsäure ausscheidet verbindet sie sich mit den Alkalien und alkalischen Erden zu kohlensauren Salzen. Die mächtigen Kaltgebirge der Erde geben von der Bindung der Kohlensäure nicht minder bereytes Zeugniß als die gewaltigsten Steinkohlenflöze.

Die Secundärzeit, die vom Schluß der Steinkohlenzeit bis zum Schluß der Kreidezeit reicht, kann kurz als die Zeit der Amphibien bezeichnet werden. Die sonderbarsten Schildkröten und Saurier oft von riesiger Größe (13 Meter) mit furchtbaren Gebissen begegnen uns hier.

Auch die ersten Säugethiere, Beuteltiere von kleiner Gestalt, und Vögel treten jetzt auf, um nicht wieder zu verschwinden. Von den Vögeln finden sich sonderbarer Weise versteinerte Fußtapfen. Nach diesen zu urtheilen müssen einige noch weit größer als der Vogel Strauß gewesen sein. Zum Fliegen waren sie daher ungeschickt. Indessen hat man in den lithographischen Schieferen von Solenhofen auch den ersten Repräsentanten der Flugvögel, den *Archaeopteryx macrurus*, gefunden. Dieser unterscheidet sich von allen jetzt lebenden Flugvögeln durch den Bau seines Schwanzes und seines Beckens, in welchem er sich den langschwänzigen fliegenden Sauriern anschließt. Die Vegetation war im Allgemeinen arm und einförmig. Von klimatischen Unterschieden ist auf der ganzen Erdoberfläche noch immer nichts zu bemerken. Erst in der Tertiärzeit wird dieser Unterschied merklich.

In dieser Tertiärzeit ist von den großen Sauriern nichts mehr zu bemerken. Die Thierwelt gestaltet sich mannigfaltiger und die Säugethiere die in der vorhergehenden Periode nur sporadisch auftraten, sind die Beherrscher dieser Zeit. Anfangs noch in kleineren Formen auftretend, erscheinen in der mittleren Tertiärzeit Repräsentanten von riesiger Größe, das *Dinotherium*, das *Mastodon*, Pflanzenfresser mit einem Rüssel, ähnlich dem der Elephanten. Auch reißenden Thieren von ungewöhnlicher Stärke mit 20 Centimeter langen dolchförmigen Zähnen (*Felis smilodon*) begegnen wir. Die Pflanzenwelt nähert sich gleichfalls in der Tertiärzeit mehr und mehr der unserigen. So war denn alles vorbereitet für die Erscheinung des Menschen. Zwar sind unbestrittene menschliche Ueberreste oder Werkzeuge aus der Tertiärzeit bis jetzt nicht bekannt, doch ist es kaum zweifelhaft, daß das weitere Suchen nach diesen in den Tertiärschichten von Erfolg gekrönt sein wird.

Aus der folgenden Periode, der Quartärperiode, sind zahlreiche menschliche Ueberreste und Werkzeuge bekannt. Die Quartärzeit theilt man ein in die vorhistorische — Diluvialzeit oder Pleistocänzeit — und in die historische Zeit. In die Diluvialzeit fällt auch die früher besprochene Eiszeit. Die Thiere und Pflanzen der Diluvialzeit nähern sich noch mehr denen der Jetztzeit, als jene aus der Tertiärzeit. Viele Thierarten aus der Diluvialzeit haben sich bis heute erhalten, andere sind ausgestorben. Die wichtigsten Arten, die entweder jetzt ganz erloschen sind, oder deren

geographische Verbreitung seit dem Auftreten des Menschen bedeutend eingeschränkt worden ist, sind folgende:*)

Ursus spelaeus (Höhlenbär).

Ursus priscus.

Hyaena spelaea (Höhlenhyäne).

Elephas primigenius (Mammuth).

Elephas antiquus.

Rhinoceros tichorhinus.

Rhinoceros leptorhinus.

Rhinoceros hemitaechus.

Hippopotamus major (Flußpferd).

Ovibos moschatus (Moschusochs).

Megaceros hibernicus (irischer Riesenhirsch).

Equus fossilis (wildes Pferd).

Gulo luscus (Büchse).

Cervus tarandus (Kenthier).

Bison Europaeus (lithauischer Auerochs).

Bos primigenius (Urstier).

Die Knochen dieser Thiere werden mit menschlichen Werkzeugen und Ueberresten zusammen in Höhlen und Flußanschwellungen gefunden und zwar hauptsächlich in Frankreich, England, Belgien, Deutschland, Italien und der Schweiz. Unter den aufgezählten Thieren sind viele Dickhäuter, die auf ein wärmeres Klima als das heutige hinweisen; es sind aber auch Thiere darunter — Kenthier, Moschusochse, die nebst Lemming und Murmelthier nur in einem kälteren Klima gedeihen konnten. Die Thierwelt der Diluvialzeit deutet also auf ein wärmeres und auch auf ein kälteres Klima. Nicht doch, könnte man sagen, denn die damaligen Dickhäuter, namentlich das *Rhinoceros* und das *Mammuth*, waren durch ein dickes Haarkleid gegen Kälte sehr wohl geschützt. Man weiß das ganz genau; denn in Sibirien sind sie eingefroren mit Haut und Haar im Eise gefunden worden. *Rhinoceros* und *Mammuth* deuten folglich ein kaltes, keineswegs ein warmes Klima an. Sehr wohl. Aber wie ist es mit dem *Flußpferd*? Mit dem *Flußpferd*? — Nun, das hatte vielleicht

*) Lubbock, die vorgeschichtliche Zeit, übers. von Passow. Jena, Costenoble 2 Bde.

zum Schutz gegen Kälte auch ein dickes Haarkleid. Aber denken Sie doch an den Namen Flußpferd! Wo lebt es denn? — Doch in Flüssen. Wenn nun diese Flüsse ein halbes Jahr lang zugefroren waren? Nun, dann wanderte es aus. Ein so schwerfälliges Thier? — Warum denn nicht? — Aber wohin denn? Nach Frankreich. — In Frankreich waren auch die Flüsse gefroren. Nach Italien. — Auch hier herrschte Kälte. Aber wer weiß denn genau, wie damals das Land aussah. Kann es nicht gewesen sein wie an der Westküste von Südamerika im Meerbusen von Penas 47° S. Br.? Hier steigen, wie Darwin angibt, die Gletscher bis zur See herab, während 9° davon entfernt Palmen wachsen, 2½° davon üppige baumartige Gräser gedeihen und nur 1° davon Baumsarn wuchern? Möglich ist es, daß auch in Frankreich ähnliche Verhältnisse waren, möglich ist es freilich auch, daß das Flußpferd bis nach Afrika auswanderte. Bei der Besprechung der Eiszeit haben wir gehört, daß in der Schweiz die Verhältnisse auf zwei Eiszeiten deuten, oder wenn man will auf eine Eiszeit, in welcher sich aber das Eis einmal sehr bedeutend zurückziehen genöthigt wurde. Und durch wen genöthigt wurde? Sehr wahrscheinlich durch warme Luftströmungen, die ein wärmeres Klima im Gefolge hatten. Kann es nicht sein, daß gerade in dieser Zeit das Flußpferd in englischen Flüssen sich tummelte? Auch das ist möglich, aber eine Schwierigkeit liegt unverkennbar vor, und eine endgiltige Entscheidung hier zu treffen, dürfte so schnell nicht gelingen. Da viele Thierknochen mit menschlichen Werkzeugen in Höhlen gefunden werden, so werden Sie fragen: Wie sind diese Höhlen entstanden und in welcher Gebirgsart kommen sie vor? Nur wenige Gebirgsarten gibt es, in denen Höhlen, größere oder kleinere, nicht vorkommen; am häufigsten kommen sie aber im Kalk, im Dolomit und im Gyps vor; denn diese Gesteine werden von kohlensäurehaltigem Wasser, Gyps, schon von gewöhnlichem Wasser aufgelöst, und Wasser spielt eine Hauptrolle bei der Bildung der Höhlen. Ueberall wo Hebungen und Senkungen vorkommen, bilden sich unregelmäßige Spalten. In diese Spalten tritt das Wasser und verändert sie, indem es hier mechanisch mitgerissene Theile absetzt, und dort Gesteinstheilchen auflöst. Nehmen Sie ein Buch zur Hand und schieben Sie eine Lage von Blättern zusammen. Sogleich bemerken Sie zahlreiche Höhlungen, und wären die Blätter so wenig elastisch wie Kalkstein, Sie würden auch sehen, daß diese

Höhlungen durch Spalten mit einander communiciren. Durchschneidet nun ein Fluß ein durch Hebungen geknicktes, gefaltetes und gebrochenes Gebirge, so treten an den Ufern des Flusses die Eingänge der Höhlen hervor.

Man muß nicht glauben, daß die Auffindung der Knochen in den Höhlen so ganz neu ist. Sie wurden schon vor vielen Jahrhunderten gefunden und gaben durch ihre Größe und Sonderbarkeit Veranlassung, wie es scheint, zu den Sagen von Riesen und Drachen. Die Bewohner Sibiriens z. B. halten die Reste von Rhinoceros und Mammuth für die eines Riesenvogels, der das Land früher verwüstete. Die Hörner des Rhinoceros sollen die Klauen des Vogels gewesen sein.

Die mittelalterlichen Sagen vom Vogel Greif haben ihre Wurzel in den fossilen Knochen des Rhinoceros und Urstiers. Die Hörner dieser Thiere waren bekannt als die Klauen des Vogels Greif und wurden als große Seltenheit in Gold oder Silber gefaßt, mit edlen Steinen verziert und wohl verwahrt. Auch die Drachensagen stehen wohl mit fossilen Knochen in Zusammenhang. Bei den Chinesen wird eine Gebirgsecke, die der Hoang-ho durchbricht, Drachenthor genannt. Hier sind nämlich zahlreiche Reste vorweltlicher Thiere zusammengeschwemmt, die man früheren Drachen zuschreibt.

In Mexico schreibt man die fossilen Knochen des Mammuth großen Riesen zu. Als man i. J. 1577 im Canton Luzern mehrere Knochen von Mammuth fand und sie dem Arzte Plater in Basel zur Untersuchung vorlegte, erklärte dieser sie für die Ueberreste eines 5 Meter hohen Riesen. Die Luzerner hatten nichts Eiligeres zu thun, als diesen vermeintlichen Riesen zum Schildhalter ihres Cantonswappens zu erheben. Selbst die Kirche bemächtigte sich dieser fossilen Knochen und suchte sie in ihrer Weise zu verwenden. Noch im Jahre 1789 trugen die Chorherren des heiligen Vincent den Schenkelknochen eines Mammuth bei Processionen umher, um durch den Arm dieses mächtigen Heiligen dem ausgedörrten Lande Regen zu erslehen. In Valencia wurde sogar der Backenzahn eines Mammuth als Reliquie des heiligen Christoph verehrt.*)

So verkannte man gänzlich und allgemein diese Knochen, bis ein

*) W. Bär u. F. v. Hellwald, der vorgeschichtliche Mensch. S. 35 ff.

Mann auftrat, ausgerüstet mit Kenntnissen und Scharfsinn genug, um das Dunkel, das diese Knochen einhüllte, zu verschuchen. Dieser Mann war Cuvier, der Schöpfer der wissenschaftlichen Paläontologie.

Ein gründliches Studium der Knochen lebender Thiere befähigte ihn, aus einem vorgelegten Knochen, ja aus einem Knochenbruchstück, die Thierart, der es angehörte, zu bestimmen. Ein gleiches Studium der fossilen Knochenreste befähigte ihn, die Thiere der Vorwelt zu classificiren, ihre Unterscheidungsmerkmale und ihre Verwandtschaft untereinander und mit den jetzt Lebenden auf das Bestimmteste anzugeben, ja die Thiere, die keines Menschen Auge je gesehen, aus wenigen Knochen vollkommen zu construiren.

Weil aber unter den ihm bekannt gewordenen fossilen Knochen kein einziger Menschenknochen sich befand, so stellte er den Satz auf: Es gibt keine fossilen Menschenknochen, denn sonst hätten sie eben so gut erhalten bleiben müssen, als die der anderen Thiere. Und dieser Satz, von einem so bedeutenden Manne ausgesprochen, war lange Zeit ein großes Hinderniß in der Erforschung fossiler menschlicher Knochen. Man suchte gar nicht nach ihnen, denn Cuvier hatte ja gesagt, es gibt keine.

Zwar gab es Männer, die Cuvier widersprachen, sie konnten aber mit ihrer Ansicht nicht durchdringen, weil ihnen unzweifelhaft fossile menschliche Knochen nicht zu Gebote standen. So stand eine Behauptung der anderen gegenüber und es ist nicht zu verwundern, daß die Ansicht die meisten Anhänger gewann, die von der größten Autorität, von Cuvier, ausging.

Im Jahre 1828 entdeckte Dournal in der Höhle von Vize (Dep. Aude) menschliche Knochen und Zähne, gebettet in Lehm und Kalkfäule, in welchen sich auch Knochen von lebenden und ausgestorbenen Säugethieren befanden, nebst Stücken roher Töpferarbeit und Muscheln von lebenden Arten. Die menschlichen Knochen befanden sich in demselben chemischen Zustande, wie die Knochen der sie begleitenden Säugethiere.*) Ein Jahr später entdeckte Christol in der Höhle von Pondres bei Nîmes Menschenknochen, zusammen mit dem Knochen des Höhlenbären, der Höhlenhyäne und des Rhinoceros, also zusammen mit unzweifelhaft ausgestor-

*) Lyell, Das Alter des Menschengeschlechts.

benen Thieren. Beide Forscher trugen kein Bedenken zu erklären, daß den menschlichen Knochen nach Lage und chemischer Beschaffenheit dasselbe Alter zugesprochen werden müsse, als den Knochen der ausgestorbenen Vierfüßer. Allein zwei isolirt stehende Thatfachen konnten das langjährige Vorurtheil nicht brechen, zumal die Möglichkeit, daß die menschlichen Gebeine viel später hierher begraben, und mit den Resten ausgestorbener Thiere vermischt worden sind, nicht ausgeschlossen blieb. Es mußten neue und zahlreiche Beobachtungen gemacht werden, ehe die Ansicht von dem hohen Alter des Menschengeschlechts durchdringen konnte. Und nicht lange sollte man auf sie warten.

Der kenntnißreiche Anatom und Paläontologe Schmerling in Lüttich hatte viele Jahre der Erforschung von Knochenhöhlen in den Thälern der Maas gewidmet. Und da er Höhlen wählte, die noch ganz unberührt waren, so hatten seine im Jahre 1832 veröffentlichten Untersuchungen mehr Gewicht als die seiner Vorgänger. In der

Engishöhle

fand er die Ueberreste von 3 menschlichen Individuen. Der Schädel des einen lag neben einem Mammuthszahn. Er war vollständig, aber so zerbrechlich, daß er bei der Ausgrabung beinahe ganz in Stücke zerfiel. Ein zweiter Schädel fand sich 5 Fuß tiefer in einer Breccie*) neben Rhinoceroszähnen und diesen Schädel brachte Schmerling ziemlich wohl erhalten an das Tageslicht. In der Höhle von Engihoul fand er gleichfalls Menschenknochen, gemischt mit den Ueberresten ausgestorbener Thierarten. Auch rohe Steininstrumente, bearbeitete Knochen, Landmuscheln und Knochen von Süßwasserfischen und Vögeln fanden sich in der Höhle. Außer den genannten Höhlen untersuchte Schmerling noch an 40 andere mit demselben Erfolge; und er gewann aus seinen Beobachtungen die Ueberzeugung, daß der Mensch in dem Lütticher Gebiet Zeitgenosse des Höhlenbären und anderer ausgestorbener Vierfüßer gewesen sein müsse.**) So entschied er aber auch seine Ueberzeugung vertrat, so wenig Anhänger fand er unter seinen Zeitgenossen. Und doch verdienten Schmer-

*) Unter Breccie versteht man Gesteinsfragmente, die durch ein Bindemittel zusammenge kittet sind.

**) Lyell, das Alter des Menschengeschlechts, übersetzt von Büchner S. 33.

lings Forschungen alle Beachtung. Nicht nur waren die von ihm untersuchten Höhlen noch unberührt, ein Theil derselben war auch gänzlich unzugänglich, so daß sich Schmerling an einem Seile in dieselben hinablassen und dann bisweilen auf allen Vieren kriechen mußte, um an Ort und Stelle zu kommen. Die Möglichkeit, daß menschliche Gebeine hier begraben worden wären, war daher vollständig ausgeschlossen. Auch befanden sich die fossilen menschlichen Knochen in demselben chemischen Zustande wie die der ausgestorbenen Säugethiere. Wie kamen aber diese Knochen in die Höhlen? — Sehr wahrscheinlich durch Spalten, die mehr oder weniger geneigt, eine Communication zwischen der Höhle und der Oberfläche vermittelten. Wasser, das längere Zeit seinen Lauf durch die Spalten genommen haben muß, schwemmte die Knochen hinein. Die Spalten verstopften sich im Laufe der Zeit durch Sand und Kies und so wurde das Ausgehende derselben verdeckt und unsichtbar. Unter den Knochen waren einige gerundet, wie die sie begleitenden Kiesel, zum Beweise, daß sie im fließenden Wasser längere Zeit von Ort zu Ort gerollt worden sind. Warum aber sind diese Knochen in der langen Zeit nicht zersezt, nicht zerfallen? Weil Luft und Feuchtigkeit keinen Zutritt zu ihnen hatten. Sobald nämlich die Spalten verstopft und folglich das Wasser nicht mehr durch die Höhlen fließen konnte, tropfte kohlen säurehaltiges Wasser, das kohlen sauren Kalk aufgelöst hatte, langsam von der Decke und den Wänden auf den Boden. Dabei blieb jeder Tropfen eine Zeit lang mit Luft in Berührung, verlor einen Theil seiner Kohlen säure und die Folge davon war ein entsprechender Niederschlag von kohlen saurem Kalk. Dadurch wurden Lehm, Sand, Kies und Knochen zunächst fest verkittet, dann aber bedeckt mit einer für Luft und Wasser undurchdringlichen Schicht von kohlen saurem Kalk (Tropfstein).

Im Jahre 1864 untersuchte Düpont auf Veranlassung der belgischen Regierung die Höhlen im Lesse-Thal. Da, wo sich dieses Flüsschen mit der Maas vereinigt, wurden 43 Höhlen untersucht. Von diesen lieferten 25 Spuren menschlicher Thätigkeit. Rohe Kieselinstrumente fanden sich zusammen mit Mammuth und Rhinoceros tichorhinus. In einer der Höhlen, dem Trou de la Naulette, fand man eine menschliche Kinnlade, deren Bau nach Düpont auf menschliche Geschöpfe von noch tiefer stehender

Bildung hinweist, als die niedrigsten lebenden Menschenrassen. Schmerlings Beobachtungen und Schlüsse wurden damit vollständig bestätigt.

Unter allen bis jetzt gefundenen Schädeln ist derjenige, welcher in einer Höhle des Neanderthals (bei Düsseldorf) von Dr. Fuhlrott gefunden worden ist, bei weitem der interessanteste. Thierreste wurden unter oder neben ihm nicht gefunden, sodaß leider das Alter des Schädels unbestimmt bleibt. Mit dem Schädel verbunden fanden sich auch noch die übrigen Skeletttheile. Von diesen bewahrten die Arbeiter indessen nur die größeren nicht die kleineren Knochen. Diese Knochen hatten durch die Länge der Zeit alle organische Materie so vollständig verloren, daß sie an der Zunge kleben.*) An dem Menschen Schädel, sowie auch an den Knochen befinden sich Dentriten,**) zum Beweise, daß sie lange in der Erde müssen gelegen haben. Damit ist indessen in Betreff des Alters so gut wie nichts gesagt, da auch Römerknochen mit Dentriten gefunden worden sind. Wichtiger ist schon, daß Huxley, der im Jahre 1870 die Höhle besuchte, auf dem Boden derselben Rhinocerosknochen fand. Aber auch damit ist nicht viel bewiesen, weil Mensch und Rhinoceros hier nicht zusammen gefunden worden sind. Höchst interessant ist indessen, daß in einer wissenschaftlichen Versammlung, welcher der Schädel sammt den Knochen zur Untersuchung vorgelegt worden ist, anfangs Zweifel entstanden, ob man es hier wirklich mit menschlichen Knochen zu thun habe. So sehr wich der Schädel des Neanderthalmenschen von allen bekannten Schädeln ab. Professor Schaaffhausen, der den Schädel zuerst und am genauesten untersucht hat, äußert sich dahin, daß die ungewöhnliche Entwicklung der Stirnhöhlen, die mit der Stärke der übrigen Knochen des Skeletts in einem unverkennbaren Zusammenhange steht, einen Rassentypus andeutet. Sie läßt auf eine ungewöhnliche Kraft, auf eine geringe Entwicklung des Gehirns und dem zufolge wohl auch auf eine so tief stehende Bildungsstufe schließen, wie sie heute auch bei den rohesten Völkern nicht leicht angetroffen werden wird. Huxley, der den Schädel später untersuchte, äußert sich so: „Die Länge des Schädels beträgt 8 Zoll, die äußerste Breite 5,75 Zoll, die Höhe aber nur 3,4 Zoll. Sein horizontaler Um-

*) Lyell, das Alter des Menschengeschlechts. S. 43.

**) strauchartige schwarze Zeichnungen.

fang beträgt 23 Zoll, was zum Theil von der sehr starken Entwicklung der Augenbrauenbogen und der Stirnhöhlen herrührt. Die dadurch erzeugte Hervorragung läßt den Vorderkopf noch etwas niedriger und zurückweichender erscheinen als er wirklich ist. Es kann kein Zweifel darüber sein, daß dieser Schädel der thierähnlichste von allen bekannten Menschenschädeln ist, indem er dem Affenschädel nicht nur in der außerordentlichen Entwicklung der Augenbrauenbogen und der nach vorne gerichteten Ausdehnung der Augenhöhlen, sondern auch in der niedergedrückten Form der Hirnschale, der geraden Richtung der Schuppennaht und in dem abgeflachten Stand des Hinterhaupts von den oberen Hinterhauptsleisten an gleicht. Trotz alledem muß der Schädel nach den Messungen einen Inhalt von wenigstens 75 englischen Cubitzoll gehabt haben, ein Inhalt, welcher den niedrigsten bei Europäern (55 Cubitzoll) und bei Hindus (46 Cubitzoll) noch übertrifft, während der umfangreichste der bis jetzt gemessenen Europäerköpfe einen Inhalt von 114 Cubitzoll hatte.“ Aus dem bedeutenden Inhalt des Schädels könnte man leicht schließen, es sei mit der Intelligenz des Neanderthalmenschen doch nicht so schlimm gewesen. Allein man muß bedenken, daß nicht alle Theile des Gehirns in unmittelbarer Beziehung zur Intelligenz stehen, und daß Wägungen und Messungen des Schädelinhaltes nur den allerrohesten und unvollkommensten Maßstab für die geistige Werthbestimmung abgeben können. Andererseits muß man nicht vergessen, wie schwer, ja unmöglich es ist, ein richtiges Urtheil über die geistige Begabung aus dem Schädel allein abzugeben, weil alle jene sprechenden Züge, die sich an den Augen, der Stirne, dem Munde u. s. w. zeigen, verloren sind, und weil die geistige Gewandtheit eines Menschen an der Sprache und Sprechweise erst richtig erkannt wird.

Daraus erklärt sich das ganz entgegengesetzte Urtheil, welches Vogt und Huxley über den von Schmerling entdeckten Schädel aus der Engishöhle, dessen hohes Alter durch die gleichzeitig gefundenen Knochen ausgestorbener Thiere unzweifelhaft festgestellt ist, abgegeben haben. Huxley sagt darüber: Es ist kein Merkmal niederer Entwicklung in irgend einem Theile seines Baues bemerkbar. Es ist in der That ein guter mittlerer menschlicher Schädel, der sowohl einem Philosophen angehört, als auch das gedankenlose Hirn eines Wilden enthalten haben kann.“ Vogt dagegen erklärt, daß dieser

Schädel zwischen dem Schädel des Australiers und dem des Eskimo ungefähr in der Mitte stehe. Die ausnehmende Schmalheit des Schädels bei geringer Höhe bedingt nach ihm eine verhältnißmäßig sehr geringe Hirncapacität. Nur das Vortreten der sehr genäherten Stirnhöcker läßt die Stirne etwas gewölbt erscheinen. Von da an ist aber die Wölbung sehr flach und waren die Vorderlappen des Gehirns gewiß nur sehr wenig ausgebildet. Alles dieses ist aber mehr individuell, während der Charakter der eigentlichen Rassenbildung in dem Verhältniß der Länge zur Breite liegt und hinsichtlich dieses Punktes hält Vogt den Engis Schädel nach dem Neanderthals Schädel für einen der am meisten thierisch gebildeten, affenähnlichsten Schädel.

Zu den Höhlen, die ganz besondere Resultate geliefert haben, gehört

Die Kent's Höhle,

die zuerst von dem katholischen Priester Mac-Energy untersucht wurde. Sie liegt in der Nähe von Torquay und lieferte Knochen von Mammuth, Höhlenbär und anderen ausgestorbenen Säugethieren nebst Feuersteinwerkzeugen, von denen Energy vermuthete, daß sie sehr alt sein müßten. Energy starb, ehe er seine Untersuchungen veröffentlichen konnte. Als sie später bekannt wurden, zeigte es sich, daß er auch mehrere Zähne des *Ursus cultridens* (*Machairodus latidens*) gefunden hatte, eines großen Fleischfressers. Die Reste dieser Thiergattung waren bis jetzt nur in den Tertiärbildungen und zwar hauptsächlich in den miocenen Ablagerungen entdeckt worden. Dies war eine Sache von der höchsten Wichtigkeit und die Britische Gesellschaft unternahm es zur weiteren Aufklärung, eine erneute Untersuchung der Kent's Höhle im Jahre 1864 anzuordnen. Durch dieselbe wurden die Angaben Energy's bestätigt; denn nach 8jährigem Suchen fand man einen Schneidezahn des *Ursus cultridens* mit Steinwerkzeugen und Knochen anderer ausgestorbener Thiere zusammen, was beweist, daß der Mensch Zeitgenosse des *Ursus cultridens* (*Machairodus latidens*) gewesen ist. Die Art dieses *Ursus* stimmt indessen mit der in den Tertiärschichten gefundenen Art nicht überein, so daß man darnach mit Bestimmtheit nicht behaupten kann, der Mensch habe schon in der Tertiärzeit gelebt. Die Aufeinanderfolge der Schichten in der Kent's Höhle ist von oben nach unten folgende:

1) Große, vom Dach der Höhle herabgefallene und bisweilen durch Tropfsteine zusammengebackene Kalkstein-Blöcke.

2) Schwarze Dammerde mit verschiedenen Gegenständen aus dem Mittelalter, aus römisch-britischer Zeit und aus vorrömischer Zeit.

3) Eine Tropfsteindecke, 16—20 Zoll dick, welche an einigen Stellen bis zu 5 Fuß Dicke anwächst und große Stücke von Kalkstein, eine menschliche Kinnlade und die Ueberreste ausgestorbener Thiere enthält.

4) Ein örtlicher Strich von schwarzer Erde mit Holzkohle, anderen Spuren von Feuer und Knochen, sowie Feuersteinwerkzeuge.

5) Rothe Höhlenerde mit paläolithischen Werkzeugen und Knochen und Zähnen ausgestorbener Thiere einschließlich des *Ursus cultridens* (*Machairodus latidens*).

6) Eine zweite Tropfsteindecke 3—12 Fuß dick und nur Bärenknochen enthaltend.

7) Eine Masse von dunkelrothem sandigem Lehm, mit Bärenknochen, 3 Feuersteinwerkzeugen und einem Feuersteinsplitter.*

Alle Ablagerungen von Nr. 3 an gehören der vorhistorischen Zeit an. Ein sicherer Maßstab für das Alter der darauf folgenden Schichten ist nicht vorhanden, weil die Tropfsteinbildung unter Umständen schnell und auch äußerst langsam vor sich gehen kann. Wir müssen uns einzig an das Alter der ausgestorbenen Säugethiere halten. Nach Jahren kann dies leider nicht angegeben werden, doch muß es ein sehr hohes sein.

Zu den weniger berühmten, aber in Bezug auf ihren Inhalt um so interessanteren Höhlen gehört die

Höhle von Lherm im Departement Arriège.

Diese Höhle im Kalkgebirge ist nur von geringer Höhe; sie verzweigt sich nach mehreren Richtungen und wird bald enger, bald weiter. Nirgends findet man Streifen, Riesen, Auswaschungen, die Merkmale fließenden Wassers. Der Boden ist fast überall von einer mächtigen Schicht rothen Lehms bedeckt, der keine Kollsteine enthält und über welche sich an vielen Stellen eine sehr harte und krystallinische Tropfsteindecke ausdehnt.*) Der Eingang zur Höhle war durch große Blöcke fast verschüttet. Er führt

*) Bär und v. Hellwald, der vorgesch. Mensch. S. 78.

zu einer Galerie, die sich in zwei Gänge spaltet. Der Gang zur Rechten führt über mehrere Treppenabstürze tief hinab in einen weiten Saal mit Seitengrotten. Die mächtige rothe Lehmschicht auf dem Boden des Saals ist mit Tropfstein überdeckt. Der Gang zur Linken führt zu einem Absturz, unter welchem sich ein weiter Saal öffnet, dessen Decke jeden Augenblick einzustürzen droht.

In den höher gelegenen Theilen dieser Höhle findet sich am Boden ein Lehm, der durch eine gleichmäßig geneigte Tropfsteindecke verhüllt ist. In diesem Lehm fanden sich mit Zähnen, Schulterblatt, Arm- und Fußknochen des Menschen viele Knochen des Höhlenbären, des alten braunen Bären, einige Ueberreste der Höhlenhyäne, des Höhlenlöwen, eines Hundes, eines Wolfes und einer Hirschart. Die Menschenzähne lagen mitten zwischen Bären- und Hyänenzähnen. Außer den Menschenresten hat man auch Steinwerkzeuge gefunden, ferner einen Röhrenknochen des Höhlenbären, der zu einem schneidenden Werkzeuge umgeformt ist, drei Unterkiefer desselben Thieres, deren aufsteigender Ast mit einem Loche zum Aufhängen durchbohrt war, ferner den Augenzinken eines Hirschgeweihes, der zugespitzt und am Grunde zugeschnitten war.

Die Waffen aber, durch welche diese Höhle ganz besonders interessant wird, bestehen aus 20 halben Kinnladen des Höhlenbären, an welchen der aufsteigende Ast weggeschlagen und der Unterkiefer so weit zugeschnitten wurde, daß er eine bequeme Handhabe bot. Der stark vortretende Eckzahn bildete auf diese Weise einen Backen, der ebensowohl als Waffe, wie als Hacke zum Aufreißen der Erde dienen konnte. Daß diese Kinnladen nicht dem Zufall ihre Form verdanken ergibt sich daraus, daß man die Einschnitte und Sägezüge, welche mit der Schneide eines schlecht geschärften Kieselmessers gemacht worden sind, zählen kann.

Weil sich in dem Lehm viele Excremente der Hyänen, aber gar keine Kollsteine finden, so konnten die hier gefundenen Knochen durch Wasser unmöglich eingeschwemmt worden sein. Es ist vielmehr wahrscheinlich, daß der Mensch abwechselnd mit den wilden Bestien die Höhle bewohnt hat. Besonders interessant sind auch die Spuren von Feuer, die man hier gefunden hat.

Hiermit habe ich Ihnen die interessantesten Höhlen vorgeführt. An sie an schließen sich naturgemäß die Grotten, das sind Vertiefungen im

Gestein, welche noch vom Tageslicht, wenn auch oft spärlich, beleuchtet werden. In der Nähe der Station des Eyzies im Thale der Bezère in Frankreich befindet sich

die Grotte von Cro-Magnon

im Kreideseiten, die gelegentlich der Erbauung einer Eisenbahn entdeckt worden ist. Die Tiefe der Grotte ist 8 Meter, die Breite 17 Meter. Der felsige Boden der Grotte wird überlagert von einer 0,7 Meter hohen Schuttmasse, auf welche eine 0,05 bis 0,15 Meter*) dicke schwarze Schicht folgt, die bearbeitete Feuersteine, Knochen und Kohlenreste enthält, zum Beweise, daß der Mensch in dieser Grotte gewohnt hat. Hierauf folgt eine Schicht von Kalksteintrümmern, dann wieder eine mit Kohlen- und Knochenresten und bearbeiteten Feuersteinen, auf denen wieder Kalksteintrümmer liegen. Die letzteren werden überlagert von Ablagerungen, die zerbrochene, gebrannte und verarbeitete Knochen, bearbeitete Kieselsteine, außerdem Quarz- und Granitgeschiebe aus dem Bette der Bezère enthalten. Hierauf folgt eine Schicht von gelblicher thoniger Erde mit Knochen, mit Instrumenten aus Stein und Knochen und mit Schmuckgegenständen. In dieser gelblichen thonigen Erde fanden sich menschliche Skelete, bedeckt mit einer 4 bis 5 Meter mächtigen Trümmerschicht, deren Bildung allein eine überaus lange Zeit erforderte.

Im Hintergrunde der Grotte wurde ein Greisen Schädel wohl erhalten gefunden. Um ihn herum lagen die Knochen von vier Skeleten, darunter das Skelet einer Frau, deren Schädel auf der Stirnbinde einen tiefen Einschnitt darbot, dem sich eine steinerne Lanzenspitze von demselben Fundorte genau anpaßte. Die Frau war sehr wahrscheinlich ermordet worden. Der Schädel des Greises ist ungewöhnlich groß. Der Längendurchmesser beträgt 202 Millim., der größte Breitendurchmesser 149 Millim., der äußere horizontale Umfang 568 Millim. und der Inhalt 1590 Cubiccentimeter, ein Inhalt, der den heutigen Durchschnittsinhalt übertrifft. Nach oben ist der Schädel keilförmig. Der dritte Schädel, der einem Manne angehört, ist zwar unvollständig, doch läßt er auf eine ebenso große Schädelcapacität schließen. Der vierte Schädel, ebenfalls unvollständig, gehört wahrscheinlich einer Frau an. Die übrigen menschlichen

*) Daer und v. Sellwald, der vorgef. Mensch. S. 106.

Knochen deuten auf einen kräftigen und großen Körperbau. Ein wildes thierisches Aussehen haben die Bewohner dieser Grotte nach dem Schädelinhalt, nach der Entwicklung des Stirnbeins und nach dem schönen elliptischen Profil des Vorderkopfes zu urtheilen, nicht gehabt.

Die Thierknochen, die mit den menschlichen Skeleten vergesellschaftet waren, hatten auch dasselbe Aussehen wie diese. Sie gehörten an dem Höhlentiger, dem Höhlenbären, dem modernen Wolf und Fuchs, dem Mammuth, dem Biesel, zweien Nagethieren aus der Gattung unserer Hasen, der Wildsau, dem gewöhnlichen Hirsch, dem Steinbock, dem Rensthier, dem Auerochsen und dem wilden Pferde.

Mitten unter den menschlichen Resten lagen 200 bis 300 Stück Meermuscheln, die alle durchbohrt waren. Sie stammen von den Ufern der französischen Küste, wo sie heute noch vorkommen und gehören hauptsächlich der *Litorina litorea* an. Wahrscheinlich wurden sie in eine Schnur gefaßt und als Hals- und Armbänder getragen.

In dem Thale der Bezère sind noch viele Grotten von Dartet untersucht und beschrieben worden. Einige davon lieferten Kunstzeugnisse vom höchsten Werthe, die auf das schlagendste darthun, daß der Mensch mit den ausgestorbenen Thieren Mammuth, Höhlenbär u. s. w. zusammen gelebt hat.

Es sind dies Abbildungen von Thieren auf Schieferplatten, auf Elfenbein und auf Horn. Einige verrathen noch große Ungeschicklichkeit, indem die Contouren schwankend und verwischt sind, andere dagegen eine ziemlichke Meisterschaft, denn die Züge sind in den Hauptcontouren fest und kräftig, in den Nebenlinien fein und leicht. Wahrscheinlich wurden diese Zeichnungen mit einem spitzen Feuerstein oder Bergkristalle ausgeführt, nachdem vorher mit Blutstein oder Ocker, der sich vielfach findet, dem Grabstichel die Bahn vorgeschrieben worden war. Einige der abgebildeten Thiere sind, obwohl ihre Contouren scharf und sicher sind, nicht zu enträthseln, die meisten erkennt man indessen sofort. Das interessanteste Stück wurde von Dartet im Mai 1856 in der Grotte

Madelaine, auf dem rechten Ufer der Bezère gefunden.

Es ist eine Elfenbeinplatte, auf der ein vorweltlicher Elephant, ein Mammuth, in schreitender Stellung abgebildet ist. Dartet erzählt: „Im

Augenblick unserer Ankunft entblößten die Arbeiter 5 Bruchstücke einer ziemlich dicken Elfenbeinplatte, die von einem großen Stoßzahn abgelöst sein mußte. Nachdem ich die Bruchstücke den Bruchflächen entsprechend zusammengepaßt hatte, zeigte ich dem Dr. Falconer zahlreiche Striche und wenig tief eingekratzte Linien, die in der Zusammensetzung eine Thierform zu zeigen schienen. Das geübte Auge des berühmten Paläontologen, der besser als irgend Jemand die Rüsselthiere studirte, erkannte augenblicklich den Kopf eines Elefanten. Dann machte er uns auf die übrigen Körpertheile und ganz besonders in der Halsgegend auf ein Bündel von Linien aufmerksam, welches die für das Mammuth oder den Elefanten der Eiszeit so charakteristische Mähne darstellt. Man weiß, daß dieser eigenthümliche Charakter, der den nordischen Aufenthalt der Thiere erklärt, im Jahre 1799 von Adams, Mitglied der Petersburger Akademie an der Leiche eines solchen Elefanten, die nahe an der Venamündung in Sibirien im Eise gefunden wurde, bestätigt werden konnte. In der geologischen Sammlung des Pflanzengartens in Paris kann man ein Haarbüschel von diesem Mammuth sehen.“ Ein Haarbüschel und einige

Linien links vor der Profillinie der Stirn stellen einen zweiten Elefanten vor, der neben dem ersten einherschreitet. Der Künstler muß das Mammuth, das er abbildete, genau gekannt haben und folglich muß das Thier

Fig. 22.



Zeichnung eines Mammuth (*Elephas primigenius*,) auf einer Platte von fossiltem Elfenbein, welche in der knochenführenden Grotte von La Madeleine (Perigord) gefunden wurde.

auch im Thale der Bezère gleichzeitig mit dem Menschen gelebt haben. Das ist unbestreitbar. Und er muß es genau gekannt haben; denn der Künstler läßt den Elefanten in seiner schreitenden Stellung die Beine derselben Seite zu gleicher Zeit aufheben, was auch die Elefanten der Jetztzeit noch thun. Auch die meisten anderen Zeichnungen aus der

Fig. 23.



Fliehende Renthiere.
Zeichnung auf einem
Geweihstück.

Renthierzeit stellen die Thiere in einem Momente der lebhaftesten Bewegung dar. Was Wunder; jene Künstler waren zugleich Jäger und hatten somit ein lebhaftes Gefühl für die Bewegung.

Von dem Höhlenbären sind nur wenige Zeichnungen bekannt. Von diesen mag die Abbildung eines Bärenkopfes auf einem Geweihstück erwähnt werden. Fischzeichnungen finden sich ziemlich häufig; Reptilien und Pflanzen scheinen dagegen gar nicht und Vögel nur sparsam abgebildet worden zu sein.

Von einer Zeit, in der die Kunst gepflegt worden ist, darf man erwarten, daß auch die Industrie eine entsprechende Ausbildung werde erlangt haben. Man darf erwarten, daß in jener Zeit die Werkzeuge und Waffen vollkommener und mannigfaltiger sein werden als früher. Und das sind sie auch, wie ein einziger Blick auf die Funde lehrt. Es finden sich darunter steinerne Lanzenspitzen, Steinmesser, Steinäxte, Steinklingen, Steinbohrer zur Anfertigung von Nadeln, Steinsägen, Harpunen aus Renthierhorn, Pfeile, Löffel, Nadeln, Signalpfeifen, Dolche aus Horn, aus Knochen oder Elfenbein und Schmuckgegenstände und rohe Kochgefäße. Die Pfeil- und Lanzenspitzen aus Horn haben Widerhaken, theils auf einer, theils auf beiden Seiten. Einige sind ausgehöhlt, vermuthlich damit das Blut schnell und leicht durch die Hohlung abfließen kann; andere sind gefערbt, durch-

bohrt u. s. w. Die Nadeln, deren ziemlich viele gefunden wurden, sind aus Stückchen der Renthiersprossen oder aus Elfenbein. Sie gleichen

unfern groben Nadeln, sind ein bis mehrere Zoll lang und ziemlich gut gearbeitet.

Außer den genannten Gegenständen hat man noch einen geglätteten, doppelt durchbohrten Stab mit verschiedenen Zeichnungen an der Oberfläche gefunden, dessen Deutung nicht gelingen wollte. Die internationale Industrieausstellung von 1861 brachte indessen Licht über diesen Gegenstand. Es waren hier mehrere Geräthe aus Vancouver ausgestellt, die von den Wilden jener Gegend gearbeitet waren; darunter befand sich auch ein geglätteter mit eingravirten Linien versehener Stab, der den Häuptlingen als Rangzeichen diente. Mit diesem Stabe hatte der aus der Renthierzeit eine unverkennbare Aehnlichkeit. Höchst wahrscheinlich war es daher ein Kommandostab. Ist dem so, so läßt sich den Menschen im Thale der Bezère eine ziemlich hohe Kultur nicht absprechen. Sie bildeten einen Staat, hatten ein Oberhaupt, verfertigten Werkzeuge aller Art, schmückten sich in ihrer Weise und beschäftigten sich mit freien Künsten.

Fünfzehnter Vortrag. Fortsetzung.

Warum, werden Sie fragen, findet man jene Steinwerkzeuge, jene Industriegegenstände und Kunsterzeugnisse und jene Skelete nur in Höhlen oder Grotten, nicht aber im Freien? Der Mensch hat doch nicht ausschließlich in Höhlen gelebt, seinen Unterhalt mußte er doch im Freien suchen. Im Freien brauchte und verbrauchte er seine Waffen weit mehr als in der Höhle; folglich, sollte man meinen, müßten sich im Freien, in den Anschwemmungen der Flüsse, weit mehr Kunsterzeugnisse finden, als in den Höhlen. — Ganz richtig. Aber wer sagt uns, an welchem Ort im Freien der Mensch sich getummelt, wohin seine Werkzeuge geschwemmt, wie tief sie mit Detritus bedeckt worden sind? Der Höhlen gibt es verhältnißmäßig wenige; sie fallen jedem in die Augen, bieten sich so zu sagen dem Forscher an, sind eng begrenzt und schnell und mit wenig Kosten durchforscht. Nicht so die Flußanschwemmungen, deren Ausdehnung und Mächtigkeit so groß ist, daß von einer Erforschung nur dann die Rede ist, wenn der Ries aus irgend seinem Grunde aufgeräumt werden muß, oder wenn ein Ort bekannt ist, an dem man zufällig Kunsterzeugnisse schon gefunden hat.

Ein solcher Ort ist Amiens im Sommethal und das nahe gelegene Abbeville. Die Festungsbauten an diesen Orten machten das Aufräumen des Rieses zur Nothwendigkeit, und bei dieser Gelegenheit zeichnete sich ein Mann durch unermüdeliches Streben im Interesse der Wissenschaft, durch Scharfsinn und Kennerblick in so hohem Grade aus, daß sein Name in der Geschichte der Archäologie stets genannt werden wird. Dieser Mann ist Boucher de Perthes, der mit rastloser Thätigkeit von 1838 an Tag für Tag den Ries in Abbeville durchstöberte, die Kunstwerkzeuge mit eigenen Händen herauszog, abbildete, beschrieb, classificirte und Schlüsse

zog, deren Richtigkeit — sogleich erkannt wurde? O nein. Cuvier's Ansehen wirkte noch viel zu mächtig und sein Ausspruch: es gibt keine fossilen Menschenknochen, folglich auch keine fossilen Werkzeuge, haunte die Geister. Was auch Boucher de Perthes sagen, mit welchen Thatfachen er auch das Gesagte begründen mochte, man sagte kurzweg, es ist nicht wahr. Die angeblich so tief im Kies gefundenen Steinwerkzeuge sind zum Theil gar keine Werkzeuge, oder sie sind von Arbeitern zum Zwecke der Täuschung hineingesteckt worden, entgegnete man ihm.

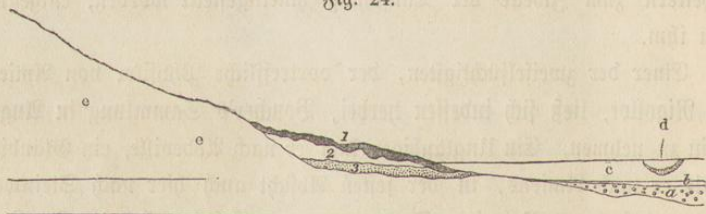
Einer der zweifelsüchtigsten, der vortreffliche Physiker von Amiens, Dr. Rigollot, ließ sich indessen herbei, Boucher's Sammlung in Augenschein zu nehmen. Ein Ungläubiger kam er nach Abbeville, ein Gläubiger kehrte er nach Amiens, in der festen Absicht auch hier nach Steinwerkzeugen zu suchen. Und sein Suchen war von Erfolg gekrönt. Im Laufe weniger Jahre fand er mehrere Hundert Steininstrumente, tief, oft fünf- undzwanzig Fuß tief im groben Kies. Jetzt kam er zu demselben Schlusse wie Boucher de Perthes, zu dem Schlusse nämlich, daß die Verfertiger jener Steininstrumente mit jenen ausgestorbenen Thieren müßten gelebt haben, deren Reste bei und neben den Steininstrumenten gefunden wurden.

Es kann dennoch nicht wahr sein, sagte man, denn es streitet ja gegen die Religion. So alt kann der Mensch unmöglich sein. Aber Boucher war nicht unthätig und Rigollot stand ihm jetzt wacker zur Seite. Boucher forderte jeden auf, seine Sammlung doch einmal in Augenschein zu nehmen und dann erst zu urtheilen. Da kam nun auch im Jahre 1858 Dr. Falconer nach Abbeville, und nachdem er Boucher's Sammlung gesehen, war er sofort überzeugt, daß nur menschliche Hände solche Werkzeuge könnten geformt haben. Nach ihm kamen Prestwich und Evans und da Prestwich so glücklich war, im Grobhand bei St. Acheul mit eigenen Händen eine Steinaxt 17 Fuß unter der Oberfläche herausziehen zu können, so war er nicht nur für die Sache sogleich gewonnen, er konnte auch die Besorgniß seiner zweifelsüchtigen englischen Collegen leicht beschwichtigen. Jetzt entstanden förmliche Proceffionen nach Amiens und Abbeville und Jeder überzeugte sich und Jeder sagte, es ist kein Zweifel mehr, Boucher de Perthes hat Recht. Und was sagten die Leute, die vorher die Parole

ausgegeben: es streitet gegen die Religion? Nun sie sagten: Was ist denn weiter dabei, das hat man ja schon lange gewußt.

So brachte Boucher de Perthes seine Ideen glücklich zum Durchbruch und verschaffte dadurch auch seinen Vorgängern, Schmerling und anderen die Anerkennung, die sie verdienten. Ehe ich die Funde und Resultate Boucher's mittheile, müssen Sie die geologische Beschaffenheit des Somme-thals kennen lernen. Die jüngste Bildung ist der Torf o der von dem

Fig. 24.



Durchschnitt der Fluß- und Meeresablagerungen mit Steinwerkzeugen und Knochen ausgestorbener Säugethiere zu Menhecourt bei Abbeville.

1) Brauner Thon mit eiligen Feuersteinen und hier und da Kreidegeröll ohne Schichtung, dem Hügelabhang folgend, von sehr wechselnder Dicke von 2 bis 5 und mehr Fuß.

2) Kaltiger Lehm, leberfarbig, dem Löß gleichend, zum größten Theil ungeschichtet, an manchen Stellen leichte Spuren von Schichtung zeigend, enthält Süßwasser- und Landmuscheln, mit Elefantenknochen u. s. w. Dicke ungefähr 15 Fuß.

3) Abwechselnde Lagen von Kies, Mergel und Sand, mit Süßwasser- und Landmuscheln und in einigen der tieferen Sandlager auch Seemuscheln, endlich Knochen von Elefant, Rhinoceros u. s. w. und Steinwerkzeuge. Dicke ungefähr 12 Fuß.

a) Kies unter dem Torf von unbestimmbarem Alter.

b) Lager undurchdringlichen Thons, welcher den Torf von dem Kiese trennt.

c) Torf.

d) Sommefluß.

ee) Kreide.

Sommeßuß d durchschnitten wird. Er erfüllt die niedrigen Theile des Thales und erstreckt sich bis zur See. An manchen Stellen ist er 30 und mehr Fuß mächtig. Er gehört der jüngst vergangenen Zeit an; denn alle Säugethiere und Muscheln, die darin gefunden wurden, leben noch jetzt. Und doch müssen sehr viele Jahre vergangen sein, bis der Torf zu dieser Mächtigkeit heranwachsen konnte; denn Boucher fand an einem Orte mehrere flache Schüsseln von römischer Töpferarbeit 48 Centimeter tief in wagerechter Lage, deren Form sie vor dem Herabsinken in die lockere Torfmasse bewahren mußte. In 1800 Jahren war der Torf

um 48 Centimeter gewachsen, in einem Jahrhundert folglich um 3 Centimeter. Setzt man voraus, was allerdings nicht zu beweisen ist, daß der Torf vom Anfang seiner Bildung an gleichmäßig in jedem Jahrhundert fortgewachsen ist, so mußten 30000 Jahre vergehen, bis er 30 Fuß oder 9 Meter mächtig werden konnte.

Unter dem Torfe c folgt ein Lager b von wasserdichtem Thon, durch welchen die Bildung des Torfes erst möglich wurde. Unter dem Thon b folgt der Kies a auf Kreide ruhend, dessen Alter bis jetzt nicht bestimmt werden konnte.

Die mit 1, 2 und 3 bezeichneten Bildungen kommen zu beiden Seiten des Sommethales am Abhange vor und sind vom Torf überlagert. Sie sind folglich älter als der Torf und wie wir gleich sehen werden, weit älter. Die Gesamtmächtigkeit der 3 Bildungen, die theils dem Süß- theils dem Seewasser ihre Entstehung verdanken, ist 9 Meter. Kann denn fließendes Wasser zu beiden Seiten eines Thales am Abhange mächtige Schichten bilden, die sich nicht bis zur Mitte des Thales erstrecken? — Nein. Die Schichten 1, 2 und 3 erstreckten sich von einem Abhange bis zum gegenüberstehenden andern, quer durchs Thal. Warum finden sie sich aber nicht in der Mitte des Thales? Weil ein kleinerer Wasserstand, der sich von f bis zu dem gegenüberstehenden (nicht gezeichneten) Punkte erstreckte, die Schichten in der Mitte weggewaschen hat. Die Schichten 1, 2 und 3, die er nicht erreichen konnte, blieben stehen.

Die jüngste unter den 3 Bildungen ist der Absatz 1. Er besteht aus braunem Thon mit eckigen Feuersteinen und hier und da auch aus Kreidegeröll. Er ist 0,6 bis 1,5 Meter mächtig.

Die Bildung 2 besteht aus kalkigem Lehme, zeigt an einigen Stellen Spuren von Schichtung, enthält Süßwasser und Landmuscheln nebst Elefantenknochen und ist ungefähr 4,5 Meter mächtig.*)

Die Bildung 3 besteht aus abwechselnden Lagen von Kies, Mergel und Sand, mit Süßwasser- und Landmuscheln; in einigen der tieferen Sandlager kommen auch Seemuscheln, nebst Knochen von Elefant, Rhinoceros, sowie Steinwerkzeuge vor. Das Vorkommen von Seemuscheln

*) Lyell, Alter des Menschengeschlechts. S. 119.

beweist, daß zeitweise das Meerwasser das Uebergewicht über das Flußwasser erlangt hat. Diese Bildung ist 3,6 Meter mächtig. Ich sagte vorhin, diese Schichten seien weit älter als die gesammte Torfbildung. Warum aber wohl? — Weil in der ganzen Torfbildung Knochen von ausgestorbenen Thieren fehlen, während sie in der Bildung 3 vorherrschen. Mammuth, sibirisches Rhinoceros, Pferd, Renthier, Ur, Bison, Riesendammhirsch, Höhlenlöwe, Höhlenhyäne kommen am häufigsten vor. Gerade in dieser Bildung 3 finden sich nun rohe Steinwerkzeuge, geformt von menschlicher Hand. Die Torfbildung beansprucht ungefähr 30000 Jahre, und wenn die Bildungen 1, 2 und 3, die ihr vorhergingen und die vielmal älter sind, auch nur 60000 Jahre erfordert haben, so muß der Mensch hiernach über 90000 Jahre schon auf Erden sein.

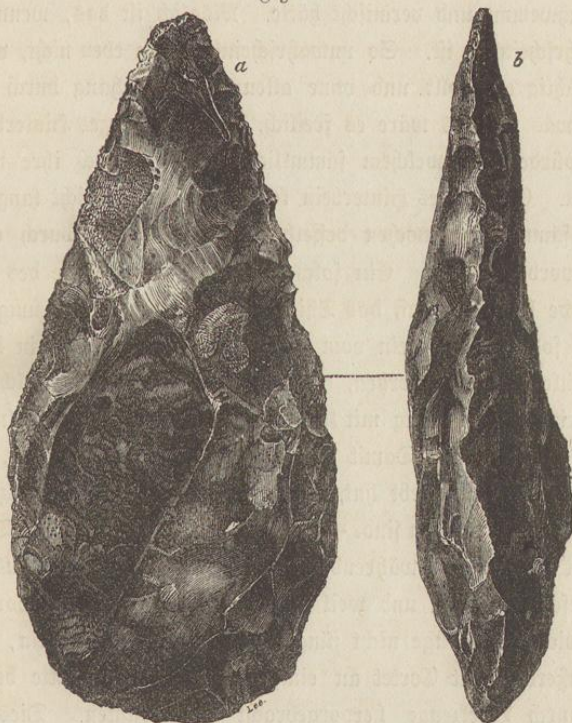
Im Jahre 1838 entdeckte Boucher de Perthes in der Ablagerung 3, mitten unter Mammuth- und Nashornknochen, zahlreiche, aus Feuerstein gefertigte, rohe Werkzeuge, Aexte, Beile, Messer, deren Form die Figur auf der folgenden Seite zeigt.

Die Form dieser Werkzeuge wurde durch öfter wiederholte und geschickt geführte Schläge hervorgebracht. Von einem Schliff ist nichts zu merken. Bei vielen ist die Schneide abgenutzt oder zerbrochen. Die Farbe der Werkzeuge ist verschieden und richtet sich nach der Farbe des Kieles, in dem sie liegen. Häufig findet man Dendriten auf der Oberfläche der Beile und Aexte, häufig auch einen Ueberzug von kohlensaurem Kalk. Das beste Zeichen der Aechtheit ist der firniß- oder glasähnliche Glanz an der Oberfläche, den frischbearbeitete Feuersteine niemals haben.

Die Anzahl der bis jetzt gefundenen Werkzeuge beläuft sich auf mehrere Tausende. Sie werden fragen: Wie kommt es, daß so viele Werkzeuge hier gefunden werden? Sie erinnern sich, daß noch gar nicht so lange die Frage aufgeworfen wurde, warum finden sich Werkzeuge nur in Höhlen und nicht im Freien. Nun, jetzt finden wir sie im Freien, und sogleich heißt es, ja, warum aber hier und warum so viele? Bedenken Sie, daß im Thal der Somme die Feuersteine, aus denen jene Werkzeuge bestehen, zu Hause sind, so werden sie es nicht unwahrscheinlich finden, daß hier Werkstätten waren, in denen die Waffen angefertigt wurden. Wo aber solche Waffen angefertigt werden, da mißlingt auch

eine, da zerbricht hin und wieder eine. Und in der That findet man hier viele, die mißlungen, andere, die zerbrochen sind.

Fig. 25.



Steinwerkzeug von St. Acheul bei Amiens, von der Lanzenspienform halbe Größe des Originals, welches $7\frac{1}{2}$ Zoll lang ist.

a) Seitliche Ansicht.

b) Ansicht von der Kante.

Welchen Zweck hatten diese Werkzeuge? Sie dienten ohne Zweifel zunächst zu häuslichen Zwecken, zum Fällen und Bearbeiten des Holzes, zum Zerlegen des erbeuteten Wildes, als Waffe gegen Thiere, zum Ausschälen von Baumstämmen u. s. w. Einige dieser Werkzeuge mit handlichem Griffen wurden mit freier Hand geschwungen, andere wurden in einen Stiel gespannt und befestigt u. s. w.

Wodurch wird aber bewiesen, daß diese Werkzeuge in derselben Zeit verfertigt wurden, in der jene ausgestorbenen Thiere gelebt haben? — Zunächst durch das Zusammenvorkommen beider in demselben Kiese und

in derselben Tiefe des Rieses. Es wäre aber möglich, daß diese Thiere an ganz verschiedenen Orten gelegen hätten, ganz verschiedenen Zeiten ihre Entstehung verdankten, und daß ein mächtiges Wasser sie hier zusammengeschwemmt und vermischt hätte. Möglich ist das, wenn es auch sehr unwahrscheinlich ist. So unwahrscheinlich nun eben nicht, wenn jene Knochen tüchtig abgerollt und ohne allen Zusammenhang durch einander liegen. Etwas anderes wäre es freilich, wenn ein ganzes Hinterbein z. B. gefunden würde, an welchem sämtliche Knochen noch ihre natürliche Lage hätten. Ein solches Hinterbein konnte im Wasser nicht lange rollen, ohne daß sämtliche Knochen desselben abgerissen und durch einandergeworfen worden wären. Ein solches Hinterbein im Riese des Sommethales würde beweisen, daß das Thier hier gelebt und hier umgekommen ist und ein solches Hinterbein vom sibirischen Rhinoceros ist in der Nähe von Abbeville gefunden worden, 6—7 Meter tief in einer solchen Lage, daß zur Zeit der Bedeckung mit Kies die Knochen durch Muskeln mußten verbunden gewesen sein. Damit ist indessen immer erst bewiesen, daß das Thier im Sommethal gelebt hat, keineswegs, daß die Steinwerkzeuge zur selben Zeit gebildet worden sind. — Sehr wohl. Weil aber das Thier mit Kies bedeckt worden ist, während seine Knochen noch durch Muskeln mit einander befestigt waren, und weil in diesem Riese Werkzeuge vorkommen, so können diese Werkzeuge nicht jünger, wohl aber älter sein, als das Thier. Außerdem hat Cortet an einigen Knochen Einschnitte beobachtet, die nur durch Werkzeuge hervorgebracht sein konnten. Dies beweist wiederum das gleichzeitige Vorhandensein des Menschen mit ausgestorbenen Thieren.

Warum finden sich nicht die Knochen des Menschen unter den Thierknochen und den Werkzeugen? Man sollte meinen, wenn der Mensch im Thal der Somme den Kampf ums Dasein gegen jene gewaltigen Thiere mit Erfolg geführt hat, so müßte das Sommethal ziemlich stark bevölkert gewesen sein, mindestens so stark als es mit jenen Riesenthieren bevölkert war. Und da deren Knochen neben Werkzeugen so häufig im Kies des Sommethales gefunden werden, so ist nichts auffallender als der Mangel an allen menschlichen Knochen in diesem Riese. Zwar kann man einwenden, daß die menschlichen Gebeine in Bezug auf Größe und Stärke in keinem Vergleich stehen zu den Knochen des Mammuths oder Rhino-

ceros, daß sie sich leichter zersetzen und daher schneller verschwinden. Allein man hat ja Knochen von Thieren gefunden, die nicht stärker waren als der Mensch und außerdem stehen die Zähne des Menschen in Bezug auf Dauerhaftigkeit den Zähnen der größten Fleischfresser kaum nach. Das ist vollkommen richtig, und wenn der Mensch auf dieselbe Weise umgekommen und begraben worden wäre, wie die ausgestorbenen Thiere, dann wäre das Fehlen der menschlichen Gebeine nicht wohl zu begreifen. Wie aber, wenn jene Menschen nach dem Tode verbrannt worden sind? Dann freilich konnten menschliche Gebeine im Somme-Ries nicht gefunden werden. Oder wenn die Todten in den Sommesluß geworfen wurden? Auch in diesem Falle dürften nur wenige Knochen im Somme-Ries gefunden werden; denn ein tochter Mensch sinkt, ins Wasser geworfen, zuerst unter, nach kurzer Zeit, wenn die Zersetzung beginnt, bringen ihn die sich entwickelnden Gase wieder an die Oberfläche, und nun treibt er mit dem Strom ins Meer. Indessen dürfte doch mancher Mensch in ähnlicher Weise umgekommen und begraben worden sein wie jene Thiere und deßwegen ist Hoffnung vorhanden, daß noch manches menschliche Gebein aus jener fernen Zeit, bei fortgesetztem Suchen gefunden werden wird. — Eins ist bereits im Sommethal bei Moulin-Duignon von Boucher de Perthes gefunden worden, zugleich mit einer Steinaxt. Es ist dies der Unterkiefer eines Menschen, der im naturhistorischen Museum in Paris aufbewahrt wird. Er lag $4\frac{1}{2}$ Meter unter der Oberfläche in schwarzem eisenhaltigem Lehm sand mit kleinen Kieseln, unmittelbar über der Kreide. In derselben Schicht fanden sich auch noch Mammuthzähne. Die menschliche Kinnlade zeigt in ihrer Bildung noch manche Einzelheiten, die zum Thierischen neigen.

Wenn auch durch die vorhergehenden Auseinandersetzungen das hohe Alter des Menschengeschlechtes evident nachgewiesen ist, so ist doch noch ungewiß, ob die menschlichen Spuren bis zum Anfang der Diluvialzeit zurückreichen, oder ob sie eben nur mitten in die Diluvialzeit hineinfallen.

Wenden wir uns vom Sommethal nach dem Süden von Hampshire in England. Hier findet sich auf einer Klippe, 11 Meter über Hochwasser, ein 3 Meter tiefer Ries mit Geschieben aus der Eiszeit,*)

*) Lyell, das Alter des Menschengeschlechtes. S. 161.

die wie bekannt in den Anfang der Diluvialzeit fällt. Aus der Eiszeit stammen die Geschiebe, denn es finden sich Sandsteinblöcke von so enormen Dimensionen in diesem Kies, daß sie nur durch Eis dahin transportirt werden konnten. In diesem Kies nun finden sich Steinärzte, die denen von Amiens und Abbeville vollkommen gleichen.

Da die Steinwerkzeuge unter Geschieben aus der Eiszeit vorkommen, so müssen sie selbst an Eis angefroren oder auf dem Eis schwimmend hierher gekommen sein, weil sonst nicht einzusehen ist, warum sie nicht ebenso abgerollt sind wie die Geschiebe. Wie schon gesagt, liegen sie sammt den Geschieben auf einer Anhöhe, die nach allen Seiten abfällt. Wie kommen die Geschiebe da hinauf? — Durch Fluthen. — Durch Fluthen? Können denn Fluthen und wenn es die größten sind, Geschiebe den Berg hinaufrollen? Und wenn sie es fertig bringen, warum rollen sie, oben angekommen, die Geschiebe auf der andern Seite nicht wieder bergab?

Was jetzt eine Anhöhe ist, war es nicht immer. Der Kies, der jetzt diese Anhöhe krönt, erstreckte sich ehemals über die benachbarten Thäler, erstreckte sich mithin horizontal oder nahezu horizontal. Erst durch Auswaschungen und die Einschnitte, welche Flüsse in ihn machten im Laufe vieler Jahre gewann die Anhöhe mit dem Kiese die jetzige Gestalt. Und wie sind diese enormen Kies- und Geröllmassen entstanden? Durch jährliche Fluthen von ungewöhnlicher Größe. Solche Fluthen können nur entstehen, wenn ungewöhnlich große Schnee- und Eismassen im Frühjahr zum Schmelzen kommen. Ungewöhnlich große Schnee- und Eismassen setzen ein extremes Klima voraus, wie es zur Eiszeit geherrscht hat.

Bedenken wir welche enormen Zeiträume verfließen mußten, bis die Thäler in Hampshire bis zu ihrer jetzigen Tiefe ausgehöhlt wurden, bis die Gletscher Englands verschwanden, bis die Thierwelt durch das Aussterben so vieler Arten von Säugethieren in ihr jetziges Stadium gekommen ist und das Klima aus Kalt in Warm überging, so werden wir überwältigt von dem Gefühl der Größe und Mannigfaltigkeit der stattgefundenen Veränderungen und der Länge der Zeit, welche seit dem ersten Auftreten des Menschen in Westeuropa verflossen sein muß.

Bestimmte Zahlen geben uns bei allen Dingen den besten Maßstab. Wenn wir auch keine klare Vorstellung von der Länge von 10000 Jahren

haben, so werden unsere Begriffe doch bestimmter und anschaulicher, wenn wir die Dauer der Diluvialzeit in bestimmten Zahlen als in unbestimmten Ausdrücken angeben.

Lyell schlug zu dem Zwecke folgenden Weg ein. *) Hebungen und Senkungen des Bodens gehen erfahrungsgemäß sehr langsam vor sich und es ist eher zu niedrig als zu hoch gegriffen, wenn nach den Beobachtungen die durchschnittliche Hebung zu $2\frac{1}{2}$ Fuß im Jahrhundert angenommen wird. Im Anfang der Diluvialzeit muß England mindestens 500 Fuß höher gelegen haben als jetzt. Frankreich und England waren damals durch Wasser noch nicht getrennt, sie bildeten ein Festland, wie schon aus der Identität der Pflanzen- und Thierwelt in diesen beiden Ländern hervorgeht.

Darauf senkte sich England und tauchte 1400 Fuß tief unter das Meer, so daß nur die höchsten Gebirge über Wasser blieben. In dieser Zeit der Ueberschwemmung wurden durch Treibeis zahlreiche Irerblöcke nach allen Richtungen transportirt.

Nach dieser Senkung erfolgte wieder eine Hebung des ganzen Landes bis zur anfänglichen Höhe.

Zu der Senkung von 1400 Fuß war ein Zeitraum von 56000 Jahren nothwendig, zu der Erhebung ein gleich großer, so daß Senkung und Hebung allein 112000 Jahre beanspruchen. Da aber das Land bei der Erhebung 600 Fuß über seine jetzige Lage emporstieg und um ebensoviel wieder sank, so kommen noch 48000 Jahre hinzu. Rechnet man hinzu noch 64000 Jahre, die zur Bildung der geschichteten Kies- und Geröllmassen nothwendig waren, so erhält man 224000 Jahre für die Dauer der Diluvialzeit.

Und so lange soll der Mensch schon auf der Erde sein? So lange? Höchst wahrscheinlich noch viel länger.

M. Desnoyers **) hat die Aufmerksamkeit der Geologen auf Knochen aus den oberen Pliocenschichten (aus der Tertiärzeit) gerichtet. Die Knochen gehörten dem *Elephas meridionalis*, dem *Rhinoceros leptorhinus*,

*) Lyell, das Alter des Menschengeschlechts. S. 253.

**) Comptes rendus June 8, 1863 und Lubbock, die vorgeschichtliche Zeit. S. 124 Bd. 2.

dem Hippopotamus major, einigen Hirscharten und zweien Arten von Bos an. An diesen Knochen befanden sich Einschnitte, wie sie durch mehr oder weniger scharfe Kieselinstrumente hervorgebracht werden. Einige Hirschschädel waren auf gleiche Weise zerbrochen, nämlich durch einen heftigen Schlag auf den Kopf zwischen den Hörnern.

Auf der Versammlung der italienischen Naturforscher in Spezzia zeigte Professor G. Ramorino einige Knochen aus der Pliocenzzeit, welche Messerspuren an sich tragen. Die Knochen befinden sich im Museum von Genua.

M. Bourgeois hat in dem Kalkstein der Beauce unweit Pontlevoy viele Feuersteine entdeckt, die der Einwirkung des Feuers ausgesetzt waren, andere, die unzweifelhafte Spuren menschlicher Bearbeitungen zeigen sollen. Diese Feuersteine fanden sich in einer Schicht, welche der Miocenzzeit angehört, in der auch die Reste des ausgestorbenen Acerotheriums gefunden wurden. Diese Schicht liegt unter einer andern, in welcher Mastodon und Dinotherium, also unzweifelhafte Thiere der Tertiärzeit, gefunden wurden.*)

M. Tardv**) fand in den Miocenschichten von Aurillac (Auvergne) zusammen mit den Resten von Dinotherium giganteum und Machairodus latidens Feuersteinwerkzeuge, die von Menschenhand geformt sind.

So sehen wir denn, daß die ersten Spuren des Menschen schon bis in die Tertiärzeit zurückreichen. Freilich wird die Richtigkeit dieses Satzes noch nicht allgemein zugestanden. Es ist möglich, sagt man, daß die Knochen aus der Tertiärzeit auch auf andere Weise ihre Einschnitte können erhalten haben, wenn auch nicht angegeben werden kann wie. Es ist möglich, daß die Feuersteinwerkzeuge aus der Tertiärzeit doch nicht in ganz unzweifelhaften Tertiärschichten gelegen haben; es ist möglich, daß sie vielleicht zufällig diese eigenthümliche Form erhalten haben. Möglich freilich ist es, daß sie in der Tertiärzeit von menschenähnlichen Geschöpfen gebildet worden sind; aber die Möglichkeit ist noch kein Beweis. Sie

*) Matériaux pour l'histoire de l'homme 1869 S. 297 und Lubbock, d. v. 3. S. 129 2. Bd.

**) Matériaux pour l'histoire de l'homme 1870 S. 93 und Lubbock, d. v. 3. S. 126 2. Bd.

erinnern sich, daß man den ersten Entdeckern menschlicher Spuren aus der Diluvialzeit dasselbe entgegnet hat, daß einzelne Funde an diesem und jenem Orte niemals eine große Idee zum Durchschlagen bringen, daß erst Hunderte, ja Tausende von gleichen und ähnlichen Thatfachen die Zweifler zum Schweigen bringen. So geht es auch mit diesen wenigen Spuren menschlicher Thätigkeit aus der Tertiärzeit. Was man heute noch bezweifelt, wird man nach wenigen Jahrzehnten, wenn es durch weitere Funde bestätigt wird, freudig anerkennen. Doch kehren wir noch einmal zurück zu jenen Thieren der Quartärzeit.

Daß die oft genannten ausgestorbenen Thiere der Quartärzeit Höhlenbär, Mammuth, Rhinoceros, Renthier gleichzeitig gelebt haben, ist wohl unstreitig. Deswegen kann aber doch die eine Thiergattung viel früher aufgetreten sein als die andere; ihre Hauptentwicklung kann stattgefunden haben, als von der anderen Gattung nur erst wenige Exemplare vorhanden waren. Unstreitig ist es auch, daß sie nicht gleichzeitig ausgestorben sind. Auf diese Idee gestützt, hat es Lartet versucht, gewisse Zeitabschnitte in der Quartärzeit festzustellen. Er unterscheidet das Zeitalter des Höhlenbären, das des Mammuth und Rhinoceros, das des Renthiers und das des lithauischen Auerochsen. Das Zeitalter des Höhlenbären liegt uns darnach am fernsten, das des lithauischen Auerochsen am nächsten. Daß der Auerochs im mittleren und westlichen Europa das Renthier überdauert hat und daß das Renthier noch lebte als vom Mammuth schon längst das letzte Exemplar ausgestorben war, ist wahrscheinlich. Schwer aber dürfte mit Evidenz zu beweisen sein, daß der Höhlenbär früher seine Stunde schlagen hörte als das Mammuth oder das Rhinoceros.

Wichtiger als diese Frage scheint mir die zu sein: Läßt sich aus den aufgefundenen menschlichen Schädeln eine Aufeinanderfolge von Rassen erkennen? Bevor diese Frage erörtert wird, muß ich in Bezug auf Schädel einige Erklärungen vorausschicken.

Mit dem Namen Dolichocephale (d. h. Langköpfe) bezeichnet man die Schädel, deren Form im Allgemeinen länglich ist, mit dem Namen Brachycephale (d. h. Kurzköpfe) diejenigen, deren Form rundlich ist. Was ist damit erreicht? Nicht viel; denn der eine nennt nach dieser Erklärung einen Schädel noch dolichocephal, den der andere schon brachy-

cephal nennt. Wir müssen daher eine präcisere, wenn auch einigermaßen willkürliche Erklärung aufstellen.

Unter den Durchmessern, die man am Schädel construiren kann, ist der von der Stirne nach dem Hinterkopf gehende der größte, der durch die Schläfe gehende der kürzeste. Das Verhältniß beider Durchmesser muß bei der Beurtheilung der Dolichocephalie oder Brachycephalie maßgebend sein. Dividirt man den kleineren durch den größeren Durchmesser und ist der Quotient (Schädelindex genannt) kleiner als 0,778 oder 77,8 Procent, so ist der Schädel Dolichocephal; ist dagegen der Quotient größer als 0,8 oder 80 Procent, so ist der Schädel brachycephal. Diejenigen Schädel, die zwischen diesen Grenzen liegen, nennt man mesaticephale.

Es hat sich nun gezeigt, daß die Dolichocephalen, so weit bis jetzt bekannt, zuerst auftraten, daß auf sie eine andere Rasse von Dolichocephalen folgte, die dann durch Brachycephale verdrängt wurde. *)

Diese drei aufeinanderfolgende Rassen hat man nach den Arten, wo sie zuerst gefunden wurden, genannt die Rasse von Canstadt, die Rasse von Cromagnon und die Rasse von Furfooz.

Die Rasse von Canstadt ist die älteste; die Reste derselben sind die seltensten. Der Zufall wollte, daß sie auch zuerst aufgefunden wurden. Im Jahre 1700 fand man sie mit Knochen ausgestorbener Thiere in Canstadt bei Stuttgart bei Gelegenheit von Ausgrabungen, die der Herzog Eberhard von Württemberg ausführen ließ. Besonders bemerkenswerth war das große Bruchstück eines Menschenschädels, das erst viel später untersucht und gewürdigt wurde und das zur Rasse des Neanderthalsmenschen gehört, der früher genauer besprochen worden ist. Eben dahin gehört auch der früher erwähnte Unterkiefer, der von Dupont in der Höhle von Maulette gefunden wurde.

Die Untersuchung der Bruchstücke der langen Knochen, die mit dem Schädelbruchstück gefunden wurden, hat ergeben, daß die Rasse von Canstadt sehr kräftig aber von niedrigem Wuchse war. Ihre Größe überstieg nicht 1,68 bis 1,70 Meter. Mit der Dolichocephalie verband sie ein charakteristisches Merkmal, das sie besonders vor der folgenden

*) Vortrag des P. Broca auf der 6. Versammlung französischer Naturforscher in Havre, mitgetheilt im Naturforscher No. 39, 1877.

Rasse auszeichnet. Es ist das die niedrige Schädelwölbung, oder was dasselbe bedeutet, der geringe vertikale Schädeldurchmesser. Weiter zeichnet sich die Rasse aus durch eine sehr niedrige Stirn, durch dicke Schädelwände, durch geringe Schädelcapacität, vorspringende Augenbrauen, durch die schiefe Stellung der Schneidezähne, das große Volumen der Mahlzähne, durch das gänzliche Fehlen des Kinnvorsprungs und die elliptische Gestalt des Kieferbogens.

Die Rasse von Canstadt war nach alledem ohne Zweifel sehr wild, wie das auch schon aus ihren ganz rohen Steininstrumenten hervorgeht. Gleichwohl war sie weit verbreitet. Man hat sie gefunden in Brux (Böhmen), in Canstadt (Württemberg), im Neanderthal (Rheinpreußen), in Naulette (Belgien), in Eguisheim (Elsaß), in Paris, in Arch-sur-Cure (Yonne), am Berge Denise (Haute Loire), in Olmo (bei Arezzo) und in Toscana. Sie nahm somit einen großen Theil von West- und Mitteleuropa ein und behauptete sich hier von dem Anfange der Diluvialzeit bis zur Mitte derselben.

Auf sie folgte eine intelligentere und wohl auch stärkere Rasse, die Rasse von Cromagnon, wie es scheint, nachdem die erste durch die zweite Rasse im Kampf ums Dasein vernichtet worden ist. Zu dieser Cromagnon-Rasse gehört außer den schon ausführlicher besprochenen Schädeln von Cromagnon, auch der von Schmerling entdeckte Engis-Schädel.

Die Cromagnonrasse ist dolichocephal. Ihr Wuchs ist höher als der der Canstadter Rasse; im Durchschnitt 1,78 Meter hoch, der Schädel ist sehr groß; seine Capacität übersteigt die Durchschnittscapacität der Pariser. Jene vorspringenden Augenbrauen, die der Canstadter Rasse den Stempel der Wildheit aufdrückte, finden sich hier nicht mehr; die Stirn ist gerade und hoch und beschreibt bis zum Scheitelbein eine schöne Curve. Der verticale Schädeldurchmesser ist bedeutend größer als jener der Canstadter Rasse. Das Kinn macht einen starken Vorsprung; die unteren Schneidezähne sind senkrecht, die oberen schief. Die Rasse findet sich im südlichen Italien, in Frankreich und in Belgien. Sie lebten bis zum Schlusse der Renithierzeit. Diese Renithierzeit war ihre Glanzperiode. Als das Renithier in Folge des Klimawechsels seltener und seltener wurde, als die Eiszeit einem milderem Klima weichen mußte, da schlug auch für die Rasse von Cromagnon die Stunde des Untergangs.

Auf sie folgte die Rasse von Furfooz, die von Dupont in mehreren belgischen Höhlen gefunden wurde. Ihr Wuchs ist klein, 1,53 bis 1,62 Meter; der Schädel ist rundlich und nähert sich der Brachycephalie. Die Stirn ist schmal, niedrig und fliehend, die Wölbung wenig hoch. Das Gesicht mit dem von Cromagnon verglichen, ist kleiner, die Backenknochen sind weniger abstehend, die Augenhöhlen weniger breit und höher, die Nasenöffnung in Beziehung zur Breite weniger verlängert, die Unterkiefer weniger groß und weniger dick.

Die Rasse von Furfooz kam nach Belgien, als das Renithier schon seltener wurde. Sie lebte in Höhlen und ernährte sich von der Jagd. In Bezug auf Intelligenz standen sie weit unter der Cromagnon-Rasse, denn sie verstanden weder das Zeichnen noch die Skulptur. Ihre Steininstrumente sind ohne Sorgfalt gehauen, ihre Renithiergeweihwaffen ohne Geschmack geformt. Etwas hatten sie indessen vor der Rasse von Cromagnon voraus, sie verstanden Töpfe, wenn auch sehr rohe, zu fabriciren.

Während diese Rasse in Belgien lebte, drangen Menschen mit brachycephalen Schädeln am Schlusse der Diluvialzeit von der Ostgrenze her in Frankreich ein. Sie kamen aus Ungarn, wo sie schon in der mittleren Quartärperiode gelebt haben, wie aus den Schädeln die man im Löß von Nagy-Sap in Ungarn gefunden hat, hervorgeht. Man kann sie als eine vierte Rasse auffassen, man kann sie aber auch mit der Rasse von Furfooz in einen gewissen Zusammenhang bringen. Es ist nämlich nicht unmöglich, daß schon viel früher ein erster Schwarm von Brachycephalen aus Ungarn nach Belgien kam und sich hier mit den Dolichocephalen kreuzte. In Folge dieser Kreuzung entstand dann die Rasse von Furfooz. Das Auftreten der Brachycephalen in Frankreich zeigt uns den Schluß der Diluvialperiode an.

Seit dieser Periode sind viele Jahrhunderte im Strome der Zeit dahingeflossen, aus dessen Wogen viele Völker, viele Rassen auftauchten. Sie bekämpften sich, mischten sich und sie veredelten sich auch und es ist eine der schwierigsten Aufgaben, aus den physischen, intellectuellen und moralischen Characteren der jetzigen Bevölkerung den relativen Einfluß so vieler verschiedener Elemente zu entwirren.

