

1071



Betrachtungen und Versuche

über den

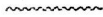
METAMORPHISMUS

und

über die Bildung der krystallinischen Gesteine.

Von

A. Daubrée.



Aus dem XVII. Bande der Mémoires présentés par divers savants
à l'Académie des sciences, Paris 1860, übersetzt

von

E. Söchtig.

BERLIN.

Verlag von Gustav Bosselmann.

1861.

Nr. 1010.

INHALT.

Einleitung	Seite. 1
----------------------	-------------

Erste Abtheilung.

Geschichtliches.

1. Stück. Zustand der Geologie beim Erscheinen der Hutton'schen Lehre	4
2. Stück. Lehre Hutton's	8
3. Stück. Hutton's Nachfolger	13
4. Stück. Arbeiten in Bezug auf die Einwirkung des Erdinnern auf die äussere Hülle und den Zusammenhang derselben mit dem Metamorphismus	23
§ 1. Ausbrüche von Vulcanen	23
§ 2. Ausbruchsgesteine	25
§ 3. Bildung der Erzlagerstätten	26
§ 4. Mechanische Verschiebungen der Erdrinde	26
§ 5. Unmittelbare Messungen beweisen die innere Wärme der Erde	29
5. Stück. Seit Hutton angenommene Aenderungen der Ansichten in Bezug auf den Metamorphismus	30
6. Stück. Metamorphismus im Gefüge	38
7. Stück. Erwähnung anderer Schriftsteller, welche sich mit dem Metamorphismus beschäftigt haben	41
8. Stück. Geschichte der synthetischen Versuche zur Lösung der Frage über den Metamorphismus	43
Schmelzung und Abkühlung der Gesteine	44
Betrachtung krystallisirter Hüttenerzeugnisse	46
Versuche zur Darstellung durch einfache Schmelzung oder aus Gemengen	47
Versuche zur Zusammensetzung von Mineralarten mit Hilfe von Dämpfen, welche theils auf einander, theils auf feste Körper einwirken	49
Nasser Weg	50

Zweite Abtheilung.

Auseinandersetzung der gewonnenen Thatsachen, deren Gesammtheit den Metamorphismus ergibt.

	Seite.
1. Stück. Metamorphismus beim Nebeneinandervorkommen (M. de juxtaposition)	56
2. Stück. Metamorphismus ganzer Gebiete (M. régional).	60
3. Stück. Metamorphismus im Gefüge	66
4. Stück. Dolomit, Gyps, Steinsalz, Schwefel und Erdöllager in ihren Beziehungen zum Metamorphismus	68
5. Stück. Erzlager und ihr Zusammenhang mit dem Metamorphismus	73
6. Stück. Zersetzung kieseliger Gesteine und Mineralquellen	74

Dritte Abtheilung.

Betrachtungen über die Ursache der metamorphischen Erscheinungen und synthetische Versuche zu deren Unterstützung.

	Seite.
1. Stück. Die innere Wärme; Untersuchung ihres Einflusses auf den Metamorphismus. Sie genügt nicht zur völligen Erklärung aller Erscheinungen.	78
2. Stück. Gewisse Dämpfe als Unterstützungsmittel der Wärme betrachtet; auch ihre Wirkung verbunden mit derjenigen der Wärme ist noch unzureichend	82
3. Stück. Mitwirkung des Wassers beim Metamorphismus	85
4. Stück. Versuche über den Einfluss des überhitzten Wassers bei der Bildung der Kieselverbindungen	88
5. Stück. Schlussfolgerungen aus den vorhergehenden Versuchen, um die Krystallisation der ausgebrochenen und metamorphischen Kieselgesteine zu erklären	94
6. Stück. Metamorphismus in der Gegenwart zu Plombières	97
7. Stück. Folgerungen aus den zu Plombières erkannten Thatsachen	101
8. Stück. Andere Eigenthümlichkeiten des Metamorphismus erklärt mit Hilfe der im vierten und sechsten Stücke erwähnten Thatsachen	103
9. Stück. Anwendung derselben Thatsachen auf die Ausbruchsgesteine	107
10. Stück. Metamorphismus im Gefüge; sein Verhältniss zum gewöhnlichen Metamorphismus	110
11. Stück. Zusammenstellung aller Erscheinungen, deren Sitz in der Tiefe ist.	114

Anhang.

Betrachtungen über die Bildung der Schiefergesteine, welche älter sind als die Silurschichten (S. 117).

Einleitung.

In varietate unitas.
Leibnitz.

Eine der ersten und wichtigsten Aufgaben, deren Lösung der Geologie obliegt, ist die, zu erkennen, welchen Einfluss bei der Bildung der festen Erdrinde einerseits das Wasser, andererseits die Hitze ausgeübt habe. Obgleich diese Frage bereits seit geraumer Zeit behandelt worden ist, so hat man doch eine schliessliche Entscheidung noch nicht gefunden. Vielmehr ist der Stand der Dinge ein verwickelterer geworden, seitdem man die verschiedenen Gesteinsbildungen genauer durchforscht und dabei solche entdeckt hat, welche deutlich die Zeichen eines doppelten Ursprunges an sich tragen. Ist es nun sofort bei ihrer Bildung geschehen, dass diese zweifelhaften Gebilde ihre zwiefache Natur angenommen haben, oder hat sich ihre Eigenthümlichkeit erst nach der einen und dann nach der andern Richtung entwickelt, und wie vermag man in solchem Falle sich von der Aufeinanderfolge derartiger Wirkungen Rechenschaft zu geben? Dieses sind die Umstände, deren Erforschung in ihrer grössten Allgemeinheit den Theil der Geologie beschäftigt, welchen man als Metamorphismus bezeichnet hat.

Hat man die Wirkungen vor sich, welche das Innere der Erde auf deren Oberfläche äussert, und welche sich durch tägliche Erscheinungen ankündigen, wie durch die warmen Quellen, die Ausbrüche von Feuerbergen, die Erdbeben, oder

durch Zeichen von Thätigkeit, deren Zeuge der Mensch zwar nicht unmittelbar gewesen ist, von denen er indessen noch grossartige Spuren bemerkt, so vom Hervorbrechen von Gesteinen, von der Hebung ganzer Gebirgsketten: so ist darin ein höchst anziehender Gegenstand gegeben, mit welchem ein Jeder sich gern lebhaft beschäftigen mag. Geringere Theilnahme aber regt sich, abgesehen von den eigenthümlichen Schwierigkeiten in der Untersuchung, wenn durch diese Einflüsse derselben Ursachen dargelegt werden sollen, welche sich, ganz im Gegentheil, nur langsam geltend gemacht haben und verborgen, der Beobachtung durch die Tiefe, in welcher ihr Spiel vor sich ging und unzweifelhaft noch vor sich geht, entzogen erscheinen. Und dennoch wird man nicht umhin können, einzugestehen, dass die Bestrebungen zur Ermittlung dieser Verhältnisse die ernsteste Aufmerksamkeit erheischen, sobald man in Betracht zieht, dass diese grossartigen Umwandlungsvorgänge einen bedeutenden Theil der Erdrinde betroffen haben, dass, aller Wahrscheinlichkeit nach, ihre Bedeutung mit der Entfernung von der Oberfläche steigt bis dahin; wo sie in der Tiefe vorherrschend werden, sowie endlich, dass sie mit allen übrigen Aeusserungen der inneren Thätigkeit des Erdkörpers im innigsten Zusammenhange stehen.

Diese Bestrebungen zur Erkennung der genannten Erscheinungen, soweit als deren Verständniss uns bisher möglich geworden ist, bilden den Gegenstand vorliegender Arbeit. Ich werde dieselbe in drei Abtheilungen vorführen, deren erste die geschichtliche Entwicklung bringen wird, während die zweite die Darstellung der Thatsachen enthalten soll, welche man als bislang festgestellt betrachten dürfte, und für welche die in der dritten Abtheilung gegebenen, theoretischen Erklärungen genügenden Aufschluss gewähren möchten.

Dem geschichtlichen Theile habe ich eine gewisse Ausführlichkeit gewidmet. Es ist nicht allein eine gerechte Ehrenbezeugung für die Männer, welche durch ihre Arbeiten zur Erhellung dieses Gebietes der Wissenschaft beigetragen haben, wenn die Anstrengungen geschildert werden, durch welche wir zu dem Schatze unserer dermaligen, theoretischen Vorstellungen gelangt sind; es ist vielmehr auch eine heilsame Warnung vor Anstellung erklärungsüchtiger Träumereien. Die Verführung durch die Einbildungskraft ist in der Geologie um so mehr zu fürchten, als

die auf die Beobachtung gestützten Schlussfolgerungen so gar häufig eines thatsächlichen Beweises entbehren.

So zahlreich auch die für die Geschichte dieses Gegenstandes angeführten Schriftstücke sind, so wird man doch noch manche Lücken erblicken. Um indessen diese Bemerkungen nicht allzuweit auszudehnen, möge die Andeutung genügen, dass ich mich auf die hauptsächlichsten Arbeiten beschränkt habe.

Erste Abtheilung.

G e s c h i c h t l i c h e s .

Erstes Stück.

Zustand der Geologie beim Erscheinen der Hutton'schen Lehre.

In den beiden letzten Jahrhunderten hat es Männer gegeben, welche, ohne das zu sein, was man jetzt unter einem Geologen versteht, über die Lehre von unserer Erde so bemerkenswerthe Aeusserungen gethan haben, dass sie einen unleugbaren Einfluss auf die Arbeiten derer geübt haben, welche sich nach ihnen ganz besonders mit diesem Zweige der Wissenschaft beschäftigten.

So betrachtete Descartes die Erde als ein an der Oberfläche erkaltetes Gestirn, dessen Inneres noch einen feurigen Kern birgt, als Ursache für die Rückkehr der eindringenden Gewässer gegen die Aussenseite, des Auftretens der Metalle in den Gängen und die Störungen der festen Rinde.¹⁾

¹⁾ Die Principia philosophiae des Descartes erschienen zuerst 1644 zu Amsterdam. Der durchdringende Scharfsinn des Verfassers hat bereits mehrere allgemeine Thatsachen geahnt, welche später durch die Beobachtung wirklich nachgewiesen worden sind.

„Denken wir uns, diese Erde sei ehemals ein Gestirn gewesen . . . in der Weise, dass sich dieses durch nichts von der Sonne unterschied, ausser vielleicht durch geringere Grösse . . . Ueber der innern Rinde von beträchtlicher Schwere, von welcher Rinde die Metalle herkommen, liegt eine minder

Aus derselben Annahme einer ursprünglich flüssigen Beschaffenheit berechnete Newton die Abplattung, welche die kugelähnliche Gestalt der Erde zeigen müsste.¹⁾

Später schrieb Leibnitz, welcher zugleich aus der Gedankenfülle des Descartes und aus den scharfsichtigen Beobachtungen Steno's schöpfte, ein Werk, welches, trotz der unvermeidlichen Mangelhaftigkeit der thatsächlichen Grundlagen, die sichern Spuren des grossen Geistes trägt, aus welchem es hervorging.²⁾

Aus dieser Quelle, man kann es nicht misskennen, entnahm der ruhmreiche Verfasser der „Époques de la nature“ seine tiefstinnigsten Anschauungen.

Die Werke Buffon's, in wie hohem Maasse auch sie die Aufmerksamkeit fesseln, vermögen dennoch nicht zu überzeugen. Aber sie setzten die Einbildungskraft in das lebhafteste Erstaunen und riefen deswegen genaue Beobachtungen hervor, bestimmt, die Zweifel zu lösen, welche sie selbst erst erweckt hatten.³⁾

In der That nur erst gegen Ende des vorigen Jahrhunderts, zu derselben Zeit, als die Chemie sich ein so neues Gesichtsfeld öffnen sah, namentlich durch die Entdeckungen solcher Männer, wie Lavoisier, Scheele, Priestley, Cavendish, da nur erst geschah es, dass auch die Geschichte der Erde sich der vorgefassten Lehren zu entledigen begann, dass die Beobachtung den ihr

dichte Rinde, zusammengesetzt aus Steinen, Thon, Sand und Schlamm . . . Das Quecksilber ist es nicht einzig, welches die Metalle aus dem Innern der Erde nach der Oberfläche hinzuführen vermag, auch die Geister und die Ausströmungen haben ähnliche Kraft in Bezug auf einzelne von ihnen, wie auf das Kupfer, das Eisen, das Antimonium.“

1) Principia mathematica philosophiae naturalis. 1687.

2) Leibnitz gab einen ersten Ueberblick der unter dem Namen Protogaea bekannten Abhandlung in den Acta eruditorum vom Januar 1693. Aber erst dreinunddreissig Jahre nach seinem Tode, 1749, in welchem Jahre auch Buffon die ersten drei Bände seiner Histoire naturelle veröffentlichte, erschien die Protogaea vollständig. Dies merkwürdige Werk ist nur erst ganz neuerdings durch den Dr. Bertrand de Saint-Germain in's Französische übersetzt worden. Die Théorie de la terre stammt aus dem Jahre 1749. Die Époques de la nature erschienen erst fast volle dreissig Jahre später, 1778. Vor Buffon hatte bereits Mairan den Gedanken an eine im Innern thätige Wärme zu einem eigenen Gesichtspuncte erhoben.

3) Der Einfluss, welchen Buffon auf die Fortschritte der Geologie ausgeübt hat, ist in hohem Maasse von Élie de Beaumont (Leçons de géologie pratique, 24) gewürdigt worden.

gebührenden Platz einzunehmen strebte. Die genau ermittelten Thatsachen, welche so scharfblickende Beobachter, wie Agricola, Bernard de Palissy, Steno schon früher hingestellt hatten, waren wie in einem Meere von Vermuthungen untergegangen. Die Bemerkungen, welche Linné, der Nebenbuhler Buffon's als Geschichtsschreiber der Natur, veröffentlichte, bieten nichts weiter dar, als eine Uebersicht bereits bekannter Thatsachen und damals geläufiger Anschauungen.¹⁾

Saussure,²⁾ Pallas³⁾ und Werner eröffneten durch ihre, fast gleichzeitigen Arbeiten das Zeitalter der thatsächlichen Geologie; alle drei verwarfen vor allen Dingen die Kühnheit Buffon's und widersetzten sich der Annahme seiner Vorstellungen, sogar da, wo dieselben begründet waren.⁴⁾ Die ersten beiden, ausgezeichnete Beobachter, waren enthaltsam in der Aufstellung von Schlussfolgerungen. Werner ging schon weiter, versuchte die Thatsachen zu entziffern, zu gliedern und zu ordnen, indem er sich dabei einer fest bestimmten und genauen Ausdrucksweise bediente. Er war es, welcher diese Wissenschaft mit dem Namen Geognosie belegte im Gegensatze zur Geologie, nachdem sie bis dahin nur ein Haufwerk von Vermuthungen gewesen war.⁵⁾

Um auf die Lehren zurückzukommen, welche die herrschenden waren, als die ersten Gedanken von einem Metamorphismus auftauchten, müssen wir uns zunächst die Grundanschauungen des berühmten, freiberger Gelehrten wieder vergegenwärtigen,

1) *Systema naturae*. 1775.

2) De Saussure, geb. 1740, begann seine Reisen im Jahre 1760 und veröffentlichte 1779 die ersten Bände seiner *Voyages dans les Alpes*, in denen er einen solchen Schatz wichtiger Thatsachen niedergelegt hat, welche als Grundlagen für die Geologie gedient haben.

3) Von Pallas erschienen 1777 die *Observations sur les montagnes*, und wenige Jahre später der Bericht über seine langen Reisen.

4) Diese drei grossen Beobachter nahmen an, wie auch schon Linné, dass alle Gebirgsformationen wässerigen Ursprungs, die vulcanischen Ausserungen nur örtliche Erscheinungen seien. Saussure erklärte 1798, nachdem er die Auvergne gesehen, dass er eine Bildung des Basaltes auf feurigem Wege nicht zugeben könne; noch viel mehr wies er einen solchen Gedanken in Bezug auf den Granit zurück.

5) Mit Hilfe der Thatsachen, auf welche Füchsel schon 1762 zum Theil hingedeutet hatte, sagte Werner, dass man eine Art von Reihenfolge im Auftreten der physischen Ereignisse, soweit sie an der Ausbildung des Erdkörpers Theil genommen haben, aufstellen könne.

namentlich diejenigen, welche vor den spätern Entdeckungen verschwanden.

Nach Werner sind der Granit und alle übrigen, krystallinischen Felsarten durch Absatz aus dem Meere entstanden, wie die geschichteten und versteineringenführenden Gesteine. In einer weit zurückliegenden Zeit befanden sich die Stoffe, aus denen alle diese Massen bestehen, im Ocean theils gelöst, theils aufgeschwemmt. Aus diesem chaotischen Oceane nun schieden sich alle Glieder der Erdrinde ab, die einen auf chemischem, die andern auf mechanischem Wege. Diese Ungleichheit in der Bildungsart bedingt den Unterschied zwischen den krystallinischen und den geschichteten Gesteinen.

Der Granit, welcher die höchsten Gipfel der Erde und zugleich die Unterlage der regelmässig geschichteten Gesteine bildet, ist es nach dieser Lehre, welcher am Frühesten sich abschied, gleichwie der Gneiss und die krystallinischen Schiefer, die ihn oft begleiten. Da man darin nie Ueberreste organischer Wesen findet, musste diese Abscheidung dem Auftreten der Thiere und Pflanzen vorangehen, wesshalb jene Massen als Urgesteine bezeichnet wurden.

Später nahm die Höhe des Meeres ab, weil sich dies in Höhlungen des Erdkörpers zurückzog.¹⁾ Während dieses zweiten Zeitraumes dauerte der chemische Niederschlag von kieseligen Gesteinen fort; zugleich aber begann auch die Reihe der mechanischen Absätze. Durch das gleichzeitige Spielen dieser chemischen und mechanischen Vorgänge entstanden die Uebergangsgelände, welche wirklich krystallinische und versteineringenführende Schichten begreifen.

In einem neuen Abschnitt des Sinkens der Gewässer bildeten sich die Secundärgesteine, deren Hebungsmassen und Gebirge nie, wie man damals meinte, die Höhe der Gipfel aus alten Felsarten erreichen. Oft trifft man jene Gesteine in wagerechten Lagen und reich an Ueberbleibseln organischer Wesen.

Während ihres Festwerdens erfuhren die Gesteine Zerreissungen, in deren Folge Höhlungen in den verschiedensten Grössen

¹⁾ Leibnitz hatte bereits versucht, die Trockenlegung der Festländer durch die Annahme eines Rückzuges des Wassers in die grossen, inneren Höhlen zu erklären, welche er alten Aufschwellungen noch von dem ursprünglich geschmolzenen Zustande her zuschrieb.

verhältnissen entstanden. Indem das Wasser in diese eindrang, überzog es mit den mannigfaltigen Stoffen, welche es aufgelöst hielt, die langen Spalten, durch welche es seinen Weg nahm. So entstanden die Erzgänge.

Nach Werner ist dies der Ursprung aller Gesteinmassen, welche die äussere Erdrinde zusammensetzen, mit Ausnahme der Anschwemmungen, der Ackererde und der Erzeugnisse des vulcanischen Feuers, welches er dem unterirdischen Brande kohlgiger Brennstoffe zuschrieb. Das innige Band, welches unzweifelhaft die Urgesteine mit denen der Secundärzeit verknüpft, sowohl in Bezug auf ihre mineralogische Natur, als auf ihre gegenseitige Lage, erklärt Werner dadurch, dass er annimmt, die Zusammensetzung des Meeres und danach auch die Natur dieser Niederschläge habe sich seit der Zeit, dass der Granit sich ausschied, geändert, bald allmählich, bald plötzlich.¹⁾

Nach Werner's Lehre sind also alle Gebirgsmassen von Anfang eben so entstanden, als wir sie noch jetzt erblicken. Die innere Thätigkeit der Erde ist völlig verkannt, sowohl in Betracht der Bildung der krystallinischen Gesteine und der Metallablagerungen, als in Betracht derselben als Ursache der Störungen, welche die geschichteten Felsarten jedes Alters erlitten haben.

Zweites Stück.

Lehre Hutton's.

Während Werner's Lehre anfang, die allgemeine Aufmerksamkeit auf sich zu lenken und die Begeisterung seiner Schüler zu erwecken, Dank der Anmuth der Rede des Lehrers und der Macht der Lehrweise, mit welcher die dazumal bekannten Thatsachen sich aneinander gereiht fanden, entstand eine gänzlich abweichende Betrachtungsart in Schottland. Mit einer nicht geringern Beob-

¹⁾ Als die Auflösung die ganze Erde bedeckte und eine grosse Tiefe hatte, war sie ruhig und rein. Auch sind die ältesten Gesteine ausschliesslich krystallinisch. Später, als der Spiegel des Meeres gesunken, und das feste Land darüber erschienen war, übten die Strömungen eine stärkere Wirkung aus und zerstörten einen Theil der schon vorhandenen Massen. Andererseits griffen auch die Stoffe des Luftmeeres die frei emporragenden Felsmassen an. Auf diese Weise bildeten sich die mechanischen Niederschläge und nahmen selbst überhand.

achtungsgabe ausgestattet, als der freiberger Meister, gelangte James Hutton zu ganz widersprechenden Schlüssen, und beide gegnerische Schulen erhoben sich gleichzeitig.

Seit dem Jahre 1785 machte Hutton eine Lehre von der Theorie der Erde bekannt.¹⁾ Zwei Jahre später, nachdem er auf mehreren Reisen in Schottland neue Beobachtungen gemacht, entwickelte er seine Gedanken in einem umfangreichen Werke, welches dieselbe Aufschrift trug. Was aber ganz besonders beitrug, die Kenntniss von Hutton's Lehre zu verbreiten, war die Schrift John Playfair's,²⁾ seines Schülers und Freundes, welcher sich zugleich als Mathematiker, Geolog und Schriftsteller auszeichnet. Seine Gabe der Auseinandersetzung und der Glanz seines Schreibens verliehen dem neuen Gedanken eine wesentliche Stütze sowohl gegen die heftigen Angriffe einer geringen Anzahl, welche sie ernstlich aufnahmen, als gegen die wegwerfende Gleichgiltigkeit der Mehrheit, welche sie wie gar nicht vorhanden ansahen.

Die Wichtigkeit der Werke Hutton's und Playfair's, in denen zum ersten Male die Grundlagen der neuen Geologie, zumal des Metamorphismus, vor Augen geführt und klar dargestellt werden, macht es nöthig, hier nochmals, wie es oben in Bezug auf Werner's Lehre geschehen ist, die wichtigsten Sätze zu wiederholen. Dies ist ausserdem das einzige Mittel, den Antheil zu unterscheiden, welchen einerseits der Urheber, andererseits seine Nachfolger daran haben. Wir wollen dabei dem Wege folgen, den Hutton und sein Erklärer eingehalten haben.

Der Verfasser bemerkt zunächst, dass gewisse Gebirgsmassen, welche sich als ursprüngliche darstellen, auf demselben wie gebildet erscheinen, wie die jüngern, geschichteten Gesteine. So können

1) Theory of the earth or an investigation of the laws observable in the composition, dissolution and restoration of land upon the globe. By James Hutton, M. J. and F. R. S. Ed. and membre of the Royal Academy of agriculture at Paris. Den 7. März und 4. April 1785 vor der Royal Society of Edinburgh gelesen. Die zweite Ausgabe führt die Aufschrift: Theory of the earth, with proofs and illustrations, in four parts. Edinburgh 1795, 2 vols. in 8vo. Andererseits veröffentlichte Werner seine Schrift: „Von den äussern Kennzeichen der Mineralien“, 1774 in einem Alter von vierundzwanzig Jahren. Bald nachher, gegen 1780, begann er in seinen Vorlesungen die Grundzüge der Geognosie zu entwickeln. Eine Klassifikation der verschiedenen Gebirgsarten stammt aus dem Jahre 1789.

2) Playfair, Explication on the Huttonian theory, 1802.

die Schichten der Alpen, welche als Urgesteine betrachtet werden, nicht älter sein als das Dasein der Pflanzen, da sie zahlreiche Ueberreste davon in Gestalt mineralischen Brennstoffs enthalten. Andere krystallinische Massen enthalten Schichten, welche Sand und Geschiebe führen, und müssen demnach aus Trümmern schon früher dagewesener Massen zusammengesetzt sein. Denn wenn man mit Deluc zugeben wollte, dass der quarzige Sand ein chemischer Niederschlag sei, würde man doch nicht einsehen, warum solcher nicht mitten in den allerkrystallinischsten Massen aufträte, namentlich im Granit und auf den Metallgängen.

Die jetzige Dichtigkeit dieser Gesteine, welche bei krystallinischer Ausbildung doch durch Ablagerung entstanden sind, kann nur durch die Einwirkung der Wärme und durch ein Wiederweichwerden hervorgerufen sein. Wäre ein fremder Stoff in flüssigem Zustande in die feinen Zwischenräume der Gesteinsmasse eingedrungen, so müsste, nach Hutton, diese Flüssigkeit darin Höhlungen hinterlassen haben. Als Beweis dienen ihm auch die Massen blättrigen Kalkes, welche oft dieser Art krystallinischer Gesteine untergeordnet auftreten. Denn es ist ihm unzweifelhaft, dass der Kalk, in welchem Black eben erst die Kohlensäure entdeckt hatte, dieses Gas bei hoher Temperatur festhalten könne, sobald er nur gleichzeitig einem starken Druck unterliegt. Er fügt bei, dass unter dieser Bedingung der kohlen saure Kalk selbst geschmolzen werden könne. Man weiss, wie dies, was er so kühn vorausgesehen, später durch die Versuche seines ausgezeichneten Schülers bestätigt wurde.¹⁾

Das Vorkommen verschiedener Arten mineralischer Brennstoffe liefert dieser theoretischen Ansicht neue Stützpunkte. Nach der Bemerkung, dass auf der Insel Skye die gewöhnliche Braunkohle unter dem Basalte, welcher sie durchsetzt, in einen dichten Brennstoff mit glänzendem Bruche, wie bei der Steinkohle, umgewandelt sei, schloss Hutton, dass letztere denselben Ursprung habe, wie jene, eine Vermuthung übrigens, welche bereits Buffon geäußert hatte. Ferner meinte Hutton, dass die Schichten der Steinkohle und die Niederlagen der Erdharze von Pflanzen und thierischen Stoffen herrühren, welche durch die Wärme und unter Druck um-

¹⁾ Sir James Hall, von dessen Schlüssen über die gleichseitige Wirkung von Wärme und Druck später die Rede sein wird.

gewandelt seien. Indem er diese Ansicht verallgemeinerte, gelangte er dazu, auch den Graphit und die Reihe derjenigen Körper aufzunehmen, welche aus der Verschüttung und Umwandlung organischer Wesen hervorgehen.¹⁾

So liess der ausgezeichnete, schottische Geologe durch einen ganz neuen Gedanken das Wasser und die innere Erdwärme nach einander bei der Bildung derselben Gesteine thätig sein.

Es ist ein Zug ausgezeichneten Geistes, sehr unähnliche Erscheinungen auf denselben Ursprung zurückzuführen. Die unterirdische Wärme hat nicht nur die Schichten auf dem Grunde des Meeres verdichtet und mineralisirt, sondern, wie Hutton erkannte, hat dieselbe auch Schichten, welche ursprünglich wagerecht abgelagert waren, gehoben und wieder gerade gerichtet. Saussure hatte erst kürzlich die Aufrichtung der berühmten Puddinge von Valorsine beobachtet,²⁾ ohne sich jedoch über den Grund dieser Erscheinung auszusprechen.

Eine andere Entdeckung, welche man Hutton verdankt, hat ebenfalls einen ausserordentlichen Einfluss auf die Geologie geübt, ich meine die Ansicht, dass der Granit ein Ausbruchsgestein sei. Bei der Untersuchung dieses Gesteins in den Gebirgen eines Vaterlandes, zumal bei Portsoy und im Glen-Tilt, erkannte er, dass es in den, dasselbe einschliessenden Massen Adern bilde, welche ein Eintreiben in flüssiger Form beurkunden, dass aber auch seine mineralogische Natur die Wirkung des Feuers beweise. Um aber gerecht zu sein, muss man bemerken, dass ein Landsmann Hutton's, Strange, bereits denselben Schluss gezogen hatte.³⁾

Die im Englischen unter den Namen Trapp, Toadstone oder Whinstone bekannten Gesteine finden sich ebenfalls in solchen Gegenden als im flüssigen Zustande eingetrieben, wo es gar keine Spuren von Vulcanen giebt.⁴⁾ Hutton beweist es durch zahlreiche Beispiele, welche er in Schottland beobachtet hat, in einem Lande,

1) No. 121 seiner Theory of the earth.

2) Die Beobachtungen Steno's über denselben Gegenstand, welche Élie de Beaumont (Annal des sc. nat., XV., 237) beleuchtet hat, schienen damals ganz in Vergessenheit gerathen zu sein.

3) Philosoph. Transactions, t. LXV., 5; 1775.

4) Man muss sich auch erinnern, dass Descartes schon lange den feurigen Ursprung der Basalte in der Auvergne, in Italien und an der Nordküste von Irland nachgewiesen hatte (1768—1771).

welches für derartige Untersuchungen so ausserordentlich geeignet ist. Er sucht ferner nach der Ursache des Unterschiedes, welchen diese unterirdischen Laven gegenüber den von den Vulcanen ausgeworfenen zeigen, indem diese weder Zeolith noch Kalkspath enthalten. Die Wärme unter höherem Drucke scheint ihm diesen Unterschied zu bedingen.¹⁾

Dem Urheber dieser Grundgedanken können die Erzgänge nur als Einschießel geschmolzener Massen gelten, wie Descartes schon früher geahnt hatte.

Hutton erklärt hiernach die Geschichte der Erde mit eben so viel Einfachheit als Grossartigkeit. Das Luftmeer ist die Gegend, in welcher die Gesteine sich zersetzen, wonach ihre Trümmer sich auf dem Grunde des Wassermeeeres aufhäufen. In dieser grossen Werkstätte werden die beweglichen Stoffe dann unter dem doppelten Einfluss des Druckes des Oceans und der Wärme mineralisirt und in krystallinische Gesteine umgewandelt, welche das Ansehen alter Gesteine haben und erst später durch die Wirkung derselben innern Wärme gehoben wurden, um endlich von Neuem zerstört zu werden. Die Erniedrigung eines Theils der Erde dient also beständig zur Wiederherstellung anderer Theile, und die fort-dauernde Aufzehrung der unteren Lage liefert ununterbrochen neue, geschmolzene Gesteine, welche mitten durch die abgelagerten Schichten emporgepresst werden können. Man hat also einen Wechsel von Zerstörung und Erneuerung vor sich, von welchem man weder Anfang noch Ende absehen kann. Gleichwie bei den Bewegungen der Planeten, in denen die Störungen sich immer wieder selbst ausgleichen, beobachtet man dauernde Veränderungen, welche in bestimmte Grenzen eingeschlossen sind, so dass die Erde kein Zeichen, weder von Jugend, noch von Alter zeigt.²⁾

1) Bezüglich des, übrigens leicht begreiflichen Irrthums, den Hutton damals beging, nämlich in Rücksicht auf den Ursprung dieser Kalkmandeln, kann ich nicht umhin, zu bemerken, mit welchem Scharfsinn ein anderer grosser Beobachter der Natur, Spallanzani, später den gemischten Ursprung der Mandelsteine in den Euganeen erkannte. Die Vertheilung der Hohlräume in diesen Gesteinen lehrte ihn, dass letztere geflossen seien, während der kohlen-saure Kalk ihm zugleich durch Einsickerung entstanden zu sein schien.

2) Indem Hutton diese Thätigkeit als eine fort-dauernde betrachtete, hat er seine schöne Auffassung getrübt, aber einen ausserordentlichen Dienst dadurch geleistet, dass er zeigte, wie die unter unsern Augen wirkenden

So ist Hutton der Urheber des fruchtbringenden Lehrsatzes von der Umwandlung der Schichtgesteine unter dem Einflusse der Wärme.

Wir werden später sehen, dass man so bestimmte Schlüsse beschränken muss.¹⁾ Gleich der Mehrzahl geistvoller Männer, welche neue Wege eröffnet haben, hat Hutton die Tragweite seiner Anschauungen überschätzt. Doch kann man nicht ohne Bewunderung daran denken, mit wie tiefem Scharfsinn und mit wie strenger Schlussfolgerung dieser so einsichtige Mann zu einer Zeit, als die genauen Beobachtungen noch wenig zahlreich waren, ein Lehrgebäude aufrichtete, welches die ganze physische Geschichte der Erde umfasst, indem er zum ersten Male die gleichzeitige Betheiligung des Wassers und der Wärme²⁾ bei der Bildung der Massen annahm. Er hat Sätze aufgestellt, welchen man jetzt allgemein beipflichtet, wenigstens in ihrem wesentlichsten Inhalte.³⁾

Drittes Stück.

Hutton's Nachfolger.

Ein italienischer Beobachter machte, selbst noch vor dem Erscheinen der Hutton'schen Lehre, eine Thatsache bekannt, aus

Naturkräfte in der Geschichte der Erde als leitend angenommen werden müssen, und wie man nur zu den Naturgesetzen seine Zuflucht zu nehmen brauche, während in jedem andern Lehrgebäude Ereignisse ohne jegliche Aehnlichkeit mit den Vorgängen der Jetztzeit angenommen werden.

1) Der Eisenkies, welcher in den Schichtgesteinen so häufig verbreitet ist, schien ihm gleich allen Gangmineralien auf trockenem Wege entstanden und diene ihm als Zeugniß für die Wirkung der Wärme auf jene Gesteine. Er dehnte diese Ansicht auch auf die Feuersteine der Kreide aus, deren Festigkeit zu sehr von dem physikalischen Zustande der Kieselsäure, wie man sie in den Laboratorien kennt, abweicht.

2) In den Weltentstehungslehren Leibnitz's und Buffon's ist eine Thätigkeit des innern Feuers nur für den Ursprung der Erde vor Bildung der einzelnen Gebirgsarten angenommen. Hutton bemerkt, indem er gewisse, damals geläufige Ansichten bekämpft, dass die innere Wärme bestehen könne, ohne dass zugleich wirkliches Feuer oder innere Verbrennung da sein müsse.

3) Hutton, geboren 1726, stellte seine Beobachtungen in den wildesten Gegenden Schottlands an und dachte mehr als vierzig Jahre darüber nach, bevor er seinen ersten Entwurf veröffentlichte. Der Anblick der Granitgänge des Glen-Tilt war für ihn ein Lichtstrahl. Viele Thatsachen, auf welche er sich stützt, hat er auch selbst zuerst entdeckt.

welcher er folgerte, dass die feurige Thätigkeit der Jetztwelt die Schichtgesteine, auch die jüngsten, umzubilden vermöge.

Arduino¹⁾ sprach 1779 deutlich seine Gedanken aus, dass die Dolomite von Lavina im Vicentinischen auf Kosten des secundären Kalksteins gebildet seien. Die breschenartige Beschaffenheit des Gesteins führte ihn auf den Gedanken, dass der Kalk zerbrochen sei, und dass die umändernde und feurige Kraft dann aus der Tiefe durch die Spalten hindurch gewirkt habe.

Zwanzig Jahre später ward ein englischer Geologe, G. Thomson,²⁾ durch die Untersuchung der krystallinischen Kalkblöcke an der Somma darauf geführt, dass diese, an verschiedenen Mineralien so reichen Massen als dem Apeninenkalke entstammend anzusehen seien, welcher durch die Hitze verändert wurde. Er fragte sich ferner, ob nicht der Marmor von Carrara gleichen Ursprung habe.

Die wichtigste Stütze aber erhielt diese neue Lehre von der Verwandlung der Gesteine durch die Reihe der Versuche, welche Sir James Hall³⁾ darüber anstellte. Dieselben wurden, wie er erklärt, auf Veranlassung Huttons seit 1790 ausgeführt. Dies ist eigentlich das erste Mal, dass man ernstlich unternahm, unmittel-

1) Osservazioni chimiche sopra alcuni fossili. Venezia 1779. „Ich denke mir,“ sagt Arduino, „dass die Talkerde nur eine Kalkerde ist, begabt mit besondern Eigenschaften, und zwar in Folge unterirdischer Glutheiwirkung. Ich habe sie nur in den grossen Spalten der kalkigen Schichten unserer Berge gefunden.“ Es ist höchst merkwürdig, dass diese neue und kühne Ansicht in demselben Jahre auftrat, in welchem man erst den Unterschied zwischen Talk- und Kalkerde in Folge der Versuche von Retzius und Bergemann erkannte. Erst elf Jahre nachher, 1791, lenkte Dolomieu die Aufmerksamkeit auf eine besondere Art talkerdehaltigen Kalkes, den er im südlichen Tyrol beobachtet hatte. (Sur un genre de pierres très-peu effervescentes avec les acides etc. Journal de physique, XXXIX., 3.) Im folgenden Jahre machte Théodore de Saussure die Ergebnisse der von ihm unternommenen Zerlegung dieses Gesteines bekannt und gab letzterem den Namen Dolomit, welchen er bisher behalten hat (Journal de physique, XL., 161).

2) Ueber die Natur der vom Vesuv ausgeworfenen Marmorblöcke und über die mögliche Ausdehnung der vulcanischen Einfüsse (Bibliothèque britannique, VII., 40, 1798). Breislack nahm diese Ansicht auf und vertheidigte sie.

3) Account of a series of experiments shewing the effects of compression in modifying the action of the heat. Read the 3. Juny 1805 (Edinb. Philos. Transact., VI., 1812).

bare Versuche in der Erforschung geologischer Erscheinungen anzuwenden, indem man andere Mittel zu Hilfe nahm, als die Beobachtung der Thatsachen, wie die Natur sie nur darbietet, und die chemische Zerlegung.

Hall fand Ermuthigung in seinen Untersuchungen durch das häufige Auftreten der krystallinischen Kalkmandelu in den Trappen. Er stellte fest, dass unter einem gewissen Drucke der kohlen-saure Kalk auch bei starker Hitze seine Kohlensäure festhalten könne, und dass durch die vereinigte Wirkung von Wärme und Druck derselbe zu einer dichten, zuweilen krystallinischen Masse zusammengehen könne. Er erkannte auch, dass das Holz sich unter denselben Bedingungen zu einer Art Braunkohle umzuwandeln vermöge. Obgleich es sich nur um die Nachweisung einer anscheinend so einfachen Thatsache handelte, verwandte Hall doch nicht weniger als drei Jahre auf seine Versuche, deren Zahl sich auf mehr als hundert und fünfzig belief. Dies giebt einen Begriff von den Schwierigkeiten, welche man vor sich hat, sobald es sich um Arbeiten bei hoher Gluth und starker Spannung handelt.¹⁾

Keine Gegend vielleicht liefert schönere und zahlreichere Beispiele der Einschaltung von Ausbruchsgesteinen als gewisse Theile Schottlands. Es ist wohl natürlich, dass auf einem in dieser Weise ausgezeichneten Boden die ersten deutlichen Meinungen über diese Art der Erscheinungen entstehen mussten. Auch lieferten die wichtigen Arbeiten Maccullochs²⁾ über diese, seitdem classisch gewordene Gegend neue Stützen für die Lehren, welche Hutton aus demselben Lande gezogen hatte.

Man kann darüber staunen, dass Gedanken, in ihrer Mehrheit so vollkommen richtig und bereits auf so vielen, genauen Beobachtungen fussend, lange Zeit auf dem Festlande fast gänzlich unbekannt blieben. In Edinburg selbst bekämpfte ein eifriger Schüler Werners, Jameson, die schottischen Lehren, wie man sie wohl nennen darf, mit Gründen, welche er geradenwegs aus der freiburger Schule mitbrachte. In Frankreich zertrümmerten Dolomieu, Giraud-Soulavie, Faujas-Saint-Fond die Meinung Werner's über

1) Buchholz hat angegeben, dass man den kohlen-sauren Kalk selbst beim Glühen unter gewöhnlichem Drucke krystallinisch erhalten könne.

2) Description of the western islands of Scotland, 1819, 3 vols. Nach Macculloch scheinen die Hornblendeschiefer durch Umwandlung von Thonen zu entstehen.

den wässerigen Ursprung der Basalte, und d'Aubuisson wurde durch die Untersuchung der Auvergne etwas später genöthigt, eine Ansicht gerade der seines Meisters entgegen auszubilden; aber sie schenkten alle Gedanken nur geringe Aufmerksamkeit, von denen sie doch lebhaft hätten angezogen werden sollen. Cuvier gedenkt im Rapport sur les progrès des sciences naturelles depuis 1789, welchen er 1808 veröffentlichte, Hutton's nur, um dessen Ansichten über die Entstehung des Basalts mit grossem Zweifel anzuführen.¹⁾ Wie soll man, sagt Cuvier, die Fragen der Geschichte unserer Erde durch Benutzung der Kräfte lösen können, welche wir jetzt in der Natur kennen?²⁾

Nur erst vom Jahre 1815 an, nachdem die Beziehungen Grossbritanniens zum Festlande wieder erneuert waren, begannen die Arbeiten Hutton's und seiner Schüler im übrigen Europa wirklich bekannt zu werden. Es erschien damals allein die französische Uebersetzung³⁾ von Playfair's Werk, welches dreizehn Jahre früher in Edinburg erschienen war.

Wenige Jahre darauf wirkte auch Boué, welcher in dieser Hauptstadt die Geologie studirt und Schottland durchforscht hatte, mit, dieselben Gedanken weiter zu verbreiten.⁴⁾ Er stützte sich

1) Ausgabe in 8vo., S. 172.

2) Ebendas., S. 180. Dieser letztere Ausspruch giebt das Urtheil über den andern Grundsatz, welchen Hutton festzustellen versuchte, nämlich über den, dass die Erscheinungen der Vorzeit durch hinreichend lange dauernde Einwirkung der noch jetzt wirkenden Kräfte hervorgerufen werden könnten. „Dieses Fortschreiten ist ein zu langsames, als dass der Mensch es unmittelbar gewahren könnte. Der ausgedehnteste Zeitraum, welchen seine Erfahrung ihm zeigen kann, ist doch nur als der Zuwachs eines Augenblicks in einer unmerklichen, fortschreitenden Reihe zu betrachten, welche keine andern Grenzen hat, als die Dauer der Welt. Die Zeit hat die Aufgabe, die einzelnen Glieder dieser Reihe zu integriren“ (Playfair in dem genannten Werke). Dolomieu widersetzte sich dieser Anschauungsweise durchaus. „Nicht die Zeit nehme ich zu Hilfe, sondern die Kraft. Die Natur entlehnt von der Zeit die Mittel, um eingetretene Unordnungen wieder auszugleichen, aber sie empfängt von der Bewegung die Macht, umzustürzen“ (Journal de physique, II., 1792).

3) Explication de Playfair sur la Théorie de la terre par Hutton, traduit par Basset; Paris, 1815.

4) Tableau de l'Allemagne (Journal de physique, 1822). Mémoire géologique sur le sud-ouest de la France (Annales des sciences naturelles, II., 1824). Boué versuchte zu zeigen, dass der Granit, der Porphyry und der Grünstein in verschiedenen Gegenden Deutschlands und Frankreichs Aus-

auf die Verwandlungen, welche er in der Nähe der plutonischen Gesteine auf der Insel Skye, am Monzoni und anderwärts gesehen, und sprach danach die Meinung aus, der Gneiss und die übrigen anderen krystallinischen Schiefergesteine in der Nachbarschaft des Granits seien nichts weiter, als geschichtete Massen, welche durch alte Ausbrüche dieses Gesteines verändert worden. Er überschätzte hierbei unzweifelhaft die Tragweite der Wirkungskraft der Erscheinung, aber dennoch haben manche Geologen diese Anschauungsweise bis auf die jüngste Zeit beibehalten.¹⁾ Nachdem er Schottland besucht, lieh sich auch Necker zum Ausleger wesentlicher Lehren Hutton's.²⁾

Sir Charles Lyell trug nach allen Seiten durch eine Reihe von sehr geistreich geschriebenen Arbeiten zur Kenntniss der schottischen Lehre bei. Seit 1825 umfasste er mit der Bezeichnung Metamorphismus die Veränderungen, welche nach den Ansichten Hutton's die ursprünglichsten, geschichteten Gebirgsmassen unter dem Einflusse der inneren Gluth erlitten haben; und diese Bezeichnung ist seitdem allgemein angenommen.³⁾

Die grösste Aufmerksamkeit indessen erregte in jener Zeit die im Jahre 1822 veröffentlichte⁴⁾ Arbeit Leopold von Buchs über die Geologie Südtirols. Schon im letzten Jahrhunderte hatte, wie oben bemerkt, Arduino den Dolomit des Vicentinischen einer Umbildung des Kalkes zugeschrieben, Sieben und zwanzig Jahre später gelangte Heim, ein deutscher Geologe, dessen Werke eine Menge dazumal noch neuer und sorgfältiger Beobachtungen ent-

bruchsgesteine seien. Er stützte sich hauptsächlich auf die ausgezeichneten Beobachtungen Palassou's in den Pyrenäen. Die Eisenerze in der Nähe von Videssos scheinen ihm aus dampfförmigen Massen entstanden zu sein.

1) So wäre nach Buch sämmtlicher Gneiss in Finnland nur durch Umwandlung von Thonschiefern unter dem Einflusse von Stoffen entstanden, welche sich nach dem Ausbruche des Granits entwickelten; diese Meinung, setzt er hinzu, ist von allen Geologen angenommen. (Ueber Granit und Gneiss. Physikalische Abhandlungen der k. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1842.

2) Voyage en Ecosse et aux îles Hébrides, 1821.

3) Die metamorphischen Gesteine bilden einen Theil der von ihm hypogen genannten Felsmassen.

4) Lettres sur la géologie du Tyrol méridional (Annales de chimie et de physique, XXIII., 1822; v. Leonhard, Taschenbuch für die gesammte Mineralogie, 1824, XIX. und XX.).

halten, durch seine Untersuchungen in Thüringen zu denselben Schlüssen.¹⁾

Leopold von Buch stellte diese Meinung von Neuem auf und gab ihr eine grössere Tragweite. Für ihn sind die ungeheuren, zerrissenen Dolomitmassen des Fassathales Kalke, in deren unzählbaren Spalten durch die Ausbrüche des Melaphyrs, in Folge dessen jene Massen gehoben und zerrissen wurden, Talkerde in Dampfform gelangte. Nach ihm ist es aber nicht die Wärme allein, welche Gesteine umzuwandeln im Stande ist, sondern es müssen auch noch chemische Ausströmungen dabei mitthätig sein.²⁾ Damit vergrösserte Leopold von Buch die Wichtigkeit der mechanischen Störungen, indem er nachwies, wie sie die Quelle für den Ausbruch von Gasen und Dampf werden konnten, die später auf die Gesteine selbst wirkten. Dies war, mit einem Worte, ein neuer Gesichtspunct für die Wissenschaft, geöffnet durch ihn, welcher schon damals an der Spitze der Geologen stand.

Fernere Arbeiten haben gelehrt, dass man diesen Schluss in gewisser Weise beschränken müsse; aber die Verhandlungen, welche sich über diese kühne Auffassung des Metamorphismus der Dolomite erhoben, haben eine ganze Reihe von Untersuchungen ans Licht gerufen, durch welche die Wissenschaft wesentlich bereichert worden ist. Eine Meinung, welche zu Entdeckungen führt, ruht im Allgemeinen stets auf irgend einem tiefen Grunde, und zeugt von einem erfinderischen Geiste.

Die Alpen, welche immer für die Geologie eine classische Gegend sein werden, sowohl wegen der Thätigkeit, in Folge deren

1) Bei der Besprechung der zelligen Dolomite des Zechsteins führt er an, dass es ähnliche im Muschelkalk gebe; es sei dies nur eine besondere Ausbildungsweise des Kalkes; damals kannte man die Gegenwart der Talkerde in jenem Gesteine noch nicht. Diese besondere Art des Kalkes, setzt er hinzu, steht in Beziehung zu den Störungen, welche von unten nach oben gerichtet waren; und unter den natürlichen Kräften konnten nur die Dämpfe diese Wirkung hervorbringen; sie erzeugten gleichzeitig auch den Gyps, welcher den Dolomit stets begleitet. (Heim. Geologische Beschreibung des Thüringerwaldgebirges, 1806, Th. II., Abtheil. 5, S. 99—121.)

2) Später hatte Breislack in seiner ausgezeichneten Beschreibung der Solfatara von Pozzuoli anerkannt, dass die Dämpfe die Gesteine umzuwandeln vermögen. Cordier hatte 1820 nachgewiesen, dass der Alaunstein im Allgemeinen durch den Angriff schwefligsaurer Dämpfe auf Feldspathgesteine erzeugt werde (Annales des mines, 1. serie, V., 303).

diese Kette selbst sich erhob, als wegen der tiefen und wichtigen Entblössungen, in denen sich der innere Bau derselben darlegt, haben nächst Schottland die Beobachtungen für die Grundlage der Lehre von Metamorphismus geliefert.

In einem Aufsätze, welcher einen Glanzpunkt in der Wissenschaft bildet und welcher zu derselben Zeit erschien, als Cuvier und Brongniart ihren *Essai de la géographie mineralogique des environs de Paris* veröffentlichten, hatte bereits auf das Deutlichste Brochant¹⁾ in den Alpen der Tarantaise Uebergänge geschichteter Gesteine in krystallinische nachgewiesen, welche man damals für ursprüngliche hielt. Er hatte selbst später das Glück, in letzteren Versteinerungen zu entdecken. Indem er nun auf diese krystallinischen Massen ungefähr dieselben Schlussfolgerungen anwandte, wie Hutton sie gebraucht, gelangte er zu der Ansicht, die körnigen, glimmerigen und talkigen Kalke, der Glimmer-, Talk- und Hornblendschiefer jener Gegend der Alpen seien einst wirklich geschichtete Gesteine gewesen, und zog sie zur Uebergangsformation nach ihrer Aehnlichkeit mit denen Deutschlands. Er ging sogar so weit, die granitartigen Gesteine des Montblanc und die ihnen beigesellten, talkigen und feldspathigen Gesteine in eine Gruppe zu vereinigen, und glaubte, die verhältnismässige Jugend dieser angeblichen Alpengranite nachweisen zu können. Ohne die Lehre von der Umwandlung anzunehmen, trug er doch, ohne es selbst zu wissen, und mit merkwürdiger Klarheit und Strenge in seiner Darlegung zur Entwicklung dieser neuen Gedanken bei.²⁾

Ein Ausflug, den Studer 1826 mit Merian in die glarner Alpen machte, bot zum ersten Male Gelegenheit, einen Uebergang secundärer Gebilde (Flysch) in eben so krystallinische Gesteine, wie der Glimmerschiefer und Gneiss des St. Gotthard und des

1) *Observations géologiques sur les terrains de transition qui se rencontrent dans la Tarantaise et autres parties de la chaîne des Alpes* (*Journal des mines*, XXIII., 1808). *Considérations sur la place qui doivent occuper les roches granitoïdes du Mont-Blanc dans l'ordre de l'antériorité des roches primitives* (*Annales des mines*, 1. série, IV., 1816). *Découverte de fossiles organiques dans les roches cristallines* (*Ebend.*, IV., 1819).

2) Die Aufmerksamkeit richtete sich von Neuem auf die Gesteine der Alpenkette durch ein Werk Bakewell's: *Travels in the alpine parts of Switzerland and Savoy*, 1822.

Chamounythaies zu beobachten.¹⁾ Wie Élie de Beaumont zwölf Jahre später in einem Briefe sagte,²⁾ nachdem er dieselbe Oertlichkeit besucht, hatte man eine der ausgezeichnetsten Vorkommnisse des Metamorphismus in den Alpen vor Augen und zwar gleichzeitig ein solches, wie es am Besten beweist, dass sich diese Erscheinungen nicht einzig auf dieselben Massen beschränken.

Das ist der wichtige Schluss, zu welchem seinerseits Élie de Beaumont fast gleichzeitig mit Studer gelangte, als er die Alpen des Dauphiné und Savoyens in genauester Weise untersuchte, welche für die Geologie von der ausserordentlichsten Fruchtbarkeit war. Er hatte im Graphit des Col du Chardonnet, welcher Feldspathgesteine begleitet, eine Umwandlung des Anthracits erkannt³⁾ und schlug nach aufmerksamer Betrachtung vor, das Alter eines Theils dieser krystallinischen Gesteine als jurassisch anzunehmen.

So war dieser falsche Glaube an das hohe Alter der Alpengesteine, welcher schon durch Brochant und Leopold von Buch erschüttert war, für immer vernichtet. Zu gleicher Zeit lehrte Élie de Beaumont kennen, aus wie junger Zeit die Erhebung der grössten Bergkette in Europa sich herschreibt. So neue und grossartige Ergebnisse berührten natürlich alle Geister auf das Lebhafteste und gaben dem Eifer für geologische Untersuchungen einen ausserordentlichen Antrieb.

Élie de Beaumont, welcher zu jener Zeit (1829) an der École des mines die Vorträge über Geologie zu halten hatte, verbreitete auch fernerhin auf das Eifrigste die geologischen Lehren, zu welchen er selbst schon so viel beigetragen hatte, zumal durch seine Beobachtungen in den Alpen oder durch das, was er den Abhandlungen Macculloch's über Schottland entlehnte, Eben so deutlich als tief sinnig ist der Vergleich, den er über den allmählichen Uebergang der geschichteten in krystallinische Gesteine anstellte, indem er ihn zur Seite stellte „dem physikalischen Baue eines halbverkohlten Feuerbrandes, an welchem man die

1) v. Leonhard, Zeitschrift für Mineralogie, XXV., 1, 1827.

2) Brief É. de Beaumont's an Studer (v. Leonhard und Bronn, Neues Jahrbuch für Mineralogie etc., 1840, 352).

3) Sur un gisement de végétaux fossiles et de graphite situé au col du Chardonnet, département des Hautes-Alpes (Annales des sciences naturelles, XV., 1828).

Spuren der Holzfasern noch über die Stellen hinaus verfolgen kann, welche noch die Natur des Holzes zeigen.“¹⁾ Er zeigte ferner, dass Kalke und andere Gesteine krystallisiren konnten, ohne dass Schmelzung stattfand, wie es der Fall ist bei einer Eisenstange, welche man lange erhitzt, jedoch nicht so weit, dass sie erweicht.²⁾

Als Élie de Beaumont einige Jahre später in der Bergmasse des Oisans granitische Gesteine den Jurakalk überlagern sah, welcher zuckerkörnig geworden ist und welcher an seiner Berührungsstelle mit jenen von denselben aus mit kleinen Erzgängen durchzogen erscheint, wobei er sich ganz ihren welligen Umrissen anschmiegt: da vergrösserté er das Feld der metamorphischen Erscheinungen noch mehr.³⁾

Ganz ähnliche Umstände wie in den Alpen werden auch in den Apenninengegenden nachgewiesen. Der Marmor von Carrara und die Masse der Talk- und Glimmerschiefer, welche ihn begleiten, wurden in Folge der Beobachtungen Pasini's, Pareto's, Guidoni's, Paul Savi's,⁴⁾ welche durch Hoffmann⁵⁾ und Pilla ihre Bestätigung erhielten, den secundären, jurassischen oder Kreidebildungen angereiht. Savi gewann ferner, 1829, in Toskana viele höchst merkwürdige Beispiele verschiedenartiger Umwandlungen in der Nähe der Serpentine.

Auch in den Pyrenäen wurden in demselben Zeitraume That-sachen enthüllt, welche die neue Lehre bewahrheiteten und erweiterten.

Schon im Jahre 1819 hatte ein ebenso scharfsichtiger als bescheidener Beobachter, Palassou, nachdem er diese Gebirge vierzig Jahre lang durchforscht, mit Sicherheit angekündigt, es gäbe in dieser Gebirgskette gar keine Urkalke, und ebenso kry-

1) Annales des sciences naturelles, XV., 362—372.

2) Annales des mines, 3. série, V., 61.

3) Faits pour servir à l'histoire des montagnes de l'Oisans (ebend., 1).

4) Die Arbeiten dieser Geologen hat Boué übersichtlich dargestellt im Bulletin de la Société géologique, III., 52, 1832. Sie gehen von 1829—1831.

5) Entdeckungen über den Marmor von Carrara (v. Leonhard's Jahrbuch für Mineralogie, 1833, 102). Gebirgsverhältnisse der Grafschaft Carrara (ebend., 1834, 562; Karsten's Archiv, VI., 229). Wir glauben bei dieser Gelegenheit bemerken zu müssen, dass damals bereits de Blainville an polirten Stücken dieses letzteren Gesteines unzweifelhafte Spuren von Polyphen entdeckt hatte.

stallinische Kalke, als der Marmor von Paros, wechseln mit versteinерungenföhrenden Schichten, ja enthielten selbst Versteinерungen.¹⁾

Dufrёnoy zeigte, dass diese Umwandlungen durch die Einschreibungen grosser Granitstёcke hervorgerufen werden, dass sie auf jeder Strecke der Kette zu treffen sind und dass sie Schichten verschiedenen Alters bis zur Kreide einschliesslich herab betroffen haben.²⁾ Später noch that er dar, dass Eisenerze auch noch nach der Ablagerung der Kreide in der Nähe des Granits und wie in Folge der Erhebung dieser Kette gebildet seien.³⁾ So beurkundete die Bildung metamorphischer Gesteine und erzführender Lager die mächtige Wirkung des Granits. Dufrёnoy fand ausserdem in dem Kreidegebiete auch eigenthümliche Umwandlungsvorgänge, welche man der Nachbarschaft der Ophite zuzuschreiben hat.⁴⁾

Unter den ersten Beobachtern der metamorphischen Vorgänge ist auch Keilhau zu erwähnen, welcher 1826 erkannte, dass in der Umgegend von Christiania die Glieder des Uebergangsgebirges rings um den Granit verändert seien,⁵⁾ sowie auch Jackson, da er 1827 angab, dass Mandelsteine durch die Einwirkung von Trappgesteinen auf die Sandsteine Neuschottlands entstanden seien.

1) Mémoire sur les pierres calcaires des Pyrénées (Suite des Mémoires de Palassou. Pau, 1819).

2) In der Umgegend von Saint-Martin-de-Fenouillet. Caractère de la craie dans le sud de la France (Annales des mines, 2. série, VIII., 321, 1830).

3) Mémoire sur la position géologique des principales mines de fer de la partie orientale des Pyrénées, accompagné de considérations sur l'époque du soulèvement du Canigou et sur la nature du calcaire de Rancié (ebend., 3. série, V., 307, 1834).

4) Mémoire sur la relation des ophites, des gypses et des sources salées des Pyrénées (ebend., II., 21, 1832).

5) Er nimmt als Ursache dieser Umwandlungen an, es hätten sich bis zu einer Erstreckung von 1200 Metern einfache, moleculäre Thätigkeiten geltend gemacht, ohne Hinzutreten der Wärme oder Ausströmungen aus der Tiefe. Er glaubt, die Ausbruchsgesteine seien keine andern, als geschichtete Gesteine, welche in einer grössern Tiefe gelogen haben und flüssig geworden seien (Darstellung der Uebergangsformation in Norwegen, 1826. Ueber die Bildung des Granits: Karsten's Archiv, X., 1837; Gaea norwegica, I., 1830).

Viertes Stück.

Arbeiten in Bezug auf die Einwirkung des Erdinnern auf die äussere Hülle und den Zusammenhang derselben mit dem Metamorphismus.

Ausser den Umwandlungen, von denen so eben die Rede gewesen ist, giebt es auch noch andere Erscheinungen verschiedener Natur, welche gleichfalls von den Einwirkungen herrühren, die das Innere unserer Erde in früheren Zeiten auf die äussere Hülle ausgeübt hat und die sie noch darauf ausübt. Dieser Art sind die Vulcane, die alten Ausbrüche von Gesteinen, die Erzlagerstätten und die mechanischen Verschiebungen, welchen die Gebirgsketten ihren Ursprung verdanken. Diese verschiedenen, chemischen, physikalischen und mechanischen Thätigkeiten des Erdinnern hängen wahrscheinlich innig unter einander zusammen, und es würde eine Lücke bleiben, wenn in diesem geschichtlichen Ueberblicke nicht auch eine kurze Erwähnung der Arbeiten geschähe, welche, wenn auch nur mittelbar, beigetragen haben, die Erscheinungen des Metamorphismus aufzuklären.

§ 1.

Ausbrüche von Vulcanen.

Die erloschenen Vulcane des mittleren Frankreichs, deren Uebereinstimmung mit noch thätigen Feuerbergen Guettard 1751 erkannt hatte,¹⁾ enthüllten später dem Scharfsinne Dolomieu's eine wichtige Thatsache, nämlich, dass die vulcanischen Erscheinungen ihren Sitz unter dem Granite haben, wie überhaupt unter den Urgesteinen, das heisst unter der festen Erdrinde.²⁾ Dieser

¹⁾ Mémoire sur quelques montagnes de la France qui ont été des volcans (Mémoires de l'Académie, 1752).

²⁾ „1. Die vulcanischen Erzeugnisse gehören daselbst (in der Auvergne) zu einer Reihe von Massen, welche sich von den Graniten unterscheiden und auf ihnen ruhen. 2. Die vulcanischen Kräfte ruhten dort unter dem Granite und wirkten in bedeutender Tiefe unter ihm. . . . 3. Der Granit ist nicht das Urgestein, da er nothwendig jünger sein muss, als die Stoffe, welche die Massen tragen.“ (Rapport à l'Institut national sur les voyages de l'an V. et de l'an VI. Journal des mines, VII., 397, 1798). Einige Zeilen weiter (ebend., 398) fügt Dolomieu hinzu, er habe Grund dazu, seine Schlüsse auf alle übrigen Vulcane auszudehnen, welcher Art auch der umliegende Boden sei; die vulcanischen Kräfte sässen überhaupt in grossen Tiefen und unter der festen Erdrinde.

Gedanke, mit welchem wir jetzt so vertraut sind, erschien neu zu einer Zeit, in welcher man die vulcanischen Ausbrüche allgemein als rein zufällige und unbedeutende Erscheinungen an der Erdoberfläche betrachtete. Der Versuch Lémery's über die freiwillige Entzündung eines erhitzten Gemenges von Eisen und Schwefel,¹⁾ oder der, durch das fast unanfechtbare Ansehn Werner's geheiligte Glaube an unterirdische Verbrennungen kohligter Stoffe, liess in der That damals alles durch die Annahme einer Wirkung örtlich beschränkter Feuerherde erklären. Sogar Buffon, der glühendste Verfechter des ursprünglichen Gluthzustandes der Erde, betrachtete die Vulcane in keiner andern Weise. So war also der grossartige Gedanke des Descartes, welcher schon diese Erscheinungen mit der Bildung der warmen Quellen und der Erzgänge, ja sogar mit den ehemaligen Zerreibungen der Erdrinde in Verbindung brachte, in eine schwer zu begründende Vergessenheit gerathen. Dadurch, dass er, mehr noch durch die Gewalt der Thatssachen, als durch seine genauen Beobachtungen über die Zusammensetzung der Gesteine genöthigt, auf diesen Gedanken zurückkam, trug Dolomieu so sehr viel zu dem Aufschwunge bei, welchen die Geologie nun in Frankreich nahm.

Der menschliche Geist aber vermag sich im Allgemeinen nur durch lange und anhaltende Anstrengungen von unrichtigen Vorstellungen zu befreien. Man glaubte damals, und Dolomieu versuchte durch schlecht begründete Vermuthungen zu erweisen, dass die Laven, anstatt ihre Wärme aus ihren unterirdischen Heerden zu beziehen, sie durch eine Art innerer Verbrennung beim Austritte in das Luftmeer annehmen; dass ihr flüssiger Zustand mittelst eines Schmelzmittels, wie etwa der Schwefel ein solches sei, erhalten werde. Es bedurfte, dass erst Spallanzani eine lange Reihe von Versuchen über die Schmelzbarkeit der Laven anstellte, theils in Tiegeln, theils in Glasöfen, um diese Vorurtheile zu zerstören.²⁾ Die Genauigkeit und die Beobachtungsgaben des

1) Mémoires de l'Académie des sciences, 1700. Später gelangte Pallas dahin, dass er die Ursache der Vulcane bis in die krystallinischen Schiefer mit Eisenkies hinabverlegte, welche denen ähnelten, die er im Ural zu beobachten Gelegenheit gehabt hatte.

2) Voyage dans les Deux-Siciles. Die Urschrift stammt aus dem Jahre 1792, die Uebersetzung aus dem Jahre 1795. Man sehe besonders die Einleitung und den IV. Band.

Gelehrten von Pavia offenbaren sich in seinen Untersuchungen über die Beschaffenheit und den Ursprung der vulcanischen Gesteine in eben der Weise, als in seinen glänzenden Entdeckungen in Bezug auf die Lebensverhältnisse der Thierkörper, und er ist einer von denjenigen Männern, welche das Verdienst gehabt haben, den Versuch in die Geologie eingeführt zu haben.¹⁾

Später liessen Alexander von Humboldt, nachdem er die riesigen Feuerberge beider Amerika, und Leopold von Buch, welcher den Bau der Canarischen Inseln so tief erforscht hatte, durch andere Betrachtungen die Grossartigkeit und die allgemeine Verbreitung der vulcanischen Thätigkeit, sowie die verschiedenen Gestalten, in denen sie sich offenbart, von Neuem hervortreten.

§ 2.

Die Auvergne, welche, gleich Schottland, in ihrem geologischen Baue Thatfachen von der höchsten Anziehungskraft darbietet, hat ebenfalls die ersten Beispiele für das Vorkommen von Gesteinen geliefert, die man entschieden als durch Ausbrüche emporgebracht ansehen muss, ohne dass sie aber aus Vulcanen mit Krateröffnungen gekommen seien. Desmarest erkannte die feurige Bildungsweise der Basalte auf einer Reise, welche er 1763 in diese Gegenden anstellte, und machte sie 1768 bekannt,²⁾ also sieben Jahre vor der Veröffentlichung der ersten Arbeit Hutton's. Hier ist der Beginn des langen Kampfes zwischen Neptunisten und Plutonisten, welcher so lebhaft wurde, dass er sich durch mehr als ein halbes Jahrhundert hinzog, nachdem die Ausbruchsnatur der Basalte in der Auvergne, wie in Italien, eben durch Desmarest, auf den Hebriden durch Faujas-Saint-Fond, seinen Nachfolger, angedeutet worden war. Man kann aus dem Berichte Cuvier's vom Jahre 1808 deutlich sehen, wie viel Geltung damals noch die Beweisführung der Werner'schen Schule hatte, selbst in dem Lande, wo die Thatfachen so offenbar für das Gegen-

1) Spallanzani hat ausserdem die Salzsäure unter den Gasen entdeckt, welche die Laven aufblähen; auch den Wasserstoff in den natürlichen Feuern von Barigazzo. Beim Abschlusse seiner Untersuchungen über die Laven kommt Spallanzani auf die merkwürdige Meinung Faujas-Saint-Fonds zurück: „Es ist nicht unmöglich, dass das Wasser, im Verein mit dem Feuer, unbekannte und für die Kunst undarstellbare Verbindungen entstehen lasse“ (IV., 75).

2) Mémoires de l'Académie, 1768.

theil reden,¹⁾ und als auch noch neue so merkwürdige Beispiele für das Eindringen krystallinischer Gesteine von Strange, Hutton, Hausmann und Leopold von Buch in andere Gegenden Europas aufgefunden waren. Die Sache wäre ohne Zweifel viel rascher erledigt worden, wenn der Verkehr und die übrigen Beziehungen zwischen den einzelnen, europäischen Ländern damals so leicht und ausgedehnt gewesen wären, als sie es jetzt sind.

§ 3.

Bildung der Erzlagerstätten.

Seitdem man erkannt hatte, dass die Erzgänge, wie schon Descartes behauptet hatte, durch Ausströmungen aus der Tiefe der Erde ausgefüllt wurden, trug ihre Erforschung wesentlich dazu bei, Licht in die Erscheinungen zu bringen, mit denen wir uns beschäftigen. Der Beweis wird sich weiterhin ergeben.

§ 4.

Mechanische Verschiebungen der Erdrinde.

Die Lehre von der Bildung der Gebirgsketten zeigt in ihrer geschichtlichen Entwicklung keine eigenthümlicheren Erscheinungen, als die der Ausbruchsgesteine.

Schon Descartes hatte einen neuen Beweis von der bewundernswerthen Schärfe seines Geistes gegeben, als er die Verschiebungen der Erdrinde von der Erkaltung und Zusammenziehung der innern Masse ableitete.²⁾

1) „Nach Desmarest's Beobachtungen hat man lange Zeit allen Basalten, Gesteinen, welche den Laven so ähnlich sind, einen vulcanischen Ursprung zugeschrieben. . . . Indessen will es scheinen, als ob die Massen, welche den Laven zwar ähnlich, doch nicht alle dieselbe Entstehung haben. So die Gesteine, welche man Wacken nennt. In gewissen Gegenden Deutschlands besitzen sie grosse Verbreitung, lagern daselbst wagerecht, zeigen keine Erhebung, welche man als einen Krater ansehen könnte, ruhen auf leicht brennbaren Steinkohlen, ohne diese verändert zu haben, und sind also wohl nicht vulcanisch. Werner hat auf diese Fälle mit Recht aufmerksam gemacht, und viele Gesteinsmassen sind, diesen Beobachtungen zufolge, des ihnen zuerkannten Ursprungs beraubt. Es bleibt nur noch die Meinung Hutton's und James Hall's übrig, sie seien geschmolzen an Ort und Stelle zur Zeit eines allgemeinen und heftigen Gluthzustandes der Erde.“ (Cuvier, Rapport historique sur les progrès des sciences naturelles, édit. en 8°, 171 u. 172). Desmarest war Zeuge dieses langen Kampfes und auch dieses Berichtes, welcher seine Schlüsse verwarf, denn er starb 1815.

2) „Indem sich die Spalten vermehrten, vermochten die äussern Theile

Steno stützte sich auf genaue Beobachtungen, welche er in Toskana angestellt hatte, und glaubte, 1669, daraus schliessen zu dürfen, dass die geschichteten Massen ihre ursprünglich wagerechte Anordnung wahrscheinlich unter dem Einflusse unterirdischer Dämpfe eingebüst hätten.¹⁾ Er veröffentlichte seine Arbeit, nachdem er zwei Jahre zu Paris in Berührung mit Descartes zugebracht hatte,²⁾ dessen Lehre augenscheinlich tiefen Eindruck auf ihn gemacht hatte.

Ungeachtet der neuen Unterstützung von Seiten Steno's blieb die schöne Auffassung des französischen Philosophen über den Ursprung der Unebenheiten auf der Erde lange Zeit verkannt, indem sie Vermuthungen weichen musste, welche man heutzutage als grundlos erkannt hat. Leibnitz selbst, obgleich er auf den Gedanken und Beobachtungen dieser beiden grossen Männer fusste, mochte die Trockenlegung der alten Meeresgründe lieber durch das Eindringen eines Theils der Gewässer in die Schlünde erklären, welche er aus alten Auftreibungen der anfänglich geschmolzenen Masse ableitete.

Buffon, wenn er auch ebenfalls eine bedeutende Betheiligung der ursprünglichen Wärme annahm, war doch nicht glücklicher

nicht länger, ihre Lage zu behaupten; der Hohlraum brach plötzlich ein, und die Decke fiel in grossen Stücken auf die Oberfläche des Körpers c; was nun diese Oberfläche anbelangt, welche nicht gross genug war, um alle Stücke dieses Körpers in derselben Lage zu erhalten, die sie zuvor hatten, so mussten einige seitlich fallen und sich gegen einander lehnen" (§ 42, S. 322 der oben genannten Ausgabe von Desmarest's Werken). Die beigegebene Zeichnung erläutert den Gedanken des Verfassers vollkommen deutlich.

¹⁾ Das Werk dieses gelehrten Dänen, welcher zu gleicher Zeit Anatom und Geolog war, führt die Aufschrift: „De solido intra solidum naturaliter contento, dissertatio prodromus“, und enthält nur 76 Seiten. Es ist eine der merkwürdigsten, geologischen Arbeiten, durch die Richtigkeit und die Wichtigkeit der Beobachtungen, welche darin niedergelegt sind, durch die genaue Verkettung und Strenge der Schlüsse, die Knappheit der Schreibart und die gewissermassen geometrische Anlage, welche ihr der Verfasser gegeben, wie Bertrand de Saint-Germain treffend bemerkt hat. Schon lange hat Élie de Beaumont in den Annales des sciences naturelles, XX., 1832 die Aufmerksamkeit auf die hauptsächlichsten Folgerungen Steno's gelenkt. Dieser unterscheidet auch die vulcanischen und geschichteten Gesteine und bei letzteren ältere und jüngere.

²⁾ Von 1664 bis 1666.

als Leibnitz in der Aufstellung der beiden, einander widersprechenden Ansichten über die Bildung der Gebirge, welche er nach einander versuchte.¹⁾

Erst nach mehr als einem Jahrhunderte kamen Hutton, James Hall und Saussure auf neuen Wegen zu dem so fruchtbaren Gedanken des Descartes zurück.²⁾ Doch blieb er noch etwas unbestimmt und gleichsam verschleiert durch die Werner'sche Schule, als Leopold von Buch und Élie de Beaumont ihm eine entschiedene Wichtigkeit verliehen, indem sie ihn genau fassten, stützten und durch zahlreiche und scharfe Beobachtungen weiter entwickelten.³⁾

Man erkannte ferner, dass die Bildung der warmen und Gasquellen, wie die der Erzlagerstätten sich dem Netze von Spalten anschliesst, welche die Erdrinde zeigt, selbst in Gegenden, welche nicht von Ausbruchsgesteinen durchsetzt sind.⁴⁾

¹⁾ Theils im Meere, durch die Bewegung und den Absatz der Gewässer (Théorie de la terre), theils durch das Feuer in einer Zeit, in welcher die Erde noch in Gluth war, und, demzufolge, lange bevor es Meere und lebende Wesen gab (Époques de la nature, welche, wie man weiss, etwa dreissig Jahre nach dem erstgenannten Werke erschienen).

²⁾ Doch verdankt man gute Beobachtungen Robert Hooke gelegentlich des Erdbebens von 1705; Lazzaro Moro, 1740; Fichtel, Ueber die Karpathen, 1791; Heim, Geologische Beschreibung des Thüringerwaldes, 3. Theil. Dieser letztgenannte Beobachter war schon auf viele geistreiche Betrachtungen in Bezug auf die Möglichkeit einer Erhebung der Gebirge mittelst der Basalte und Porphyre, über die Sublimation der Mineralien und Metalle in die Gesteine, sowie über die in verschiedenen Gesteinen durch die feurigen Ausbrüche hervorgerufenen Umwandlungen eingegangen, wie bereits oben bemerkt worden ist.

³⁾ Die Auflagerung des Granits und Porphyrs auf das Uebergangsgebirge in der Gegend von Christiania, welche Hausmann bereits 1805 beobachtet hatte, und die langsame und allmähliche Hebung des Bodens in Schweden galten Leopold von Buch für unwiderlegliche Beweise. Aus den ältesten Beobachtungen ähnlicher Art muss man noch anführen die des Grafen Marzari-Pencati, welcher Faujas-Saint-Fond in Italien begleitet und ihn bereits damals aufmerksam gemacht hatte auf die Ueberlagerung der Schichtgesteine durch sogenannte Urgesteine, namentlich in Südtirol (1819).

⁴⁾ Fr. Hoffmann, einer der ersten, hat diese Art von Verbindung für die Gasquellen des nördlichen Deutschlands nachgewiesen (Nordwestliches Deutschland, 1830).

§ 5.

Unmittelbare Messungen beweisen die innere Wärme der Erde.

Obgleich die Annahme einer innern Wärme die Grundlage der ganzen Hutton'schen Lehre bildet, hat man erst weit später diese Hauptsache auf zuverlässige Weise dargethan, nämlich mit Hilfe hinreichend genauer und zahlreicher Messungen, so dass sie nun unzweifelhaft festgestellt ist. Durch eine Ausnahme, wie sie in beobachtenden Wissenschaften selten ist, waren in diesem besondern Falle bloss geistige Betrachtungen der Entdeckung der Wirklichkeit zugekommen. Vor der ersten Arbeit Hutton's besass man über die Wärmezunahme nach der Tiefe nur die unbestimmte Angabe Kircher's aus dem Jahre 1664¹⁾ und die Beobachtungen, welche Gensanne 1749 in den Gruben von Giromagny gemacht hatte. Die Messungen Freiesleben's und Humboldt's in Sachsen rühren aus dem Jahre 1791 her und sind daher nur zwei Jahre älter als die zweite Ausgabe von dem Werke des Führers der schottischen Schule. Von dieser Zeit ab folgen sich die Beobachtungen in grosser Zahl bis auf unsere Tage. Die vorzüglichsten verdankt man d'Aubuisson, von Trebra, Arago, Dulong, R. Fox, Boussingault, Reich, de la Rive, Erman, Walferdin und Andern. Es bestanden indessen noch Ursachen für Irrthümer, welche man der hauptsächlichlichen Thatsache entgegenhalten konnte, als Cordier in seinem *Essai sur la temperature de la terre* (1823 vor der Académie des sciences gelesen und 1827 veröffentlicht) die letzten Zweifel beseitigte. Vor dieser Veröffentlichung hatte dieser Gelehrte, bei welchem der Anblick Teneriffa's längst die Gedanken, die er in Dolomieu's Nähe aufgenommen, befestigt hatte, mit Hilfe eines neuen Verfahrens in der Zerlegung die mineralogische Zusammensetzung der vulcanischen Gesteine und die Aehnlichkeit nachgewiesen, welche alle diese Gesteine verbindet, so mannigfaltig ihre Beschaffenheit auch sein mag.²⁾

1) Die Beobachtungen, welche Bergmeister Schapellmann auf Kircher's Anregung zu Herregrund in Ungarn anstellte, ergaben nur, dass die Gruben, wenn sie trocken sind, um so wärmer sind, in je grössere Tiefe sie eindringen (*Mundus subterraneus*, II, 184—185). Die Messungen Guettard's (1762), Deluc's und Saussure's (*Voyage*, § 1088) konnten auch nicht auf einen zuverlässigen Schluss führen.

2) *Recherches sur differents produits des volcans* (*Journal des mines*,

Endlich weiss man, dass mehrere Geometer versucht haben, die innern Zustände des Erdkörpers in den verschiedenen Zeitabschnitten mit Hilfe der Rechnung zu erforschen. Ich kann hier nur auf die wichtigen Untersuchungen Fourier's, Lagrange's, Laplace's und Poisson's verweisen.¹⁾

Man ist also auf ganz verschiedenen Wegen dahin gelangt, in der Geologie den Gedanken an eine innere Wärme zum Grundgedanken zu erheben, und die Wichtigkeit der Lehre vom Metamorphismus anzuerkennen, welcher sich zu jener verhält, wie Wirkung zu Ursache.

Fünftes Stück.

Seit Hutton angenommene Aenderungen der Ansichten in Bezug auf den Metamorphismus.²⁾

Bis zu der Zeit, bei welcher wir oben im dritten Stücke stehen geblieben sind, hatte man nach dem Beispiele Hutton's die Wärme, unterstützt von einigen flüchtigen Stoffen, für die fast ausschliessliche Ursache aller metamorphischen Erscheinungen ansehen müssen. Man vermeinte, die umgewandelten Gesteine seien erst krystallisirt, nachdem sie erweicht und vielleicht von den benachbarten oder unterlagernden, feurigen Massen durchtränkt seien.³⁾ Wir werden etwas später sehen, dass alle auf

XXI., 249, 1807 und XXIII., 35, 1808). *Mémoire sur les substances minérales dites en masse qui entrent dans la constitution des roches volcaniques de tous les âges* (*Journal de physique*, LXXXIII., 1816).

¹⁾ Man kann auch noch anführen: Élie de Beaumont, *Note sur le rapport qui existe entre le refroidissement progressif de la masse du globe terrestre et celui de la surface* (*Comptes rendus*, XIX., 1844 und *l'Institut*, 1845, 32). Libri, *Mémoire sur la théorie mathématique des températures terrestres* (*Annales de chimie et de physique*, II., 387) und mehrere wichtige Abhandlungen von Hopkins und Hennessy.

²⁾ Statt, gleich Hutton, die Wärme, welcher einst gewisse Schichten ausgesetzt waren, derjenigen auf dem Grunde des Meeres zuzuschreiben, erklärt man sie, da man letztere jetzt als sehr niedrig kennen gelernt hat, durch andere Umstände, wie man im dritten Abschnitte dieser Arbeit sehen wird.

³⁾ Boué, in der oben angeführten Abhandlung, 1824. Fournet, *Lettre sur les modifications que certaines roches ont subies par l'action d'autres roches* (*Annales de chimie et de physique*, 2. série, LX., 291, 1836). Sim-

Zusammensetzung von Mineralverbindungen gerichteten Versuche der Hüttenmänner und Chemiker diese Anschauungsweise vollkommen zu rechtfertigen schienen. Gewisse Thatsachen, genauer beobachtet, stellten sich nun einer so allgemein angenommenen Ansicht entgegen.¹⁾ Um ernsthafte Einwürfe, welche sich damals erhoben, zu beseitigen, suchte man vergebens Cämentation, Electricität,²⁾ Möglichkeit wechseltiger Lösung von Kieselsäureverbindungen eine Rolle spielen zu lassen. Gewichtige Zweifel waren rege geworden und konnten nur immer gewichtiger werden. In diesem Augenblicke schien sich ein neuer Weg zu öffnen, und wir werden bald sehen, wer ihn zuerst betreten habe.

Zuerst hat man eingesehen, dass die Erzgänge zum grössten Theile weder durch geschmolzene, noch durch verflüchtigte Stoffe erfüllt werden konnten, wohl aber durch solche, welche in Wasser von hoher Wärme gelöst enthalten waren.

Die Bemerkungen Longchamp's über die Beziehungen der warmen Quellen von Chaudesaigues zu dem Eisenkiesgange, aus welchem sie entspringen,³⁾ sowie die geistreichen Versuche Becquerel's, bei denen es ihm gelang, auf nassem Wege Bleiglanz, Antimonglanz und andere Gangmineralien künstlich darzustellen, trugen wesentlich dazu bei, nach dieser Richtung hinzulenken.⁴⁾ Im Jahre 1833 schloss Fournet, nachdem er die Gänge von Pontgibaud in der Auvergne untersucht hatte, dass dieselben wahrschein-

plification de l'étude d'une certaine classe de filons (Société des Sciences de Lyon, 1845. Bulletin de la Société géologique de France, 2. série, IV., 222). Fournet, welcher diese Schule in Frankreich in's Leben gerufen hat, vergleicht diese Erscheinungen dem Eindringen einer Masse in die Wände einer Kapelle. Die Quarzknuern der Glimmerschiefer hätten keinen andern Ursprung. Der Quarz hätte in Folge eines eigenthümlichen Zustandes von Ueberschmelzung erst nach den sonst schmelzbarsten Körpern fest werden können. Auf diese Weise erklärt Fournet auch die Umwandlung eines Ausbruchsgesteins durch das durchbrochene, eine besondere Art von Umwandlung, welche er als Endomorphismus bezeichnet.

1) Man sehe namentlich das erste Stück der dritten Abtheilung vorliegender Abhandlung.

2) Violet leitete die Wirkungen des Metamorphismus von electrochemischen Vorgängen ab, welche vielleicht durch das gleichzeitige Herrschen bedeutend hoher Wärme hervorgerufen wurden (Bulletin de la Société géologique de France, V., 313, 1835).

3) Annales de chimie et de physique, XXXII., 294, 1826.

4) Annales de chimie et de physique, 1829, 1832 und 1833.

lich durch Uebersinterungen aus Mineralwassern erfüllt seien.¹⁾ Die mineralogische Aehnlichkeit zwischen den Gängen Sachsens und den quarz- und erzführenden Ablagerungen im Lias Burgunds, welche nach aller Wahrscheinlichkeit sich nur auf nassem Wege entwickeln konnten, bestätigte den Vermuthungsschluss, welchen Élie de Beaumont schon lange in seinen Vorträgen an der École des mines aufzustellen pflegte. Die Richtigkeit derselben fand bei v. Beust volle Anerkennung.²⁾ Élie de Beaumont machte auch die Bemerkung: „Die Gänge finden sich in der Regel nahe der Berührungsstelle zwischen den geschichteten und den ungeschichteten Massen, welche erstere von letztern durchsetzt werden; hier ist auch das gewöhnliche Vorkommen der warmen Quellen, welche auch noch in unsern Tagen häufig mannichfache, steinartige oder metallische Stoffe auf ihrem Laufe absetzen.“³⁾ Der wichtige Schluss über die Ausfüllungsweise der Gänge, auf welchen diese verschiedenen Vergleiche führten, unterschied sich im Grunde noch mehr von der Lehre Werner's als von der des Descartes und der Hutton's.

Die Untersuchung der metamorphischen Gesteine selbst ergab eine Reihe von Umständen, welche sich nicht durch Annahme des nassen Weges erklären liessen. Dahin gehören besonders die Ausdehnung und Gleichförmigkeit der umgewandelten Massen, die Vertheilung und Anordnung der Mineralkörper, welche in Gesteinen entstanden waren, von denen man erkannte, dass sie

1) Bulletin de la Société géologique de France, V., 188. Boubée glaubt, denselben Ursprung haben die Eisenerzlager und andere, welche in den Pyrenäen sich an der Grenze zwischen dem Granite und dem geschichteten Gesteine finden (ebend., III., 251, 1833). Im Jahre 1837 zeigte Robert Were Fox in seinen Observations on mineral veins (Report of the Royal Cornwall Polytechnic Society, 1836), wie die Gänge ihren Ursprung warmen Quellen zu verdanken scheinen; nach ihm beruht ihre Bildung auf thermo-electrischen Vorgängen, deren Anzeichen er in seinen Versuchen über die Gänge gefunden zu haben glaubt. De la Beche nahm diese Ansicht in seinem Geological report on Cornwall and Devon, 1839, auf.

2) Kritische Beleuchtung der Werner'schen Gangtheorie, 1840, 6. Der Verfasser macht aufmerksam auf die ausserordentliche Aehnlichkeit der in den Arkosen Burgunds eingeschlossenen Lager mit den Gängen Freibergs. Die anziehenden Beobachtungen Bischof's über die Bildung des Eisenkieses und über die Mineralquellen bereiteten dies Ergebniss vor. Seine Abhandlung über die Ausfüllung der Gänge (Ueber die Entstehung des Quarzes und der Erzgänge) rührt vom Jahre 1843 her.

3) Explication de la Carte géologique de la France, I., 43.

nicht wieder erweicht und niemals einer sehr hohen Wärme ausgesetzt gewesen seien. Diese letztern Folgerungen ruhen auf Umständen, welche in der dritten Abtheilung dieser Abhandlung zur Sprache gelangen werden.

Am Schlusse eines wichtigen Aufsatzes, welchen Durocher im Jahre 1846 veröffentlichte¹⁾ und worin er viele, ihm eigenthümliche Beobachtungen niederlegte, leitete er die Wirkungen des Metamorphismus von langsam thätigen Kräften und der Uebertragung molecularer Theilchen, wie bei der Cämentation, ab.

Andere Beobachtungen, welche auf das Wasser als wahrscheinliches Mittel zur Verbreitung der Wärme beim Metamorphismus hinwiesen, verdankt man Fuchs, Silliman, Dana²⁾ und Schaffhäuti.³⁾ Man muss hier ferner die zahlreichen Arbeiten Bischof's erwähnen, welcher, ausgerüstet mit sehr scharfem Urtheil und mit den Waffen der Chemie, seit Langem unaufhörlich gegen die überplutonistischen Ansichten gekämpft hat, wie sie zu der Zeit, von der wir reden, im Schwange waren.⁴⁾ Seinem Beispiele folgte Volger und hat ebenfalls Beweise gegen die Einwirkung der Wärme beigebracht, welche er sogar völlig zurückweist.

Nach einer Untersuchung der wesentlichsten Eigenthümlichkeiten in den vulcanischen Erscheinungen Islands, machte Bunsen auf die Wirkungen der Gase und des Wassers bei solchen Wärmeverhältnissen, wie bei den jetzigen Fumarolen, aufmerksam und nahm danach diese Körper für nicht minder kräftige Urheber von Umwandlungen, als die Wärme.⁵⁾

1) *Études sur le métamorphisme* (Bulletin de la Société géologique de France, 2. série, III, 547, 1846). *Métamorphisme dans les Pyrénées* (Annales des mines, 3. série, VI., 78).

2) Ist ein Gestein auf fünfzehn Meter gefrittet, so würde es auch mindestens auf die Hälfte dieser Dicke geschmolzen sein, wäre Wärme die Ursache der Umwandlung. Die Zufuhr der Wärme scheint durch das Wasser vermittelt zu sein (Silliman's Journal, XLV., 1843).

3) v. Leonhard und Bronn, *Neues Jahrbuch für Mineralogie etc.*, 1845, 858.

4) Das an Beobachtungen so reiche Werk Bischof's, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*, erschien in den Jahren 1847—1855.

5) Ueber den innern Zusammenhang der pseudovulcanischen Erscheinungen Islands (Annalen der Chemie und Pharmacie, LXII, I., 1847). Ueber die Prozesse der vulcanischen Gesteinbildungen Islands (Annalen der Physik und Chemie, LXXXIII., 147, 1851; v. Leonhard und Bronn, *Neues Jahr-*

In letzter Zeit hat Delesse mit Hilfe der chemischen Zerlegung die Eigenheiten der Ausbruchsgesteine und der sie einschliessenden in der Nähe der Berührungsstellen untersucht.¹⁾ Durch Berücksichtigung zahlreicher Umstände sah auch er sich veranlasst, eine Umwandlung der durchbrochenen Gesteine von Seiten der trappischen und granitischen weniger als durch die, letztern eigene Wärme, als vielmehr durch die wässerigen und mit verschiedenen salzigen oder sauren Stoffen beladenen Ausströmungen hervorgerufen anzunehmen.

Zu derselben Zeit, in welcher die eben besprochenen Beobachtungen die Bethheiligung des Wassers beim Metamorphismus ergaben, erkannte man mit Hilfe anderer Thatsachen, dass das jetzige Ausbruchsgestein, welchem man die grösste Fähigkeit zur Umwandlung der eingeschlossenen Massen zugeschrieben hat, der Granit, nicht selbst auf rein feurigem Wege entstehen konnte. Breislack,²⁾ Fuchs, de Boucheporn, Schafhütl und

buch für Mineralogie etc., 537, 1851). Ich gedenke noch Cotta's, welcher bei der Beschreibung der grossartigen Wirkung des Metamorphismus in den Alpen ebenfalls mit Recht bemerkt hat, dass eine solche nicht ohne Beihilfe des Wassers, sei es nun der Gebirgsfeuchtigkeit, sei es warmer Quellen, zu Stande kommen könne (Geologische Briefe aus den Alpen, 243, 1850). Sterry Hunt entwickelte geistreiche Gedanken über die Wirkung des nassen Weges beim Metamorphismus und andern chemischen Erscheinungen und hat dieselben vor Kurzem in einer Abhandlung zusammengefasst (Quarterly journal of the Geological Society, XV., 488, 1859).

1) Études sur le métamorphisme (Annales des mines, 5. série, XII. und XIII., 1857 und 1858).

2) Obgleich Breislack die Ansichten der Neptunisten kräftig bekämpfte, so hatte er doch bereits, gestützt auf die Ausscheidungsreihe der Bestandtheile des Granits und den öfteren Einschluss von Wassertropfen in dessen Quarze, bemerkt, es sei schwierig, zuzugeben, dieses Gestein habe sich einst in wirklichem Flusse befunden (Institutions géologiques, traduction française I., 68). „Warum hätten nicht Feuer und Wasser zur Ausbildung unserer Erde zu verschiedenen Zeiten und zuweilen selbst unter Vereinigung ihrer Kraft beitragen können?“ (I., 68). In dieser Weise suchte er den schon von Faujas-Saint-Fond und Spallanzani gehegten Gedanken weiter auszuführen. Er stellte zwei Kräfte näher zu einander, welche einander durchaus nicht in dem Masse ausschliessen, als wie die beiden, gegen einander kämpfenden Schulen behaupteten. Vielmehr erblickte er dieselben in den Vulkanen, deren Wesen er sorgfältig erforscht hatte, vereinigt. Er sagt: „Wenn Erfahrungen den Forscher zur Leitung dienen müssen, und wenn die, welche wir aus der Natur der Vulcane entnehmen, die wichtigsten

Scheerer¹⁾ schlossen aus der Häufigkeit dieser einzelnen Quarzkörner, aus der Anordnungsweise der verschiedenen Bestandtheile, endlich aus der Gegenwart der ihn stets begleitenden, in der Hitze verglimmenden Mineralien, dass der Granit ursprünglich habe Wasser enthalten müssen; dass ferner die Gegenwart dieses Wassers die Bildsamkeit der Masse weit unter dem jetzigen Schmelzpunkte habe erhalten können. Élie de Beaumont zeigte ferner, dass der Granit seine mineralogische Zusammensetzung höchst wahrscheinlich verschiedenen Stoffen verdanke, welche nach dem Festwerden zugleich mit dem Wasser verschwanden, als wie Verbindungen des Chlors, Bors und Fluors. So „muss die Bildungsweise des Granits in der Mitte stehen zwischen derjenigen der gewöhnlichen Gänge und derjenigen der vulcanischen und basischen Ausbrüche;“²⁾ und der nur immer krystallinische Zustand dieses Gesteins entspringt nicht daher, dass er aus grosser Tiefe in die Höhe gedrungen sei.

Die geistreichen Untersuchungen, welche Sorby mit Hilfe des Mikroskopes anstellte, bestätigen vollständig die Dazwischenkunft des Wassers und der Wärme bei der Granitbildung.³⁾ Ich muss bei dieser Gelegenheit daran erinnern, dass die Flüssigkeitströpfchen, welche man mit blossen Auge in gewissen Krystallen zugleich mit gasigen Stoffen bemerkt, schon Davy aufgefallen waren, und dass ihre Untersuchung bei diesem Gelehrten die Vermuthung rege gemacht hatte, dass das Wasser mit Hilfe von Druck zur Bildung des Bergkrystalls beigetragen habe. Später hat Sir David Brewster diese Art von Untersuchungen erweitert.⁴⁾

sind, wie wir sie überhaupt sammeln können, warum dürften wir wohl keinen Gebrauch von ihnen machen?“

1) Discussion sur la nature plutonique du granit et des silicates cristallins qui s'y rallient (Bulletin de la Société géologique de France, 2. série, IV., 468, 1847). Réponses aux objections de M. Durocher (Ebend., VI., 644 und VIII., 500).

2) Élie de Beaumont, Note sur les émanations volcaniques et métallifères (Ebend., IV., 1291).

3) On the microscopical structure of crystals etc. (Quarterly journal of the Geological Society, XIV., 453; Comptes rendus de l'Académie, XLVI., 146, mit Bemerkungen Élie de Beaumont's).

4) Annales de chimie et de physique, XXI., 182, 1822. Nach Brewster enthält auch der brasilianische Topas verschiedene Flüssigkeiten (Annalen der Physik und Chemie, VII., 493).

Eine andere Reihe von Thatsachen hat noch in der Ueberzeugung bestärkt, dass der Granit in einem bildsamen Zustande habe bestehen können, ohne dabei eine sehr bedeutende Wärme besessen zu haben: nämlich die Wahrnehmung, dass die Gesteine, in welche er sich in diesem bildsamen Zustande eingedrängt hat, oft eine kaum merkliche Veränderung zeigen, selbst an der Berührungsstelle mit jenem.¹⁾

Die übrigen Ausbruchsgesteine scheinen ebenfalls unter Beihilfe des Wassers gebildet, und zwar, ihrem grössten Theile nach, unter weit weniger hohen Wärmeverhältnissen, als man früher vermuthet hatte.²⁾

Haben nun die Ausbruchsgesteine die Auszeichnung verloren, eben bei so hoher Wärme gebildet zu sein, welche man ihnen lange Zeit zugeschrieben hatte, so ist es schwer, zuzugeben, dass ihre Wärme für sich allein habe die ausserordentlichen Wirkungen hervorbringen können, welche man davon so oft annehmen zu müssen gemeint hat.

So ist man, gleichsam auf drei verschiedenen Wegen, dahin gelangt, den Satz aufzustellen, dass das Wasser, unterstützt von gewissen Stoffen, neben der Wärme Bedeutendes geleistet habe, sowohl für den Metamorphismus, als für die Bildung der hauptsächlichsten Erzlagerstätten und der Ausbruchsgesteine.

Ich habe bereits von den ersten Beobachtungen gesprochen, welche den metamorphischen Zustand gewisser Dolomite kennen gelehrt haben. Seitdem hat man diesen Ursprung in verschiedenen Gegenden bestätigt. Lardy bemerkte in seinem ausgezeichneten *Mémoire sur la constitution géognostique du Saint-Gothard* (1829), dass Dolomit und Gyps in Berührung stehen müssen mit der Oeffnung der Spalte, welche das Thal des Tessin bildet.³⁾ Die in Dolomit umgewandelten Korallen, welche de Verneuil bei

1) Delesse hat neuerdings die Beweise dafür übersichtlich zusammengestellt und damit seine eigenen Beobachtungen über den Metamorphismus in seinen *Recherches sur l'origine des roches* (*Bulletin de la Société géologique de France*, 2. série, XV., 728) verbunden. Auch H. Rose hat in jüngster Zeit Beweise in demselben Sinne vorgebracht (*Ueber die verschiedenen Zustände der Kieselsäure*; *Annalen der Physik und Chemie*, CVIII., 11, 1854).

2) Die oben genannte Arbeit Delesse's zählt die Hauptgründe dafür auf.

3) *Denkschriften der Allgemeinen schweizerischen Gesellschaft für die gesammten Naturwissenschaften*, I., 200, 1829.

Gerolstein gefunden hat, haben gleichfalls zu Gunsten der Ansicht von der umgewandelten Natur dieses Gesteines einen Beweis geliefert, dessen Wichtigkeit von Élie de Beaumont längst geltend gemacht ist.

Élie de Beaumont hat, indem er sich auf die so merkwürdig höhlen- und spaltenreiche Beschaffenheit vieler Dolomite, wie deren Tyrols, von Lugano, Frankens stützte, im Jahre 1829 gezeigt, dass diese Beschaffenheit von einer nachträglichen Umwandlung und von einer Ersetzung der kohlensauren Kalkerde durch eine gleichwerthige Menge kohlensaurer Talkerde herrühre.¹⁾

Was die Art und Weise anbelangt, in welcher dieser Austausch Statt gehabt haben mag, so hatte die Untersuchung der Dolomite und Gypse im Thale des Tessin schon im Jahre 1834 bei de Collegno die Ansicht erweckt, dass die kohlensaure Kalkerde wahrscheinlich gleichzeitig in Dolomit und Gyps in Folge der Einwirkung mineralischer Gewässer umgewandelt worden sei, sowie er auch den Gedanken fasste, die Spuren dieser Gewässer im Val Canaria zu suchen.²⁾ Von demselben Standpunkte der Gedankenverbindungen gingen später Haidinger und von Morlot zu Versuchen über, den Dolomit künstlich nachzubilden.³⁾

In vielen geschichteten Gebieten, zum Beispiel in dem der Trias, tritt der Dolomit in regelmässigen Lagen auf. Hat nun wirklich ein Umtausch der Bestandtheile stattgefunden, so musste dies schon sogleich bei der Ablagerung geschehen sein. Dieser Vorbehalt ist auch von Élie de Beaumont gemacht, namentlich zu Gunsten der Dolomite der bunten Mergel.⁴⁾

1) Élie de Beaumont, Note sur la forme la plus ordinaire des objections relatives à l'origine de la dolomie (Annales des sciences naturelles, XVIII., 269, 1829. Bulletin de la Société géologique de France, VIII., 173, 1836).

2) Notes sur quelques points des Alpes suisses (Bulletin de la Société géologique de France, VI., 110, 1834).

3) Einige Gelehrte, unter ihnen Daubeny, Leube und Grandjean, betrachteten den Dolomit auch als durch den Angriff des aus dem Luftmeere ausgeschiedenen Wassers auf talkerdereiche Kalke entstanden. Andere, wie Rozet und Puggaard, haben manche Dolomite aus der Erde hervorbrechen lassen, welche Gänge bilden und Bruchstücke anderer Gesteine umschliessen (Framont, Graubünden, Fulda, Helsingfors, Sorrento).

4) Observations sur les différentes formations, qui, dans le système des Vosges, séparent la formation houillère de celle du lias (Mémoires pour servir à une description géologique de la France, I., 78, 153, 192).

Man hat auch erkannt, dass der Gyps an manchen Stellen durch Umwandlung des Kalkes gebildet sei. Ich erwähne in dieser Hinsicht nur der Beobachtungen Hoffmann's und Coquand's über die durch Fumarolenthätigkeit erzeugten Gypse auf den liparischen Inseln und in Toskana, und derjenigen Dufrenoy's über die Gypse, welche die Ophite der Pyrenäen begleiten.

Die Bildungen des Dolomits, Anhydrits und Steinsalzes haben ebenfalls Gelegenheit für das Erscheinen zahlreicher Arbeiten geboten, welche hier aufzuführen nicht möglich ist.¹⁾

Sechstes Stück.

Metamorphismus im Gefüge.

Zu Hutton's Zeiten hatte man noch nicht bemerkt, dass das blättrige Gefüge, welches in ganzen, grossen Gesteinsmassen so häufig ist, erst nach der Bildung dieser Felsmassen selbst entstanden, also selbst eine besondere Art des Metamorphismus sei.

Der Unterschied, welchen wir jetzt zwischen Schieferung und Schichtung machen, ist doch bereits im Beginne dieses Jahrhunderts von verschiedenen Forschern beschrieben, so von Lasius,²⁾ Voigt,³⁾ v. Moll,⁴⁾ v. Hoff,⁵⁾ Schmidt.⁶⁾ In England hatte John Philipps in Yorkshire den Unterschied zwischen ächter und falscher Schieferung erkannt. Sedgwick⁷⁾ bestätigte und verallgemeinerte die Lehre von diesem Gegenstande und zeigte, dass in Wales die Schieferlagen meist schief zur Schichtung stehen.⁸⁾

Sedgwick machte ferner auf eine andere Erscheinung auf-

1) Als der vornehmlichsten gedenke ich des Werkes von Alberti, der Abhandlungen Fournet's und Boué's (Ueber die Dolomite, Sitzungsberichte der Academie der Wissenschaften zu Wien, XII., 422, 1854).

2) Beobachtungen über das Harzgebirge, 1789.

3) Praktische Gebirgskunde, 1797.

4) v. Moll's Ephemeriden, III., 71, 1807.

5) Schieferbrüche von Lehesten in Franken.

6) In Westphalen.

7) On the chemical changes produced on the aggregate of stratified rocks (Transact. of the Geological Society, III., 354, 1835).

8) Parrot hatte, einem handschriftlichen Berichte von 1826 zufolge, an den Schiefern der Ardennen denselben Unterschied gemacht (Explication de la carte géologique de la France, I., 262).

merksam, nämlich auf die erstaunliche Gleichmässigkeit, mit welcher sich die Schieferung in grossen Strecken ausgebildet hat, selbst mitten in den beträchtlichsten Biegungen der Schichten, denen sie eigen ist. Diese Beobachtung hat volle Bestätigung gefunden durch Studer und Forbes in den Alpen, durch Sir Roderick Murchison, durch Darwin in den Anden, durch die Gebrüder Roger's in den Apalachen¹⁾ und durch Andere.

Es bestehen zwischen der Lage der Schieferblätter und der Schichten Beziehungen, welche Baur und Sharpe mit grossem Scharfsinn entwickelt haben.

Die Ausbildung des schiefrigen Gefüges hat man krystallinischen, polaren oder elektrischen Vorgängen zugeschrieben. Diese schwankenden Vermuthungen konnten sich nur auf einen von Robert Fox beschriebenen Versuch stützen, wonach feuchter Thon in Gegenwart elektrischer Ströme deutlich schiefrig werden kann.²⁾ Diese Ursachen, welche man als verborgene bezeichnen könnte, sind jedoch von ausgezeichneten Gelehrten anerkannt, wie von Sedgwick, Sir Henry de la Beche,³⁾ Sir John Herschel,⁴⁾ Hopkins⁵⁾ und Scheerer.⁶⁾

Dies lässt sich leicht erklären, indem die merkwürdige Thatsache, welche ganz besonders geeignet war, auf die richtige Erklärung zu leiten, nur erst in neuester Zeit von Baur entdeckt worden ist.⁷⁾ Derselbe hat zuerst in einer höchst bemerkenswerthen Abhandlung vom Jahre 1846 gezeigt, dass die Schieferung erst nach der Biegung der Schichten entstanden und von einem

1) Proceeding of the meeting of american naturalists and geologists, 1845.

2) Report on Cornwall polytechnic Society, 1837. Hunt hat später ähnliche Versuche angestellt (Memoirs of the Geological Survey of Great Britain, I., 433).

3) Geological report on Cornwall and Devon, 281, 1839. Der Verfasser vermuthet, dass die polaren Kräfte in Verbindung mit dem Erdmagnetismus ständen.

4) Lyell, Manual of elementary geology, 5. edit., II., 448.

5) On the connection of geology with terrestrial magnetism.

6) Karsten's Archiv für Mineralogie, XVI., 109, 1842. Darwin hat ebenfalls eine Erklärung dieser Art vorgeschlagen (Geological observations on South America, 168).

7) Baur, über die Lagerung des Dachschiefers und über die von der Schichtung abweichende Schieferung des Thonschiefers (Karsten's Archiv für Mineralogie, XX., 398, 1846). Der Schluss Baur's ist von mehreren, sehr geschickt beobachteten Beispielen entlehnt.

Drucke herzurühren scheine, auf welchen senkrecht sie sich entwickelte.

Nur ein Jahr später gelangte Sharpe, für welchen man oft das Recht der ersten Entdeckung hat in Anspruch nehmen wollen, zu demselben Schlusse, indem er von andern, sehr genauen Untersuchungen über die Verdrückung der Versteinerungen ausging. Er stellte auch nachher dieselbe Thatsache für Gesteine fest, in denen man keine Ueberreste organischer Körper findet.¹⁾

Der erste Versuch einer künstlichen Nachbildung dieser Verhältnisse auf mechanischem Wege wurde von Sorby ausgeführt, dem man auch sonst eine ganze Reihe geistreicher Forschungen verdankt.²⁾ Er hatte anderweitig durch mikroskopische Untersuchung über die Anordnung ihrer Bestandtheile, sowie durch wiederholte Pressung gewisser dünner Schichten erkannt, dass die schieferigen Gesteine eine Zusammendrückung erlitten haben.

Noch weiter ging John Tyndall. Er brachte ein blättriges Gefüge, ganz wie beim Dachschiefer, in mehreren bildsamen Stoffen hervor, so beim Pfeifenthone und beim Wachse, dadurch, dass er sie zusammenpresste und einer Art von Zerblätterung unterwarf.³⁾ Durch diese Versuche wurde ohne Zweifel der genannte, geschickte Physiker später veranlasst, sich mit dem Gefüge und der Bewegung der Gletscher zu beschäftigen.

Ich schliesse mit der Bemerkung, dass Laugel und Haughton versucht haben, die Wirkung des Drucks, welcher die Schieferung hervorrief, der Rechnung zu unterwerfen.

Die Geschichte der Aufeinanderfolge der Gedanken über die Schieferbildung zeigt, worauf wir im Vorbeigehen hindeuten wollen, wie sehr es von Wichtigkeit ist, den Weg der Beobachtungen und Thatsachen nicht zu verlassen, und wie weit man sich, zumal in der Geologie, verirren kann, wenn man von ihm abweicht.

1) Quarterly journal of the Geological Society of London, III., 74, 1847. Sharpe hat später eine vortreffliche Abhandlung über diesen Gegenstand veröffentlicht (Geological proceedings, November 1854). H. Clifton hat sich gleicher Weise damit beschäftigt.

2) Beim Zerblättern von Thon, dem er Eisenglanzblättchen beigemischt hatte, sah Sorby, dass sich diese senkrecht zur Richtung des Druckes anordnen (Edinb. philos. journal, LV., 137, 1853; Quarterly journal of the Geological Society, X., 73, 1854).

3) Comparative view of the clivage of crystals and slate rocks (Lond., Edinb. and Dublin Philosophical magazine [4], XII., 35 und 129, 1856).

Es ist wohl zu bemerken, dass, nachdem man aus der Beobachtung auf die Inbetrachtung einer möglichen Bethheiligung mechanischen Druckes als Ursache der Erscheinung geleitet worden, es doch nicht weniger als zehn Jahre dauern konnte, bevor man den Gedanken fasste, zur Bewahrheitung derselben den Weg des Versuchs zu betreten.

Siebentes Stück.

Erwähnung anderer Schriftsteller, welche sich mit dem Metamorphismus beschäftigt haben.

Die Thatsachen, auf welche die Lehre vom Metamorphismus gegründet ist, hat man in allen Ländern anerkannt, und seit den dreissig Jahren, in denen man diesem Gegenstande seine Aufmerksamkeit geschenkt hat, haben sich viele Beobachter damit beschäftigt, von denen manche die Tragweite der Erscheinung überschätzt oder verkannt haben. Die Zahl der Beobachter selbst ist eine so beträchtliche, dass es unmöglich sein dürfte, ohne diese Arbeit übermässig auszudehnen, mehr als die vorzüglichsten Namen aufzuführen. Dahin gehören also:

In Frankreich Alexandre Brongniart, d'Omalius,¹⁾ de Bonnard,²⁾ Fournet,³⁾ de Boblaye,⁴⁾ Virlet,⁵⁾ A. Burat, de Bouche-

1) Brongniart et d'Omalius, Sur le Cotentin, 1814 (Journal des mines, 1835).

2) Die Erzlager in Verbindung mit kieseligen und dolomitischen Massen, welche an vielen Orten des mittlern Frankreichs die Grenze zwischen Lias und Granit auszeichnen, und auf welche de Bonnard zuerst die Aufmerksamkeit gelenkt hat, schliessen sich dem Metamorphismus nahe an (Annales des mines, 1. série, VIII., 1824).

3) Ausser den Abhandlungen, in denen er seit 1836 viele genaue Beobachtungen und geistreiche Bemerkungen über den Metamorphismus niedergelegt hat, und von denen oben schon eine Reihe angeführt ist, hat Fournet in der Faculté des sciences zu Lyon eine sehr beachtenswerthe Sammlung aufgestellt, welche bereits von vielen Forschern mit Nutzen durchgesehen worden ist. Ich erwähne noch seiner Études sur les Alpes.

4) Die Entdeckung der Schiefer, welche zu gleicher Zeit Chiastolith und zahlreiche Versteinerungen enthalten, wie sie Boblaye in den jüngsten Uebergangsgebilden gemacht hat, hat einen neuen, ganz bestimmten Umstand in die Frage des Metamorphismus eingeführt (Comptes rendus de l'Académie, 1838; Bulletin de la Société géologique, 1. série, X., 227).

5) Virlet hat seit langer Zeit in Griechenland zahlreiche Aeusserungen

porn,¹⁾ Gros,²⁾ Ch. Deville, Coquand,³⁾ Puton,⁴⁾ Gueymard, Lory, Angelot, Drouot, Delanoue;

In England Sir James Mackenzie, Jameson, Conybeare, Buckland, Greenough, Sir Roderick Murchison,⁵⁾ Sedgwick, Sir Henry de la Beche,⁶⁾ John Philipps,⁷⁾ Portlock, Daubeny, Poulett-Scrope, Henslow, Ramsay;

In Deutschland v. Humboldt, Naumann,⁸⁾ v. Leonhard, Mit-

des Metamorphismus nachgewiesen; er hat selbst die Vorstellungen über die Thätigkeit des Metamorphismus bis auf die Spitze getrieben, indem er sie auch für Ausbruchsgesteine, wie für Granit, Protogin, Trachyt zur Geltung zu bringen versuchte (*Géologie de la Grèce*, 67, 184, 294, 298, 304, 306; *Bulletin de la Société géologique*, 1. série, VI., 279, 313, 1834; VII., 310, 1835. *Metamorphisme normal et probabilité de roches non primitives à la surface du globe* (ebend., XIV., 501).

1) De Boucheporn übertrieb die Wirkungen, welche, nach oben gemachter Angabe, das Fluor hätte ansüben können, und vermeinte, das Grundgemenge des Granits habe in Folge der Erhitzung Fluorverbindungen des Siliciums und alkalischen Metalls entwickelt, welche die Ursache für die Umwandlung des Nachbargesteines geworden seien (S. 271 seines Werkes). Seine ursprüngliche Meinung über den Einfluss des Cyans bei der Bildung der Erde verdient auch in Erinnerung gebracht zu werden.

2) Gros lieferte wichtige Beobachtungen über die krystallinischen Gesteine der Alpen, des Dauphiné und Savoyen und betrachtete die Spilite dieser Gebirgskette als metamorphische Gebilde.

3) Coquand hat sehr bemerkenswerthe Thatsachen mitgetheilt, namentlich in seiner Beschreibung der Solfataren von Toskana und in seinen Untersuchungen über die Bildung der Gypse und Dolomite.

4) Das Werk Puton's, *Métamorphoses survenues dans certaines roches des Vosges*, 1838, enthält ebenfalls viele treffende Beobachtungen.

5) Die Werke Sir Roderick Murchison's über die Silurgebiete Englands, über die Alpen und den Ural zeigen zahlreiche, höchst beachtenswerthe Beispiele des Metamorphismus.

6) Sir Henry de la Beche hat in seinem *Manual of elementary geology*, in seinem *How to observe*, *Researches in theoretical geology*, endlich in seinem *Geological report on Cornwall and Devon* eine Menge scharfsichtiger Bemerkungen über den Metamorphismus, wie über alle Gegenstände der Geologie niedergelegt.

7) Unter Philipps Arbeiten ist besonders seine Abhandlung über die schiefriige Spaltbarkeit zu erwähnen.

8) Ausser seinen Beobachtungen in Sachsen und Norwegen hat Naumann in seinem ausgezeichneten Lehrbuche der Geognosie ausführlich die ganze Lehre vom Metamorphismus behandelt.

scherlich, Hausmann, Haidinger,¹⁾ Cotta, G. Rose, Abich, v. Alberti, Bunsen, v. Morlot, Blum,²⁾ Credner;

In der Schweiz und Italien Escher von der Linth,³⁾ v. Charpentier, Lardy, de Collegno,⁴⁾ de la Marmora, Favre,⁵⁾ de Maignac, Théobald;

Auf der scandinavischen Halbinsel A. Erdmann;

In Amerika die Gebrüder Roger's, Hitchcock, Whitney, Sir William Logan, Sterry Hunt.⁶⁾

Achtes Stück.

Geschichte der synthetischen Versuche zur Lösung der Frage über den Metamorphismus.

Die Fortschritte, welche wir eben übersichtlich zusammengestellt haben, haben grössere Anstrengungen gekostet, als man jetzt meinen sollte, da man keine andere Anleitung hatte, als die geologischen Thatsachen, sowohl aus früherer, als aus der jetzigen Zeit, wie wir sie in der Natur sehen. Auch würde man wohl nothwendiger Weise bei sehr schwankenden Anschauungen stehen geblieben sein, wären nicht synthetische Versuche, im Gefolge der unmittelbaren Beobachtung, zu Hilfe gerufen worden, um diese zu ergänzen und ihre Ergebnisse festzustellen.

Es schien mir eine Pflicht, die vornehmlichsten Bestrebungen, welche man bis jetzt in Bezug auf die Nachahmung der Mineralien und Gesteine verwandt hat, für sich besonders und mit einiger Ausführlichkeit zu behandeln. Sie werfen Licht auf die verschiedenen Vorgänge, welche in den so mannichfaltigen Wirkungswegen der Natur Statt gehabt haben können. Sie sind ferner die ersten Schritte zu einer Untersuchungsweise, welche berufen

1) Haidinger schlug vor, anogenen und katogenen Metamorphismus zu unterscheiden, je nachdem er sich nahe der Oberfläche oder der Tiefe geltend macht.

2) In seinen Untersuchungen über die Pseudomorphosen hat Blum viele Dinge mitgetheilt, welche für den Metamorphismus von Einfluss sind.

3) Er stellte viele Beobachtungen mit Studer an.

4) Sur le métamorphisme des terrains de sédiment. Bordeaux, 1842.

5) Notice sur la géologie du Tyrol allemand.

6) Sterry Hunt, dessen bereits oben Erwähnung geschah, hat sich auch mit dem metamorphischen Ursprunge der Serpentine und Dolomite beschäftigt.

scheint, ein helles Licht auf die Geologie überhaupt und den Metamorphismus insbesondere zu werfen.

Schon Leibnitz hatte vollkommen den Nutzen des Versuches für die Erklärung der Bildung der Gesteinsmassen zu schätzen gewusst und hatte, so weit es damals überhaupt möglich war, die Erzeugnisse aus den Werkstätten der Natur mit denen aus jenen der Menschen verglichen.¹⁾ Aber erst unter dem Einflusse der Hutton'schen Lehre unternahm man synthetische Versuche von wirklichem Werthe.²⁾

Schmelzung und Abkühlung der Gesteine.

Buffon wies durch unmittelbar dafür angestellte Versuche auf entschiedene Weise nach, dass der Granit und die vornehmlichsten, krystallinischen Gesteine durch Schmelzung Gläser geben. Er meinte, dass diese grossen Massen „natürlicher Gläser“ ihren krystallinischen Zustand in Folge hinreichend langsamer Abkühlung hätten annehmen können.³⁾

¹⁾ Er sagt (Protagaea, § 9): „Der wird nach unserer Ansicht ein wichtiges Werk verrichten, welcher sorgfältig die Erzeugnisse aus dem Schoosse der Erde mit den Erzeugnissen der chemischen Werkstätten vergleichen wird, denn alsdann wird sich oft eine Aehnlichkeit herausstellen zwischen dem, was die Natur, und dem, was die Kunst geschaffen hat. Denn wenngleich der unerschöpfliche Urheber der Dinge für dieselben Zwecke die verschiedensten Mittel zur Verfügung hat, so liebt er doch auch in dieser Mannichfaltigkeit Beständigkeit. Und es ist schon ein grosser Schritt in der Erkenntniss der Dinge, wenn man auch nur ein Mittel gefunden hat, mittelst dessen sie hervorgebracht werden können. Die Natur ist nur die Kunst im Grossen.“ — „Gelten die allgemeinen Gesetze der physikalischen Welt nicht eben so wohl in unsern Werkstätten als in den unterirdischen der Gebirge?“ (Saussure, Voyage dans les Alpes, § 750).

²⁾ Der Versuch, mittelst dessen Lemery 1700 die Erscheinungen der Vulcane nachbilden wollte, indem er ein Gemenge von Eisen und Schwefel in feuchter Erde sich erhitzen liess, beruhte auf einer unrichtigen Vergleichung und führte nur zu einer ganz irrigen Schlussfolge. Sie erregte jedoch ein hinreichendes Aufsehn, so dass ihrer hier wohl gedacht werden müsste (Mémoires de l'Académie des sciences, 1700).

³⁾ Histoire naturelle des minéraux, substances vitreuses, du granit: „Diese glasigen Massen schmelzen ohne Zusatz bei derselben Hitze, wie unsere künstlichen Gläser.“ Buffon hatte ausserdem wohl bemerkt, dass der Feldspath leichter schmelzbar ist, als die beiden andern Bestandtheile des Granits. Es ist wohl wahr, dass Leibnitz bereits gesagt hatte, die Erde und die dem Feuer ausgesetzten Steine gäben Gläser, das Glas sei nur die

Im Anfange dieses Jahrhunderts untersuchte, wie wir gesehen haben, Sir James Hall die vereinigte Einwirkung der Wärme und des Druckes auf den Kalk und unternahm dabei zahlreiche Versuche, zu dem Zwecke, um zu erfahren, ob die durch Schmelzung gebildeten Gesteine hätten glasig bleiben müssen, wie es die Gegner Hutton's behaupteten.¹⁾ Er erkannte, wie Buffon bereits geahnt hatte, dass gewisse Verbindungen der Kieselsäure, statt nach der Erstarrung glasig zu erscheinen, krystallinisch werden und in ihrem Ansehen steinig, gleich den Ausbruchsgesteinen, werden können, sobald sie langsam erkalten. Diese, auch von andern Gelehrten fortgesetzten Versuche lehrten auch, dass eine glasige Masse sogar zu krystallisiren vermöge, ohne erst in einen geschmolzenen Zustand übergegangen zu sein.²⁾

Basis der Erde (Protagaea, § 3); aber er warf hier alle Gesteine zusammen, darunter Kalk, Kiesel und Sand, und es ist ein bedeutender Unterschied zwischen diesen unsichern Vorstellungen und den entschiedenen Versuchen Buffon's. Ich habe oben (Viertes Stück, § 1) der Versuche Spallanzani's über diesen Gegenstand erwähnt. Man kann ausserdem auch noch die Versuche Buffon's über die Abkühlung von Kugeln verschiedener Durchmesser, theils aus Metall, theils aus Sandstein oder Marmor, anführen, welche ihm zur Erkennung der Bedingungen für die Abkühlung der ganzen Erde dienen sollten. Schon Newton hatte seine Absicht ausgesprochen, derartige Versuche auszuführen. Auch Bischof hat davon eine Reihe über die Schmelzung und Abkühlung von Basaltkugeln zu ähnlichem Zwecke wirklich unternommen (Die Wärmelehre des Innern unseres Erdkörpers, 443—505, 1837).

1) Hall's Versuche über die Erstarrung der Basalte und anderer Gesteine stammen aus dem Jahre 1800 (Edinb. Philos. Transact., V. und VI.).

2) Die Versuche Hall's wurden in grösserem Masse fortgesetzt von Gregory Watt (London Philos. Transact., 1804 und Bibliothèque britannique, No. 256). Zu gleicher Zeit machte Dartigues seine Untersuchungen über die Entglasung des Glases bekannt (Journal de pharmacie, LIX.; Journal de physique, LX.; Annales de chimie, L.). Andere Arbeiten über diesen Gegenstand erschienen ferner damals von Fleuriau de Bellevue, sur l'action du feu dans les volcans (Journal de physique, LX., 1805); von de Drée, Nouveau genre de liquefaction ignée (Journal des mines, XXIV., 1808; Mémoires de l'Académie des sciences, 1808). Von früher sind zu erwähnen die Beobachtungen von James Keir und Samuel More (London Philos. Transact., 1776 und 1782). Auch gedenke ich der neuern über die Entglasung von Dumas und Pelouze (Comptes rendus, 1845, 1855 und 1856), von Mitscherlich, G. Rose, Charles Deville und Delesse über die Schmelzbarkeit der Gesteine.

Betrachtung krystallisirter Hüttenerzeugnisse.

Man wurde natürlich auch darauf geführt, die Kieselsäureverbindungen in die hierher gehörigen Betrachtungen zu ziehen, welche in geschmolzenem Zustande so reichlich aus den Erzschnmelzöfen kommen.

Im Anschluss an den Gedanken Leibnitz's machte Hausmann, zunächst seit dem Jahre 1816, diese Art von Beobachtungen für die Erkenntniss der geologischen Erscheinungen nutzbar und hat nie aufgehört, während seiner langen Wirksamkeit weitere und wichtige Beiträge zu liefern.¹⁾

Bald erkannte Mitscherlich, dass Peridot, Pyroxen und andere Mineralarten zufällig in den Hohofenschlacken krystallisiren.²⁾ Dies war die würdige Ergänzung seiner Arbeit über das Verhältniss zwischen Krystallgestalt und chemischer Zusammensetzung, welche in der Mineralogie und Chemie einen so ausgezeichneten Abschnitt bildet.

Seitdem sind die Schlacken nach dieser Richtung sorgfältig untersucht von Berthier, Vivian, Bredberg, Sefström, Zinken, Wöhler, Kersten, Plattner, Rammelsberg, F. Sandberger, Percy, Miller und Andern. In einem neuern Werke v. Leonhard's sind alle bekannten Beobachtungen über diesen Gegenstand geschickt in Uebersicht gebracht und verglichen.³⁾

Die Erzeugnisse, welche man in den Hüttenwerken durch Krystallisation oder Saigerung einer geschmolzenen Masse erhält, sind nicht die einzigen, geeignet, für die Geologie Bedeutung zu haben. Es giebt darunter solche, wie Bleiglanz, Zinkoxyd, Blende, welche sich aus den Erzmassen theils durch unmittelbare Verdampfung, theils durch Verflüchtigung eines Theiles oder aller

¹⁾ Bemerkungen über die Benutzung metallurgischer Erfahrungen bei geologischen Forschungen (Göttingsche gelehrte Anzeigen, 1816, 489). Diesen ersten Arbeiten folgten eine ganze Reihe wichtiger Abhandlungen über diesen Gegenstand. Koch hatte schon 1819 einige Krystalle aus Hütten beschrieben, so solche des Zinkoxyds. Man hatte auch bereits längst die Abscheidung des Graphits aus dem Gusseisen bemerkt.

²⁾ Abhandlungen der k. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1823, 25; Annales de chimie et de physique, XXIV., 335.

³⁾ v. Leonhard, Hüttenerzeugnisse, 1858. Gurkt hatte ebenfalls 1857 eine Uebersicht der pyrogeneten, künstlichen Mineralien gegeben. Idokras und Gehlenit finden sich unter diesen Körpern am Häufigsten.

ihrer Bestandtheile abscheiden. Unter diesen, aus Dämpfen verdichteten Körpern ist der merkwürdigste der Feldspath, den man zu verschiedenen Malen im obern Theile der Kupferhohöfen zu Sangerhausen im Ofenbruche aufgefunden hat, und dessen erst nur einfach vermuthetes, wirkliches Bestehen durch die von Kersten¹⁾ gemachte Zerlegung ausser Zweifel gesetzt ist. Die Bildung dieses wichtigen Minerals auf dampfförmigem Wege verdient eine um so grössere Aufmerksamkeit, als, trotz zahlreicher Bemühungen, es noch nicht geglückt ist, dasselbe auf dem Wege der Schmelzung unmittelbar künstlich darzustellen.

Versuche zur Darstellung durch einfache Schmelzung oder aus Gemengen.

Der Anblick der Krystalle, welche sich zufällig auf Hüttenwerken bilden, gab nothwendigerweise Anleitung zu unmittelbaren Versuchen, den trocknen Weg in verschiedener Weise einzuschlagen.²⁾

Die ersten Schritte in dieser wichtigen Richtung verdankt man Berthier. Durch Schmelzung von Kieselsäure mit verschiedenen Basen nach bestimmten Verhältnissen erhielt er, 1823, krystallinische Verbindungen, welche mit denen in der Natur übereinstimmen, namentlich Pyroxen.³⁾

Später gelangte Ebelmen durch ein sehr geistreiches Verfahren seiner eigenen Erfindung dahin, unschmelzbare Verbindungen in vollkommenen Krystallen zu erhalten. Dies Verfahren besteht darin, Lösungsmittel in geschmolzenem Zustande zu gebrauchen, welche sich in sehr starker Hitze langsam zu verflüchtigen vermögen, so wie Borsäure, die phosphorsauren und kohlen-sauren Verbindungen der Alkalien. Auf diese Weise stellte er Korund, die verschiedenen Spinelle, Cymophan, Peridot, Perowskit und andere Arten in Krystallen von erstaunlicher Vollkommenheit dar.⁴⁾

¹⁾ Kersten, *Annalen der Physik und Chemie*, XXXIII., 336 und XXXIV., 531.

²⁾ Man hat auch versucht, die Krystallisirung in verschiedener Weise zu erleichtern, indem man mit grossen Massen arbeitete, welche sich nur sehr langsam abkühlen, und in welche man Gasarten eintrieb, um Hohlräume darü hervorzubringen.

³⁾ *Annales de chimie et de physique*, XXIV., 365, 1823.

⁴⁾ *Ebend.*, XXII., 221 und XXV.; *Annales des mines*, 5, série, II., 359.

Die gegenseitige Einwirkung, welche flüchtige Fluormetalle und Sauerstoffverbindungen ebenfalls bei sehr hoher Wärme aufeinander ausüben, bildet die Grundlage eines andern Verfahrens, welches in neuester Zeit seinen Urheber, H. Deville und Caron, die Nachahmung sehr schöner, unschmelzbarer Mineralien gestattete, z. B. des verschiedenartig gefärbten Korunds und des Staurooliths.¹⁾ Einen abweichenden Weg entdeckten dieselben Chemiker, um Apatit nachzubilden.²⁾

Ebenfalls mittelst theilweiser Verdampfung erhielt Gaudin künstlichen Rubin, indem er bei starker Gluth ein Gemenge von Alaun und schwefelsaurem Kali schmolz.³⁾

Despretz gab an, dass es ihm gelungen sei, Diamant durch verschiedene Mittel zu erhalten, welche sich auf die langsame Uebertragung und Abscheidung des Kohlenstoffes durch einen elektrischen Strom gründen.⁴⁾

Manross schmolz gewisse Salzgemenge, behandelte die Masse dann mit Wasser und erhielt so Baryt, Apatit, Wolfram und andere Mineralien.⁵⁾

Das Chlornatrium allein als Flussmittel angewandt genügte Forchhammer, krystallisirten Apatit zu erhalten, selbst als er Gesteine prüfte, welche kaum Spuren phosphorsaurer Salze enthalten.⁶⁾ Denkt man an die ungeheure Menge, in welcher das Chlornatrium in der flüssigen Hülle der Erde verbreitet ist, so kann man allerdings nicht zweifeln, dass dies Salz wohl bei der Krystallisation gewisser Mineralarten betheiligt gewesen sein könne, zumal zu einer Zeit, als das Wasser höchst wahrscheinlich noch nicht seiner ganzen Masse nach verdichtet war, wie jetzt.

1) Comptes rendus de l'Académie des sciences, XLVI., 765, 1858.

2) Apatit und Wagnerit sind durch eine Art Destillation der phosphorsauren Erden in ihren Chloriden erhalten (Comptes rendus, XLVII., 985, 1858).

3) Ebend., XLVI., 765, 1857. Die geschmolzene Thonerde oder der Rubin, welche derselbe Forscher früher erhalten, war unkrystallinisch (Ebend., V., 803. 1837.)

4) Ebend., XXXVII., 369, 1853.

5) Annalen der Chemie und Pharmacie, LXXX., 348, 1852.

6) Annalen der Physik und Chemie, LXXXI., 568, 1854. Forchhammer hat dies Mittel auch vorgeschlagen, um die Gegenwart der phosphorsauren Salze in den Gesteinen nachzuweisen, wie auch die gewisser Metalle, wenn sie sich auf dem gewöhnlichen Wege der Untersuchung nur spurenweise zeigen.

Ch. Deville hat neuerdings Versuche in eben dieser Richtung gemacht, indem er Thon oder quarzigen Sandstein erhitzte, nachdem er sie zuvor mit Kochsalzlösung angefeuchtet hatte.¹⁾

Versuche zur Zusammensetzung von Mineralarten mit Hilfe von Dämpfen, welche theils auf einander, theils auf feste Körper einwirken.

Durch einfache Verdampfung und Wiederverdichtung kann man einige Mineralarten nachahmen, wie Arsenik, Bleiglanz und Senarmontit.²⁾ Besonders aber dann gelangt man zu mannichfaltigen Ergebnissen, wenn man gewisse Dämpfe auf einander wirken lässt, wie in den Hüttenwerken.

In dieser Weise krystallisirt das Eisenoxyd gleich dem Eisenglanze der Natur, wenn man in der Wärme Eisenchloriddämpfe durch Wasserdämpfe zersetzt, wie es Gay-Lussac gethan hat. Diese Zersetzung findet nach Mitscherlich bisweilen in Töpferöfen statt, in welche man Chlornatrium wirft.³⁾

Ich habe 1849 ein Verfahren nach demselbem Grundsätze versucht, um mittelst des Versuchs den Ursprung nachzuweisen, welchen ich früher den Zinnerzlagerstätten zugeschrieben hatte. Durch die Zersetzung der Chloride des Zinns und Titans erhielt ich krystallisirtes Zinnoxyd mit Glanz und Härte, wie in der Natur, aber mit der Gestalt der Titansäure als Brookit. Auch habe ich dieses Mineral selbst dargestellt.⁴⁾

Durocher leitete Schwefelwasserstoff zu verschiedenen, in Dampfform versetzten Metallchloriden und erhielt dadurch einige der hauptsächlichsten Schwefelmetalle der Gänge, z. B. das Fahlerz.⁵⁾

1) Comptes rendus de l'Académie des sciences, XLVII., 89, 1858.

2) Ich gedenke auch des Schwefels in geraden Oktaedern, welche sich durch sehr langsame Verdichtung des Dampfes bei wenig erhöhter Wärme bilden (Annales des mines, 5. série, L., 121).

3) Annalen der Physik und Chemie, XV., 630. Nögerath hat Eisenglanz auch als das Erzeugniss eines Brandes im Steinsalzbergbaue von Wieliczka angeführt. Die Oefen, in denen man zu Framont in den Vogesen Soda durch Zersetzung von Kochsalz und Schwefelkies bereitete, lieferten auf der Oberfläche der Wände prächtige Eisenglanzüberzüge.

4) Recherches sur la production artificielle de quelques espèces minérales cristallines, particulièrement de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane et du quartz. Observations sur l'origine des filons titanifères des Alpes (Annales des mines, 4. série, XVI., 1849).

5) Comptes rendus, XXXII., 823.

Statt die Dämpfe auf einander wirken zu lassen, kann man sich deren auch bedienen, um feste Körper anzugreifen und daraus neue Verbindungen zu entwickeln.

Nach diesem Gedanken habe ich zuerst Apatit und Topas künstlich hervorgebracht;¹⁾ später auch, mit Hilfe von Kiesel- und Aluminiumchlorid, krystallisirte Kiesel- und Thonerdeverbindungen.²⁾ Ich habe gleicher Weise das rothe Manganoxyd oder den Hausmannit nachgeahmt.³⁾

Es gehören hierher wohl auch die von Durocher bewirkte Darstellung des Dolomits unter der Einwirkung chlor- und talkerdehaltiger Dämpfe auf Kalkstein;⁴⁾ die Versuche Ch. Devilles über die Umwandlung kieseliger Gesteine durch Schwefelwasserstoff und Wasser;⁵⁾ endlich die der Gebrüder Roger's über die Art und Weise, in welcher das mit Kohlensäure beladene Wasser die wichtigsten Kieselverbindungen der Natur zersetzt, selbst in der Kälte.

Man hatte bemerkt, dass Wasserdampf genüge, viele Kieselverbindungen anzugreifen, wenn er sehr stark erwärmt ist.⁶⁾ So geben, nach Jeffreys, Mauerziegel, auf den Schmelzpunkt des Gusseisens erhitzt, an Wasserdampf Kieselsäure ab, welche sich schneeförmig wieder niederschlägt.⁷⁾ In Folge ähnlicher Wirkung greift das Wasser die Glasflüsse in den Porzellanöfen an.⁸⁾

Nasser Weg.

Die Wirkungen des Wasserdampfes auf die Chlor- und Kieselverbindungen, wovon oben die Rede gewesen, bilden die Vermittelung zwischen dem trocknen und dem nassen Wege, von welchem letztern wir noch die Ergebnisse anzugeben haben.

Becquerel hat schon vor Langem den Einfluss langsamer

1) Annales des mines, 4. série, XIX., 669, 1851.

2) Comptes rendus, XXXV., 261, 1852.

3) Annales des mines, 5. série, I., 1852.

4) Comptes rendus, XXXIII., 64, 1851.

5) Ebend., XXXV., 261, 1852.

6) Nach Turner bedeckt sich das Glas mit einer Rinde undurchsichtiger Kieselsäure, welche kein Alkali mehr enthält und zuweilen tropfsteinartige Gestalt annimmt (Annales des mines, 3. série, VII., 448, 1835).

7) Jeffreys, Report on the X. meeting of the British Association for the advancement of science and arts, 1840.

8) A. Brongniart und Regnault haben dies zu Sèvres nachgewiesen.

Wirkungen unter der Mitwirkung schwachgespannter Electricität auf die Ausscheidung unlöslicher Verbindungen, welche die Natur nachahmen, dargethan.¹⁾

Ebenfalls durch langsame Zersetzung stellte Ebelmen gewässerte Kieselsäure in dichten Massen dar, welche sich dem Hyalith und Hydrophan nähern.²⁾

G. Rose hat mit grossem Geschicke die Bedingungen untersucht, unter denen sich die kohlen saure Kalkerde als Aragonit niederschlägt. Bischof und Sterry Hunt haben verschiedene Untersuchungen angestellt, ersterer, um seine Gedanken über die Mineralbildung thatsächlich zu bestätigen, letzterer, um seine Ansichten über den Ursprung der talkerdehaltigen Gesteine zu unterstützen.³⁾ Ch. Deville untersuchte, auf welche Weise das Wasser mit alleiniger Hilfe der Kohlensäure und ohne verstärkten Druck zur Bildung der Dolomite beitragen könne.⁴⁾ Die Vorgänge bei der Bereitung der hydraulischen Kalke und Mörtel dienten Kuhlmann, um von ihnen aus geistreiche Schlüsse für die Geologie zu gewinnen.⁵⁾ Auch kann man die von Delesse vorgenommene Prüfung der Einwirkung der Alkalien auf die Gesteine anführen.⁶⁾

Ganz besonders aber bei grosser Erhöhung der Wärme und des Druckes gelangte man dahin, auf wässerigem Wege die Körper nachzuahmen, welche am Meisten für die Geschichte der Erde in Betracht kommen.

Hall⁷⁾ und Cagniard-Latour⁸⁾ hatten längst erkannt, dass unter diesen Bedingungen die pflanzlichen Stoffe sich ganz eigenthümlich verhalten. Die Anwendung des Wassers unter Druck zur Nachbildung der Mineralien erfolgte in Wirklichkeit zum ersten Male bei den wichtigen Versuchen Haidinger's und v. Mor-

1) Annales de chimie et de physique, XXXII., 244, 1823.

2) Annales des mines, 4. série, VIII., 149; Comptes rendus, XXI., 527. Gergens erhielt ebenfalls eine Art gemeinen Opals durch sehr langsame Zersetzung von Wasserglas durch Kohlensäure in wässriger Lösung (v. Leonhard und Bronn, Neues Jahrbuch f. Min., 1858, 807).

3) Lond., Edinb. und Dublin Philos. Mag. [4], XV., 68.

4) Comptes rendus, XLVII., 90, 1858.

5) Ebend., XII., 852; XXXV., 739.

6) Bulletin de la Société géologique, 2. série, XI., 127.

7) Hall erhielt auf trockenem Wege eine Art Steinkohle.

8) Comptes rendus, XXXII., 295, 1857.

lot's über die Dolomitbildung.¹⁾ Statt den Dolomit, gleich ihnen, durch Wechselersetzung von Bittersalz und Kalk darzustellen, bedienten sich Favre und v. Marignac später zu demselben Zwecke des Chlormagnesiums.²⁾

Eine lange Reihe von Versuchen, welche de Sénarmont unternommen, hat viel Licht auf wichtige Erscheinungen geworfen.³⁾ Mit Hilfe des auf 130—300° erhitzten Wassers vermochte er die hauptsächlichsten Gangmineralien darzustellen, darunter den Quarz,⁴⁾ den Eisenspath, den Manganspath, den Zinkspath, den Schwerspath, den Antimonglanz, den Mispickel, das Rothgiltigerz. Um jetzt die ganze Wichtigkeit der Aufgabe zu erkennen, welche von diesem Gelehrten gelöst wurde, muss man sich erinnern, dass man bis dahin für den grössten Theil der Gangmineralien nicht im Stande gewesen war, sie nachzuahmen. Nun aber waren die ausgezeichnetsten Arten dieser Fundstätten, mehr als dreissig an der Zahl, durch einen und denselben Vorgang nachgebildet, ähnlich, wie man ihn nach der Beobachtung vermuthen durfte, und mit Hilfe der in den warmen Quellen verbreiteten Stoffe. Durch diese denkwürdige Arbeit sah man zum ersten Male in der Geologie, wie eine Schlussfolge in Bezug auf eine ganze Reihe von Thatsachen durch Versuche bestätigt werden kann.

Man verdankt de Sénarmont auch die Entdeckung der Thatsache, dass das Wasser allein, unterstützt von höherer Wärme, vermöge, die Basen gewisser Salze abzuscheiden. So wurden wasserfreies Eisenoxyd und krystallisirte Thonerde oder Korund durch die Zersetzung der Lösungen von Eisen- oder Aluminium-

1) v. Morlot, Ueber Dolomit und seine künstliche Darstellung aus Kalkstein (Naturwissenschaftliche Abhandlungen, herausgegeben von Haidinger, I., 305, 1847).

2) Bibliothèque universelle de Genève, mai 1849.

3) Expériences sur la formation artificielle par voie humide de quelques espèces minérales qui ont pu se former dans les sources thermales, sous l'action combinée de la chaleur et de la pression (Annales de chimie et de physique, 3. série, XXVIII., 693, 1849). Expériences sur la formation des minéraux par voie humide dans les gîtes métallifères concrétionnés (Eband., XXXII., 129, 1851).

4) Schafhäütl hat mitgetheilt, er habe Kieselsäure im papinischen Topfe krystallisirt erhalten (Münchener gelehrte Anzeigen, 1845, 557).

chlorid erhalten. Brochantit und Azurit wurden neuerdings auf demselben Wege erhalten.

Dadurch, dass ich Holz in Wasser einer Hitze von ungefähr 300° aussetzte, habe ich wirklichen Anthracit dargestellt.¹⁾ Bei nicht so starker Wärme erhielt Baroulier künstliche Steinkohle, indem er Pflanzen in feuchten Thon einschloss.²⁾

Bis dahin war es nicht gelungen, auf nassem Wege wasserfreie Kieselverbindungen herzustellen; mir gelang dies durch eine Reihe von Versuchen, deren Hauptergebnisse im dritten Theile dieser Arbeit gegeben werden sollen.³⁾

Die Natur macht übrigens noch jeden Tag Versuche, wenn man so sagen darf, nach Art derer, welche wir mit so vielen Schwierigkeiten anstellen, und bedient sich dazu wahrscheinlich ähnlicher Vorgänge, wie bereits seit den frühesten Zeiten. Unglücklicher Weise aber arbeiten diese Vorgänge an Stellen, zu denen zu dringen uns versagt ist. Indessen giebt es Fälle, wenn schon selten, in denen man von der Bildung einzelner Mineralien in der Gegenwart Zeuge sein kann. Es genügte, einige Meter unter den Boden von Plombières hinabzusteigen und in diese, seit Jahrhunderten von den warmen Quellen durchtränkten Massen einzutreten, um daselbst die Kupfersalze in Krystallen, wie die aus Cornwall, und eine ganze Reihe von Zeolithen, wie in Basaltgesteinen vertheilt,⁴⁾ zu finden, und man würde sicher noch mehr Entdeckungen machen können, könnte man tiefer in die Röhrengänge eindringen, in denen die warmen Quellen emporsteigen.

Ist es in solcher Weise verstattet, die Natur zu überraschen,

1) *Annales des mines*, 5. série, XII., 305, 1857.

2) *Comptes rendus*, XLVI., 376, 1858.

3) *Observations sur le métamorphisme et recherches expérimentales sur quelques-uns des agents qui ont pu le produire* (*Annales des mines*, 5. série, XII., 289, 1857; *Bulletin de la Société géologique*, 2. série, XV., 250).

4) *Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères, et sur la formation contemporaine des zéolithes* (*Annales des mines*, 5. série, XIII., 227, 1858; *Bulletin de la Société géologique*, 2. série, XVI., 562). Die noch jetzt fortdauernde Bildung des Eisenkieses, eines so verbreiteten Minerals, ist nur selten wirklich gesehen worden. Zuerst von Longchamp zu Chaudesaigues angezeigt, wurde sie in ähnlicher Weise von Bischof zu Brohl, von Bunsen auf Island getroffen.

so empfindet man nach dem ersten Vergnügen, ihr ein Geheimniss entrissen zu haben, ein gewisses Gefühl der Erniedrigung, indem man sieht, welche Schwierigkeiten es zu überwinden kostet, um sich in den Stand gesetzt zu sehen, einige der einfachsten Erscheinungen künstlich zu wiederholen. Inzwischen zeigen die Ergebnisse der bisherigen Thätigkeit, dass man den Muth nicht verlieren solle, sondern vielmehr hoffen dürfe, endlich viele Mineralien nachzuahmen, ohne dazu eines Zeitraumes von Jahrhunderten nöthig zu haben.

Zweite Abtheilung.

Auseinandersetzung der gewonnenen Thatsachen, deren Gesamtheit den Metamorphismus ergibt.

Die Verschiedenartigkeit der Thatsachen, welche zur Betrachtung kommen, nöthigt mich, sie in fünf Gruppen einzeln zu behandeln. Ich werde beginnen mit dem Metamorphismus beim Nebeneinandervorkommen (juxtaposition). Dann werde ich übergehen zum Metamorphismus ganzer Gebiete (régional) und zu dem Metamorphismus im Gefüge; nach der Besprechung der Erscheinungen beim Vorkommen des Dolomits, des Steinsalzes, des Gypses, des Schwefels und der Ablagerungen der Erdöle werde ich schliessen mit den allgemeinen Beziehungen zwischen den Erzgängen und warmen Quellen zum Metamorphismus.

Die Beobachtungen über den alten Gneiss, dessen Ursprung ein zweifelhafter ist, sind in den dritten Theil verwiesen, mit welchem diese Arbeit abschliessen soll.

Diese Uebersicht wird nur kurz sein, denn sie betrifft wohlbekannte Gegenstände, an welche man nur zu erinnern braucht, um sich die Bedingungen zu vergegenwärtigen, denen die Erklärungsversuche zu genügen haben.¹⁾

¹⁾ Die bekannten Beispiele würden ein ganzes Lehrbuch der beschreibenden Geologie geben; ich werde sie nicht weiter einzeln ausführen, sondern mich auf einzelne Andeutungen beschränken. Ich werde auf die ausgezeichneten Werke über die allgemeine Geologie, namentlich die Naumann's, Studer's und Lyell's Bezug nehmen.

Erstes Stück.

Metamorphismus beim Nebeneinandervorkommen (M. de juxtaposition).¹⁾

Ist ein Gestein aus der Tiefe hervorgebrochen, so sind die Schichten, welche es durchsetzt, gewöhnlich in dessen Nachbarschaft verändert.

Bisweilen beschränkt sich diese Veränderung der einschliessenden Gesteine auf ein ganz schmales Grenzgebiet, wohl von einigen Millimetern, und sind die, auf dieser kurzen Erstreckung hervorgerufenen Umwandlungserscheinungen selbst nur wenig hervorstechend.²⁾ In andern Fällen, und zumal dann, wenn die hervorgebrochenen Massen granitische sind, bezeugen die Ausdehnung der umgewandelten Theile und die grössere Vollständigkeit der Einwirkung eine bei Weitem kräftigere Thätigkeit.

Die Erstreckung der Umwandlung wechselt nicht allein nach der Natur des Ausbruchsgesteins, sondern für ein und dasselbe Gestein und in einer und derselben Gegend bemerkt man in dieser Erstreckung grosse Ungleichheiten.³⁾ Nahe dem Granit reicht sie oft auf mehrere hundert Meter und ausnahmsweise auf drei tausend

¹⁾ Ich glaube mich dieser Bezeichnung statt der des Berührungsmetamorphismus bedienen zu müssen, welche man gewöhnlich gebraucht, weil die Veränderungen, um welche es sich handelt, oft weit über die Berührung zwischen den Gesteinen hinausgehen. Das Wort örtlich scheint nicht ausdrucksvoll genug.

²⁾ Ich begnüge mich, als Beleg viele Basaltgänge anzuführen, welche das Juragebiet der würtemberger Alp durchbrechen. Der Granit selbst hat nicht immer den Schiefer umgewandelt, so auch wenn er hinreichend flüssig war, um gangförmig einzudringen, wie in den Vogesen bei Wesserling (Collomb, Bulletin de la Société géologique, IV., 1446).

³⁾ Die Kreide im N.-O. Irlands ist in der Nähe gewisser Trappgänge durchaus nicht verändert; dagegen ist sie krystallinisch geworden, wo sie sich mit mächtigeren berührt. Im letztern Falle reicht die Umwandlung nicht über drei Meter. Dasselbe Gestein bildet Gänge auf der Insel Sky. Einige haben den Lias umgeändert, andere nicht, ohne dass man sich den Grund dieser Verschiedenheit angeben könnte (Oeynhausens und v. Dechen, Karsten's Archiv f. Min., I., 99). Die Gesteine des Uebergangsgebietes in den Vogesen, in welche der Granit gangförmig eingedrungen, zeigen noch grössere Abweichungen, indem die Veränderung bald fast unmerklich ist, wie im Thale von Wesserling, bald stark ausgeprägt, wie bei Andlau und Barr.

Meter. In der Umgegend von Christiania ist die mittlere Stärke dieses umgewandelten Gebietes drei hundert und sechs Meter; in den Pyrenäen dehnt sie sich mit völliger Deutlichkeit auf fünfzehn hundert Meter aus.¹⁾ Man bemerkt, dass die Umwandlung im Allgemeinen eine weiterreichende ist zwischen den einspringenden Winkeln, welche das Ausbruchsgestein bildet, als gegenüber den ausspringenden (Champ-du-Feu in den Vogesen,²⁾ Umgegend von Christiania).

Was die Natur der Umwandlungen betrifft, welche die einschliessenden Gesteine erlitten haben, so sind diese so wechselnd, dass es schwer ist, sie übersichtlich zusammenzufassen.³⁾

Bisweilen hat nur eine neue Anordnung der kleinsten Theilchen stattgefunden: so ist Kalkstein körnig geworden, wie der Bildsäulenmarmor; so Sandsteine, in Quarzfels umgewandelt (Sky).

Die mineralischen Brennstoffe haben bei ihrer Umwandlung gewöhnlich einen Theil ihrer Grundstoffe eingebüsst.⁴⁾ So bei der Umwandlung der Braunkohle in Steinkohle, in Anthracit und sogar selbst in Graphit (Graphit von Omenak in Grönland aus der Tertiärformation, aus welcher man ihn auch von Java kennt). Die Steinkohle geht ebenfalls zuweilen in eine der beiden letztern Abarten über (Graphit von Schottland, Graphit und Anthracit von Worcester bei Boston in den Vereinigten Staaten). Selten sind Stein- und Braunkohle zu einer Art Coke geworden.⁵⁾ Erdöl, welches zufällig aus diesen Brennstoffen ausgeschieden, hat sich in grösserer oder geringerer Nähe wieder abgesetzt (Lobsann im Elsass, Hering in Tyrol).

¹⁾ Durocher in der bereits angeführten Abhandlung.

²⁾ Das Uebergangsbereich erscheint noch weit vollständiger und in weiterer Ausdehnung umgewandelt in der Höhe des Thales von Barr, als in den Thälern von Villé und Andlau. Dies dürfte daher rühren, dass es am erstern Orte, statt den Granit einfach zu begränzen, ein langes Band darstellt, welches gleichsam mitten zwischen Granit und Syenit eingeschlossen ist (Description géologique du département du Bas-Rhin, 54).

³⁾ In seiner Arbeit über den Berührungsmetamorphismus hat Delesse viele Beispiele angeführt und besprochen (Annales des mines, 5. série, XII, 89).

⁴⁾ Was nicht gehindert hat, dass auch sie gleich andern Gesteinen oft neue Mineralien erhalten haben, z. B. Zeolithe.

⁵⁾ Letztgenannte Umwandlung in der Nähe von Trappgängen, z. B. in der Gegend von Newcastle, ist bis jetzt in der Nähe von Granitgesteinen noch nicht beobachtet.

Am Häufigsten haben sich neue, krystallinische Verbindungen gebildet, theils mit den bereits in den Gesteinen vorhandenen Stoffen, theils unter Hinzutritt neuer Stoffe, welche erst eingeführt wurden, theils endlich durch Ausscheidung einiger, schon dort vorfindlicher.¹⁾

Unter den Mineralien, welche am Häufigsten sich in den Thonschiefern gebildet haben, sind zu nennen Chiasolith, Staurolith, Disthen, Glimmer (oft in kleinen Blättchen und zu zweierlei Arten gehörig), Orthoklas und Anorthit, Amphibol (oft so reichlich, um einen Hornblendeschiefer zu bilden²⁾), Turmalin³⁾ u. s. w. Man trifft sie gewöhnlich in der Nachbarschaft des Granits.

Vornehmlich in den Kalken hat sich eine grosse Mannichfaltigkeit von Mineralien entwickelt, worunter Granat, Idokras, Amphibol, Wollastonit, Epidot, Paranthin, Dipyrr, Couzeranit, Magnesiaglimmer, Gehlenit, Chondrodit, Spinell,⁴⁾ Serpentin, Talk, Chlorit, Grünerde, Zeolithe, gewisse Thone u. s. w. Doch gehören genannte Mineralien nicht ausschliesslich diesem einzigen Gesteine.⁵⁾ So trifft man die Zeolithe nicht nur in den Kalken, sondern auch in den thonigen Gesteinen, den Sandsteinen, sogar zuweilen in den mineralischen Brennstoffen, wenn sie von Trappausbrüchen durchsetzt sind.⁶⁾

In der Nachbarschaft von Ausbruchsgesteinen jeder Art, des Granits und anderer, ist der Quarz oft angehäuft, theils in krystallinischen oder dichten Massen, theils als Jaspis.⁷⁾ Diese Art von allgemeiner Verbreitung kommt auch noch andern Mineralien

1) Dieser letztere Fall scheint bei den körnigen Quarzen Brasiliens eingetreten zu sein.

2) Umgegend von Christiania.

3) Hornfels des Harzes.

4) Monzoni, Somma, Silurkalk von Sparta in den Vereinigten Staaten.

5) Indessen sind einige, wie Wollastonit und Gehlenit, bisher nur im Kalke gefunden.

6) Tertiärkalk des Conglomerats vom Puy-de-la-Piquette, Mergel von den Cyklopeninseln mit schönen Analcimkrystallen, Thonschiefer von Andreasberg am Harze und von der Insel Anglesey, Tertiärsandstein von Wildenstein in der Wetterau von verglastem Ansehen. Zeolithe haben sich auch im Granite entwickelt in der Nähe von Basaltgängen, welche ihn durchsetzen, z. B. auf der Insel Arran (Boué, Essai géologique sur l'Ecosse, 499) und bei Hauenstein im Schwarzwalde (Schill im Neuen Jahrbuche für Min., 1857, 36).

7) Toskana, Griechenland, Ural u. s. w.

der Erzgänge zu, als wie den kohlen-sauren Salzen der Kalkerde, der Talkerde und des Eisenoxyduls, dem Schwerspathe, dem Flussspathe und dem Eisenglanze.¹⁾

Als Beispiele für diese Thätigkeit, deren Verschiedenheiten nicht alle aufgezählt werden können, gedenke ich der classischen Gegend des Harzes, wo der Hornfels in der Nähe des Granits Glimmer, Feldspath, Turmalin, Chlorit, Granat²⁾ aufnimmt; Cornwalls, wo man ähnliche Vorkommnisse trifft,³⁾ der Vogesen,⁴⁾ der Pyrenäen, der Bretagne,⁵⁾ Norwegens u. s. w.

Bisweilen sind die Gesteine, welche in der Nähe des Granits oder Syenits lagern, in der Weise umgewandelt, dass sie selbst ganz die Eigenthümlichkeiten eines Ausbruchsgesteins annehmen. So geht in den Vogesen der Thonschiefer allmählich in Massen von feldspathiger, bisweilen porphyrtiger Beschaffenheit, in grüne, mit Anorthit und Hornblende durchmengte Porphyre über. Aehnliches hat man an vielen andern Orten beobachtet.⁶⁾

Das veränderte Gestein ist mitunter mandelsteinig geworden. In gewissen Gegenden Deutschlands nennt man es Schaalstein.⁷⁾

1) Bald ist der Quarz einfach ausgeschieden durch die Zersetzung früher vorhandener Kieserverbindungen, wie man im dritten Theile sehen wird; bald rührt er, wie die übrigen Mineralien der Erzgänge, von deutlichen Zuführungen her.

2) Nach Hoffmann und Zincken.

3) De la Beche, Geological report on Cornwall and Devon, 267.

4) Daubrée, Description géologique du département du Bas-Rhin, 32 und 52.

5) Nach den früher genannten Abhandlungen Palassou's, Dufrènoy's und Durocher's.

6) In der Umgegend von Dublin würden nach Scouler's Beschreibung die Umwandlungserscheinungen denen in den Vogesen gleich sein (Bulletin de la Société géologique, 1. série, VIII., 302). G. Rose, Sir Roderick Murchison und Le Play haben viele grüne, augithaltige Porphyre und manche Jaspisse des Ural für metamorph erklärt (Comptes rendus, XIX., 857, Reise nach dem Ural, II., 185).

7) Diese Mandelsteinë gehen häufig in versteinierungsführende Kalke über und nehmen selbst häufig das Ansehen von Conglomeraten an (Stein-graben in den Vogesen, Nassau, Gegend von Brilon in Westphalen, wo sie den Labradorporphyr begleiten, Paimpol in der Bretagne, Lac Superior und New-Scotland). Gewisse Spilite der Alpen und des Esterel wurden von Gras als metamorphisch betrachtet.

Man weiss überdies, dass das Ausbruchsgestein selbst oft in der Nähe des Nebengesteines umgeändert worden ist.¹⁾

Die verschiedenen, eben berührten Umwandlungen bilden also um die Granite und andern Ausbruchsgesteine gleichsam unregelmässige Mäntel. Élie de Beaumont hat gezeigt, dass, je nachdem das Gestein sauer ist, also überschüssige Kieselsäure enthält, oder basisch, die Erzgänge in Verbindung mit demselben zwei ganz verschiedene Gruppen bilden. Dasselbe gilt von den in Rede stehenden Mänteln, und die Beobachtungen Delesse's haben zu dieser Erkenntniss beigetragen. So hat man einer Seits in der Nähe der Granitausbrüche keine Zeolithe angetroffen, während sie nahe den Trappgesteinen so häufig sind.²⁾ Anderer Seits hat der Granit mit Ausschluss jedes andern Gesteins gewisse Mineralien hervorgebracht: solches sind die Kieserverbindungen der Thonerde unter dem Namen des Chiasoliths und Stauroliths, welche in dem Thonschiefer der Bretagne so gemein sind. Glimmer- und feldspathführende Schiefer umhüllen häufig die Granitstücke bis zu beträchtlicher Dicke in den Pyrenäen und anderwärts; beim Trapp kennt man nichts Aehnliches.

Zweites Stück.

Metamorphismus ganzer Gebiete (M. régional).³⁾

Ich beabsichtige hier, wie ich wiederholt bemerke, nur von den grossen Schiefermassen zu reden, deren metamorphischer Ursprung deutlich angezeigt ist, und verweise also die alten Gneisse, Glimmerschiefer und andere, untergeordnete Gesteine, welche unter den geschichteten, Versteinerungen enthaltenden Felsmassen liegen, auf den dritten Theil.

Beträchtliche Massen geschichteter Gesteine, über ganze Länder ausgebreitet, zeigen oft einen stark ausgeprägten Metamorphismus, auch wenn es unmöglich ist, mitten in solchen

¹⁾ Daher der von Fournet vorgeschlagene Name Endomorphismus. Wird nach Delesse oft mit Talkerdehydrat angereichert.

²⁾ Durocher in oben genannter Arbeit, 607 und 614.

³⁾ Dieser Name scheint mir treffender als der des regelmässigen (normal) und minder unbestimmt als der des allgemeinen.

Gebieten das geringste Auftreten eines Ausbruchsgesteins zu entdecken.¹⁾

Diese Thatsache ist leicht nachzuweisen in Gegenden, wo die Umwandlung eine nicht sehr starke gewesen ist, wie in Wales, dem Taunus oder den Ardennen. In den Silur- und Devongebieten dieser Länder sind z. B. die thonigen Gesteine theilweise schieferig geworden, und zwischen ihren Schieferlagen hat sich auf grosse Strecken Chlorit in unzähligen, mikroskopischen Krystallen entwickelt.²⁾ Mitunter hat sich auch Feldspath eingeschlichen, und, noch mehr, eine Menge von Quarzadern hat sich in ihrem Innern ausgeschieden, welche Adern häufig selbst die eben genannten Mineralien enthalten. Endlich haben sich die Sandsteine in Quarzfels umgewandelt.³⁾ Nun ist es aber nicht erlaubt zu glauben, dass ganze, geschichtete und Versteinerungen umschliessende Gebiete ursprünglich solche mineralogische Beschaffenheit gehabt hätten, und Jeder ist der Ansicht, dass sie ihr gegenwärtiges Ansehen erst nachträglicher Umwandlung verdanken.

Wenn sich diese Erscheinung nun aber auf einer noch höhern Stufe zeigt, bedarf es einer aufmerksamern Untersuchung zu ihrer Erkennung, und man gelangt häufig nicht einmal zur Gewissheit, weil das ursprüngliche Ansehen durch die spätern, chemischen Einflüsse mehr oder minder vollständig verwischt ist. So findet man in den mächtigen Massen der krystallinischen Alpengesteine, auch in den Ardennen, den Chloritschiefer mit Adern von Quarz, häufig auch von Chlorit. Doch ist er dort gemeiniglich besser krystallirt (Zillertal in Tyrol, Salzburg). Er stellt in Verbin-

1) Der Unterschied in der Natur der mineralischen Brennstoffe, Braunkohle, Steinkohle und Anthracit, welche nach den Vorkommnissen wechseln, lässt sich als ein erstes Beispiel des Metamorphismus betrachten, welcher fern von Ausbruchsgesteinen stattgefunden hat und an Stoffen, die vielleicht noch leichter eindrucksfähig sind, als die wirklichen Steinmassen. So giebt es nur Anthracit in den Alpen und in den kalkigen Schiefeln der untern Loire, und umschliesst die Eocänformation Toskana's (Monte Bamoli) wahre Steinkohle.

2) Sauvage hat durch Zerlegung die Anwesenheit des Chlorits selbst in den Abarten der Phylladen gefunden, in denen man ihn sonst nicht erkennt. Unter denselben Bedingungen findet sich der Sericit des Taunuschiefers.

3) Explication de la carte géologique de France, I., 77. Durocher, a. a. O., 603.

dung mit einer Reihe anderer krystallinischer Schiefergesteine verschiedener Natur, welche unregelmässig unter einander wechsel-lagern, namentlich mit dem Talkschiefer, den grünen Schiefen,¹⁾ dem Hornblendeschiefer und sogar gewissen schieferigen Dioriten,²⁾ dem talkigen Gneisse (von Saussure als aderiger Granit beschrieben), dem Quarzite,³⁾ mit schieferigen und oft glimmerigen Kalken, seltner mit Dolomiten und Gypsen, welche ebenfalls mit verschiedenen Mineralien durchmengt sind (Gegend von Airolo⁴⁾). Doch sind diese Gesteine trotz ihrer ausgezeichnet krystallinischen Beschaffenheit von den meisten Geologen, welche die Alpen beschrieben haben, als ursprünglich geschichtete betrachtet worden.

Der Schluss, dass gewisse krystallinische und stark entwickelte Gebirgsglieder, wie die der Alpen, metamorph seien, stützt sich auf mehrere Gründe, welche übrigens nahezu dieselbe Bedeutung haben, wie jene für den Metamorphismus in der Nähe von Ausbruchsgesteinen. Ich nenne vornehmlich folgende:

1) Die Aehnlichkeit der Zusammensetzung, welche gewisse Gruppen krystallinischer Gesteine mit denen geschichteten Ursprungs verbindet, ist noch auffällig trotz der Umwandlungen, welche die ersteren betroffen zu haben scheinen. Man findet bei ihnen in der That, wie bei den Schichtgesteinen Bänke von Kalkstein, Dolomit, Gyps, Quarzfels, endlich chloritische und talkige Schiefer, welche man oft unmöglich von den Gesteinen gleicher Art unterscheiden kann, welche deutlich silurischen Gebieten angehören.

Ich muss auch erwähnen, dass die Grundzusammensetzung

1) Studer's grüne Schiefer, welche sicher metamorph sind, sind neuerdings sehr gut von G. vom Rath untersucht. Sie haben sehr wechselnde Zusammensetzung, umschliessen häufig Oligoklas und Albit (Zeitschr. d. Deutsch. geolog. Gesellsch., IX., 211).

2) Es ist bereits oben gesagt, dass man die Dioritschiefer des Ural für metamorph halte.

3) Die Quarzite haben Veranlassung zu zahlreichen Beobachtungen gegeben, unter denen ich die Macculloch's für Schottland anführe (Transactions of the Geological Society, 1. série, IV., 264; 2. série, I., 53), die A. v. Humboldt's für die Anden (Kosmos, I., 305), die É. de Beaumont's für die Alpen.

4) Der Serpentin von gewissen dieser Vorkommnisse in den Alpen, am Ural, in den Alleghanys und anderwärts scheint selbst durch Metamorphismus verschiedener Gesteine, hornblendiger und anderer, entstanden zu sein, wie zahlreiche Beobachtungen erweisen.

gewisser Thonschiefer aus den Uebergangsgebieten oft sehr merklich übereinstimmen mit der des Granits und des Gneisses, wie von Bischof bemerkt worden ist.

2) Dieselbe Gegend zeigt entschieden schrittweise Uebergänge aus krystallinischen Gesteinen in geschichtete mit Versteinerungen. Diese unmerklichen Uebergänge, durch welche die Aufstellung einer Grenzscheide zwischen den Gesteinen beider Abtheilungen verhindert wird, und auf welche Werner den Namen des Uebergangsgebirges gründete für eine Gruppe, in der sie am Häufigsten sind, sind zu häufig beschrieben, als dass ein weiteres Eingehen darauf nöthig wäre.¹⁾

Es giebt Oertlichkeiten, zumal in den Alpen, wo krystallinische Gesteine sich mitten in wenig veränderte Flötmassen einschieben.

3) Man weiss, dass die Krystallisation, welche in der nächsten Nähe der Ausbruchsgesteine stattfand, nicht immer die Spuren der Versteinerungen verwischt hat; vielmehr sieht man noch deutliche Zeichen von ihnen mitten in Gesteinen, welche mit krystallisirten Kieselerdeverbindungen durchmengt sind. Es genügt, an Norwegens Silurkalk mit Versteinerungen zu erinnern, welcher bei Brevig Paranthin und Granat, bei Gjellebäck Hornblende und Epidot enthält; an den Jurakalk mit Dipyr von Angoumert im Departement de l'Arriège; an die Schiefer der Bretagne, welche Boblaye so wohl beschrieben hat, und wo dieselben Handstücke zugleich Chiasolithen von mehreren Zollen Länge neben Orthois, Spiriferen und Calymenen einschliessen; an den weissen, körnigen Kalk mit Enkriniten, welchen Murchison und de Verneuil am Ural an den Ufern des Mias mitten in einem Gebiete des Granits, Serpentin und metamorphischer Gesteine entdeckten;²⁾ endlich,

1) Unter den unzähligen Beispielen, welche man vorbringen könnte, wird es genügen, der Bretagne zu erwähnen (*Explication de la carte géologique de France*, I., 234); Sachsens, wo die Uebergänge durch Naumann vortrefflich beschrieben sind; der Alpen des Dauphiné, der Tarantaise, der Schweiz, Tyrols, Salzburgs, Kärnthens nach Brochant, É. de Beaumont, Simonda, Gras, Lory, Studer, Escher, Lardy, Favre, Murchison, Credner u. a. m.; des Ural nach Murchison und G. Rose; der Vereinigten Staaten nach Lyell etc. Die grünen Schiefer bilden in verschiedenen Gegenden der Alpen (Graubünden, Piemont) den Uebergang zwischen den entschiedenen Flötmassen und den krystallinischen Gesteinen (Studer, *Physikalische Geographie*, I., 148).

2) *Russia in Europe and the Oural mountains*, I., 246.

in den Vogesen, an das Hornblendegestein von Rothau, wo die Korallen, ohne entstellt worden zu sein, durch Krystalle von Hornblende, Granat und Axinit ersetzt sind.¹⁾

Nun gilt dasselbe für die grossen Massen krystallinischer Gesteine, welche uns beschäftigen. Nach dem genannten Beispiele Brochant's haben de Charpentier, Lardy und Studer in der Nähe des St. Gotthard Belemniten mitten in Glimmerschiefer mit Granat entdeckt.²⁾

Die Möglichkeit einer Umwandlung scheint ferner durch die Auswürflinge der Somma bestätigt, indem man an ihnen alle Arten von Uebergängen aus dem dichten Apenninenkalke mit Pectunculu zu blättrigen Kalken und zu Dolomiten findet, welche mit krystallisirten Kieselerdeverbindungen erfüllt sind.

4) In den Gesteinen, in denen der krystallinische Zustand noch mehr ausgesprochen ist, sind oft Pflanzenabdrücke erhalten, selbst wenn man keine Thierreste mehr bemerkt. Man findet z. B. Pflanzenreste in so krystallinischen Feldspath- und Glimmergesteinen, dass man sie für Ausbruchsgesteine halten könnte, zumal wenn man nur Handstücke vor sich hätte. Der Art sind die feldspathige Grauwacke von Thann, die Schiefer von Bussang in den Vogesen, die Pierre carrée von den Ufern der Loire, welche häufig von Anthracit begleitet werden, Gesteine, die man zur untern Kohlenformation oder zur eigentlichen Steinkohlenbildung rechnet.

Wenn sich selbst Pflanzenformen nicht mehr darstellen, umschliessen die krystallinischen Schiefergesteine, mit denen wir uns eben beschäftigen, oft noch kohlige Verbindungen, welche aller Wahrscheinlichkeit nach organischen Ursprungs sind. So enthalten die Glimmerschiefer von Airolo, welche mit Granaten und langen Hornblendenadeln durchmengt sind, nach meinen Versuchen noch bis 5 pCt. Kohlenstoff;³⁾ ebenso viele Dachschiefer.⁴⁾

1) Annales des mines, 5. série, XII., 318.

2) Besonders am Nuffenenpasse bei Airolo hatte schon v. Charpentier 1822 Belemniten in dem angeblichen Urkalke des Col de Seigne gefunden (Cosmos, I., 541).

3) Nach Entfernung des kohlensauren Kalkes mittelst Salzsäure, hat man die Menge des Kohlenstoffs durch Verbrennung mit Kupferoxyd bestimmt, wie bei Untersuchung organischer Körper.

4) Man kann selbst glauben, dass der bituminöse Körper, welchen Delesse im Protogin des Mont-Blanc nachgewiesen hat, organischen Ursprungs sei.

Aus dem Vorhergehenden erhellt, dass es schwierig sein würde, einen sichern Unterschied aufzustellen zwischen dem Metamorphismus beim Nebeneinandervorkommen und dem ganzer Gebiete, wenn man sich dabei allein auf mineralogische Kennzeichen stützen wollte. Beide Erscheinungen weichen vielmehr nur durch ihre Verbreitung von einander ab.

Zumal in den untern Abtheilungen der Reihe der geschichteten Gebilde sind die Wirkungen des Metamorphismus auf weite Gebiete bemerklich.

Ein ausgezeichnetes Beispiel für die Umwandlung paläozoischer Gebiete findet sich in der Kette des Ural. Die ursprüngliche Flötzbildung und das Alter der krystallinischen Schiefer, aus denen dieselbe besteht, sind durch die schöne Arbeit Murchison's, de Verneuil's und des Grafen Keyserling¹⁾ ausser Zweifel gesetzt. Die Silurschichten, welche in einem grossen Theile Russlands nur sehr wenig fest geworden sind, wandeln sich in der genannten Bergkette zu krystallinischen Schiefen um, welche hin und wieder, gleichsam zum Zeichen ihres Ursprungs, Schollen Versteinerungen führender Gesteine umschliessen. Dasselbe gilt von den Gesteinen der Kohlenformation: die weissen und weichen Kalke von Moskau finden sich im Ural mit denselben Versteinerungen wieder (*Productus gigas* und *Spirifer mosquensis*), aber hart, dunkel und krystallinisch geworden.

Inzwischen ist der Metamorphismus ganzer Gebiete nicht ausschliesslich auf die ältesten Gebirgsformationen beschränkt und kommt ihnen anderer Seits auch nicht nothwendig zu. Wie man eines Theils krystallinisch gewordene Schiefer bis zu den Belemniten-schichten und selbst bis in die Nummulitenformation hinein findet (z. B. in Graubünden²⁾), so sind anderen Theils gewisse Silurschichten kaum verändert, sogar in ihren unteren Lagen, was man in Russland, in Schweden und in den Vereinigten Staaten sehen kann.³⁾

Der so ausgezeichnete krystallinische Zustand vieler, paläo-

1) *Russia*, I., 402, 438 und 465.

2) Nach Sir Roderick Murchison ähneln diese Gesteine sogar dem Gneisse (*Quarterly journal of the Geological Society*, V., 211, 1848).

3) Nach den neuesten Beobachtungen Sir Roderick Murchison's hat der Metamorphismus in dem Silurgebiete Schottlands eine so wichtige Rolle gespielt, als man kaum vermuthet.

zoischer Massen ist also nicht, wie man behauptet hat, irgend einer allgemeinen Bedingung zuzuschreiben, welche die Erde zur Zeit, als jene gebildet wurden, dargeboten habe, sondern vielmehr eigenthümlichen Vorgängen, welche einzelne Gegenden mehr betroffen haben, als andere.

Drittes Stück.

Metamorphismus im Gefüge.

Viele grosse Gesteinsmassen lassen sich mehr oder minder vollkommen in parallele Blätter theilen.¹⁾ Diese Blätter rühren nicht etwa von krystallinischer Spaltbarkeit her, aber auch nicht von der Schichtenbildung selbst.

Die Ebene dieser Schieferblätter ist häufig schief gegen die Ebene der Schichtenlage gerichtet. Doch giebt es auch Gegenden, in denen jene schräge Stellung nur ausnahmsweise erscheint, und wo die Blätter gewöhnlich mit der Schichtung gleich laufen.²⁾

Dieses blättrige Gefüge ist zumal in den Thonschiefern oder Phylladen entwickelt, bildet jedoch nicht die ausschliessliche Eigenthümlichkeit bei ihnen, lässt sich vielmehr bei Gesteinen ganz verschiedener Art verfolgen, z. B. bei den Quarziten, Sandsteinen, Kalksteinen, zumal wenn sie nicht ganz rein sind.

Verschiedene Umstände zeigen, dass die blättrigen Gesteine dem Einflusse mechanischer Kräfte ausgesetzt gewesen sind, namentlich bedeutendem Drucke, welcher in ihnen unverlöschbare Spuren hinterlassen hat. Die meisten Versteinerungen, welche in diesen Gesteinen enthalten waren, sind in ausgezeichneter Weise verdrückt und aus einander gezogen.

Den Gleitungen, welche von solchem Drucke hervorgebracht wurden, scheint das blättrige Gefüge seinen Ursprung zu ver-

1) Oft zeigt sich der Bruch in dem Gesteine nicht mehr, als die Spaltbarkeit in den Krystallen, wenn man sie nicht durch einen Schlag hervortreten macht; er ist gewissermassen verborgen, wie man es in den Dachschieferbrüchen bemerkt.

2) Dieser regelmässige Parallellismus ist aufgefunden am Harze, in Sachsen, in der Bretagne, in Schottland, in Devonshire und im rheinischen Schiefergebiete durch Hausmann, Naumann, Durocher, Macculloch, de la Béche, Baur und v. Dechen.

danken, was durch Versuche, von denen bald die Rede sein wird, bestätigt ist.

Gewisse Eigenthümlichkeiten des Gefüges, minder ausgesprochen als die Schieferigkeit oder die Spaltbarkeit, stammen unzweifelhaft ebenfalls von mechanischen Thätigkeiten her. Dahin gehören die Nebenklüfte, welche den Arbeitern in den Dachschieferbrüchen wohl bekannt sind,¹⁾ das faserige Gefüge, gleichsam die Folge einer Faltung der Blätter,²⁾ das sogenannte scheinbar regelmässige Gefüge, häufig in Quarziten und Steinkohlen. Diese verschiedenen Theilungsarten wären also auch als Wirkungen eines Metamorphismus nach der Weise des in Rede stehenden zu betrachten.

Das unächte Schiefergefüge oder mit andern Worten, das blättrige Gefüge, welches nicht von einer Schichtenbildung aus Niederschlägen herrührt, wenn es auch in alten Formationen häufig auftritt, findet sich nicht immer daselbst und nicht als durchgängige Eigenthümlichkeit. Einer Seits trifft man keine wirkliche Phylladen in den alten Silurschichten Schwedens, Russlands oder der Vereinigten Staaten, welche ihre ursprüngliche, wagerechte Lagerung bewahrt haben, und von denen, als von nicht im Allgemeinen metamorphischen schon die Rede war; anderer Seits sind Schiefer, welche zur Ausbeutung als Dachschiefer geeignet sind, in neuern, gestörten Bildungen bekannt, wie in der Kreide der Pyrenäen und des Feuerlandes³⁾ und in den Nummulitenschichten der Schweiz in der Umgegend von Glarus. So scheint der Ursprung des blättrigen Gefüges gleich dem metamorphischen Zustande sich wesentlich an das Eintreten von Schichtenstörungen zu knüpfen.

1) Die vorzüglichste dieser Nebenklüfte nennen die Schieferbrecher der Ardennen Congrain.

2) Das stabförmige Gefüge gewisser Alpenkalke, wie der von Klam in Tyrol, bildet ein Beispiel (Favre, Geologie du Tyrol allemand und Bibliothèque universelle de Genève, 1849). Beispiele dieser Theilungen hat de la Bèche in seinem Geological report on Cornwall and Devonshire, 271, gegeben.

3) Nach Darwin.

Viertes Stück.

Dolomit, Gyps, Steinsalz, Schwefel und Erdöllager in ihren Beziehungen zum Metamorphismus.

Man weiss, dass gewisse Dolomite durch Umwandlung des Kalkes entstanden sind.¹⁾ Diese nachträgliche Bildung lässt sich erklären, wie die hierüber angestellten, unmittelbaren Versuche beweisen, aus der Einwirkung talkerdehaltiger Verbindungen auf die kohlensaure Kalkerde. Nichts deutet übrigens darauf hin, dass die Dolomitbildung stets durch dieselben Ursachen hervorgerufen sei, und dass z. B. der Dolomit von Campolongo mit seinen Turmalinen, Korunden und andern Mineralien gleichzustellen sei dem Dolomite in andern Alpengegenden²⁾ und von Nizza, oder dem in der Nähe der Zinklagerstätten Belgiens.

Es giebt aber auch Dolomite, und dies ist die grösste Zahl, welche in regelmässigen Schichten lagern, oft wagerecht und als weit gedehnte, geognostische Horizonte. Umschlossen sie Muschelversteinerungen, so ist deren Schale verschwunden. Oft sind sie krystallinisch und voll kleiner Höhlungen, so dass man an spätere Einführungen denken kann. Es ist möglich, dass diese letztern Dolomite unmittelbar abgelagert wurden.³⁾ Nach dem Verschwinden der Versteinerungen aber ist es schwer, nicht mit É. de Beaumont anzunehmen, dass dieser zweite Fall sich dem ersteren nähere durch die Einwirkung, welche das Mittel, in dem die Ablagerung vor sich ging, auf die abgelagerten Massen ausgeübt habe, eine Einwirkung, in Folge deren die kohlensaure Kalkerde verschwand. Man bemerkt in der That, dass der reine Kalk nie mit ihnen wechsellagert.

Die geschichteten Dolomite begleiten im Allgemeinen Anhydrit und Gypsablagerungen, Gesteine, welche man gleichfalls als nach-

¹⁾ Der einfachen Anführung der Thatsachen werde ich in diesen drei letztern Stücken einige Betrachtungen begeben, wodurch mir erspart sein wird, in der dritten Abtheilung darauf zurückzukommen.

²⁾ Man sehe namentlich die Abhandlungen Studer's und seine Physikalische Geographie, I., 146.

³⁾ Durch Vorgänge, auf welche de Sénarmont und Forchhammer die Aufmerksamkeit gelenkt haben (Annales de chimie et de physique, XXVIII., 710 und Journal für praktische Chemie, XLIX., 52, 1850).

träglich gebildete anzusehen gewöhnt ist,¹⁾ auch begleiten sie häufig die Steinsalzlager. Diese drei letztern Gesteine, welche im ganzen Verhalten grosse Aehnlichkeit zeigen, hat man, gleich den Dolomiten, auf zweierlei Arten des Vorkommens zurückgeführt. Am Häufigsten sind sie geschichteten Gebieten regelmässig untergeordnet und bilden ausgezeichnete Glieder derselben, wie man es sieht in der Trias des westlichen Europa, in der Spaniens oder im Tertiärgebirge der Karpathen. Anderwärts sind sie zufällige Ablagerungen, welche mit Schichtenstörungen in Zusammenhang zu stehen scheinen, wie man für die Vorkommnisse in den Alpen Salzburgs und Baierns, in den Pyrenäen und in Algier annimmt. So findet man die den Dolomiten zugeschriebene, doppelte Art der Entstehung bei den sie begleitenden Gypsen, Anhydriten und Steinsalzmassen wieder.

Eine hervorstechende Eigenthümlichkeit aller salzführenden Gebirge, welche zugleich das Aehnliche und Besondere ihrer Bildung kennzeichnet, sind die rothen Färbungen, sei es im Ganzen oder fleckig vertheilt, welche die Thone, die Sandsteine und selbst manche Salzmassen zeigen, aus denen sie bestehen. Ich könnte hier nur die Betrachtungen wiederholen, durch welche É. de Beaumont diese verschiedenen Erscheinungen in Zusammenhang gebracht und gezeigt hat, dass in der Wassermasse, aus welcher die bunten Mergel sich abschieden, ohne Zweifel Vorgänge stattgefunden haben, von denen einige in ihren Folgen ähnlich waren denen, welche die vulcanischen Erscheinungen begleiten.²⁾

Diese rothen Massen lagern oft über ganz regelmässigen Schichten, deren Färbung nichts Ungewöhnliches zeigt, so die

1) É. de Beaumont (Explication de la carte géologique de France, II., 90).

2) É. de Beaumont (Ebend., 94). Das Eisenoxyd kann nach de Sénarmont sein Wasser verlieren, selbst im Wasser, bei einer Wärme zwischen 160 und 180°. Dies findet schon Statt, nach einem von mir angestellten Versuche, bei nur 150° in einer gesättigten Kochsalzlösung. Ich habe auch durch eine eigene Untersuchung nachgewiesen, dass die rothen Massen der buntfarbigen Mergel sich von den grünen oder grauen nicht allein durch die Verbindungsart des Eisens unterscheiden, sondern auch durch einen beträchtlich grössern Gehalt an diesem Metalle. Diese Beobachtung hat mich auf eine völlige Nachahmung der gewöhnlichen Fleckung der Thone geführt, indem ich in der Wärme auf eisenschüssigen Thon nach einander Salzsäure und Wasserdämpfe wirken liess. Manche Theile entfärbten sich, während die Nachbarschaft sich auf ihre Kosten roth färbte.

rothen Mergel über dem Muschelkalke. Dieser Umstand, verbunden mit der Betrachtung der grossen Verbreitung, welche sie oft haben, dürfte glauben lassen, dass die Wärme des Erdballs keine Wirkung auf sie geüsst hätte, als etwa nur ganz mittelbar und gewissermassen beiläufig, indem sie das Meerwasser erwärmte. Es spräche also vielleicht zu Gunsten einer verstärkten Hitze und chemischer Vorgänge, denen die Zusammenziehung des Chlornatriums nicht fremd wäre, dass das Meer selbst das salzförende Gebirge gefärbt hätte, indem es so eine Art von Beweis gäbe für Wärmeverhältnisse, welche es ausnahmsweise und zu gewissen Zeiten und in ausgedehnten Theilen seines Bettes angenommen hätte.

Die regelmässig geschichteten Dolomite werden, wie eben gesagt ist, als umgebildete Kalke betrachtet, und zwar umgebildet im Augenblicke der Ablagerung des letztern, und bevor er durch die Ueberdeckung mit andern Massen vor Umwandlung geschützt wurde. Ganz ebenso verhält es sich mit gewissen erzführenden Lagern. Der mansfelder Kupferschiefer, die Lager der linsenförmigen Eisenerze von la Voulte und Privas, die Schichten mit Jaspis und metallischen Mineralien der Gegend von Nontron sind, wie Gruner bemerkt hat, früher gebildet, als das sie bedeckende Gebirge.¹⁾ Diese Art unmittelbarer Umwandlung (épigénie immédiate) im Wasser selbst, aus welchem sich diese verschiedenen Niederschläge gebildet haben, scheint demnach eine gemeinschaftliche Eigenthümlichkeit zu sein, sowohl für die Dolomite, als für die gebänderten und gesprenkelten Gesteine, wie für viele erzführende Schichten.

Als einen andern Vergleichspunct mit denselben Gebilden will ich noch hervorheben, dass in Formationen verschiednen Alters die Erzvorkommnisse häufig mit Dolomit so innig verbunden erscheinen, dass man unmöglich im Ursprung beider einen Zusammenhang verkennen kann. Als Beispiele dafür mögen gelten die Galmeilager über dem Kohlenkalke von Altenberg und in der Eifel,²⁾ von San-Juan de Alcarras und in der Provinz Santander in Spanien; ähnliche Lager im Muschelkalke Schlesiens und

1) Annales des mines, 4. série, XVIII., 91.

2) Braun (Zeitschr. der Deutschen geologischen Gesellschaft, IX., 354, 1857); Gaudry (Bulletin de la Société géologique, 2. série, VIII., 105).

Poleus,¹⁾ der zinkhaltige Dolomit Englands, die kleinen Galmeilager des mittlern Frankreich, wie bei Durfort (Lozère), Combécave (Lot), Allou (Charente); die Bleiglanzlager der Alpujurras; die Eisenerze von Vicdessos und des Canigou in den Pyrenäen; die Manganerze in Nassau und von Nontron (Dordogne) u. s. w.²⁾

Der natürliche Schwefel schliesst sich in seinen Hauptvorkommnissen allgemein an Gyps an,³⁾ sei es nun wie Ursache zur Wirkung, oder umgekehrt. Dies sieht man in Sicilien und in den Umgebungen von Wieliczka,⁴⁾ von Teruel in Spanien,⁵⁾ in verschiedenen Gegenden Italiens, an den Ufern der Wolga.⁶⁾ Möge der Schwefel nun als Schwefelwasserstoff aus der Tiefe gekommen sein, wie in den Solfataren und gewissen Erzvorkommnissen Toskana's, wo er sich noch täglich auf dem Holzwerke der Schächte absetzt, und möge er später in schwefelsauren Kalk durch mehr oder minder vollständige Verbrennung übergegangen sein, oder mögen Gypsschichten durch eine wohlbekanntere Art der Reduction, durch den Einfluss häufig sie begleitender, organischer Stoffe zersetzt sein: im einen, wie im andern Falle bestehen zwischen Gyps und Schwefel Beziehungen eines Metamorphismus oder nachträglicher Umbildung.

Man kann bemerken, dass die erstere Erscheinung fast immer von der Entwicklung höherer Wärme begleitet sei, während die Reduction schwefelsaurer Salze, selbst in gelöstem Zustande,

1) Abhandlungen von Karsten, v. Carnall und Anderen.

2) In diese Aufzählung könnte man auch die Kupferschiefer von Mansfeld, die blei- und kupferführenden Sandsteine der Moselgegenden aufnehmen, welche, gleich den oben nach Gruner angeführten Schichten, früher gebildet zu sein scheinen, als alle die, von denen sie bedeckt sind.

3) Zeuschner, Dépôt de soufre de Swoszowice (Annales des mines, 4. série, XVIII., 125, 1850.

4) Die Tertiärschichten von Teruel, wo die Planorben und Limnäen mit Schwefel erfüllt sind, ohne dass ihre Schale verschwunden sei, und wo Schwefel auch an Stelle der Charafäden getreten ist, sind durch die Beschreibung Esquerra del Bayo's, Max Braun's, de Verneuil's und Collomb's bekannt.

5) Pallas, I., 197 und 202. Murchison, Russia.

6) Ohne Zweifel rührt von einer ähnlichen Erscheinung die Angreifbarkeit des Schiffsbeschlages in gewissen Meeren Afrika's her, wie Capitain Wilmot an den Küsten desselben Landes bemerkte, dass sich im Meere Schwefel absetze, ungefähr zu gleichem Gewichte mit einem organischen Stoffe gemengt (l'Institut, 13. März, 1844).

durch eine jede Vermehrung der Wärme aufgehoben wird, welche fähig ist, alle freiwilligen Vorgänge der Gährung oder Fäulniß bei organischen Stoffen aufzuhalten.¹⁾

Die Erdöle und andern Kohlenwasserstoffe, fest, flüssig oder gasig, haben bald die Bänke durchtränkt, bald fließen sie aus (Steinöl), bald entweichen sie aus dem Boden, wie in den Salsen, den Schlammvulcanen, den Feuerbrunnen, welche ebenfalls nur bituminösen Ablagerungen angehören.²⁾ Diese Ablagerungen zeigen als allgemeine oder mindestens ziemlich häufige Züge:

1) Sie stehen in Verbindung mit Salzformationen (Soultz-sous-Forêts im Departement des Niederrheins; in den Landes; Saline von Tecklenburg; Knistersalz von Wieliczka und andern Gegenden der Karpathen; Brazza bei Spalatro in Dalmatien; Albanien, Persien, China, Vereinigte Staaten etc.).

2) Sie liegen in der Nähe von Brennstoffablagerungen und Schichten, welche reich an Pflanzenresten sind (Lobsann, Basses-Alpes; Hering in Tyrol; Bovey in Devoushire; Derbyshire, Umgegend von Newcastle und Glasgow etc.).

3) Bald hängen sie zusammen mit ältern oder jüngern Feuererscheinungen, Vulcanen oder Ausbrüchen (Val di Noto; Auvergne, Gaujac in den Landes, wo das Erdöl aus einem salzhaltigen Boden mit Braunkohle, am Fusse eines Ophitausbruchs, hervorkommt; Java, Grünes Vorgebirge); bald stehen sie in Verbindung mit Schichtenstörungen (Hering in Tyrol; Salsen der Krimm, der Halbinsel Taman³⁾ und des caspischen Meeres in der Verlängerung des Caucasus).

4) Häufig werden sie begleitet von warmen, oft schwefeligen Quellen, und von Schwefelablagerungen (permische Formation an der Wolga; Halbinsel Kertsch und in der Nachbarschaft des

1) Die Reduction des schwefelsauren Salzes zu Schwefelmetall findet nach de Sénarmont's Beobachtungen in hoher Wärme nicht Statt. Also sind die Umstände, welche für die faulige Gährung passen, dieser Reduction günstig. Im Wasser der warmen Quellen von Plombières hat sich Kupferglanz bei einer Wärme von etwa 70° gebildet und krystallisirt, wie ich bereits anderweitig mitgetheilt habe (Annales des mines, 5. série, XII., 294, 1857). Diese Reductionserscheinung erklärt vielleicht den Ursprung gewisser Schichten mit Schwefelmetallen, wie im mansfelder Kupferschiefer.

2) Dieses letztere Verhältniß ist deutlich in den Apenninen, in Albanien, auf der Halbinsel Taman, in der Gegend von Tiflis etc.

3) Mémoires de la Société géologique, III., 1838.

Caucasus; Umgegend von Mussul in Persien). Die beiden letztern Umstände scheinen von früher besprochenen, einander begleitenden Ursachen herzurühren.

Mehrere meiner Versuche geben Rechenschaft von diesen Abhängigkeitsverhältnissen. Indem ich Holzstücke der Einwirkung überhitzten Wassers aussetzte, habe ich sie, mitten im Wasser, in Braunkohle, Steinkohle oder Anthracit umgewandelt, je nach der Höhe der Wärme, und erhielt dabei flüssige und gasige Körper, welche den natürlichen ähnelten und sogar den eigenthümlichen Geruch des Steinöls von Bechelbronn besaßen. Auf diese Weise begreift man das Auftreten des Bitumens in verschiedenen, concretionirten Erzgängen (Derbyshire, Camsdorf, Raibl).

Hiernach stammen die Bitumen wahrscheinlich von Pflanzenstoffen ab.¹⁾ Sie scheinen nicht einfach durch trockene Destillation erzeugt, sondern unter Mitwirkung des Wassers und vielleicht unter Druck. Der Graphit wäre alsdann der am Meisten erschöpfte Rückstand.²⁾ Diese verschiedenen Kohlenstoffverbindungen schließen sich also an die Umbildungen, welche im Innern der Gesteine, wahrscheinlich bei stärkerer Hitzewirkung vor sich gehen. Die Lebhaftigkeit und selbst die Gewalt, sogar fähig kleine Erdbeben zu erzeugen, mit welcher verschiedene Kohlenwasserstoffentwicklungen in Taurien, am caspischen Meere, um Carthagena, in Süd-Amerika stattfinden, beweisen, dass die Kräfte, welche einst das Bitumen ausschieden, noch fortwirken.

Fünftes Stück.

Erzlager und ihr Zusammenhang mit dem Metamorphismus.

Die aus der Tiefe kommenden Metallverbindungen haben sich häufig in den Spalten der Gesteinsmassen angehäuft und so die Erzgänge gebildet.

¹⁾ Obgleich es Berthelot und andern Chemikern durch höchst sinnreiche Verfahrensweisen auf synthetischem Wege sogenannte organische Verbindungen darzustellen geglückt ist, so berechtigt doch nichts bis jetzt, zu glauben, dass dies mit den Bitumen ebenso der Fall sei.

²⁾ Graphit und Bitumen begleiten einander auf Java ganz in der Nähe von vulcanischen Massen und in einer tertiären Bildung mit Braunkohlen, aus welcher Kohlenwasserstoff ausströmt.

Bisweilen haben nun diese Verbindungen und andere in ihrer Begleitung sich durch das Gestein verbreitet, dessen Masse durchtränkt und tiefgreifende Veränderungen darin hervorgerufen. So haben sich ganz in der Nähe von Ausbruchsgesteinen der Eisenglanz von Framont, die Erze des Banats, der Umgegend von Christiania und Turjinsk gebildet, wo Erze mitten in Kieselerbindungen liegen, welche gleichzeitig mit ihnen in dem Schichtgesteine selbst entstanden sind. In ähnlicher Weise ist das Zinn an vielen Orten zur Abscheidung gelangt, indem es stark auf das Nebengestein wirkte und zugleich eigenthümliche Mineralien mit einfuhrte, wie ich schon vor längerer Zeit gezeigt habe.

Sind ganze, grosse Gebirgsmassen umgewandelt, so ereignet es sich wohl, dass auf weite Strecken hin metallische Stoffe sich eingelagert haben unter solchen Bedingungen, dass man den Gedanken nicht abweisen kann, ihre Einführung stehe mit der Ursache der Umwandlung selbst in enger Verbindung. Man denke an das Gold im Eisenkies oder Mispickel aus dem Zillerthale in Tyrol, in Galizien und Spanien, wo es ausserdem von Zinn begleitet ist; ganz besonders aber am Ural, in Brasilien, in den Alleghany's¹⁾ zeigen sich diese goldhaltigen und zugleich metamorphen Massen in grosser Mächtigkeit.

Die Erzlager sind also gleich den kieseligen Ausbruchsmassen vieler Gegenden nur eigenthümliche Fälle des Metamorphismus.

Sechstes Stück.

Zersetzung kieseliger Gesteine und Mineralquellen.

Ursachen, welche eine gewisse Aehnlichkeit zu haben scheinen mit denen, welche die Schichtgesteine in krystallinische Gesteine umgewandelt haben, haben oft gerade das Umgekehrte hervorgerufen und krystallinische Kieselgesteine in wasserhaltige Kieselverbindungen verwandelt. Diese sind bald amorph und erdig, wie die Thone, Steatit, Grünerde, bald selbst krystallinisch, wie die Zeolithe.

Man weiss, zumal nach den Versuchen Ebelmen's, wie die

¹⁾ Ueber letzteres Land giebt eine neuere Abhandlung Lieber's genaue und anziehende Nachrichten (Cotta, Gangstudien, II., 1860).

einzelnen Stoffe des Luftmeeres die Kieselgesteine allmählich zu zersetzen vermögen.¹⁾ Die Kohlensäure, die Salpetersäure, welche sich, nach dem so allgemeinen Eintreten der Salpeterbildung zu schliessen, täglich bildet, endlich die organischen Säuren von der Zersetzung der Pflanzenstoffe her, sie alle scheiden nach und nach die Alkalien und alkalischen Erden aus, während das Zurückbleibende, in welchem sich die Thonerde mehr und mehr anhäuft, endlich in wasserhaltige, kieselsaure Salze dieser Erde aus der Familie der Thone übergeht.

Aber nicht nur in Berührung mit dem Luftmeere konnten Thone aus der Umwandlung krystallinischer Kieselgesteine hervorgehen.

Die vulcanischen Fumarolen zersetzen die Massen, durch welche sie austreichen, häufig zu wirklichen, oft buntfarbigen Thonen (Liparische Inseln, Solfatara von Pozzuoli, Island, Azoren, Kamtschatka²⁾). Hierbei entstehen ohne Zweifel die Schlamm-massen, welche die grossen Feuerberge der Anden auszuwerfen pflegen. Die Kohlensäure genügt selbst, um eine ähnliche Zersetzung herbeizuführen, wie Fournet schon vor langer Zeit in der Auvergne erkannt hat.

Die Alkalien, welche viele warme Quellen, z. B. die von Plombières, gelöst enthalten, scheinen die Kieselgesteine eben so kräftig zu zersetzen, wie es die Fumarolen thun.

Aehnliche Erscheinungen sieht man häufig in der Nähe von Erzlagern. So rührt das Kaolinlager von Aue jedenfalls her von einer Verwitterung des Granits in der Nähe der ihn durchsetzenden Eisenerzgänge. Dies Beispiel kann übrigens als Muster vieler, anderer Vorkommnisse dieser Art dienen.³⁾ Die verschiedenen

1) Wichtige Arbeiten von Fuchs, Berthier, Forchhammer, Turner, Fournet, Al. Brongniart, Malagutti u. A.

2) Nach den Beobachtungen Breislack's, Hoffmann's, Bunsen's, Darwin's u. A. Ch. Deville hat die Einwirkung des Schwefelwasserstoffs, auf die Gesteine durch Versuche dargethan.

3) Sosa in Sachsen, in der Nähe eines Quarzanges, mit Eisenerz; Gegend von Alençon bei einem Quarzange; Lager des Loire-Departements nach Gruner und Rozet; zersetzter Feldspath der Arkosen im mittlern Frankreich etc.; Halloysit von Louhassoa bei Bayonne; Kaolin von Eschassières, Departement des Allier in Feldspathporphyr nach Boulanger. Dies sind Thatsachen der Art, wonach Brongniart und Malagutti die Zersetzung des Feldspath einem Voltaismus zugeschrieben haben.

Kaolinlager, welche man in Cornwall ausbeutet, sind in Verbindung mit den Zinnvorkommnissen. Sie tragen, wie ich bereits früher bemerkt habe, die Zeitangabe und das Kennzeichen ihres Ursprungs in dem Eintreten des Zinnsteins und des Turmalins an die Stelle der Feldspathkrystsalle, welche aufgelöst wurden. Das Kaolin von Middletown in Connecticut, in dessen Nähe man Fluosilicate und Columbit trifft, ist wahrscheinlich durch ähnliche Vorgänge erzeugt.

Diese letztern Thatsachen erlauben uns, zu denken, dass ähnliche Erscheinungen die Zersetzung der krystallinischen Gesteine zu Kaolin auch da herbeiführen mussten, wo man jetzt keine Erzausscheidungen bemerkt, denn in diesem Falle konnten die Wasser, welche eben thätig waren, keine Metallösungen enthalten. Der Granit der Vogesen ist oft umgewandelt, zumal bei Plombières, bis zu grosser Tiefe. Bisweilen hat sogar, wie ich früher gezeigt habe, Zersetzung und Neubildung des Feldspaths oft an benachbarten Stellen stattgefunden, wodurch zwei, sich ergänzende Vorgänge angedeutet werden.¹⁾

Auf ähnliche Thätigkeit muss man wohl die Umwandlung ganzer, grosser Feldspathporphyrmassen zu Thon zurückführen, wesshalb dies Gestein in Deutschland den Namen Thonporphyr erhalten hat. Die Feldspathkrystalle, obwohl völlig ausgebildet, bestehen nur noch aus Kaolin.

Die Quellen von Plombières, welche uns Beispiele für die Bildung von Mineralien geliefert haben, zeigen auch, dass viele wasserhaltige Thonerdesilicate aus der Thongruppe nicht durch Zersetzung an Ort und Stelle entstehen. Der Halloysit oder Seifenstein von Plombières, dessen Bestandtheile die Quellen aus der Tiefe in Lösung heraufbringen, setzt sich in den Quellängen ab, wie ein wirklicher, chemischer Niederschlag.²⁾ Einen ähnlichen Ursprung hat man anzunehmen für die Halloysite, Steinmarkarten und andere Thonerdesilicate, welche in Mittelfrankreich, am Harze, in Sachsen und anderwärts die Erze in der Nähe des Granits begleiten.³⁾

¹⁾ Annales des mines, 5. série, XII, 315, 1857.

²⁾ Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères (Bulletin de la Société géologique, 2. série, XVI, 567).

³⁾ Berthier, Annales des mines, 2. série, III, 255, 1853. Dufrenoy, ebend., 3. série, III, 393; Halloysit mit Manganerzen von Nontron und

Die Zeolithe, wie wir weiterhin zeigen werden, sind oft ebenfalls durch nachträgliche Bildung entstanden.

Das häufige Eintreten talkerdehaltiger Kieselerdeverbindungen, Steatit, Serpentin, Talk, oder Chlorit, an Stelle sehr verschiedener Mineralien scheint von Umwandlungen herzurühren, welche nicht ohne Aehnlichkeit mit den eben beschriebenen sind.¹⁾

Fasst man den Metamorphismus im weitesten Sinne des Wortes auf, so knüpfen sich vielleicht einige Erscheinungen, deren Ursprung mehr an der Oberfläche liegt, an den Gegenstand dieser Verhandlung. Dahin würden gehören der Absatz der Morasterze, die Bildung des Salpeters, die des kohlen-sauren Natrons auf dem Grunde von Seen, der Gerölle mit Eindrücken, Umwandlung von Geröllen in Kaolin etc. Es dürfte aber zu schwer sein, hier alle diese unablässigen Umwandlungen zu umfassen, welche gleichsam das Leben der anorganischen Welt darstellen. Ich werde mich also auf die Wirkungen aus der Tiefe beschränken.

Thiviers; mit Bleiglanz und Galmei bei Villefranche, Angleur bei Lüttich, Altenberg, Tarnowitz; mit Eisenoxyd zu la Voulte; Steinmark mit Zinnerz zu Ehrenfriedersdorf, Zinnwald etc.

¹⁾ Die Aufmerksamkeit hat sich schon lange auf diese Umbildungen gelenkt, von denen man ausgezeichnete Beispiele kennt von Göpfersgrün und Thiersheim bei Wunsiedel in Baiern, von Snarum in Norwegen, von Predazzo in Tyrol, aus Canada und in den krystallinischen Gesteinen der Alpen, einschliesslich des Protogins. Blum, Bischof, Volger u. A. haben zahlreiche Beobachtungen über den wahrscheinlichen Ursprung dieser merkwürdigen Ersetzungen mitgetheilt. Die Vermuthung nachträglicher Umwandlung wird durch de Sénarmont's Beobachtung unterstützt, dass Serpentinkrystalle, in dünne Blättchen zerschnitten, das Licht durchgehen lassen, ohne ihm Eigenschaften mitzutheilen, welche eine wahre Krystallisation auszeichnen, und dass jene also nicht zu Krystallen sui generis gehören (Annales des mines, 5. série, VIII, 498).

Dritte Abtheilung.

Betrachtungen über die Ursache der metamorphischen Erscheinungen und synthetische Versuche zu deren Unterstützung.

Bei den nun vorzunehmenden Betrachtungen werde ich mich zuerst mit den Gesteinen beschäftigen, deren metamorphischer Ursprung durch die Bedingungen ihres Vorkommens nachgewiesen wird. Die ältesten oder azoischen, krystallinischen Gesteine, welche man zuweilen ebenfalls als metamorphisch angesehen hat, ohne derartigen Beweis jedoch, werden den Inhalt eines Anhanges am Schlusse dieser Arbeit bilden. In Bezug auf die Dolomite und die ihnen sich anreihenden Massen werde ich nichts zu den Thatsachen und Erklärungen, welche bereits im zweiten Theile gegeben worden sind, hinzufügen.

Erstes Stück.

Die innere Wärme; Untersuchung ihres Einflusses auf den Metamorphismus. Sie genügt nicht zur völligen Erklärung aller Erscheinungen.

Die Veränderungen der Gebirgsmassen, welche man unter dem Ausdrucke Metamorphismus begreift, haben sicher bei einer höhern Wärme Statt gehabt, als eine solche jetzt auf der Erd-

oberfläche herrscht. Man kann dies schliessen zunächst aus der einzigen Thatsache der mineralogischen Aehnlichkeit dieser Massen mit den Ausbruchsgesteinen und zumal aus der Gegenwart zahlreicher, wasserfreier Kieselerdeverbindungen, welche einen ihrer hervorstechendsten Züge ausmachen; zweitens aus ihrem augenfälligen Zusammenhange mit Schichtenstörungen, deren Ausgangsstelle immer in der Tiefe liegt, und welche unbestreitbar als erste Ursache die innere Erdwärme haben.

Die dem Erdkörper eigene Wärme nimmt natürlich mit der Entfernung vom Mittelpunkte nach der Oberfläche hin ab, und daher mussten Schichtenabsätze des Oceans, welche sich bei einer verhältnissmässig niedrigen Wärme, wie sie in dessen Tiefe herrscht, gebildet hatten, nach ihrer Bedeckung mit anderen Lagen eine um so höhere Wärme annehmen, als sie sich von der Oberfläche der Ausstrahlung entfernten.¹⁾ Die Ueberlagerung mächtiger Schuttmassen, aus welchen gewisse Schichten bestehen, konnte oft hinreichen, die Erwärmung der unterliegenden Massen nach ihrem Absatz zu bestimmen, zumal zu Zeiten, als die Zunahme der Wärme nach der senkrechten Richtung in einem weit stärkeren Verhältnisse erfolgte, als jetzt.

Man kann eine Beobachtung hinzufügen: Gegenwärtig, wo der Grund eines grossen Theiles des Oceans keine höhere Wärme als 3—4° zu besitzen scheint, würden, schon allein dadurch, dass eine Ablagerung in gemässigten Gegenden trocken gelegt würde, und dass damit deren Oberfläche einige Grade mittlerer Wärme gewinnen möchte, sämmtliche, auf einer und derselben senkrechten Linie liegenden Punkte gleichmässig eine höhere Wärme erlangen.²⁾

So hat die regelmässige Fortpflanzung der Erdwärme auf ganze Gebiete wirken und in ihnen allgemach die Umwandlung herbeiführen können, welche É. de Beaumont als ächten Metamorphismus (M. normal) bezeichnet hat.

1) Diese Bemerkung verdankt man Babbage (Lond., Edinb. Philos. Mag., V., 213). Sir John Herschel stellte Beobachtungen an über die chemischen Vorgänge, welche die Gesteine in Folge späterer, höherer Wärme betreffen mussten. Bei einer geringen Wärme auf dem Grunde des Meeres könnte man eine spätere Erhitzung der Schichtgebilde nicht innerhalb der von Hutton angegebenen Gränzen einräumen.

2) Ebenfalls nach Herschel's Bemerkung.

Ausser der Wirkung dieser allgemeinen und in gewissem Sinne verborgenen Ursache giebt es engere Gebiete, wo sich die Wärme nahe zur Oberfläche ausgedehnt hat, zumal in Folge von Gesteinsausbrüchen. Es entstanden so eigenthümliche Mittelpuncte, um welche her die innere Wärme den zufälligen Metamorphismus oder den Metamorphismus beim Nebeneinandervorkommen hervorgerufen hat.

Sehr gewichtige Gründe lassen indessen glauben, dass im einen und im andern Falle die Wärme es nicht allein gewesen ist, welche gewirkt hat. Hätte auch die Wärme in den umgewandelten Gesteinen hoch genug steigen können, um eine Wiedererweichung zu verursachen, was zumeist ganz unwahrscheinlich ist,¹⁾ so wäre sie doch unzureichend, um über die Verschiedenheit der nachgewiesenen Wirkungen Rechenschaft zu geben. Dies erhellt aus folgenden Beobachtungen.

Wäre die Wärme allein die Ursache der Veränderungen, welche man in Schichtenmassen von oft mehr als tausend Meter Mächtigkeit erkennt, wie könnte sich eine derartige Wirkung auf eine solche Stärke erstreckt haben? Warum wäre sie nicht wenigstens nach den bekannten Gesetzen der Fortpflanzung der Wärme und im Verhältniss zu der schwachen Leitungsfähigkeit der Gesteine bei Weitem schwächer an den Stellen, welche entfernter von der Oberfläche des Wärmewirkungsraumes liegen, als an den dieser näheren? Dies ist aber durchaus nicht der Fall, und die Grösse, wie die Gleichförmigkeit der in ganzen Gebirgsgliedern geäusserten Wirkung ist eine der auffälligsten Erscheinungen.²⁾

Lässt man ferner die Beziehungen des Ganzen auf sich beruhen und geht man auf die Einzelheiten über, so findet man noch in der Art der Gruppierung der Mineralien in den metamorphischen Gesteinen eine Menge von Umständen der Vergesellschaftung und des Vorkommens, welche es wehren, für diese Mineralien einen auf Einwirkung der Wärme allein beruhenden Ursprung anzunehmen.

Um ein Beispiel dafür anzugeben, verweise ich auf die so

1) Bischof und Durocher haben dafür Beweise gebracht.

2) Oft sind beim Metamorphismus sich berührender Massen nicht immer gerade die dem Ausbruchsgesteine nächsten Theile der stärksten Wirkung ausgesetzt gewesen, wovon Durocher mehrere Beispiele beschrieben hat.

häufige Thatsache der Krystallisation thonerdehaltiger Kieselverbindungen, wie die des Chiasoliths und Stauroliths mitten in Thonschiefern mit Versteinerungen, die des Granats, Augits oder Feldspaths in Kalken von ebenfalls ursprünglicher Schichtung, welche obenein oft nicht einmal deutlich umgewandelt sind.

Die Wärme, dann die Krystallisation, welche eine Folge der Abkühlung ist, können, es ist wahr, Separationen oder Saigerungen zwischen Substanzen hervorbringen, die ursprünglich in einander gelöst waren. So scheidet sich der Kohlenstoff aus dem Gusseisen in Krystallen als Graphit aus. Unmittelbare Erfahrung zeigt uns aber Nichts, was einer unter der Einwirkung der Wärme stattfindenden Krystallisation des Granats, Augits, Feldspaths, Disthens in einem Kalkgange ähnlich wäre, der nicht einmal wieder erweicht und, allem Ansehen nach, nur sehr wenig erhitzt worden ist.

Man begreift, dass langsame Thätigkeit, wie solche in der Natur so häufig zur Ausbildung der Mineralien herrscht, viele Wirkungen hervorbringen könne, für welche die Kraft des Menschen nicht zureicht, um sie nachzuahmen; hat man aber das Recht, ausschliesslich in der Dauer der Zeit und in unbestimmten, so zu sagen verborgenen Ursachen Erklärungen zu suchen, welche sonst durch Nichts gerechtfertigt werden?

Ein und dasselbe Mineral kann sich vollkommen ausgeschieden und krystallinisch finden mitten in sehr verschiedenen Grundmassen. So z. B. zeigen sich Turmalin, Glimmer, Feldspath, Granat, Epidot mitten im Quarz mit eben den Eigenschaften wie im Kalk oder Dolomit. Diese Unabhängigkeit der Kieselverbindungen in Bezug auf ihre Gangmasse scheint auch anzudeuten, dass die Mineralien nicht einfach durch Saigerung entstehen, da Mittel so verschiedener Art nicht so gleiche Verbindungen ausgeschieden haben dürften.

Man trifft übrigens überall in den metamorphischen Gesteinen Mineralien von sehr ungleicher Schmelzbarkeit, deren Krystallisation in einer Reihenfolge vor sich ging, welche ganz entgegengesetzt derjenigen ist, wie man sie in der vorliegenden Frage aus ihren Schmelzbarkeitsverhältnissen ableiten sollte.

Gründe verschiedener Art stellen sich also dem entgegen, dass man einen Metamorphismus annehme, ohne dass eine andere Ursache als die Wärme in den betreffenden Gesteinen die ihnen

eigenen Mineralien erzeugt habe, selbst wenn diese Mineralien keine einfachen Stoffe zu enthalten scheinen, welche der ursprünglichen Zusammensetzung fremd wären. Ist dieser Schluss aber ein sicherer, wenn man in Brasilien die Veränderung im Zustande der Gesteine augenscheinlich zusammenfallen sieht mit der Einführung ganz besonderer Körper, welche aller Wahrscheinlichkeit nach sich darin erst nachträglich einnisten konnten?

Zweites Stück.

Gewisse Dämpfe als Unterstützungsmittel der Wärme betrachtet; auch ihre Wirkung verbunden mit derjenigen der Wärme ist noch unzureichend.

Ist die Wärme allein unzureichend gewesen, die in Rede stehenden Wirkungen zu äussern, würde dann wohl ihre Thätigkeit, unterstützt von gewissen gasigen oder leicht verdampfenden Körpern, genügen, sie zu erklären? Dieser Gedanke musste sich natürlich zuerst darbieten, denn die Natur kann in den Aushauchungen der Krater oder der noch glühenden Laven der Vulcane einen Ueberfluss von stark wirkenden Dämpfen aufweisen. Diese Dämpfe und Gase sind zusammengesetzte, in denen die elektronegativen Bestandtheile vorherrschen, welche die alten Mineralogen, gleichsam unbewusst, vererzende nannten, als Chlor, Schwefel, Kohlenstoff, seltener Fluor und Bor. (Die neuern Beobachtungen Boussingault's, Bunsen's und Ch. Deville's haben zu ihrer genauern Kenntniss viel beigetragen.)

Kohlensäure, Schwefelwasserstoff, selbst Schwefelsäure konnten einst auf einige Gesteine wirken, ähnlich, wie man an gewissen Gypsen und Alaunsteinen sieht, welche sich noch täglich in Toskana,¹⁾ oder in den Nachbargesteinen der Vulcane der Anden und Java's bilden, die unter ihrem Einflusse zu einem wahren Schlamme werden.

Die Zersetzung chlorhaltiger Dämpfe bildet gleichfalls unter unsern Augen den Eisenglanz und konnte auch einst an vielen ihrer Fundstätten Zinnstein und Titansäure absetzen, wie dies

¹⁾ Zumal zu Selvena und Pereta, wie Coquand gezeigt hat (Bulletin de la Société géologique, 2. série, VI., 91).

sowohl durch die Beobachtung, als durch den Versuch nachgewiesen ist. Ebenso konnte die krystallisirte Talkerde oder der Periklas in den Kalkblöcken der Somma in Folge einer Zersetzung des Chlormagnesiums durch kohlen saure Kalkerde entstehen. Diese Vermuthung, welche durch das reichliche Auftreten chlorhaltiger Dämpfe im heutigen Vulcane wahrscheinlich gemacht wurde, ist durch den Versuch bestätigt, in welchem ich dies Mineral nachgeahmt habe.¹⁾ Es ist merkwürdig, dieselben Körper, welche auf Kosten des Kalkes Periklas hervorbringen, Dolomit bilden zu sehen, wenn man sie in Lösung und in niedrigerer Wärme zusammenbringt.

Die Rolle, welche die Chlorverbindungen bei hoher Wärme gespielt haben, um die Krystallisation der Mineralien hervorzu bringen, ergiebt sich auch deutlich aus den neuesten Versuchen von Manross, Forchhammer und H. Deville.

Andere Versuche haben auch gezeigt, dass die Chloride des Siliciums und Aluminiums, indem sie dampfförmig auf die gewöhnlichen Basen der Gesteinsmischungen wirken, damit einfache oder zusammengesetzte Kieselverbindungen bilden, welche gewissen, natürlichen Erzeugnissen gleich sind.²⁾ Wenn der Glimmer noch jetzt in der Hitze Fluorverbindungen des Siliciums, Bors und Lithions abgiebt, dürfte man wohl wagen zu behaupten, der Teig der Granite habe nicht ursprünglich auch Chlorverbindungen des Siliciums und Bors enthalten, wenn man sie gleich nicht unter den Dämpfen findet, welche man jetzt in der Nähe der Mündungen der Vulcane sammelt. Es würde nicht fehlen, dass sie durch den Wasserdampf zersetzt und niedergeschlagen würden, bevor sie noch an die Luft gelangen. Sieht man ferner nicht noch genug beträchtliche Mengen Chlors in gewissen, krystallinischen Massengesteinen gebunden, wie im Zirkonsyenite Norwegens und dem Miascite des Ilmengebirges, wo es vornehmlich im Eläolith auftritt, und wo es einen Theil im Gefolge des Zirkoniums, Tantal und anderer, seltener Metalle ausmacht, welche diesen Gesteinen fast ausschliesslich eigen sind?

1) Recherches sur la production artificielle des mineraux de la famille des silicates et des aluminates par la réaction des vapeurs sur les roches (Comptes rendus, XXXIX, 135).

2) Ebend.

In Bezug auf Fluor und Bor¹⁾ habe ich schon früher erwiesen, dass sie an der Bildung vieler Zinnerze theilhaftig gewesen seien.²⁾ Sie treten auch in Wirklichkeit in die Zusammensetzung ausgezeichneter Kieselverbindungen ein, so des Topases und Turmalins, welche zuverlässig zugleich mit dem Zinnsteine eingeführt wurden.³⁾

Diese Folgerungen sind anwendbar auch auf Gesteine, deren metamorpher Ursprung, nach aller Wahrscheinlichkeit, auf ähnlichen Ursachen beruht. Dahin gehört die bekannte Felsart vom Schneckensteine in Sachsen, wo die Topase und Turmaline, wie es scheint, zwischen die Blätter des Schiefers sich eingelagert haben und, zusammen mit Quarz, die zahlreichen Bruchstücke wieder verbanden, in welche jener gerissen war. Ebenso ist es in Brasilien in ganzen Gebieten, z. B. den Schieferen der Gegend von Villarica, in denen sich der Topas so reichlich findet und in denen Gold und Diamanten mit denselben auszeichnenden Begleitern so weit verbreitet sind. Diese Gesteinsmassen sind gewissermassen nichts als Anhäufungen der gewöhnlichen Gangmineralien des Zinnerzes über grosse Strecken.⁴⁾ Im Granite übrigens sind noch ziemlich bedeutende Mengen Fluor und selbst Bor gefunden, so dass man annehmen könnte, dies Gestein habe vor seiner Erstarrung beträchtliche Dampfmengen ausgehen können, in denen Verbindungen dieser Körper enthalten waren.

1) Die Gegenwart des Fluors, welche schon für mehrere, neuere vulcanische Gesteine bekannt war, ist von Scacchi in einem jungen Absatze aus den Fumarolen des Vesuvus bestätigt. Nach den ungeheuren Mengen in den Suffionen Toskana's und den beträchtlichen Absätzen im Krater von Volcano kann man nicht zweifeln, dass das Bor auch anderwärts vorkomme, bisher aber übersehen sei.

2) Mémoires sur le gisement, la constitution et l'origine des amas de minerais d'étain (Annales des mines, 3. série, XX., 65, 1841). Recherches sur la reproduction artificielle de l'oxyde d'étain, de l'oxyde de titane etc. (Eben., 4. série, XVI., 129, 1849).

3) Diesem ersten Zusammenhang zwischen Bor und Zinn nach rein geologischen Angaben folgte die Entdeckung einer unerwarteten Aehnlichkeit zwischen zwei Körpern, deren chemische Eigenschaften so verschieden sind, nämlich die ihres Isomorphismus nach Sella's Untersuchungen.

4) Ich bin übrigens weit entfernt zu denken, dass diese verschiedenen Quarzgesteine ohne Gegenwart des Wassers gebildet seien, und werde bald darauf zurückkommen.

Diese Gedanken über die Thätigkeit des Fluors und Bors, welche seit zwanzig Jahren etwa rege geworden sind, haben noch mehr Werth erhalten, seitdem H. Deville eine Reihe von Mineralien mit Hilfe von Fluorverbindungen hat krystallisiren lassen, und seitdem anderer Seits die Gegenwart von Fluor und Bor in vielen Mineralmassen nachgewiesen wurde, die des erstern auch im Meerwasser.

Lässt man so mit der Wirkung der Wärme die noch anderer Mittel sich vereinigen, von denen eben gesprochen worden, so ist es deutlich, dass man eine grössere Zahl von Umwandlungen erklären kann, als durch die Wärme allein; aber es ist nicht weniger deutlich, dass man sich nicht über gewisse, sehr wichtige Umstände Rechnung zu geben vermag, als indem man den Dämpfen eine entschieden sehr übertriebene Rolle zuerkennt. Bischof und Andere haben dies durch zahlreiche Betrachtungen erwiesen.¹⁾

Drittes Stück.

Mitwirkung des Wassers beim Metamorphismus.

Unter den vulcanischen Ausströmungen findet sich ein Körper, dem man indessen keine Aufmerksamkeit geschenkt hat, weil er, unter der Herrschaft der alten Meinungen, ganz unthätig sein sollte, zumal in Gegenwart von Mineralien, deren Bildung zu erklären war, dem man aber doch, wie es scheint, in den Erscheinungen des Metamorphismus, wie in denen der vulcanischen Ausbrüche die erste Rolle wird zusprechen müssen. Dies ist das Wasser, welches sich in diesen Ausströmungen findet, nicht in so verschwindender Menge, wie die eben besprochenen Dämpfe, sondern im Gegentheile als reichlichstes und beständigstes Erzeugniss der Ausbrüche in allen Gegenden der Erde.

Die besondere Eigenthümlichkeit, welche die glühenden Kieselverbindungen der Laven besitzen, beträchtliche Wassermengen sehr lange und sogar bis zum Augenblicke der Erstarrung festzuhalten,

1) Wie soll man zum Beispiel einen solchen Ursprung für die Bildung der Krystalle von Feldspath oder Granat in regelmässigen Schichten annehmen, welche oft kaum verändert sind?

beweist deutlich, dass die Wirkung der Wärme die des Wassers nicht ausschliesst, und scheint darauf hinzuweisen, dass letzteres, selbst in starker Hitze, eine gewisse Verwandtschaft zu den Kieselverbindungen besitze.

Wir kennen keine Massen, welche einer gewissen Tiefe unserer Erde entstammen, als solche, welche die Vulcane heraufbringen. Diese Auswürfe enthalten alle ohne Ausnahme Wasser, theils in Verbindung, theils nur eingemengt. Wir haben daher volles Recht, zu glauben, dass das Wasser eine in der That höchst wichtige Rolle bei den Haupterscheinungen aus der Tiefe herauf spiele. Man hat in dem geschichtlichen Theile dieser Arbeit gesehen, dass man aus ganz triftigen Gründen dem Wasser sehr kräftige Wirkungen zuerkannt habe, wie die Bildung vieler Erzgänge, und einen unzweifelhaften Einfluss auf die Krystallisation der krystallinischen Gesteine selbst, sogar mit Einschluss des Granits.

Die glühendsten und am Meisten mit Wasser beladenen Laven verändern, gleich den Basalten und Trachyten, die Gesteine nicht auf bemerkenswerthe Entfernungen. Dies schreibt sich aber ohne Zweifel daher, dass das Wasser dampfförmig zu entweichen vermag, weil jene unter einfachem Luftdrucke aussfliessen.

Die zahlreichen Kalksteinblöcke, welche aus den vulcanischen Heerden in die Tuffe der Somma gelangt sind, lehren uns durch ihre, mit so verschiedenartigen und so vollkommen ausgebildeten Mineralien ausgekleideten Höhlungen, was aus den Gesteinen werden könne, wenn sie der andauernden Wirkung gewisser Einflüsse unter dem Drucke ausgesetzt sind, ohne welchen einige der thätigen Kräfte nicht zu voller Entwicklung kommen, andere sich gar nicht äussern würden.

Etwas ganz Aehnliches stellt sich in der kleinen Basaltmasse des Kaisserstuhls in Baden dar.¹⁾ Eine Kalkscholle, durch den Basalt mit emporgerissen, ist durch ihn auf die bedeutendste Weise umgewandelt. Ganz blättrig geworden, umschliesst er Krystalle von Titaneisen, Eisenkies, Magnesiaglimmer, Perowskit, Pyrochlor, krystallisirten Quarz und unzählige Apatitnadeln. Die

¹⁾ Annales des mines, 5. série, XII., 322, 1857. Dasselbe gilt von den glimmerig gewordenen Schiefen, welche Mitscherlich unter den vulcanischen Erzeugnissen der Eifel beobachtete (Naumann, Geognosie, I., 791).

so ganz ausnahmsweise krystallinische Beschaffenheit, welche diesen Kalk vor den andern Gesteinen in Berührung mit Basalt auszeichnet, scheint mir von seinem Auftreten herzurühren. Er liegt in der That auf dem Grunde eines Erhebungsrings und war, bevor die letzte Störung durch den Basalt ihn an's Licht förderte, in einer gewissen Tiefe und folglich unter Druck der Einwirkung warmer Wasser ausgesetzt, mit welchen der Basalt selbst durchtränkt war, in dessen unzähligen Blasenräumen diese Wasser Mineralien abgesetzt haben.

Wie der Kalk des Kaiserstuhls sind die so mineralreichen Kalke der Somma und der Latiums an Stellen ausgebildet, an denen Erhebungskrater entstanden. Sobald die Schichten, welche die Werkstätte dieser chemischen Vorgänge dicht verschlossen hielten, zerbrachen und den wirksamen Stoffen freien Ausgang liessen, hörten diese Vorgänge auf.

Welcher Unterschied der Thätigkeit kann in unserm Falle herrschen zwischen dem, was an der Oberfläche vorgeht, und dem, was in der Tiefe zu Wege kommt? Sicher kein anderer, als der, welcher sich nach der Verschiedenheit des Druckes herausstellt. Wenn der sehr heisse Wasserdampf nicht mehr, als das flüssige und unter dem derzeitigen, einfachen Luftdrucke erhitzte Wasser bei gewöhnlichen Versuchen vermag, Kieselerdeverbindungen zu erzeugen, wie die metamorphischen Gebilde sie uns zeigen, so fehlt dabei wohl eben noch ein wesentlicher Umstand, und Alles weist darauf hin, dies sei ein stärkerer Druck.

Dies sind die Betrachtungen, welche zuerst zu dem Schlusse führten, dass das Zusammenwirken von Wärme, Wasser und Druck die hauptsächlichsten Erscheinungen des Metamorphismus hervorzubringen vermochte. Es erübrigte nun, sich in Umstände zu versetzen, welche den in der Natur am Platze gewesenem möglichst nahe kämen, und zu untersuchen, ob man zur Nachbildung der bezeichnenden Mineralien gelangen könnte. Dies ist das Ziel einer Reihe von Versuchen gewesen, welche ich unternommen habe, und von denen ich sogleich Bericht erstatten werde.

Viertes Stück.

Versuche über den Einfluss des überhitzten Wassers bei der Bildung der Kieselverbindungen.

Mehrere dieser Versuche sind schon in einer ältern Abhandlung beschrieben.¹⁾ Doch glaube ich, hier die wesentlichsten Ergebnisse wiederholen zu müssen, woran ich die später ausgeführten anschliessen werde.

Rechnet man selbst die Gefahr der Zerschmetterung der Gefässe für nichts, Zerschmetterungen von oft höchst erstaunlicher Gewaltsamkeit,²⁾ so bin ich doch auch durch die Schwierigkeiten in der Anstellung der Versuche selbst gehindert worden, diese zu vervielfachen, wie es wünschenswerth gewesen wäre. Dennoch sind die bereits gewonnenen Ergebnisse beweisend genug und zeigen die Fruchtbarkeit dieser Art der Untersuchung.

Die Hauptschwierigkeit besteht darin, Gefässe mit Wandungen und Verschlüssen zu finden, welche hinreichend lange der ungeheuren Spannkraft zu widerstehen vermögen, die der Wasserdampf bei der Annäherung der Erhitzung zur dunkeln Rothgluth annimmt. Das Wasser und die Stoffe, welche auf einander wirken sollen, bringt man in eine Glasröhre und schmilzt diese dann zu.

1) Observations sur le métamorphisme et recherches expérimentales sur quelques-uns des agents qui ont pu le produire (Annales des mines, 5. série, XII., 289, 1857 und Bulletin de la Société géologique, 2. série, XV., 97, 1858).

2) Röhren von einundzwanzig Millimetern innern Durchmessers und einer Wandstärke von elf Millimetern, aus Eisen von ausgezeichneter Beschaffenheit gefertigt, springen bisweilen. Sie reissen nach einer ihrer Schweissnähte und fliegen dann in die Luft mit einem kanonenschussähnlichen Knalle. Hätte das Eisen keinen Fehler, und nähme man an, dass es bei 300° ebenso zähe sei als in der Kälte, so würden solche Zerreißungen einen innern Druck vor mehr als dem Tausendfachen des gewöhnlichen Luftdrucks anzeigen. Zu bemerken ist, dass das Rohr vor dem Springen sich auf fünf bis sechs Centimeter Länge flaschenförmig aufblüht, und mitten auf dieser Aufblähung öffnet sich dann eine Art von Loch, welches in einer auffälligen Weise an die Höckerbildung des Aetna mit dem Ausschnitte des Val del Bove erinnert, dessen Ursprung von L. v. Buch und É. de Beaumont schon seit längerer Zeit einer Ausdehnung ähnlicher Art zugeschrieben ist.

Diese Glasröhre schliesst man in eine Eisenröhre mit sehr starken Wänden, welche an einem Ende zugeschmiedet ist. Das andere Ende schliesst man häufig mit einem langen Schraubenpfropfen, dessen Kopf vierkantig ist, so dass man ihn mittelst eines Schlüssels fest anziehen kann. Zwischen den Kopf der Schraube, welche mit vieler Sorge gearbeitet sein muss, und den Rand der Röhre legt man einen Kranz aus sehr reinem Kupfer. Dieser muss hinreichend dünn sein, um sich beim Verschliessen durch den Druck des Randes breit und in dazu angebrachte Furchen hinein pressen zu lassen. Um das zweite Ende zu schliessen, ziehe ich ein anderes Verfahren vor, nämlich, einen starken Eisenpfropfen hinein zu schmieden, welcher mit dem Rohre sich zu einem Stücke vereinigt, sobald die Schweissung geschickt gemacht ist. Zum guten Erfolge gehört ein tüchtiger Arbeiter, denn es ist wesentlich, dass der grösste Theil des Eisenrohres kalt bleibe, damit das innere Wasser sich nicht in Dampf verdampfe und der Arbeit Widerstand leiste.

Um ein Gegengewicht gegen die Spannung des Wasserdampfes im Innern der Glasröhre zu haben, welche durch jene leicht zerschmettert werden könnte, giesse ich Wasser um sie herum in das Eisenrohr. Auf diese Weise hat letzteres den Hauptdruck auszuhalten, dem sie doch grössern Widerstand zu leisten vermag.

Diese Röhren werden, wie auch bei den Versuchen de Sénarmont's geschehen, auf die Kuppel oder auf die Decke eines Gasretortenofens gelegt in Berührung mit Mauerwerk, welches dunkle Rothgluth besitzt; dann werden sie mit einer starken Sandschicht bedeckt.

Bei einer Hitze, welche noch unter der beginnenden Rothgluth liegt, wirkt das Wasser sehr häufig auf gewisse Kieserverbindungen.

So giebt das gewöhnliche Glas nach einigen Tagen zwei oder auch drei ganz verschiedene Erzeugnisse: 1) Eine weisse und völlig undurchsichtige Masse, welche durch völlige Umwandlung des Glases entsteht; sie ist porös, haftet an der Zunge und würde das Ansehen des Kaolins haben, hätte sie nicht ein sehr deutlich faseriges Gefüge. Die Masse hat beträchtlich an Gewicht verloren, etwa die Hälfte der Kieselsäure und ein Drittel des Alkalis; es hat sich eine Kieserverbindung gebildet, welche Wasser gebunden hat und nach ihrer Zusammensetzung zur Zeolithgruppe

gehört.¹⁾ 2) Ein Alkalisilicat, welches sich gelöst hat und Thonerde enthält. 3) Oft entstehen ausserdem unzählige, farblose Krystalle von völliger Durchsichtigkeit, welche die gewöhnliche Doppelpyramide des Quarzes zeigen und in der That nichts anderes, als krystallisirte Kieselsäure sind. Manche Krystalle erhalten im Laufe eines Monats eine Grösse von zwei Millimetern. Bald liegen sie in dem undurchsichtigen Teige ausgeschieden, bald schiessen sie an den Wänden der ursprünglichen Röhre an, wo sie wahre Drusen bilden, welche man, bis auf die Grösse, unmöglich von den in den krystallinischen Gesteinen so häufigen unterscheiden könnte.

Was diese Umwandlung des Glases noch merkwürdiger macht, sowohl vom geologischen als vom chemischen Standpunkte aus, ist der Umstand, dass sie schon durch eine sehr geringe Menge Wasser hervorgebracht werden kann, deren Gewicht nicht einmal dem dritten Theile von dem des umgewandelten Glases gleichkommt.

Die vulcanischen, unter dem Namen Obsidian bekannten Gläser verhalten sich den künstlichen Gläsern ganz ähnlich. Erhitzt man Obsidianstücke unter denselben Bedingungen, so verwandeln sie sich in eine graue, krystallinische Masse vom Ansehen feinkörnigen Trachyts. Unter dem Vergrösserungsglase zeigt das Pulver derselben alle Eigenthümlichkeiten des krystallisirten Feldspaths und gleicht völlig dem Rhyakolith oder glasigen Feldspathe. Man weiss überdies, dass der Obsidian sich nach seiner chemischen Zusammensetzung dem Feldspathe sehr zu nähern scheint. Günstige Umstände werden ohne Zweifel die Vereinigung seiner Grundstoffe in bestimmten Verhältnissen, unter denen sie letzteres Mineral bilden, ermöglicht haben.

Diese Neigung des Feldspaths, sich auf wässrigem Wege zu bilden, ist bei verschiedenen, geologischen Umständen in Betracht zu ziehen.

Mit den Obsidianstückchen, welche ich anwandte, fanden sich Stückchen glasigen Feldspaths aus dem Trachyte des Drachensfelsens und Oligoklas aus Schweden. Diese beiden letztern Mine-

1) Bulletin de la Société géologique, XVI., 588. Bei stärkerer Hitze erhält man eine wasserfreie Kieselerde, welche dem Wollastonite nahe zu stehen scheint.

ralien haben keine nennenswerthe Veränderung erfahren.¹⁾ Man ist jedoch darum noch nicht sicher, ob das Wasser, wenn es nicht unmittelbar aus der glasigen Hülle hätte Alkali sich aneignen können, solches nicht dem Feldspath entnommen hätte. Nichtsdestoweniger können wir aus den beiden letztern Thatsachen schliessen, dass im Allgemeinen die Kieselverbindungen der krystallinischen Gesteine sich wahrscheinlich unter Bedingungen gebildet haben, welche denen ziemlich gleich kamen, unter die sie in meinen Versuchen von Neuem versetzt wurden.

Fast ebenso verhielten sich dünne Blättchen sibirischen Kaliglimmers. Sie verloren kaum etwas von ihrer Durchsichtigkeit.

Angitkrystalle veränderten ihr Ansehen auch nicht, wenn sie nicht, gleich den Feldspath- und Obsidianstückchen, so vollständig von Quarzkrystallen überzogen wurden, dass man sie zerbrechen muss, um ihren Zustand zu erkennen.

Um zu untersuchen, wenigstens so weit als es die Gegenwart des Glases erlaubt, wie sich natürliche Lösungen alkalischen Silicates, welche man gewöhnlich in den Mineralwassern findet, im überhitzten Zustande verhalten, bediente ich mich des Wassers der warmen Quellen von Plombières, welches verhältnissmässig reich ist an kieselsaurem Kali und Natron. Da ich aber nicht mehr als 20 bis 30 Cubikcentimeter verarbeiten konnte, so suchte ich mir eine stärkere Lösung herzustellen durch eine hinreichend rasche Verdampfung, damit die Kohlensäure der Luft die kieselsauren Salze nicht merklich zersetze, und brachte sie so auf den zwanzigsten Theil ihres ursprünglichen Masses.

Nach einem Versuche, welcher nach Verlauf von zwei Tagen abgebrochen wurde, waren die Wandungen der Röhre schon mit einem Kieselerdeüberzuge in Gestalt von krystallisirtem Quarze, auch von Chalcedon bedeckt. Da das Glas nur erst oberflächlich angegriffen war, so musste dieser Ueberzug fast gänzlich, wenn nicht durchaus, von der Zersetzung des in genanntem Wasser enthaltenen, kieselsauren Alkalis herrühren.

So setzt ohne Anwendung irgend eines chemisch wirkenden Stoffes, nur unter dem Einflusse der Wärme, Wasser, welches

¹⁾ Doch kann sich der Feldspath in der Kälte durch Zerreibung zersetzen, wie ich an einem andern Orte gezeigt habe (Annales des mines, 5. série, XII., 547).

kieselsaure Alkalien in Lösung hält, wie das von Plombières, krystallisirten oder krystallinischen Quarz ab.

Einen neuen Beweis für die Leichtigkeit, mit welcher die Mineralien aus der Feldspathgruppe sich in Gegenwart von Wasser bilden können, liefert folgender Versuch, den ich anstellte, um die häufige Feldspathbildung, selbst in Gesteinen mit Versteinerungen, zu erklären.

Kaolin, durch Schlämmen von allen Feldspaththeilchen gereinigt, wurde in einer Röhre mit Wasser von Plombières behandelt und wandelte sich in eine feste, in kleinen, verworrenen Säulchen krystallisirte, Glas ritzende Masse um. Als sie durch Waschen mit kochendem Wasser gereinigt war, sah man, dass sie zu weissem Schmelze schmelzen konnte. Von Salzsäure wurde sie nicht mehr angegriffen. Es hatte sich eine kieselsaure Verbindung von Thonerde und Alkali mit allen Eigenschaften des Feldspaths gebildet, welche mit wenigem, krystallisirtem Quarze gemengt war.

Dieser chemische Vorgang lässt sich der Leichtigkeit vergleichen, mit welcher die kieselsaure Thonerde sich in der Kälte mit dem Kalke eines Wassermörtels verbindet.

An der Oberfläche und im Innern der weisslichen Masse, welche durch Umwandlung der Glasröhre entsteht, erhielt ich unzählige, sehr kleine, aber sehr wohl ausgebildete Krystalle mit viel Glanz und grosser Durchsichtigkeit. Sie zeigen verschiedene Abstufungen der grünen Farbe, und viele haben das gewöhnliche Olivengrün des Peridots. Ihre Gestalt ist die eines schiefen, symmetrischen Prismas, dessen Basisflächen durch zwei Abstumpfungsfächen ersetzt sind. Zwei der einander gegenüberliegenden Kanten sind gewöhnlich abgestumpft, wie bei dem Pyroxen, welchen Häüy den homonomen nannte. Diese Krystalle ritzen deutlich Glas, werden von starker, kochender Salzsäure nicht angegriffen, geben vor dem Löthrohre einen schwarzen Schmelz, erweisen sich nach ihrer Zusammensetzung als Pyroxen mit Kalk und Eisenoxydul und gehören ihrer Durchsichtigkeit nach zum Diopsid.

Diese Krystalle finden sich einzeln oder gruppenweise, so, dass sie kleine, mit Spitzen besetzte Kügelchen bilden; seltener bilden sie dünne Ueberzüge. Einzelne erinnern unmittelbar durch ihr Ansehen an die bekanntesten Diopsidkrystalle.

Thon von Klingenberg bei Cöln, aus welchem man Glas-
hären bereitet, belud sich, in Glasröhren erhitzt, mit vielen,
weissen Blättchen von Perlmutterglanz und dem Ansehen des
Glimmers. Diese Täfelchen sind sechseckig und haben nur eine
optische doppelte Strahlenberechnung.¹⁾ Sie sind schmelzbar,
lassen vor dem Löthrohre einen Kieselsäuregehalt erkennen, wer-
den von Salzsäure angegriffen, welche Thonerde auszieht. Wegen
zu geringer Menge habe ich die Mengenverhältnisse der Bestand-
theile noch nicht bestimmen können. Doch ist es höchst wahr-
scheinlich, dass man einen einachsigen Glimmer oder einen Chlorit
vor sich habe.

Da die fossilen Pflanzen unter der Einwirkung derselben
Stoffe wie die Steinmassen verändert wurden, musste man prüfen,
was aus Holz in überhitztem Wasser werde.

Tannenholzstückchen wurden in eine schwarze Masse mit
starkem Glanze und vollkommener Dichte verwandelt, welche mit
einem Worte das Ansehen reinen Anthracits hat und hinreichend
hart ist, dass eine Stahlspitze sie nur schwierig ritzt.

Diese Art von Anthracit, obwohl unschmelzbar, erscheint in
Gestalt regelmässiger Kügelchen verschiedenen Durchmessers,
woraus sich deutlich ergibt, dass die Masse während der Um-
wandlung geschmolzen war; beim Glühen liefert sie nur Spuren
flüchtiger Stoffe; die Holzmasse ist also auf die höchste Stufe der
Zersetzung gelangt. Dieser Körper, welcher nur sehr dichter
Kohlenstoff ist, verbrennt nur mit der grössten Langsamkeit, selbst
in der Oxydationsflamme des Löthrohrs. Von den bei starker
Hitze gewonnenen Kohlen unterscheidet er sich dadurch, dass er
die Elektrizität nicht leitet, nicht mehr als der Diamant.

Die Silbergänge, welche man zu Kongsberg in Norwegen in
Gneiss aufsetzen sieht, umschliessen Anthracit, der dem künst-
lichen äusserst ähnlich ist; er hat mitten im kohlen-sauren Kalke
und gediegenen Silber Gestalten angenommen, welche andeuten,
dass auch er sich einst in weichem Zustande befunden habe.

Bei niedrigerer Wärme und unter sonst ähnlichen Verhält-
nissen verwandelt sich das Holz in eine Art Braun- oder
Steinkohle.

Durch diese Versuche habe ich, wie ich bereits oben aus-

1) Nach de Sénarmont's Untersuchungen.

gesprochen habe, flüssige und flüchtige Körper erhalten, welche den natürlichen Bitumenarten ähneln und sogar deren eigenthümlichen Geruch besitzen.

Nach dem Vorhergehenden hat das überhitzte Wasser einen sehr mächtigen Einfluss auf die Silicate, löst deren eine grosse Zahl, zerstört andere Verbindungen mit zahlreichen, verschiedenen Basen, lässt neue theils mit, theils ohne Wassergehalt entstehen und diese neuen weit unter ihrem Schmelzpunkte krystallisiren. Die bei diesen Zersetzungen freigewordene Kieselsäure scheidet sich als krystallisirter Quarz aus.

So vollständige Umwandlungen wurden überdies durch sehr geringe Wassermengen bewirkt. Man erkennt dabei im Allgemeinen das Gesetz, dass gegen die beginnende Rothgluth hin der nasse Weg in Bezug auf die Erzeugung von Silicaten Verwandtschaften wach ruft, welche ähnlich sind den auf dem trockenen Wege, aber in weit höherer Hitze wirkenden, und dass jener dahin gelangt, Verbindungen hervorzubringen, welche sich in keinem Falle auf letzterm Wege bilden können.

Fünftes Stück.

Schlussfolgerungen aus den vorhergehenden Versuchen, um die Krystallisation der ausgebrochenen und metamorphischen Kieselgesteine zu erklären.

Die Ergebnisse der Versuche, wie sie eben auseinandergesetzt worden sind, verstaten, sich Rechenschaft abzulegen von dem, was bei der Krystallisation der Kieselgesteine im Allgemeinen, sowohl der Ausbruchs- als der metamorphischen Gesteine, vor sich geht.

Untersuchen wir daher zunächst die erstern, indem wir mit den Laven beginnen.

Das Wasser, welcher Art auch sein Molecularzustand in den Laven sein möge, wirkt, um sie krystallinische Beschaffenheit annehmen zu lassen, fast ebenso, als in den angestellten Versuchen, den Obsidian in krystallisirten Feldspath zu verwandeln und Pyroxen in vollkommenen Krystallen abzuschneiden. Im einen wie im andern Falle scheint das Wasser die Trennung der Stoffe zu begünstigen, welche ohne seine Gegenwart gemengt bleiben

würden, scheint es die Krystallisation von Silicaten bei einer, ihren Schmelzpunkt nicht erreichenden Hitze hervorzurufen.¹⁾

Unter dem Einflusse dieser Mutterlange können diese Silicate auch in einer Reihenfolge krystallisiren, welche oft der Reihe ihrer Schmelzpunkte zuwider ist. Man weiss z. B., dass der Leucit, eine unschmelzbare Kieselverbindung der Thonerde und des Kalis, sich in den Laven Italiens in oft sehr grossen Krystallen entwickelt hat, welche zahlreiche Krystalle von Pyroxen, einem bekanntlich so leicht schmelzbaren Minerale, einschliessen.

Diese scheinbaren Unregelmässigkeiten zeigen sich noch auffälliger im Granit, welcher von allen uns bekannten Erzeugnissen trockener Schmelzung abweicht, und man hat versucht, sich durch verschiedene Vermuthungen dies zu erklären. Dies kann fast auf dieselbe Weise geschehen; nur scheint im Granit die Wirkung des Wassers nach den Beobachtungen É. de Beaumont's noch mehr als bei den Laven durch gewisse Hilfsmittel, z. B. Chlor- und Fluorverbindungen, unterstützt zu sein. In den quarzhaltigen Feldspathporphyren genügte wohl das Wasser allein, die Doppelpyramiden zu erzeugen, welche dies Gestein bezeichnen. Es giebt da noch eine Trennungerscheinung, zu welcher man unter den Erzeugnissen des trocknen Weges kein Seitenstück hat.

Die bemerkenswerthe Vergesellschaftung wasserfreier und wasserhaltiger Silicate im Basalte, Phonolithe und andern Gesteinen hat nach den oben besprochenen Versuchen nichts Erstaunliches mehr, denn bei demselben Vorgange und in derselben Röhre erhielt ich Pyroxenkrystalle mitten in einen Zeolith gelagert, d. h. zwei Grundmineralien des Basalts neben einander.

Eine grössere Schwierigkeit bot sich noch dar bei der Betrachtung einer Seits der Weichheit und selbst Flüssigkeit gewisser Ausbruchsgesteine, anderer Seits ihrer, durch verschiedene Umstände nachgewiesenen, geringen Hitze. Diese Schwierigkeit steigt noch, wenn man das berücksichtigt, was bei denselben Versuchen eingetreten ist. Vollkommen regelmässige Glasröhren wurden

¹⁾ Ich möchte hierbei an die Meinung Dolomieu's über die Krystallisation der Laven erinnern: „Ich wiederhole es wohl zum hundersten Male, die dichten Laven seien nicht verglast, und ihre Flüssigkeit im Augenblicke des Austritts, welche sich weit länger erhält, als ihre Abkühlung verstaten sollte, ist eine sehr eigenthümliche Wirkung einer noch nicht näher bestimmten Ursache.“ (Journal des mines, No. 37, 402, 1797).

nach dem Versuche schief, aus der Form gebracht, mit Blasen bedeckt gefunden, was eine wirkliche Erweichung anzeigt. Ferner, die Röhre war mitunter in gewisser Weise verschwunden, hatte sich in eine Art Schlamm verwandelt, welcher wahrscheinlich grosse Aehnlichkeit sowohl in seinem Zusammenhalt, als in seiner Zusammensetzung mit der ursprünglichen Beschaffenheit mancher Ausbruchsgesteine hatte.

Hier haben wir eine sehr merkwürdige Erscheinung, auf welche ich gelegentlich zurückkommen werde, nämlich eine Vermehrung der räumlichen Masse des Glases trotz des Verlustes eines Theiles seiner Bestandtheile, eine Vermehrung, welche mehr als ein Drittel des ursprünglichen Umfanges betragen kann.

Betrachtet man die Wichtigkeit der Rolle des Wassers in den besprochenen Erscheinungen, wird man dann nicht veranlasst, ihm mit noch viel mehr Grund die hauptsächlichste Betheiligung bei der metamorphischen Thätigkeit zuzuschreiben, zumal wenn man die grosse Ausdehnung und die ausserordentliche Gleichförmigkeit hierbei in's Auge fasst?

Bevor wir auf diese letztere Thätigkeit des Wassers eingehen, scheint es natürlich, zuzusehen, bis wie weit seine Gegenwart in den Gesteinen möglich war?

Beginnen wir mit der Bemerkung, aus den angeführten Versuchen gehe hervor, dass es nur einer höchst geringen Menge Wassers bedarf, um unter günstigen Bedingungen des Druckes und der Wärme ausserordentlich hervorstechende Umwandlungen in's Werk zu setzen. Man kann wirklich nicht ohne Erstaunen eine so vollständige Umwandlung im chemischen und physikalischen Zustande des Glases durch eine, ungefähr dem dritten Theile seines Gewichts gleichkommende Wassermenge herbeigeführt sehen.

Dies lässt verstehen, warum das Wasser in der Mischung gewisser Gesteine, z. B. der Thone, genügen konnte, einen Metamorphismus zu begründen, sobald Wärme ihm die Kraft verlieh, auf die mit ihm verbundenen Stoffe einzuwirken.

In Bezug auf die Felsarten, deren Mischung kein Wasser enthält, haben wir zunächst zu bemerken, dass keine ganz frei ist von einer gewissen Menge Wassers, sogenannten Steinbruchwassers. Man kann nicht glauben, dass dasselbe anderswo, als in den Poren des Gesteines ruhe. Alle Gesteine sind also porös,

und das, was bei der künstlichen Färbung der Achate vorgeht, beweist, dass selbst die scheinbar dichtesten Massen von einer Flüssigkeit allein schon durch die Haarröhrchenanziehung durchtränkt werden können.

Man kann nicht leugnen, dass, wenn das Wasser mit Hilfe von Klüften in die feste Erdrinde zu dringen vermag, in einer Tiefe, welche nur der des Meeres gleich ist, der auf ihm lastende Druck um mehrere hundert Male den der Luft übertreffen dürfte, und dass es mit Hilfe desselben um so leichter in die feinsten Poren eindringen könne, zumal bei einer Wärme, welche es in einer solchen Tiefe besitzen würde. Hierbei hilft ohne Zweifel die Haarröhrchenkraft mit, in Grenzen, über welche wir uns keine Vorstellung machen können.

Wären aber auch die Gesteine gänzlich unangreifbar, so würde es, da das Wasser ihre Oberfläche anzugreifen im Stande ist, nur hinreichender Zeit bedürfen, auf dass sein Einfluss sich nach und nach auf beträchtliche Entfernungen fortpflanzen könnte. In Röhren, welche zu früh aus dem Feuer gezogen wurden, habe ich in der That gefunden, dass die Einwirkung Schicht auf Schicht ergriffen hatte, so dass in der Mitte der Glaswand eine durchsichtige und ganz unveränderte Lage geblieben war.

Gehöre nun das Wasser der Gesteine ihrer Mischung an oder sei es erst eingedrungenes, so haben wir ein Recht, zu erwarten, dass mit angemessener Steigerung der Wärme sich Wirkungen einstellen, welche denen in meinen Versuchen und dem Auftreten der Ausbruchsgesteine vergleichbar seien.

Dies soll sogleich durch ein eben so entschiedenes als überraschendes Beispiel belegt werden, welches reich ist an neuen Thatsachen und das doppelte Verdienst hat, in die gegenwärtige Zeit zu fallen und unter völlig bekannten Bedingungen zu stehen.

Sechstes Stück.

Metamorphismus in der Gegenwart zu Plombières.

Der Mörtel, welchen die Römer nahe an der Ausflusstelle der warmen Quellen ausgebreitet haben, besteht aus Bruchstücken von Backsteinen und buntem Sandsteine, ohne Beimengung von Sand, und ist verkittet durch Kalk. Er ruht bald auf dem Granite

selbst, bald auf dem angeschwemmten Kiessande. Ich habe erkannt, dass unter der fortgesetzten Einwirkung des Mineralwassers, welches unaufhörlich in die starke Mörtellage eindringt, das kalkige Bindemittel und die Backsteine theilweise umgewandelt seien.¹⁾ Die neuen Verbindungen zeigen sich hauptsächlich in Höhlungen der Masse, wo sie warzenförmige und bisweilen krystallisirte Ueberzüge darstellen. Unter diesen neuen Erzeugnissen sind am Bemerkenswerthesten durch ihre Häufigkeit die Silicate aus der Familie der Zeolithe, namentlich Apophyllit, Chabasit und Harmotom.

Ausser der Anwesenheit der Zeolithe, welche in den Höhlungen entstanden, haben die Ziegelbrocken, welche eben einen Bestandtheil jener alten, römischen Mauerarbeit ausmachen, oft ein ganz eigenthümliches Ansehen erhalten, indem sie innig mit Silicaten durchmengt wurden, die ganz den in den Gèoden krystallisirten ähneln; sie haben eine merkliche Umwandlung erfahren.

Es gelang mir, mit Genauigkeit alle Bedingungen zu erkennen, unter denen diese Umwandlung vor sich ging.

Trotz seiner ausserordentlichen Härte verstattet das römische Mauerwerk dem warmen Quellwasser doch das Eindringen, sowohl durch seine Poren, als durch seine Risse und Höhlungen. Anderer Seits nöthigt der Druck der Quellen das Wasser, langsam in der ganzen Masse sich zu bewegen, welche so vom Mineralwasser nicht allein gebadet, sondern sogar durchströmt wird.

Dies Wasser ist also kein stehendes, sondern ein sich bewegendes. Diese Bewegung ist eine sehr langsame, aber eine anhaltende. Das Wasser von Plombières enthält allerdings wohl nur sehr geringe Mengen salziger Stoffe (drei Decigramme im Liter), welche vorzüglich aus Kieselsäure, Kali, Natron, Kalk und Thonerde bestehen, aber die beständige und unbestimmt lange fortgesetzte Erneuerung erlaubt ihm, in sehr ansehnlicher Menge Ablagerungen von Stoffen anzuhäufen, deren Bestandtheile es zum Theil liefert. So vervielfacht sich die Wirkung sehr schwacher Einflüsse mit Hilfe der Zeit. Dieser Umstand einer dauernden Erneuerung fehlt den meisten Versuchen, welche bisher zur

¹⁾ Mémoire sur la relation des sources thermales de Plombières avec les filons métallifères, et sur la formation contemporaine des zéolithes (Annales des mines, 5. série, XIII, 227, 1858. Bulletin de la Société géologique de France, 2. série, XVI, 562).

Nachahmung der Natur angestellt wurden; ihr wesentlicher Einfluss auf gewisse geologische Erscheinungen indessen wird leicht einzusehen sein.

Mittelst seines Alkaligehaltes greift das Quellwasser allmählich gewisse Bestandtheile der von ihm durchströmten Massen an, vielleicht, selbst ohne jedes Mal eine Lösung zu bewirken, sondern nur eine Art von Cämentation. Es erzeugt doppelte, wasserhaltige Kieselverbindungen aus der Gruppe der Zeolithe als Folge dieser Vereinigung zweier Umstände, des Wasserwechsels und der chemischen Einwirkung.

Zur Bildung und Krystallisation derartiger Silicate gehört also keine so hohe Wärme, als man vermuthet hatte, sondern eine solche von 60—70°, wie die der Quellen von Plombières, reicht zu, wenigstens manche von ihnen hervorzubringen. Die Zeolithe haben sich demnach in Gesteinen bilden können unter einfachem Luftdrucke und selbst an der Oberfläche des Bodens. Es ist merkwürdig, diese Silicate auf wässrigem Wege bei einer Wärme sehr deutlich krystallisiren zu sehen, bei welcher man sie für in Wasser unlöslich hielt.

An sehr nahe bei einander befindlichen Stellen, bei einem Zwischenraum von einigen Millimetern sieht man ganz verschiedenartige Erzeugnisse entstehen je nach der Natur der Grundmasse, auf welche das Wasser wirkt. So hat sich Apophyllit, ein Silicat mit Kalkerde neben Kali, in den Höhlungen des Kalkes gebildet, und ich habe ihn nie in den Ziegeln gefunden. Dagegen sieht man fast ausschliesslich in den Hohlräumen der letztern (diese bestehen bekanntlich aus kieselsaurer Thonerde) das Doppelsilicat der Thonerde und des Kalis, welches unter dem Namen Chabasit bekannt ist.

Eine und dieselbe Lösung entwickelt also, wenn sie verschiedenartige Gesteine angreift, in jedem besondere Verbindungen. Eine so deutliche Scheidung der Zeolithe zeigt, dass ihre Bestandtheile nicht insgesamt im Wasser gelöst waren, welches das Mauerwerk durchdrang, sondern dass sie nur theilweise dahin gelangten. Die zur völligen Ausbildung der neuen Verbindungen weiter nöthigen Stoffe, Kalkerde, Thonerde und andere waren theils im Mörtel, theils in den Backsteinen enthalten, welche sie der Einwirkung des Wassers reichlich darboten.

Während die Mörtellage reich ist an Zeolithen, zeigt der

darunter liegende Kiessand keine Spur einer Silicatbildung, ob schon ihn das Quellwasser durchdringt, bevor es den Mörtel erreicht. Es setzt nur in den Zwischenräumen der Kiesel eine gelbliche, thonige Masse ab, welche nichts Anderes ist, als einer der schlecht bestimmten Körper, welche man als chemische Thone oder Halloysite bezeichnet. Dieser Gegensatz bestätigt den Schluss, dass die Zeolithe kein unmittelbarer Absatz des warmen Wassers seien, sondern dass sie nur durch die Einwirkung desselben auf andere Kieselverbindungen entstehen.

Die Arbeit, welche bei Plombières vor sich geht, ist augenscheinlich in gewissen geologischen Gebilden in ansehnlichen Verhältnissen geschehen.

Sämmtliche, in den unzähligen Hohlräumen des Mauerwerkes vorfindliche Mineralien, die Zeolithe, Opal, Arragonit, bilden eine Gesellschaft, welche häufig das auszeichnende Eigenthum gewisser Ausbruchsgesteine ausmacht. Noch mehr: das ganze Auftreten dieser Mineralien erinnert in den kleinsten Umständen an ihr Vorkommen in den mandelsteinartigen Basalten und Trappen. Wäre die verschiedene Farbe nicht, so könnte man sehr leicht die mit Zeolithen ausgestatteten Mörtelmassen mit basaltischen Tuffen verwechseln, in denen sich dieselben Mineralien gebildet haben. Die Backsteine mit ihren Höhlungen und Drusen ahmen die Mandelsteine auf das Treffendste nach. Eine solche Uebereinstimmung in den Ergebnissen enthüllt unzweifelhaft grossen Aehnlichkeiten im Ursprunge.

In der Nähe der vulcanischen Gesteine des Aetna, auf Island und in andern Gegenden trifft man ein Gestein, welchem man den Namen Palagonit gegeben hat.¹⁾ Dieses wasserhaltige, leicht schmelzbare, mit Säuren Gallerte bildende Silicat von oft harzigem Ansehen hat alle Merkmale des Mörtels von Plombières und rührt nach aller Wahrscheinlichkeit von einer, der des letztern ähnlichen Umwandlung her.

Ganz besonders aber den Erscheinungen des Metamorphismus haben wir die Erfolge der Einwirkung der Quellen von Plombières zu vergleichen.

¹⁾ Dies Gestein wurde zuerst von Sartorius v. Waltershausen, Bunsen und Sandberger beobachtet. Auch Delesse hat eine Analyse davon gegeben.

Siebentes Stück.

Folgerungen aus den zu Plombières erkannten Thatsachen.

Man hat mit Grund gesagt, es gebe wenige unlösliche Körper, wenn die Lösungsmittel in Millionen von Litern dazukommen. Doch dürfte man daraus nicht schliessen, dass die unlöslichen Mineralien, im Schoosse der Gesteine durch das Wasser gebildet, von diesem dahin geführt und daselbst in Folge jahrhundertelanger Thätigkeit abgesetzt wurden; denn eine der neuesten und wichtigsten Thatsachen, welche die Vorgänge von Plombières enthüllen, ist die, dass das Wasser nur einen geringen Theil der Bestandtheile der Mineralien mit sich führen kann, welche sie in ihrer Gesamtheit abzulagern scheint. Die übrigen Bestandtheile waren bereits zuvor in den Gesteinen enthalten und eigneten sich, gehorsam, wie es scheint, einem starken Zuge zur Krystallisation, die ersten, in ihre Nähe kommenden, fremden Stoffe an, je nach ihrer Verwandtschaft, und so entstand jedes Mineral, so zu sagen, an Ort und Stelle.

Ganz anders verhält es sich mit den Erzgängen, welche fast ganz aus fremden, dem Gesteine, in dem sie aufsetzen, nicht angehörigen Körpern bestehen. Da man sie aber zu Plombières mit den metamorphischen Mineralien an einer und derselben Stelle findet, kann man sich nicht entbrechen, darin eine anderweitige, verschiedene Wirkung derselben Ursache, welche diese letztere hervorgebracht hat, zu sehen.

Es besteht eine überraschende Aehnlichkeit zwischen der Entstehung der krystallisirten Kieselverbindungen in dem Mauerwerke von Plombières und der Bildung der Silicate, welche sich in einer Menge metamorphischer Gesteine finden. Solche sind Wernerit, Granat, Feldspath, Augit in oft kaum umgewandelten Kalken, Chistolith oder Staurolith in Thonschiefern. Die Bildung des Glimmers in den Gesteinen ist nicht schwieriger zu verstehen, als im Mörtel von Plombières die des Apophyllits, welcher ebenfalls ein fluorhaltiges Silicat ist.

Wenn eine Störung des Gebirgsbaues eine Gruppe warmer Quellen hervorbrechen lassen kann, ist es dann nicht wahrschein-

lich, dass die Mehrzahl der von diesen Quellen durchströmten Massen eine Einwirkung erleiden werden, von welcher die Vorgänge von Plombières eine Vorstellung geben? Indem sich diese Einwirkung mit Hilfe der Zeit schrittweise weiter erstreckt, würde sie den Metamorphismus streifen- und bänderweise auf grosse Ausdehnungen hervorrufen.

Zu Plombières gelangte das warme Wasser, bevor das Thal sich bildete und ihm einen Ausgang verstattete, bereits aus der Tiefe in die Höhe,¹⁾ und wenn es an der Oberfläche erschien, so geschah dies ohne Zweifel nur durch eine Art wenig merklicher Durchschwitzung. Indem es sich in den untern Schichten des Buntsandsteins, welche in Berührung mit dem Granite stehen, ausbreitete, setzte es daselbst Jaspis, krystallisirten Quarz und verschiedene andere Körper ab. So vermögen im Innern sich bewegende Wasser eine sehr kräftige, metamorphische Thätigkeit auszuüben, ohne dass sich ihre Gegenwart an der Oberfläche durch warme Quellen verrathe. Es ist möglich, dass in vielen Fällen die Verkieselung der Polypen und des Holzes in manchen Schichten, in andern der Absatz krystallisirten Quarzes, wie man ihn im Tertiärbecken von Paris findet, die völlige Verkieselung ursprünglich kalkiger Lagen²⁾ sämmtlich keinen andern Ursprung haben.

Es genügte laues und kaum mit Mineralstoffen angereichertes Wasser, um dies Mauerwerk umzuwandeln und darin wasserhaltige und krystallisirte Mineralien entstehen zu lassen. Würden die Erfolge nicht noch beträchtlicher sein, wenn das Wasser stark überhitzt und doch durch den Druck der überliegenden Massen zurückgehalten langsam sich durch gewisse Gesteine bewegt, wie es im Mörtel von Plombières thut, und auf sie mit hoher Wärme wirkt, welche für die Bildung wasserfreier Silicate geeignet ist?

1) Die schon oben angeführten Abhandlungen über Plombières (Annales des mines, 5. série, XIII., 232).

2) Wie die Schichten verkieselten Muschelkalkes an der Grenzkette der Vogesen, bei Orschweiler und Truttenhausen (Daubrée, Description géologique du département du Bas-Rhin, 325 und 326).

Achtes Stück.

Andere Eigenthümlichkeiten des Metamorphismus erklärt mit Hilfe der im vierten und sechsten Stücke erwähnten Thatsachen.

Stellt man die Ergebnisse aus den Versuchen mit überhitztem Wasser und aus den, durch Untersuchung der Erscheinungen von Plombières erhaltenen Aufschlüssen zusammen, so kann man den grössern Theil der metamorphischen Vorgänge erklären. Ich werde mich darauf beschränken, einige Beispiele im Gefolge der früher besprochenen anzuführen.

Ich erinnere zunächst an die wohlbekanntete Entwicklung von Augit und Hornblende in den secundären Kalken der Hebriden und Pyrenäen und an die bereits erwähnte Bildung so verschiedenartiger Mineralien in den Kalkblöcken der Somma, deren Drusen mit Krystallen von Diopsid, Glimmer und andern Mineralien ausgekleidet sind.

Eine der häufigsten Erscheinungen in den metamorphischen Gesteinen ist die Entwicklung des Feldspaths in ihrer Masse. Unter den zahlreichen Fällen dieser Art kennt man die Thonschiefer, welche oft mit Feldspath durchmengt sind, nicht allein in der Nähe des Granits (Bretagne, Sachsen etc.), sondern auch in grossen Massen, in deren Nähe sich kein Ausbruchsgestein zeigt (Taunus, Ardennen etc.). In dem Kohlengebirge der Vogesen, bei Thann z. B., finden sich in ganz regelmässigen Grauwackeschichten Feldspathkrystalle, welche sich aus einem kieselschieferigen Teige ausgeschieden haben; die versteinerten Pflanzen, welche das Gestein enthält, erlauben aber nicht, dasselbe für einen Porphyranzusehen; Kalksteine aus dem Gebirgsstocke des Mont-Blanc, welche schon Brochant angemerkt und Brongniart als „calciophyre feldspathique“ bezeichnet hat, zeigen ähnliche Erscheinungen. Man darf hierbei nicht aus den Augen verlieren, dass da, wie anderwärts, der Kalk bei solcher Umwandlung nicht immer seine ursprüngliche Dichtigkeit gegen einen krystallinischen Zustand vertauscht hat.

Unter den so häufigen Vergesellschaftungen wasserfreier und wasserhaltiger Silicate will ich nur die chloritischen Gesteine

nennen, welche die Grundmasse des Turmalins, der Hornblende, des Augits etc. darstellen. Die Adularkrystalle der Alpen, welche mit Chorit durchmengt sind (Pfitsch in Tyrol), zuweilen auch mit Stilbit (Sella am St. Gotthard), lehren, dass wasserfreie Silicate zuweilen sogar später als wasserhaltige krystallisiren konnten.¹⁾

Der Quarz hat sich mitten in verkieselten Gesteinen auf verschiedene Weise ausgeschieden. Die granitischen Gesteine und gewisse Porphyre enthalten ihn in Körnern oder einzelnen Krystallen. In den Schiefergesteinen tritt er auf bald in Gestalt von Adern oder von dünnen Blättern zwischen den Schieferlagen, mit ganz regelmässiger Dicke und erstaunlichem Parallelismus, wie in den Glimmer-, Chlorit- und Talkschiefern, in den Leptiniten, Thonschiefern etc.; bald als Adern, welche die Blätterlagen scharf abschneiden und sich dabei dicht an sie anlegen. Endlich stellt der Quarz hin und wieder beträchtliche Massen in körnigem Zustande dar, wie in den Gesteinen (Itakolumiten), welche in Brasilien das Gold und die Diamanten begleiten.

In den meisten dieser Fälle scheint der Quarz aus der Zersetzung von Silicaten hervorgegangen zu sein, wie bei meinen Versuchen, wo er auf verschiedene Weise entstand. So muss der Quarz, welcher unter so mancherlei Gestalt einen Bestandtheil der metamorphischen und Ausbruchsgesteine bildet, gleich dem der Gänge als Zeuge für den wässerigen Weg betrachtet werden.²⁾

Man weiss in der That, dass die Kieselsäure im glasigen Zustande, den man durch Schmelzung des Quarzes enthält, keine Eigenschaft mit diesem Minerale theilt, dass sie nicht gleiche Dichtigkeit, gleiche lichtbrechende Kraft, gleiche Härte, nicht gleiche Unangreifbarkeit durch Alkalien besitzt.³⁾ Es ist sogar möglich, dass diese Nichtübereinstimmung der Eigenschaften die Ursache der leichten Zersetzbarkeit der glasigen Silicate abgebe.

1) Hat man den Chlorit auch noch nicht nachahmen können, so kann man doch nach seiner chemischen Aehnlichkeit mit den Zeolithen, so wie nach seiner Häufigkeit in ganz unveränderten Massen, z. B. in den Ardennen, glauben, dass er sich bei wenig erhöhter Wärme habe bilden können.

2) Meine Versuche bestätigen völlig die Aeusserungen Schafhäutl's und Bischof's hierüber.

3) H. Rose: Ueber die verschiedenen Zustände der Kieselsäure (Annalen der Physik und Chemie, CVIII, 1).

Die wirkenden Lösungen greifen die Kieselsäure unter der löslichen Art an, schlagen sie dann, vielleicht ohne dass eine Aenderung der Umstände nöthig sei, in der, dem unlöslichen Quarze entsprechenden Art nieder und dienen damit, so zu sagen, um die Kieselsäure durch eine Art fortgehender Entwicklung aus einem moleculären Zustande in den andern überzuführen.¹⁾

Was sich bei den Versuchen mit überhitztem Wasser gezeigt hat, lässt sich auch auf das Beispiel der so mit Mineralien bereicherten Kalke anwenden, welche aus den Tiefen der Somma ausgeschleudert wurden, und deutet darauf hin, Wärme und Druck für die Hervorbringung eines kräftigen Metamorphismus unentbehrlich erscheinen zu lassen. Anderer Seits hat sich zuweilen ein ausgeprägter Metamorphismus nahe der Oberfläche entwickelt, wie in Brasilien, wo die krystallinischen und edelsteinhaltigen Schiefer sich über mehr als hundertundfünfzig Meilen Länge erstrecken. Es scheint ein Widerspruch zwischen diesen beiden Thatsachen zu liegen. Wird aber überhitztes Wasser aus der Tiefe gegen die Oberfläche getrieben, sei es durch die Masse oder durch die kaum offenen Spalten eines Gesteines, so ist wohl zu bemerken, dass die Gesetze des hydrostatischen Druckes nicht darauf anwendbar seien, wie sie auf ein frei in einer Spalte aufsteigendes Wasser sein würden. Man sieht leicht ein, dass im erstern Falle der Druck und in Folge dessen die Wärme sich in gewisser Weise erhalten können, wie in einem geschlossenen Gefässe, bis zu einigen Fussen Abstand von der Oberfläche.

Es ist also möglich, dass viele Vorgänge, als die Krystallisation des Granits und die mancher zinnhaltiger Massen, welche dieselben Mineralien, wie die Gesteine Brasiliens, enthalten, unter Druck erfolgt seien, wenn auch nur in geringer Tiefe.

Gewisse Mineralien, z. B. die wasserfreien Silicate, entstehen vielleicht leicht nur in Wasser von bestimmter Wärme. Zu hohe, wie zu niedrige, schadet ihrer Bildung. Die Erfahrung scheint uns überdies zu lehren, dass die Feldspathe, je nach den Verhältnissen, sich im Wasser bald erzeugen, bald zersetzen, und dies geschieht wohl daher, weil in manchen Gegenden der Alpen,

¹⁾ Die Zinnsäure zeigt etwas Aehnliches, indem sie aus dem einen Zustande, als eigentlich sogenannte Zinnsäure, durch einfache Einwirkung der Wärme in den andern, den der Metazinnsäure, übergeht, und sich so aus den verschiedenen Lösungsmitteln ausscheidet.

z. B. in Graubünden, die oberen Theile allein die passende Wärme besaßen, weshalb der Metamorphismus und die mannichfaltigen Mineralien, welche gewissermassen seine Zeugen sind, sich daselbst mehr entwickelt haben, als in den tieferen Schichten, deren Durchschnitte man in grossartigen Aufreissungen verfolgen kann.¹⁾ Diese Thatsache, in allen Fällen sehr eigenthümlich, wäre ähnlich der Verdichtung des Salmiaks, verschiedener Chlorverbindungen, des Schwefels und des Eisenglanzes in den oberflächlichen Lagen der vulcanischen Gebirge und der Laven, oder der wohlbekannten Veredelung vieler Erzgänge in ihren oberen Teufen.

Fassen wir Alles zusammen, so ist es — wenn es sich um die Erklärung des Ursprungs und der Bildung der Silicate in den meisten Gesteinen handelt — nicht der trockene Weg, sondern vielmehr ein durch Wasser und Wärme vermittelter Vorgang, den man in den meisten Fällen anzunehmen hat. Dieser Ausspruch stützt sich auf nachstehende Erwägungen:

1) Die Bildung auf nassem Wege hat Statt bei ungleich niedrigerer Wärme, als die Schmelzpunkte verlangen. Dies ist eine Bedingung, deren Nothwendigkeit man aus dem Vorhergehenden erkannt hat.

2) Die wasserhaltigen Silicate, welche sich in der Natur oft mit wasserfreien zusammen finden, bilden sich leicht auf nassem Wege, wie man gesehen hat, gleichzeitig mit letztern (Zeolithe mit Augit, Chloritschiefer mit Turmalin etc.). Ihre Vergesellschaftung würde auf trockenem Wege schwer zu erklären sein.

3) Der Quarz findet sich in der Natur ausserordentlich häufig. Die grosse Leichtigkeit, mit welcher überhitztes Wasser gewisse lösliche oder unlösliche Silicate zersetzt und Quarz daraus abscheidet, sobald es in Berührung mit ihnen tritt, giebt vollen Aufschluss über diese Häufigkeit, wie über die Art der Vertheilung dieses Minerals in vielen Silicatgesteinen, metamorphischen oder Ausbruchsmassen, denen er allgemein vergesellschaftet ist, und lassen ihn als Erzeugniss der Ausscheidung erscheinen.

4) Endlich sehen wir statt der gleichförmigen Massen, wie solche im Allgemeinen durch Schmelzung entstehen, in den Er-

¹⁾ Diese Thatsache, welche aus unveröffentlichten und alten Beobachtungen É. de Beaumont's geschöpft ist, ist neuerdings auch von Sir Roderick Murchison hervorgehoben.

zeugnissen des nassen Weges Gemenge verschiedener, krystallisirter Körper, deren Nebeneinanderlagerung wie in den meisten Gesteinen völlig unabhängig von der verschiedenen Höhe ihrer Schmelzwärme ist.

Neuntes Stück.

Anwendung derselben Thatsachen auf die Ausbruchsgesteine.

Die Ausbruchsgesteine lassen eine grosse Aehnlichkeit der Zusammensetzung mit denjenigen der metamorphischen Felsarten erblicken, und viele Mineralien sind in der That beiden Arten von Massen gemeinsam eigen.

So erfüllen die Gemengtheile des Granits (Feldspath, Glimmer und Quarz) häufig die Schichten, welche es durchbrochen hat und in welche sie gleichermassen übergeschwitzet sind.¹⁾ Haben Granit und Syenit Bruchstücke anderer, älterer Gesteine eingewickelt, haben sie dieselben in gewisser Weise in sich aufgenommen, wie ich anderswo gezeigt habe.²⁾ Man findet ein nicht minder merkwürdiges Beispiel dieser Aehnlichkeit in den dichten Kalkmassen der Somma, in deren Innerem Leucit, Sodalith, Anorthit krystallisirt sind, ebensowohl als in den Laven, in deren Nachbarschaft sie liegen. Der Kalk des Kaiserstuhls mit seinem titanhaltigen Eisenerze, seinem Pyrochlor, Perowskit und Apatit deutet eben so das Band seiner Verwandtschaft mit dem Doleritgesteine an, welches ihm die Hauptbestandtheile für seine Mineralien lieferte.

Auf diese wirklich überraschende Aehnlichkeit der Zusammensetzung hat man sich oft gestützt, um zu folgern, dass die Mineralien der metamorphischen Gesteine auf trockenem Wege gebildet seien.

Ich werde den Schluss umkehren und sagen, dass, wenn Verbindungen gleich denen des Feldspaths, Glimmers, Quarzes, Leucits, Augits etc. sich mitten in geschichteten Massen finden, unter Bedingungen, unter denen sie nur durch Vermittlung des Wassers

¹⁾ Nach zahlreichen Beobachtungen É. de Beaumont's, de la Bêche's, Gruner's, Naumann's und vieler Anderer.

²⁾ Observations sur le métamorphisme (Annales des mines, 5. série, XIII.).

gebildet werden konnten, dass man es also dann als höchst wahrscheinlich anerkennen müsse, dass das Wasser auf eben dieselbe Weise bei der Krystallisation der Ausbruchsgesteine selbst thätig gewesen sei, eine Schlussfolgerung, auf welche wir im Vorhergehenden auch durch andere Betrachtungen geleitet wurden.

Sollte man eine Vermuthung über diese Verbindung des Wassers mit Ausbruchsgesteinen von sehr hoher Wärme äussern, so wird man in dieser Erscheinung eine Art wässriger Schmelzung erblicken müssen, welche bisweilen durch den Druck in ihrem Bestande erhalten würde. Bei der Krystallisation dieser Silicate schied sich das Wasser, wie eine Mutterlauge, zugleich mit verschiedenartigen Körpern¹⁾ ab, behielt jedoch hinreichend hohe Wärme und grossen Druck, um in das Nebengestein zu dringen und darin tiefgreifende Umwandlungen hervorzurufen. Daher schreiben sich vielleicht die Aehnlichkeiten, welche man nach Obigem zwischen dem ausgebrochenen und dem durchbrochenen Gesteine bemerkt hat. Um also die dem Wasser für die Ausbruchsgesteine zuerkannte Rolle vollständig zu überblicken und auszuführen, muss man sagen, es erscheine unter dreierlei Zuständen in dreierlei Hauptthätigkeit:

- 1) Indem es herzukommt in Verbindung mit den Gesteinen, deren Weichheitszustand es, mit Beistand der Wärme, bedingt;
- 2) Indem es sich von diesen Massen nach dem Fortschreiten ihres Festwerdens trennt und das Nebengestein durchdringt und umwandelt;
- 3) Indem es zuweilen bis an die Oberfläche steigt, theils in Gestalt von Dampf, theils als warme Quellen.²⁾

Es ist zu bemerken, dass der Uebergang vollständig ausgebildeter Mineralien, von denen oben die Rede gewesen, unzweifelhaft nur ein scheinbarer sei, und dass der Feldspath oder der Glimmer in der Nachbarschaft des Granits sich an Ort und Stelle gebildet habe, indem dazu, eben so wie zu Plombières, ein

1) Wie die Chlorverbindungen der Laven.

2) Dies sind die Quellen, deren Dasein die Erzgänge und verschiedenartigen Absätze in der Nähe der Ausbruchsgesteine häufig nachweisen. Ihre Wärme und ihre Ausgiebigkeit mussten sich allmählich vermindern, und endlich mussten sie versiegen, wie die Massen, aus denen sie entsprangen, auf die letzte Stufe ihrer Erstarrung und Erkaltung gelangten.

Theil des Bestandes aus den Massen, in denen jene entstanden, bereits vorhanden war.

Hier ist der geeignete Ort, die eigenthümliche Bestimmung des Augits zu besprechen. Die so häufig in den Laven vertheilten Augitkrystalle wurden einst als aus einem andern Gesteine herübergenommen betrachtet, und, um die schon von Dolomieu ausgedrückte Vorstellung besser wiederzugeben, zwar so, dass sie nicht in den, sie einschliessenden, vulcanischen Gesteinen gebildet, sondern von diesen nur eingehüllt wurden. Häufig ertheilte dem Pyroxene seinen Namen als einem „dem Feuer fremden“ Minerale.¹⁾ Später, namentlich nach den Versuchen Berthier's und Mitscherlich's, erkannte man im Gegentheil, dass er in den Laven krystallisirt sei, und sah ihn nun für das bezeichnende und ausschliessliche Erzeugniss des trocknen Weges an. Ist es nicht überraschend, zu sehen, dass gerade er nach seiner grossen Neigung, sich in überhitztem Wasser zu bilden, jetzt als das erste unter den best bestimmten Erzeugnissen dieses neuen Weges erscheint?

Fügen wir noch hinzu, dass das Wasser seinen Einfluss auch in der mechanischen Thätigkeit der Ausbruchsgesteine üben konnte. Bei der Beschreibung meiner Versuche habe ich mit Absicht bei der Massenvergrösserung verweilt, welche das durch Einwirkung des überhitzten Wassers in Zeolith umgewandelte Glas erfahren hat, um daraus den höchst wahrscheinlichen Schluss zu ziehen, dass im Augenblicke der Wässerung manche Gesteine eine Art Aufschwellung erlitten, ähnlich derjenigen, von welcher man zahlreiche Beispiele in der Umwandlung des Anhydrits zu Gyps gefunden hat. Diese Aufschwellung musste in vielen Fällen genügen, den Druck und Ausbruch der Gesteine zu bewirken. Dies dürfte namentlich bei den Phonolithen und Basalten geschehen sein.

1) „Der Name Pyroxen zeigt an, dass die Krystalle in den Laven sich nicht an ihrer Geburtsstätte befinden.“ (Häuy, *Traité de mineralogie*, 1. édit., III., 90).

Zehntes Stück.

Metamorphismus im Gefüge; sein Verhältniss zum gewöhnlichen Metamorphismus.

Wir haben in der ersten und zweiten Abtheilung dieser Arbeit gesehen, dass das schieferige Gefüge eine Folge von Druck und Gleitungen zu sein scheint, welche die Schichten unter den Einwirkungen starker Kräfte betroffen haben.

Versuche über diesen Gegenstand, welche ich anstellte, bevor ich von denen Tyndall's Kenntniss hatte, die ich aber auf anderm Wege und in grösserm Massstabe ausführte, bestätigen diese Anschauungsweise.

Ich benutzte hierzu kräftige Zusammendrückungsmittel, nicht allein Walzwerke, sondern auch Pressen mit Balanciren, welche mit Dampf getrieben werden und in der Blechfabrikation dienen, um das Blech für verschiedene Zwecke zu pressen. Alle diese Arten der Zusammendrückung, allmählich oder stossweise, wurden nach einander angewandt. Der Körper, der vornehmlich bearbeitet wurde, war Thon, welcher in einen eigenthümlichen Zustand der Austrocknung gebracht worden war.¹⁾

Derselbe vermag bei dieser verschiedenen Behandlungsweise deutlich schieferiges Gefüge anzunehmen;²⁾ doch ist, ausser dem Drucke, noch die Erfüllung zweier Bedingungen unerlässlich.

1) Der Körper muss Gleitungen ausführen und sich durch einen Anfang von Blättertheilung ausdehnen können; es entwickeln sich dann die Blätter in der Richtung der Gleitung, d. h. senkrecht zu der des Druckes.

Man gelangt nicht zum Ziele, wenn der Körper nicht im Stande ist, auszuweichen und sich senkrecht gegen die Druckrichtung zu verschieben. Ein Thonstück von walzenartiger Gestalt, genau in

1) Diese Versuche wurden in den Werkstätten der Herren Karcher und Westermann zu Ars-sur-Moselle ausgeführt. Ich bediente mich besonders des feuerfesten Thons von Villy-en-Trode (Aube), welcher aus der Neocomformation und den grauen Mergeln über dem Lias stammt.

2) Gewisse Ziegel, welche man durch ein eigenthümliches Formverfahren zu Epinal gewinnt, zeigen oft ebenfalls den Anfang einer Ausbildung blättrigen Gefüges.

einen gusseisernen Ring von gleicher Gestalt und gleichem Körpermasse gepasst, wurde durch einen Stempel von gleicher Weite zusammengepresst. Die Masse erhielt starken Zusammenhalt, zeigte aber keine Spur, weder von Blätteranlage, noch selbst von Spaltbarkeit. Ich wiederhole, dass dies nur geschieht, sobald die Erdmasse sich genau in eine starre Hülle drückt; andernfalls erfährt sie Verdrückungen und damit eine Blätterbildung.

2) Die zu behandelnde Masse muss eine eigenthümliche Bildsamkeit besitzen. Zu trocken, bricht sie; zu weich, blättert sie sich zwar, doch können sich die Blätter nicht trennen. Proben desselben Thones, aber in verschiedenen Trockenheitsverhältnissen, wurden gleichzeitig dem Drucke unterworfen und lieferten über einander liegende Schichten, die einen mit schiefrigem Gefüge, die andern mit unregelmässigem Bruche, welcher jenem gegenüber sehr bezeichnend ist.

Ich versuchte gleichfalls auf demselben Wege, Schiefergefüge in den Silicaten in dem Augenblicke des Uebergangs aus dem geschmolzenen in den festen Zustande hervorzurufen. Schlacken aus Eisenhohöfen, welche ich einer Zusammendrückung unterwarf, so lange sie noch teigig waren, wurden nicht schiefrig. Der Bruch der erkalteten Masse zeigte nur verschiedenartig gefärbte und senkrecht zur Drucklinie angeordnete Adern.

Was ich oben über den Einfluss einer gewissen Bildsamkeit auf die Blätterlagenbildung gesagt habe, lässt den häufigen Uebergang erklären, welchen man in einer und derselben Gebirgsmasse bemerkt, die zum Theil schieferig ist. So wird, um nur ein Beispiel anzuführen, der Porphyr von Mairus bei Deville in den Ardennen nach und nach schieferig.

Es ist passend, hier daran zu erinnern, dass das Glas leicht sehr deutliche Schieferigkeit durch Ursachen annehmen kann, welche ganz von den eben berührten abweichen. Imgleichen wie die, durch das überhitzte Wasser umgewandelte Glasröhre sich beträchtlich aufbläht, nimmt sie dies schieferige Gefüge in sehr deutlicher Weise an. Die Blätter, in welche sie sich leicht spaltet, sind so dünn, dass man ihrer oft mehr als zehn auf einen Millimeter Dicke zählen kann.¹⁾ Ist das Glas unvollständig ange-

1) Sie lösen sich eben so deutlich von einander wie die Blätter einer Lage Briefpapier.

griffen, so zeigt die Mitte, obschon noch glasig, ebenfalls feine Schichten, wie der Onyx. Das Ganze erinnert an das Auftreten gewisser schieferiger und krystallinischer Gesteine.

Die Schieferung der Glasröhren ist eine entschiedene Folge der Darstellungsweise, welche der Masse ein Gefüge aus über einander gelegten Schichten verleiht; es ist eine Art von Ungleichmässigkeit, welche mit Hilfe der feinen Merkmale des polarisirten Lichts entdeckt werden kann, für das blosser Auge aber ursprünglich unter einer scheinbaren Gleichartigkeit verborgen ist. Sie erschien, sobald das Wasser durch ungleichen Angriff die Bänder verschiedener Beschaffenheit blosslegte, und noch besser, nachdem die bereits theilweise umgewandelte Masse sich zurückzuziehen begonnen hatte. Diese Blätter erscheinen in der That an manchen Röhren deutlicher als an andern. Dies ist ein sicherer Beweis für eine Thatsache, von welcher man verschiedene Beispiele in den Gewerben findet,¹⁾ und welcher zeigt, wie die ursprüngliche Anordnung der Gemengtheile einer Felsart, wengleich durch spätere Einflüsse verschwunden, doch darin noch in verborgenem Zustande zurückgeblieben sein und frisch hervortreten kann, sobald neue Einwirkungen sie hervorrufen.²⁾

Eine Erscheinung begleitet fast stets das Schiefergefüge der krystallinischen Gebirgsarten, nämlich die bemerkenswerthe Gleichrichtung eines Theiles ihrer krystallinischen Theilchen. Diejenigen, welche die Gestalt von Tafelchen haben, wie sie immer in der Natur auftreten mag, Glimmer, Chlorit, Talk, Graphit oder Eisenglanz, lagern sich flach nach ihrer Tafelungsebene; bisweilen sogar zeigen sie die Art der Aneinanderreihung, welche man gereichte Gleichrichtung (*parallélisme linéaire*) nennt, und welche als Folge einer Streckung erscheint. Die Chlorit-, Glimmer- und Talk-schiefer zeigen dies am Ausgezeichnetsten.

1) Man weiss z. B., dass in der Formung von Porcellanstücken grosse Aufmerksamkeit darauf verwandt werden muss, der Masse überall einen gleichmässigen Druck zu geben. Sehr geringe Ungleichheit, welche anfangs völlig unbemerkbar war, verräth sich nach dem Brennen durch eine Menge von Unregelmässigkeiten. Die Darstellung der chinesischen Spiegel mit Bildern scheint auf einem ähnlichen Grundsatz zu beruhen.

2) Nach neueren, von mir gemachten Versuchen kann man das schiefrige Gefüge in einem so wenig, wie es scheint, dazu geeigneten Metalle, wie das Messing es ist, hervorbringen.

Von denselben Täfelchen glaubte man, dass sie sich nach gleichgerichteten Flächen unter den Einflüssen der Wärme oder des Magnetismus ordnen, welche man mit Sir John Herschel¹⁾ für die Ursache des Blättergefüges ansah. Sorby strebte, diese Wirkung der Täfelchen durch einen Versuch zu beweisen, welcher darin bestand, eine teigige Masse mit Einmischung solcher Täfelchen zur Blätterbildung zu bringen.

Ich kann diese Anschauung nicht theilen und denke, dass die reihenförmige Anordnung der Täfelchen, statt die Ursache zu sein, vielmehr die Folge des frühern Vorhandenseins der Blätteranlage ist.

Ich stütze mich dabei auf vier Hauptgründe:

1) Das Blättergefüge hat sich in der Natur oft entwickelt, und ich habe es in meinen Versuchen in Abwesenheit jeder Art tafelförmiger Körper hervorgebracht.

2) Krystalle, welche durchaus keine Blättchen bilden, wie Granat, Magneteisen, zeigen doch höchst regelmässige Reihung.

3) Ich habe erkannt in Versuchen, welche denen Sorby's ähnelten, dass die Täfelchen eine grosse Neigung haben, sich allmählich im Sinne der durch den Druck bestimmten Bewegung zu ordnen, so, dass die Reibung in Folge der Gleitung die möglichst geringe sei. Indessen ist ihre Reihung eine sehr unvollkommene in Vergleich zu derjenigen in der Natur, welche oft durch ihre Regelmässigkeit so bemerkenswerth ist. Diejenigen Täfelchen, welche nicht dazu gelangen, sich nach der allgemeinen Ebene zu lagern, scheinen vielmehr der Blätterbildung entgegenzuwirken.

4) Ein Verfahren hat mir Ergebnisse, denen der Natur fast gleich, geliefert. Dasselbe besteht darin, den Thon, bevor man ihn der Pressung unterwirft, mit Wasser von 100° und mit Borsäure gesättigt anzufeuchten, ihn dann auf einer, durch ein Feuer heiss erhaltenen Gusseisenplatte auszuwalzen, damit nicht die Borsäure sich vor Bildung der Blätter ausscheide. Bei diesem Versuche zeigen die Täfelchen der Borsäure, welche zwischen den Thonblättern durch nachherige Abkühlung der Flüssigkeit ent-

1) Nicht alle Mineralien der Schiefergesteine zeigen diese Reihung, so liegen die Chiastolithe im Allgemeinen nicht in der Richtung der Blätterlagen in den Kieselschiefern, denen sie angehören.

stehen, eine bei Weitem regelmässige Reihung als in Sorby's Versuchen und eine ganz derjenigen in gewissen Glimmerschiefern vergleichbare.¹⁾

In allen Fällen erkennt man diese Anordnung der Täfelchen leicht als Folge der Thatsache, welche wir als Ursache annehmen. Wenn z. B. die Körper, wie Mörtel oder Ziegel, in welche die Quellen von Plombières eindringen, ein schiefriges Gefüge hätten, wäre es dann nicht augenscheinlich, dass die Bewegungsweise des Wassers davon beeinflusst sein würde, und dass die flüssigen Adern, indem sie sich vorzüglich zwischen die Blätter drängten, auf ihrem Wege Krystalle in Gestalt von Blättchen oder andere, deutlich gereifte hervorbringen würden? In dem Falle selbst, in welchem das Wasser, statt von Aussen einzudringen, in der Masse als zugehöriger Theil eingeschlossen gewesen wäre, muss man noch anerkennen, dass die Krystalle sich unter Benutzung der Spaltungsflächen der Masse und nach diesen Flächen hätten anordnen müssen.

Die papierartige, durch ihre Regelmässigkeit so auffällige Anordnung, welche der Quarz in gewissen Leptiniten und Porphyren annimmt, konnte ähnlichen Ursprung haben, da das Wasser, wie wir gesehen haben, auch bei der Krystallisation der Ausbruchsgesteine mit thätig gewesen zu sein scheint.

Elftes Stück.

Zusammenstellung aller Erscheinungen, deren Sitz in der Tiefe ist.

Wenn die warmen Quellen die Vermittler des Metamorphismus sind, darf man nicht darüber erstaunen, dass eine und dieselbe Art des Metamorphismus sich über grosse Flächen erstreckt, da wir noch in der Jetztzeit die Mineralwasser sich nach Familien von ähnlicher Zusammensetzung in weit ausgedehnten Gegenden

¹⁾ Ich will nicht durchweg behaupten, dass in manchen Fällen die Blätterbildung auch nach der Reihung der Täfelchen in diesen Gesteinen fortgedauert habe; man kann sich selbst von dem Gegentheile überzeugen, wenn man verschiedene, krystallinische Schiefergesteine untersucht.

gruppiren sehen, wie sie z. B. in der Auvergne und in der Eifel kohlen säurehaltig, in den Pyrenäen schwefelhaltig sind etc.¹⁾

Man findet solche Aehnlichkeiten noch mehr ausgeprägt in den Erzvorkommnissen, welche ebenfalls derartigen Ursprungs zu sein scheinen, und, wenn auch die meisten zahlreiche Mineralarten aufweisen, die oft auf sehr ungleiche Weise in den verschiedenen Theilen eines und desselben Ganges vertheilt sind, so zeigt doch die Natur der Gangmassen, ebenso wie die der Metalle, welche man mit Nutzen daraus gewinnen kann, dass sie sich im Allgemeinen nach Gesetzen ordnen. Diese gesetzliche Vertheilung macht sich bisweilen über ausgedehnte Gebiete geltend, zumal in den Festländern, deren geologischer Bau nicht gleich dem des westlichen Europa zerstückt ist. (Beispiele: die Silbergänge Mexico's, die grossen Goldgebiete der Alleghany's und Brasilien's, die zinnführenden Striche der Malayen.)

Dieselbe Thatsache offenbart sich auch in den Feuerbergen. Giebt es auch deren vereinzelte, so bildet doch die Mehrzahl Reihen, wie L. v. Buch längst hervorgehoben hat, als er sie mit Luflöchern verglich, welche auf einer grossen Spalte lägen. Die Erdbeben können wir nur anführen, um sie mit jenen Bergen in Verbindung zu bringen, an welche sie sich auf das Innigste zu knüpfen scheinen.

Die Familien der warmen Quellen, der Erzgänge, der Feuerberge mit ihrem Erdbeben nehmen ganz ähnliche Verbreitungsgebiete ein, als wie wir deren im Metamorphismus ganzer Gegenden gesehen haben.

Gleich allen diesen Familien sind die metamorphischen Gebiete²⁾ ausschliesslich, wie man bereits erkannt hat, auf Gegenden mit Störungen ihres geologischen Baues beschränkt. Einer Seits haben die ältesten, geschichteten Bildungen Russland und des nördlichen Schwedens, auch die des nördlichen Amerika, ihre erste, wagerechte Lage beibehalten und sind nicht eben merklich umgewandelt. Dagegen zeigen sich junge, aber in ihrer Lagerung stark gestörte Schichten, wie die des Jura und der Kreide in den

1) Longchamp hat schon früher bemerkt, dass längs dieser ganzen Bergkette, mehr als sechsundvierzig Meilen, es mehr als hundertundfünfzig Quellen gäbe, alle von gleicher Natur und nur innerhalb sehr enger Grenzen in den Verhältnissen ihrer Bestandtheile schwankend.

2) Wenigstens die, welche jünger sind als die Silurgebilde.

Alpen, in den apuanischen Gebirgen und in Toskana völlig verändert, selbst wenn man daselbst nur wenig von Ausbruchsgesteinen findet. Die Phylladgesteine, welche nur die erste Stufe tiefer gehender Umbildungen zeigen, finden sich niemals ausserhalb ehemals mehr oder minder gestörter Bezirke.

Es wäre danach schwer, nicht in den verschiedenen Arten der beschriebenen Erscheinungen die Offenbarungen einer und derselben Kraft zu sehen, deren Sitz sich über ganze Länder erstreckt. Diese besondere Kraft ist das Wasser, unterstützt von mehr oder minder hoher Wärme, welcher sich als Ursachen zweiter Reihe die sie begleitenden Ausströmungen beigesellen.

Für die Vulcane liegt die Sache klar zu Tage; für die Erzgänge kann kein Zweifel übrig bleiben, zumal nach der Arbeit E. de Beaumont's und den Versuchen de Sénarmont's, und für den Metamorphismus glauben wir, dass unser Ausspruch die grösste Wahrscheinlichkeit für sich habe.

Wir denken also, dass das Wasser unaufhörlich in der Tiefe wirke, nachdem es dort unter Einfluss der Erdwärme mehr oder minder stark erhitzt worden. Seine Einwirkung ist an manchen Stellen eine offenbare, angezeigt durch Feuerberge, Erdbeben, Suffioni, warme Quellen, welche an der Oberfläche ausfliessen; an andern Stellen ist sie eine verborgene, wenn die warmen Quellen, angeregt durch Bewegung nach oben, sich in der Dicke der Schichten verlieren, oder wenn das den Gesteinsmassen ursprünglich eigenthümliche Wasser allein auf sie wirkt und sie metamorphisirt. Dieser Gedanke ist es, welcher mich das dieser Arbeit vorgesezte Wort Leibnitzens hat wählen lassen.

Anhang.

Betrachtungen über die Bildung der Schiefergesteine, welche älter sind als die Silurschichten.

Bis jetzt kennt man als Unterlage der Silurschichten nur ausgezeichnet krystallinische Gesteine. Der Uebergang von diesen zu jenen ist im Allgemeinen ein allmählicher, bisweilen jedoch ist die Grenze eine durchaus scharfe, wie in Schweden, in Finnland, in den Vereinigten Staaten. So haben die ältesten Flötzschichten (der Potsdamsandstein), welche man in letztgenanntem Lande kennt, keine Umwandlung erfahren und ruhen völlig wagerecht auf versteinungsleeren Gebilden mit senkrecht stehender Blätterung.¹⁾

Wirkungen der metamorphischen Thätigkeiten zeigen sich, wie wir gesehen haben, in Gebieten verschiedenen Alters. Doch sind es die ältesten Schichten, welche diese Thätigkeit am Meisten erkennen lassen, der Art, dass die Ursache derselben sich mit der Zeit abgeschwächt zu haben scheint, während sie wahrscheinlich vor der Silurzeit eine beträchtliche Kraft besass, d. h., sich näher der Oberfläche geltend machte. Man sieht auch ein, wie viele Geologen in diesen vorsilurischen Massen die ersten, geschichteten, aber dem Metamorphismus anheimgefallenen Schichten zu erblicken glauben konnten.

¹⁾ Foster und Whitney, Aperçu de l'ensemble du terrain silurien du Lac Supérieur (Bulletin de la Société géologique, 2. série, VIII., 84).

Diese Annahme wird bekräftigt durch die grosse Aehnlichkeit dieser alten Gesteine mit denen der geschichteten Massen, deren metamorphischer Ursprung ausser allem Zweifel ist. Wie in letzteren findet man mitten im Gneisse, welcher den Haupttheil der uns beschäftigenden Massen bildet, Kalke, Dolomite, Hornblende-schiefer, Quarzite, Hornsteine (Hällefinta der Schweden), Erz-lagerstätten, welche man oft nicht von denen zu unterscheiden vermag, die man in den höher liegenden Schichten trifft. Diese Aehnlichkeit ist für die Kalke so auffallend in Bezug auf die sie begleitenden Mineralien und deren Vergesellschaftung, dass man z. B. die krystallinischen Kalke mit Spinell und Chondroit aus dem Gneisse von Pargas in Finnland oder aus Canada leicht mit denen vom Monzoni in Tyrol oder von der Somma, welche verhältnissmässig jung sind, verwechseln könnte.

Als einen anderen Zug der Aehnlichkeit muss man den Graphit oder die kohligen Verbindungen anführen, welchen man in den ältesten Gebieten begegnet¹⁾ (Graphit von Sainte-Marie-aux-Mines, Anthracit von Kongsberg in Norwegen oder von Danne-mora, wo er sich in einem grauen, kaum krystallinischen Kalke findet, Bitumen aus den Granitgängen von Finbo bei Fahlun und aus zahlreichen Eisenlagern Schwedens).

Andere Geologen dagegen, überrascht von der innigen Verknüpfung zwischen dem Granite und diesen Gneissen, haben letztere als nur durch Streckung schieferig gewordenen Granit betrachtet.

Wenn es an dem ist, so muss man als Nothwendigkeit folgern, dass gewisse Massen von Kalk, Quarzit, Magneteisen und andern Erzen in dem Granite bereits vorher bestanden, dass sie darin mit ihm gleichzeitig erwärmt wurden, so dass sie gemeinsam ihm entzogen werden konnten und nun die Gestalt von Platten, gleichgerichtet mit den Blätterlagen des Gneisses annahmen, wobei sie die Schichtung täuschend nachahmten. Dies ist eine nur schwer zuzugestehende Vermuthung.

¹⁾ So lange als die Synthese, welche in den Händen Berthelot's bereits zu so bemerkenswerthen Ergebnissen geführt hat, nicht die Anthracite Schwedens ohne Benutzung von Pflanzen hervorgebracht haben wird, muss man glauben, dass diese Brennstoffe pflanzlichen Ursprungs seien, und demgemäss auch, dass die Pflanzen bereits vorhanden waren, als die Gneisse, welche diese Lagen umschliessen, sich bildeten.

Noch zwei wichtige Bemerkungen sind über diesen Gegenstand zu machen:

1) Das Fehlen eines Ueberganges von den versteinungslosen Schiefergesteinen zu den Silurschichten beweist, dass erstere ihren krystallinischen Zustand bereits angenommen hatten, bevor die ältesten, bekannten Schichten mit Versteinungen sich ablagerten. Diese Thatsache wird bekräftigt durch die wohlbestimmbaren Gneissgerölle, welche zuweilen in den Uebergangsgesteinen eingeschlossen sind.

2) Es hat nicht den Anschein, als ob dieselben alten Gesteine jemals in gewissen Gegenden von andern Schichten in eingermassen beträchtlicher Mächtigkeit bedeckt worden seien; man müsste sonst zugeben, und ist doch nicht dazu berechtigt, dass weit ausgedehnte und schwach wellige Gebiete, wie Scandinavien oder Canada, ausserordentlich starken Blosslegungen ausgesetzt gewesen seien.

Massen, gleich den oben besprochenen aus Schweden und den Vereinigten Staaten, begegnet man sonst aber auch in allen Theilen der Erde mit denselben Merkmalen; sie bilden fast überall eine Art Hülle über dem Granite.

Denkt man sich die ganze Masse der Meere dampfförmig durch das Luftmeer verbreitet, so musste der Druck auf der Erdoberfläche wenigstens zweihundertundfünfzig Mal den des heutigen Luftdrucks übersteigen¹⁾ und selbst noch mehr, da ja noch Gase und andere Dämpfe dazukamen. Es konnte demnach kein flüssiges Wasser auf der Erde geben, bevor die Wärme der Oberfläche nicht so weit gesunken war, dass der Wasserdampf eben noch eine Spannung vom Zweihundertundfünfzigfachen des derzeitigen Luftdruckes annehmen konnte. Die Erdoberfläche hatte demgemäss zu jener Zeit eine sehr hohe Wärme, und, wenn es Kieselverbindungen gab, so hatten sie ohne Mitwirkung flüssigen Wassers gebildet werden müssen.

Später aber, als das Wasser begann, flüssigen Zustand anzunehmen, musste es auf die von früher her vorhandenen Silicate

¹⁾ Nähme man mit A. v. Humboldt eine mittlere Tiefe des Oceans von 3500 Metern an, so würde man für die gleichförmig über die ganze Oberfläche der Erde vertheilte Wasserschicht eine Stärke von 2563 Metern haben, was einem Drucke von dem Zweihundertachtundvierzig-, oder in runder Zahl vom Zweihundertundfünfzigfachen des Luftdruckes ergeben würde.

einwirken, welche es tragen, und musste so einer ganzen Reihe neuer Ergebnisse Ursprung leihen. Durch eine wirklich umwandelnde Thätigkeit machte das Wasser dieses Urmeeres, indem es die geschmolzenen Massen durchdrang, deren anfängliche Natur verschwinden und bildete dann, wie in unsern Röhren, krystallisirte Mineralien mit Hilfe der Stoffe selbst, welche es eben zerlegte. Diese Körper, im Schosse der Flüssigkeit gebildet oder aufgeschwemmt, mussten sich auf deren Grund niederschlagen und Absätze bilden, welche verschiedene Merkmale zeigen, je nachdem die Wärme der Flüssigkeit abnahm.

Diese verschiedenen Zeiträume chemischer Zerstörung und Neubildung auf nassem Wege, unter diesen äussersten, dem trocknen Wege nahe kommenden Bedingungen, sind sie es, in welchen der Granit und die ganz versteinungsleeren, krystallinischen Schiefer zur Bildung gelangten? Man kann dies nicht unbedingt bejahen, muss es aber annehmen, zumal wenn man in Betracht zieht, dass nach dieser Vermuthung zwei Hauptmassen hervorgehen mussten, die eine völlig massig, die andere mit Andeutungen einer Bildung in Schichten, und dass beide ganz allgemach in einander übergehen.⁵ Dies ist genau der Fall mit Granit und Gneiss.

In allen Fällen kann man nicht bestreiten, dass, wenn es einen Augenblick gegeben hat, wo die Gesteine ausschliesslich unter der Herrschaft des trocknen Weges standen, sie unter die des nassen zu einer weit mehr zurückliegenden Zeit gelangten, als man bisher angenommen hatte. Der nun nachgewiesene Einfluss des Wassers auf die Krystallisation der Silicate verstattet in dieser Hinsicht keinen Zweifel mehr.

Vielleicht würde man jetzt auf der Erde keine Gesteine mehr finden, von denen man mit aller Entschiedenheit behaupten könnte, sie seien ausschliesslich auf trockenem Wege gebildet, ohne Mitwirkung des Wassers. Doch giebt es ein Beispiel, welches uns zeigt, was ähnliche Gesteine sein könnten, und zwar liefern dies uns die Aerolithen. Diese Körper zeigen in der That in ihrer wesentlichen Zusammensetzung weder Wasser, noch eine wasserhaltige Verbindung. Ist es nicht bemerkenswerth, dass, da sie doch aus Silicaten mit Basen bestehen, welche denen unserer Erde gleich sind, sie doch niemals Quarz, Glimmer, Granit haben entdecken lassen, dass man vielmehr in ihnen gefunden hat,

worauf man in der Erdrinde nie stösst, gediegen Eisen, Phosphor- und Kohlenstoffmetalle, welche alle wider die Anwesenheit von Wasser zu sprechen scheinen? Ist dies nicht ein neuer Grund, sei er auch etwas weit hergenommen, für die Nothwendigkeit die Mitwirkung des Wassers und die Unfähigkeit der Wärme allein für die Granitbildung anzunehmen?

Nach der eben angedeuteten Vermuthung wären die ersten Ablagerungen hinreichend lange in einem Zustande von Weichheit verblieben, welcher für die Ausbildung des Schiefergefüges ausserordentlich günstig war.

Die Schieferlagen der durch diese Absätze gebildeten Gesteine haben, gleich wie die der minder alten, metamorphischen Massen, eine der senkrechten nahe kommende Richtung, selbst ausserhalb der Gebirgsketten in Gegenden wie in Schweden, im Limousin, Mähren, deren Oberflächengestaltung nichts Eigenthümliches darbietet. Nach dem, was wir oben über die Entstehung des Blättergefüges gesagt haben, würden die seitlichen Zusammendrückungen, denen dies Gefüge seinen Ursprung zu verdanken scheint, in fast wagerechter Richtung gewirkt haben. Sie waren demnach wohl gleicher Art wie die Stauchungen, welche später in den festern, geschichteten Gebieten diese Faltungen und Biegungen erzeugten, durch welche sich die Gebirgsketten auszeichnen. Schon die ältesten Gebirgsmassen scheinen Zeugniß abzulegen für die Kraft der Zusammenziehung, welche später diese Ketten hervorriefen, wie auch das sehnige Gefüge des Eisens für die mechanischen Einflüsse spricht, denen es ausgesetzt gewesen. Diese Kraft hat sich vielleicht in den ersten Zeiten darauf beschränkt, die Schieferigkeit der Schichten zu entwickeln, indem sie gleichzeitig im Verhältnisse zu ihrem Weichheitszustande ihre Mächtigkeit durch Stauchungen vergrösserte, wobei sie dieselben aber kaum zu Wellen zusammenschob.

Wie immer es auch um Vermuthungen stehe, von denen man sich leicht einnehmen lässt, auch wenn man erkennt, dass sie nicht auf hinreichend festen Grundlagen ruhen, so ist doch dem nicht zu widersprechen, dass die alten Gneisse augenscheinlich für eine höhere Wärme auf der Erdoberfläche in jenen weit zurückliegenden Zeiten sprechen, und dass die so allgemeine Entstehung krystallinischer Gesteine in diesen Grundgebirgen zugleich mit der Gesamtheit der metamorphischen Erscheinungen sich dahin

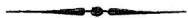
verbinde, annehmen zu lassen, dass seitdem eine allgemeine Abkühlung im Innern der Erde Platz gegriffen habe. Dies ist einer der zuverlässigsten Gründe, welche man den allzueifrigen Vertheidigern der Wirkung noch dauernder Kräfte entgegen stellen kann, die da mit Hutton wollen, dass der Ursprung unserer Erde sich in die Nacht einer Zeit von unbestimmter Dauer verliere, während deren die geologischen Erscheinungen stets in demselben Kreislaufe zurückgekehrt seien.

So dunkel diese Fragen noch sind, so erblicken wir doch eine grosse Einfachheit und viel Gleichmässigkeit in den Thätigkeitsäusserungen, welche eine so grosse Mannichfaltigkeit der Wirkungen hervorgebracht haben; und die unmittelbaren Erzeugnisse eines überhitzten Meeres, die Krystallisation der Ausbruchsgesteine, die Umwandlung der geschichteten Massen scheinen, so zu sagen, nur die verschiedenen Arten einer und derselben Erscheinung zu sein.

Minder unsichere Folgerungen aber müssen für den vielleicht wenig entfernten Zeitraum aufgesucht werden, in welchem man dahin gelangen wird, Granit künstlich nachzubilden. Der synthetische Versuch hat seit Hall bereits viel Nutzen gestiftet, und es scheint, dass es ihm vorbehalten sei, noch einen hellen Lichtstrahl auf einen Bildungsvorgang zu werfen, über welchen uns unmittelbare Beobachtung nichts zu lehren vermag.

Wenn die Anstellung von Versuchen, ausgestattet mit den sinnreichsten Mitteln, nothwendig gewesen ist, um uns zum Verständnisse der uns so nahe liegenden Erscheinungen zu führen, Erscheinungen, deren Zeuge wir in jedem Augenblicke sind, als wie der Schwere der Luft, des Blitzes etc.: um wie viel mehr noch werden wir gezwungen sein, zu jener unsere Zuflucht zu nehmen, sobald es sich um geologische Umstände handelt, deren wichtigste sich in unsern Tagen nicht mehr wiederholen, wenigstens nicht unter unsern Augen, und welche als einzigen Beweis ein endliches Ergebniss hinterlassen haben, an dem man keine Spur der Zwischenvorgänge, welche es hervorgerufen, mehr bemerken kann! Bis zum Ende des letzten Jahrhunderts stützte sich die ganze Geologie nur auf Vermuthungen; dann erst betrat sie einen sichern Weg, auf welchem ihr beständige Beobachtung der Thatsachen und daraus gezogene Schlussfolgerung zur Führung dienten. Endlich ist sie in eine neue Zeit getreten,

in welcher sie sich über alle diese Erscheinungen, chemische, physikalische und mechanische, Licht schaffen wird durch Anwendung unmittelbarer Versuche. Die Geologie hat also ähnliche Veränderungen durchzumachen gehabt, wie sie die Physik von dem Standpuncte aus, auf welchem Galilei sie traf, bis zu dem, auf welchem wir sie jetzt sehen, durchlaufen hat.



So eben erschien bei **Gustav Bosselmann** in Berlin und ist durch jede Buchhandlung zu beziehen:

Was da kriecht und fliegt!

Bilder aus dem Insekten-Leben

mit besonderer Berücksichtigung
ihrer Verwandlungsgeschichte

entworfen von

Dr. E. L. Taschenberg,

Inspektor am zoologischen Museum der vereinigten Friedrichs-Universität Halle-Wittenberg.

Preis: cartonnirt 1 Thlr. 20 Sgr.

Was da kriecht und fliegt

haben wir dies Buch genannt! Es mag dieser Titel Manchem vielleicht marktschreierisch erscheinen, indessen frage sich nur jeder aufrichtige Naturfreund, ob er nicht täglich auf seinen Spaziergängen irgend ein Thierchen fliegen oder kriechen sieht, welches ihn interessirt, und dessen Leben er genauer kennen lernen möchte. Die bisherigen literarischen Hülfsmittel hierzu sind nicht der Art, dass sie ihm diese Wissbegierde sogleich befriedigen, die grossen Werke unserer Entomologen sind für ihn zu theuer, und auch wenn sie ihm zu Gebote stehen, doch nicht nach der gewünschten Seite hin belehrend, denn sie behandeln hauptsächlich nur die streng systematische Seite der Entomologie und das, was der Freund der ganzen belebten Schöpfung sucht, was ihn am meisten anzieht, nämlich ihr eigentliches Leben, wenn überhaupt, doch nur in ganz kurzen Abrissen. Ueber alle anderen Zweige der Naturwissenschaft haben wir von tüchtigen Gelehrten allgemeinverständliche Bücher, während die Insektenkunde nach dieser Seite hin in neuerer Zeit so gut wie ganz vernachlässigt worden, und doch ist dies über und unter der Erde, im Wasser und in den Lüften lebende Völkchen in seiner rastlosen Thätigkeit, der Natur und dem Menschen zu schaden und zu nützen, so höchst interessant. Um nur einige anzuführen, wie bewundernswerth sind die Staaten der Bienen und Ameisen, der Bau des Ameisenlöwen, die Verwandlung der Libelle (Sejungfer), die Metamorphose der Raupe zum prächtigen Schmetterling, der Maikäfer, die Mordlust des Puppenräubers, der die so vielen Schaden anrichtende Kiefernraupe bekämpft, das leuchtende Johanniswürmchen, der vom Aberglauben zur Todtenuhr gemachte Bretterbohrer, die Hummeln und die verschiedenen Wespen, welcher Naturfreund wird in der Beobachtung dieses ruhelosen Völkchens nicht eine Quelle unendlichen Vergnügens und zugleich Anregung der ernstesten und erhebensten Betrachtungen finden.

Ihm die Anskunft und Belehrung hierüber zu geben, welche er sucht, hat der Verfasser in diesem Werke unternommen, und zwar nicht, nach Michelet'scher Manier, unwissenschaftlich mit sentimentaler Faselei, sondern wie es einem in der aufmerksamen Beobachtung der Natur geübten deutschen Gelehrten ziemt,

gründlich, verständlich, unterhaltend.

Der billige Preis bei glänzender Ausstattung (40 Bogen Velinpapier mit circa 300 ausgezeichneten Holzschnitten nur 1 Thlr. 20 Sgr. preuss. Court.) machen dieses Buch für die Bibliothek jedes Naturfreundes zugänglich.

Berlin, Druck von W. Bärenstein.

