

1272.

VII

¹²⁷¹
No. 1272. Geognosie.

Über die
Lehre vom Metamorphismus
und
die Entstehung
der krystallinischen Schiefer

von
BERGAKADEMIE
FREIBERG
Justus Roth.

Aus den Abhandlungen der Königl. Akademie der Wissenschaften zu Berlin 1871.

Berlin.

Buchdruckerei der Königl. Akademie der Wissenschaften (G. Vogt).

Universitätsstrasse 3.

1871.

In Commission bei F. Dümmler's Verlags-Buchhandlung.
(Harrwitz und Gossmann.)

Lehre vom Metamorphismus

von

der kristallinen Schiefer

BERGAKADEMIE
FREIBERG.

Gelesen in der Akademie der Wissenschaften am 15. December 1870 und am 6. März 1871.
Die Seitenzahl bezeichnet die laufende Pagina des Jahrgangs 1871 in den Abhandlungen
der physikalischen Klasse der Königl. Akademie der Wissenschaften.

Erster Theil.

Die Lehre vom Metamorphismus gehört zu den in der Geologie am häufigsten abgehandelten, aber deswegen keinesweges zu den klarsten. Schon um deswillen, weil darunter die verschiedenartigsten Dinge zusammengebracht werden und dann, weil der Metamorphismus mit den letzten und schwierigsten Fragen der Geologie in inniger Verbindung steht, mit den Ansichten über die ersten Anfänge der Erde.

Man hat häufig die Bezeichnung Metamorphismus auf die Veränderungen ausgedehnt, welche das einzelne Mineral erfährt, so z. B. auf die Verkieselung der Gryphaeen, hier ist jedoch nur der Metamorphismus der Gesteine in Betracht gezogen. Auch bei diesem wird der Begriff bald in einen sehr weiten bald in einem engeren Sinne gebraucht. Nimmt ihn Durocher sehr weit (Bull. géol. (2) 3. 546. 1846), der darunter „l'ensemble des effets de transformation, de modification de nature ou de texture, qu'ont éprouvés les roches“ begreift, so umfaßt nach Studer (Lehrb. phys. Geogr. und Geologie 2. 116. 1847) „Metamorphismus im weiteren Sinne alle die Einwirkungen, welche durch andere Kräfte als Schwere und Cohäsion auf die Gesteine ausgeübt worden sind. — Metamorphismus im engeren Sinne beschränkt sich auf die Umwandlungen der Gesteine, welche nicht durch Einwirkung der Atmosphäre oder des Wassers auf die zu Tage liegende Außenfläche, sondern, mittelbar oder unmittelbar, durch Thätigkeiten erzeugt werden, deren Sitz im Innern

der Erde zu suchen ist.“ Delesse (*Études sur le métamorphisme* Ann. min. (5) XII. 90. 1857) bezeichnet als Metamorphismus im weiteren Sinne alle die Veränderungen (*altérations*), welche die Gesteine erfahren; Naumann (Lehrbuch der Geognosie ed. I. 1850; ed. II. Bd. I. 406 und 718. 1858) nennt im Gegensatz zu den ursprünglichen Gesteinen diejenigen metamorph, welche seit ihrer ersten Festwerdung Veränderungen entweder ihrer Masse oder ihrer Struktur oder auch beider erlitten haben. Er ist jedoch geneigt nur die eigentlichen Umbildungen als Metamorphismus zu bezeichnen und die durch Einwirkung der Atmosphären, der Gewässer und vulkanischen Exhalationen verursachten, mehr oberflächlichen Zersetzungen (Dialysen) auszuschliessen; Dialyse und Metamorphismus zusammen geben die Alläosologie. Daubrée (*Études et expériences synthétiques sur le métamorphisme et sur la formation des roches cristallines in Mém. présentés à l'Acad. des sciences* XVII. 1860) begreift unter der Lehre vom Metamorphismus die Lehre von dem Antheil, welchen bei der Bildung der festen Erdrinde das Wasser und das Feuer gehabt hat. Da sich so häufig die Wirkung beider neben einander zeigt, so fragt es sich, ob beide Agentien gleichzeitig oder nach einander thätig waren. Die Reactionen des Erdinnern gegen die Oberfläche treten in den Thermen, den Vulkanausbrüchen, den Erdbeben täglich hervor; das Hervorbrechen der Eruptivgesteine, die Hebung der Bergketten sind weitere Beweise derselben. Aber außerdem giebt es noch derartige Reactionen, welche nur langsame, verborgene, der unmittelbaren Beobachtung wegen der Tiefe entzogene Veränderungen hervorgebracht haben und ohne Zweifel noch hervorbringen. Wahrscheinlich nehmen diese Veränderungen mit der Tiefe zu, so daß sie endlich dort überwiegend werden.

Daubrée zieht daher die Verwitterung, die Zersetzung und die Wirkung der Thermen in den Kreis seiner Untersuchungen über Metamorphismus. Nach seiner Angabe hat zuerst Élie de Beaumont den normalen oder allgemeinen Metamorphismus vom anormalen, speciellen oder Kontaktmetamorphismus geschieden. Daubrée nennt den ersteren *Métamorphisme régional*, den letzteren *Métamorphisme de juxtaposition*.

Die Veränderung, welche bei diesem das Eruptivgestein erfährt, nannte Fournet (1847 Bull. géol. (2). 4. 243) Endomorphismus, die auf das durchbrochene Sedimentgestein ausgeübte Veränderung Exomor-

phismus. Virlet bezeichnet 1844 (Bull. géol. (2) 4. 845) als *Roches d'imbibition* die schiefrigen Gesteine, welche in Folge der Durchdringung mit eruptiven Serpentin- oder Feldspathmassen ihr ursprüngliches Ansehen verloren haben und jenen Eruptivgesteinen ähnlich geworden sind, ohne dafs dabei immer Schmelzung stattfand. Sie gehen einerseits über in das Eruptivgestein, andererseits in die schiefrigen Gesteine; dahin rechnet er gewisse Ophicalcite, den *Verde antico* u. s. w.¹⁾

Haughton²⁾ unterscheidet Hydrometamorphismus und Pyrometamorphismus. Bei dem ersteren werden ursprünglich geschmolzene und in diesem Zustande als Gänge und Adern in Vorhandenes ergossene Gesteine später in Bezug auf spezifisches Gewicht und Anordnung der Mineralien verändert, und zwar durch Wasser, das bei hoher, aber nicht zum Schmelzen des Gesteines hinreichender Temperatur einwirkt. Bei dem Pyrometamorphismus werden ursprünglich sedimentäre geschichtete Bildungen durch Hitze verändert und in die sogenannten metamorphischen Gesteine umgewandelt. Granit, obwohl im Allgemeinen ein hydrometamorphisches Gestein, entsteht bisweilen auf pyrometamorphischem Wege. Dahin gehört der Granit von Donegal (Irland), Norwegen und vielleicht der schweizer Alpen.

Nach Delesse (Ann. min. (5) 12. 1857, 13. 1858 und *Mém. prés. à l'Acad. des sciences* XVII 1861) charakterisirt sich der normale Metamorphismus, der oft von unsichtbaren Ursachen herrührt und sich in grossem Maafsstabe verbreitet, durch die mehr oder weniger vollständige Entwicklung der krystallinischen Struktur; dabei wird das Amorphe krystallinisch, neue Mineralien entstehen. Seine Ursachen sind hohe Temperatur, Wasser, Druck und vorzüglich Molekularwirkungen. Alle Gesteine können ihm unterliegen, sie werden dabei bis zu einem gewissen Grade plastisch. Am stärksten sind die ältesten Gesteine verändert. Der Kontaktmetamorphismus, welcher von zufälligen, aber sichtbaren Ursachen herrührt und meist nur auf kleine Entfernungen wirkt, bezieht sich zunächst auf den Fall, wo das eine Gestein eruptiv ist und nicht in unmerklicher Weise in das durchbrochene Gestein übergeht, umfaßt aber

¹⁾ Über die *Roches d'imbibition* s. Fournet in *Géol. lyonnaise*. 375. 1861.

²⁾ *Journ. geol. Soc. of Dublin* IX. 335. 1862.

Abhdl. der phys. Kl. 1871. Nr. 2.

sowohl die Metamorphosen, welche im Augenblick des Ausbruches entstehen, als die, welche später eintreten können, und zwar sowohl die Veränderungen in der physikalischen als in der chemischen Beschaffenheit. Ähnlich werden nach Delesse die Wirkungen zweier eruptiven oder zweier sedimentären Gesteine auf einander sein. Seine reichen Beobachtungen unterstützt Delesse durch zahlreiche Analysen.

Mit Recht legt im Gegensatz zu dieser Ansicht Naumann Nachdruck auf die erst nach der Festwerdung ausgeübten Veränderungen.

Nach Naumann (l. c. ed II. 1. 718) ist der normale Metamorphismus eine so allgemeine Erscheinung, daß er oft gar nicht beachtet wird. Er ist die durch eine ganz allgemein wirkende Ursache hervorgebrachte Umbildung eines Gesteins, welche dasselbe in seiner ganzen Ausdehnung betroffen hat und einer gesetzmäßigen und nothwendigen Phase in der allmählichen Entwicklung des Gesteins entspricht. Sand und lose Gerölle, welche durch Cement zu Sandstein und Conglomerat umgebildet sind; Kalkschlamm, welchen eine durchgreifende innere Umkrystallisirung zu dichtem Kalkstein macht; stark comprimirte Pflanzenmassen, welche durch einen still und langsam vor sich gehenden Proceß zu Kohle oder Anthracit werden; — alle diese Massen und viele andere sind Belege für die Wirksamkeit des normalen Metamorphismus, der zu einer neuen, oft stärker als vorher krystallinischen Mineralbildung führt.

Gegen den Ausdruck nothwendige Phase in der allmählichen Entwicklung eines Gesteins lassen sich nicht ungegründete Bedenken erheben. Wenn nothwendig nichts bezeichnen soll, als unsere Erkenntniß des causaln Zusammenhanges zwischen dem Verändernden und der von ihm ausgeübten Wirkung, so ist er gestattet. Aber nicht jeder Sand muß durch ein eingeführtes Bindemittel Sandstein werden, er wird in dem Zustande des Sandes so lange verharren bis Bindemittel herbeigeführt ist, und wiederum wird jeder so entstandene Sandstein so lange ein festes Gestein bilden bis das Bindemittel wieder aus ihm fortgeschafft ist. So wenig aber jeder Sand Sandstein werden muß, so wenig muß jeder Sandstein wieder Sand werden. Das Gesetzmäßige liegt nur in der Wiederholung derselben Wirkung bei Eintritt derselben Ursache. Ebenso erscheint die Einführung des Begriffes Entwicklung, der aus dem Einzelwesen der organischen Welt hergenommen ist, nicht unbedenklich. Während dort

der Verlauf ein cyclisch vorgeschriebener, regelmässig und nothwendig bei jedem Individuum wiederkehrender ist, wird bei den Gesteinmassen, wenn man sie einmal als Individuen betrachten will, die Veränderung, die Erlangung neuer Eigenschaften je nach Umständen sehr verschiedenen Ablauf nehmen, dessen causalen Zusammenhang wir einsehen können, aber nicht die Nothwendigkeit des Zutretens der verändernden Ursachen. Man wird kaum von einer heutigen Torfmasse sagen dürfen, dass sie einst sich zu Steinkohle entwickeln werde, da sich in dieser Umbildung weder eine Steigerung noch eine Abnahme der Eigenschaften erkennen lässt, sondern nur eine Veränderung.

Als wichtigste Formen des abnormen oder lokalen, durch nachweisliche Ursachen herbeigeführten Metamorphismus unterscheidet Naumann: 1) den durch Verbrennungsprocesse, 2) durch vulk. Gase und Dämpfe, 3) durch Contact pyrogener Gesteine¹⁾, 4) durch Imprägnation mit Wasser und wässrigen Lösungen herbeigeführten; ferner unterscheidet er die Verwitterung, d. h. die Einwirkung von Wasser, Sauerstoff und Kohlensäure, dadurch von seinem Metamorphismus auf hydrochemischem Wege (4), dass mit der Verwitterung Verlust an Substanz, Consistenz und Form verbunden ist. Es erscheint Naumann (l. c. I, 692) zweckmässig von den metamorphischen Gesteinen, bei welchen das ursprüngliche Gestein, die Übergänge und die metamorphosirende Ursache gekannt sind, diejenigen Gesteine als kryptogene abzutrennen, bei welchen diese Kenntniss fehlt, demnach Gesteine von zweifelhafter Entstehung (l. c. I. 708) als kryptogen zu bezeichnen. Dahin rechnet er gewisse Gneifse, die Mehrzahl der Glimmerschiefer, den krystallinischen Thonschiefer, die Hornblende-, Chlorit- und Talkschiefer, die mit Glimmer, Feldspath oder Hornblende gemengten Quarzite und die Kalke der krystallinischen Schiefer.

Ich habe schon früher versucht die einfache Verwitterung, d. h. die Einwirkung von Wasser, Sauerstoff und Kohlensäure, von der complicirten Verwitterung zu trennen, welche durch Einwirkung der mittelst der Verwitterung gebildeten Lösungen bedingt wird, dabei das Verhalten des Gelöseten und des Restes unterschieden und auf den wesentlichen

¹⁾ *Métamorphisme par incandescence* Boubée 1844.

Unterschied in dem Verhalten der thonerdehaltigen und thonerdefreien Mineralien hingewiesen. Ein Unterschied, der um so bedeutsamer wird, als der Rest der thonerdefreien Mineralien wesentlich alkalifrei ist; für den Anbau von Erheblichkeit. Unter Zersetzung suchte ich die Veränderungen zusammenzufassen, welche stärkere, dem Erdinnern entstammte Agentien, oft durch Wasserdampf und höhere Temperatur unterstützt, bewirken. Dahin gehören Bunsen's pneumatolytische und zeolithische Metamorphosen (Pogg. Ann. 83. 1851). Nachdem Daubrée (*Bull. géol.* (2) 16. 562. 1859 und 18. 109. 1861) gezeigt hatte, daß Zeolithe sich schon bei einer Temperatur von 60—70° (*Plombières*), selbst von 46° (*Luxeuil*) bilden, berechtigt ihr sonstiges Vorkommen zu dem Schluss, daß sie schon bei gewöhnlicher Temperatur entstehen können. Die durch Zersetzung entstandenen Lösungen üben ähnliche Wirkungen aus wie die durch Verwitterung und complicirte Verwitterung gebildeten. Alle diese Vorgänge sind chemische Proceße, deren Verlauf in den meisten Fällen klar vorliegt und z. Th. durch das Experiment nachgeahmt und wiederholt ist.

Auf die Verwitterung, Zersetzung und auf Naumann's normalen Metamorphismus, soweit er von bekannten Ursachen auf bekannte Gesteine ausgeübt wird, ist hier gar keine, auf den abnormen Metamorphismus nur so fern es seine Erkenntniß überhaupt und die Weite seiner Wirkungssphäre betrifft, Rücksicht genommen worden. Es handelt sich vor allen um die kryptogenen Gesteine Naumann's.

Der Darlegung mag eine historische Übersicht der Lehre vom Metamorphismus vorausgehn, obwohl Skizzen derselben schon von Coquand, Studer, Naumann, Daubrée, Zirkel vorliegen, wenn auch nicht bis in die neueste Zeit fortgesetzt. Die chronologische Anordnung ist soviel als möglich beibehalten und Vollständigkeit angestrebt, wenn auch vielleicht nicht überall erreicht.

Die Lehre vom Metamorphismus konnte erst sich bilden, seitdem man über die Entstehungsweise der Gesteine nach positiven Beobachtungen und daraus über die Entstehung der Erde begründete Ansichten aufzustellen vermochte. Die Mineralogie, die an deren Fortschritt gebundene Petrographie, die geologische Beobachtung mußten einen gewissen Höhepunkt erreicht haben, die Hülfe der Chemie mußte der Mineralogie ge-

wörden sein, bevor man an die Stelle der rein hypothetischen Behauptung den Induktionschluss setzen konnte. Erst nach Werner, Füchsel, Saussure, Pallas, Scheele, Lavoisier u. s. w. war diese Möglichkeit gegeben. Mit der Erkenntniß der normalen Lagerungsfolge begann der Versuch einer chronologischen Geschichte der Erde, mit der Erkenntniß des Stofflichen die Frage nach dem Wie, nach der Entstehungs-, und Bildungsgeschichte. Die Induktion aus dem, was man geschehen sah, ward begreiflicher Weise, neben dem Experiment, so weit es ausführbar war, die Brücke zum Begreifen des Vergangenen. Liefs sich diese aus dem heutigen Geschehen nicht finden, selbst nicht mit Zuhülfenahme der durch die Induktion sicher festgestellten, älteren Zeiten angehörigen Vorgänge, reichte die Induktion nicht zu, so mußte die Hypothese aushelfen. Je weiter zurück in der Zeit die zu erklärenden Vorgänge liegen, je mehr die Gebilde abweichen von dem heute Entstehenden, je schwieriger und verwickelter wird die Induktion, und je vorsichtiger wird sie zu Werke gehen müssen, aber das erscheint nicht als hinreichender Grund um alle Discussion über die Anfänge der Erde abzuschneiden. Die Fortschritte der Naturwissenschaft gestatten der geogenetischen Lehre eine gröfsere Wahrscheinlichkeit zu geben als jemals vorher. Früher ein Theil des religiösen Mythos, dann ein Stück der Philosophie, später der Knechtschaft der mittelalterlichen Theologie verfallen, aus welcher sie dann die neuere Philosophie befreite, ist sie jetzt induktiver naturwissenschaftlicher Behandlung zugänglich.

Es ist ein eigenes Geschick, dafs die erste auf positive geologische Beobachtung gestützte Theorie der Erde, die von J. Hutton, ihn nur bis zu einer gewissen Stelle führen konnte; bis dahin, wo der leitende deduktive, teleologische Gesichtspunkt das Weiter verbot, so dafs er zur Lehre vom Metamorphismus gedrängt wurde. Später spiegelt sich in dieser die weitere geschichtliche Entwicklung der Geologie ab, in so fern jeder neue, in die Wissenschaft eingeführte Gedanke, der anscheinend eine Reihe bis dahin unerklärlicher Thatsachen erläutern konnte, in die Lehre vom Metamorphismus aufgenommen wird, — oder der rein beschreibende Beobachter verzichtet auf eine genetische Theorie überhaupt. Neben der Annahme einer metamorphischen Entstehungsweise der krystallinischen Schiefer hat sich schon früh die Ansicht geltend gemacht,

die krystallinischen Schiefer seien die ursprüngliche Erstarrungsrinde der Erde, eine Ansicht, deren Gründe und Wahrscheinlichkeit später darzulegen sind.

Es lohnt sich wohl, das System etwas genauer anzusehen, welches von allen Seiten als Ausgangspunkt der Lehre vom Metamorphismus bezeichnet wird. Schon deshalb, weil darin die Anfänge zu Lehren liegen, deren weitere Ausbildung z. Th. noch heute die geologischen Ideen beherrscht. Wird eine gerechte Würdigung rückliegender Anschauungen schon aus dem Grunde schwierig, weil es nur mühsam gelingt sich die wissenschaftliche Atmosphäre jener Zeiten klar vorzustellen, so gilt dies für James Hutton doppelt. Playfair bemerkt in der Vorrede zu seinen *Illustrations of the Huttonian theory* (1802, französische Übersetzung von Basset 1815), „die Dunkelheit der Schriften Hutton's ist der Grund der geringen Aufmerksamkeit, welche man diesen scharfsinnigen und eigenthümlichen Speculationen zugewendet hat.“ In der That sind neben dem Original (*Theory of the earth*, zuerst 1785 in der *Royal Society of Edinburgh* gelesen, in deren Transactions I. 209—304. 1788 erschienen, später erweitert in zwei Bänden 1795 herausgegeben) die Illustrationen Playfair's für das Verständniß sehr nützlich. Viel bekannter und verbreiteter als das Original, werden sie viel öfter benutzt als dieses. Aber sie geben mehr als das Original, sie sind durch neuere Erfahrungen in manchen Punkten ergänzt und verwischen daher in Etwas den Standpunkt Hutton's. Von den vier auf dem Titel der Theory angegebenen Theilen enthalten die beiden Bände nur zwei, der Rest liegt als Manuscript in Edinburg. Die Worte am Ende des zweiten Bandes: „Es soll jetzt zunächst der mineralogische Theil der Theorie untersucht und es sollen die Einwürfe widerlegt werden, welche sich aus besonderen Erscheinungen ergeben“ erlauben einen Schluß wenigstens auf einen Theil des Inhaltes.

Hutton geht von folgender Betrachtung aus: die Erde ist eine weise eingerichtete Maschine von eigenthümlichem Bau, welcher sie zu einem bestimmten Zweck geeignet macht, zu dem Zweck nämlich bewohnbar zu sein für den Menschen und für Organismen überhaupt. „Die Erde ist sichtlich für den Menschen gemacht.“¹⁾ Daher muß

¹⁾ Theory of the earth I. 17. The globe of this earth is evidently made for man.

das Gestein zerfallen (*decay*) zu einem für Organismen brauchbaren Boden, daher wird der gesammte Detritus in's Meer geschafft, dort umgewandelt und wieder auf die Oberfläche gebracht, um den Kreislauf von neuem zu beginnen. Die Zerstörung der jetzigen Continente bereitet die künftigen vor. Die Umwandlung des Detritus geschieht durch die hohe Temperatur des Innern, durch das unterirdische Feuer¹⁾, mag dessen Quelle sein, welche sie wolle.“ Das unterirdische Feuer spielt in dem Haushalt der Erde eine so wesentliche Rolle, und doch ist es bis jetzt nicht in die Theorien der Erde aufgenommen. Es war vor und seit der Bildung der heutigen Erde vorhanden, besteht noch jetzt, sogar im Überflufs für die Constitution der Erde, aber sehr weise ist gegen alle aus diesem Überschufs folgende, das System störende Wirkungen ein geeignetes Heilmittel eingeführt.²⁾ Das unterirdische Feuer ist ein neuer Grundsatz, der als wesentlich in die Theorie der Erde eingeführt werden mufs.³⁾“

Überall wird das Land, das harte und feste Gestein allmählich, wenn auch mit der äufsersten Oekonomie⁴⁾, vom Wasser und den Atmosphärien mechanisch und chemisch zerstört; das so entstandene lose Material (Steine, Kies, Sand, Erden, Thone⁵⁾) wird schliesslich in die Tiefen des Meeres geführt, ebenso der für die Organismen allein brauchbare, aus der Zerstörung des Festen entstandene Boden (*soil*). Durch die fortschreitende Zerstörung des Festen würde der Zweck der Erde, bewohnbar zu sein für Menschen und Organismen, verfehlt⁶⁾ werden, wenn

ib. I. 4. Our sense of wisdom in its formation must depend of its fitness for this purpose (to be a habitable world) cf. I. 6. 223. II. 184. 546.

1) I. 239: Internal heat, subterraneous fire or a certain cause of fusion, by whatever name it shall be called, and by whatever means it shall have been procured.

2) I. 244. cf. I. 12.

3) I. 280 und 12.

4) II. 183. 197. The land is naturally wasted, though with the utmost oeconomy. cf. II. 197.

5) II. 95. cf. I. 15. The destruction of our land is inevitable cf. II. 97., I. 373. gradual decay of solid land. II. 557. necessary principle of dissolution and decay und sonst an vielen Stellen.

6) Daher keine große Flut, bei welcher ohne ein Wunder das ganze System lebender Wesen zu Grunde gegangen wäre I. 273 und II. 184.

es nicht einen Compensationsproceß¹⁾ gäbe, welcher die Abnutzung der Maschine ausgleicht. Wir sehen aus den eingeschlossnen marinen Resten, daß $\frac{9}{10}$ oder $\frac{99}{100}$ der uns bekannten festen Erdschichten auf dem Meeresboden gebildet sind²⁾, und zwar aus den losen, dorthin geführten Materialien. Dort werden sie, weit ab von dem Bereich unserer Beobachtungen³⁾ umgeändert (*changed*), sie werden fest, zu Gesteinen (*consolidated*), ihre Zwischenräume werden ausgefüllt, die poröse Struktur wird durch Schmelzung beseitigt, Bindemittel und fremde Substanzen werden eingeführt im geschmolzenen Zustand oder aus condensirten flüchtigen Substanzen⁴⁾, die Schichten werden mehr oder weniger erweicht oder geschmolzen und gelangen endlich durch die Ausdehnung (*expansion*), welche die unterirdische Hitze auf sie ausübt, auf die Oberfläche. Im Meeresgrunde unter Beihülfe eines ungeheuren Druckes⁵⁾ wird durch das unterirdische Feuer und nur durch dieses das ursprünglich lose Material in harte und feste Schichten umgeändert. Alle Mineralien sind wirklich geschmolzen, alle lassen die Einwirkung der hohen Temperatur und des hohen Druckes erkennen: die Salzlager, die Kalke mit ihren „Verzahnungen“ (*indentation*)⁶⁾, die Feuersteine⁷⁾, die Kohlen⁸⁾, die Bergkrystalle mit Wassertropfen⁹⁾. Zwar ist es schwer von diesen Operationen eine deutliche Vorstellung zu gewinnen, weil wir sie auch nicht annähernd

1) II. 221. cf. II. 550.

2) I. 26. cf. I. 216 u. fgl.

3) II. 97. The strata are consolidated in the mineral regions far beyond the reach of human observation. cf. I. 389 Changed by operations proper to the mineral regions.

4) I. 49. Foreign matter may be introduced into the open structure of strata in form of steam or exhalation, as well in the fluid state of fusion.

5) I. 140. Without attending to this great principle (such compression as shall prevent the decomposition of the constituent substances, by the separation of the more volatile from the more fixed parts) in the mineralizing operations of subterraneous fire it is impossible to conceive the fusion and concretion of those various bodies, which we examine when brought up to the surface of the earth. cf. I. 94.

6) I. 76, 101, 138. Brought into fusion by subterraneous heat without suffering calcination. cf. I. 159.

7) I. 58.

8) I. 612. The production of coal from vegetable bodies — is made by heat and by no other means, as far we know.

9) I. 93.

nachahmen können, aber man muß doch aus den Wirkungen, der Schmelzung der Mineralien, der Bildung von Spalten und Gängen¹⁾, auf ein unterirdisches Feuer schließen. Es hebt, zerbricht, faltet, dislocirt durch die von ihm bewirkte Ausdehnung (*expansion*) die nothwendiger Weise ursprünglich horizontalen oder doch fast horizontalen²⁾, auf dem Meeresboden gebildeten Schichten und bringt sie endlich, je nach dem verschiedenen Material und dem Grade der Einwirkung des unterirdischen Feuers zu verschiedenen Gesteinen umgewandelt, auf die Oberfläche. Zu diesem Zweck ist das unterirdische Feuer vorhanden, im Überflufs damit ein Zukurzkommen vermieden werde, aber es sind auch Mittel ausgedacht, den Überschufs abzuleiten³⁾. Das sind unsere Vulkane. Sie dienen, ohne Selbstzweck zu sein, dazu, die unnöthige Hebung des Landes und die gefährlichen Wirkungen der Erdbeben zu hindern.

Geschmolzene Massen, den Laven der Vulkane analog, haben sich als unterirdische Laven⁴⁾, als nicht ausgebrochene Laven⁵⁾ in die noch untermeerischen Ablagerungen ergossen und sich, bald der Schichtung parallel, bald als mehr oder weniger vertikale Gänge (*dykes*), in die Schichten eingedrängt, sie hebend und die Lagerung störend, und zwar entweder während die Schichten noch auf dem Meeresboden lagen oder während der Vorgänge, welche die Hebung des Landes über den Meeresspiegel bewirkten.⁶⁾ Bei der späteren Hebung des Landes finden wir

1) Die Erzgänge entstehen durch Dämpfe, welche sich gelegentlich in den Spalten des Gebirges verdichten (I. 162). Sie üben dabei eine ungeheure Kraft aus und bewirken Dislokationen und Zerbrechungen (I. 132 und 135). Oder die Erzgänge entstehen durch Einpressen flüssiger Massen von unten her (I. 394); cf. II. 543.

2) I. 127. II. 544.

3) I. 146. A volcano should be considered as a spiracle to the subterranean furnace, in order to prevent the unnecessary elevation of land and fatal effects of earthquakes; and we may rest assured, that they, in general, wisely answer the end of their intention, without being in themselves an end.

4) I. 154. These subterraneous lavas. cf. II. 416 über die Formen derselben nach Abwitterung der Umgebung.

5) I. 160. Unerupted species of lava.

6) II. 508. Unerupted lavas, which had been made to flow among the strata of the earth, when either at the bottom of the sea, or during those operations, by which this land was erected above the level of the Ocean; cf. II. 520: Granite raising up the strata and bringing them to the light. Ferner „Monts granit“ — invade in a fluid state the

Abhdl. der phys. Kl. 1871. Nr. 2.

diese in das schon festgewordene und erhärtete Gestein eingedrungenen Massen entweder in die nicht gestörten Schichten einfach eingeschaltet oder als Gänge, welche die Schichten gestört und gebrochen haben.

Zu den unterirdischen Laven¹⁾ gehören die Trappe, der Whinstone, der Basalt, die Porphyre, die Granite, welche alle in einander Übergänge bilden²⁾. Als Beweis für die hohe Temperatur der unterirdischen Laven dienen die in der Nähe des Whinstones verkoakten Kohlenlager³⁾ und die zu Coak oder Cinder veränderten Steinkohlen, welche als Einschlüsse in Whinstone vorkommen⁴⁾. Andere Einschlüsse in den unterirdischen Laven sind vielfach geändert, gehärtet und geschmolzen.⁵⁾

Demnach hat Alles denselben Ursprung, Alles, was wir jetzt von festen Theilen der Erde sehen, ist früher auf dem Meeresboden gewesen, Nichts ist in seinem ursprünglichen Zustand⁶⁾, Alles hat Änderungen erlitten, Alles ist in einem fortdauernden Kreislauf (*salutary circulation*). Aber es ist auch Stabilität in den Gang der Maschine gebracht; für die gegenwärtige Ordnung der Dinge (*present order of things*) ist weder ein Anfang abzusehen noch ein Ende⁷⁾. Die Maschine ist vollkommen, ihres Schöpfers würdig. Sie bewahrt sich selbst gegen

strata from below, when they were under water; and which masses had served to raise the country above the level of the Ocean; cf. I. 152: The strata appear to have been broken and the two correspondent parts of those strata are separated to admit the flowing mass of whinstone; cf. I. 153: The strata are not broken, the whinstone is interjected in form of strata, having various degrees of regularity and being of different thickness.

¹⁾ Da sie unter großem Druck erstarrt sind, so können sie (und ihre Mandelsteine) Zeolithe und Kalkspath enthalten, welche in den Laven der Vulkane nicht vorkommen I. 156. Die bei dem Aufhören des Druckes aus dem Kalk entweichende Kohlensäure bewirkt das Aufkochen (*ebullition*) in den Vulkanen und die Bildung der Bimsteine und Aschen. Der Kalk bedingt die Verglasung. I. 157.

²⁾ I. 317. They graduate into each other and may be considered as the same.

³⁾ I. 604. burning without smoke. Wohl der erste Nachweis des Kontaktmetamorphismus durch hohe Temperatur des Durchbrechenden.

⁴⁾ I. 611. In the harbour of Ayr a whinstone dyke traverses the coal strata and includes some of that substance in the state of coaks or cinder.

⁵⁾ I. 158. And this had been performed by heat or fusion.

⁶⁾ I. 234. There is nothing to be found in an original state, so far as we see, in the construction of this earth; cf. I. 373. II. 157. 560.

⁷⁾ I. 200. We find no vestige of a beginning, no prospect of an end; cf. II. 469.

jeden Unfall, welcher ihren Zweck vereiteln könnte¹⁾, sie arbeitet stätig und gleichmäfsig mittelst des Systems von Zerfall und Erneuerung²⁾ (*system of decay and renovation*), sie hat immer die Kraft der Jugend und die Vollkommenheit des reifsten Alters³⁾. So ist also die Theorie der Erde auf die gröfsten Katastrophen gegründet, welche die Erde treffen können, nämlich Hebung vom Meeresboden aus bis zu den höchsten Theilen der Continente, und Wiedereinsenken, Begrabenwerden unter das Wasser, aus welchem die Erde aufgestiegen ist.⁴⁾

Über den Zustand der Dinge, bevor die jetzige Erde auf dem Meeresboden gebildet wurde und sich dann aus dem Meere erhob, spricht Hutton sich folgender Maafsen aus. „Ich erkühne mich nicht, den Anfang der Dinge zu beschreiben, ich nehme sie, wie ich sie jetzt finde⁵⁾. Von dem Zustande ausgehend, in welchem die festen Theile der Erde jetzt gefunden werden, habe ich Zustände, in denen sie vorher gewesen sein müssen, zu verfolgen gesucht⁶⁾. Die Beschaffenheit des jetzigen Landes lehrt, dafs es aus der Zertrümmerung eines ähnlichen hervorging; das Thierleben in der alten See war nicht verschieden vom jetzigen⁷⁾; die Steinkohle zeigt, dafs eine Pflanzenwelt vorhanden war.⁸⁾ Es mag unendliche Zeit gedauert haben, ehe unsere jetzigen Continente entstanden, eine ebenso unendliche Zeit, bis die früheren Continente fähig wurden

1) I. 275. That wise construction, by which this earth is made to answer the purpose of its intention and to preserve itself from every accident by which the design of this living world might be frustrated.

2) II. 563.

3) II. 539.

4) II. 445. cf. I. 198. We suppose a due proportion to be always preserved of land and water upon the surface of the globe, for the purpose of a habitable world, such as this which we possess. We thus, also, allow time and opportunity for the translation of animals and plants to occupy the earth.

5) I do not pretend to describe the beginning of things; I take things such as I find them at present. I. 173.

6) It is from this actual state in which the solid parts of the earth are found, that I endeavoured to trace back the different states in which they must have been. I. 234.

7) Humphry Davy's Kritik der Ansichten Hutton's über die Bildung der Sekundärablagerungen in *Consolation of travel*.

8) I. 175 und 195.

Organismen zu beherbergen. Es folgt auch, daß die von uns bewohnte Welt zusammengesetzt ist aus Materialien nicht der Erde, welche der jetzigen unmittelbar vorherging, sondern der Erde, welche wir von der jetzigen ausgehend, als die dritte betrachten¹⁾. Sie ging nämlich dem Lande voraus, welches sich, während unser jetziges Land noch im Ocean lag, schon über dem Meere befand. So folgt eine Reihe von Welten aufeinander, und es ist vergeblich weiter rückwärts zu blicken über den Ursprung der Erde, rückwärts hinaus jenseit des nothwendigen Fortganges der gegenwärtigen Ordnung²⁾. So kommen wir zu einer Periode, hinter welcher wir keine andere entdecken können. Das ist die Grenze unserer rückblickenden Anschauungen³⁾. Eine Theorie der Erde, welche Wahrheit anstrebt, kann nicht weiter zurückgehen⁴⁾. Und wenn wir vorausblicken, wie können wir das Ende des weisen Systems absehen, welches so vollständig die Zwecke seines Schöpfers erfüllt⁵⁾?

Über die sogenannten primitiven Gesteine äußert sich Hutton in folgender Weise. „Man hat Granit, Gneifs, Glimmerschiefer als primitiv ausgegeben, als Gesteine, welche einen anderen Ursprung haben als die übrigen. So weit sie geschichtet sind, liegt in der Schichtung (*stratification*) ein Beweis für den Absatz aus Wasser⁶⁾. Wofern Granit massig ist⁷⁾ und ungeschichtet ähnlich wie Whinstone, Trapp, Basalt, ist er wie diese „im Innern der Erde geflossen und durch Änderung des Platzes sichtbar geworden“⁸⁾. Granitgänge sind von der nahen Hauptmasse in die geschichteten Schiefer als unterirdische Lava eingedrungen⁹⁾. Die wellenförmige (*waved*) Struktur der alpinen Schiefer zeigt, daß diese Gesteine, obwohl sie nicht in Flufs waren, doch solchen Grad von Weiche

1) I. 199.

2) I. 277. Necessary progress of actual things. cf. II. 257.

3) I. 223 und 224.

4) I. 281. This present order alone is what we have to reason upon.

5) II. 564. „limitation of our retrospect as well as prospect.“ cf. I. 224.

6) I. 316.

7) I. 316. Granite in mass or irregular in its construction.

8) I. 317. Having flowed in the bowels of the earth and thus been produced by the change of place.

9) I. 318.

erreichten, daß die ursprünglich graden Schichtungslinien in die welligen, bisweilen sehr stark gekrümmten Linien umgeändert werden konnten¹⁾. Primitive Gesteine giebt es überhaupt nicht; alle Gesteine, die Granite, die verschiedenen Schiefer u. s. w. entstanden in der angegebenen Weise²⁾. Auch nachdem Hutton in Glen Tilt Granitgänge beobachtet hatte (1785), hielt er an dieser Ansicht fest (*Trans. R. Soc. Edinb.* III. 1794).

Als Gründe für die Existenz des primitiven Gebirges werden angegeben: 1) der Mangel an Versteinerungen in den Kalken des primitiven Gebirges, 2) der Mangel an Schichtung, 3) die Vertikalstellung der geschichteten Massen³⁾. Enthalten die sogenannten primitiven Gesteine wirklich keine marinen Reste, so beweiset das nicht, daß sie nicht im Meer gebildet sein können. Denn die Spuren der Organismen können durch manche nachfolgende Operationen der Mineralregion verwischt sein, und daß solche Operationen, vielleicht mehr als ein Mal in demselben Gestein, vorgegangen sind, geht aus dem jetzigen Verhalten dieser Massen zweifellos hervor⁴⁾. Außerdem wechsellagern (*we find alternated*) Sandsteine mit organischen Resten oft mit solchen, welche keine organischen Reste enthalten⁵⁾. Besteht auch für die Reihenfolge der Dinge und für die Circulation der Materie auf der Erdoberfläche eine bestimmte Ordnung, so können doch auch heftigere Zerstörungen unsere Continente treffen, welche wie auf Pfeilern ruhen. Die unteren Massen können öftere und stärkere Veränderungen erfahren haben; ihre Struktur, ihre Lage, ihre Härte kann in höherem Grade verändert sein als gewöhnlich⁶⁾. Die stärker veränderten Schichten sind gewöhnlich stark geneigt, sie stehen oft vertikal. Hutton unterscheidet diese Bildungen als *alpine strata, schistus mountains, elevated country, primary mountains*⁷⁾ von dem *low oder flat country, den secondary strata*. Als Drittes kommt hinzu, was in beliebiger

¹⁾ I. 318.

²⁾ I. 319. Nature has formed the granite upon the same principle with that of any other consolidated stratum. cf. I. 323 und 449.

³⁾ I. 320.

⁴⁾ I. 325.

⁵⁾ I. 364.

⁶⁾ I. 371—376. 389.

⁷⁾ I. 423. 427—438. II. 47.

Form oder Qualität später die Bildungen durchsetzt, sei es als Basalt, Porphyr, Granit oder nur als ein Metall, eine kieselige Substanz, ein Spath¹⁾. Manche Stücke des festen Erdkörpers können im Vergleich mit anderen weniger veränderten als früher gebildet betrachtet werden, als primär im Gegensatz zu den secundären²⁾; aber alle sind auf dieselbe Weise gebildet. Die Grenzfläche der gehobenen Schichten wurde vom Meer abgewaschen, denn die Hebung geschah ja unter dem Meeresspiegel, und nun konnten sich horizontale Schichten später auf die gehobenen auflegen. Oder die gehobenen Schichten konnten nach ihrer Hebung über den Meeresspiegel der Verwitterung unterliegen und wieder unter-sinken, wo dann die Auflagerung neuer horizontaler Schichten erfolgte³⁾. So liegen daher horizontale Schichten auf den gehobenen und oft Conglomerate und Puddingsteine an der Grenze der gehobenen und gefalteten alpinen Schiefer und der horizontalen *low country strata*. Aber weder der Mangel an Schichtung, eine Wirkung des stärkeren Schmelz-processes, noch die Vertikalstellung der geschichteten Massen, ein Resultat der stärkeren Hebung, berechtigen für das sogenannte Urgebirge einen anderen Ursprung anzunehmen als für das übrige Gebirge. „Alles was wir an festen Theilen auf der Erde sehen, mit Ausnahme der lockeren, durch das Wasser jetzt entstehenden Absätze, ist auf dem Meeresboden gebildet, dort verändert und dann an das Tageslicht gehoben. Die der Zeit nach ältesten Bildungen mag man primär nennen, die folgenden secundär⁴⁾, aber primitive Gebirgsarten giebt es nicht.“

1) I. 597. Thirdly, that which has been of posterior formation to the strata which it traverses, in whatever shape or quality; whether as a mountain or only as a vein; whether as a basalt, a porphory or a granite, or only as a metal, a siliceous substance, or a spar.

2) I. 323. 371.

3) I. 435. 449. 453. 470.

4) Über die von Pallas (*Observations sur la formation des montagnes 1777*) als tertiär bezeichneten Ablagerungen (what, according to the present fashion of mineral philosophy, he has termed „*montagnes primitives, secondaires et tertiaires*“ I. 360), spricht sich Hutton dahin aus, daß die darin enthaltenen marinen Reste aus festen und ähnlich wie alle übrigen gebildeten Gesteinen ausgewittert sind und mit den Knochen und Skeleten der Landthiere zusammen vom Flußwasser gemischt wurden. Die tertiären Schichten von Pallas sind also Süßwasserabsätze und bilden keine Ausnahme von dem Gesetz.

Die auffallendste Erscheinung bei Hutton ist die starre Konsequenz in der Durchführung der von ihm angenommenen Grundsätze. Sie bringt ihn zu einer bisweilen durchaus scholastischen Behandlung des Gegenstandes. Fern davon, daß seine Theorie dem theologisch-orthodoxen Interesse dienen sollte — er mußte sich (I. 222) gegen den Vorwurf des Atheismus verwahren — ist der teleologische Gesichtspunkt¹⁾ der entscheidende und seine Methode wesentlich deduktiv²⁾. Hutton denkt von dem Experiment als Beweis für seine Theorie sehr gering. Er tadelt³⁾ „die Männer, welche über die großen Operationen im Mineralreich urtheilen, nachdem sie ein Feuer angezündet und auf den Boden eines kleinen Tiegels gesehen haben.“ Er glaubte nicht, daß eine Schmelzung des kohlsauren Kalkes unter Druck, wie seine Theorie sie verlangt und wie er sie voraussetzt, herstellbar sei; er verwarf den Vorschlag Sir James Hall's diesen Versuch anzustellen, der bei seinem nothwendigen Mißlingen die hinreichend festgestellten Sätze in Mißkredit bringen könne⁴⁾; der Beweis durch das Experiment schien ihm unnöthig. Dennoch enthält Hutton's Theorie, verglichen mit den früher vorhandenen⁵⁾, einen wesentlichen Fortschritt. Die Zeitgenossen nannten das neue System, im Gegensatz zu dem bis dahin fast allgemein geltenden neptunischen, das plutonische⁶⁾. Die Einführung des unterirdischen Feuers und des Druckes in die Geologie, ohne die Mitwirkung des Wassers auszuschließen, ist Hutton's Werk und sein großes unbestrittenes Verdienst, wenn er auch dem Entstehen auf nassem Wege ein zu kleines Gebiet anwies.

Die fast ängstliche Scheu den Anfängen der Erde nachzugehen.

1) I. 161. Gold und Silber findet sich nicht überall, da sie für ein bewohnbares Land nicht nöthig sind, aber Eisen kommt überall vor und oft in der Verschwendung, welche seinem Nutzen entspricht. cf. I. 11. „der Zweck von Elektrizität und Magnetismus in der Oekonomie der Erde ist noch nicht entdeckt.“

2) Die Theorie über den Granit war lange vorher fertig, ehe er die „*Instantia crucis*“ am Glen Tilt sah. Playfair Works IV. 73.

3) I. 251. cf. II. 367.

4) Sir James Hall. Transact. R. Soc. Edinb. VI. 74. 75. cf. Playfair IV. 62. „In his view of the matter no other proof (als die Theorie) seemed necessary.“

5) Hutton's Kritik derselben s. I. 271. Seine Widerlegung der Werner'schen Ansichten ist in England als „final extinction of that german romance“ bezeichnet worden.

6) Nach Playfair Works I. 145. rührt der Name von Kirwan her.

die gänzliche Negation der morphologischen Weltanschauung fällt um so mehr auf, als Kant schon 1755 „die Naturgeschichte und Theorie des Himmels“ veröffentlicht hatte und nach Playfair (Works IV. 61) die Theorie Hutton's erst nach 1760, sicher vor 1783 datirt. Wahrscheinlich kannte (l. c. 88) Hutton¹⁾ die Monadenlehre von Leibnitz; ohnehin konnten ihm nach seiner *Investigation*²⁾ of the principles of knowledge and of the progress of reason from sense to science and philosophy (3 Bde. 1794) derartige Ideen nicht fern liegen.

Hutton's Theorie ist die letzte der zahlreichen, vor dem Aufschwung der Naturwissenschaften entstandenen, geogenetischen Ansichten, aus welcher noch heute Anschauungen erhalten geblieben sind. Playfair wendet die Bezeichnung *osservatore oculatissimo* auf Hutton an, dessen geologische Untersuchungen in Schottland, England, Frankreich und in den Niederlanden den ausgezeichneten Beobachter beurkunden.³⁾

Er gebraucht das Wort metamorphosirt erst, nachdem er es (I. 501. 504) aus de Carosi (*Sur la génération du silex*. 1783) als „*dégrés de métamorphoses de la marne en silex*“ citirt hat, aber ihm scheint (I. 526) diese „*chymical transmutation*“ höchst unverständlich, und das Wort kehrt deshalb später nicht wieder. Wenn Patrin (*J. de physique* 1791) von einer inneren Arbeit (*travail interne*) redet, welche durch das in's Innere der Gesteine dringende und gewifs nicht reine Wasser bewirkt wird, so nennt Hutton (I. 535) diese Voraussetzung eine phantastische⁴⁾.

In die geltende Terminologie übertragen, sind also nach Hutton alle festen Gesteine ursprünglich Sedimente, welche durch hohe Temperatur unter hohem Druck und zwar auf dem Meeresboden verändert wurden, sie sind also sämtlich marin. Die Schmelzung kann dabei soweit gehen, daß die untersten Schichten feurig flüssig in die darüber liegenden, schon fest gewordenen eingetrieben werden, so daß sie

1) Playfair IV. 88. He paid little regard to authority in matters of theory.

2) Playfair IV. 92. gibt eine kurze Übersicht des Inhaltes.

3) Hutton war der erste, der auf die Eindrücke der Krystalle bei plutonischen Gebirgsarten (zuerst bei Schriftgranit) hinwies und daraus auf Schmelzung schloß.

4) cf. I. 529. „a mineral metamorphosis, which certainly is not found in any other part of the world.“

als submarine Eruptivgesteine das Überliegende durchbrechen und durch ihre Temperatur verändernd einwirken können. Bei geringerem Grade der Erweichung und dem großen Druck wird die Schichtung in dem früheren Sediment erhalten bleiben; so in den krystallinischen Schiefen. Die krystallinische Bildung überhaupt kann nach Hutton nur durch Schmelzung bewirkt werden, nirgend durch Krystallisation aus wässriger Lösung.

Es ist kein geringes Verdienst Hutton's, daß er so großen Nachdruck auf die Wirkungen der jetzt vorhandenen Ursachen legt, wenn er auch einen Theil derselben verkennt, namentlich den bei der Bildung fester Sedimente, der Mineralien der Mandelsteine u. s. w. in Betracht kommenden. Die Lehre, daß nur die noch heute wirkenden Kräfte (*actual causes*) zur Erklärung der geologischen Erscheinungen zu verwenden sind, der Actualismus, führt ihn, wie seine Nachfolger, zwingend zum Metamorphismus. Er lehnt es vollständig ab über den Ursprung des Centralfeuers eine Ansicht zu geben, er nimmt es einfach als gegeben, da er es für seine Theorie nothwendig braucht. Die cyclische Reihe der Katastrophen steht in einem merkwürdigen Gegensatz zu seiner teleologischen Anschauung.

Ist es nach diesen Ausführungen gerechtfertigt in dem Ultraplutonismus Hutton's die Grundlage der jetzigen Lehre des Metamorphismus zu sehen? Geht sie von Hutton aus, so hat er der Wissenschaft damit ein Danaergeschenk gemacht.

Die Anschauungen der Erklärer und Nachfolger Hutton's spricht Playfair in seinem Leben Hutton's (*Transact. R. Soc. of Edinburgh* Vol. V. 1805; Works 1822. IV. 50) dahin aus: „Hutton wollte nicht den ersten Anfang der Dinge erklären, für ein solches Wagniß (*attempt*) war er zu gut geschult in den Regeln einer gesunden Philosophie. Er beschränkte daher seine Speculationen auf die Veränderungen, welche die irdischen Dinge seit Eintritt der gegenwärtigen Ordnung erfahren haben.“ In seinem Bericht über den *Compte rendu par l'Institut de France* (*Edinburgh Review* 1809; Works IV. 370) drückt er sich folgender Maassen aus: „Wenn die Geologie den Ursprung der Dinge behandeln will oder rückwärts gehen bis zu einer Periode, wo die Zusammensetzung der Mineralkörper verschieden war von der jetzigen, so stimmen wir damit überein,

Abhdl. der phys. Kl. 1871. Nr. 2.

dafs das Ganze eine unphilosophische Illusion ist; denn die Grundsätze, welche auf unsere Erfahrung der gegenwärtigen Ordnung der Dinge gegründet sind, können nicht auf das angewendet werden, was vor Herstellung dieser Ordnung bestand.“

Nachdem der lange und erbitterte Streit über die Entstehung zunächst der jüngeren Eruptivgesteine, besonders der Basalte, ob plutonisch ob neptunisch, ausgekämpft, die normale Lagerungsfolge der Sedimente genauer festgestellt war, und namentlich durch Cuvier und Brongniart, die erste bedeutungsvolle Verbindung eines Zoologen und eines Geologen, die Palaeontologie zu ungeahnter Höhe sich entwickelt hatte, waren die Ansichten über die Entstehung der plutonischen und vulkanischen Eruptivgesteine und über die Entstehung der Sedimente ziemlich allgemein angenommen. Nur die Reihe der ältesten Sedimente, das Übergangsgebirge, bot durch seine Verbindung mit den krystallinischen Schiefen noch immer ein schwer zu erklärendes Problem, welches durch den engen Verband des Gneisses mit Granit noch verwickelter wurde. Die Veränderungen, die im Laufe der Zeiten durch genügend bekannte Ursachen ein Sediment erfährt, waren von vielen Seiten untersucht; die Beschäftigung mit den Vulkanen hatte auf die Wirkungen hoher Temperaturen und auf den Einfluß der Gase und Dämpfe geführt; zahlreiche Versuche über Schmelzung der Gesteine, darunter die von Sir James Hall unter Anwendung hohen Druckes, die von Gregory Watt, Gerhard u. s. w. waren ausgeführt; die Lehre vom Centralfeuer war von vielen Seiten bestätigt, erweitert und angenommen.

Schon 1806 hatte Heim (Geol. Beschreibung des Thüringer Waldgebirges II. Abth. 5. 121) die Umänderung der Kalke in Dolomite von „elastischen Dämpfen und Gasen“ abgeleitet; Leopold von Buch sprach 1822¹⁾ ähnliche Ansichten aus, nach welchen Dolomite Kalksteine seien, welche „durch Zutreten von kohlenaurer Magnesia aus dem Innern her-

¹⁾ Nöggerath. Das Gebirge in Rheinland-Westphalen III. 281.

L. von Buch war 1814 vor der Reise nach den Canaren in England. Bei der Sorgfalt, mit welcher er die Litteratur verfolgte, kann man seine Bekanntschaft mit Hutton's Arbeiten kaum bezweifeln.

vor zu der neuen Form umgewandelt wurden. Augitgesteine bewirken diese Veränderung.“

Hier zum ersten Mal treten das plutonische Princip der Gebirgstheorie, die Hebungstheorie, und die Theorie des Metamorphismus im Zusammenhang auf, der später namentlich durch Élie de Beaumont so sehr erweitert wurde.

Schon früher waren neben hoher Temperatur Gase als Agens eingeführt. Nach Breislak (*Instit. géol. Paris* 1818. I. 381—385) ist die Schieferung kein Grund gegen die Annahme eines feurigen Flusses, da entschieden plutonische Gesteine Schieferung zeigen. Die krystallinischen Schiefer sind ihm daher plutonischen Ursprungs¹⁾. Da die Erstarrung unter Gasentwicklung vor sich ging (I. 361), wobei die Gasströme plötzlich eine große Wärmemenge entzogen, so konnten während der Erstarrung die Lösungen des Zusammenhanges (*séparations de continuité*) je nach den verschiedenen Umständen der Erkaltung und den verschiedenen Impulsen der Gasströme verschiedene Richtungen, die vertikale, geneigte, oder die horizontale, annehmen.

Hier werden also die Gase zur Erklärung der Schichtenstellung der krystallinischen Schiefer verwendet. Breislak nimmt auch an, daß etwa kaustisch gewordener Urkalk (I. 418) — der Urkalk ist ihm nach der Lagerung plutonischen Ursprungs — wiederum Kohlensäure aufnahm aus den bei der Abkühlung entwickelten Gasströmen.

Die Verbindung der krystallinischen Schiefer mit mineralogisch ähnlichen und ebenfalls schiefrigen Gesteinen hatte um diese Zeit zu zwei gegenüber stehenden Ansichten geführt. Nach der einen sollten alle diese Gebilde rein neptunischen Ursprungs sein, nach der anderen die krystallinischen Schiefer den plutonischen Ursprung des Granites theilen. Der Entwicklung der Gase und ihrer Einwirkung auf Bildung, Beschaffenheit und Umänderung der Gesteine war vielfach gedacht worden. Der nächste Schritt lag also nahe: die neptunische Entstehung der krystallinischen Schiefer mit Werner festzuhalten und den Gasen und Dämpfen, welche schon Hutton in seine Theorie eingeführt hatte (s. S. 161), eine hervorragende Stelle bei der Bildung der krystallinischen Schiefer zuzuschreiben.

¹⁾ Ebenso die Granite l. c. I. 360. 370.

Diesen Schritt that Boué. Er hatte seine seit 1817 in Schottland, dem Vaterlande Hutton's, angestellten Beobachtungen in dem *Essai géologique sur l'Écosse* 1820 niedergelegt und brachte die Anschauungen Hutton's nach Frankreich und Deutschland mit. Es war begreiflich, dafs er von Hutton das Centralfeuer und den Druck aufnahm, ohne jedoch das ganze System Hutton's anzuerkennen, von welchem ein Theil durch die späteren Untersuchungen unhaltbar geworden war, ähnlich wie ein grofser Theil des Werner'schen Systems. Der Ansicht, dafs die krystallinischen Schiefer einfach plutonischen Ursprungs, die krystallinische Erstarrungsrinde seien, stehen nach Boué¹⁾ vier Einwürfe entgegen: die Schichtung, welche sich bei keinem sicher plutonischen Gesteine wiederfindet; der Übergang der Gneifse und Glimmerschiefer (Urthonschiefer ist nach Boué nicht vorhanden²⁾ in Zwischengesteine (*roches intermédiaires*, Thonschiefer, talkige, quarzige, glimmerige Schiefer und Grauwaacke); die Kalke der Urschiefer, welche Übergänge zeigen in fossilhaltige Kalke; endlich die Möglichkeit, alle Erscheinungen der krystallinischen Schiefer auf eine andere Weise zu erklären, welche zugleich den chemischen, physikalischen und geologischen Daten anscheinend genügt. Nach Boué's Ansicht³⁾ bewirkten die Agentien, welche die Ausbrüche der granitischen Gesteine vorbereiteten oder begleiteten, nämlich hohe Temperatur und Gasausströmungen aus dem Erdinnern, in den aus Trümmern der ältesten Gesteine oder der Erstarrungsrinde entstandenen Schiefen allmählich und unter mehr oder minder hohem Druck eine Art feurigen Flusses, ähnlich wie ihn de Drée (*Journal des mines* No. 139. 1808⁴⁾) beschreibt. Die Elemente der Schiefer büßten dabei einen Theil ihrer Cohäsion ein, ihre Gemengtheile entfernten sich von einander; in die so entstandenen Zwischenräume schoben sich die

¹⁾ Mém. géol. sur le Sud-ouest de la France. (Ann. d. sc. natur. II. 415. 1824) „la croûte ignée oxidée et cristallisée des masses qui composent l'intérieur du globe ou l'enveloppe de ce noyau central.“ cf. Edinb. phil. J. 1823. Juli und Bull. soc. géol. 14. 417. 1843. und *Essai sur l'Écosse* p. 455.

²⁾ *J. de physique* Bd. 94. 301. 1822. „Je nie qu'il y ait une formation de schiste argileux primitif.“ On doit regarder le schiste argileux comme un premier groupe du terrain intermédiaire. ib. 401.

³⁾ Ähnlich in Leonhard Taschenbuch f. d. gesammte Mineralogie. 21. II. p. 1. 1827.

⁴⁾ Textur und Vertheilung der Gemengtheile sind nach halber oder ganzer Schmelzung unverändert erhalten.

Produkte der Gasemanationen, die Sublimate ein. So konnten in gewissen durch die Cohäsion bedingten Grenzen chemische Verwandtschaften in Wirkung treten und die Gesteine während der Schmelzung und langsamen Abkühlung krystallinisch werden ohne wesentliche Zerstörung der ursprünglichen Blätterstruktur (*structure feuilletée primitive*). Nach dieser gewagten Theorie (*théorie hardie*) „würde der Grad der Krystallinität von der Größe der genannten Einwirkungen abhängen und die Identität der Gemengtheile in Granit und krystallinischen Schiefen sich leicht erklären. Die Urkalke werden keine organische Reste enthalten, weil diese in die Masse eingeschmolzen wurden, die Mineralien der Urkalke von dem Grade der Reinheit der Kalke oder von ihrer Mengung mit Thonschiefer herühren, der Graphit von kohligem, durch hohe Temperatur veränderten Partien. Wollte man einwenden, daß diese Theorie Gesteine als vorhanden gewesen voraussetzt, von denen man keine Spur mehr findet, so ist zu erinnern, daß ja auch die ältesten Sedimente Brocken von Gesteinen einschließen, welche man anstehend nicht kennt.“

Der zu weit getriebene Plutonismus Hutton's hatte Boué zu der wenn auch modificirten neptunischen Ansicht zurück geführt, neben welcher er den feurigen Fluß der Eruptivgesteine beibehielt. Es war ein Vermittelungsversuch, bei dem es sich zunächst um die krystallinischen Schiefer handelt. Noch 1866¹⁾ spricht sich Boué dahin aus, daß der Metamorphismus der krystallinischen Schiefer ein langsamer, lange fortgesetzter, chemischer Proceß war, welcher bei einem gewissen Druck vor sich ging.

Im entschiedensten Gegensatz gegen alle geltenden Ansichten trat Keilhau auf, in der schärfsten Opposition gegen das bisher Angenommene. Selbstständige geologische Untersuchungen führten ihn zu einer Ansicht, die fast ganz isolirt geblieben ist, wie sie denn ihrer Natur nach keine Anhänger gewinnen konnte. Sie erinnert an die romantische Schule der deutschen Litteratur, der das Wunder gesetzmäßiger und erklärlicher erscheint als das gewöhnliche Geschehen.

Keilhau (1823—1850²⁾) gelangte zunächst durch die geologische

¹⁾ Bull. géol. (2) 23. 302. 1866.

²⁾ Aufser Aufsätzen im Magazin for Naturvidenskaberne und in Pogg. Ann. seit 1823 namentlich in „Darstellung der Übergangsformation in Norwegen“ 1824, Nyt. Mag.

Untersuchung von Norwegen¹⁾ zu der Ansicht, daß sehr viele massige Gebirgsarten nur transmutirte — nach Substanz und Form umgewandelte — Sedimente sind, so daß sich Übergänge zwischen beiden verfolgen lassen. Diese Transmutation fand durch eine ruhig fortschreitende Thätigkeit in den starren Massen statt ohne Mitwirkung eines ungewöhnlichen Wärmegrades oder von Gasen und Sublimationen; sie ist nicht an die Nähe ungeschichteter, sogenannter vulkanischer Gesteine gebunden. Da nach Keilhau Granit in Urgneifs übergeht²⁾, so ist dieser Granit umgewandelter Gneifs, so fern nämlich diese Gebirgsart damals in der Gneifsform vorhanden war; es brauchten nämlich damals nur die Massen vorhanden zu sein, aus deren Umwandlung später Gneifs hervorging. Das für Gneifs Geltende ist auf alle krystallinischen Silikatschiefer und auf ihre Kalke auszudehnen; sie alle haben sich auf dieselbe Weise gebildet wie Granit, Porphyr u. s. w.; es wurden, wenn auch nicht nachzuweisen ist wie es geschah, auf hydrogenem Wege entstandene Absätze bei gewöhnlicher Temperatur transmutirt. Soweit die Transmutation chemisch erklärlich ist, folgt daraus nur, daß die Chemie die zur Erklärung notwendige Entwicklungsstufe noch nicht erreicht hat³⁾. „Der Thonschiefer, das zur ausdrücklichen Bekräftigung der Transmutationstheorie aufbewahrte Glied des Urgebirges, ist der Inbegriff der wenigen Schichten, welche in verhältnißmäßig wenig verändertem Zustand erhalten wurden. Die Unterlage der Gneifsformation kann möglicher Weise sedimentärer Entstehung, vielleicht auch wirkliches Urgebirge sein d. h. die Erstarrungsrinde, zu welcher der Gneifs nicht gehört.“

f. Nat. I. 1838; Gaea norvegica 1838—1851, und Nyt. Magaz. IV. 1845. 267—331. In Professor B. M. Keilhau's Biographie von ihm selbst. Christiania 1857. das Verzeichniß der Schriften.

¹⁾ Es ist kaum nöthig auf die späteren Arbeiten von Kjerulf hinzuweisen, durch welche die stratigraphischen Verhältnisse ihre genaue Darlegung erfuhren.

²⁾ „Die Granitification, welche unstreitig hauptsächlich den Übergangsthonschiefer traf, ist doch an vielen Punkten sogar über die Grenzen jenes Schiefers hinaus in die nächsten Theile der Gneifsformation hinein geschritten.“ Des Herrn Dr. von Dechen Gutachten mit Anmerkungen von B. M. Keilhau. Christiania 1840. 25. „Der Granit des Christiania-Territoriums ist hauptsächlich eine Epigenie des Übergangsthonschiefers“ ib. 64.

³⁾ Ähnlich Coquand (Bull. géol. 2. 335. 1841).

Niemals ist das Geheimnißvolle der Transmutation bestimmter ausgesprochen als von Keilhau. Er läßt sie physikalisch betrachtet durch einfache Molekularaktion bewirkt werden und ohne sich um das chemisch Unmögliche zu kümmern. Er nimmt an, daß die chemischen Elemente nicht einfach, sondern zusammengesetzt sind, und daß die wirklichen der Zahl nach geringen Elemente in andern Verhältnissen zusammentretend neue Körper erzeugen können. Weil ihm das Verständniß fehlt, muß die Wissenschaft irren. Dabei ist sein Ausgangspunkt eine lokale Untersuchung, eine allgemein gültige Theorie will er nicht aufstellen. Berzelius, von Keilhau aufgefordert, spricht sich (Jahresb. eingereicht 1837. 396) sehr entschieden gegen Keilhau's Hypothese aus und fügt (Jahresb. eingereicht 1841. 564.) hinzu: „Mit diesen Bemerkungen ist es nicht meine Meinung geologische Metamorphosen zu läugnen; ich habe damit nur auf die Nothwendigkeit aufmerksam machen wollen, daß man sie nicht auf etwas ausdehnt, was nach unseren gegenwärtigen Begriffen unreimbar ist, mit dem Vorgeben, daß es in Zukunft ein Mal reimbar werden kann.“

Zu ganz ähnlichen Ansichten wie Keilhau gelangte Keferstein (1829—1834¹⁾). Nach ihm entstehen mittelst innerer Thätigkeit der Erde durch Umbildung aus verschiedenartigen stratificirten Gesteinen die krystallinischen Schiefer, Granit, Porphyr, Basalt u. s. w., je nach dem Grade der Umwandlung. Dabei wird hohe Temperatur, Erweichung, Anschwellen der Masse und Erhebung erzeugt, die krystallelektrische Thätigkeit der Theilchen wird angeregt und diese ordnen sich anders. Auch Keferstein steht fast isolirt mit diesen Ideen.

Die Untersuchungen der schweizer, savoyischen und französischen Alpen hatten um 1826—1828 Studer und Élie de Beaumont zu der Ansicht geführt, daß die Metamorphose zu krystallinischen Schiefen sich dort nicht auf die Umwandlung der ältesten Sedimente beschränke, sondern auch viel jüngere Gesteine betroffen habe. Sie kommt dort nach Studer entfernt von jedem krystallinischen Feldspathgebirge vor und es „lassen sich weder

¹⁾ S. auch Bull. géol. 7. 197. 1836.

durch Wärme des Erdinnern oder erhitzter Massen noch durch Dämpfe die Erscheinungen in den Alpen genügend erklären.“¹⁾

Die Sedimentgesteine der Alpen haben nach Studer²⁾ durch Einwirkung der bei dem Hebungsprocess thätigen Agentien so viele und so große Veränderungen und Epigenirungen erfahren, daß man beinah in Verlegenheit gerieth, wo man noch ein Sedimentgestein in einem ursprünglichen Zustand aufsuchen sollte.

Nach Élie de Beaumont sieht man in den Alpen die Sekundärschichten allmählich die von ihrer Bildungsweise herrührenden Charaktere verlieren und andere annehmen ohne jedoch die Schichtung einzubüßen: „ähnlich wie man an einem halbverkohlten Scheit die Spuren der Holzfasern weit über die Stellen hinaus verfolgen kann, welche noch die natürlichen Charaktere des Holzes zeigen.“³⁾ Er schreibt⁴⁾ die stark krystallinische Struktur im Innern der Granitmassen, welche im Gegensatz steht zu der fast vollständigen Dichte an ihren Berührungsstellen mit Sekundärgesteinen, einer trotz der fast vollständigen Starrheit eingetretenen Molekularbewegung zu (*mouvement intérieur malgré leur solidité presque complète*), welche während des langen Zeitraums bis zur vollständigen Erkaltung eintrat. Ähnliches zeigt eine lange Zeit bis zur Weißglühhitze, also nicht bis zum Erweichungspunkt erhitzte Stange aus Schmiedeeisen: sie wird grob krystallinisch und brüchig, so weit sie erhitzt war, während das Übrige den ursprünglichen fasrigen Bruch behält. Auch die Umbildung von Sedimenten jeden Alters zu krystallinischen Schiefern (zu Glimmer-, Talk-, schiefer, zuckerkörnigem Kalk und oft selbst zu Gneifs) kann ohne vollständige Schmelzung vor sich gehen, die Schichtung bleibt erhalten und der allmähliche Übergang zu dem nicht Umgeänderten sichtbar.

¹⁾ Lehr. phys. Geogr. und Geologie II. 119. 150. 1847. s. Zschf. Miner. 1827. 1. Jahrb. Miner. 1840. 346; 1844. 185; 1847. 176; 1866. 705. cf. 1855. 183. „Die ausgezeichnet krystallinische Entwicklung von Silikaten in der Höhe deutet darauf hin, daß die Umwandlung nicht von unten her, sondern von Außen nach Innen fortgeschritten sei.“

²⁾ Geologie der westlichen Schweizeralpen. 1834. 19. cf. 224. 228.

³⁾ Ann. sc. natur. 15. 362. 1828. („Comparaison aussi claire que profonde.“ Daubrée).

⁴⁾ Ann. min. (3) 5. 62. 1834.

„Die innere Erdwärme und andere chemische Einwirkungen haben ohne vollständige Schmelzung zu bewirken unter Beibehaltung der Schichtung die ältesten, über der Erstarrungsrinde liegenden Sedimente durch Metamorphismus krystallinisch gemacht und ihren mineralogischen Bestand ungeändert; so entstanden Glimmer- und Talkschiefer, körnige Kalke und oft selbst Gneifs¹⁾.“

Noch 1847 ist Élie de Beaumont²⁾ „sehr geneigt zu glauben, daß viele Glimmerschiefer und Gneifse metamorphischen Ursprungs sind. Das Sediment, aus dem gewisse metamorphische Granite und Gneifse entstanden, kann von älteren Graniten herrühren, und der Ursprung der ersten Granite, der mit ihnen verbundenen alten Gneifse und Glimmerschiefer ist nicht sehr verschieden. Um die metamorphische Entstehung der Gneifse und Glimmerschiefer zu erklären, muß man zugeben, daß hohe Temperatur bei der Entstehung der Granite eine wesentliche Rolle gespielt hat.“ Er spricht sich auch noch 1855³⁾ für die metamorphische Entstehung der glimmerigen und talkigen Quarzite und Kalke aus. Diese Ansicht theilt auch Rozet⁴⁾. Ch. Sainte-Claire Deville und Grandeau sprechen sich 1859 für die metamorphische Entstehung⁵⁾ der glimmerigen oder chloritischen, Quarz- und Feldspathkauer führenden Schiefer des Massivs des St. Bernhard aus.

Seit 1837 ist A. Sismonda⁶⁾ der Ansicht, daß viele für primitiv gehaltene Gesteine der Alpen (Gneifs mit großen Quarzkauern, grüne Schiefer mit Quarz, und ähnliche, glimmerhaltige Kalke führende Gesteine) metamorphosirte Sedimente sind. Er nimmt an, daß wenig primitives Terrain auf der Erdoberfläche erhalten ist. Noch 1867 erhält er⁷⁾ durch einen Abdruck von *Equisetum* an einem diluvialen Gneifsstück von

¹⁾ Dufrenoy und Élie de Beaumont Explic. de la carte géol. de la France I. 41—42. 1841. s. auch 120, 316, 327.

²⁾ Bull. géol. (2) 4. 1301.

³⁾ ib. (2) 12. 563.

⁴⁾ ib. 232 und 252.

⁵⁾ ib. (2) 13. 136.

⁶⁾ Bull. géol. (2) 12. 67. 1856.

⁷⁾ Mém. Acad. Sc. Torino (2) Tom. 24. 11. Der Infralias der Alpi acquapendenti in Piemont ist in Glimmerschiefer und Gneifs metamorphosirt.

Abhdl. der phys. Kl. 1871. Nr. 2.

Rezzasco in der Brianza Bestätigung für seine Meinung. Auch Credner¹⁾ betrachtet die krystallinischen Schiefer der Tauernkette als metamorphische Gebilde. Stur²⁾ läßt nach der Trias in den Centralalpen zwischen dem Hochgolling und dem Venediger eine metamorphosirende Kraft auftreten, welche aus alten Schiefen und Grauwacken den Centralgneifs und seine Schieferhülle bildet.

Pichler³⁾ nimmt die Tyroler krystallinischen Schiefer für umgewandelte Sedimentschiefer. „Gneifs, Glimmerschiefer, Thonglimmerschiefer sind die Namen von Gattungen, denen wir nicht immer den der Species beifügen können; dies wäre nur dann möglich, wenn wir überall wüßten, aus welcher Formation sie durch Metamorphose entstanden.“ Volger⁴⁾ gelangt vorzugsweise durch Studium der alpinen Vorkommen zu dem Satze „dafs aus einem und demselben sedimentären Kalkstein durch innere Umbildung hier ein Pyroxen- oder Amphibolgestein, dort ein Granat- oder Epidotgestein, dort wieder ein Quarz- oder Feldspathgestein sich entwickelt hat.“

In dem äußerst verwickelten Gebirgsbau der Alpen den Zusammenhang der einzelnen, so vielfach gefalteten, verworfenen, über einander hingeschobenen Schichten und Massen zu bestimmen wird noch lange eine der schwierigsten Aufgaben der Geologie bleiben. Ob es gerathen ist, gerade von diesen verwickelten Erscheinungen ausgehend allgemein gültige Hypothesen aufzustellen, erscheint fraglich. Billigerweise müßte die Theorie die Gebirge mit einfachstem Bau als Ausgangspunkte nehmen. Ob es ferner nothwendig ist für die als metamorphisch bezeichneten, alpinen Gesteine Umänderungen anzunehmen, deren Ursache eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Stein der Weisen hat, wird noch lange eine offene Frage bleiben. Nur eine wiederholte Untersuchung und Vergleichung mit anderen Gegenden wird entscheiden können, ob nicht einfache Zerstörung und Zertrümmerung wohlbekannter Gesteine das mineralogische Verhalten und einen Theil der Lagerungsverhältnisse erklären kann.

¹⁾ Jahrb. Min. 1850. 556.

²⁾ Jahrb. Reichsanst. 5. 852. 1854.

³⁾ Beiträge zur Geognosie Tyrols 1859. 183.

⁴⁾ Neue Denkschriften der allgem. Schweizer Ges. f. ges. Naturk. 14. 1855.

Spätere Verwitterung, oft sehr complicirter Natur, mag dann in den Alpen, wie überall, vielfache Veränderungen hervorgerufen haben, zu denen noch die Kontaktmetamorphosen hinzukommen. Manche Gesteine wie Glimmer-, Chlorit-, Talkschiefer liefern nach ihrer Zertrümmerung und Zermahlung sedimentäre Gesteine, welche mineralogisch den ursprünglichen vollständig gleichen. Außerdem mögen Eruptivgesteine, welche bekannter Maassen keineswegs jedes Mal Kontaktmetamorphosen hervorrufen, nebst ihren Tuffen, ferner schiefrige Granite, und in Folge der Faltungen ächte, ursprüngliche, krystallinische Schiefer eingeschaltet sein. Eine ganze Reihe von Mineralien entsteht auf mehr als einem Wege; manche sind als Kontaktmineralien charakteristisch, treten vorzugsweise in Sedimentkalken auf und sind daher kalkhaltig. Eine Nothwendigkeit jedem grobkörnigen Kalk Metamorphosen zuzuschreiben, liegt nicht vor; dieser Ansicht huldigt auch Cordier¹⁾.

Hier zum ersten Mal tritt der Metamorphismus zur Erklärung der Bildung jüngerer Gebirgsmassen auf; es handelt sich nicht mehr allein um die Umwandlung der ältesten Sedimente oder der krystallinischen Schiefer.

Wie die Lehre vom Metamorphismus der krystallinischen Schiefer in Deutschland wirkte, zeigt am besten Fr. Hoffmann. (Übersicht der orographischen und geognostischen Verhältnisse vom nordwestlichen Deutschland 1830). „Wenn wir es auch sehr begreiflich finden, wie sich Thonschiefer, Grauwackenschiefer u. s. w. in der unmittelbaren Nähe des Granites in Gesteine umwandeln können, welche dem Gneifse und dem Glimmerschiefer sehr ähnlich sind, so behält es doch etwas selbst der lebhaftesten Einbildungskraft Widerstrebendes, auch die ungeheuer mächtigen und über tausende von Quadratmeilen verbreiteten Gneifsgebirge, Glimmerschiefer-, Talkschiefermassen, in welchen die Granite oft nur sehr vereinzelt hervortreten, für Produkte eines ähnlichen Processes zu halten“ (l. c. 415). Zwischen Bräunsdorf und Riechberg (bei Freiberg, Sachsen) findet er „wirklich die sogenannten Schiefer der Urzeit mit deutlichen Conglomeraten des Übergangsgebirges in wechselnder Lagerung“ und ist nun „sehr geneigt, die zwischen Gneifsschichten und Glimmerschiefer

¹⁾ Bull. géol. (2) 7. 67. 1836.

eingelagerte Grauwacke für einen unversehrt gebliebenen Streifen vom Schiefergebirge zu halten, welcher unter günstigen Umständen von der Umwandlung, die die angrenzenden Schichten erfahren haben, verschont wurde.“ „Ja man wird vielleicht einst noch finden, dafs eine und dieselbe Schicht sich im Streichen aus Grauwacke in Gneifs übergehend verfolgen läfst“ (p. 418). In einem Gebiete des Fichtelgebirges, „wo nichts an das Auftreten von Graniten, Syeniten, Porphyren oder verwandten Gesteinen erinnert (p. 421), findet er „das merkwürdige Beispiel einer wenigstens 4 Meilen lang zwischen zwei Gneifsverbreitungen von beträchtlicher Ausdehnung steckenden, unversehrt gebliebenen Thonschiefermasse des Überganggebirges, und durch alle sie begleitenden Erscheinungen erfährt wohl die Ansicht von der merkwürdigen Entstehungsweise der Gneifsgebirge eine auffallende und erwünschte Bestätigung“¹⁾ (p. 426).

Die Tyrannei, welche die herrschende Idee über einen eminenten Geist ausüben kann, ist wohl nirgend so stark ausgeprägt als in dieser Darstellung Hoffmann's. Was zehn Seiten vorher „der lebhaftesten Einbildungskraft widerstrebt“, gilt nun als bewiesen. Das Wunderbare bei dieser Umwandlung, „die unversehrt gebliebenen Thonschiefer“, durch welche die metamorphosirende Kraft hindurchgeht ohne eine Spur zu hinterlassen, während sie das Darüberliegende in Gneifs umwandelt, erregt keinen Anstofs mehr.

Noch in seiner italiänischen Reise²⁾ (1829—32) ist Hoffmann geneigt, den dortigen krystallinischen Schiefeln neptunische Entstehung zuzuschreiben und die Veränderung mit dem Auftreten der Granitgänge im Gneifs in Verbindung zu setzen. In seiner Geschichte der Geologie (1834—35) tritt die Lehre vom Metamorphismus nur in einzelnen Andeutungen hervor. Sie war um diese Zeit noch nicht genug ausgebildet um einen grossen Platz beanspruchen zu können.

Sir Charles Lyell kehrt in seinen *Principles of geology being an attempt to explain the former changes of the earth's surface by reference*

¹⁾ Vergl. Naumann Jahrb. Min. 1863. 1. 531. und Lehrb. II. 159. 1862. und Gumbel Jahrb. Min. 1861. 257. und 1863. 318. Gumbel erklärt die Erscheinung durch Überkippung, die sich bis ins Gebiet der Gneifsformation fortsetzt.

²⁾ Karsten und v. Dechen Archiv 13. 362. 1839.

to causes now in operation (Bd. III. 1833) zu der schottischen Doktrin, zu Hutton zurück. Den noch jetzt wirkenden Ursachen (*restricting us, in the first instance to known causes*, p. 3; an anderen Stellen *causes now in action, existing causes, actual causes of change*) legt er das überwiegende Gewicht bei. Er ist Hauptvertreter des Actualismus. Da ein Theil der ältesten, der sogenannten primären Gesteine geschichtet und geschiefert ist wie die wohlbekanntesten Sedimente, so kann man — nach dem Satze, daß gleiche Wirkungen auf gleiche Ursachen schliessen lassen (p. 367) — kaum bezweifeln, daß sie ähnlichen Ursachen wie die Sedimente ihren Ursprung verdanken. Auf der bewohnbaren Oberfläche der Erde, so weit sie wenigstens der Beobachtung zugänglich ist, sieht man analoge Bildungen nicht entstehen (p. 11). Man muß also die Struktur der geschichteten primären Gesteine darauf zurückführen, daß in großer Tiefe unter der Oberfläche die geschichteten Sedimente durch geschmolzene Gesteine, durch hohe Temperatur in einen halbflüssigen Zustand übergeführt, eine neue Anordnung ihres Materials erfuhren, wobei Schichtung und lamellare Struktur erhalten blieb, während die Spuren der Organismen verschwanden (p. 13). Trennt man die unveränderten Sedimente und die vulkanischen Gesteine ab, so bleibt eine dritte Gesteinsgruppe übrig, welche ihre jetzige Form und Struktur nicht auf der Oberfläche der Erde erhalten haben kann, und diese nennt Lyell nach ihrer Entstehung hypogen (*netherformed rocks*). Sie umfaßt die ungeschichteten plutonischen Gesteine (wie Granit) und die veränderten geschichteten (wie Gneifs), welche von ihm als metamorphische Gesteine bezeichnet werden (p. 375). Denn Gneifs und alle geschichteten Gesteine müssen ursprünglich an der Oberfläche oder auf dem jetzt mit Wasser bedeckten Theile derselben abgesetzt sein und wurden erst dann krystallinisch, wenn sie unter Druck durch hohe Temperatur in den Regionen und unter denselben Bedingungen verändert wurden, wo die plutonischen Gesteine gebildet werden (p. 374). Will man die gesammten hypogenen Gesteine nicht aus Schlamm, Thon, Mergel, Sand, Kies, Kalk und anderen jetzt noch entstehenden Absätzen sich bilden lassen, so muß man zu der Hypothese greifen, daß chemische Ursachen früher mit größerer Energie als jetzt wirkten und daß durch ihren Einfluß stärker kry-

stallinische Schichten niedergeschlagen wurden, welche Behauptung unphilosophisch und mysteriös ist (p. 377).

Gneifs und Glimmerschiefer sind nichts als durch Hitze umgeänderte Sandsteine; Thonschiefer ist umgeänderter Schieferthon; stärker veränderter Schieferthon liefert Hornblendeschiefer; Kalkstein den körnigen Kalk. Weil fast überall die hohe Temperatur von unten nach oben wirkt, also die untersten Lagen am stärksten verändert, so liegt Thonschiefer über Hornblendeschiefer, Glimmerschiefer, Gneifs. Sekundäre Schichten sind, wenn auch nicht oft, zu metamorphischen umgewandelt, und hypogene Gesteine, ungeschichtete wie geschichtete, entstanden stets während gleicher Zeit in gleicher Menge (p. 377). Da der Zerfall und die Wiederverzeugung durch Wasser (*process of decay and reproduction by aqueous agency*, Wiederholung von Hutton's Worten) an der Oberfläche der Continente und auf dem Meeresboden ein fortdauernder Vorgang ist, während die hypogenen Gesteine in der Tiefe gebildet oder nach und nach von den vulkanischen Heerden in die Höhe gehoben werden, so muß das relative Alter der sichtbaren plutonischen und metamorphischen Gesteine, verglichen mit dem der unveränderten Sedimente, durch das Verhältniß zwischen zwei Kräften bestimmt werden: der Kraft, welche die hypogenen Gesteine hebt, und der Kraft, welche durch das Wasser die Erdoberfläche zerstört und erneuert (p. 380). Die metamorphischen Gesteine müssen also das Unterste jeder Reihe von Sedimenten bilden, da die Wirkung der vulkanischen Hitze von unten nach oben geht; die hypogenen Gesteine einer Gegend können jedoch sehr verschiedenen Alters sein. Der größte Theil der sichtbaren hypogenen Gesteine scheint älter zu sein als die Kohlenformation, weil in dieser Brocken von Granit, Gneifs, Glimmerschiefer, Thonschiefer liegen. Seit der Tertiärzeit sind die hypogenen Gesteine, welche jünger sind als das Kohlengebirge, auf die Oberfläche gekommen, und erst später werden dahin die der Sekundärzeit, noch später die tertiären und recenten Hypogengesteine gelangen, zu einer Zeit, wo die jetzt sichtbaren Sedimente entweder vom Wasser zerstört oder metamorphisch geworden oder niedergeschmolzen sind zu plutonischen und vulkanischen Gesteinen (p. 382).

„Wir finden keinen sicheren Beweis für den Anfang, obwohl die dafür aus der Analogie geschöpften Gründe unerschütterter bleiben. Wenn

auch das jetzige System der Veränderung (*present system of change*) nicht von Ewigkeit her gedauert hat, so liegt darin kein Beweis für die Voraussetzung, daß wir den Anfang entdecken werden. Die Annahme, daß die Beweise für Anfang oder Ende eines so großen, harmonischen, für Myriaden lebender Wesen so zweckmäßig eingerichteten Systems im Bereich unserer Untersuchungen oder selbst unserer Speculationen liegen, erscheint durchaus unvereinbar mit einer richtigen Schätzung des Verhältnisses zwischen der begrenzten menschlichen Einsicht und den Attributen eines unendlichen und ewigen Wesens“ (p. 385).

Sehr wenig abweichende Ansichten spricht Lyell noch im *Manual of elementary geology* (Ed. V. 1855. 603) aus. „Eine im Innern der Erde in unbekannter Tiefe vorhandene, thermische, hydrothermische, elektrische oder anderweitige Einwirkung, analog der, welche sich in der Nähe intrusiver Granite zeigt, hat im Laufe unbegrenzt langer Zeiten, bei Ablagerungen von vielen tausend Fufs Mächtigkeit Halbschmelzung (*state of semifusion*) hervorgebracht, so daß die Schichten bei der Abkühlung krystallinisch werden konnten ähnlich wie Gneifs; Granit entstand bei höherem Grade der Einwirkung, bei vollständiger Schmelzung, und so erklärt sich der Übergang von Granit und Gneifs.“

Noch später 1871 in den *Student's elements of Geology* nennt Lyell die Bildungsweise der metamorphischen oder geschichteten krystallinischen Gesteine dunkler als die der auf nassem Wege gebildeten, der plutonischen und der vulkanischen Gesteine. Er rechnet zu den metamorphischen Gesteinen Gneifs, Glimmer- und Thonschiefer, Chloritschiefer, Hornblendeschiefer, Marmor und Ähnliches. Er nimmt an, da sie geschichtet sind und aus Wechsellagerung von Gesteinen bestehen, welche in Farbe, Zusammensetzung und Mächtigkeit wechseln genau wie die Versteinerungen führenden Absätze, daß sie der Hutton'schen Theorie entsprechend als Sedimente aus Wasser abgesetzt und dann durch unterirdische Hitze so verändert wurden, daß sie eine neue Struktur annahmen. Versteinerungen führende Schichten sind bei Contact mit Granit bis auf $\frac{1}{4}$ Meile weit aus erdigen Gesteinen in entschieden krystallinische umgewandelt, Kalke mit Muscheln und Corallen in weissen Marmor, harte Thonschiefer (*clays*) in Glimmerschiefer oder Hornblendeschiefer, wobei jede Spur organischer Reste zerstört wurde.

Kennen wir auch nicht genau die Art des umwandelnden Einflusses, so hat er doch gewisse Analogieen mit dem, welchen vulkanische Hitze und Gase hervorbringen. Der Proceß kann daher als plutonisch bezeichnet werden, weil er in den Regionen entstanden zu sein scheint, wo plutonische Gesteine gebildet werden, und bei ähnlichen Verhältnissen des Druckes und der Tiefe unter der Erdoberfläche. Stark erhitztes Wasser oder Dampf, welche geschichtete Massen unter hohem Druck durchdrangen, haben zweifellos Theil an der Bildung der krystallinischen Struktur, und es ist klar, daß diese Einflüsse auf ganze Bergmassen eingewirkt haben (p. 8).

Alle die 4 oben genannten Gesteinsgruppen sind gleichzeitig gebildet und ihre Bildung mag noch jetzt in großem Maasse fortgehen (*They have all been produced contemporaneously, and may even now be in the progress of formation on a large scale* (p. 9).

Die Granite und metamorphischen Gesteine sind nicht die erstgebildeten, nicht primitiv, wenn auch ein Theil älter ist als die ältesten Versteinerungen führenden Schichten (p. 100); die unteren Theile der Erdrinde sind oft modificirt und ganz verändert durch vulkanische und andere unterirdische Ursachen, während Darüberliegendes unverändert blieb; ähnlich wie der Pfeilerrost unter einem Hause erneut wird, während das Haus selbst ungeändert bleibt.¹⁾ So ist es mit der bewohnbaren Oberfläche der Erde: sie bleibt oben dieselbe, während in der Tiefe Festes flüssig wird und beim Erstarren eine neue Textur annimmt. In diesem Sinne sind die plutonischen und metamorphischen Gesteine zusammen hypogen, ein Name, der keine chronologische Beziehung enthält.

Unter dem Huron, das wesentlich aus Quarziten und grünen chloritischen Schiefern besteht und Geschiebe (*pebbles*) des Laurentian enthält, liegt discordant das Laurentian, dessen oberer Theil wieder discordant auf dem unteren ruht. Das *Eozoon canadense* beweiset für metamorphische Bildung des Laurentian, die jedoch vollendet sein mußte vor Absatz des Hurons, wie die im Huron vorhandenen Geschiebe beweisen (p. 476—477).

¹⁾ Vergl. S. 165.

Sir R. Murchison's Fundamentalgneifs in Schottland, auf dem das Untercambrische und verschiedene metamorphische Gesteine discordant liegen, entspricht höchst wahrscheinlich im Alter einem Theil der großen nordamerikanischen Laurentiangruppe (p. 477). Der Einfluß der unterirdischen Hitze reicht vom Krater jedes thätigen Vulkans in unbestimmt große Tiefen, so daß je nach der Tiefe vulkanische und plutonische Gesteine zugleich entstehen müssen, die ersteren an der Oberfläche, die anderen in der Tiefe (p. 535 und 547). Zwischen der Krystallisation eines plutonischen Gesteins in der Tiefe und seiner Emporsteigung auf die Oberfläche müssen gewöhnlich eine oder zwei geologische Perioden liegen. Recente oder pliocäne Granite sehen wir also nirgend auf der Oberfläche. „Flysch (oberer Theil der Nummulitenformation) wird von plutonischen Gesteinen durchbrochen und in krystallinische Schiefer der hypogenen Klasse umgeändert. Der talkige Granit oder Gneifs des Mont Blanc ist geschmolzen oder plastisch gewesen, nachdem der Flysch im Meer abgesetzt war. Die Frage in Bezug auf das Alter dieses Granites ist nicht, ob er secundär oder tertiär, sondern ob er eocän oder miocän ist (p. 552).“

Gregory Watt's Versuche (Phil. Tr. 1804) zeigen, daß ein Gestein vollständiger Schmelzung nicht bedarf um eine neue Anordnung der Gemengtheile zu bedingen. Die plutonische Umänderung wird bewirkt nicht durch Hitze allein; Gase, Dämpfe und heißes Wasser mit Salzgehalt, hydrothermale Aktion helfen mit dazu (p. 568). (Heiße und kalte Quellen mit Kohlensäure beladen und besonders mit Flußsäure, die oft in kleinen Mengen vorhanden ist, sind mächtige Ursachen der Zersetzung (p. 568): *charged with carbonic acid and specially with hydrofluoric acid!* Verwechslung mit Fluorsalzen!) „Die metamorphischen Schichten sind in einer Periode abgesetzt und krystallinisch geworden in einer andern (p. 581). Hitze, Dampf oder Wasser kann durchgängigere Schichten verändern, so daß die Gemengtheile sich neu ordnen, während die anliegenden Schichten dem heißen Gas oder Wasser keinen Durchgang erlauben, oder auch deshalb ungeändert bleiben, weil sie weniger leicht schmelzbare oder zersetzbare Mineralien enthalten. Daher wechseln in den Alpen sandige und kalkige Schichten mit Bändern von granitischen, Gneifs ähnlichen Gesteinen (*answering in character to gneiss* p. 582). Tertiärschichten können metamorphische Struktur erhalten nach Ebenen, welche parallel

der Schichtung sind (p. 582), aber der Metamorphismus ist in den Alpen nicht an die unmittelbare Nähe der Granite gebunden. Eine azoische Zeit nimmt Lyell nicht an (p. 587).

Man sieht, wie eng Lyell's Ansichten 1833 sich anschliessen an die von Hutton ausgesprochenen. Die zwei Grundgedanken Hutton's sind beibehalten: der heilsame Kreislauf von neptunischer zu plutonischer Einwirkung, welche den periodischen Wechsel in der Beschaffenheit der Erdoberfläche bedingt, und der Grundsatz, dass die Geologie keinen Anfang der Dinge zu erkennen vermöge. Die Ansicht Hutton's, dass alle Sedimente erst durch plutonische Einwirkung auf dem Meeresboden zu festen Gesteinen werden, ist als unhaltbar aufgegeben, und die Umwandlung auf die jedesmaligen untersten Schichten beschränkt, von denen ein Theil zu Eruptivgesteinen metamorphosirt wird. Neben der Abwehr der ultraneptunischen Ansicht fehlt jede Angabe über die Entstehung des Centralfeuers, das, wie bei Hutton, einfach als gegeben angenommen wird. Die Schwäche der Argumentation liegt namentlich in dem Satz, dass gleiche Wirkungen auf gleiche Ursachen schliessen lassen. Die Summe einer Reihe kann aber aus ganz verschiedenen Faktoren bestehen; eine Erscheinung, die bei der Vielheit der zu Einer Wirkung zusammentretenden geologischen Ursachen überall wiederkehrt. Niemand wird in dem Satze, dass bei Nichtannahme des Actualismus die Voraussetzung einer früher anders gearteten chemischen Causation nothwendig werde, eine Stütze für den Actualismus erblicken können, da die chemischen Kräfte bei Änderung der Bedingungen, unter denen sie auftreten, eben andere Wirkungen üben. Es ist nur nöthig, an die Änderung der chemischen Verwandtschaften bei Änderung der Temperatur zu erinnern. Viel richtiger und sicherer als der Satz Lyell's, dass alle hypogenen Gesteine aus Thon, Schlamm, Sand, Mergel u. s. w. entstanden sein müssen, ist die Umkehrung dieses Satzes dahin, dass alle Sedimente aus „hypogenen“ Gesteinen entstanden sind, da sie Bruchstücke derselben enthalten und die Verwitterung alle Tage die Beweise für die Entstehung der Sedimente aus den „hypogenen“ Gesteinen liefert. Nimmt man freilich mit Lyell die Sedimente als Ausgangspunkt und fügt daran die Lehre von Actualismus, so muss man auf irgend eine Weise, sei sie noch so künstlich,

aus ihnen die Eruptivgesteine und die krystallinischen Schiefer durch „Metamorphose“ hervorgehen lassen.

Hatte Lyell 1833 die Sekundärschichten nur sparsam dem Metamorphismus unterworfen gefunden, so läßt er ihn 1871 auch die tertiären Gesteine ergreifen. Die schwierige Deutung der alpinen Gesteine wird durch die kaum haltbare Theorie der Nichtpermeabilität beseitigt oder richtiger umgangen. Die Theorie des Kreislaufes, ohne bestimmt ausgesprochen zu sein, leuchtet durch die ganze, viel stärker als früher auf das Faktische beschränkte Darstellung hindurch, die jede Diskussion über Entstehung der Erde geflissentlich vermeidet.

Edward Hitchcock (*Report on the geology of Massachusetts. Amherst 1833*) ist der Ansicht, daß Granit die erste Erstarrungsrinde bildete¹⁾. Aus dem Detritus derselben und aus dem einiger anderer ebenso alter Gesteine entstanden die sogenannten primären geschichteten Gesteine (*stratified primary rocks*), die krystallinischen Schiefer, wie Gneifs Glimmerschiefer, Talk-, Hornblendeschiefer, Serpentin. Sie waren Sedimente, welche durch hohe Temperatur ohne die Schichtung zu verlieren krystallinisch wurden oder sogar geschmolzen wurden und eruptive Form annahmen wie Serpentin²⁾. Glimmerige, grobe, aus Zertrümmerung des Granites entstandene Sandsteine³⁾ sind wahrscheinlich das Ursprungsgestein des Gneifses. Wo dieser mit Hornblendeschiefer wechsellagert, wechsellagerte ursprünglich Thonschiefer mit dem Sandstein; wo Glimmerschiefer und Gneifs wechsellagern, fehlten in einem Theile des Sedimentes die Elemente zur Bildung des Feldspathes.

Hitchcock betont im Gegensatz zu Hutton und Lyell die Ansicht vom Anfang und vom Ende. Wenn die der Erde innewohnenden chemischen Kräfte durch den Willen ihres Schöpfers losgelassen würden, so würden sie das Ende der Erde bewirken. Mit dem Maafse der heute thätigen Kräften allein sei die Geschichte der Erde nicht zu erklären.

Also ein Protest gegen Hutton's Fundamentalsätze, gegen Lyell's eben entwickelte Theorie der *actual causes*, daneben die metamorphische

¹⁾ l. c. 510.

²⁾ l. c. 350 und 373.

³⁾ „resulted from the disintegration of granite“ l. c. 409.

Bildung der krystallinischen Schiefer, und eine aus feurigem Flufs erstarrte, aus Granit bestehende Rinde.

Sedgwick und Murchison erklärten 1842¹⁾, die krystallinischen Gesteine des Taunus seien durch plutonische Proceſse umgewandelte Schichten der rheinischen Grauwacke, C. F. Roemer (1844) und Dumont (1848 und 1852) machten für die betreffenden Taunus- und Ardennengesteine dieselbe Annahme, während für die Taunusgesteine nach Sandberger und List (1850) die Metamorphose durch Umsetzung auf nassem Wegs erfolgte.

Murchison²⁾ hält seit 1851 die Thonschiefer, Chlorit- und Glimmerschiefer der südlichen Hochlande Schottlands für metamorphosirtes Unter-silur, die Chlorit-, Glimmerschiefer und Quarzite von Anglesea und Westirland für veränderte Grauwacke. Später (1858) unterscheidet er³⁾, an der Nordwestküste Nord-Schottlands Fundamentalgneifs, gleichen Alters mit Logan's Laurentiansystem und zwar dessen unterem Theil⁴⁾, von den sicher metamorphischen, darüberliegenden, zuweilen in Gneifs verlaufenden Glimmer- und Chloritschiefern. Noch später (1862) nimmt Murchison⁵⁾ auch den Gneifs von Böhmen und Baiern als Repräsentanten des Fundamentalgneiffes.

Die nicht ganz leicht verständlichen Ansichten, welche seit 1833 Fournet vertrat, entnehme ich der *Géologie lyonnaise* 1859. Ihm ist der Glimmerschiefer „*composé impur et rebelle de l'ensemble des éléments repoussés de l'intérieur à l'extérieur du globe*“, die erste Erstarrungsrinde. Es mußte eine Art oberflächlicher Schlacke entstehen und sich beladen mit einigen der Elemente der glühenden atmosphärischen Hülle, in deren Berührung sie sich bildete; sie mußte schiefrig werden wie Alles, was das Wasser umlagert⁶⁾. Unter dieser Schlackendecke gingen in der Tiefe die regelmässigen Krystallisationen vor sich, welche den Granit lieferten. Dieser alte, normale Glimmerschiefer besteht nur aus dunkeltem Glimmer,

1) Angaben, entnommen dem Aufsatz Lossen's in Zt. geol. Ges. 19. 523 u. flg. 1867.

2) Quart. J. geol. Soc. 7. 168. 1851.

3) Quart. J. geol. Soc. 15. 359. 1859.

4) Geol. mag. 2. 101. 1865.

5) Quart. J. 19. 357. 1863.

6) l. c. 170. cf. 210. „les micaschistes — les produits de la grande élimination des hétérogénéités chaotiques.“

dem höchstens Granat, vielleicht noch Kies und dünne Quarzhäutchen beigemischt sind. Die Quarzlinsen wurden später plutonisch injicirt.¹⁾ „Der wahre alte Gneifs ist ein exomorphosirter Glimmerschiefer; exomorphosirt, unmittelbar oder später, durch den Granit, der sich ruhig unter der Glimmerschieferdecke entwickelte“²⁾. Wie die Feldspathisirung³⁾ der Glimmerschiefer in der Nähe der Granite eintritt, so beladen sich die Gesteine in der Nähe der Syenite (oder ihrer *dégradations*) mit Hornblende⁴⁾. Fournet setzt alle diese Erscheinungen in nächste Verbindung mit den bei der Cupellirung beobachteten, welche seinen Ausgangspunkt bilden. Glimmerschiefer, wie der des St. Gotthard, mit wenig oder gar nicht gefärbtem, dünnblättrigem Glimmer nennt Fournet „*micachistes nacrés*“⁵⁾. Sie sind jünger als der normale Glimmerschiefer und bilden Übergänge in Chlorit-, Quarz-, Thonschiefer; sie lehren, daß sie zu einer Zeit entstanden, wo die Tendenz zur Krystallisation und der Einfluß der hohen Temperatur sich sehr vermindert, der des Wassers sehr zugenommen hatte, so daß die Rolle des letzteren der ähnlich wurde, die es seitdem in den sekundären und tertiären Bildungen spielt⁶⁾.

Gewisse Melaphyre und ähnliche Gesteine hält Fournet für metamorphische Bildungen, endo- und exomorpher Entstehung, gebildet aus dem Nebeneinander von Quarzporphyren und Syeniten einerseits, silurischen und cambrischen Thonschiefern andererseits⁷⁾.

Den normalen Metamorphismus hält Fournet für eine beschränkte Erscheinung, die mit allen Wirkungen des Contactes complicirt ist⁸⁾.

Virlet betrachtet (Bull. géol. 8. 306. 1837 und ähnlich in früheren Mittheilungen⁹⁾ den Granit als erste Erstarrungsrinde; auf diese schlu-

¹⁾ l. c. 185—189. „épanchements plutoniques.“ cf. 369 und Bull. géol. (2) 16. 256. 1859.

²⁾ l. c. 371.

³⁾ l. c. 65. 66.

⁴⁾ l. c. 148.

⁵⁾ l. c. 171.

⁶⁾ l. c. 176.

⁷⁾ l. c. 369 cf. Bull. géol. (2) 16. 246. 1859.

⁸⁾ ib. 256.

⁹⁾ Bull. géol. 6. 320. Er führt l. c. 316. elektrochemische Thätigkeit, vielleicht durch hohe Temperatur entstanden, als Agens der Transmutation auf, welche in dem festen Gestein thätig wird.

gen sich dann Sedimente nieder, welche durch das Centralfeuer in krystallinische Schiefer, Quarzit u. s. w. oder bei dem höchsten Grade der Umänderung in gewisse Granit- und Porphyrvarietäten, in Pegmatit, Protogin, Euphotid, Diorit, Amphibolit und andere sogenannte plutonische Gesteine umgeändert wurden. Außerdem findet sich in der Nähe oder im Contact der feurigflüssigen Gesteine eine Umänderung, entweder einfach bedingt durch die hohe Temperatur oder, wie gewöhnlich in der Nähe hoher Bergketten, verbunden mit längerer oder kürzerer Einwirkung chemischer Agentien wie Entwicklung von Gasen und flüchtigen Stoffen. Er bemerkt, daß die Überlagerung durch spätere mächtige Schichtensysteme Steigerung der Temperatur in den ältesten Absätzen bewirken mußte. Später läßt er den Quarz gasförmig oder geschmolzen hervortreten (Bull. géol. (2) 1. 746. 1844) und fügt (l. c. 829) hinzu, daß der Grad der Metamorphose desto stärker wird je mehr Gänge aller Art an Zahl zunehmen. Noch später kommt Virlet¹⁾ zu der Ansicht, daß die Dauer oder die Stärke der Metamorphose die Umbildung der Sedimente zu Gneifs oder Granit bedingt und daß überhaupt keine primitiven Gesteine auf der Erdoberfläche vorhanden sein können d. h. keine, die nicht entweder chemische oder molekulare Umbildung seit der Erstarrung der Erdkruste erfahren haben. Diese Umänderungen gehen nicht nothwendig bei hoher Temperatur vor sich, es findet keine Erweichung statt, aber das Wasser spielt dabei eine große Rolle.²⁾ Er nimmt an³⁾, daß alle Quarzlinsen oder Quarzmandeln in Gneifs, Glimmer- und Thonschiefer späteren Injektionen ihren Ursprung verdanken, ähnlich wie schon (1845) Fournet angenommen hatte und Élie de Beaumont⁴⁾ wenigstens für einen Theil der Quarzlinsen der Glimmerschiefer für wahrscheinlich hält.

Joh. Nep. Fuchs⁵⁾, welcher annimmt, daß dem krystallinischen Zustand immer der amorphe vorausgehen muß, stellt sich der Urzustand der Erde, zu dem es jedenfalls gekommen sein mußte, bevor die Gebirgsbildung beginnen konnte, folgender Maassen vor. Während Kalk und

1) Bull. géol. (2) 4. 500 u. fg. 1847.

2) ib. (2) 15. 122—127. 1858.

3) ib. (2) 1. 833. 1844. und 3. 18. 1846.

4) Bull. géol. (2) 4. 1307. 1847.

5) Gelehrte Anzeigen der Akad. d. Wissensch. in München. 1838.

der größte Theil der Magnesia mit Kohlensäure verbunden (Kalkreihe) die Hauptmasse des aufgelöseten Theiles der Gebirge bildeten, bildete die Kieselreihe (Kieselsäure theils für sich als gelatinöse Substanz, theils mit den Basen verbunden) die unauflösliche Masse der Gebirge im amorphen und festweichen Zustande. Der Beginn der Krystallisation, durch die Erscheinung des Lichtes bezeichnet¹⁾, machte Wärme frei, die bis zur Glut steigen konnte, und so entstanden aus dem amorphen Festweichen die Gebirgsarten, hier Granit und Porphyr, dort Glimmerschiefer und Quarzfels u. s. w. Die älteren und gemengten, in einander verlaufenden Glieder der Kieselreihe sind nur Varietäten Einer Formation. Da das Gewässer bald ruhig bald bewegt war, so entstanden deutlich und undeutlich geschichtete Gebirgsarten. Als das Gewässer, nicht mehr durch die festweiche Masse gefesselt, sondern frei geworden, unruhig und stürmisch ward, konnten sich die späteren Glieder der Kieselreihe nicht mehr so vollkommen und deutlich ausbilden. Diese Unvollkommenheit beginnt beim Thonschiefer, der nichts ist als ein Granit mit sehr kleinen und undeutlichen Gemengtheilen. Was man sekundäre Gebilde nennt (Sand, Sandstein und Thon) ist größeren Theils auf ähnliche Weise wie die älteren Gebirge der Kieselreihe entstanden und eine Fortsetzung derselben. Quarzsand, Sandstein und Thon, in der Regel mit einander gemengt vorkommend, stehen oft in solchem Verhältniß zu einander, daß sie bei günstigeren Umständen wahrscheinlich den schönsten Granit gegeben hätten, in den man sie zuweilen übergehen sieht. Die sogenannten Krystalkeller des Granitgebirges und die Quarzkrystalle in den Mandelsteinen entstanden aus gallertartiger Kieselerde, daher sind die Einschlüsse im Bergkrystalle möglich.

Berzelius bezeichnet diese Theorie als eine Dichtung, welche nur der Geschichte der Geologie angehören kann. (Jahresber. für 1838. 744.) Es ist die Theorie des nassen Breies, welche geologisch in den heutigen Laven, im Contactmetamorphismus, in den Gängen u. s. w. ihre Widerlegung findet.

¹⁾ „Die Erde war also damals ein selbstleuchtender Körper.“

Der Metamorphismus bei Fuchs bezieht sich nur auf die Struktur, nicht auf die chemische Beschaffenheit, und der geologische Gesichtspunkt tritt hinter den chemischen vollständig zurück.

Als ein sehr merkwürdiger Versuch die Erscheinungen des Metamorphismus zu erklären ist Leopold von Buch's Profil durch die „berühmten Westgothländischen, festungsartigen Berge,“ die Kinnekulle, den Billingen, Mösse-, Hunne- und Halleberg zu erwähnen. Er schreibt am 1. März 1842 darüber an v. Leonhard (Jahrb. Min. 1842. 282.). „Ich war auf Halle- und Hunneberg, auf der Kinnekulle bei Lindkjöping und sah vor mir die vielen Basaltbedeckten westgothischen Berge und die Transitionsschichten unverändert darunter, und immer nur wo der Basalt sie bekrönt. Der Gneifs aber berührt diese Transitionsschichten nie, sondern bleibt überall mit deutlichem Rande in der Entfernung zurück. Jeder Basaltberg aber, das wissen wir jetzt, denke ich, ziemlich gewifs, ist das Ausgehende eines Ganges, eines Stockes, einer großen Masse, welche unter den bedeckenden Schichten sich ausdehnt. Sollte wohl dieser unter der Oberfläche sich fortziehende Basalt die silurischen Schichten vor dem überall weit umherwirkenden Metamorphismus beschützt und sie später unverändert zu Tage erhoben haben? Gewifs ist das eher zu glauben, als an eine Wegführung einst zusammenhängender Schichten zu denken, welche uns doch keine Erklärung geben würde, warum denn eben der Basalt nur auf dem Gipfel solcher Schichten ruhen könne, warum niemals auf Gneifs.“ Den Grund, weshalb der Granit nicht auch die von basaltischen Formationen (Trapp) bedeckten Transitionsgebirgsarten in Gneifs umgeändert hat, findet L. v. Buch in der sogleich zu erwähnenden Abhandlung in Folgendem: „Die basaltischen Formationen, welche sich sogar weit unter dem Granit ausdehnen können, verhindern die verändernden Stoffe, mit welchen der Granit hervortritt, auch auf die den Basalt bedeckenden Transitionsgebirgsarten zu wirken. Sie können daher nur dort aus den Transitionsschiefern Gneifs bilden, wo der Basalt in der Tiefe aufhört und nicht mehr das Hervorbrechen des Granites hindert. Gneifsgewölbe können also sich da erst wieder erheben, wo der Basalt in der Tiefe verschwunden ist und dem Granit Platz gemacht hat.“

Die am 15. December 1842 in dieser Akademie gelesene, 1844 gedruckte Abhandlung „Über Granit und Gneufs“ wiederholt dieselben

Anschauungen über diese Berge. Sie enthält (S. 7) die Worte: „daß nämlich aller Gneufs, so weit er sich auch ausdehnen mag und wenn er auch, wie im Norden, große Länderstrecken einnimmt, daß dieser Gneufs durch Einwirkung des hebenden Granites und der mit seiner Erhebung verbundenen Stoffe aus Schiefen entstanden sei, welche durch Eindringung der verändernden Stoffe umgewandelt worden sind ohne doch im Ganzen ihre schiefrige Form zu verlieren, das ist jetzt eine allen Geognosten so geläufige und von den Meisten als glücklich durchgeführte Hypothese angesehene Meinung, daß sie als völlig bekannt vorausgesetzt werden kann. Der Gneufs der kleinen Blasen und Hügel in Finnland würde hiernach vom Eismeer bis zum nördlichen Ufer des Finnischen Meerbusens aus silurischen Schichten der Transitionsformation entstanden und umgewandelt worden sein.“

L. v. Buch sieht bei Gothenburg und Stockholm den Oligoklas auftreten „in Gängen und Stöcken durch Gneufs und Granit und durch alle Gänge des Letzteren, welche in Gneufs aufsetzen.“ Man sieht bei Ytterby „deutlich sein Erheben aus dem Boden herauf, man sieht das Aufwerfen des darüber liegenden Gneufses und das Eindringen der leichtbeweglichen Masse in alle Spalten, Klüfte, Schiefen und Risse des erhobenen Gesteins. In der Mitte des mehr als 80 Fufs tiefen Bruches hängt noch jetzt eine wohl 20 Fufs hohe Masse von Gneufs, gänzlich von den darauf liegenden Gneufsschichten getrennt, und von allen Seiten vom weissen Oligoklas umschlossen. Die Schiefer dieses Gneufsblockes sind von unten herauf, wie die Blätter eines Buches, in Fächerform von einander gerissen, und die Zwischenräume erfüllt, trennend und spaltend, das weisse Gestein. Oben hängen die Schiefer noch dicht aneinander und werden durch keinen Oligoklas von einander geschieden. So ungefähr hat man sich die Veränderung vorzustellen, welche aus silurischen Schichten Gneufs gebildet hat. Wie hier der Oligoklas, so dringt der Feldspath aus dem Innern zwischen den Blättern der Schiefer und wird von der durch hohe Temperatur zu Glimmer veränderten Masse der Schiefer umwickelt.“ Da diese ganze Oligoklas-

gebirgsart später als der Granit erschienen ist, so hat sie keinen Antheil an der Bildung des Gneifses.¹⁾

Im Silur sind also die zur Bildung des Glimmers nöthigen Elemente und der Quarz als solcher vorhanden; damit Gneifs entstehe, muß der Feldspath herbeigeschaft werden. Er dringt also aus dem Innern auf, verliert dabei seine Continuität, zertheilt sich in einzelne Partien und wird umwickelt von dem zu Glimmer veränderten Silur. In dem Beweisstück schiebt er sich freilich als continuirliche Lage in den Gneifs hinein, ohne sich zu zertheilen. Und wie diese Einschiebung des Feldspathes von unten her bei söhlig liegenden Gneifsschichten mit der söhlichen Lage der Schieferung zu vereinen sein möchte, ist schwer einzusehen.

Dasselbe gilt auch für „die verändernden Stoffe“, mit denen der Granit hervortritt, um das Silur in Gneifs umzuwandeln. Auch sie bilden den Feldspath immer der Schieferung parallel, nie bezeichnen sie den Weg, den sie genommen, durch die Bildung desselben.

Gesteine von demselben Magnesiagehalt wie Trapp und Augitporphyr üben an verschiedenen Stellen ganz entgegengesetzte Wirkung aus. In den Alpen bewirken sie die Hebung und Dolomitisirung der Kalke; in Westgothland, wo sie so lange mit dem Silur in Berührung sind, dafs sie es gegen die Granitemanationen schützen, heben sie nicht, sie lassen auch noch den Orthoceren-Kalkstein vollständig ungeändert, obwohl sie ihn durchbrechen. Der Schutz, den ein Eruptivgestein gegen des anderen Wirkung gewährt, ist wohl nie wieder in Anspruch genommen worden, und er ist das Bezeichnende in diesem Aufsatz, der die Verbreitung metamorphischer Ansichten um das Jahr 1842 so ausdrücklich constatirt.

J. D. Dana²⁾, Anhänger der Theorie der gegenwärtig wirkenden Ursachen, sieht zwar in der Schieferung der Gneifse und Glimmerschiefer keinen Beweis für ihre sedimentäre Entstehung, schreibt jedoch gewifs nicht schiefrigen Graniten sedimentären Ursprung zu und hält bei dem

¹⁾ l. c. 17—19.

²⁾ Sill. Am. J. 45. 104—129. 1843.

Metamorphismus nicht für das Wirksame hohe Temperatur, sondern heißes Wasser¹⁾.

Manche Gneifse und Glimmerschiefer, so wie gewisse Granite sind nach ihm metamorphisch, da thonige Sedimente bei erhöhter Temperatur Glimmer, Glimmerschiefer, Gneifs liefern können. Wo Metamorphismus eintritt, wirkt die hohe Temperatur vermittelst des Wassers, das, durch die Eruption selbst erhitzt, als leicht beweglich weithin Wirkungen ausüben kann, denn die Wärmeleitung der Gesteine ist viel zu gering als daß eine etwas mächtige Schicht durch hohe Temperatur allein verändert werden könnte, man muß erhitztes Wasser zu Hülfe nehmen. Durch dieses entstehen aus den erdigen die körnigen Kalke, durch Magnesiahaltiges heißes Wasser die Dolomite und Serpentinlager, durch Wasser mit Magnesia- und Kieselsäuregehalt talkige und chloritische Gesteine; diese alle sind hydrometamorphischen Ursprungs.

Von den in den ältesten Zeiten hervorgetretenen Eruptivgesteinen (Granit, Syenit u. s. w.) wurde durch das Wasser Sand abgespült und rund um die Eruptionscentren ausgestreut; das Wasser, durch dieselbe oder spätere Eruptionen erhitzt, änderte vermöge seines Gehaltes an Magnesia, Kieselsäure und anderen Substanzen diese Sande zu krystallinischen Massen um.

Hier tritt die heiße Salzlösung zum ersten Mal als Hauptagens des Metamorphismus auf; von nun an wird sie häufig als wesentlich in die Lehre eingeführt.

In dem *Manual of Geology* 1863²⁾ sind Granit, Gneifs, Glimmerschiefer, Thonschiefer, Chlorit- und Hornblendeschiefer, Syenit, Hyperit, Diabas, Feldspathporphyr, Hornblendeporphyr, Euphotid metamorph, aber Feldspathtrapp, Porphyr, Melaphyr, Diorit und die jüngeren Eruptivgesteine sind „igneous rocks“ (p. 86); die azoischen Gesteine (krystallinische Schiefer zunächst) entstanden aus älteren azoischen Sedimenten, ursprünglich horizontal im Meere abgelagerten Trümmern der ältesten Erstarrungsrinde. „Diese ist jetzt zwischen den später krystallisirten,

¹⁾ Nach Angabe von Dana hatte schon früher Silliman in der Americanischen Ausgabe von Bakewell's Geology auf diese Wirkungsweise Rücksicht genommen.

²⁾ Das sehr merkwürdige Capitel über Cosmogony beginnt p. 741.

den jetzigen azoischen Sedimenten so versteckt (*disguised*) oder so tief unter ihnen begraben, daß man sie nicht erkennen kann“ (p. 143). „Der Ausdruck azoisch schließt Abwesenheit von Organismen ein, aber nicht nothwendig der des niedersten Grades.“ Beweise dafür sind nach Dana die Kalke, der Graphit u. s. w.; „wahrscheinlich entstanden Pflanzen früher als Thiere“ (p. 146). Ursache des Metamorphismus ist unterirdische Hitze und Wassergehalt, gewöhnlich, wenn nicht immer, verbunden mit Druck. „Feuchtigkeit ist wesentlich, weil trocknes Gestein ein Nichtleiter der Wärme ist (wie die Ziegelsteine lehren) und auch wegen ihrer chemischen Wirkung bei höherer Temperatur“ (p. 707). Bei der Metamorphose braucht Schmelzung nicht einzutreten, meist ist sogar nur eine verhältnißmäßig niedere Temperatur nöthig, 300—1200° F., aber lange Dauer derselben erforderlich“ (p. 707).

Nach Forchhammer¹⁾ ist der grössere Theil der skandinavischen Gneisse offenbar so entstanden, daß eruptive Granitmassen Natron- und Kalidämpfe mit sich führten, welche die umgebenden erhitzten sedimentären Schiefer durchdrangen. So entstanden Alkalisilikate, welche bei hinreichend hoher Temperatur krystallisirten und je nach der Höhe derselben Granit oder Gneiß bildeten. Weiter entfernt von der Quelle der alkalischen Dämpfe wird sich sehr wenig Feldspath bilden, da alles Kali zu Glimmer sich umsetzt, welcher häufig weifs ist, während das Eisen mit Thon- und Kieselerde zu Granat zusammengeht, der im Glimmerschiefer den Feldspath des Gneißes vertritt. Noch weiter ab vom Granit wird nicht einmal mehr Glimmerschiefer sich bilden, da es an Alkali fehlt, und das letzte Glied der Metamorphose wird ein glimmeriger, verhärteter Thonschiefer sein. Forchhammer läßt auf diese Weise aus dem Alaunschiefer bei Bugten, Christiania, Gneiß entstehen, dessen Kiese den Ursprung aus kiesigem Thonschiefer nachweisen.

Die nächste Frage bei Annahme dieser Theorie würde die sein, weshalb nicht überall und stets der immer mit demselben Habitus auftretende Granit seine Umgebung mit Alkalisilikaten erfüllt, weshalb gerade nur der skandinavische Granit reich gewesen sein soll an Alkalidämpfen. Aber selbst wenn man diese Ausnahmestellung für den dortigen Granit

¹⁾ Rep. Brit. Assoc. for 1844. 166.

zugiebt, wozu nur in der Theorie, nicht in der Wirklichkeit ein Grund vorliegt, so bleibt noch als sehr gewichtiger Einwurf die Thatsache übrig, daß der skandinavische Granit selbst keine Spuren der Entwicklung von Gasen und Dämpfen aufweist, er ist dort ein ebenso kompaktes Gestein wie überall. Die Ansicht, daß der Granit, etwa wie geschmolzenes Glas, durch in der Hitze abgegebenes Alkali die Metamorphose bewirkt habe, ist nicht haltbar, da er dann überall Umänderungen hervorgebracht haben müßte und diesem Verhalten entsprechend auch die ganze Reihe der an Alkali reichen jüngeren Eruptivgesteine dieselbe Wirkung geübt haben müßte, wofür keine einzige Thatsache vorliegt.

Nach Durocher¹⁾ findet sich der Metamorphismus vorzugsweise da, wo Sedimente und plutonische Gesteine einander nahe treten. Im Allgemeinen ist dabei die Temperatur nicht hoch gewesen, Halbschmelzung oder Erweichung kommt nicht vor, in den festen Gesteinen fand Molekularbewegung statt, ähnlich wie bei der Cementation des Eisens. Aber die Umänderung traf nicht alle Schichten einer Gegend gleichmäÙig, wenig veränderte Schichten wechsellagern mit stark veränderten.²⁾ Den einfachsten Fall bildet einfache Änderung der Textur, ein Blättrig- oder Körnigwerden, es entstehen keine neuen Mineralien. Oder die im Sediment pulverig vertheilten Mineralien (wie Feldspath und Glimmer) zogen sich an und bildeten Krystalle, so daß sich Feldspath- oder Glimmerhaltige Gesteine entwickelten. Bei dem dritten verwickeltsten Fall entstanden neue chemische Combinationen, entweder aus den im Sediment vorhandenen chemischen Elementen (so bilden sich Chiastolithe, Staurolithe, Couzeranit, Dipyr) oder das metamorphosirende Gestein lieferte die fehlenden Elemente selbst, wie z. B. Granit die zur Feldspathbildung nöthigen Alkalien³⁾. Als nothwendige Bedingung ist zu betrachten lange Dauer der Erwärmung und des Druckes, wobei das Eindringen von Dämpfen nur conjekturalen Werth hat, aber die Mitwirkung thermo-elektrischer Ströme angenommen werden muß. Ist also der Metamorphismus die

1) Bull. géol. (2) 3. 546—657. 1846.

2) l. c. 643.

3) l. c. 625. On comprend que très souvent, dans la formation du gneiss, le granit aura dû céder la matière alcaline nécessaire à la régénération du feldspath.

Wirkung langsamer Aktionen, so scheint doch höhere Temperatur nöthig, welche Keilhau mit Unrecht ausschloß.

Sieht man die Thonschiefer und die feinkörnigen Grauwacken in der Nähe großer Granitmassen allmählich Glanz und blättrige Struktur annehmen bis endlich die Blättchen alle Charaktere des Glimmers, Talkes oder Chlorites zeigen, ohne daß jedoch die Schichtung verloren geht, so muß man schließen, daß höchst wahrscheinlich die krystallinen Schiefer metamorphosirte Sedimente sind.¹⁾ Die Wechsellagerung und Übergänge von Gneifs in Glimmerschiefer, die in beiden vorhandenen Kalke, Quarzite und Graphite zeigen, daß beide auf dieselbe Weise entstanden sind; das gilt wenigstens für einen Theil der Gneifse, nämlich soweit sie nicht schiefrige Granite enthalten.

Die Granitinseln mancher Gneifs- und Glimmerschiefer sind zu unbedeutend, um ihnen die Umwandlung zuschreiben zu können; man muß also annehmen, sie sei bewirkt durch ein in der Tiefe liegendes Granitbad (*bain de granite*²⁾), welchem auch die vorhandenen Granitgänge entstammen. Es gibt also außer dem lateralen Metamorphismus, dessen Produkte als Zone die sichtbaren plutonischen Massen umgeben, dessen Wirkung ausstrahlt von den plutonischen Massen, einen unterirdischen, von unten nach oben wirkenden vertikalen Metamorphismus, dessen Grund die hohe Temperatur des Erdinnern ist.³⁾ Die Wirkungszone der Granite, welche lateralen Metamorphismus hervorrufen, hat im Mittel in Norwegen 1200 Meter Breite, in den Pyrenäen erreicht sie eine Breite von 4000 Meter.⁴⁾

„Wahrscheinlich ist der skandinavische Gneifs das älteste Sediment, das aus der dünnen, wenig festen, granitischen Erstarrungsrinde entstand; daher senkten sich die Gneifsschichten in die unterliegenden heißflüssigen Massen ein, zerbrachen, falteten sich und wurden aufgerichtet, während der Granit sich überall injicirte. Es giebt in Skandinavien keinerlei Übergang zwischen der Gneifsformation und dem Silur, beide sind schnei-

1) l. c. 611.

2) l. c. 612. 622.

3) l. c. 645.

4) l. c. 646.

dend durch petrographische Beschaffenheit und discordante Lagerung geschieden, und wenn auch der Granit das Silur modificirt hat, nie wird es dem Gneifs ähnlich.¹⁾

In Norwegen und Finnland liegt zwischen Gneifs und Silur die sogenannte Urthonschiefer-Formation, welche Thonschiefer, oft Glimmer- und Hornblendeschiefer, selbst Gneifs, aufserdem Grauwacke, Conglomerate (*poudingues*), Quarzite und Kalke einschließt. Bald lagert sie concordant mit dem Urgneifs, welcher bisweilen Thonschiefer, Glimmerschiefer und Quarzit enthält, bald lagert sie mit dem Urgneifs discordant. Eine scharfe petrographische Trennung zwischen der Gneifsformation und dem nächst jüngeren Sediment ist daher nicht ausführbar; ein weiterer Beweis für den sedimentären und metamorphischen Ursprung des Gneifs.²⁾ Bei dem Thonschiefer, welcher aus stärker zermahlenem und zersetztem Detritus entstand als der Gneifs und seltner Granit aufweist als dieser, ist daher der geringere Grad der Metamorphose erklärlich.

Die Gneifse in Schweden und Finnland verdanken ihren Ursprung wohl den Granitgesteinen, „welche die Gneifsformation gebadet und sich nach allen Richtungen in dieselbe ergossen haben“; für die norwegischen Gneifse dagegen und die der Berggegend, welche Norwegen und Schweden trennt, muß man, da in ihnen nur seltene und geringere Granitmassen zu Tage treten, den Einfluß unterirdischer Ursachen annehmen. Gadolin, Orthit u. s. w. gehören nicht dem Gneifs an, sondern den Gängen und Adern von grobkörnigem Granit.³⁾

Bei dem Contact eines massigen oder pyrogenen Gesteins mit einem geschichteten Gestein kann ein Theil der Elemente des ersteren

¹⁾ l. c. 620 u. 646. Nach Bayle (l. c. 538) führt der schwedische Gneifs an manchen Punkten Spuren von organischen Stoffen und wird von Élie de Beaumont als stark metamorphosirtes Sediment betrachtet.

Axel Erdmann hält (J. Min. 1864. 643) den von ihm Protogingneifs genannten Gneifs der Provinz Dalsland für metamorphosirten Grauwackenschiefer.

„Wenn wir große Strecken des sogenannten Terrain primitif mit regelmässigen Kalklagern erfüllt sehen, so ist das ein Beweis, daß diese Strecken nicht primitiv sind.“ Kjerulf Geol. des südl. Norwegens 1857. 33. cf. 109.

²⁾ l. c. 621.

³⁾ l. c. 623.

sich in die letzteren einführen; nicht bloß alkalische oder kieselige, sondern auch fertig gebildete metallische Substanzen¹⁾, wie Eisenglanz und Magneteisen, gelangen durch „Diffusion oder Transsudation“ in die geschichteten Massen, wobei sie sich oft der Schichtung conform ablagern. Eisenglanz, Magneteisen, Granat u. s. w. brauchen nicht Gasgestalt anzunehmen um die benachbarten Gangwände zu durchtränken. Manche Gneifse in der Nähe der Granite entstanden wahrscheinlich durch Transfusion des Feldspathes in die schiefrigen Gesteine; ähnlich können, wenigstens in einigen Fällen, Topas, Smaragd, Turmalin und andere Mineralien, welche oft Nester in den Schiefen bilden, durch eine Transfusionserscheinung entstanden sein. Ihr Auftreten sieht eher nach einem Moleculartransport aus als nach einer Injektion.²⁾

Magnesiahaltige Emanationen scheinen seit den ältesten und bis in die neuesten Zeiten stattgefunden zu haben. In der Nähe der Eruptivgesteine, noch der Basalte der Auvergne und Südfrankreichs, sind die Kalke in Dolomite umgeändert. Wie die Magnesia in die Kalke eingeführt wurde, ist eine untergeordnete Frage, denn Cementation kann entstehen bei Contact mit festen oder gasigen Cementen. Die scharfsinnige Hypothese des Eindringens der dampfförmigen Magnesia quer durch die Gesteinsspalten hat nur den Vortheil, die Umänderung großer Massen schnell vor sich gehen zu lassen.³⁾ Die Ersetzung eines Theils des Kalkes durch Magnesia bleibt ein chemisches Problem, ein Räthsel.⁴⁾ Die letzte, mit den Ursachen des Metamorphismus verbundene Erscheinung ist das Auftreten der Thermen, „die Thermalität der Quellen scheint mit der Zeit zu erlöschen; die nur in den ältesten Epochen gehobenen Gegenden, wie Skandinavien, Nord- und Westfrankreich, haben keine Thermen.“⁵⁾

An die Stelle plötzlicher und großer Temperaturerhöhung setzt Durocher „die sekuläre Erwärmung, welche vielleicht nie die Dun-

1) „Les substances métalliques ont cheminé à travers les roches, sans que celles-ci aient eu besoin d'entrer en fusion. l. c. 636.

2) l. c. 639—641.

3) l. c. 579—580.

4) l. c. 644.

5) l. c. 641.

kelrothgluth erreicht hat,¹⁾ und erklärt die Umwandlung durch Cementation in festem, nicht erweichtem Gestein, durch Ersatz von Molekul zu Molekul, betrachtet sie jedoch wesentlich als eine Contacterscheinung. Wo der Contact nicht sichtbar ist, wird eine unterirdische Berührung, ein „Granitbad“ angenommen, denn „der Granit ist es vorzugsweise, der in den geschichteten Sedimenten neue Mineralien hervorbringt.“²⁾

Durocher spricht an vielen Stellen aus, daß man die Thatsachen annehmen müsse, wenn auch die vollständige Erklärung fehle. An vielen Punkten, wo sie Durocher vermifst,³⁾ läßt sie sich wohl durch die Wirkung der Lösungen liefern, welche aus der Verwitterung und Zersetzung hervorgehen, so z. B. bei der Verkiesung und Verkieselung der organischen Reste, an anderen Stellen durch den Satz, daß dieselbe Wirkung von mehr als nur Einer Ursache herrührt, wenn auch vollständige Erklärung bis jetzt nicht überall zu geben ist. Wie alle Metamorphiker bleibt auch Durocher betreffs der Entstehung der krystallinischen Schiefer den Beweis schuldig, warum diese nothwendig metamorphisch sein müssen. Und wieder müssen die Versteinerungen führenden Quarzite der Bretagne, welche mit nicht veränderten Thonbänken (*bancs d'argile*) wechsellagern, metamorphe Sandsteine sein; freilich fügt Durocher vorsichtig hinzu: „Es scheint, daß, wenn der Metamorphismus, der diese Gesteine hervorbrachte, unter Wirkung der Hitze sich entwickelte, die Erhöhung der Temperatur eine sehr geringe war.“⁴⁾ Durocher selbst ist weit entfernt davon, seine Theorie als alle Erscheinungen erklärend zu betrachten. Die Verschiedenheit der Einwirkungen der Granite in verschiedenen Gegenden entgeht ihm nicht, die Ursache derselben erscheint ihm geheimnifsvoll.⁵⁾ Während in Norwegen der postsilurische, verhältnißmäfsig kieselsäurearme Granit zunächst Kieselsäure an die Schiefer abgibt, bringt der postsilurische Granit der Bretagne in den Schiefen Glimmer und Chiastolithe hervor; in den Alpen veranlafst der Granit

1) l. c. 643. „flux de chaleur séculaire.“

2) l. c. 629.

3) l. c. 644.

4) l. c. 604.

5) l. c. 628.

weithin Bildung von Gneifs, Glimmerschiefer und talkigen Gesteinen, aber weder Verkieselung noch Chiastolithbildung. Wenn der norwegische Granit Quarz abgegeben hätte, so müßte entfernter von den veränderten Schiefern sein Quarzgehalt zunehmen, aber das ist nicht der Fall. Ähnliches gilt nach Durocher, wenn auch nicht so schlagend, für die übrigen plutonischen Gesteine.¹⁾

Durocher nimmt nicht an, daß das Flüssigwerden des Granites durch seine geringe, weniger als $\frac{1}{2} \frac{0}{0}$ betragende Menge Wasser erleichtert werden konnte.²⁾ Aber ihm sind doch die eruptiven Gesteine feurigflüssig aufgestiegen, er giebt sie nirgend für metamorphosirte Sedimente aus. Seine Theorie der Transfusion und Transsudation, den Erscheinungen der Cementation entnommen, erscheint zur Erklärung der Metamorphose großer Gebirgsmassen als eine sehr kühne Hypothese und ist unzulänglich bewiesen. Man kann z. B. nicht die Feldspathe oder die Glimmer der Granite als Quelle der Alkalien für die Feldspathbildung in den Gneifsen in Anspruch nehmen, da die Analysen in ihnen keinen Mangel an Alkalien nachweisen, so lange man unverwitterte, frische Mineralien untersucht. Die zahlreichen Beobachtungen Durocher's behalten trotzdem großen Werth.

Den weitesten Umweg zur Erklärung der Bildung der krystallinischen Schiefer schlägt G. Bischof in seinem Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie (ed. I 1847—1854; ed. II. 3. Bd. 1863—1866) ein. Der Verfasser der „Wärmelehre des Innern unsers Erdkörpers“ (1837) nimmt den feurigflüssigen als den Anfangszustand der Erde an. Es ergibt sich ihm, daß „aus der angenommenen Existenz eines primären Feldspathgesteins die Bildung aller Gesteine, welche man zu den Urgesteinen zählt, abgeleitet werden kann. Durch Metamorphosen gingen aus diesem Muttergestein massige granitische Gesteine hervor, durch Erosion wurde aus demselben dem Meere das Material zur Bildung der Urschiefer zugeführt.“³⁾ „Der Granit kann nur auf hydrochemischem Wege

¹⁾ l. c. 629.

²⁾ Bull. géol. (2) 4. 1033. 1847. Ausgesprochen im Gegensatz zu Scheerer's S. 205 angeführten Ansichten.

³⁾ Ed. II. Bd. 3. 269.

entstehen¹⁾; „auf dem Meeresboden kann keine Stelle gedacht werden, wo noch das ursprüngliche Gestein, welches vor allen sedimentären Bildungen existirt haben muß, zu finden wäre.“²⁾ „Nur zwei Mineralien, Leucit und Augit, sind es, die auf plutonischem Wege gebildet werden können³⁾; die krystallinischen Gemengtheile der krystallinischen Gesteine sind ausschliesslich auf nassem Wege gebildet.“⁴⁾ Sogar in den Laven wird der bei der Erstarrung etwa unkrystallisirt gebliebene Theil „durch die Durchdringung mit Meteorwassern krystallinisch. Es ist sogar denkbar, daß Krystalle, welche in der erstarrenden Lava unvollkommen ausgebildet wurden, durch die später auf nassem Wege fortschreitende Krystallisation zur vollständigen Ausbildung kamen.“⁵⁾ Wenn in Sedimenten in Folge der eingetretenen Krystallisation „ein Reinigungsproceß“ stattfindet, d. h. „das ausgeschieden wird, was die Krystalle nicht brauchen können,“ so wird das Ausgeschiedene, sofern es löslich ist, von den Gewässern fortgeführt. Was zur Bildung krystallisirter Mineralien fehlt, ergänzen die Gewässer.⁶⁾ Auf diese Weise wird es begreiflich, „wie an die Stelle der kohlensauren Kalkerde die Hauptgemengtheile des Gneisses treten können“⁷⁾ und „aus einem Kalkstein kann daher ein Granit oder Gneifs werden.“⁸⁾

Bischof's ultraneptunische Ansicht, fast das genaue Gegenstück der ultraplutonischen Hutton's, will nach Naumann's Ausdruck „eine Hysterokrystallisation auf hydrochemischem Wege“: „lang dauernde Durchwässerung der Gesteine (wobei das Wasser alles etwa Fehlende zuführt) bewirkt substanzielle Veränderung und Umkrystallisirung“, und zwar bei gewöhnlicher Temperatur. Folgerecht gehört es für Bischof „zu den unbegreiflichen Dingen, wie die Hypothese einer plutonischen Metamor-

1) ib. 270.

2) ib. 274.

3) ib. 254.

4) ib. 262.

5) ib. 2. 304. cf. 107 u. Ed. I. Bd. 2. 2197: Für die Sanidine im Arsoströme, Ischia, würde sich eine Bildungsdauer von mehr als 500 Jahren ergeben.

6) ed. II. Bd. 3. 243.

7) ib. 38.

8) ib. 34.

phose ganzer Gebirge in der Geologie Platz greifen konnte.¹⁾ Die meisten der sogenannten Contactwirkungen rühren unzweifelhaft davon her, daß da, wo sich zwei verschiedene Gesteine berühren, der Zutritt der Gewässer erleichtert ist.“²⁾

Man darf als den Ausgangspunkt der Ansichten Bischof's die Pseudomorphosen bezeichnen, welche der neptunischen Betrachtung geologischer Vorgänge so ausgezeichneten Vorschub leisten. Der Chemiker Bischof räumt jedoch der Erörterung der geologischen Thatsachen³⁾ einen viel zu kleinen Theil ein und gar keinen, wenn Widersprüche für seine Ansichten daraus folgen. Als die bedeutsamste Erscheinung tritt der Umweg zur Bildung der krystallinischen Schiefer hervor, der erst ein amorphes oder doch nur ähnlich wie die Lava mikrokrySTALLINISCHES Feldspathgestein, dann dessen Umbildung zu Granit, dann eine Verwitterung des Granites fordert und endlich aus dem neu entstandenen Sediment die krystallinischen Schiefer ableitet. Daß sich die Bildung derselben in späteren Epochen nicht wiederholt, schreibt Bischof dem Mangel an Alkalien in den späteren Absätzen zu.⁴⁾ Er läßt aus Thonschiefer Gneifs entstehen; wenn dann der gebildete Feldspath in Quarz und Glimmer zerlegt wird, entsteht Glimmerschiefer; dieser kann daher aus Gneifs hervorgehen, aber nicht umgekehrt. Wird Thonschiefer in Gneifs oder in Glimmerschiefer umgewandelt, so scheidet sich Kieselsäure aus, aber in letzterem Falle mehr als in ersterem, daher mehr Quarz im Glimmerschiefer als im Gneifs.⁵⁾ Die mit beiden wechsellagernden Hornblende-schiefer entstehen so, daß die ursprünglichen Thonschiefer vorzugsweise Kalk, Magnesia und Eisenoxydul enthielten.⁶⁾

1) Bd. 3. 189.

2) ib. 188.

3) Bd. 2. 736. „Wir können keinen einzigen vollgültigen Beweis für die Entstehung auch nur eines einzigen Glimmerblättchens auf pyrogenem Weg finden.“ Und der Glimmer der Vesuvlaven? Über Olivin vergl. Bd. 3. 286.

4) Bd. 3. 271.

5) ib. 245.

6) ib. 363.

Besteht Bischof's großes unbestreitbares Verdienst in dem Nachdruck, den er auf chemische Prozesse, besonders der Verwitterung und Zersetzung legt, so hat er diesen eine ungebührliche Ausdehnung gegeben, so weit, daß er Ursache und Wirkung häufig umkehrt.

Scheerer¹⁾, der die schon 1825 von Poulett Scrope²⁾ aufgestellte Ansicht eines feurigwässrigen Flusses der Lava für Granit wieder aufnimmt, läßt bei dem langsamen Erkalten endlich das Wasser mit sehr hoher Temperatur, aber doch flüssig, und unter sehr hohem Druck aus dem Granit hervortreten, beladen namentlich mit Kieselsäure und anderen gelöseten Substanzen. Diese Lösungen erklären z. Th. den Kontaktmetamorphismus. Sieht man die Thonschiefer durch eindringenden Granit wohl gefaltet, aber nicht zerbrochen, so spricht das für eine gewisse Plasticität in Folge ihres Wassergehaltes; sind sie durch Granit in Gneifs und granitische Gesteine umgewandelt, so spricht das für Umänderung bei Gegenwart von Wasser, hoher Temperatur und entsprechendem Druck.

Scheerer nimmt an, daß die primitiven krystallinischen Schiefer unter Wasser und starkem Druck geschmolzen sind. „Die plutonische Theorie vermag mit Hilfe des polymeren Isomorphismus und des Paramorphismus ein Bild von der Entstehung der krystallinischen Urgebirgsarten zu entwerfen, welches genauer mit den in der Natur angetroffenen geognostischen und petrographischen Verhältnissen übereinstimmt als dies bis jetzt von irgend einer anderen geologischen Theorie hat erreicht werden können.“³⁾ „Man kann in Skandinavien eine Thonschiefer- und Kalksteinbildung von ihrem ersten Absatze an bis dahin verfolgen, wo sie als Gneifs und krystallinischer Kalk mit mancherlei fremdartigen Mi-

¹⁾ Bull. géol. (2) 4. 494—495. 1847.

²⁾ Considerations on volcanos p. 110: „aqueous vapour — which lava contains and to which alone its liquidity is owing.“

Auch Élie de Beaumont nimmt für Granit nicht einen feurigen Fluß an. Bull. géol. (2) 4. 1311. 1847. Zu demselben Schluß gelangt Sorby (Jahrb. Min. 1861. 771) und Gruner (Bull. géol. (2) 23. 110. 1866) hält Granit, Quarzporphyr, Trapp „für hydropyrogene Gesteine, in denen überhitztes Wasser als energisches Lösungsmittel oder mächtiges Flufsmittel wirkte.“

³⁾ Der Paramorphismus. Braunschweig 1854. 69.

neraleinschlüssen auftritt. Diese — uns nun nicht mehr als accessorisch, sondern als genetisch bedingt erscheinenden — Mineralien entwickeln sich aus Bestandtheilen, welche in der Kalk-Thonschiefermasse theils ursprünglich vorhanden waren, theils erst später hinzugekommen sind. Wärme ist jedenfalls, daneben Wasser bei der Metamorphose von Thonschiefer und Kalkstein zu Gneifs und Marmor thätig gewesen.“¹⁾ Scheerer ist jedoch geneigt einem Theil des skandinavischen Gneifses das Privilegium der Aboriginität zu wahren.

Den grauen erzgebirgischen Gneifs hält Scheerer 1853²⁾ für ein an Ort und Stelle metamorphosirtes Gebilde, während der rothe, noch an den Granit sich anschließende Gneifs bei seiner Metamorphose zugleich mehr oder weniger eruptiv wurde.

Die Entscheidung, ob die krystallinen Schiefergesteine (Gneifs, Glimmerschiefer), welche in den westlichen Alpen die Granite und Syenite zunächst umgeben, nur metamorphische oder zum Theil Urschiefer sind, hält Scheerer 1858 für schwierig.³⁾ Später (1862)⁴⁾ weist Scheerer für die erzgebirgischen Gneifse die metamorphische Entstehung ab. „Sie bildeten eine vollkommen homogene, plutonisch flüssige Masse, die möglicher Weise mehr Wasser enthielt als jetzt. Chemische und physische Wirkung von Wasser, hoher Temperatur und Druck sind die Hauptagentien, welche die chemische Masse dieser Gesteine in der Weise bearbeiteten, daß dieselbe dadurch den Charakter des Gneifses annahm.“

In dem Aufsatz „über die chemische Constitution der Plutonite“ 1866 rechnet Scheerer die Gneifse zu den Plutoniten, welche mit den Metamorphiten „als Übergangsstufen aus den wässrig sedimentären Gebilden (Neptuniten) in die feurig eruptiven (Vulcanite) fungiren.“ Plutonite und Vulcanite zusammen umfassen „sämmliche ursprünglich geschmolzene und später zum Theil eruptiv gewordene Silikatgebilde.“ „Selbst die Laven können nicht als rein vulkanische-feurige-Gebilde angesehen wer-

1) Zs. geol. Ges. 4. 45. 1852. cf. Karsten und von Dechen Archiv 16. 134. 1842 und Paramorphismus p. 115.

2) Jahrb. Min. 1854. 44.

3) Berichte d. Kgl. Sächsischen Ges. d. Wissenschaften. 10. 91 u. flg.

4) Zs. geol. Ges. 14. 119—120. 1862.

den. Auch sie, als geschmolzene Massen, entstiegen dem Krater in einem wasserhaltigen Zustande; nur pflegten die Umstände nicht der Art zu sein, daß dieser Wassergehalt bei der Erstarrung der Laven als ein chemischer Bestandtheil in ihnen zurückgehalten wurde.“ Die Plutonite, in dieser Beziehung genetisch von den Vulkaniten nicht trennbar, befanden sich, obgleich ursprünglich als geschmolzene Massen auftretend, hierbei unter der gleichzeitigen Mitwirkung des Wassers, welches noch gegenwärtig als chemischer Bestandtheil in ihnen angetroffen wird. Scheerer hält also den wässrigfeurigen Fluß für alle plutonischen und vulkanischen Gesteine fest und bedingt den Unterschied zwischen ihnen durch die Art ihrer Erstarrung. Nachdem Scheerer seine 9 chemischen Gesteinstypen so gebildet hat, daß er den dritten Theil des Sauerstoffs vom Wasser zum Sauerstoff der Basen RO addirt, weil 3 Atome Wasser in der chemischen Rolle von 1 Atom MgO, FeO, MnO, CaO auftreten, gelangt er dahin, die Gneuse, Granite, Bunsen's Normaltrachyt u. s. w. zu den Plutoniten zu rechnen, dagegen Augitporphyr, Bunsen's Normalpyroxengestein, Gabbro-Hypersthenit, Diorit, Dolerit, Basalt u. s. w. als Vulkanite aufzufassen. Läßt sich geognostisch gegen diese Trennung sehr Gewichtiges einwenden, so ändert sich auch, wenn man den Wasserstoff als Vertreter der einwerthigen Elemente (Kalium, Natrium u. s. w.) in manchen der früher als wasserhaltig betrachteten Mineralien auffaßt, in anderen die Aufnahme des Wassers als Wirkung der Verwitterung anerkennt, das chemische Bild sehr bedeutend.

Nach B. Cotta¹⁾ kann dichter Kalkstein oft durch Wärme stärker erweicht werden als die ihn einschließenden Gesteine und dann in diesem erweichten Zustande, der Form nach eruptiv, in die Umgebung eingeprefst werden, so daß er außer regelmäßigen Lagern Gänge, Verästlungen und stockförmige Massen zu bilden vermag. Damit ist krystallinisch körnige Erstarrung und die bekannte Kontaktbildung verbunden. Cotta hält es für möglich, daß Thonschiefer und Schieferthon mit seinen Kalksteinen in glimmerhaltigen körnigen Kalk, welcher parallel der Schieferung liegt, umgewandelt wird. (Zaunhaus in Sachsen, Wunsiedel.)

¹⁾ Zs. geol. Ges. 4. 47. 1852 und schon früher seit 1834. (Jahrb. Min. 37 u. 329.)

Wo den thonigen Sedimentgebilden Kalk fein eingemengt war, entsteht Hornblendeschiefer.¹⁾

„Die krystallinischen Schiefer mit Ausschluss manchen Gneißes (schiefrigen Granites) sind das letzte Resultat jenes sehr allgemeinen Umwandlungsprocesses, der alle diejenigen Sedimentablagerungen betroffen hat und noch fortwährend betrifft, welche durch neuere Ablagerungen mehr oder weniger stark bedeckt wurden. — Dadurch wurden die bedeckten Schichten nicht nur erhöhtem Druck, sondern auch erhöhter Temperatur ausgesetzt.“ — Druck und Wärme, vielleicht auch noch in Verbindung mit Wasser, bewirken die Umwandlung. Wo also krystallinische Schiefer die Erdoberfläche bilden, sind sie erst wieder gehoben und ihrer Bedeckung beraubt. In den Alpen sind nicht nur die alten Sedimente verändert, sondern auch noch Juragesteine z. Th. zu krystallinischen Schiefen geworden und später durch sehr energische Hebungen bloßgelegt. In den Alpen erscheint überhaupt die Skala der Umwandlungen gleichsam etwas höher heraufgerückt.²⁾ „Die krystallinischen Schiefer sind nicht durch erste Erstarrung der Erdmasse gebildet, so viel ist sicher.“³⁾

Die ersten Arbeiten über Metamorphismus von Delesse sind vom Jahre 1851.⁴⁾ Ich entnehme das Folgende seinen schon angeführten *Études sur le métamorphisme des roches* 1861. Er hält die krystallinischen Schiefer für metamorph; ihr Eisenglanz ist nicht durch Infiltration oder Dämpfe eingeführt, das Eisenoxyd des Sedimentes krystallisirte im Augenblick des Metamorphismus, wobei die Blättchen sich nach der Schieferung orientirten. Ihr Magneteisen rührt von dem Eisenoxyd her, das nicht in die Magnesia-Eisensilikate einging, sondern reducirt und krystallinisch wurde.⁵⁾ Aller Graphit stammt von organischer oder bituminöser Substanz. Ihre Kalke sind ebenfalls metamorph und der Grad der Krystallinität hängt ab von dem Grade des Metamorphismus der sie einschließenden

1) Jahrb. Min. 1851. 572.

2) Jahrb. Min. 1862. 674.

3) ib. 678.

4) Sur l'origine des calcaires crystallins et notamment du calcaire du gneiss. Bull. géol. (2) 9. 133.

5) Études p. 8 u. 9.

Gesteine.¹⁾ Da Delesse die Ausstofsung gewisser Substanzen und die Zufuhr aus nächst gelegenen Gesteinen im Augenblick des Metamorphismus für möglich hält (ohne freilich das Wie anzugeben), so wandern die Mineralien in einem Gestein oder in das nächste mit Leichtigkeit.²⁾

Aus Magnesia haltigem Thon wird Talkschiefer; enthält er noch Eisen, Chloritschiefer; aus Thon mit Kalk, Magnesia und Alkali wird Hornblendeschiefer. Amorpher thoniger Schiefer liefert Glimmerschiefer, bei Überschufs von Kieselsäure quarzreichen Glimmerschiefer; war reichlich Alkali vorhanden oder wurde es zugeführt, so entstand Gneifs. Dieser, ein Zwittergestein zwischen geschichteten und eruptiven Gesteinen, mußte im Moment, wo er krystallisirte, mehr oder weniger plastisch werden und konnte daher als Eruptivgestein auftreten.³⁾ Schliesslich sind nach Delesse alle plutonischen Gesteine metamorphischen Ursprungs und auf Kosten der metamorphischen Gesteine entstanden, in welche sie Übergänge bilden. Diese gehen aus den Sedimenten hervor und werden zu plutonischen Gesteinen, wenn der Metamorphismus den höchsten Grad erreicht.⁴⁾ Ein entsprechendes Sediment wird Hornblendeschiefer und dieser wird eruptiver Diorit, oder ein Sediment wird Gneifs und dieser wird eruptiver Granit.

Da es seit den ältesten Zeiten vulkanische Gesteine (wie Trachyt und Dolerit) gegeben haben muß, so erklärt Delesse ihr Fehlen oder ihre Seltenheit in den älteren Sedimenten durch den allgemeinen Metamorphismus, der sie in die entsprechenden plutonischen Gesteine unter Verlust der zelligen Textur und des Glasglanzes ihrer Mineralien umgewandelt hat.⁵⁾ So wurde aus Trachyt Granit, gerade umgekehrt wie L. von Buch aus Granit Trachyt entstehen liefs. Die plutonischen Gesteine entgehen dem allgemeinen Metamorphismus keineswegs, sie krystallisiren von neuem (ebenso wie die von ihnen durchbrochenen Gesteine), ändern ihre Struktur im Grofsen und Kleinen, es entstehen neue Mineralien, während an-

1) l. c. 47.

2) l. c. 56.

3) l. c. 86.

4) l. c. 87.

5) l. c. 27.

dere verschwinden. Da sich die plutonischen Gesteine mit denselben Charakteren in allen metamorphischen Terrains wiederfinden, müssen sich die letzteren in allen geologischen Epochen gebildet haben.¹⁾

„Sonach ergibt sich, die plutonischen Gesteine sind nicht die Ursache, sondern eine Wirkung des Metamorphismus,²⁾ aber sie üben selbst wieder einen örtlich beschränkten Kontaktmetamorphismus auf ihre Umgebung aus.“

„Bei Annahme feurigflüssiger Entstehung der Erde muß die erste Erstarrungsrinde vulkanisch sein. Sie wurde zum Theil durch die heftige Einwirkung des condensirten, ursprünglich dampfförmigen Wassers zerstört und lieferte Sedimente von sehr großer Mächtigkeit. Diese begreifen den ganzen unseren Untersuchungen zugängigen Theil der Erdrinde, wie sie auch alle Elemente zu den eruptiven und vulkanischen Gesteinen enthalten. In diesen ersten Sedimenten bildeten sich durch Wirkung des Wassers, Druckes, der Hitze und Molekularbewegungen die Mineralien, und je nachdem die krystallinische Struktur sich mehr oder minder entwickelte, war das entstehende Gestein Gneifs oder Granit.“³⁾ Als normale d. h. nicht metamorphosirte Gesteine gibt es also für Delesse nur Sedimente. Sie können z. Th. krystallinisch sein wie Anhydrit, Gyps, Kalk, Dolomit, Quarz; z. Th. amorph wie Thon, Mergel, Schieferthon, Thonschiefer, Eisenoxydhydrat. Aber alle Gemenge aus krystallinischen Silikaten, aller Kalk mit Silikaten, aller krystallinische Anhydrit, Gyps, Kalk soweit er in metamorphischen Gesteinen eingeschlossen ist, die Quarzschiefer, der Jaspis sind metamorphisch, mögen die ersteren als krystallinische Schiefer, als eruptive oder als vulkanische Gesteine auftreten.

Daneben ist noch die Ansicht von Delesse zu erwähnen, daß Wasser schmelzbare und unschmelzbare Gesteine plastisch macht.⁴⁾ „Unter Druck und Wasser kann im Innern der Erde Quarz erweicht und selbst plastisch werden.“⁵⁾ „Damit sich die Mineralien des Granites ent-

¹⁾ l. c. 28.

²⁾ l. c. 87.

³⁾ l. c. 76.

⁴⁾ Bull. géol. (2) 15. 732. 1858.

⁵⁾ Études. 52.

wickeln konnten, ist nur ein wenigplastisches Magma nöthig. Wasser, unterstützt durch den Druck und sekundär durch nicht übermächtig hohe, sicher unter der Rothglühhitze liegende Temperatur, hat diese Plasticität bewirkt.¹⁾

Auch bei Delesse bilden die Sedimente den Ausgangspunkt trotz der Annahme einer feurigflüssigen Erstarrungsrinde.

Daubrée²⁾ hält für wahrscheinlich, daß die erste, aus feurigem Fluß erstarrte, ohne Mithülfe flüssigen Wassers entstandene Erdkruste von dem bei Erniedrigung der Temperatur flüssig gewordenen Wasser, „dem Wasser des Uroceans“ (*de cet océan primitif*) durchdrungen wurde, so daß sich ihre Beschaffenheit durch metamorphische Thätigkeit änderte und krystallisirte Mineralien entstanden, ähnlich wie bei Daubrée's bekannten Versuchen in den Röhren.³⁾ „Der nasse Weg und der trockne Weg gingen also unter diesen extremen Bedingungen neben einander her, Lösung und Neubildungen wechselten, und so entstanden massige Gebirgsarten — Granite — und Gebirgsarten mit Anzeichen von Sedimentirung — krystallinische Schiefer — welche im engsten Verband mit einander stehen. Ausschließlich auf trockenem Wege entstandene Gesteine darf man auf der Erde nirgend zu finden hoffen. Die ersten Absätze blieben lange in einem weichen Zustande, sehr günstig zur Entstehung der Schieferung, welche vielleicht seitlichem Druck ihre Entstehung verdankt. Zweifellos geben die vorsilurischen krystallinischen Schiefer Kunde von der einstigen hohen Temperatur der Erdoberfläche und der später erfolgten Temperaturabnahme. Der Actualismus reicht nicht aus ihre Entstehung zu erklären, sie sind ein Beweis gegen ihn.“

Sind also nach Daubrée die krystallinischen Schiefer metamorphischer Entstehung, zeigen sie sogar den Metamorphismus in seiner stärksten Wirkung, so sind sie ihm doch nicht umgewandeltes Silur. Ihre Umwandlung war vor dem Absatz des Silur vollendet. Der Weg Dau-

¹⁾ Bull. géol. (2) 15. 776. 1858.

²⁾ l. c. Études 1860. 121. Ebenso im Rapport sur les progrès de la géologie expérimentale. 1867.

³⁾ l. c. 121. „de même que dans nos tubes.“ Über Daubrée's Versuche s. Ann. min. (5) 12. 1857 und Bull. géol. (2) 15. 93. 1858.

brée's ist kürzer als der von Bischof, aber das Gelingen seiner Versuche, bei denen wasserfreie Silikate neben wasserhaltigen auf nassem Wege bei hohem Druck dargestellt wurden, verleitet ihn, dieselbe Entstehungsweise den krystallinischen Schiefen zuzuschreiben. Es ist eben so sicher, daß bei hoher Temperatur ohne Gegenwart jeden Wassers krystallisierte Mineralien entstehen können, als daß Gase und Dämpfe bei dem Erstarren der krystallinischen Schiefer (und des Granites) gegenwärtig waren; eine freilich ungeheuer geringe Menge von Gasen und Flüssigkeiten ist eingeschlossen in den Mineralien derselben. Aber daraus folgt nicht, daß die krystallinischen Schiefer in der von Daubrée angenommenen Weise entstanden. Wenn Chloritschiefer mit Turmalin dafür sprechen sollen, so bleibt die Möglichkeit oder richtiger die Wahrscheinlichkeit, daß der Chlorit späterer Verwitterung seine Entstehung verdankt. Die hohe Temperatur, bei welcher er das Wasser abgibt, ist kein Beweis für das Gegentheil, da der sicher als Verwitterungsprodukt auftretende Speckstein dasselbe Verhalten zeigt. Wenn auch Augit auf nassem Wege bei hohem Druck sich bildet, so folgt daraus nicht, daß aller Augit (Pyroxen!) auf diese oder auf ähnliche Weise entstanden ist.²⁾

Daubrée nimmt an, daß große aus Sedimenten bestehende Massen, in denen keine Eruptivgesteine auftreten, metamorphosirt sein können. Wenn silurische und devonische Thongesteine schiefrig werden, Chlorit führen oder Feldspath, Quarzadern zeigen, wenn die Sandsteine zu Quarziten werden, so sind sie metamorph, „denn sie können ursprünglich diese mineralogische Beschaffenheit nicht gehabt haben.“³⁾ Noch stärker tritt die Metamorphose in den talkigen, grünen und Hornblendeschiefern, im Talkgneifs, Quarzit und den glimmerigen Kalken der Alpen hervor. Sie und ähnliche krystallinische Gesteine sind metamorph, weil, ähnlich wie dem Kontaktmetamorphismus,

- 1) die untergeordneten Gesteine in sicher sedimentären Gebirgsarten analoge Zusammensetzung zeigen wie die in den krystallinischen Massen: so Kalk, Dolomit, Gyps, Quarzit, Talk- und

¹⁾ Rammelsberg, Zs. geol. Ges. 20. 84. 1868.

²⁾ Daubrée l. c. 110.

³⁾ l. c. 60.

Chloritschiefer. Ferner ist, wie Bischof gezeigt hat, die chemische Zusammensetzung gewisser Übergangsthonschiefer nahe dieselbe wie bei Gneifs und Granit.

- 2) weil unbezweifelte allmähliche Übergänge vorhanden sind zwischen krystallinischen und geschichteten, Versteinerungen führenden Gesteinen. Besonders in den Alpen, wo in wenig veränderte Sedimente krystallinische Gesteine eingeschaltet sind.
- 3) weil bei der Kontaktmetamorphose die Krystallisation nicht immer die Spuren der organischen Reste verwischt hat. (Granat, Hornblende, Epidot, Dipyr, Chiasolith, Axinit.) Die bekannten Silikatblöcke der Somma zeigen die Möglichkeit der Umänderung.
- 4) weil man in sehr krystallinischen Feldspath- und Glimmergesteinen Pflanzenreste findet. So in den feldspathhaltigen Grauwacken von Thann, den Schiefen von Bussang, Vogesen, der „pierre carrée“ der Loire.¹⁾

Gegen den ersten Grund ist der Satz anzuführen, dafs viele Mineralien auf nassem und trockenem Wege entstehen können. Quarz, Epidot, Magneteisen, Flusspath, Schwerspath sind Beispiele dafür.

Gegen Bischof's These ist zu erinnern, dafs die chemische Identität oder fast vollständige chemische Identität eines Gemenges von Quarz und Thon mit einem Gestein aus Quarz und Feldspath doch nichts weiter beweiset, als dafs der verwitterte Feldspath wenig Alkali und keine Thonerde abgegeben hat. Aber diese chemische Identität ist sicher kein Beweis für die physikalische und genetische.

Wenn bei dem zweiten Grunde die Lagerungsverhältnisse unzweifelhaft gleichzeitige und gleichgeartete Ablagerung beweisen, wenn nicht etwa spätere Einschiebung und Dislokation statt fand, so würde dort die Frage, ob Metamorphose vorliege noch zu erörtern sein. Immer bliebe dann noch zu entscheiden, ob das dort Gefundene auch für die große, überall gleichmäfsig und reich entwickelte Formation der krystallinischen Schiefer nothwendig Geltung haben mufs.

¹⁾ l. c. 63.

Gegen den dritten Grund ist zu sagen, daß, wenn in Sedimentgesteinen die genannten Mineralien bei der Kontaktmetamorphose entstehen, damit ein Beweis für diese Entstehungsart geliefert ist. Aber der Schluss, daß Mineralmenge, in denen jene Mineralien vorkommen, darum umgeändert sein müssen, läßt für dieselbe Wirkung stets eine und dieselbe Ursache voraussetzen. Die Metamorphose kann erst dann als vorhanden angenommen werden, wenn die Möglichkeit der ursprünglichen Bildung, als der einfachste Fall, durch geologische und chemische Gründe ausgeschlossen ist.

Der vierte Satz zeigt wiederum, daß Mineralien, die oft auf feurigflüssigem Wege entstehen, auch auf nassem Wege entstehen können. Ob nicht Einschlüsse für gleichzeitige Bildungen genommen wurden, könnte nur die genaueste Untersuchung jedes einzelnen Falles lehren.

Hohe Temperatur allein kann nach Daubrée so mächtige Ablagerungen nicht verändert haben, schon die Gleichmäßigkeit der ausgeübten Wirkung spricht dagegen; Gase und Dämpfe (Chlor-, Fluor-, Borverbindungen u. s. w.¹⁾), Druck und vor Allem überhitztes Wasser haben mitgewirkt.

Daubrée hat durch Behandlung von Klingenberg Thon mit Wasser von Plombières bei hoher Temperatur und Druck perlmutterglänzende, weißse, hexagonale, doppeltbrechende Blättchen dargestellt, die wie Glimmer aussehen. Sie sind schmelzbar, werden durch Salzsäure angegriffen, welche Thonerde auszieht; zur quantitativen Analyse war jedoch die Menge zu gering. Es erscheint ihm sehr wahrscheinlich, daß die Substanz ein „einaxiger Glimmer oder ein Chlorit ist.“²⁾ Daubrée drückt sich so vorsichtig aus, daß man nach seinen Angaben nicht behaupten kann, er habe wirklich Glimmer oder Chlorit dargestellt. Nach seinen Versuchen verliert sibirischer Kaliglimmer, behandelt wie der Thon, kaum seine Durchsichtigkeit. Daubrée geht gewifs zu weit, wenn er allen Quarz, den der eruptiven und der metamorphischen Gesteine, der Gänge, auf nassem Wege entstehen läßt,³⁾ weil er ihn auf diese Weise

¹⁾ Vgl. In C. R. 29. 227. 1849 u. Ann. min. (4) 16. 129—156. 1849, C. R. 32. 625. 1851 u. C. R. 39. 153. 1854 die von Daubrée angestellten Versuche zur künstlichen Nachbildung von Mineralien.

²⁾ l. c. 93.

³⁾ l. c. 105.

erzeugt hat. Die Quarze der Liparitlaven sind ein schlagender Beweis gegen diese Behauptung. Ebenso wenig beweiset die Gegenwart wasserhaltiger Silikate, Zeolithe u. s. w. in Basalt und Phonolith eine Mitwirkung des Wassers bei Entstehung des Gesteines; die mikroskopischen Untersuchungen haben vielmehr mit Sicherheit gelehrt, dafs die Zeolithe Produkte späterer Veränderung sind.

Wenn Daubrée das Wasser bei den feurigflüssigen Eruptivgesteinen „eine Art wässriger Schmelzung, die bisweilen durch den Druck bleibend wurde,“¹⁾ bewirken läfst, wenn er sogar der Volumenvermehrung durch den Einflufs des Wassers eine Wirkung auf die Eruption der Phonolithe und Basalte zuschreibt,²⁾ oder vom Constitutionswasser der Eruptivgesteine redet, so darf man diese Ansichten sicher als übertrieben und nicht in der Natur begründet bezeichnen. Dafs bisweilen Wasserdämpfe die Ausbrüche der älteren Eruptivgesteine begleiteten, während sie in den Vulkanen die gewöhnliche Erscheinung sind, läfst sich durch manche Erscheinungen belegen (Predazzo u. s. w.), aber die hydroplutonischen Contactwirkungen der älteren Zeiten sind viel weniger zahlreich als die rein plutonischen.³⁾

Wenn wie in gewissen Theilen der Alpen (Graubünden) die oberen Gebirgspartien metamorphosirt sind und die darunter liegenden nicht,

1) l. c. 109 „sorte de fusion aqueuse rendue quelque fois persistante par la pression“.

2) l. c. 111.

3) Das Vorkommen granatführenden Opals in der Nähe der Granitgrenze im westlichen Theile von Elba bezeichnet vom Rath (Zs. geol. Ges. 22. 644) als „überzeugend für die hydroplutonische Contactwirkung des Granites“. Der schwarze Opal verdankt seine Färbung der Einmischung einer rothbraunen Substanz (Eisenoxydhydrat). Eng mit diesem Vorkommen verbunden ist das Auftreten von Serpentin (der grünen Schiefer) und Granatgestein. Der Serpentin führt „lichtgelbe Flecke, wahrscheinlich von zersetztem Granat herrührend.“ Da Serpentin zu Opal verwittert, so erscheint die Herleitung des Opals aus verwittertem Serpentin [Studer (Bull. géol. (1) 12. 299. 1841) spricht dieselbe Ansicht aus] viel wahrscheinlicher als die aus einer hydroplutonischen Contactwirkung des Granites. Aus dem analogen bekannten Vorkommen bei Meronitz, wo neben granatführendem Halbopal von Reuss noch „halb aufgelöseter, schmutzig olivengrüner Serpentin mit Pyrop und Talk“ aufgeführt wird, ergiebt sich derselbe Schluss, den überdies die Analysen von Wertheim (s. Rammelsberg Handb. der Mineralchemie. p. 134) bestätigen. Auch Reuss (Karsten u. v. Dechen Archiv 11. 308. 1838) „scheint bei Meronitz der Serpentin das Muttergestein der Pyrope zu sein.“

so schreibt Daubrée diesen Unterschied der Verschiedenheit der Temperatur zu. „Wasserfreie Silikate erzeugen sich im Wasser leicht nur bei bestimmten Temperaturen; bei anderen werden sie zerstört.“¹⁾

In den *Recherches géologiques dans les parties de la Savoie, du Pi mont et de la Suisse voisines du Mont-Blanc*. Paris 1867. Bd. 3. p. 317 schließt sich Alphonse Favre bezüglich der Entstehung der krystallinischen Schiefer vollständig den Ideen Daubrée's an. „Alle krystallinischen Gesteine sind unter dem Einfluß des Wassers auf Kosten der Lava gebildet, welche das erste feurigfl ssige Gestein war und ist (*la seule roche ign e*). Sie bildete die erste H lle um den noch flüssigen Erdkern, sie hätte man immer als primitiv bezeichnen sollen.“²⁾ Nach Favre's Ansicht hat man in den Savoyer Alpen die Rolle der geheimnißvollen, Metamorphismus genannten Kraft, der man oft die Bildung der krystallinischen Schiefer zuschreibt, sehr übertrieben,³⁾ und mit Unrecht schreibt man dem Metamorphismus alle die Wirkungen zu, von denen man sich keine Rechenschaft geben kann.⁴⁾ Er findet jedoch Eozoon in den serpentinischen Kalken, welche dem Gneifs im Mattenbach und den Abf llen der Jungfrau angehören, und nimmt daher an, da ferner Graphit stets und Kalk fast stets organischen Ursprungs ist und beide Mineralien in den krystallinischen Schiefen sich finden, daf  diese jüngeren Ursprungs sind als man gewöhnlich annimmt.⁵⁾

T. Sterry Hunt⁶⁾ nimmt den Metamorphismus im Sinne von Hutton und Boué; alle krystallinischen schiefrigen Gesteine sind durch Umänderung chemischer und mechanischer Sedimente entstanden, welche der Hauptsache nach aus Sandsteinen, Schieferthonen und Kalksteinen bestehen. Auch alle eruptiven (intrusiven) Gesteine sind nach Hunt veränderte und vom Platz gerückte (*displaced*) Sedimente und stammen her

1) l. c. 107.

2) l. c. 320.

3) l. c. 328 u. 329. La confusion qui a souvent  t  faite entre les gr s houillers et les roches dites primitives a encore compliqué la question du métamorphisme.

4) l. c. 330.

5) l. c. 327.

6) Geological Survey of Canada 1857. 476 fig., namentlich in Geology of Canada 1863 und an anderen Orten. (Journal of Geol. Soc. of Dublin 1864.)

von den unteren Partien der geschichteten Erdrinde, nicht unterhalb derselben.¹⁾ Manche, wahrscheinlich alle bis jetzt als eruptiv betrachteten Gesteine (wie Granit, Gabbro, Serpentin, Hyperit, Diorit u. s. w.) sind nichts als an Ort und Stelle veränderte Sedimente, welche, zur Zeit ihrer Umbildung mit Wasser imprägnirt, durch dieses und unter Beihülfe einer erhöhten Temperatur plastisch wurden, die überliegenden Schichten durchbrachen und die Form von intrusiven Gesteinen annahmen. Weil sie unter hinreichendem Druck erstarrten, behielten sie ihren ursprünglichen mineralogischen Charakter, im Gegensatz zu solchen Gesteinen, welche, wie die Laven, nahe der Oberfläche und unter schwachem Druck fest wurden.²⁾ Der Metamorphismus geht durch Wasser und hohe Temperatur vor sich, welche letztere, dem Erdinnern angehörig, tief begrabene Sedimente trifft.³⁾ Der Metamorphismus ist, wofern er regional auftritt, nicht an die Nähe eruptiver Gesteine gebunden; er kann alle Sedimente, die tertiären eingeschlossen,⁴⁾ treffen und erzeugt je nach ihrer Zusammensetzung und des im Wasser Gelöseten verschiedene Gesteine.⁵⁾ Intrusive Gesteine rufen als örtliche Quellen hoher Temperatur lokalen Metamorphismus hervor.⁶⁾

Die Hauptrolle bei dem Metamorphismus, der Umwandlung der mechanisch im Sediment vertheilten Silikate zu krystallisirten Mineralien, denn gewisse chemische Kräfte waren früher in höherem Mafse thätig als jetzt,⁷⁾ spielt im Wasser gelösetes Alkali-Carbonat, welches bekanntlich Kieselsäure (auch die in Form von Quarz auftretende) als Alkalisilikat in Lösung bringt. Die Lösung wirkt auf die erhitzten Gesteine ein, wird von den Carbonaten der Erden zerlegt und bildet aus diesen Silikate der Erden. Das wieder hergestellte Alkalicarbonat löset aufs Neue Kieselsäure und dieser Procefs wiederholt sich fortdauernd, so dafs wenig Alkalicarbonat grofse Massen von Erdcarbonaten umwandeln kann. So entstehen

1) Sill. Amer. J. (2) 36. 218. 1863.

2) Geology of Canada 643.

3) l. c. 580 u. 585.

4) l. c. 569.

5) l. c. 580.

6) l. c. 583.

7) Journal geol. Soc. of Dublin. t. 10. p. 2. 85. 1864.

Augit, Hornblende, Olivin, Wollastonit und, wenn Thonerdesilikat in hinreichendem Maasse zugegen ist, Feldspath, Glimmer, Labrador, Granat, Chlorit. In ähnlicher Weise bilden sich alle krystallinischen Mineralien, welche die geschichteten und ungeschichteten Gesteine zusammensetzen. „Das Problem, wie aus Sand, Thon und Erdcarbonaten in den Sedimenten die verschiedenen Silikate entstehen, welche die krystallinischen Gesteine zusammensetzen, ist also gelöst.“¹⁾

„Die große Laurentische Formation, die ältesten bekannten Gesteine der Erdrinde enthaltend, ist nirgend in unverändertem Zustand gefunden. Sie bedeckt in Canada ungefähr 200,000 Quadratmiles²⁾ und besteht in ihrem unteren Theile aus Orthoklasgneifs mit Quarziten und Kalken, in ihrem oberen ungleichförmig aufgelagerten Theile hauptsächlich aus Anorthositgesteinen, Glimmer-, Hornblende-, Grünsteinschiefer, Serpentin, Syenitgneifs und Syenit, auch Magneteisenlager fehlen nicht. Alle diese Gesteine sind evident veränderte Sedimente. Den indirekten Beweis dafür liefern die Lager von Graphit, Magneteisen, Eisenoxyd, Metallsulfureten und Apatit. In Europa kennt man als Äquivalent der großen Laurentischen Formation nur den primitiven skandinavischen Gneifs und Murchison's schottischen Fundamentalgneifs; vielleicht gehören hierher auch die krystallinischen Gesteine Grönlands.“³⁾

Hunt denkt sich die etwa wie Dolerit zusammengesetzte Erstarungsrinde der Erde durch heisse saure Regen in Gelösetes zersetzt, das sich im Meer angesammelt hat, und in thonigkieselige Sedimente. Der Kern der Erde ist fest, darüber folgt plastisches sedimentäres Material und über diesem liegen die uns bekannten Sedimente. Durch feurig-wässrige Schmelzung wird das plastische untere Sediment in Eruptivgesteine und Lava umgeändert, welche die oberen Sedimente durchbrechen. Die gesammten vulkanischen Erscheinungen gehen also in dem unteren plastischen Sediment vor sich.⁴⁾

Die Arbeiten von Dana und Bischof bilden die Grundlagen der

1) Quart. J. geol. Soc. 15. 489. 1859.

2) Geology of Canada p. 47.

3) Geology of Canada 586 u. fig. cf. 22—49.

4) Sill. Amer. J. 1861. (2) 31. 412.

Ansichten Hunt's, welcher die Erstarrungsrinde vollständiger Zersetzung überliefert, um dann die Sedimente zu metamorphosiren und zwar durch heisse Salzlösungen und erhöhte Temperatur, durch hydroplutonische Prozesse.

H. C. Sorby¹⁾ gelangt durch die mikroskopische Untersuchung von Glimmerschiefern zu der Annahme, dafs sie früher Thonschiefer gewesen seien, welche bei Anwesenheit von Wasser und höchst wahrscheinlich bei erhöhter Temperatur durch einen Krystallisationsprocefs umgewandelt wurden.

Aus der von ihm „rippledrift“ genannten Erscheinung folgert Sorby 1863²⁾ den mechanischen Absatz aus Wasser. Da er sie in Glimmerschiefer findet, so mufs der Glimmerschiefer ein Sediment sein. Diese enthielt ursprünglich Sandkörner und war wahrscheinlich ein Absatz von mehr oder weniger unreinem Sand und Thon. Die krystallinische Struktur wurde erst nach dem Absatz gebildet, in manchen Fällen nachdem mechanische Bewegungen die Schieferung (*slaty cleavage*) hervorgebracht hatten.

J. Geikie³⁾ betrachtet die metamorphischen untersilurischen Gesteine von Carrick, Ayrshire, als gebildet durch hydrothermale Wirkung und leitet ihre mineralogische Verschiedenheit hauptsächlich ab von ursprünglicher chemischer Verschiedenheit, nicht von Infiltration fremder Substanzen zur Zeit des Metamorphismus.

Bekanntlich treten manche Arten mehrerer Hauptabtheilungen des Thierreichs plötzlich in den ältesten bekannten, Versteinerungen führenden Schichten auf. Da Darwin⁴⁾ nach seiner Theorie der natürlichen Züchtung durch Auslese (*natural selection*) „für zweifellos hält, dafs alle Arten derselben Thiergruppe von Einem Stammindividuum (*progenitor*) abstammen, z. B. alle Silurtrilobiten von einem Kruster, der lange vor der Silur-

1) Edinburgh new phil. J. (2) 1856. 4. 339.

2) Quart. J. geol. Soc. 19. 401. 1863.

3) ib. 22. 534. 1866.

4) On the origin of species by means of natural selection (ed. I. 1859. 306—309, ed. V. 1869. 378—383). cf. ed. V p. 572: „I believe that animals are descended from at most only four or five progenitors and plants from an equal or lesser number.“

zeit lebte und wahrscheinlich von jedem bekannten Thier verschieden war, so muß vor dem Absatz der ältesten silurischen oder cambrischen Schichten eine lange, lange Zeit verfließen sein, während welcher schon Organismen die Erde erfüllten.“ Er kann keine hinreichende Antwort auf die Frage geben, warum wir aus diesen von ihm angenommenen ältesten Zeiten an Versteinerungen reiche Ablagerungen nicht finden. „Man kennt zwar neuerlichst monocotyle Pflanzen und einige andere organische Reste aus den untercambrischen Schichten; Phosphorsäure haltige Knauer und bituminöse Substanzen verrathen das organische Leben jener Zeiten; das Eozoon in den Laurentischen Schichten ist ein wichtiger Beweis dafür, aber dennoch bleibt die Schwierigkeit groß. Es erscheint nämlich nicht wahrscheinlich, daß die ältesten Ablagerungen gänzlich weggeschwemmt wurden (*worn away by denudation*) oder daß ihre Versteinerungen durch Metamorphismus ganz unkenntlich geworden seien, denn dann hätte man von den zunächst im Alter folgenden Bildungen nur geringe Überbleibsel gefunden und zwar in theilweise metamorphosirtem Zustand. Aber das russische und nordamerikanische Silur lehren, daß nicht nothwendig der Grad der Denudation und des Metamorphismus mit dem Alter zunimmt.“ Dennoch kommt Darwin endlich zu dem Schluss, „daß die vorsilurischen Ablagerungen vollständig metamorphirt in den nackten, so große Landstriche bedeckenden, metamorphischen Gesteinen erhalten sind“¹⁾ oder „daß sie noch im Meer begraben liegen.“²⁾ Er spricht von den wenigen Geologen, welche in den metamorphischen Schiefen und plutonischen Gesteinen den ursprünglichen Erdkern sehen,³⁾ nimmt mit Lyell an, daß der Metamorphismus im Meer bei hoher Temperatur und unter großem Druck vor sich ging, und rechnet zu den metamorphischen Gesteinen außer den krystallinischen Schiefen auch Granit, Diorit u. s. w.⁴⁾

Die Theorie der Progenitors, so folgerecht sie erscheinen mag, zwingt Darwin seine Zuflucht zu nehmen entweder zum Metamorphismus oder zu einem im Meer verborgenen Unbekannten. Selbst wenn sie

1) l. c. 383.

2) l. c. 419.

3) l. c. 360 „primordial nucleus of the globe.“

4) l. c. 360 u. 383.

richtig ist, verkleinert sie das Räthsel der Entstehung der organischen Welt nur der Zahl nach, sie löset es nicht, aber der maafsvolle Ton der nicht dahin, sondern nur auf die historische Continuität der organischen Welt gerichteten Darstellung berührt überall höchst wohlthätig. Gäbe man selbst den Metamorphismus der krystallinischen Schiefer und das Vorhandensein der Progenitors in denselben zu, so würden diese Gesteine eine Unterlage, das Meer einen Boden voraussetzen, welche beide ohne Organismen wären, und die Entstehung der Progenitors nach dieser azoischen Zeit bliebe ein ebenso großes Problem als das Aufhören des Metamorphismus vor dem Silur.

Edw. Hitchcock¹⁾ bemühte sich 1861 zu zeigen, dafs gewisse Conglomerate durch Verlängerung, Abplattung und Metamorphose der Geschiebe und ihres Bindemittels in Talk-, Glimmerschiefer und Gneifs verwandelt werden. Mechanische Gewalt, Druck, hohe Temperatur oder eine andere die Schichten erweichende Ursache verbunden mit chemischer Einwirkung sollen diese Wirkung hervorbringen.

Schon Rogers²⁾ hat die Unwahrscheinlichkeit dieser Ansicht durch schlagende Gründe nachgewiesen.

Nach Zirkel³⁾ zeigt sich das vorzugsweise silurische Übergangsgebirge der Pyrenäen an den Granitmassivgrenzen oft mit sekundären Mineralien beladen oder vollständig zu Thonglimmerschiefer, Glimmerschiefer, auch wohl Gneifs metamorphosirt; die spärlichen Kalksteine sind krystallinisch körnig geworden. Weil krystallinische Schiefer nur da auftreten, wo Granite erscheinen, so ergibt sich die Beziehung beider, aber an manchen Contactlinien ist keine krystallinische Metamorphose erfolgt, an den Granit grenzt bisweilen Schiefergebirge mit echt sedimentärem Habitus. Unter den krystallinischen Gebilden waltet Glimmerschiefer weitaus vor, Talk- und Chloritschiefer fehlen fast ganz, Gneifs ist sparsam, Hornblendeschiefer wird erwähnt.⁴⁾ Der metamorphische Ursprung mancher Glimmerschiefer wird durch Einlagerungen von Quarzsand und

1) Sill. Amer. J. 1861. 31. 372.

2) ib. 440.

3) Zs. geol. Ges. 19. 175. 1867.

4) ib. 182.

Kieselschiefer bewiesen.¹⁾ Die größte Breite der Umänderungen beträgt 11 Kilometer; freilich sind in dieser Zone 12 bis 15 kleine Granitstöcke vorhanden, welche vermuthlich die Umwandlung weiter ausgedehnt haben als es das große, 13 Kilometer im Durchmesser haltende Granitmassiv vermocht hätte. An der Süd-, Ost und Südwestseite desselben erscheint keine Umwandlung.

„In der Nähe des Granites enthält der Glimmerschiefer häufig zahlreiche gneifsartige, selbst granitartige Partien. An und für sich kann es, wenn man von dem Granit die umwandelnde Kraft ausgehen läßt, nicht auffallen, daß dieselbe innerhalb einer dazu fähigen Masse Produkte erzeugt, die ihm selbst ähnlich sind.“²⁾

In seinem Lehrbuch der Petrographie (1866 Bd. 2. 508) läßt Zirkel neben metamorphischen Gneifsen ursprüngliche Gneifse zu. „In allen Fällen, auch bei den ursprünglichen Gneifsen, dürfte es wahrscheinlich das Wasser gewesen sein, welches sowohl die Ausbildung der Gneifsmaterialien aus einem plastischen, vielleicht hydatopyrogenen Magma als ihre Umbildung aus klastischen Gesteinselementen bewirkt hat.“ (l. c. 509.) Für weitaus die meisten Glimmerschiefer und noch mehr für die Thonglimmerschiefer nimmt Zirkel metamorphische Entstehung an, für die Hornblendeschiefer läßt er es unentschieden, die Chlorit- und Talkschiefer scheinen ihm nur Sedimente oder umgewandelte Sedimente sein zu können. (l. c. 513.)

Die Architektur der großen Schieferformation, die Wechsellagerung, die überall constanten Zwischengesteine, untergeordneten Gemengtheile und Übergänge lassen diese Auffassung als kaum zulässig erscheinen, mindestens für die Hornblende-, Talk- und Chloritschiefer

In dem „Westöstlichen Durchschnitt durch das nördliche Schottland“ (Geol. Skizzen von der Westküste Schottlands) scheint Zirkel der Augenblick für ein endgültiges Urtheil über die genetischen Verhältnisse des dortigen Fundamentalgneifses noch nicht gekommen. Nur

¹⁾ vgl. auch Noguès: Note sur les sédiments inférieurs et les terrains cristallins des Pyrénées-Orientales. Bull. géol. (2) 20. 719. 1863. Nach Noguès sind auch die dortigen Melaphyre metamorph.

²⁾ l. c. 190.

Ein Grund gibt nach Zirkel Anlaß, auch hier umgewandelte Sedimente zu sehen: die Einschaltung eines Lagers von körnigem Kalk. Dagegen macht der Titanitgehalt der Gneifse und die Thatsache, daß die etwaige Metamorphose schon vor Beginn der Cambrischen Periode beendigt gewesen sein muß, ihm die Umwandlung zweifelhaft.¹⁾

Soweit das Argument für die Metamorphose vom Kalk herrührt, ist schon früher seine geringe Tragweite erörtert. Der Titanitgehalt läßt sich als Beweis gegen die Metamorphose nicht gebrauchen, so lange alle Chloritschiefer für metamorphisch gelten, denn diese führen (s. Zirkel Petrographie I. 311) in den Salzburger Alpen und am Gotthard Titanit. Auch die sogleich zu erörternde Nothwendigkeit, zwei durch die Cambrische Zeit getrennte Metamorphosen anzunehmen, könnte für einen Metamorphiker kaum in Betracht kommen.

Nach Osten hin folgen über den steilen Schichten des Gneifses von ihm getrennt durch nahezu horizontal gelagerte cambrische Conglomerate und darüber discordant gelagerte untersilurische Quarzite und Kalksteine-quarzige und glimmerige Thonschiefer, welche je weiter man nach Osten vorschreitet, desto mehr unversehens krystallinisch glimmerschieferartig werden. Darüber ruht discordant das Devon. Diese centralen gefalteten krystallinischen Schiefer hält Zirkel für die metamorphosirte hangende Partie des Untersilurs. „Keinesweges folgen allemal die krystallinischen Schiefer unmittelbar auf Quarzit und Kalkstein, sondern oftmals stellen sich zunächst concordant gelagerte, gewöhnliche klastische Thonschiefer ein, welche, allmählich gegen Osten glimmerig werdend, in die Glimmerschiefer oscilliren; in letzteren kommen auch noch Schichten von ganz sedimentärem Habitus vor.“²⁾ Wie diese Umwandlung beschaffen war, vor Absatz des alleruntersten Devons mußte sie vollendet sein, denn die im Osten überlagernden devonischen Grundconglomerate enthalten Glimmerschiefer in seinem heutigen Zustand.³⁾

„Die Metamorphose, welche sich sonderbarerweise im westlichen Theil nur auf einzelne Schichten erstreckte, hat weiter gegen Osten das

1) Zs. geol. Ges. 23. 123. 1871.

2) l. c. 121.

3) l. c. 122.

ganze Schieferterrain erfasst.¹⁾ Da das unterste Untersilur (Quarzit und Kalkstein) und die cambrischen Schichten vom Metamorphismus unverseht gelassen sind, so schließt Zirkel, die Metamorphose sei von Ost nach West vor sich gegangen²⁾; sie hat auch nach Zirkel mit Eruptivgesteinen keine Verbindung.

Sieht man in Jona Thonschiefer (mit dolomitischem, Serpentin führendem Kalk) an den Fundamentalgneifs sich lehnen und dann jenseit des Sundes in Mull dieselben Glimmerschiefer auftreten wie in den centralen Hochlanden (wo sie nach Zirkel aus Untersilur metamorphosirt sind), so kann man sich kaum des Gedankens erwehren, daß man trotz aller Faltungen ein einfaches Profil vor sich habe: Glimmerschiefer, Thonschiefer (mit Kalk) und die dazu gehörigen Hornblendegneifse und Hornblendeschiefer (wie gewöhnlich mit Kalk), denn der sogenannte Fundamentalgneifs ist überall reich an Hornblende und oft arm an Feldspath. Daß ein Theil der Thonschiefer und der „halben Glimmerschiefer“ sedimentär sein mag, erscheint höchst wahrscheinlich. Vielleicht würde eine Vergleichung mit den Gesteinen von Donegal, Nordwestirland, wo nach Haughton Glimmerschiefer mit Quarziten, Kalken und Titanit enthaltenden Gesteinen auftreten, und mit Norwegen, wo ganz ähnliche Gesteine vorliegen, weiteren Anhalt gewähren.

Nach C. W. C. Fuchs³⁾ liegt in den Pyrenäen zwischen Granit und den alten Sedimenten an vielen Orten ein schmaler bis breiter Saum von metamorphischen Schiefen. Die Umwandlung, deren Ursache unbestritten der Granit war,⁴⁾ ist an der Granitgrenze am stärksten, nimmt jedoch nicht constant ab; weniger stark und stärker veränderte Schichten wechseln oft mit einander ab, und die ersteren sind dem Granit oft näher als die letzteren. Die Produkte der Umwandlung sind Andalusit- und Chiastolithschiefer und Gneifse; die letzteren bilden zahlreiche Übergänge in Granit. Die Metamorphose bestand zunächst in Molekularumlagerung, die dann durch chemischen Stoffwechsel unterstützt wurde (Zufuhr von Kieselsäure und Alkali durch Wasser von mäfsig erhöhter Temperatur).

¹⁾ l. c. 118.

²⁾ l. c. 123.

³⁾ J. Min. 1870. 878.

⁴⁾ l. c. 873.

Die Metamorphose der dichten grauen Kalke zu weissen körnigen ergreift entweder das ganze Gestein gleichmäfsig oder geht nur von einzelnen Stellen aus. Diese Umänderung ist nicht durch molekulare Umlagerung zu erklären, sondern durch Imprägnation mit kohlenensäurehaltigem Wasser.¹⁾

In diesem letzteren Falle hätte wenigstens der Granit nicht viel mit der Metamorphose zu thun. Nach Fuchs ist der Granit selbst aus den am stärksten metamorphosirten Schichten hervorgegangen, da allmählicher Wechsel zwischen Gneifs und Granit sich vielfach wiederholt; der Granit ist das Centrum der Umwandlung.

Dies ist die Vereinigung der Theorien von Durocher und von Bischof, Molekularumlagerung und lange Durchtränkung mit Wasser, welches alles Fehlende herbeiführt. Die Annahme, dafs „die Metamorphose sich nur in einer Tiefe des Erdinnern vollziehen kann, in welcher schon an und für sich die Temperatur eine mäfsig erhöhte ist,“²⁾ weicht ab von Bischof und weist auf die älteren Hypothesen zurück. Von Kontaktmetamorphose in dem Sinne, dafs hohe Temperatur des Eruptivgesteins die Umwandlung bedingt, kann nach Fuchs hier nicht die Rede sein, da der Granit der Pyrenäen (und des Harzes) nicht eruptiv ist.

C. Lossen³⁾ hält die krystallinischen Schiefer des Taunus für Sedimente, welche, aufgerichtet durch die gebirgsbildende Ursache des Rheinischen Schiefergebirges, auf wässerigem Wege umkrystallisirt wurden, wahrscheinlich unter gleichzeitiger Einwirkung zahlreicher heifser, Kieselsäure und Basen zuführender Quellen. Er möchte es „als allgemeines Gesetz aussprechen, dafs die meisten echten krystallinischen Schiefer — also nicht die schiefrig entwickelten Massengesteine — theils im Kontakte mit Eruptivgesteinen, theils ohne solchen, immer aber in Folge der allgemeinen dynamischen gebirgsbildenden Prozesse auf nassem Wege umkrystallisirte Sedimente seien.“ Im Gneifs, nicht im Thonschiefer, scheint ihm die Grenze zwischen Sediment und Eruptivgestein zu liegen, aber doch die Möglichkeit einer Erstarrungsrinde aus feurigem Flufs gegeben.

¹⁾ l. c. 863.

²⁾ l. c. 872.

³⁾ Zs. geol. Ges. 19. 697—699. 1867.

Abhdl. der phys. Kl. 1871. Nr. 2.

Die Rinde zählt ihrer Bildung nach zum Granit, dessen schiefrige Form eben so Gneifs genannt wird wie der feldspathhaltige Glimmerschiefer; der Glimmerschiefer ist der Architypus der krystallinischen geschichteten Gesteine. Die Umwandlung hält gleichen Schritt mit der Gröfse der Umwälzungskatastrophen der betreffenden Schichtensysteme. Das Alter der Sedimente kommt dabei nicht in Betracht, da die Umwandlungen in der Schweiz bis in die Ablagerungen der mittleren Tertiärzeit reichen. In dem Aufsatz „Metamorphische Schichten aus der paläozoischen Schichtenfolge des Osthazes“ (Zs. geol. Ges. 21. 321. 1869) bezeichnet L o s s e n es „als eine festbegründete Wahrheit, dafs dieselben Gesteine, welche als krystallinische Kontaktschiefer an Eruptivgesteinen beobachtet werden, auch in den ausgedehnten, unabhängigen, krystallinischen Schiefergesteinen vorkommen.“ „Die letzte Ursache dieser (nicht aller) Kontaktmetamorphosen war eine rein mechanische, welche sogleich oder späterhin von chemischen Folgen begleitet wurde.“¹⁾ „Das mechanische Eindringen der Eruptivmasse hat einseitig einen chemischen Krystallisationsprocefs in den durchbrochenen Sedimentschichten hervorgerufen oder eingeleitet.“²⁾

E. Kayser³⁾ findet „die Annahme der sogenannten hydatopyrogenen Bildungsweise der Diabase ganz geeignet, die Kontaktmetamorphosen im Harz zu erklären.“ „Drangen aus dem durchwässerten Magma heifse, mit mannichfachen Stoffen, besonders mit Natronsilikat beladene Wasser unter hohem Druck in die angrenzenden, wahrscheinlich noch plastischen Sedimente ein, so scheinen alle Bedingungen selbst zu viel tiefgreifenderen Veränderungen gegeben zu sein, als sie in den Harzer Diabascontactgesteinen vorliegen. Quellthätigkeit in Begleitung und als Nachspiel der Diabaseruption hat vielleicht durch lange Zeiträume hindurch gewirkt.“

Kayser nimmt an⁴⁾, dafs die verschiedene Ausbildung der Contactgesteine des nördlichen und südlichen Zuges von körnigem Diabas im Harze vor Aufrichtung der Schichten erfolgte, d. h. als die Trennung in

1) l. c. 322.

2) ib. 324.

3) Zs. geol. Ges. 22. 161. 1870.

4) l. c. 172.

eine Nord- und in eine Südhälfte noch nicht geschehen war. Diese Differenz wird erklärlicher, „wenn nach Aufrichtung der Schichten und Ausbildung der Centralaxe — vielleicht in Folge des Auftretens des Granites — noch bedeutende metamorphische Vorgänge allgemeiner Art statt hatten, die aber nur einseitig im Norden der Axe thätig waren.“

Das ist die Verbindung der Theorien von Scheerer, Daubrée, Hunt. Die jetzigen Vorgänge in Island, wo heiße Quellen mit Gehalt an Kieselsäure und Natron mit Thon zusammentreffen, wo aber niemals in Folge dieses Zusammentreffens Feldspath, Chlorit, Glimmer entsteht, liefern keine Stützen für die von Kayser ausgesprochene Ansicht, freilich fehlt hier „der hohe Druck“!

Die Theorie Kayser's, aufgestellt zum Behuf der Erklärung eines einzelnen Falles, kann zunächst nicht einmal auf alle körnigen Diabase ausgedehnt werden. Weitere Untersuchungen müssen zeigen, ob nicht eine andere, weniger verwickelte und allgemein gültigere Erklärungsweise auch für die Harzer Vorkommnisse zulässig ist.

Nach H. Credner¹⁾ liegen in der huronischen Formation der Oberen Halbinsel von Michigan zwischen 2 Diabaslagern, von denen das obere etwa 2300 Fufs mächtig und in seiner Westnordweststreichungsrichtung über 6 Meilen verfolgbar ist, etwa 300 Fufs mächtige Schieferporphyroide, Feldspathparagonitschiefer, Paragonitschiefer und Chloritschiefer. „Die Grenze dieser petrographisch so durchaus verschiedenen Gesteine fällt überall mit einer Schichtenfläche zusammen.“²⁾ „Aus der Wechsellagerung und der Schichtung der Schieferporphyroide ergibt sich der Schluss auf sedimentäre Entstehung von selbst“,³⁾ aber die Hypothese eines allgemeinen Durchwässerungsmetamorphismus erscheint darnach unwahrscheinlich. „Zur Deutung devonischer und silurischer Schieferporphyroide darf man vielleicht die Einwirkung von Mineralquellen auf lockere noch schlammartige Meeresniederschläge annehmen.“⁴⁾ Die (analysirten) Gesteine bestehen wesentlich „aus Orthoklas, Quarz und Natronglimmer.“

1) Jahrb. Min. 1870. 972.

2) l. c. 981.

3) l. c. 982.

4) l. c. 984.

Letzterer enthält freilich auf 7,2 $\frac{0}{0}$ Kalk und 1,2 $\frac{0}{0}$ Magnesia nur 3,0 $\frac{0}{0}$ Natron, 0,3 $\frac{0}{0}$ Kali und 1,5 $\frac{0}{0}$ Wasser, ferner nur 8,6 $\frac{0}{0}$ Thonerde und 2,6 $\frac{0}{0}$ Eisenoxyd, zeigt also sehr geringe Übereinstimmung mit den bisher untersuchten Natronglimmern.

Ob sich die so ungeheuer mächtigen Diabaslager, über deren Erup- tivität keine Beweise beigebracht werden, und „die Schieferporphyroide“ nicht einfacher als Faltung der unterlagernden krystallinischen Schiefer auffassen lassen; etwa als Glieder der Anorthositformation des Laurentian? Die Wechsellagerung verschiedenartiger Gesteine und die Schichtung sprechen mehr dafür als dagegen.

Die jüngste allgemeine Theorie des Metamorphismus von C. Montagna¹⁾ schreibt der dynamischen Elektrizitat²⁾ dem Elektromagnetismus und Elektrochemismus alle metamorphischen Erscheinungen zu. „Etwa $\frac{7}{10}$ der Granite und Granitgesteine sind neptunischen Ursprungs und geschichtet, der Rest ist das Produkt aus alten metamorphosirten Laven; die organischen Reste im Granit sind um so deutlicher als die Gemengtheile kleiner werden.“ „Die Zeichnung der Oberflächen von Sagenaria findet sich auf dem Glimmer des alpinen Gneifses; Gneifs, Glimmer und Thonschiefer zeigen auf Quarz, Feldspath, Glimmer Spuren von Pflanzenresten, welche sich fast immer auf Lepidodendron beziehen lassen. Dasselbe gilt für Syenit, Porphyr, Serpentin, Diorit, Turmalinfels, für die Granaten der Gneifse u. s. w.“ Die Gänge von Granit³⁾ u. s. w. entstehen so, dafs, in Folge dynamischer Störungen in der Lagerung, zwei verschiedene Sedimente in einander eindringen, etwa in Spalten, und dann zu verschiedenen Gesteinen umgeändert werden, eins etwa in Granit, eins etwa nur zu Gneifs, Glimmerschiefer oder Serpentin-schiefer.

¹⁾ Nouvelle Théorie du métamorphisme des roches fondée sur les phénomènes de fossilisation des animaux et des plantes de tous les âges géologiques. Naples 1869.

²⁾ p. 100. „Un géologue qui regarderait un dépôt de grès ou de psammite trappe par la matière organique de milliards d'individus y renfermes, comme une assemblage d'un grand nombre de piles sèches d'un nouveau ordre, ne pourrait être taxe de poète. p. 102. cf. p. 64. 74. 78. 88. 100. 107.

³⁾ p. 89.

Montagna's Abbildungen zeigen, dafs er in den Erscheinungen, welche die Oberflächen verwitternder Mineralien bieten, Pflanzenreste gesehen hat. Dieser Theil seiner Theorie möchte sich am leichtesten erledigen.

Wirft man über die Geschichte des Metamorphismus einen Gesamtblick, so sieht man ihn von Schottland ausgehen und durch Leopold von Buch und Boué nach Deutschland gelangen, während etwa gleichzeitig Keilhau in Norwegen ähnliche Ansichten aufstellt. In der Alpengeologie, in welche den Metamorphismus schon L. v. Buch eingeführt hat, gelangt er sodann durch Élie de Beaumont und Studer zu hervorragender Geltung, wie die Namen Rozet, Sismonda, Credner, Stur, Pichler, Volger bezeugen; in Deutschland wendet sich Fr. Hoffmann der Lehre zu. Wenn L. v. Buch sie um 1842 als fast allgemein angenommen bezeichnet, so sind bis dahin und auch später vorzugsweise englische, amerikanische und französische Geologen ihre Vertreter: Lyell, Fournet, Virlet, Dana, Durocher, Daubrée, Delesse, A. Favre, Sterry Hunt, Darwin, Hitchcock. Erst mit G. Bischof, Scheerer und Cotta um 1847 beginnt sie in Deutschland Boden zu fassen und scheint sich seitdem dort auszubreiten. Ist der Ausgangspunkt bei Hutton die teleologische Betrachtung, so heftet sie sich später vorzugsweise an höhere Gebirge mit verwickeltem Bau: Schottland, Skandinavien, Alpen, Italien, Pyrenäen, wo die Ungeduld den Beobachter, der aus Mineralogie, Chemie und Physik nicht schnell genug die Erklärung aller Thatsachen ableiten kann, zu der kühnen Theorie des Metamorphismus treibt. Oder schwer zu deutende Beobachtungen in einzelnen Gegenden führen dahin wie bei Keilhau, Forchhammer, Zirkel, C. W. C. Fuchs, Lossen, Kayser, H. Credner. Nur Lyell als Actualist, Darwin als Vertreter der Evolutionstheorie der Organismen und J. N. Fuchs als Vertreter des Amorphismus gehen von allgemeineren Standpunkten aus. Fast überall sieht man den Verband des Granites und der krystallinischen Schiefer (oder den Contact von Erup-

I n h a l t.

	Seite
Begriff des Metamorphismus bei Durocher, Studer, Delesse, Naumann, Daubrée	150—152
Fournet Endo- und Exomorphismus	152
Normaler und abnormer Metamorphismus, Houghton Hydro- und Pyrometamorphismus	152—156
Hutton 1795 (Playfair 1802). Ultraplutonismus; Centralfeuer; Druck; Actualismus.	158
Heim 1806. Gase und Dämpfe ändern Kalke in Dolomite um.	170
L. v. Buch 1822. Dolomitbildung und Hebungstheorie.	170
Breislak 1818. Schieferung kein Grund gegen plutonischen Ursprung der krystallinischen Schiefer. Gasströme helfen die Schichtenstellung bedingen.	171
Boué 1822. Die krystallinischen Schiefer sind Sedimente, geschmolzen durch hohe Temperatur und Gasströme des Erdinnern.	172
Keilhau 1823—50. Geheimnißvolle Transmutation in starren Massen ohne Mitwirkung erhöhter Temperatur oder von Gasen.	174
Keferstein 1829—34. Umbildung vermittelt innerer Thätigkeit der Erde.	175
�lie de Beaumont 1826—56.	
Studer 1826—56.	
(Rozet, Sismonda, Credner, Stur, Pichler, Volger).	
} Sedimente jeden Alters } werden in den Alpen zu } krystallinischen Schiefern } umgebildet.	176—178
Fr. Hoffmann 1830—35. Krystallinische Schiefer sind umgewandelte Sedimente. Der unversehrt gebliebene, zwischen Gneiss steckende Thonschiefer des Fichtelgebirges.	179
Lyell 1833—71. Rückkehr zu Hutton. Metamorphische Gesteine = veränderte geschichtete Gesteine. Actualismus.	180
E. Hitchcock 1833. Erstarrungsrinde aus Granit. Krystallinische Schiefer sind durch hohe Temperatur umgeänderte Sedimente. Antiaactualist.	187
Sedgwick und Murchison 1842. (C. F. Roemer, Dumont, Sandberger, List.) Taunusschiefer sind metamorph.	188
Fournet 1833—59. Erstarrungsrinde aus Glimmerschiefer. Gneiss ist exomorpher Glimmerschiefer. Ausgangspunkt die Cupellirung.	188
Virlet 1836—58. Erstarrungsrinde aus Granit. Electrochemische Thätigkeit bei der Transmutation.	189
J. N. Fuchs 1838. Amorphismus. Krystallisation des nassen Breies.	190
L. v. Buch 1842. Aus Silur wird Gneiss; Aufdringen des Feldspathes aus dem Innern. Basalt der Tiefe schützt gegen Umänderung durch Granit.	192

	Seite
J. D. Dana 1843—63. Heifse Salzlösung ist Hauptagens. Granit, Gneiss u. s. w. sind metamorph.	194
Forchhammer 1844. Alkalidämpfe des Granits wandeln in Skandinavien Sedimente in Gneiss um.	196
Durocher 1846 (Bayle, Axel Erdmann, Kjerulf). Cementation in nicht erweichtem Gestein bei säcularer Erwärmung und Druck. Das Granitbad. Transfusion des Feldspathes.	197
G. Bischof 1847—66. Feurigflüssiger Anfangszustand. Hystero-krystallisation auf hydrochemischem Wege bei gewöhnlicher Temperatur. Das Wasser liefert das Fehlende.	202
Scheerer 1847—66 (Sorby, Gruner). Feurigwässriger Fluß der Vulkanite und Plutonite. Nicht alle Gneisse sind metamorph. Wasser, hohe Temperatur, Druck.	205
B. Cotta 1847—62. Die krystallinischen Schiefer sind metamorph. Druck, Wärme, vielleicht auch Wasser.	207
Delesse 1851—61. Die krystallinischen Schiefer und alle plutonischen Gesteine sind metamorph. Wasser macht plastisch.	208
Daubrée 1857—67 (vom Rath). Die krystallinischen Schiefer sind metamorph, aber nicht aus Silur. Metamorphose bewirkt durch überhitztes Wasser, Gase und Dämpfe. Antiaactualist.	211
Alphonse Favre 1867. Anschluß an Daubrée. Die Erstarrungsrinde Lava. In den Alpen Rolle des Metamorphismus übertrieben.	216
T. Sterry Hunt 1857—63. Ausgangspunkt die Sedimente. Heifse Salzlösung Hauptagens des Metamorphismus.	216
Sorby 1856. Glimmerschiefer ist metamorph.	219
Geikie 1863. Untersilur von Carrick auf hydrothermale Wege metamorphosirt	219
Darwin 1859—69. Die Progenitors führen zur Lehre des Metamorphismus für das Vorsilur.	220
E. Hitchcock 1861. Conglomerate liefern durch Metamorphose, Abplattung u. s. w. Talkschiefer, Glimmerschiefer und Gneiss.	221
Zirkel 1866—67. Metamorphose zu krystallinischen Schiefern in den Pyrenäen durch Granit bedingt. In Nordschottland werden zwei Metamorphosen nöthig.	223
C. W. C. Fuchs 1870. Metamorphose zu krystallinischen Schiefern in den Pyrenäen durch Granit bedingt, der Granit selbst metamorph.	224
Lossen 1867—69. Die Taunusschiefer sind Sedimente, welche auf wässrigem Wege umkrystallisirt wurden. Die metamorphischen paläozoischen Schichten des Osthazes.	225
Kayser 1870. Die hydatopyrogene Bildungsweise der Diabase erklärt die betreffenden Kontaktmetamorphosen des Harzes.	226
H. Credner 1870. Das Huron der oberen Halbinsel von Michigan entstand aus Sedimenten.	227
Montagna 1869. Organische Reste in Granit, Porphyr, Gneiss u. s. w. .	229





