

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft =
Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della
Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 96 (1913)

Artikel: Ueber die Entwicklung der neueren Gesteinslehre

Autor: Grubenmann, U.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90269>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Ueber die Entwicklung der neueren Gesteinslehre

von

U. GRUBENMANN (Zürich)

Als ich an der letzten Versammlung der schweizerischen Naturforscher in Frauenfeld die Ehre hatte, als Präsident des Jahresvorstandes die Geschäfte zu leiten, habe ich in meinem präsidialen Eröffnungsworte *über einige Methoden und Ziele der neueren Petrographie* (1) gesprochen. Wenn ich heute wiederum vor Sie trete, möchte ich den vor 26 Jahren abgebrochenen Faden wieder aufnehmen und in Kürze Ihnen darüber berichten, wie im verflossenen Vierteljahrhundert in jenem Zweige der Naturwissenschaften, der sich die Erforschung der Bausteine unseres Erdkörpers zum Ziele setzt, der Gang der Weiterentwicklung sich nun gestaltet hat.

Vor einem Vierteljahrhundert lag das Schwergewicht der wissenschaftlichen Arbeit auf diesem Gebiete in der Mikroskopie. Aehnlich den grossen Triumphen, die diese in anderen Disziplinen der Naturwissenschaften feierte, war durch sie auch der Einblick in das Wesen der Gesteine in Bezug auf ihren mineralischen Bestand und ihren komplizierten Aufbau in ungeahnter Weise erschlossen worden. Auch heute noch, und das wird wol immer so bleiben, liefert der mikroskopische Befund gewissermassen die Basis für die weitere Forschung, indem er an der Hand der Dünnschliffe die Objekte genau kennen lehrt.

Darum sind denn auch die *mikroskopischen Methoden* unter

Anwendung des polarisierten Lichtes im Laufe der letzten Jahrzehnte in äusserst fruchtbarer Weise weiter entwickelt worden, besonders in *der* Richtung, den Mikroskopiker in den Stand zu setzen, unter Anwendung des convergenten Lichtes an jedem beliebigen Mineralschnitt seine Diagnose stellen zu können, während er früher an wenige bevorzugte Flächen der Gesteinskomponenten gebunden war. Vor allem sind es *Fedorow und Becke* (2), die sich um diese Erweiterung der mikroskopischen Verfahren verdient gemacht haben und es ist auch wol kaum irgendein wesentlicher Bestandteil des Mikroskopes, der nicht Verbesserungen und Bereicherungen seines Verwendungsrayons erfahren hätte. Es seien nur erwähnt die Verknüpfung von Mikroskop und Goniometer, das metallographische Mikroskop zur Untersuchung undurchsichtiger Erze im reflektierten Lichte, das Heizmikroskop zur direkten Beobachtung der Kristallisation aus Lösungen und Schmelzen bei höheren Temperaturen, das Ultramikroskop, dessen Wert für den künftigen Ausbau der Kenntnis über die Mineralgele noch kaum zu überblicken ist. Trotzalledem aber hat sich das Hauptgewicht der wissenschaftlichen Arbeit in der Gesteinskunde heute verschoben und ihre hoffnungsvollen Ausblicke gründen sich mehr und mehr auf die Anwendungen der Chemie.

Schon früher hatte man die *analytische Chemie* für die Kenntnis der Gesteine nutzbar gemacht. Eine grössere Anzahl quantitativer Gesteinsanalysen, die über die chemische Zusammensetzung einzelner Gesteine orientierte, war schon gegen Ende des vorigen Jahrhunderts bekannt. Die systematisch durchgeführte, chemisch-analytische Behandlung *aller Gesteinsklassen* ist eine Errungenschaft der neuesten Zeit, und, wenn auch noch nicht vollständig bewältigt, so doch der Vollendung nahe. Sie musste hervorgehen aus der Erkenntnis, dass der Gesteinschemismus, als das Primäre im Gestein, die erste Grundlage seiner Erforschung bildet. Wieder gingen Hand in Hand damit Bereicherungen und Verbesserungen in den analytischen Methoden. Stoffe, welche man früher für selten hielt, wie TiO_2 , MnO , BaO , P_2O_5 u. s. w., zeigen eine gewisse Ubiquität und müssen jetzt in jeder Analyse verfolgt werden. Verbesserungen galten

z. B. der Bestimmung des Wassergehaltes und der Alkalien, welch letztere durch *Lawrence Smith* zugleich eine ganz wesentliche Vereinfachung erfuhr. Das grösste Verdienst in der Mehrung dieser Kenntnisse haben die Laboratorien mehrerer nordamerikanischer Institute (3) und der dieses Frühjahr verstorbene Prof. Dietrich in Heidelberg. Auch das mineral-chemische Laboratorium unserer Eidg. tech. Hochschule hat sich während der letzten 14 Jahre bemüht, durch gegen 400 Analysen meist schweizerischer Gesteine, die in ihm ausgeführt worden sind, seinen bescheidenen Teil zur Mehrung dieser Kenntnisse beizutragen.

Die *wissenschaftliche Verwendbarkeit der Resultate solcher Gesteinsanalysen* ist eine ungemein umfassende. Sie dienen zur Herausrechnung des Mineralbestandes, zur Aufdeckung der ähnlichen Zusammensetzung, also der natürlichen Zusammengehörigkeit der Gesteine als Grundlage der Systematik, bei Eruptivgesteinen von verschiedenem Mineralbestand eventuell zur Feststellung gleichartiger zu grunde liegender Magmen, die ihre Verfestigung unter verschiedenen physikalischen Bedingungen vollziehen mussten. Auch die Erkenntnis lokaler und zeitlicher Veränderungen innerhalb ein- und desselben Magmas, also der Differentiation, und für metamorphe Gesteine die Identifizierung ihrer chemischen Substanz mit derjenigen des Ausgangsgesteins geschieht an Hand der Analysenresultate.

Um die Lösung solcher Aufgaben zu erleichtern, ist man dazu gelangt, die prozentualen Ergebnisse durch Rechnung in bestimmter Weise umzugestalten und graphisch darzustellen. Unter der grossen Zahl dieser Methoden hat sich namentlich das *Osann'sche Projektionsdreieck* (4) der häufigsten Anwendung zu erfreuen. Dem Zusammenfallen der Projektionspunkte verschiedener Gesteine wohnt die grösste und unmittelbarste Ueberzeugungskraft ihrer stofflichen Gleichartigkeit und Zusammengehörigkeit inne und darum begegnet man denn auch derartigen Projektionen fast in jeder petrographischen Arbeit. In jüngster Zeit ist *Osann* (5) dazu gelangt, seine Methode durch geeignete Kombinationen ganz wesentlich zu vertiefen und verschärzte Anhaltspunkte zu gewinnen für die Auf-

hellung der stofflichen Herkunft metamorpher Gesteine. So wird die chemisch-analytische Untersuchung der Gesteine das Fundament, auf welchem man in der Gesteinskunde der Erreichung des höchsten Ziels zustrebt: dem tieferen Verständnis des Werdens und Vergehens der Gesteine. Wir erwarten dies insbesondere von den *Anwendungen der physikalischen Chemie und der physikalisch-chemischen Experimente*, mit welchem Rechte, wollen meine nachfolgenden Auseinandersetzungen zu zeigen versuchen.

Für die Lehre von den chemischen Sedimenten, zunächst von den Gesteinen der Salzlagerstätten, kann ich Ihnen sogleich von einem grossen Erfolge berichten, der Ihnen allen mehr oder weniger bekannt sein dürfte. Ist es doch *Van t' Hoff und seinen Schülern* (6) gelungen, die Bildung des Steinsalzes, der Kalisalze und ihrer Begleiter theoretisch vollkommen klar zu legen. Die Arbeit dieser Forscher gründete sich auf genaue quantitative Löslichkeitsbestimmungen, ausgeführt bei verschiedenen, aber für die einzelnen Versuchsreihen konstanten Temperaturen, zuerst bei 25 Grad. Es wurde die Wasserlöslichkeit der einzelnen Salze festgestellt, dann die der wichtigsten Salzpaare, also die Löslichkeit eines Salzes in Gegenwart eines anderen und so fortschreitend schliesslich die Löslichkeit der verschiedenen Salze in Gegenwart aller andern. Da die Löslichkeit bei einer bestimmten Temperatur und Konzentration eine unveränderliche Grösse darstellt, konnte auf diese Weise experimentell eine umfassende Zahl invarianter Punkte gewonnen werden. Diese wurden in einem geistreich erdachten Raummodell unter einander im Beziehung gebracht und dabei die Existenzfelder der Salze erhalten bei der angenommenen Temperatur. Zugleich ergaben sich alle Möglichkeiten des gleichzeitigen Nebeneinandervorkommens derselben, d. h. es wurde festgestellt, bei welcher Konzentration der Lösung die Komponenten der Salzlagerstätten entstehen und bestehen können und welche von ihnen unter den angenommenen Verhältnissen neben einander möglich sind. Bei Anwendung einer Temperatur von 40 Grad ergab sich dann eine befriedigende Uebereinstimmung mit den tatsächlich in der Natur auftretenden Vor-

kommenissen; doch musste z. B. lokal in der Salzsee eine noch höhere Temperatur geherrscht haben, was in guter Ueber-einstimmung steht mit den Temperaturen jetzt noch vorhandener Salzseen. Gewiss lagen in der leichten Wasserlöslichkeit der Salze und in der Arbeit bei günstigen Temperaturen sehr erleichternde Arbeitsmomente, aber jedermann, der *Van t'Hoffs* Arbeit in seinen über 50 Publikationen verfolgt, wird von der Genialität seiner Konzeption und dem Scharfsinn, mit welchem die experimentellen Schwierigkeiten überwunden wurden, mit der höchsten Bewunderung erfüllt. Seine Arbeiten werden jetzt fortgesetzt von der Gesellschaft für die Erforschung der deutschen Kalisalzlagerstätten.

Auch für die Lehre von der *Bildung kalkiger und dolomitischer Sedimente* sind wesentliche Fortschritte zu verzeichnen und die Streitfrage, ob neben organogenem Kalkstein am Meeresgrunde nicht auch rein chemisch niedergeschlagener Kalk entstehen könne, scheint durch die experimentellen Arbeiten¹ von *G. Linck* (7) in Jena in bejahendem Sinne gelöst. Ebenso sind die mannigfachen Möglichkeiten der Dolomitbildung heute prinzipiell festgestellt und die Lehre von der Bildung der klastischen Sedimente der Tone und Sandsteine erhält durch die *Anwendung der Kolloidchemie* (8) eine exaktere wissenschaftliche Basis; insbesondere wird das Adsorptionsvermögen der kolloiden Gele zur Erklärung des chemischen Wesens dieser klastischen Sedimente und der Böden in weitgehendem Sinne herbeigezogen werden müssen. Doch steht hier die Hauptarbeit noch aus.

Für ein tieferes Eindringen in die genetischen Verhältnisse der *magmatischen Gesteine* war der Weg sofort klar, nachdem die Erkenntnis sich Bahn gebrochen, dass das Magma als eine Lösung aufzufassen ist, was zwar schon 1861 von Bunsen ausgesprochen worden war. Allein der fruchtbringende Schluss, nun in konsequenter Weise die magmatischen Ausscheidungen unter dem Gesichtspunkte der Lösungsgesetze zu verfolgen, ist erst während der letzten zwei Jahrzehnte, wohl unter dem Einfluss der *Van t'Hoff'schen* Arbeiten zum Durchbruch gelangt (9). Wegleitend wurde dabei in erster Linie das *Princip von den*

eutektischen Mischungen, das vor allem die Kristallisation gemischter Lösungen beherrscht, indem bei irgendeinem Mengenverhältnis ihrer Bestandteile, konstanten Druck vorausgesetzt, bei sinkender Temperatur sich zunächst diejenigen Komponenten ausscheiden, welche im Ueberschuss über das eutektische Verhältnis vorhanden sind. Erst vom einem bestimmten Temperaturpunkte an findet dann Zugleich ausscheidung mehrerer Komponenten in bestimmten Verhältnissen statt. Allerdings darf nicht übersehen werden, dass bei der Auskristallisation aus dem Magma manche Abweichungen von der Regel gegeben sind durch die verschiedengradige Dissoziation der Komponenten, ihre oft sehr grosse Unterkühlungsfähigkeit und insbesondere durch die grossen Unterschiede im Kristallisationsvermögen und in der Kristallisationsgeschwindigkeit. Alle diese genannten Faktoren spielen nun eine viel geringere Rolle in der Ausbildung von Metalllegierungen; darum ist für das Herausschälen des Wesentlichen aus der Fülle der Nebenerscheinungen die Vergleichung mit den *Erfahrungen in der Metallurgie und Metallographie* (10) von grösster Fruchtbarkeit geworden. Für Systeme von 2 Komponenten, wie sie uns in Apliten und manchen Gabbro entgegentreten, auch für ternäre Systeme, wie sie z. B. bei Graniten und Quarzdioriten vorliegen, stehen schon die schematischen Diagramme, in einigen Fällen auch die quantitativen Daten fest. Bahnbrechend waren hiefür die *umfangreichen experimentellen Arbeiten von Vogt* in Kristiania (19), *Tamman* in Göttingen (11), *Dölter* in Wien (7) und allergrösstes Interesse verdienen auch in dieser Beziehung die mit ausgesuchtester Genauigkeit durchgeföhrten Versuchsreihen der *Carnegie-Institution* in *Washington* (12), welche sich auf Komponenten beziehen, die im Stande sind, mehrere Verbindungen mit einander zu bilden, wie z. B. CaO und SiO₂, wodurch Diagramme mit einer ganzen Reihe von eutektischen Punkten entstehen können.

Die nächstliegende Nutzanwendung des eutektischen Prinzipes liegt in der wissenschaftlichen *Begründung der Ausscheidungsfolge einer magmatischen Lösung*; ferner hängt damit

zusammen die Erkenntnis, dass die Bildung einer bestimmten Kristallart nicht immer bei einem *Temperaturpunkt* sich vollendet, sondern über ein *Temperaturintervall* sich erstrecken kann und dass die Abscheidungsperioden der einzelnen Komponenten über einander greifen müssen, Tatsachen, welche empirisch schon mehr oder weniger lange festgestellt waren. Auch die Resorptionen mit ihrem Gefolge erscheinen nicht mehr als etwas Abnormes, sondern als notwendige Folge einer ganz normalen Kristallisation, erzeugt durch die chemischen Veränderungen, denen die gemischte Lösung im Verlaufe der Auscheidungen unterliegt.

Einen immer stärkeren Einfluss scheint die *Theorie von den festen Lösungen* zu gewinnen. Nicht nur in der Deutung der Mischkristalle spielt sie eine grosse Rolle, die durch die umfangreichen Arbeiten des Holländers *Roozeboom* (13) mächtig gefördert wurde und für einige wichtige Mineralreihen, z.B. die Plagioklase, eine glückliche Anwendung erfahren hat, sondern man beginnt immer mehr einzusehen, dass die molekulare Mischbarkeit nicht bloss chemisch sich nahe stehender, sondern auch chemisch wenig analoger Stoffe eine ungeahnt weitgehende ist, sodass man von einer Ubiquität solcher fester Lösungen im Mineral- und Gesteinsreich sprechen darf. So vermag beispielsweise der Wollastonit CaSiO_3 mehr als 13 % SiO_2 in sich aufzunehmen. Auch in der Bildung solcher fester Lösungen spielt natürlich die Temperatur die wichtigste Rolle, indem hohe Wärmegrade die Lösungsfähigkeit steigern. Bei Temperaturabfall tritt dann oft Entmischung ein, wie zwischen Orthoklas und Albit in der Entstehung der Mikroperthite.

Aber nicht nur für die Bildung der einzelnen Gesteinskomponenten ist uns die physikalische Chemie zur Führerin geworden, auch die *Strukturen der magmatischen Gesteine*, d. h. ihre genetischen Gefüge unterliegen ihrem Regime. Als Beispiel sei nur erinnert an die *porphyrische Struktur der Gang- und Oberflächengesteine*. Während man früher zu einer Erklärung derselben an eine plötzliche Änderung der physikalischen Verfestigungsbedingungen appellieren musste, hervorgerufen durch den Akt einer Eruption, ist jetzt erkannt worden, dass schon bei einer

ganz normalen, unter dem Einfluss der eutektischen Mischung sich vollziehenden Kristallisation eines Magmas sich die zuerst ausscheidende Komponente einsprenglingsartig in grösseren Kristallen entwickeln kann, während die nachher sich verfestigende eutektische Mischung zur Grundmasse wird. Geringes Kristallisationsvermögen und kleine Kristallisationsgeschwindigkeit der Erstlinge, oder die Aufzehrung der sich eben bildenden kleinen Kristalle durch schon vorhandene grosse (Sammelkristallisation) können die porphyrische Struktur verwischen und dabei zur Entstehung der gleichmässig körnigen, *granitischen Struktur* führen.

Sie auf das *Gebiet der Systematik* magmatischer Gesteine zu führen, will ich unterlassen. Die geologischen Erfahrungen auf dem Terrain und die sie ergänzenden chemischen und mineralogischen Untersuchungen im Laboratorium haben auch da zu manchen schönen Erfolgen geführt. Allein sie können mehr nur den speziellen Fachmann interessiren und trotz mancher viel versprechender Anläufe sind wir auch heute noch von einer befriedigenden d. h. *natürlichen Systematik* der magmatischen Gesteine vielleicht mehr als je entfernt.

Den Rest der Zeit will ich noch dazu benutzen, einen kurzen Gang in das Gebiet der *Gesteinsmetamorphose* und der *metamorphen Gesteine* (14) zu tun, dessen Entwicklung in der Hauptsache diesem Jahrhundert angehört. Da hat sich vor Allem allmählich die Ueberzeugung Bahn brechen müssen, dass ein Gestein während seiner Umwandlung als Ganzes fest bleibt und bloss minimalste Partien desselben sich jeweilen gleichzeitig verändern, und zwar wohl vorwiegend durch Lösungs-umsatz. Ein sich metamorphosierendes Gestein kann daher aufgefasst werden als eine Lösung mit viel Bodenkörper und die für solche heterogene, mehrphasige Systeme geltenden chemisch-physikalischen Gesetze werden mit gutem Erfolge auch auf die Prozesse der Gesteinsmetamorphose angewandt. *Experimentelle Arbeiten fangen an, dazu die exakten quantitativen Daten zu liefern.*

Prinzipiell gilt: *Irgendein vorliegendes Gestein, besonders ein chemisches Sediment oder Erstarrungsgestein, stellt in erster An-*

näherung ein chemisches Gleichgewicht dar. Veränderungen in der Temperatur, erzeugt durch Tiefersinken in der Erdrinde oder durch vulkanische Prozesse, Veränderungen im herrschenden Druck, hervorgerufen durch tektonische Vorgänge, oder Verschiebungen in der Konzentration durch Zufuhr von Lösungsmittel, Dämpfen u.s.w., stören dieses Gleichgewicht und rufen dem Bestreben nach einer neuen Einstellung desselben. Dies führt zur Metamorphose und ihre wirksamen Faktoren sind Temperatur, Druck und Konzentration.

Ueber den *fördernden Einfluss der Temperatur* auf den Gang der Gesteinsumwandlung herrscht volle Uebereinstimmung; die nächste Aufgabe bleibt hier, die Art und Grösse der Wärmetönung für die einzelnen Umwandlungen festzustellen, um zu ganz exakten Vorstellungen zu gelangen.

Der *Einfluss des Druckes* ist noch viel umstritten. Zwar wird anerkannt, dass das Druckgesetz von *Le Chatelier* für die Vorgänge der Metamorphose eben so gut gelten muss, wie für jeden andern chemischen Vorgang. Aber damit ist noch Nichts ausgesagt über die erforderlichen Druckgrössen und die Frage bleibt offen, ob die Wirkung des Druckes nicht so geringfügig ist, dass sie kaum in Rechnung gezogen werden muss. Das bisher Bekannte liefert darüber eine Fülle zum Teil recht widersprechender Angaben. Trotzdem scheint in allerjüngster Zeit auch hier der Weg gefunden, der zu einwandfreien Erkenntnissen führen wird.

Bedingung dafür ist die *scharfe Unterscheidung zwischen gleichmässigem und ungleichmässigem Druck*. Die Wirkungen des ersten scheinen wesentlich in einem Einfluss auf die Volumenenergie der sich neu bildenden Komponenten zu bestehen: Unter den möglichen Mineralien bilden sich stets die mit dem kleinsten Volumen, die spezifisch schwersten. Die Wirkungen des ungleichmässigen Druckes oder des Stresses übertreffen die des gleichmässigen um ein Vielfaches und ist es nach den neuesten Untersuchungen von *Johnston* (15) höchst wahrscheinlich, dass die bei den tektonischen Bewegungen wirksamen Differentialdrucke vollkommen genügen, um innerhalb der von ihnen betroffenen Gesteine sporadische Lösungen

und in deren Gefolge Umsetzungen herbeizuführen. Ausserdem bedeuten die Spannungserscheinungen (Strains) in derartig gepressten Gesteinen eine Energieerhöhung, welche sich in grösserer Reaktionsfähigkeit bekunden muss. Amerikanische Forscher (16) haben durch ihre allgemeinen mechanischen Ableitungen zuerst die Aufmerksamkeit auf die Wirkungen von Stress und Strain gelenkt in der Entstehung der Schieferungsebene, in der Ausbildung der Form von neu entstehenden Komponenten, und mancher struktureller und textureller Eigentümlichkeiten der metamorphen Gesteine. Ihre spezielle Anwendung auf einen Einzelfall, unter Berücksichtigung der Grösse und Richtung der Dislokationen, wurde in jüngster Zeit von *Paul Niggli* (17) für Gesteine aus dem Ostende des Gotthardmassivs durchgeführt.

Der Einfluss der Konzentration wird durch das *Massenwirkungsgesetz* geregelt; für seine quantitative Anwendung fehlen allerdings zur Zeit noch fast alle Daten, ein noch weites Feld für experimentelle Arbeit.

Ueber allen bisher erwähnten Gesetzen und sich alle dienstbar machend steht die *Gibbs'sche Phasenregel*, die für die Erkenntnis der Gesteine von ungeahnter Fruchtbarkeit geworden ist. Noch vor einem halben Jahrzehnt glaubte man, dass sie für petrographische Zwecke nicht brauchbar sei wegen der grossen Komplexität des chemischen Systems, das in einem Gestein vorliegt. Da gelang es *V. M. Goldschmidt* (18) in Kristiania, für die Zwecke der Gesteinsgenese eine einfache Formulierung der Phasenregel aufzufinden, die sich in glücklicher Weise zunächst den speziellen Verhältnissen der Gesteinsmetamorphose anpasst, sich aber auch auf die Bildung magmatischer Gesteine übertragen lässt und lautet: « Die maximale Zahl der festen Mineralien, die gleichzeitig neben einander stabil existieren kann, ist gleich der Zahl der Einzelkomponenten, die in den Mineralien enthalten sind. » Bei der gegebenen Umwandlungstemperatur können $(n + 1)$ Mineralien bestehen und ist auch noch der Druck (als Umwandlungsdruck) dabei ein ganz bestimmter, so sind $(n + 2)$ Mineralien möglich. Diese Aussagen der Phasenregel erscheinen nun allerdings rein

formal, indem sie nur die mögliche Anzahl der Gesteinskomponenten voraussehen, allein unter Berücksichtigung der sich vollziehenden chemischen Prozesse mit ihren Massenwirkungen und Wärmetonungen führt ihre Anwendung zum vollen Verständnis des gesteinsbildenden Vorganges, denn alsdann wird es möglich, ihn an eine thermodynamische Gleichung anzuschliessen und damit betritt er das supreme Feld der *mathematischen Diskutierbarkeit*.

Diese wenigen Darbietungen dürften wohl genügen, ein ungefähres Bild davon zu geben, wie die physikalische Chemie begonnen hat, die Auffassungen und Arbeitsmethoden in der Erforschung der Gesteinswelt zu durchdringen und wie sie vor allem *von dem was ist*, überleitete *zu dem was sein muss*, vom *blossen Beschreiben zum tieferen Verstehen*. Dadurch wurde an die Stelle der früheren Petrographie eine *Gesteinslehre* gesetzt, die in die *Tiefen des Werdens der Gesteine* führt und mit Sicherheit voraussehen lässt, was innerhalb der Erdrinde in verschiedenen Niveaux im Verlauf der Erdgeschichte aus ihnen werden muss.

Damit eröffnet sich zugleich für unser schönes Heimatland in den kristallinen Gesteinen unserer Alpen eine reiche Fülle der herrlichsten wissenschaftlichen Probleme; mögen fleissige und erfolgreiche Bearbeiter dazu in unserer Schweiz nie fehlen!

LITERATURANGABEN :

1. Verhandlungen der 70. Versammlung der schw. naturf. Gesellschaft in Frauenfeld, 1887 (Eröffnungsrede).
2. *Wülfing, E. A.* Fortschritte auf dem Gebiete der Instrumentenkunde. Fortschr. der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie. III. Bd., Jena, 1913.
3. *Hillebrand, W. F.* The analysis of silicate and carbonate rocks. U. S. Bull. 122, 1910.
4. *Osann, A.* Beiträge zur chemischen Klassifikation der Eruptivgesteine T. M. P. M. XIX-XXII 1900-1903.
5. — Petrochemische Untersuchungen, I. Teil. Abh. der Heidelberger A. d. W., 1913.
6. *Van t'Hoff, J.-H.* Zur Bildung der ozeanischen Salzablagerungen. Braunschweig 1905-1909; Leipzig 1912.

7. *Dölter, C.* Handbuch der chemischen Mineralogie I. Bd. S. 113-138 u. S. 628-804. Dresden 1912.
8. *Van Bemmelen, J. M.* Die Adsorption ; Gesammelte Abhandlungen, von W. Ostwald, Dresden 1910.
9. *Grubenmann, U.* Kristalline Schiefer, I. Teil, 1. Aufl., Berlin, 1904.
10. *Rinne, F.* Salzpetrographie u. Metallographie in Dienste der Erup- tivgesteinskunde, im Fortschr. d. Min. Krist. etc., I. Bd., Jena, 1911.
11. *Tammann.* Kristallisiren und Schmelzen. Leipzig 1903.
12. *Day A. L., Allen E. T., Shepherd E. S. White W. P., et Wright F. E.* : die Kalkkieselreihe der Minerale T. M. P. M. XXVI. 1907.
13. *Bakhuis Roozeboom*, die heterogenen Gleichtgewichte, I. und II. Bd. Braunschweig 1901 u. 1904.
14. *Grubenmann, U.* Die kristallinen Schiefer. Eine Darstellung der Erscheinungen der Gesteinsmetamorphose und ihrer Produkte. 2 Aufl. Berlin, 1910.
- — Mineralbildung und Gesteinsbildung auf dem Weg der Meta- morphose in Handwörterbuch d. Naturwiss. VI. Bd. Jena, 1912.
15. *Johnston und Adams*, Ueber den Einfluss hoher Drucke auf das phys. u. chem. Verhalten fester Stoffe. Zeitschr. f. anorg. Chemie, 80. Bd., 1913.
16. *Grubenmann, U.* Struktur und Textur der metamorphen Gesteine in Fortschr. der Min. Krist. etc., II. Bd. Jena 1912.
17. *Niggli, P.* Die Chloritoidschiefer und die sedimentäre Zone am Nordostrand des Gotthardmassivs. Beitr. z. geol. Karte der Schweiz, N. F. 36 Lief. 1912.
18. *Goltschmidt, V. M.* Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet 1911.
19. *Vogt J. H. L.* Die Silikatschmelzlösungen. I. u. II. Teil. Kristiania 1903 u. 1904.