

Zeitschrift: Schweizerische pädagogische Zeitschrift
Band: 20 (1910)
Heft: 4

Artikel: Beziehungen der Chemie zur Gesteinslehre : Antrittsvorlesung
Autor: Hezner, Laura
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-789094>

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: 03.02.2026

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

Beziehungen der Chemie zur Gesteinslehre.

Antrittsvorlesung

gehalten am 19. Februar 1910 von Privatdozent Dr. Laura Hezner.

Die Gesteinslehre ist als für sich bestehende Wissenschaft noch sehr jung. Ihre Selbständigkeit datiert kaum weiter zurück als 50 Jahre. Vorher galt sie als Hilfswissenschaft der Geologie und ihre Forschungen wurden fast nur in Bezug auf geologische Probleme betrieben. Zwei Dinge sind es, die die Mündigkeit der Gesteinslehre herbeigeführt haben:

1. Die Einführung der mikroskopischen Gesteinsuntersuchung, welche die Ausbildung so mannigfacher und geistreicher optischer Methoden zur Folge hatte und dadurch erst zu einer wirklichen Kenntnis des mineralogischen und strukturellen Charakters der Gesteine führte, und
2. die Anwendung der Chemie auf die Gesteinslehre.

Denn nur durch die Aufdeckung ihres Chemismus wird die mineralogische Zusammensetzung der Gesteine wirklich verständlich und wird Licht gebracht in die verwandtschaftlichen und genetischen Beziehungen der verschiedenen Gesteinsgruppen. Dabei bleibt natürlich die geologische Betrachtungsweise und das Studium der geologischen Verhältnisse der Gesteine unentbehrlich, selbst bei der Anwendung theoretischer Gesichtspunkte physikalisch-chemischer Natur.

Das Hauptgebiet, auf welchem Chemie und Gesteinslehre sich begegnen, ist die Lehre von den Erstarrungsgesteinen. Diese bilden sich bekanntlich aus sehr komplexen, schmelzflüssigen Lösungen, die wohl unter die grossartigsten physiko-chemischen Systeme gehören, welche die Natur hervorgebracht hat.

Schon relativ früh wurden Versuche gemacht, mittels physikalisch-chemischer Gesetze, oder vielleicht besser zunächst mittels chemischer Erfahrungen, die Verhältnisse der Erstarrungsgesteine zu erklären. Diese

Erklärungsversuche mussten, da Einzelerkenntnisse und die Breite der Erfahrung in hohem Masse fehlten, einen durchaus hypothetischen Charakter annehmen, ja oft ans Phantastische streifen.

Fast stets aber hat sich in solchen Hypothesen genialer Forscher ein Kern von Wahrheit gezeigt, welcher durch spätere strengere Erfahrungen, die zu schärferen Abgrenzungen und Einschränkungen führten, klar gelegt wurde und zum bleibenden Gut der Wissenschaft geworden ist.

In der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts bestand fast allgemein die Annahme, dass das Erdinnere, unter einer relativ dünnen festen Rinde, eine einzige glutflüssige Masse sei, von welcher aus die Magmen auf Brüchen und Spalten empordrängen. Das nächstliegende Problem war demnach: Wie entsteht die grosse Verschiedenartigkeit der emporgedrungenen Magmen und der aus ihnen hervorgegangenen Erstarrungsgesteine?

Zur Beantwortung dieser Frage wurden zwei Hypothesen aufgestellt:

1. die Mischungshypothese, und
2. die Differentiationshypothese.

Die erstere, die Mischungshypothese, setzt zwei primär verschiedene Magmen voraus, die durch eine Trennung der schwereren von den leichteren Substanzen entstanden, zu einer Zeit, als die Erdkugel noch in gasförmigem oder doch durchaus flüssigem Zustande war. Man nahm an, dass die Stoffe mit dem grössten spezifischen Gewicht sich in den innern Teilen der Erde ansammelten, diejenigen mit dem kleinsten näher der Oberfläche blieben. Eigentlich physikalisch-chemische Beziehungen, abgesehen von der implicite vorhandenen Voraussetzung einer unbegrenzten Mischbarkeit der Magmen, fanden in der Mischungshypothese keine Anwendung, obgleich sie von einem grossen Chemiker, Bunsen, im Jahre 1851 ausging. Aber ihre Grundlage sind die quantitativen chemischen Analysen isländischer Gesteine. Die Verschiedenartigkeit dieser Gesteine sucht Bunsen durch eine verschiedengradige Mischung eines sehr kiesel-säurereichen leichteren Magmas, des normaltrachytischen, und eines sehr basenreichen schwereren, des normalperidotitischen, zu erklären. Die Berechnungen mit verschiedenen Proportionen dieser beiden Magmen, verglichen mit den gefundenen Analysenwerten der untersuchten isländischen Gesteine, ergaben sehr befriedigende Resultate. Eine allgemeine Anwendbarkeit dieser Mischungshypothese wäre wohl niemals versucht worden, wenn durch eine genügende Anzahl chemischer Analysen von Gesteinen verschiedener Erstarrungsgesteinsgebiete bekannt gewesen wäre, nach wie sehr verschiedenen Richtungen die Differenzen im Chemismus dieser Gesteine gehen.

Heute wird der Mischungsgedanke hauptsächlich angewandt auf die Einschmelzung fester Nebengesteine durch eindringende Magmen, worüber sich die Beobachtungen stetig mehren. Aber die aus dem Einschmelzungsvorgang resultierenden hybriden Gesteine sind im allgemeinen abnormal und fügen sich nicht den chemischen Gesetzmässigkeiten der typischen Erstarrungsgesteine ein.

Die Differentiationshypothese stammt aus dem Jahre 1857 von Durocher. Nach ihm besitzt das Magma die Fähigkeit, sich in saurere Tat basischere Anteile zu spalten. Dass eine solche Spaltung in der und stattfindet, wird jetzt, nachdem vielfache Beobachtungen an Erstarrungsgesteinskomplexen und auch das Experiment sie bestätigt haben, fast allgemein anerkannt. Als Erklärungsgründe dafür wurden in Laufe der Zeit eine lange Reihe von physikalisch-chemischen Beziehungen und Gesetzmässigkeiten angegeben, eine Reihe, die noch immer wächst.

In erster Linie sollte in Betracht kommen „Sorets Prinzip“, welches aussagt, dass sich in einer Lösung mit ungleicher Temperaturverteilung die gelösten Salze in den kältesten Teilen anreichern. Im Magma würden sich demnach die zur Ausscheidung bereiten Substanzen in den schon am meisten abgekühlten Randzonen ansammeln, was auch, besonders bei Gängen, weniger bei Stöcken, der Erfahrung entspricht. Bei Gängen ist es die beinahe normale Erscheinung, dass am Salband sich die dunklen Gemengteile, welche in der Regel zuerst auskristallisieren, anreichern.

In zweiter Linie wurde an die Anwendung des Gesetzes von der beschränkten Mischbarkeit der Flüssigkeiten gedacht. Bekanntlich gibt es deren eine ganze Anzahl, welche bei höheren Temperaturen in allen Verhältnissen mischbar sind, die aber bei niedrigeren Temperaturgraden sich in mehr und mehr reine Schichten separieren. So ist z. B. Anilin und Wasser nur bei Temperaturen über 166° durchaus mischbar. Wird die Mischung unter diese Temperatur abgekühlt, so entsteht eine obere Schicht von Wasser mit sich vermindern dem Anilingehalt und eine untere Anilinschicht mit sich vermindern dem Wassergehalt.

Die Beziehung auf das Magma liegt hier auf der Hand. Sind die verschiedenen schmelzflüssigen Stoffe in demselben nicht bei allen Temperaturen mischbar, so muss es sich bei der Abkühlung in Lager von verschiedener chemischer Zusammensetzung trennen. Aus diesen Lagern gingen dann die verschiedenartigen Erstarrungsgesteine hervor.

Als weitere Differentiationsursachen werden angeführt: eine Trennung nach dem spez. Gewicht, teils im flüssigen, teils im partiell kristallisierten Zustand, elektrolytische Spaltungen, Einflüsse der chemischen Zusammensetzung u. a.

Fragt man aber nach der Erfahrungs- und Beobachtungsgrundlage für die Anwendung dieser physikalisch-chemischen Beziehungen, so zeigt es sich, dass wohl die Möglichkeit, ja vielfach sogar die Wahrscheinlichkeit ihres Wirkens gegeben ist, dass aber noch fast durchgehends die Vorstellungen über den Umfang, die Quantität ihres Einflusses, fehlen. Durch diese Vorstellungen aber würden sie erst aus der Sphäre blosser Ahnungen und Vermutungen zu Erkenntnissen erhoben.

Nur für das Gesetz von der beschränkten Mischbarkeit der Flüssigkeiten scheint auch die Wahrscheinlichkeit einer Anwendbarkeit auf wesentlich silikatische Schmelzflüsse ausgeschlossen, denn das Experiment hat gezeigt, dass geschmolzene Silikate in allen Proportionen mischbar sind. Doch weiss man, dass bei stärkerer Beimengung von Sulfiden innerhalb eines Erstarrungsgesteins Erzkörper durch Entmischung entstehen können.

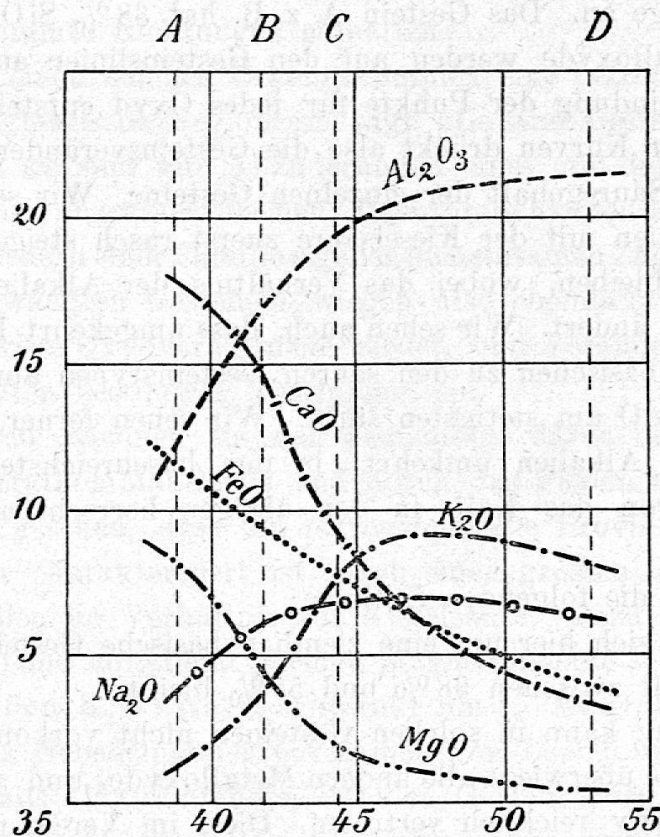
Übrigens mehren sich in der letzten Zeit in der petrographischen Literatur die Stimmen, welche darauf hinweisen, dass der Hauptanteil der Differentiation höchst wahrscheinlich Kristallisationsdifferentiation sei, d. h. die Verschiedenartigkeit der Erstarrungsgesteine eines bestimmten Gebietes kommt dadurch zustande, dass die verschiedenen Kristallarten etappenweise ausfallen. Dadurch muss sich das jeweilige Restmagma chemisch stetig ändern und in der Zeitfolge verschiedene Erstarrungsgesteine liefern. Noch eindringlicher aber spricht sich in dieser Literatur die Überzeugung aus, dass die Frage nach den Ursachen der Differentiation noch nicht spruchreif ist, dass erst noch durch das Experiment und die genaue Erforschung einer sehr grossen Anzahl von Massengesteinsgebieten der Boden für die Erkenntnis der Differentiationsvorgänge fester gegründet werden muss.

Die Untersuchung solcher einzelner Erstarrungsgesteinskomplexe ist auch in der Tat in erfreulicher Weise in Angriff genommen worden und fortgeschritten. Besonders die amerikanischen Forscher vor der „Geological Survey of the U. St. of Am“ haben viele und bedeutsame Beiträge geliefert. Durchblättert man solche Arbeiten, so fällt es auf, welch breiten Raum die chemische Gesteinsuntersuchung darin einnimmt. Stets sind wenigstens die wichtigeren Gesteinsarten des untersuchten Gebietes der quantitativen chemischen Analyse unterworfen worden, und eine Arbeit gilt mit Recht als unvollständig, wenn dies fehlt, denn es fehlt dann die Grundlage für das Verständnis der mineralogischen Eigentümlichkeit der betreffenden Gesteinsgruppe.

Sind die Gesteinsanalysen gegeben, wobei bekanntlich die einzelnen Substanzen als Oxyde angeführt werden, so erweisen sich Beobachtungen

über das Zusammengehen oder gegenseitige Sichausschliessen dieser Oxyde von grosser Fruchtbarkeit. Noch wichtiger ist die Bestimmung der Proportionen, in welchen die einzelnen Oxyde zueinander stehen; denn es hat sich gezeigt, dass sowohl diese Proportionen als das Zusammenkommen und Sichausschliessen der Oxyde in vielen Massengesteinskomplexen auf ganz bestimmte und charakteristische Weise sich gestalten. So können z. B. bei allen Gesteinen eines solchen Gebietes die Alkalien mit der Kieselsäure steigen, während sie in andern Gebieten bei allen Veränderungen der Kieselsäuremenge konstant bleiben. Ferner gibt es Gesteinsreihen, bei welchen der Kalk mit der Tonerde zunimmt, während es bei andern sich umgekehrt verhält. Da wenigstens neun wesentliche Oxyde in jedem Massengesteine vorhanden sind, ist die Variationsmöglichkeit eine sehr grosse.

Für die einzelnen Massengesteinsgebiete lässt sich durch eine einfache graphische Darstellung ein Variationsdiagramm geben, wobei der Kieselsäuregehalt auf der Abszisse aufgetragen wird, die Grössen für die Metalloxyde auf der Ordinate. Damit kann man auf einen Blick den chemischen Charakter eines Erstarrungsgesteinskomplexes übersehen und bei einiger Übung seine mineralogischen Verhältnisse folgern.



Variations - Diagramm

Analysen.

	A	B	C	D
Si ₂ O ₂	38,66	41,75	44,40	53,09
Al ₂ O ₃	11,23	17,04	19,95	21,16
FeO	11,58	9,04	7,41	3,74
CaO	17,75	14,57	8,49	3,30
MgO	8,58	4,71	1,75	0,32
K ₂ O	1,27	3,98	8,14	8,42
Na ₂ O	3,01	6,17	6,50	6,86

Sie haben hier das sehr einfache Variationsdiagramm der von Washington untersuchten Gesteinsserie von „Magnet Cove in Arkansas“ mit den zugehörigen Analysen. Der Übersichtlichkeit wegen wurden nur die wichtigsten Oxyde angegeben und alles Eisen in Oxydul umgerechnet. In Wirklichkeit sind alle Analysen von absoluter Vollständigkeit und Genauigkeit. A, B, C, D bedeuten die in der Magnet Cove-Serie vorkommenden Gesteinsarten. A ist das Mittel aus einer Anzahl von Analysen sehr ähnlicher Gesteine. Die Gesteine werden durch die punktierten Vertikalen repräsentiert; ihre Entfernung vom Anfangspunkt 35 gibt ihre Kieselsäuremenge an. Das Gestein A z. B. hat 38 % SiO₂. Die Mengen der sechs Metalloxyde werden auf den Gesteinslinien aufgetragen, und durch die Verbindung der Punkte für jedes Oxyd entsteht seine Kurve. Der Verlauf der Kurven drückt also die Gesteinsveränderungen aus mit zunehmendem Säuregehalt der einzelnen Gesteine. Wir sehen, dass Tonerde und Alkalien mit der Kieselsäure zuerst rasch steigen, dann ziemlich konstant bleiben, wobei das Verhältnis der Alkalien zur Tonerde sich nur wenig ändert. Wir sehen auch, dass umgekehrt FeO, MgO und CaO von den basischen zu den sauren Gesteinstypen abnehmen, wobei die Linie für FeO am stetigsten sinkt. Wir sehen ferner, dass sich das Verhältnis der Alkalien umkehrt; in den basenreichsten Gesteinen A überwiegt Natron das Kali, in den übrigen herrscht umgekehrt K₂O über Na₂O vor.

Wir ziehen die folgenden Schlüsse:

Es handelt sich hier um eine ziemlich basische Gesteinsserie, da der Kieselsäuregehalt zwischen 38 % und 55 % bleibt.

Freier Quarz kann in solchen Gesteinen nicht vorkommen.

Die Tonerde überwiegt alle andern Metalloxyde, und auch beide Alkalien sind relativ reichlich vertreten. Dies, im Verein mit der Kieselsäurearmut zwingt zu dem Schlusse, dass in allen Gesteinen der Serie die alkali- und tonerdereichen Feldspatstellvertreter Leucit und Nephelin

auftreten müssen. Feldspate können nur in den beiden sauersten Gliedern der Reihe vorkommen, da nur diese die nötige Kieselsäuremenge besitzen, und zwar sind es vorwiegend Alkalifeldspate, weil der Kalk gerade in den sauren Gesteinen recht geringfügig wird. Die Alkalimenge ist gross genug, dass auch Alkalien noch in die sehr reichlich vorhandenen dunklen Gemengteile eintreten werden. In der Tat bewähren sich diese Voraussetzungen, denn wir haben in der Magnet Cove-Serie Eläolithsyenite D, Leucit-Eläolithsyenite C, gewöhnliche Ijolithe, und granat- und biotit-führende Ijolithe, für welche alle der eben genannte Mineralbestand und die dargestellten chemischen Verhältnisse charakteristisch sind. Ähnliche Variationsdiagramme sind schon für zwei schweizerische Massengesteinskomplexe aufgestellt worden, das eine von Dr. Fr. Weber für den Kalisyenit des Piz Giuf und seine Begleitgesteine, das andere von Dr. O. Züst für die granitischen Gesteine aus der Umgebung von Ardez, in hier gearbeiteten Dissertationen. Beide Diagramme sind aber viel komplizierter als das hier gegebene und eignen sich darum weniger für Beispiele.

Wenn in einem Variationsdiagramm alle Kurven im ganzen ein-sinnig verlaufen oder doch ganz einfache Formen besitzen, so bedeutet das, dass alle chemischen Veränderungen bei den Einzelgesteinen des Komplexes bestimmte Richtungen einhalten.

Man nennt einen solchen Gesteinskomplex eine petrographische Provinz oder comagmatische Region und sagt, alle seine Gesteine seien blutsverwandt. Denn sie sind nur Abänderungen eines und desselben Stamm-magmas, und ihre charakteristischen Eigentümlichkeiten lassen sich wohl mit den allen Gliedern einer Familie eigenen gemeinsamen Zügen vergleichen.

In blutsverwandten Gesteinen wiegen also chemisch gewisse Oxyde vor, kehren gewisse Oxydverhältnisse wieder, und Veränderungen solcher Verhältnisse halten bestimmte Richtungen ein.

Mineralogisch zeichnen sie sich demzufolge durch bestimmte Mineralien und Mineralkombinationen und durch das Fehlen anderer aus.

Wir haben gesehen, dass die petrographische Provinz des „Magnet Cove“ chemisch charakterisiert ist durch einen grossen Gehalt an Ton-erde und Alkalien im Verhältnis zur Kieselsäure. Dazu kommt die für so basische Gesteine auffallend geringe Magnesiamenge bei viel Kalk.

Die Proportion $K_2O : Na_2O$ schwankt um 1. Mineralogisch charakteristisch ist das Nebeneinandervorkommen von Leucit und Nephelin bei sehr viel, ebenfalls alkaliführenden dunklen Gemengteilen.

In der comagmatischen Region der Romagna sind K_2O und CaO die chemischen Leitsubstanzen bei geringen Grössen für SiO_2 , MgO und Eisenoxyden. Leucit und Augite sind die Leitmineralien.

Im Christianiagebiet herrscht chemisch die Kombination: „Natron-Tonerde“, mineralogisch: Alkalifeldspat-Nephelin.

Die Erkenntnis der petrographischen Provinzen und der Blutsverwandtschaft der Gesteine ist eines der schönsten und wichtigsten Resultate der Anwendung der Chemie auf die Gesteinslehre.

Nicht weniger bedeutsam ist die schon heute weitgehend durchgeführte Zweigliederung der Massengesteine in eine Kalkalkalireihe und eine Alkalireihe, welche wiederum auf chemischer Basis ruht und in letzter Linie das Resultat chemischer Analysen ist.

Vergleicht man zwei Gesteinstypen aus beiden Reihen mit ungefähr gleichem Kieselsäuregehalt, so erweist sich das Gebiet der Alkalireihe reicher an Alkalien, das Glied der Kalkalkalireihe reicher an Kalk und Magnesia. Oder besser, es ist im erstgenannten Gestein, dem Glied der Alkalireihe, das Verhältnis von Alkalien zu Kalk sehr zu Gunsten der Alkalien verschoben im Vergleich zu demselben Verhältnis im zweiten Gestein.

Ein Beispiel möge das erläutern:

Es haben der Kalkalkalisyenit von Hausach im Schwarzwald und der Alkalisyenit von Fünfkirchen in Ungarn je $58\frac{1}{2}\%$ SiO_2 . Die Summe der Alkalien beträgt im Kalkalkalisyenit 7 %; Kalk ist $3\frac{1}{2}\%$ vorhanden; der Alkalisyenit hat 14 % Alkalien und 1,15 % Kalk. Im ersteren Gestein ist das Verhältnis von Alkali zu Kalk wie 2 : 1; im letzteren wie 12 : 1. Aus solchen Verhältnissen ergeben sich die mineralogischen Charakteren der Reihen, so dass in der Alkalireihe die Alkalifeldspäte herrschend sind und dass die Feldspatstellvertreter und alkaliführende dunkle Gemengteile in ihr vorkommen. Die Kalkalkaligesteine bevorzugen im allgemeinen kalkführende Feldspäte; die Feldspatstellvertreter fehlen stets und die dunklen Gemengteile sind alkalifrei. Zu bemerken ist, dass in den sauersten und basischsten Typen beider Reihen die chemischen und mineralogischen Differenzen am wenigsten deutlich sind, sehr in die Augen fallend aber in den intermediären Gliedern.

Geologisch ist die Kalkalkalireihe vorwiegend an Kettengebirge, die Alkalireihe an Schollengebirge geknüpft. Der Nachweis für diese Tatsache wurde von dem Engländer Harker besonders für die tertiären Erstarrungsgesteinsgebiete in sehr befriedigender Weise geliefert.

Im Zusammenhang mit dieser geologischen Verteilung steht die geographische. Die Kalkalkaligesteine herrschen in den pacifischen, die Alkaligesteine in den atlantischen Küstenregionen (das Wort Küstenregion im weitesten Sinne genommen), daher der Name pacifische und atlantische Reihe oder Sippe.

Eine dritte, eben in den Kreis der petrographischen Forschung tretende Zwischenreihe zwischen jenen beiden kann hier nur rasch erwähnt werden.

Durch die beiden Reihen ist die erste Grundlage einer natürlichen Systematik der Massengesteine gegeben, die also in letzter Linie auf der Anwendung der Chemie beruht. Diese Systematik ist nur in den allerersten Anfängen vorhanden, aber der Weg, welcher zu ihr führt, beginnt klar sichtbar zu werden; er geht über das Studium aller erreichbaren petrographischen Provinzen; sein Ziel wird die Gliederung der Massengesteine nach ihrer Blutsverwandtschaft untereinander sein.

Künstliche Erstarrungsgesteinssysteme auf chemischer Basis sind in den letzten Jahren mehrere entstanden. Es fehlt die Zeit, um hier näher darauf einzugehen. Ich möchte nur die amerikanische „Chem. classification of igneous rocks“ erwähnen, welche imponiert durch die eiserne Konsequenz ihrer Durchführung, aber befremdet durch den vollkommenen Mangel eines Anschlusses an die Natur.

Die allgemeinsten Grundlagen für die Erforschung der Massengesteine, d. h. die Erkenntnis des Erstarrungsvorganges selbst, verdankt die Petrographie wiederum der Chemie. Auch hier wurde die Hauptarbeit in den letzten 10—20 Jahren geleistet.

Wir haben erwähnt, dass das Magma heute als Schmelzlösung betrachtet wird. Es hat sich auch ein grosser Teil der Lösungsgesetze für dasselbe als anwendbar erwiesen. Seine elektrische Leitfähigkeit ist festgestellt und harret noch genauerer quantitativer Bestimmungen. Die allgemeinen Beziehungen der Kristallisationsgeschwindigkeit und des Kristallisationsvermögens der Mineralkomponenten sind besonders von dem physikalischen Chemiker T a m a n n aufgestellt worden, und von D ö l t e r wurden verschiedene Messungen ausgeführt, welche die wesentlichsten Komponenten der Erstarrungsgesteine betreffen. Die Feststellung der verschiedenen Mischkristalltypen, eine schöne und erschöpfende Arbeit des Holländers R o z e b o o m hat schon weitgehende Anwendung auf die Bestandminerale der Erstarrungsgesteine gefunden, welche wie die Feldspäte, Augite, Hornblenden, Granate u. a. isomorphe Mischungen bilden. Zur grössten Bedeutung aber ist wohl das Gesetz von den eutektischen Mischungen gelangt, welches vor allem andern die Ausscheidungsfolge der Massengesteinskomponenten zu beherrschen scheint. Dasselbe lautet: Für zwei oder mehrere ineinander gelöste Stoffe gibt es ein ganz konstantes Mischungsverhältnis, in welchem sie sich bei einer konstanten Temperatur zugleich ausscheiden. Diejenigen Komponenten, welche im Überschuss gegen das eutektische Verhältnis vorhanden sind, kristallisieren vorher für sich aus.

Die Anwendbarkeit dieses Gesetzes auf Schmelzlösungen von zwei und drei Silikaten wurde von Vogt in Christiania experimentell festgestellt. In der Natur mehren sich die Funde, welche sie bestätigen. Besonders leicht nachweisbar ist sie für Gesteine mit nur wenigen Komponenten. So zeigen die fast nur aus Anorthit und Olivin bestehenden Allivalite der britischen Insel Runa Erstausscheidung von Anorthit oder Olivin, je nachdem eine dieser Komponenten im Überschuss vorhanden ist, und gleichzeitige Entstehung beider Mineralien, wenn sie im eutektischen Verhältnis auftreten. Es lässt sich dies schon im Dünnschliff sehr schön beobachten.

Sehr viele Tiefengesteine, besonders Granite, Diorite und Gabbro, und ein grosser Teil der Grundmassen porphyrischer Gesteine zeigen, wie wiederum Vogt nachgewiesen hat, ein nahezu eutektisches Verhältnis ihrer wesentlichen Komponenten. Dieser Forscher fasste sie daher unter dem Titel der anchieutektischen (fast eutektischen) Gesteine zusammen. Er stellte sie im Gegensatz zu den anchimonomineralischen Gesteinen. Diese bestehen wesentlich nur aus einer Komponente, welche im Magma in grossem Überschuss gegen ihr Eutektikum mit den übrigen Komponenten vorhanden war.

Schon aus diesen wenigen Angaben geht hervor, dass sich die Lehre von den Erstarrungsgesteinen nur dann über das Niveau einer bloss beschreibenden Wissenschaft erheben kann, wenn sie ihre Objekte von chemischen Gesichtspunkten aus betrachtet. Und darin liegt zugleich der Gegendienst, welchen sie der Chemie zu leisten vermag, indem sie ihr die Kenntnis der grossartigsten natürlichen chemischen Systeme übermittelt und ihr zeigt, welcher Anwendung die oft nur im Laboratorium gefundenen Gesetze hier fähig sind.

Die Beziehung der Chemie zur Petrographie der Sedimente ergibt sich für die chemischen Sedimente von selbst aus ihrer Natur als Niederschläge aus wässriger Lösung. Für die Gesteine und Mineralien der Salzlagerstätten, also für die rein chemischen Sedimente, sind im letzten Dezennium von van't Hoff und seinen Schülern die Bildungsbedingungen in so umfassender Weise festgestellt worden, dass hier, wenigstens prinzipiell, keine Frage mehr offen bleibt. Denn für alle hier in Betracht kommenden Substanzen sind nun die Existenzfelder bekannt, d. h. die Intervalle von Temperatur und Konzentration, in welchen sie entstehen und bestehen können. Druck scheint dabei fast belanglos zu sein.

Auch das Dolomitproblem, mit welchem sich so viele Forscher so lange Zeit hindurch mit stets negativen Resultaten beschäftigt haben, scheint jetzt auf chemischem Wege seiner Lösung entgegen zu gehen.

Denn im vorigen Jahre gelang es Prof. Link in Jena, aus Lösungen von Magnesium und Kalziumsalzen, besonders Chloriden, bei Gegenwart von Ammoniumsquesquikarbonat in Glasröhren, unter ganz schwacher Erwärmung, Dolomit herzustellen. Seine Versuchsbedingungen waren in hohem Masse den natürlichen Bedingungen angepasst. Von hier aus lässt sich hoffen, dass die Frage, ob die ungeheuren Massen ganz homogenen Kalksteins, welche kaum Fossilreste bergen, ebenfalls chemische Niederschläge sind oder ob für sie organogener Ursprung angenommen werden muss, in absehbarer Zeit in positivem oder negativem Sinn entschieden werden kann.

Das Entstehungsproblem der kristallinen Schiefer hat ebenfalls zu einer grossen Zahl von Hypothesen Veranlassung gegeben. Seit man dahin gelangt ist, in dieser Gesteinsklasse ein Produkt der Umkristallisierung und Ummineralisierung anderer Gesteine, also einer Metamorphose zu sehen, spielen naturgemäss stark physikalisch-chemische Gesichtspunkte hinein. Erhöhte Temperatur, starker einseitiger oder allseitiger Druck wurden wohl stets als die Faktoren angesehen, welche die Metamorphose veranlassten. Man dachte sich, dass diese Faktoren, jeder für sich, oder zusammenwirkend, die Gesteinskomponenten entweder erweichten, in einen plastischen Zustand versetzten oder auch zu Auflösung und Wiederabsatz führten. Es wurden dabei meist über die Wirkungsweise der genannten Faktoren und das Mass ihrer Wirkungen nur ganz allgemeine Angaben gemacht; schärfere Abgrenzungen und eine Formulierung der dabei in Betracht kommenden physikalisch-chemischen Gesetzmässigkeiten wurden kaum versucht. Dadurch blieben die meisten dieser Hypothesen auf der Stufe von Vermutungen und Annahmen stehen. Erst in den allerletzten Jahren suchte man festzustellen, welche auf die Temperatur, den Druck und die wässerigen Lösungen bezüglichen physikalisch-chemischen Gesetze bei der Bildung der kristallinen Schiefer in Betracht kommen müssen, und Sie wissen, dass ein grosser Teil dieser Arbeit hier an unserer polytechnischen Hochschule getan worden ist.

Es steht fest, dass die kristallinen Schiefer hauptsächlich dadurch entstehen, dass innerhalb eines als Ganzes festen Gesteines partielle Lösung und Wiederabsatz, verbunden mit chemischen Reaktionen stattfindet. Diese Vorgänge stehen unter der Herrschaft des „Rieke'schen Prinzips“. Dasselbe sagt aus, dass mechanische Eingriffe auf einen in seiner gesättigten Lösung sich befindlichen Körper diesen an den Stellen der Eingriffe zur Auflösung bringen und dass sich die aufgelöste Substanz an eingriffsfreien Stellen sofort wieder abscheidet. Bei den gebirgsbildenden Prozessen wirkt in der Regel einseitiger Druck auf die

sich dislozierenden Gesteine ein. Dieser bringt die der Druckrichtung zugewandten Partien der Gesteinskomponenten zur Auflösung und der Wiederabsatz geschieht in der Richtung senkrecht zum Druck. Als Lösungsmittel fungiert die Bergfeuchtigkeit und der Wasserdampf, welcher den Magmen entströmt, die im Gefolge grosser Dislokationen so oft intrudiert werden. Eminent befördernd auf Lösung, Wiederabsatz und chemische Umsetzungen wirkt die mit den Dislokationen und Intrusionen verbundene starke Erwärmung der Gesteine.

Da die Mineralneubildungen, infolge des einseitigen Druckes, plattige, blätterige oder gestreckte Formen erhalten und sich dabei senkrecht zu demselben stellen, wird zugleich die schieferige Textur und die den kristallinen Schiefern eigentümliche Formenentwicklung ihrer Gemengteile verständlich. Die Entstehungsfaktoren der kristallinen Schiefer, erhöhte Temperatur und Druck ändern sich mit der Rindentiefe, in welcher die Metamorphose geschieht. Temperatur und Druck bestimmen aber den sich bildenden Mineralbestand. So entsteht aus demselben Ursprungsgestein in den verschiedenen Tiefenstufen der Erdrinde ein verschiedener kristalliner Schiefer.

Und hier sucht nun die neuere Systematik dieser Gesteinsklasse einzusetzen; das Entstehungsniveau benützt sie als ersten Einteilungsgrund. Der zweite ist dann die chemische Zusammensetzung. Denn Gesteine von gleichem Chemismus führen bei der Metamorphose zu gleichem Umwandlungsprodukt, mögen sie ursprünglich nach Mineralbestand, Struktur und Herkunft noch so verschieden gewesen sein. Und gerade bezüglich der Herkunft eines kristallinen Schiefers ist wieder die chemische Analyse meist der sicherste und in vielen Fällen der einzige Weg, welcher zur Entscheidung führt. Sie sagt uns, ob wir ein umgewandeltes Sediment oder Erstarrungsgestein vor uns haben, und noch mehr, welches Sediment, welches Erstarrungsgestein dem betreffenden kristallinen Schiefer zugrunde lag. Doch ist hier noch viel zu tun. Die Derivate mancher Massengesteinsreihe fehlen noch oder sind nur ganz vereinzelt gefunden worden.

Für viele chemisch-physikalische Beziehungen ist wohl die Anwendbarkeit erkannt, aber es fehlt der exakte, zahlenmässige Ausdruck derselben. Erst dann, wenn wir imstande sein werden, von jeder Mineralkomponente der kristallinen Schiefer das Existenzfeld nach Temperatur, Druck und Konzentration anzugeben, genau so, wie es van t Hoff für die Mineralien der Salzlagerstätten getan hat; erst dann wird die Lehre von den kristallinen Schiefern ein allseitig gesicherter Besitz der Wissenschaft geworden sein.

Eine letzte Anwendung der Chemie auf die Gesteinslehre ist eben erst in ihren Anfängen am wissenschaftlichen Horizont emporgetaucht, inaugurirt von dem jungen, im letzten Herbst noch nicht 30 Jahre alt, gestorbenen Mineralogen Cornu. Es ist die Beziehung der Chemie der Gele auf die Petrographie, besonders auf die Verwitterungsvorgänge in den Gesteinen. Schon jetzt sind für den Grossteil der kristallisierten gesteinsbildenden Komponenten die analogen amorphen, gelartigen Modifikationen aufgefunden worden. Man weiss, dass die Gelform überwiegend derjenige Modus ist, in welche die kristallisierten Mineralien bei der Verwitterung übergehen, und man ist dadurch imstande, die Zone der Verwitterung von den Zonen der eigentlichen Gesteinsumwandlung, in welchen nur kristallisierte Minerale entstehen, durch ein wohldefiniertes Merkmal abzugrenzen. Ein weiter Ausblick aber eröffnet sich uns dadurch, dass die Gele, sowohl in der anorganischen als in der organischen Natur vorkommen und in beiden Lagern zum Teil sogar identisch sind. Denn dadurch ist uns ein Grenz- und Vermittlungsgebiet zwischen diesen sonst anscheinend so ganz getrennten Reichen aufgetan worden.