

Ueber  
**die Berechnung der quantitativen mineralogischen Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine, vornehmlich der Laven**

von

*W. Sartorius von Waltershausen.*

Vorgelegt der königlichen Societät der Wissenschaften in der Sitzung vom 3. Mai 1862.

1.

Die quantitative mineralogische Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine, namentlich die der Laven hat in neuerer Zeit, sowohl vom rein chemischen, wie vom mineralogischen Standpunkte aus ein besonderes Interesse in Anspruch genommen. Namentlich scheint das in dieser Richtung von Tage zu Tage wachsende Beobachtungsmaterial einer weitem Prüfung und Ueberarbeitung zu bedürfen, umso mehr da aus demselben verschiedene für die Geologie wichtige Folgerungen gezogen werden können.

Die krystallinischen Gesteine verschiedenen Alters, soweit sie aus feurigem Fluss hervorgegangen sind, müssen als die primitiven Gebilde der Erdrinde betrachtet werden und liefern das Baumaterial für die später entstandenen sedimentären und metamorphischen Schichten. Der Hauptsache nach bestehen sie aus wenigen Elementarkörpern, welche nach einfachen stöchiometrischen Formeln zu einer kleinen Zahl leicht erkennbarer Mineralkörper sich gruppieren.

Man hat seit Kurzem einen Fortschritt darin zu erblicken geglaubt, bei der Untersuchung der krystallinischen Gesteine die Individualität der ausgesonderten Mineralkörper ausser Acht zu lassen und statt dessen mit den sogenannten Pauschanalysen sich zu begnügen; eine Ansicht, mit welcher wir

uns nicht befreunden können, da sie die krystallinische Structur der in den Gebirgsarten auftretenden Mineralkörper und ihre stöchiometrische Zusammensetzung gänzlich unberücksichtigt lässt. Alle aus feurigem Fluss hervorgegangenen krystallinischen Gesteine bestehen in überwiegender Menge aus Kieselsäure und aus den beiden Basen, welche man mit  $\ddot{R}$  und  $\dot{R}$  zu bezeichnen pflegt. Es gruppiren sich unter  $\ddot{R}$  und  $\dot{R}$  folgende isomorphe Körper:

$\ddot{R}$	$R$
$\ddot{A}l$	$\dot{C}a$
$\ddot{F}e$	$\dot{M}g$
$\ddot{T}i$	$\dot{N}a$
$\ddot{C}r$	$\dot{K}a$
$\ddot{M}n$	$\dot{F}e$
	$\dot{M}n$
	$\dot{L}i$
	$\dot{N}i$
	$\dot{C}o$

Für die Bildung der krystallinischen Gesteine sind die in Klammern eingeschlossenen Oxyde allein von Bedeutung, während die andern nur bei sorgfältiger chemischer Analyse mitunter in sehr kleinen Quantitäten nachzuweisen sind, jedoch in der Natur eine viel allgemeinere Verbreitung, als man es früher anzunehmen geneigt war, zu besitzen scheinen. Sie bekommen dadurch noch ein ganz besonderes Interesse für die Mineralogie, dass sie öfter nach der Zerstörung der ursprünglichen Gebirgsarten, in denen sie in geringer Menge vertheilt sind, zur Neubildung verschiedener sehr eigenthümlicher Mineralkörper Veranlassung geben.

Die Basen unter  $\ddot{R}$  und  $\dot{R}$  erscheinen als Gemengtheile krystallinischer Gesteine in der Gestalt von Corund  $\ddot{A}l$  und Perikas ( $\dot{M}g \dot{F}e$ ) äusserst selten, dagegen sind die Mineralien der Spinellgruppe Verbindungen beider Basen  $\ddot{R}\dot{R}$  für die Structur mehrerer Gebirgsarten, zumal das octaëdrische Titanerz von hoher Bedeutung. Grünsteine, Diabase, Dolerite, Basalte und endlich die Laven enthalten dieses Mineral öfter bis zum Betrage von 10 Procent und mehr. Es erscheint meist in kleinen unregelmässigen Körnern und kleinen Octaëdern,

welche bei der Verwitterung der Gebirgsarten abgelöst und im Sande von Flüssen und Bächen wiedergefunden werden.

Die Kieselerde ist das wichtigste Element der krystallinischen Gesteine sie erscheint entweder in Quarzkörnern und Krystallen ausgesondert, oder mit  $\bar{R}$  und  $\dot{R}$  in der Gestalt von Silicaten nach bestimmten einfachen stöchiometrischen Proportionen verbunden; unter den letztern findet man in der bei weiten grössern Zahl der Fälle folgende 6, nämlich: Feldspath, Glimmer, Hornblende, Augit, Leuzit und Olivin.

Die Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine lässt sich daher im Grossen Ganzen auf die Verbindung von 7 Mineralkörpern zurückführen, da Augit und Hornblende als dimorphe Substanzen von chemischer Seite nur ein Mineral repräsentiren. In den vorliegenden Untersuchungen werden vorzugsweise Quarz, Magneteisenstein, Feldspath, Augit, Glimmer, Leuzit und Olivin berücksichtigt werden, obgleich unsere weiter unten vorzutragende Methode der Berechnung der Gesteinszusammensetzung sich mit geringen Modificationen auch auf andere Mineralkörper anwenden lässt.

Der Gang der praktischen Rechnung wird dadurch wesentlich erleichtert, dass in den krystallinischen Gesteinen die Gegenwart gewisser Mineralkörper, das Vorkommen anderer mit Bestimmtheit ausschliesst. So finden sich im Granit, Gneuss und Glimmerschiefer niemals Augit, Leuzit oder Olivin; Laven, Dolerite und Basalte enthalten keinen Quarz; manche Laven enthalten Leuzite in grosser Menge, während die meisten andern keine Spur davon zeigen; endlich findet man in den neuesten Gesteinen fast niemals Glimmer, während alle den Magneteisenstein in hervorragender Menge führen. Die Aufgabe die quantitative mineralogische Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine aus ihrer chemischen Gesamtanalyse zu ermitteln, oder das Verhältniss anzugeben, in welchem die verschiedenen Mineralkörper in jenen gemischt sind, ist bisjetzt soweit mir bekannt nicht streng wissenschaftlich behandelt worden. Man hat sich dieselbe entweder ganz fern gehalten, oder sich mit einer unzureichenden Approximation begnügt. In meinen Untersuchungen über die vulkanischen Gesteine von Sicilien und Island versuchte ich diese Aufgabe zuerst zu behandeln, die ich seitdem weiter ausgearbeitet und zu einem befriedigenden Abschluss gebracht zu haben glaube.

Wenn es sich um die exacte Gruppierung einer Gesteinsanalyse zu bestimmten Mineralkörpern handelt, so ist es einleuchtend, dass das Verhältniss von Eisenoxyd und Eisenoxydul nicht unberücksichtigt bleiben darf. Bei der etwas grössern Schwierigkeit der Analyse ist die Trennung dieser beiden Körper gewöhnlich vernachlässigt worden. Auch in meinen frühern Untersuchungen ist auf das Verhältniss von  $\text{Fe}$  und  $\text{Fe}$  nicht Rücksicht genommen worden und es wird hier das Versäumte nachgeholt werden.

Um die quantitative mineralogische Zusammensetzung eines krystallinischen Gesteins zu ermitteln, wird man mit einer qualitativen Prüfung der einzelnen Bestandtheile beginnen, welche in der Mehrzahl der Fälle keine wesentliche Schwierigkeit darbietet.

Die qualitative Prüfung wird in rein mineralogischer Weise, durch Bestimmung der Krystallformen, der Härte, des specifischen Gewichtes u. s. w., oder auch durch Hinzuziehung chemischer Hilfsmittel gewöhnlich mit voller Sicherheit ausgeführt werden können. Zur Erreichung dieses Zweckes hat man öfter mit gutem Erfolg sehr dünne, durchsichtige oder durchscheinende kleine Platten verschiedener Gebirgsarten für mikroskopische Untersuchung schleifen lassen. Wir machen darauf aufmerksam, dass dabei mit Umsicht verfahren werden muss, wenn man nicht auf Irrwege gerathen will, da theils die feinem Farbennuanzen der Mineralkörper im Mikroskop weniger deutlich hervortreten, theils die Formen der Krystalle aus perspectivischen Gründen verzerzt und mitunter sehr unkenntlich gemacht werden.

Für den weitem Verlauf unserer Untersuchungen ist ganz besonders hervorzuheben, dass die in den krystallinischen Gesteinen auftretenden Silicate in Folge der isomorphen Substitution der verschiedenen Basen eine unendliche Mannigfaltigkeit von Varietäten darbieten. Je nachdem der eine oder der andere Bestandtheil in  $\text{R}$  und  $\text{R}$  vorherrscht wird auch der Gehalt der Kieselerde dieser Mineralkörper gewissen, innerhalb bestimmter Grenzen liegenden Schwankungen unterworfen sein, und somit auch die hiervon abhängige Gesamtanalyse beeinflusst werden. Für ein und dieselbe Gebirgsformation z. B. für den Aetna, für Island u. s. w. pflegten in der Regel keine sehr merklichen Schwankungen in der isomorphen Substitution stattzufinden, so dass man ohne einen erheblichen Fehler in den nachfolgenden Rechnungen zu

begehen, für gewisse Localitäten die Zusammensetzung der hier in Frage stehenden Mineralkörper als constant betrachten kann. Uebrigens wird man durch quantitative Analysen der aus den zu untersuchenden Gebirgsarten entlehnten Mineralkörper leicht die Vertheilung der isomorphen Basen in ihnen ermitteln können. Weiter unten werden wir Gelegenheit haben auf diese Frage noch einmal zurückzukommen und sie dann näher zu beleuchten.

Es ist ferner für den Gang unserer Untersuchung nicht unwichtig, dass die vorhin unter  $\dot{R}$  und  $\ddot{R}$  aufgeführten Basen an der Zusammensetzung einiger der hier in Frage kommenden Mineralkörper Theil nehmen, während sie bei der anderer ausgeschlossen sind. Man kann als Regel hinstellen dass Kali und Natron nur im Feldspath, Glimmer und Leuzit auftreten. Feldspath und Leuzit enthalten meist nur Spuren von Magnesia: Ferner findet man in unzersetztem Augit und Olivin nur Eisenoxydul kein Eisenoxyd. Das in den Gesamtanalysen beobachtete Eisenoxydul gehört dem Feldspath und Magnetisenstein an. Dieser Umstand erleichtert im hohen Grade die Lösung der vorliegenden Aufgabe, da es sich, wie wir gleich sehen werden, um die Aufstellung eines Systems linearer Gleichungen handelt, aus dem gewisse unbekannte Grössen durch Elimination zu bestimmen sind. Wenn jedoch einige der in den krystallinischen Gesteinen auftretenden Mineralkörper nicht eine etwas einfachere Zusammensetzung hätten, so würde das Geschäft der Elimination ein so mühevolleres, dass ohne Zweifel vor der practischen Rechnung die meisten Mineralogen zurückschrecken würden.

## 2.

Bevor wir zu der Aufstellung eines solchen Systemes linearer Gleichungen übergehen, ist es nothwendig über die chemische Zusammensetzung der hier in Frage kommenden Mineralkörper eine bestimmte Ansicht zu gewinnen.

### 1) Feldspath.

Die chemische Zusammensetzung dieses Minerals ist nach der von mir aufgestellten Theorie zu beurtheilen, nach welcher dasselbe aus zwei Endgliedern, einem kieselerdereichen und einem kieselerdeärmern besteht. Der Allgemeinheit wegen habe ich für die beiden Endglieder den Anorthit mit den Sauerstoffverhältnissen (1, 3, 4) und den Krablit mit den Sauerstoffverhältnissen-

Aa

sen (1, 3, 24) gewählt. Die Analysen des Krablits rühren nicht von mir her und sind zuerst von Forchhammer, darauf von Genth ausgeführt; später hat man die Selbstständigkeit dieser Species bezweifelt und den Krablit für ein Gemisch von Orthoklas und Quarz erklärt. Fortgesetzte Untersuchungen mögen diese Frage entscheiden, doch ist zu bemerken, dass viele trachytische Gesteine keine Spur von ausgesondertem Quarz zeigen, während sie ihren Analysen zu Folge einen Kieselerde-Gehalt ergeben, der den des Orthoklas weit übersteigt. Es ist indess einleuchtend, dass die Existenz des Krablits sowohl für die Feldspath-Theorie, wie für die mineralogische Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine ohne alle Bedeutung ist, denn man kann begreiflicher Weise eben so gut den Anorthit und den Orthoklas als Endglieder der Reihe betrachten und die überschüssige Kieselsäure als freien Quarz in Rechnung bringen.

Ebenso ist unsere Aufgabe von der genannten Feldspath-Theorie unabhängig, da wie für die Verhältnisszahl des Sauerstoffs von Si zu dem Sauerstoff von R, welche wir mit  $x$  bezeichnen, statt jedes irrationalen Werthes, der aus der Rechnung hervorgeht, die nächste ganze Zahl wählen können; obgleich so dem Systeme unseren Gleichungen nur in unvollständigerer Weise Genüge geleistet wird. Der Werth zweier Theorien ist nach der Methode der kleinsten Quadrate zu ermessen, diese aber entscheidet sowohl bei der Discussion der Feldspathanalysen als auch bei der Frage über die Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine im Vergleich mit ältern, zu Gunsten der hier aufgestellten Theorie.

Bezeichnet man mit  $s, p, q, k, l, m, n$  die Atomgewichte der Kieselsäure, der Thonerde, des Eisenoxyds, der Kalkerde, der Magnesia, des Natrons und Kalis, das Atomengewicht des Sauerstoffs = 1 gesetzt, mit  $\lambda$  und  $\mu$  zwei Grössen, welche die isomorphe Vertheilung der Thonerde und des Eisenoxyds ausdrücken; mit  $\alpha, \zeta, \gamma, \delta$ , die Grössen, welche die isomorphe Vertheilung der Kalkerde, des Magnesia, des Natrons und des Kalis angeben; so ist alsdann  $\lambda + \mu = 3$  und  $\alpha + \zeta + \gamma + \delta = 1$ . Ferner bezeichne  $xM$  das Sauerstoffquantum der Kieselsäure des Feldspaths, und  $y, z$  sein zwei unbekannte Grössen, so wird eine Feldspathanalyse, in welcher die 7 nachfolgenden Bestandtheile auftreten durch folgende Gleichungen dargestellt:

Kieselsäure	$sxM = 12sy + 4sz$
Thonerde	$p\lambda M = p\lambda y + p\lambda z$
Eisenoxyd	$q\mu M = q\mu y + q\mu z$
Kalkerde	$k\alpha M = k\alpha y + k\alpha z$
Magnesia	$l\zeta M = l\zeta y + l\zeta z$
Natron	$m\gamma M = m\gamma y + m\gamma z$
Kali	$n\delta M = n\delta y + n\delta z$

Aus diesen Gleichungen werden die wahrscheinlichsten Werthe von  $x$  und  $y$  nach der Methode der kleinsten Quadrate bestimmt, mit welchen die Zusammensetzung der beiden Theile der Analyse leicht zu berechnen ist.

2) Augit.

Die stöchiometrische Formel für Augit und Hornblende ist  $\text{R}^3\text{Si}^2$ . Kalk, Magnesia und Eisenoxydul sind unter  $\text{R}$  in sehr wechselndem Verhältniss substituirt. Neben den angegebenen Bestandtheilen wird in der Regel in diesen Mineralkörpern eine grössere oder geringere Menge von Thonerde beobachtet, von der, den Erfahrungen zu Folge, drei Atome zwei Atome Kieselsäure vertreten.

In der Augitzusammensetzung drücken  $h$  und  $g$  die isomorphe Vertheilung der Kieselerde und der Thonerde aus. Nach dieser Voraussetzung gilt die Gleichung:

$$h + \frac{2}{3}g = 2$$

Bezeichnet man ferner mit  $p$  die Sauerstoffmenge der Kieselsäure, mit  $p'$  den Sauerstoffgehalt der Thonerde des Augits, so ist:

$$h = \frac{6p}{3p + 2p'} \quad g = \frac{6p'}{3p + 2p'}$$

Durch die Grössen  $\varepsilon$ ,  $\theta$ ,  $\alpha$  wird ferner das Verhältniss von Eisenoxydul, Kalk und Magnesia in der Augitzusammensetzung bezeichnet; es ist:

$$\varepsilon + \theta + \alpha = 1$$

Unter der allgemeinen Formel des Augits sind zahllose Varietäten begriffen, in denen jedoch die Kieselsäure einen gewissen Grenzwert nicht übersteigen kann. Dieser findet statt für  $g = 0$ ,  $\varepsilon = 0$ ,  $k = 0$ ; d. h. für reinen Magnesia-Augit, dessen procentische Zusammensetzung folgende ist:

	$\bar{\text{Si}}^2 \text{Mg}^3$
Kieselerde	60,361
Magnesia	39,639

Der Kalk und Eisenoxydul-Olivin besitzen dagegen folgende Zusammensetzung:

$\bar{\text{Si}}^2 \text{Ca}^3$	$\bar{\text{Si}}^2 \text{Fe}^3$
Kieselsäure	52,036    45,853
Kalkerde	47,962    54,147

Augite von so einfacher Zusammensetzung werden wohl niemals beobachtet; dagegen erscheinen Eisenoxydul, Kalk und Magnesia meist mit einander verbunden. Bei eintretender Thonerde, nach obiger Regel, wird der Kieselerdegehalt mitunter bis zu 48 Procent deprimirt.

3) Olivin. In diesem Mineral, dessen Formel  $\bar{\text{Si}} \bar{\text{R}}^3$  ist, wird die Vertheilung von Eisenoxydul und Magnesia durch  $\eta$  und  $\xi$  bezeichnet, und es ist  $\eta + \xi = 1$ . Magnesia herrscht in dieser Verbindung meistens vor, während das Eisenoxydul selten 15 Procent zu übersteigen pflegt. Der Olivin ist von den ältern crystallinischen Gesteinen ausgeschlossen, bildet aber öfter in den neuern einen sehr hervorragenden Bestandtheil.

4) Leuzit. Die Formel desselben, welche unsern Rechnungen zu Grunde liegt ist:  $3\bar{\text{Al}} \bar{\text{Si}}^2 + \bar{\text{Ka}}^3 \bar{\text{Si}}^2$ . Der Sauerstoff der Säure zu dem beiden Basen, verhält sich daher wie 8: 3: 1.

Die meisten Leuzite enthalten nur Kali, selten kleine Mengen von Natron und Spuren von Kalkerde. Die Leuzite gehören zu den schon seltnern Gemengtheilen vulkanischer Gesteine und sind von vielen desselben gänzlich ausgeschlossen.

5) Glimmer. Bei der sehr complicirten Zusammensetzung dieses Minerals ist seine stöchiometrische Formel immer noch zweifelhaft. Für den monoklinen Glimmer wird gewöhnlich die Formel  $6\bar{\text{R}} \bar{\text{Si}} + \bar{\text{R}}^5 \bar{\text{Si}}^2$  \*) angenommen. Bezeichnen wir mit  $\rho$  und  $\sigma$  die isomorphe Vertheilung von Thonerde und Eisenoxyd, so ist  $\rho + \sigma = 6$ . Ferner bezeichne  $\tau$ ,  $\pi$ ,  $\varphi$ ,  $\psi$ ,  $\omega$  die isomorphe

1) Oder die Kieselerde mit 2 Atomen Sauerstoff  $\bar{\text{R}} \bar{\text{Si}} + \bar{\text{R}}^2 \bar{\text{Si}}^3$ . Siehe Rammelsberg Handbuch der Mineralchemie p. 661.



Substitution in  $\bar{R}$ , so ist  $\tau + \pi + \varphi + \psi + \omega = 1$ , wo eine oder mehrere dieser Grössen  $= 0$  werden können. Legt man andere Glimmerformeln zu Grunde, so sind die nachfolgenden Gleichungen in entsprechender Weise abzuändern.

6) Magneteisenstein hat die Zusammensetzung  $\bar{R}\bar{R}$ , wo unter  $\bar{R}$  Eisenoxyd und Titanoxyd substituirt sind. Man reducirt nach den Atomengewichten letzteres beim Ansatz unserer Rechnung auf Eisenoxyd.

3.

Bezeichnen wir ferner mit  $t$  den Sauerstoffgehalt der freien nicht mit Basen verbundenen Kieselsäure, ferner mit  $A, B, C, D, E, F, G, H$  den Sauerstoffgehalt der ganzen Kieselsäure, der Thonerde, des Eisenoxyds, des Eisenoxyduls, des Kalks, der Magnesia, des Natrons und des Kalis, so erhält man für die 7 Mineralkörper, mit Einschluss des Quarzes, 8 lineare Bedingungsgleichungen, durch welche die aus ihnen bestehende Zusammensetzung eines krystallinischen Gesteines ausgedrückt wird.

$$\begin{aligned} (1) \quad & xM + hz + y + 8w + 6v = A \\ (2) \quad & \lambda M + gz + \xi w + \rho v = B \\ (3) \quad & \mu M + ow + sv + 3f = C \\ (4) \quad & + \varepsilon z + \eta y + f = D \\ (5) \quad & \alpha M + \theta z + \nu w + \pi v = E \\ (6) \quad & \zeta M + kz + \xi y + \varphi v = F \\ (7) \quad & \gamma M + \tau w + \psi v = G \\ (8) \quad & \delta M + \chi w + \omega v = H \end{aligned}$$

Aus diesen 8 Gleichungen sind durch Elimination 7 Unbekannte Grössen zu ermitteln; nämlich  $x, M, z, y, w, v, f$ . In der ersten verticalen Columne befinden sich die Sauerstoffmengen, welche die Feldspathzusammensetzung bedingen. Die 5 folgenden verticalen Columnen von  $z, y, w, v, f$  geben in ähnlicher Weise die partiellen Sauerstoffmengen für den Augit, Olivin, Leuzit, Glimmer und den Magneteisenstein. Ist in einem krystallinischen Gestein z. B. im Granit eine gewisse Quantität Quarz enthalten, so ist diese vom Feldspath nur durch Hinzuziehung einer neuen Bedingungsgleichung zu trennen,

welche den Werth von  $x$  unabhängig von der Gleichung (1) ermittelt; dann ist  $(x' - x) M = t$ , der Sauerstoffgehalt der überschüssigen oder freien, nicht an Basen gebundenen Kieselsäure. Der Werth von  $x$  ergibt sich aus der Analyse des in dem zu untersuchenden krystallinischen Gestein enthaltenen Feldspaths. Es ist nämlich  $x = \frac{10a}{3b + c}$ , wo  $a$  den Sauerstoff der Kieselerde,  $b$  den von  $\bar{R}$  und  $c$  den von  $R$  bezeichnet. Ohne Zuziehung einer solchen Feldspathanalyse bleibt unsere Aufgabe unbestimmt.

Möglicher Weise können in einem krystallinischen Gestein zwei Feldspathe neben einander erscheinen, wie dieses sich nicht selten in Graniten findet. Auch dann kann die quantitative Gesteinszusammensetzung ermittelt werden, wenn der zweite Feldspath seiner Natur nach bekannt ist.

Die hier auseinander gesetzte Methode der Berechnung werden wir sowohl an fremden wie an einigen eigenen Analysen zeigen und die schliesslich gewonnenen Resultate mit einigen Bemerkungen begleiten.

Soeben ist eine in die vorliegenden Zwecke eingreifende Arbeit: „Die Gesteinsanalysen in tabellarischer Uebersicht und mit kritischen Erläuterungen von Justus Roth, Berlin 1861“ erschienen, in der eine äusserst vollständige Uebersicht aller bekannten Gesamtanalysen krystallinischer Gesteine gegeben wird. Leider erscheint der grössere Theil jener Analysen für den hier eingeschlagenen Weg der Berechnung nicht brauchbar, da meist die Trennung von Eisenoxyd und Eisenoxydul unberücksichtigt geblieben und auf die Vertheilung der isomorphen Bestandtheile in den verschiedenen hier in Frage kommenden Mineralkörpern nicht geachtet ist. Mit nicht viel grösserer Mühe hätten beide Mängel von den Chemikern vermieden werden können und es würde sich dann gelohnt haben über das so zusammengestellte Material umfangreiche Untersuchungen vorzunehmen. Wir benutzen jedoch aus diesen Tabellen ein Beispiel, um daran die Art und Weise unserer Berechnung zu zeigen, andere Beispiele mit vollständiger ausgeführten Analysen werden folgen.

## 4.

Es werde zunächst ein Granit von Dalkey bei Dublin, auf seine quantitative mineralogische Zusammensetzung geprüft:

Die von Haughton ausgeführte Analyse gibt folgende Zahlen:

Kieselerde	70,38
Thonerde	12,64
Eisenoxyd	3,16
Kalk	2,84
Magnesia	0,53
Natron	3,13
Kali	5,90
Wasser	1,16
	99,74

Die bei dieser, so wie bei den nachfolgenden Rechnungen gebrauchten Atomengewichte,  $O = 1$  gesetzt: sind:

Kieselerde	5,72299	Kalk	3,51651
Thonerde	6,41800	Magnesia	2,50500
Eisenoxyd	10,01054	Natron	3,87170
Titanoxyd	9,03100	Kali	5,89300
Eisenoxydul	4,50527	Wasser	1,12480

Die wasserfreie auf 100 reducirte Analyse dieses Granits, ergibt:

		Sauerstoff.
Kieselerde	71,40	37,43
Thonerde	12,82	5,99
Eisenoxyd	3,21	0,96
Kalk	2,88	0,81
Magnesia	0,54	0,21
Natron	3,17	0,82
Kali	5,98	1,02
	100,00	

Nach dem vorhin Mitgetheilten ist es einleuchtend, dass aus dieser Gesamtanalyse nur unter gewissen doch sehr wahrscheinlichen Voraussetzungen die quantitative mineralogische Zusammensetzung ermittelt werden kann, da verschiedene zur Berechnung erforderliche Bedingungen fehlen. Der hier zu untersuchende Granit enthält, den Angaben zu folge nur Orthoklas von weisser Farbe, Quarz und Glimmer von weisser und schwarzer Farbe.

Die Voraussetzungen sind, dass der Feldspath wirklich nur Orthoklas

mit dem Werthe  $x = 12$  sei, dass der Glimmer der vorhin angegebenen stöchiometrischen Zusammensetzung entspreche.

Zufälliger Weise hat Houghton einen Glimmer, zwar nicht aus demselben Gestein aber aus der Nähe von Dublin untersucht und findet für denselben (Rammelsberg, Handbuch der Mineralchemie p. 657) folgende Zusammensetzung:

		Sauerstoff.
Kieselerde	46,08	24,15
Thonerde	33,30	15,57
Eisenoxyd	5,08	1,52
Kalk	1,46	0,42
Magnesia	1,19	0,48
Natron	1,52	0,39
Kali	11,37	1,93
	<hr/>	
	100,00	

Diese Analyse ist wasserfrei auf 100 reducirt. Wollte man das im Granit enthaltene Wasser 1,16 mit in Rechnung bringen, so müsste dasselbe an Feldspath und Glimmer vertheilt, und dem gemäss eine neue Bedingungsgleichung hinzugefügt werden. Unter der angegebenen Voraussetzung, nimmt das vorhin aufgestellte System von Gleichungen folgende Gestalt an:

$$\begin{aligned}
 t + 12M + 8v &= 37,42 \\
 \lambda M + 5,4666v &= 5,99 \\
 (3 - \lambda)M + 0,5334v &= 0,96 \\
 \alpha M + 0,1304v &= 0,81 \\
 (1 - (\alpha + \alpha'))M + 0,1491v &= 0,21 \\
 \alpha' M + 0,7205v &= 1,84
 \end{aligned}$$

Denselben leisten die Werthe Genüge:

$$\begin{aligned}
 t &= 0,9210 \\
 M &= 3,4035 \\
 v &= -0,5435 \\
 \lambda &= 2,6327 \\
 \alpha &= 0,2588 \\
 \alpha' &= 0,6558
 \end{aligned}$$

Da  $v$  einen negativen Werth erhält, so geht daraus hervor, dass ein Glimmer von der angegebenen Beschaffenheit überhaupt nicht in diesem Granit enthalten sein kann, wir werden daher mit einer andern Glimmerzusammensetzung unsern Zweck zu erreichen suchen.

Wir wählen dazu einen Magnesia-Glimmer ohngefähr der stöchiometrischen Formel:  $\bar{R}^3\bar{S}i + \bar{R}\bar{S}i = 3\bar{R}^2\bar{S}i + \bar{R}^2\bar{S}i^3$  entsprechend, (Rammelsbergs Mineralchemie p. 668 u. 669) von Miask am Ural analysirt von F. v. Kobell.

Die auf 100 reducirte Analyse desselben gibt

Kieselerde	41,928
Thonerde	12,771
Eisenoxyd	20,686
Magnesia	16,075
Kali	8,540
	<hr/>
	100,000

Es folgen daraus die Constanten

$$\rho = 0,4923 \quad s = 0,5077 \quad \pi = 0,5729 \quad \chi = 0,4271$$

$$\rho + s = 1 \quad \pi + \chi = 1$$

Alsdann gelangt man zu den Gleichungen:

$$\begin{aligned} t + 12M + 2v &= 37,42 \\ \lambda M + 0,4923v &= 6,72 \\ (3-\lambda)M + 0,5077v &= 0,96 \\ \alpha M &= 0,81 \\ \gamma M + 0,5729v &= 0,21 \\ \gamma M &= 0,82 \\ (r-(\alpha + \gamma))M + 0,4271v &= 1,02 \end{aligned}$$

Aus denselben berechnet man:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,3687 \\ \gamma &= 0,3732 \\ \lambda &= 2,6450 \\ M &= 2,1970 \\ v &= 0,3666 \\ t &= 10,3330 \end{aligned}$$

Aus diesen Gleichungen berechnet man die mineralogische Zusammensetzung des genannten Granits in folgender Weise:

	Quarz.	Orthoklas.	Glimmer.	Berech.	Beob.	Beob.-Ber.
Kieselsäure	19,712 +	50,293 +	1,399 =	71,404	71,40	0,00
Thonerde		12,430 +	0,387 =	12,817	12,82	0,00
Eisenoxyd		2,602 +	0,621 =	3,223	3,21	0,01
Kalkerde		2,880	=	2,880	2,88	0,00
Magnesia			0,540 =	0,540	0,54	0,00
Natron		3,174	=	3,174	3,17	0,00
Kali		3,342 +	0,923 =	4,265	5,98	1,72
	19,712 +	74,721 +	3,870 =	98,303	100,00	

Der hier untersuchte Granit von Dalkey bei Dublin ist also zusammengesetzt aus:

Quarz	19,712
Orthoklas	74,721
Glimmer	3,870
	<hr/>
	98,303

Es ist einleuchtend, dass die 6 unbekanntten Grössen die Elemente der Rechnung den ersten 6 Gleichungen vollständig Genüge leisten, während bei der 7ten ein Fehler von 1,72 übrig bleibt. Man könnte indess nach der Methode der kleinsten Quadrate die Elemente in der Art bestimmen, dass allen 7 Gleichungen in möglichst bester Weise entsprochen würde; eine Arbeit, welche bei der angenommenen zweifelhaften Glimmerzusammensetzung kaum lohnen würde.

Wir wenden uns jetzt zu der Durchführung einiger anderer vollständigerer Beispiele, um daran die Brauchbarkeit unserer Methode der quantitativen mineralogischen Gesteinszusammensetzung zu zeigen.

### 5.

Zunächst wählen wir dazu die Lava der Thiorsá, in der Nähe des Hekla, welche rücksichtlich auf ihre Zusammensetzung von mir untersucht und berechnet wurde. Dieselbe zeigt eine dunkelgraue, kryptokrystallinische Grundmasse,

in der gewöhnlich weisse und weissgelbliche, mehrere Millimeter lange und etwa ebenso breite Feldspath-Krystalle in ziemlicher Menge ausgesondert sind; neben denselben bemerkt man Körner eines gelbgrünen Olivins und andere von etwas kleinern Dimensionen eines lauchgrünen Augits. Ferner ist in der Masse Magneteisenstein in kleinen Körnern vertheilt, welcher sich durch magnetische Anziehung leicht zu erkennen gibt.

Die nachfolgenden Analysen der verschiedenen Laven und Mineralkörper sind mit grosser Sorgfalt theils von Herrn Dr. Uhrlaub, jetzt in Heidelberg, früher in Göttingen, dem ich desshalb zum Danke verpflichtet bin, theils von mir ausgeführt worden.

Aus verschiedenen Gründen, welche nachher deutlicher hervortreten werden, habe ich es für zweckmässig gehalten die dunkelgraue Grundmasse, so wie die Gesamtmasse der Thiorsálava, welche letztere die ausgesonderten Mineralkörper mit enthält getrennt zu untersuchen.

Die verschiedenen von der Grundmasse ausgeführten Analysen geben folgendes Resultat:

	I. Kieselsäure.		II. Thonerde.		III. Eisenoxyd		Gesamtbest.
Bestimmung	1	50,285	1	12,653	1	16,445	
	2	49,865	2	13,272	2	15,820	
	3	49,895	3	12,522	3	16,696	
	4	50,373					
Mittel		<u>50,105</u>		<u>12,816</u>		<u>16,320</u>	

	IV. Titansäure.		V. Kalkerde.		VI. Magnesia.	
	1	1,542	1	12,380	1	4,982
	2	1,561	2	12,580	2	5,130
			3	13,135	3	4,749
Mittel		<u>1,552</u>		<u>12,698</u>		<u>4,954</u>

	VII. Natron.		VIII. Kali.		IX. Wasser.	
	1	1,205	1	0,586	1	0,187
	2	1,143	2	0,569	2	0,294
Mittel		<u>1,174</u>		<u>0,577</u>		<u>0,241</u>

Das unter III beobachtete Eisenoxyd zerfällt in 2 Theile:

*a* in das Eisenoxyd in der ursprünglichen Verbindung = 8,010

*b* Eisenoxyd durch höhere Oxydation aus Fe entstanden = 8,310

Letzteres auf Oxydul reducirt gibt 7,480. Reducirt man ferner die unter IV beobachtete Titansäure auf Titanoxyd, so ergibt sich für die Grundmasse der Thiorsá-Lava unter I folgende Zusammensetzung, und unter II die wasserfreie auf 100 berechnete Verbindung in der Ti auf Fe reducirt ist.

	I	II	Berechn. Sauerst.
Kieselerde	50,105	50,430	A = 26,4355
Thonerde	12,816	12,899	B = 6,0295
Eisenoxyd	8,010	9,613	C = 2,8809
Titanoxyd	1,391		
Eisenoxydul	7,480	7,529	D = 1,6711
Kalkerde	12,698	12,780	E = 3,6345
Magnesia	4,954	4,986	F = 1,9905
Natron	1,174	1,182	G = 0,3053
Kali	0,577	0,581	H = 0,0986
Wasser	0,241		
	<u>99,446</u>	<u>100,000</u>	

Die in der Grundmasse dieser Lava ausgesonderten Mineralkörper, welche von mir besonders analysirt sind, besitzen folgende Zusammensetzung:

1) Feldspath:

Kieselerde	44,540	
Thonerde	33,862	$\lambda = 2,9353$
Eisenoxyd	1,159	$\mu = 0,0647$
Kalk	18,787	$\alpha = 0,9304$
Magnesia	0,220	$\xi = 0,0153$
Natron	0,775	$\gamma = 0,0349$
Kali	0,657	$\delta = 0,0194$
	<u>100,000</u>	

2) die quantitative Analyse des lauchgrünen Augits, welche zwar nur mit einer sehr geringen Quantität reinen Materials ausgeführt werden konnte, ergab folgende Zahlen:



	Wasserfreie Zusammens.	
Kieselerde	49,171	49,460
Thonerde	7,326	7,369
Eisenoxydul	9,227	9,280
Kalk	20,576	20,696
Magnesia	13,119	13,195
Wasser	0,681	
	100,000	100,000

Aus dieser Analyse berechnet man mit Berücksichtigung von pag. 187 folgende Zahlen:

$$\begin{array}{r}
 h = 1,8373 \\
 g = 0,2441 \\
 \varepsilon = 0,1559 \\
 \theta = 0,4454 \\
 k = 0,3987
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2,0000 \\ \\ \\ 1,0000 \end{array}$$

3) Die Analyse des ausgesonderten Olivins ergibt die Zusammensetzung:

Kieselerde	40,134
Eisenoxydul	15,106
Magnesia	44,760
	100,000

Aus diesen Zahlen findet man:  $\eta = 0,1297$

$$\xi = 0,8703$$

Für die Zusammensetzung der Grundmasse der Thiorsá-Lava erhält man alsdann mit Rücksicht auf die eben mitgetheilten Analysen 8 Gleichungen:

				mit gen. El. ber.	Beob. Ber.		
1	$xM$	$+ 1,8373z$	$+ y$	$= 26,436$	26,397	$- 0,039$	
2	$2,9353M$	$+ 0,2441z$		$= 6,030$	6,037	$- 0,007$	
3	$0,0647M$		$+ 3f$	$= 2,881$	2,865	$+ 0,016$	
4		$0,1559z$	$+ 0,8703y$	$+ f$	$= 1,671$	1,739	$- 0,068$
5	$0,9304M$	$+ 0,4454z$		$= 3,635$	3,846	$- 0,211$	
6	$0,0153M$	$+ 0,3987z$	$+ 0,1297y$	$= 1,991$	2,118	$- 0,127$	
7	$0,0349M$			$= 0,305$	0,057	$+ 0,248$	
8	$0,0194M$			$= 0,099$	0,031	$+ 0,068$	

Aus der Fortsetzung der Rechnung ergibt sich, dass für  $y$  sowohl aus der Gleichung 4, wie auch aus 6 ein negativer Werth hervorgeht und dass dieses Gestein daher keinen Olivin enthalten kann. Es sind also aus den 8 Gleichungen, die 4 Elemente  $x$ ,  $M$ ,  $z$ ,  $f$  nach der Methode der kleinsten Quadrate zu bestimmen.

Setzen wir als genäherte Werthe:

$$x = 10,34 \quad z = 5,25$$

$$M = 1,62 \quad f = 0,92$$

so gelangt man zunächst zu folgenden 8 Fehlergleichungen:

$$1,62x + 10,34 dM + 1,8373dz + 0,039 = 0$$

$$2,9353dM + 0,2441dz + 0,007 = 0$$

$$0,0647dM + 3df - 0,016 = 0$$

$$0,1559dz + df + 0,068 = 0$$

$$0,9304dM + 0,4454dz + 0,211 = 0$$

$$0,0153dM + 0,3987dz + 0,127 = 0$$

$$0,0349dM - 0,048 = 0$$

$$0,0194dM - 0,068 = 0$$

Aus diesen 8 Fehlergleichungen gehen nach der Methode der kleinsten Quadrate die hier berechneten 4 Normalgleichungen hervor:

$$2,6245dx + 16,751dM + 2,9765dz - 0,06318 = 0$$

$$16,7510dx + 116,398dM + 20,1320dz + 0,1941df - 0,2072 = 0$$

$$2,9765dx + 20,132dM + 3,8170dz + 0,1559df - 0,0695 = 0$$

$$0,194dM + 0,1559dz + 10df + 0,0200 = 0$$

Aus denselben bestimmt man durch Elimination:

$$dx = + 0,2867 \quad dM = + 0,0219$$

$$dz = - 0,3549 \quad df = + 0,0031$$

Die verbesserten Elemente sind:

$$x = 10,6267$$

$$M = 1,6419$$

$$z = 4,8951$$

$$f = 0,9231$$

Mit denselben findet man schliesslich zwischen Rechnung und Beobachtung folgende Uebereinstimmung:

	Feldspath.	Augit.	Magneteisenst.	Ber.	Beob.	Beob. Ber.
1)	17,447	+ 8,994		= 26,441	26,436	- 0,005
2)	4,820	+ 1,195		= 6,015	6,030	+ 0,015
3)	0,106	+ 2,769		= 2,875	2,881	+ 0,006
4)		0,763	+ 0,923	= 1,686	1,671	- 0,015
5)	1,528	+ 2,180		= 3,708	3,635	- 0,073
6)	0,025	+ 1,952		= 1,977	1,991	- 0,014
7)	0,057			= 0,057	0,305	+ 0,248
8)	0,032			= 0,032	0,099	+ 0,067

Aus diesen partiellen Sauerstoffmengen ergibt sich zunächst die Richtigkeit unserer Rechnung, sodann auch der Grad der Uebereinstimmung zwischen der Beobachtung und der Theorie.

Die quantitative mineralogische Zusammensetzung der Grundmasse der Lava der Thiorsá findet man aus den eben mitgetheilten Zahlen folgendermassen:

	Feldspath.	Augit.	Magneteisenstein	Ber.	Beob.	Beob. Ber.
Kieselerde	33,285	+ 17,157		= 50,442	50,430	- 0,012
Thonerde	10,310	+ 2,556		= 12,866	12,899	+ 0,033
Eisenoxyd	0,354		9,240	= 9,594	9,613	+ 0,029
Eisenoxydul		3,438	4,159	= 7,597	7,529	- 0,068
Kalkerde	5,372	+ 7,667		= 13,039	12,780	- 0,259
Magnesia	0,063	+ 4,888		= 4,951	4,986	- 0,035
Natron	0,222			= 0,222	1,182	+ 0,960
Kali	0,188			= 0,188	0,581	+ 0,393
	<u>49,794</u>	<u>35,706</u>	<u>+ 13,399</u>	<u>= 98,899</u>	<u>100,000</u>	

Die Grundmasse der Thiorsálava besteht also aus:

Feldspath 49,794

Augit 35,706

Magneteisenstein 13,399

98,899

Der hier auftretende Feldspath besitzt folgende procentische Zusammensetzung:

	Kieselerde	66,846	
	Thonerde	20,705	(1)
	Eisenoxyd	0,711	(2)
	Kalk =	10,789	(3)
	Magnesia	0,126	(4)
	Natron =	0,446	(5)
	Kali =	0,377	(6)
		<hr/>	
		100,000	(7)

und ist daher am nächsten mit dem glasigen Feldspath oder Sanedin verwandt, in welchem jedoch statt Kali in hervorragender Menge Kalkerde vertreten ist. Dieser Feldspath kann nur eine Mischung zweier verschiedener Feldspathe sein und entspricht einer Verbindung von 10,029 Anorthit und 89,980 Orthoklas.

Die Grundmasse der Lava der Thiorsá enthält so:

	Orthoklas	44,805	45,300
	Anorthit	4,994	5,049
	Augit	35,706	36,101
	Magneteisenstein	13,399	13,550
		<hr/>	<hr/>
		98,904	100,000

Der hier auftretende Augit hat die vorhin angegebene Zusammensetzung; der Magneteisenstein dagegen enthält:

	Eisenoxyd	58,225
	Titanoxyd	10,834
	Eisenoxydul	30,941
		<hr/>
		100,000

## 6.

In der fast homogenen grauen Grundmasse dieser Lava sind, wie bereits bemerkt Krystalle von Feldspath, so wie Körner von Augit und Olivin ausgesondert. Um das Verhältniss beider zu einander zu ermitteln ist von der Gesamtmasse der Lava eine vollständige quantitative Analyse theils von Dr. Uhrlaub theils von mir ausgeführt, welche folgendes Resultat ergeben hat:

	Kieselerde.	Thonerde.	Eisenoxyd.	Titansäure.
1	49,898	13,704	16,601	1,714
2	49,566	13,783	15,379	1,111
3	49,555	13,232	15,438	1,670
Mittel	49,673	13,573	15,806	1,498

	Kalk.	Magnesia.	Natron.	Kali.	Wasser.
1	11,875	5,952	1,567	1,195	0,108
2	12,777	5,109			0,201
3	12,453	5,527			0,165
4					0,114
Mittel	12,368	5,529	1,567	1,195	0,147

Nach der Analyse von Uhrlaub ist in der Lava 7,792 Eisenoxyd enthalten. Das gesammte Eisenoxyd beträgt:

Fe beob.	=	15,806
Fe in Verbindung	=	7,792
Fe auf Fe zu reduciren	=	8,014
Berechnetes Fe	=	7,213

Reducirt man ferner die beobachtete Titansäure auf Titanoxyd, so findet man als definitives Resultat der ganzen Analyse folgendes:

Kieselerde	49,673
Thonerde	13,573
Eisenoxyd	7,792
Titanoxyd	1,131
Eisenoxydul	7,213
Kalk	12,368
Magnesia	5,529
Natron	1,567
Kali	1,195
Wasser	0,141
	<u>100,182</u>

Die wasserfreie auf 100 reducirte Verbindung, in welcher für Titanoxyd Eisenoxyd substituirt ist, gibt folgende Zahlen:

417,1	Kieselerde	49,590	
111,1	Thonerde	13,551	
070,1	Eisenoxyd	9,031	
1,198	Eisenoxydul	7,202	
	Kalkerde	12,347	
	Magnesia	5,521	
	Natron	1,565	
	Kali	1,193	
		<u>100,000</u>	

Aus der in derselben Weise wie vorhin ausgeführten Rechnung ergibt sich folgendes Resultat:

Die nach der Methode der kleinsten Quadrate verbesserten Elemente sind:

$$\begin{aligned}
 x &= 9,6725 \\
 M &= 1,7033 \\
 z &= 4,9522 \\
 y &= 0,4099 \\
 f &= 0,8557
 \end{aligned}$$

Mit denselben berechnet man die mineralogische Zusammensetzung der Gesamtmasse der Thiorsá-Lava, nämlich:

	Feldspath.	Augit.	Olivin.	FeFe	Ber.	Beob.
Kieselerde	31,595 +	17,356 +	0,782	=	49,733	49,590
Thonerde	10,695 +	2,586		=	13,281	13,551
Eisenoxyd	0,368			+ 8,566 =	8,934	9,031
Eisenoxydul		3,478 +	0,539 +	3,855 =	7,872	7,202
Kalkerde	5,573	7,756		=	13,329	12,347
Magnesia	0,065	4,946 +	0,894	=	5,905	5,521
Natron	0,230			=	0,230	1,565
Kali	0,195			=	0,195	1,193
	<u>48,721 +</u>	<u>36,122 +</u>	<u>2,215 +</u>	<u>12,421 =</u>	<u>99,479</u>	<u>100,000</u>

Nachdem der hier auftretende Feldspath in Orthoklas und in Anorthit zerlegt ist, ergibt sich schliesslich folgende quantitative mineralogische Zusammensetzung der Gesamtmasse der Thiorsá-Lava:

Orthoklas	40,195	40,521
Anorthit	8,242	8,308
Augit	36,122	36,410
Olivin	2,215	2,233
Magneteisenstein	12,421	12,527
	<u>99,195</u>	<u>100,000</u>

Diese Lava besteht also aus ihrer scheinbar homogenen Grundmasse und aus den in ihr liegenden porphyrtartig ausgesonderten Krystallen oder krystalinischen Körnern von Feldspath, Augit, Olivin und Magneteisenstein. Das Verhältniss der Grundmasse zum ausgesonderten Theil lässt sich leicht berechnen. Man gelangt nämlich mit Berücksichtigung der Zusammensetzung der Grundmasse und der Gesamtmasse zu folgenden Gleichungen:

	Gesamtmasse.	Grundmasse.
Orthoklas	40,521 = 45,300 <i>u</i> + <i>W</i> <sup>0</sup>	
Anorthit	8,309 = 5,049 <i>u</i> + <i>W</i>	
Augit	36,410 = 36,101 <i>u</i> + <i>W</i> '	
Olivin	2,233 = <i>W</i> ''	
Magneteisenst.	12,527 = 13,550 <i>u</i> + <i>W</i> '''	

Der ausgeschiedene Theil wird mit *W*<sup>0</sup>, *W*, u. s. w bezeichnet.

In demselben muss das Verhältniss von Anorthit zu Orthoklas bekannt sein, welches nach der Analyse pag. 196 sich wie 1 : 11 verhält. Wir haben alsdann:

$$11 W^0 = W$$

Die weitere Rechaung ergibt:

<i>W</i> <sup>0</sup>	= 0,348
<i>W</i>	= 3,831
<i>W</i> '	= 4,395
<i>W</i> ''	= 2,233
<i>W</i> '''	= 0,513
<i>u</i>	= 0,8868

Aus diesen Zahlen findet man das Verhältniss der Grundmasse zum porphyrtartig ausgesonderten Theil, nämlich:

	Gesammtmasse.	Grundmasse.	Ausgeschieden.
Orthoklas	40,521	= 40,170	+ 0,351
Anorthit	8,309	= 4,478	+ 3,831
Augit	36,410	= 32,015	+ 4,395
Olivin	2,233	=	2,233
Magneteisenst.	12,527	= 12,014	+ 0,513
	<u>100,000</u>	= <u>88,677</u>	+ <u>11,323</u>

Die Grundmasse der Lava verhält sich daher zu dem porphyrartig ausgesonderten Theil wie 88,677: 11,323 oder nahe zu wie 8: 1.

Aus diesen Untersuchungen ergeben sich folgende Endresultate:

1) die Thiorsá-Lava enthält zwei verschiedene Feldspathe, Anorthit und Orthoklas, welche sich etwa im Verhältniss von 1: 5, mit einander verbinden. Fast die Hälfte des erstern liegt in der Grundmasse in ausgesonderten Krystallen. Wir erblicken darin eine Analogie mit manchen ältern krystallinischen Gesteinen, z. B. mit den Finnländischen Rapakivigraniten, den Graniten vom Riesengebirge und Mont Blanc u. s. w.

2) Die Grundmasse ist frei von Olivin, der sich in Körnern ausgeschieden hat. Es ist dieses wohl mehr eine zufällige Erscheinung, da wir in dem folgenden Beispiel sehen werden, dass in der Grundmasse anderer Laven bedeutende Quantitäten von Olivin vorhanden sind.

3) Die Grundmasse enthält fast den ganzen Magneteisenstein und Orthoklas und etwa  $\frac{4}{5}$  des Augits.

Man möchte vermuthen, dass die Grundmasse, welche den Magneteisenstein und die kieselerdereichern Silicate enthält, früher als der phorphyrtig ausgesonderte Theil erstarrt sei.

Der ausgeschiedene Anorthit zeigt nach mehreren Analysen eine schwankende Zusammensetzung, indem ihm bald grössere, bald geringere Quantitäten von Orthoklas beigemischt sind; auch die Farbe, wie das äussere Ansehen dieses Feldspaths ist wechselnd; einige Krystalle desselben sind hell und durchsichtig, andere sind gelblich, noch andere milchweiss gefärbt. Ausser der bereits mitgetheilten führe ich noch zwei andere von Dr. Uhrlaub ausgeführte Analysen dieses Feldspathes an:



	Feldspath milchweiss.	Feldspath durchsichtig.
Kieselerde	48,637	54,401
Thonerde	32,995	28,501
Kalk	18,234	16,197
Magnesia	0,210	0,225
Wasser	0,137	0,140
	<u>100,213</u>	<u>99,467</u>

7.

Wir lassen ferner ein zweites vollständiges Beispiel folgen, welches die quantitative mineralogische Zusammensetzung der Lava von Odadabraun am Ufer des Scalfandeflioth in Island zeigt. Diese Lava ist der vom Ufer der Thiorsá ausserordentlich ähnlich; in einer aschgrauen fast homogenen Grundmasse liegen weisse Feldspathkrystalle und Körner von lauchgrünem Augit und von gelblichgrünem Olivin. Die chemische Zusammensetzung der drei ausgesonderten Mineralkörper ist nach meinen Untersuchungen folgende:

	Augit.	Olivin.	Feldspath.
Kieselerde	51,130	39,722	46,667
Thonerde	4,403		33,448
Eisenoxyd			0,755
Eisenoxydul	4,490	11,816	
Kalk	23,746		18,693
Magnesia	16,231	48,462	0,437
	<u>100,000</u>	<u>100,000</u>	<u>100,000</u>

Die aus diesen Analysen berechneten Constanten sind:

$$h = 1,9026 \quad \eta = 0,1194 \quad \lambda = 2,9553$$

$$g = 0,1461 \quad \xi = 0,8806 \quad \mu = 0,0447$$

$$\varepsilon = 0,0700 \quad \alpha = 0,9700$$

$$\theta = 0,4746 \quad \zeta = 0,0300$$

$$k = 0,4554$$

Die Analyse der Grundmasse der Lava von Scalfandeflioth, welche Herr Dr. Uhrlaub auszuführen die Güte hatte, besitzt folgende Zusammensetzung:

Kieselerde	51,623
Thonerde	16,163
Eisenoxyd	8,794
Titanoxyd	0,610
Eisenoxydul	3,700
Kalkerde	12,475
Magnesia	7,353
Wasser	0,061
	<hr/>
	100,778

Es ist nicht unberücksichtigt zu lassen, dass die Trennung von Eisenoxyd und von Eisenoxydul, nur auf den in Chlorwasserstoff löslichen Theil der Lava sich bezieht, während das im Augit enthaltene Eisenoxydul erst nach dem Aufschliessen durch Alkalien in Lösung gebracht und schliesslich als Eisenoxyd bestimmt wird. Die in der eben mitgetheilten Analyse gefundene Menge von Eisenoxyd ist daher zu gross, die vom Oxydul zu klein; die nöthige Correction lässt sich jedoch folgendermassen leicht in Rechnung bringen.

Mit Rücksicht auf die bereits angegebene Bezeichnung findet man aus den Gleichungen 2) und 5)

$$z = \frac{\lambda E - \alpha B}{\lambda \theta - \alpha g}$$

Substituirt man aus der eben angeführten Analyse die Werthe von  $B$  und  $E$ , so findet man  $z = 2,5025$ .

Aus den Gleichungen:

$$0,0447M + 0,0700z + 3f = 2,636$$

$$0,8806y + f = 0,821$$

ergeben sich die beiden für Eisenoxyd und Oxydul verbesserten, nämlich:

$$0,0447M + 3f = 2,4603$$

$$0,0700 \frac{z}{3} + 0,8806y + f = 0,8794$$

Daraus ergibt sich das corrigirte Eisenoxyd = 8,210

das corrigirte Eisenoxydul = 3,962

Reducirt man endlich Titanoxyd auf Eisenoxyd, so gibt die obige Analyse der Grundmasse der Lava vom Scalfandeffioth folgende definitive Zahlen:

Kieselerde	51,384	
Thonerde	16,089	
Eisenoxyd	8,845	
Eisenoxydul	3,945	
Kalk	12,418	
Magnesia	7,319	
	<hr/>	
	100,000	

Den Gleichungen:

$$xM + hz + y = 26,937$$

$$\lambda M + gz = 7,520$$

$$\mu M + 3f = 2,650$$

$$+ \varepsilon \frac{z}{3} + \eta y + f = 0,876$$

$$\alpha M + \theta z = 3,531$$

$$\zeta M + kz + \xi y = 2,890$$

genügen nach der Methode der kleinsten Quadrate die definitiven Elemente:

$$x = 8,3766$$

$$M = 2,4179$$

$$z = 2,5390$$

$$y = 1,8518$$

$$f = 0,8222$$

Mit denselben ergibt sich zwischen Rechnung und Beobachtung folgende Uebereinstimmung:

Beob.	Berechn.	Beob. Ber.
26,937	26,939	— 0,002
7,520	7,517	+ 0,003
2,650	2,575	+ 0,075
0,876	1,102	— 0,226
3,531	3,550	— 0,019
2,890	3,860	+ 0,030

Schliesslich findet man aus den Elementen die quantitative mineralogische Zusammensetzung, nämlich:

	Feldspath	Augit	Olivin	Magneteisenstein	Ber.	Beob.	Beob. Ber.
Kieselerde	38,641 +	9,215 +	3,533		= 51,389	51,384	-0,005
Thonerde	15,288 +	0,793			= 16,081	16,089	+0,008
Eisenoxyd	0,360			+ 8,232	= 8,592	8,845	+0,253
Eisenoxydul		0,197 +	0,996 +	3,703	= 4,896	3,945	-0,951
Kalkerde	8,248 +	4,238			= 12,486	12,418	-0,068
Magnesia	0,183 +	2,897 +	4,086		= 7,166	7,319	+0,153
	62,720 +	17,340 +	8,615 +	11,935	= 100,610	100,000	

Zerlegt man den Feldspath in Anorthit und Orthoklas, so ergibt sich die mineralogische Zusammensetzung der Grundmasse der Lava von Scalfandeflioth folgendermassen:

Anorthit	19,259	19,14
Orthoklas	43,461	43,20
Augit	17,340	17,24
Olivin	8,615	8,55
Magneteisenstein	11,935	11,87
	<u>100,610</u>	<u>100,00</u>

Beide hier vorkommenden Feldspathe enthalten nur Kalk und Spuren von Magnesia, aber keine Alkalien, ihre Zusammensetzung berechnet man also:

	Anorthit	Orthoklas
Kieselerde	43,384	69,684
Thonerde	35,948	19,248
Eisenoxyd	0,847	0,455
Kalkerde	19,395	10,385
Magnesia	0,426	0,228
	<u>100,000</u>	<u>100,000</u>

Der Magneteisenstein zeigt folgende Zusammensetzung:

Eisenoxyd	63,70
Titanoxyd	5,14
Eisenoxydul	31,16
	<u>100,00</u>

## 8.

Ganz in derselben Weise haben wir die quantitative mineralogische

Zusammensetzung der Gesamtmasse dieser Lava berechnet, deren Endresultat hier nur angeführt sein mag:

Die Zusammensetzung der Gesamtmasse von Dr. Uhrlaub und von mir analysirt, gab folgendes Resultat:

	U.	SvW.	Mittel.
Kieselerde	51,416	49,616	50,516
Thonerde	16,009	16,614	16,312
Eisenoxyd	7,995	9,524	8,759
Titanoxyd	0,388	0,388	0,388
Eisenoxydul	3,442	4,004	3,723
Kalkerde	13,258	13,263	13,260
Magnesia	7,136	6,945	7,040
	<u>99,644</u>	<u>100,354</u>	<u>99,998</u>

Indem man die Rechnung wie vorhin durchführt, erhält man für die nach der Methode der kleinsten Quadrate verbesserten Elemente:

$$\begin{aligned}
 x &= 7,9556 \\
 M &= 2,4396 \\
 z &= 2,8884 \\
 y &= 1,5746 \\
 f &= 0,7409
 \end{aligned}$$

Die quantitative mineralogische Zusammensetzung der Gesamtmasse der Lava vom Scalfandeflioth ergibt sich alsdann:

Anorthit	21,549	21,60
Orthoklas	39,712	39,82
Augit	20,391	20,45
Olivin	7,325	7,35
Magneteisenstein	10,755	10,78
	<u>99,732</u>	<u>100,00</u>

Zwischen der beobachteten und der mit den Elementen berechneten Analyse findet man folgende Unterschiede:

	Beob.	Berechn.	Beob. Ber.
Kieselerde	50,518	50,511	+ 0,007
Thonerde	16,299	16,327	- 0,026
Eisenoxyd	8,485	7,781	+ 0,704
Eisenoxydul	4,032	5,079	- 1,047
Kalk	13,247	13,119	+ 0,128
Magnesia	7,034	6,952	+ 0,082
	<u>99,614</u>	<u>99,769</u>	

Das Verhältniss zur Grundmasse zum ausgeschiedenen Theil berechnet sich mit Berücksichtigung der Feldspath-Analyse pag. 205 in folgender Weise:

	Gesammtm.	Grundm.	Ausgesch.
Orthoklas	39,82	= 38,72	+ 1,10
Anorthit	21,61	= 17,21	+ 4,40
Augit	20,44	= 15,45	+ 5,00
Olivin	7,35	= 7,66	- 0,31
Magneteisenst.	10,78	= 10,64	+ 0,14
	<u>100,00</u>	<u>89,68</u>	<u>10,94</u>

Im Bezug auf den Olivin ist vermuthlich in der Analyse der Gesamtmasse die Bestimmung der Magnesia etwas zu gering ausgefallen, da für den ausgesonderten Theil ein negativer Werth gefunden wird; diese Grösse hätte wenn auch klein, doch jedenfalls positiv sein müssen.

Das Verhältniss der Grundmasse zum ausgesonderten Theil verhält sich bei dieser wie bei der Thiorsá-Lava nahezu wie 8: 1. Der bei weiten grösste Theil des Magneteisensteins ist in der Grundmasse enthalten. Augit und Feldspath sind in beiden Laven etwa in gleicher Weise ausgeschieden.

## 9.

Ich würde gern noch ein Beispiel der Berechnung eines Leuzitophyrgesteins angeführt haben, doch war es mir nicht möglich unter dem vorhandenen Material eine brauchbare Analyse aufzufinden; es unterliegt jedoch keinem Zweifel, dass nach geringer Modification unserer Gleichungen (siehe pag. 191) diese Aufgabe ebenso leicht wie die bereits mitgetheilten gelöst werden

könnte. Zum Schlusse dieser Untersuchungen mögen noch einige allgemeine Betrachtungen über die Berechnung der Gesteinsanalysen hier Platz finden.

Wir haben aus dem Vorhergehenden ersehen, mit Berücksichtigung der Zusammensetzung des Feldspaths aus Anorthit und Orthoklas, dass zur Bestimmung eines jeden Mineralkörpers eine unbekannte Grösse erforderlich ist.

Sind in einer unserer Aufgaben bei 7 Gleichungen 5 Mineralkörper zu bestimmen, so sind zwei überschüssige Gleichungen vorhanden, die zur wahrscheinlichsten Bestimmung der 5 Elemente nach der Methode der kleinsten Quadrate hinzugezogen werden können.

Findet man wegen der längern Rechnung Bedenken die Methode der kleinsten Quadrate in Anwendung zu bringen, so wird es nicht schwer halten sich Elemente zu verschaffen, welche nahezu genügen, und schliesslich nur sehr kleiner Correctionen bedürfen würden. Eine Rechnung dieser Art ist alsdann in einer bis zwei Stunden bequem auszuführen.

Doch ist es jedenfalls von grossem Interesse für die Beurtheilung des Grades der Zuverlässigkeit unserer Aufgabe möglichst viele Bedingungsgleichungen aufzustellen, denen Genüge geleistet werden muss. Mehrere allerdings noch näher zu prüfende Methoden werden dabei in Betracht kommen.

Zuerst können die verschiedenen Mineralkörper eines krystallinischen Gesteines, in bereits üblicher Weise in einen in Chlorwasserstoffsäure löslichen und unlöslichen Theil von einander getrennt und besonders analysirt werden, dabei ist jedoch Folgendes zu berücksichtigen:

In den Laven und in den neueren krystallinischen Gesteinen, welche wir soeben genauer betrachtet haben, werden Olivin, Leuzit, Sodalit und Magnet-eisenstein in der Wärme von mässig concentrirter Chlorwasserstoffsäure schon nach wenigen Stunden vollständig gelöst und zersetzt sein. Der Augit dagegen, wenn er sich nicht im Zustande der Verwitterung befindet, wird nach meinen Erfahrungen auch von concentrirter Säure selbst nach mehreren Tagen nicht im Geringsten angegriffen. Anders verhält es sich mit den Feldspathen von einem etwa 55 Procent übersteigenden Kieselerdegehalte. Diese werden nur langsam und sehr unvollständig zersetzt, je nachdem die Säure schwächer oder kräftiger ist, je nachdem sie längere oder kürzere Zeit einwirkt. Beide Theile, der lösliche wie der unlösliche werden daher Feldspath ent-

halten, der für jeden besonders in Rechnung zu bringen ist. In dem in Säure löslichen wird der Anorthit, im unlöslichen der Orthoklas vorherrschen, beide in entsprechender Weise summirt, werden den im zu untersuchenden krystallinischen Gestein befindlichen Feldspath repräsentiren.

Im löslichen Theil werden aus 7 Gleichungen 4 unbekannte nämlich  $x$ ,  $M$ ,  $y$ ,  $f$ , im unlöslichen aus 7 Gleichungen 3 unbekannte Grössen,  $x$ ,  $M$ ,  $z$ , zu ermitteln sein. Fügt man ferner eine Gesamtanalyse beider Theile hinzu, so würden noch 7 neue Bedingungsgleichungen gewonnen, so dass aus 21 Gleichungen 7 unbekannte Grössen zu bestimmen wären. Eine zweite Methode besteht darin,  $f$  direct zu beobachten, indem über eine abgewogene Quantität feingeriebener Lava in einem zum Glühen erhitzten Porzellanrohr zuerst Wasserstoff, dann Sauerstoff geleitet und in beiden Versuchen die Gewichts-Abnahme und Zunahme ermittelt wird.

## 10.

Es ist zunächst einleuchtend, dass von der Grösse der Cöefficienten  $\mu$ ,  $\lambda$ ,  $\alpha$ ,  $\xi$  für den Feldspath  $h$ ,  $g$ ,  $\varepsilon$ ,  $\theta$ ,  $k$ , für den Augit;  $\eta$ ,  $\xi$  für den Olivin u. s. w. die quantitative mineralogische Zusammensetzung der Lava abhängt.

Betrachten wir einen einfachen Fall, z. B. die Zusammensetzung einer Lava, in welcher kein Olivin vorkömmt, so erhalten wir wie vorhin folgende 7 Gleichungen:

$$\begin{array}{rcl} 1 & xM + hz & = A \\ 2 & \lambda M + gz & = B \\ 3 & \mu M + 3f & = C \\ 4 & \quad + \varepsilon z + f & = D \\ 5 & \alpha M + \theta z & = E \\ 6 & \xi M + kz & = F \\ 7 & 1 - (\alpha + \xi)M & = K \end{array}$$

Ferner wie oben  $h + \frac{2}{3}g = 2$  und  $\varepsilon + \theta + k = 1$ .

Ist die Zusammensetzung des Feldpaths durch  $\lambda$ ,  $\mu$ ,  $\alpha$ ,  $\xi$  gegeben, so kann man aus den 7 Gleichungen durch Elimination  $x$ ,  $M$ ,  $z$ ,  $h$ ,  $\varepsilon$ ,  $\theta$  und  $f$  bestimmen, d. h., die Zusammensetzung und Quantität des Augits und des Magneteisensteins ergeben sich durch die Rechnung. Die Grössen  $\mu$  und  $\xi$



sind immer sehr klein öfter = 0 und können im Allgemeinen vernachlässigt werden. Die Kalkbestimmung des Feldspaths oder die Festsetzung der Grösse  $\alpha$  wird daher ausser der Gesteinsanalyse für die quantitative mineralogische Zusammensetzung vollkommen genügen.

Sodann haben wir darauf aufmerksam zu machen, dass wenn einmal die Grössen  $A, B, C$  u. s. w. durch die Analyse gegeben sind, sowohl Augit wie Feldspath, welche Werthe auch für die Coefficienten  $h, g, \varepsilon, \theta, k$  und  $\alpha$  gewählt werden, gewisse Grenzen nicht überschreiten können. Die obere Grenze für den grössten Werth von  $x$  wird erreicht, wenn  $\alpha = \xi = 0$  und daher  $M = K$  wird. Der Feldspath, welcher unter dieser Voraussetzung nur Natron und Kali enthält, bekommt seiner Quantität nach den kleinsten, der Augit den grössten Werth.

Für diese obere Grenze gelten alsdann folgende Gleichungen:

$$R = \mu K + 3(D + E + F) - C$$

$$x = \frac{3A - hR}{3K}, \quad z = \frac{R}{3}, \quad h + \frac{2}{3}g = 2, \quad g = 3\left(\frac{B - \lambda K}{R}\right),$$

$$\varepsilon = \frac{\mu K - 3D - C}{R}, \quad \theta = 3\frac{E}{R}, \quad k = 3\frac{F}{R}, \quad f = \frac{C}{3} - \mu\frac{K}{3}$$

Die untere Grenze in welcher  $x$  den kleinsten Werth erreicht, während die Quantität des Feldspaths am Grössten, die des Augits am Kleinsten wird, findet sich für  $h = 2$  und  $g = 0$ .

Alsdann ergibt sich:  $T = \lambda(D + E + F - f) - (\alpha + \xi)B$ ; ferner:

$$M = \frac{B}{\lambda}, \quad x = \frac{\lambda A - 2T}{B}, \quad z = \frac{T}{\lambda}, \quad \varepsilon = \frac{(D - f)\lambda}{T}, \quad \theta = \frac{\lambda(E + K) - \alpha B}{T}$$

$$k = \lambda \frac{(F + K) - \xi B}{T}, \quad \text{und } f = \frac{C}{3} - \frac{\mu}{3\lambda} B$$

#### 11.

Aus den beiden Gleichungen von  $f$  geht hervor, dass der Gehalt (des Magneteisensteins einen nahezu constanten Werth annimmt, welches auch das Verhältniss vom Augit zu Feldspath sein mag.

Nach der bereits mitgetheilten Analyse der Grundmasse der Thiorsá-Lava haben wir beispielsweise:

- $A = 26,436$
- $B = 6,030$
- $C = 2,881$
- $D = 1,671$
- $E = 3,635$
- $F = 1,991$
- $K = 0,404$

Sodann ist  $\lambda = 2,9353$ ,  $\mu = 0,0647$ ,  $\alpha = 0,9304$ ,  $\zeta = 0,0153$ .

Aus den eben angeführten Formeln berechnet man alsdann für jene beiden Grenzen folgende Zahlen:

Obere Grenze	Untere Grenze
$x = 42,013$	$x = 8,5465$
$M = 0,404$	$M = 2,0543$
$z = 6,345$	$z = 4,4383$
$\alpha = 0$	$\alpha = 0,9304$
$\zeta = 0$	$\zeta = 0,0153$
$h = 1,4912$	$h = 2$
$g = 0,7634$	$g = 0$
$\varepsilon = 0,1134$	$\varepsilon = 0,1701$
$\theta = 0,5729$	$\theta = 0,4794$
$k = 0,3137$	$k = 0,3505$
$f = 0,9516$	$f = 0,9160$
$R = 19,036$	$T = 13,028$

Die quantitative mineralogische Zusammensetzung berechnet man aus diesen Zahlen für die obere Grenze folgendermassen:

	Feldspath	Augit	Magneteisenstein	
Kieselerde	32,384	+ 18,045	=	50,429
Thonerde	2,535	+ 10,365	=	12,900
Eisenoxyd	0,087	+ 9,526	=	9,613
Eisenoxydul		+ 3,242	+ 4,287	= 7,529
Kalk		+ 12,781	=	12,781
Magnesia		+ 4,987	=	4,987
Natron	1,054		=	1,054
Kali	0,518		=	0,518
	<u>36,578</u>	+ <u>49,420</u>	+ <u>13,811</u>	= <u>99,811</u>

Die quantitative mineralogische Zusammensetzung wird alsdann:

Feldspath	36,578
Augit	49,420
Magneteisenstein	13,813
	<u>99,811</u>

Es ist mehr als zweifelhaft, dass ein Feldspath wie der eben berechnete existire, nehmen wir dagegen in den Laven als äussersten Werth  $x = 12$  statt  $x = 42,0$  an, so wäre in der Verbindung, welche die obere Grenze bezeichnet, neben dem Orthoklas noch freier Quarz vorhanden und zwar in folgendem Verhältniss mit den drei übrigen Mineralkörpern verbunden:

Quarz	23,142
Orthoklas	13,436
Augit	49,420
Magneteisenst.	13,813
	<u>99,811</u>

Da indess in keiner unzersetzten Lava ausgeschiedener Quarz beobachtet wird, so folgt daraus, dass die für die obere Grenze berechneten Werthe von  $h, g, \varepsilon, \theta, k$  nicht erreicht werden können.

Setzen wir für  $x = 12$ , so findet man durch Elimination aus obigen 7 Gleichungen (pag. 212) für die 7 Unbekannten folgende Werthe:

	$M = 1,4145$		
054,05 =	$z = 5,3570 +$	32,384	Kieselerde
000,51 =	$h = 1,7662 +$	8,883	Thonerde
810,0 = 0,520	$s = 0,1384$	0,305	Eisenoxyd
055,7 = 4,287	$\theta = 0,4899 +$		Eisenoxydul
15,81 =	$a = 0,7144 +$		Kalk
780,1 =	$f = 0,9298 +$		Magnesia

Daraus finden sich ferner:

$g = 0,3507$	1,054	Natron
$k = 0,3717$	0,518	Kali
	46,863 + 39,625 + 13,497	

Mit diesen Zahlen berechnet man die quantitative mineralogische Zusammensetzung:

	Feldspath.	Augit.	Magneteisenstein.	
Kieselerde	32,380 +	18,049		= 50,429
Thonerde	8,883 +	4,019		= 12,902
Eisenoxyd	0,305		+ 9,308	= 9,613
Eisenoxydul		+ 3,340	+ 4,189	= 7,529
Kalk	3,478 +	9,229		= 12,707
Magnesia	0,054 +	4,988		= 5,042
Natron	1,182			= 1,182
Kali	0,581			= 0,581
	<u>46,863</u> +	<u>39,625</u> +	<u>13,497</u>	= <u>99,985</u>

Für die untere Grenze, die durch  $x = 8,5465$  bezeichnet wird ergibt sich folgende quantitative mineralogische Zusammensetzung:

	Feldspath.	Augit.	Magneteisenstein.	
Kieselerde	32,384 +	18,045		= 50,429
Thonerde	12,899			= 12,899
Eisenoxyd	0,443		+ 9,170	= 9,613
Eisenoxydul		+ 3,402	+ 4,127	= 7,529
Kalk	5,694 +	7,087		= 12,781
Magnesia	0,078 +	4,908		= 4,986
Natron	1,054			= 1,054
Kali	0,518			= 0,518
	<u>53,070</u> +	<u>33,442</u> +	<u>13,297</u>	= <u>99,809</u>

Stellen wir die Resultate unserer Rechnung zusammen, so erhalten wir diese Uebersicht:

I.				
	$x = 42,013$	$x = 12$	$x = 10,6267$	$x = 8,2644$
Feldspath	36,578	46,863	49,794	53,070
Augit	49,420	39,625	35,706	33,442
Magneteisenstein	13,813	13,497	13,399	13,297
Feldspath II.				
Kieselerde	88,535	69,096	66,846	61,021
Thonerde	6,931	18,956	20,705	24,306
Eisenoxyd	0,283	0,647	0,711	0,835
Kalk		7,423	10,789	10,729
Magnesia		0,115	0,126	0,147
Natron	2,882	2,523	0,446	1,986
Kali	1,414	1,240	0,377	0,976
Augit III.				
	$x = 42,013$	$x = 12$	$x = 10,6267$	$x = 8,2644$
Kieselerde	36,515	45,551	49,460	53,959
Thonerde	20,973	10,143	7,369	
Eisenoxydul	6,560	8,429	9,280	10,173
Kalk	25,862	23,291	20,696	21,190
Magnesia	10,090	12,586	13,195	14,678
Magneteisenstein IV.				
	13,813	13,497	13,399	13,297

12.

Durch diese Untersuchung gelangen wir zu folgenden Schlussbetrachtungen:  
 Die analysirte Lava als quarzfreies Gestein kann daher nur einen zwischen den Grenzen  $x = 12$  und  $x = 8,5465$  liegenden Feldspath enthalten, der nach mineralogischem Sprachgebrauch zwischen Orthoklas und Oligoklas hin und her schwankt, welche Zusammensetzung auch der Augit innerhalb des ihm angewiesenen Spielraumes annehmen mag. Aus III geht der Spielraum der Augitzusammensetzung hervor, wonach der Kieselerdegehalt nicht unter 45,551

herabgedrückt und nicht über 53,959 erhöht werden kann. Bei dem kleinsten Werthe für die Kieselerde wird die Thonerde bis 10,143 steigen. Dass der Magneteisenstein, welches Verhältniss zwischen Feldspath und Augit stattfindet, immer nahe zu denselben Werth beibehält, ist bereits bemerkt worden, geht aber auch aus den Zahlen unter IV augenscheinlich hervor.

In den vulkanischen Gesteinen, soweit ich dieselben zu untersuchen Gelegenheit hatte, ist die Zusammensetzung des Augits und Olivins für ein und dieselbe Localität nahezu constant, sodass kleine Veränderungen in den Coefficienten  $h, g, \varepsilon, \theta, k, \eta, \xi$  auf das Endresultat, auf die quantitative mineralogische Zusammensetzung des Gesteins, keinen wesentlichen Einfluss ausübt. Doch auch in verschiedenen Gegenden z. B. in Island am Aetna, am Vesuv ist die Zusammensetzung sowohl der Augite wie der Olivine für dieselbe Farbe des Minerals ziemlich dieselbe.

Der Augit von lauchgrüner Farbe von einigen europäischen Vulkanen zeigt folgende Zusammensetzung:

	Aetna a.	Aetna b.	Thiorsá.	Scalfandeflioth.	Vesuv.
Kieselerde	50,012	50,55	49,460	51,130	50,90
Thonerde	5,256	4,85	7,369	4,403	5,37
Eisenoxydul	10,813	7,96	9,280	4,490	6,25
Kalk	18,565	22,29	20,696	23,743	22,96
Magnesia	14,834	13,01	13,195	16,213	14,43

Die Analyse des atnäischen Augits (b) und die vom Vesuv, sind von Kuder-  
natsch, die andern von mir ausgeführt worden. Der Mittelwerth aus allen ist:

Kieselerde	50,62
Thonerde	5,47
Eisenoxydul	7,79
Kalk	21,73
Magnesia	14,39
	<hr/> 100,00

Die schwarzen Augite, wie sie in vielen Laven des Aetna und des Stromboli auftreten, enthalten bei einem etwas geringern Kieselerde-Gehalte mehr Eisenoxydul und Thonerde.

Der schwarze Augit der Eruption des Aetna von 1669 zeigt folgende Zusammensetzung:

Kieselerde	47,618
Thonerde	6,737
Eisenoxydul	11,600
Kalk	20,866
Magnesia	12,894
Wasser	0,285

Auch die Olivine des Aetna besitzen unter einander verglichen, eine sehr ähnliche Zusammensetzung.

In der nachfolgenden Tabelle sind verschiedene Werthe von  $h, g, \varepsilon, \theta, k$ , soweit sie für unsere Untersuchungen Interesse haben zusammengestellt:

	$h$	$g$	$\varepsilon$	$\theta$	$k$
Augit für $x = 8,5465$ ; untere Grenze	2	0	0,1701	0,4794	0,3505
Augit vom Scalfandeflioth	1,9026	0,1461	0,0700	0,4746	0,4554
Augit lauchgrün, Mittelwerth von Island, Vesuv, Aetna	1,8792	0,1810	0,1261	0,4525	0,4208
Augit schwarz Aetna 1669	1,8448	0,2327	0,1886	0,4345	0,3769
Augit Thiorsá	1,8373	0,2441	0,1559	0,4454	0,3987
Augit $x = 12$	1,7662	0,3507	0,1384	0,4899	0,3717
Augit $x = 42,013$	1,4912	0,7634	0,1134	0,5729	0,3137

Aus diesen Zahlen und mit Berücksichtigung der allgemeinen vorhin aufgestellten Gleichungen geht hervor, dass wenn in einer Lava, deren quantitative mineralogische Zusammensetzung berechnet werden soll, der Augit selbst nicht analysirt wäre, man Mittelwerthe von  $h, \varepsilon, \theta$ , ohne das Endresultat wesentlich zu beeinträchtigen, benutzen kann. Werden die Werthe von  $h, \varepsilon, \theta$  um eine kleine Grösse geändert, so lässt sich leicht die Veränderung ableiten, welche in der Gesteinszusammensetzung dadurch hervorgebracht wird.

Es muss alsdann folgenden Bedingungsgleichungen Genüge geleistet werden:

$$\begin{aligned}
 Mdx + x dM + h dz + z dh &= 0 \\
 2Md\lambda + 2\lambda dM + (6-3h)dz - 3zdh &= 0 \\
 -Md\lambda + (3-\lambda)dM + 3df &= 0 \\
 \varepsilon dz + z d\varepsilon + df &= 0 \\
 Md\alpha + \alpha dM + \theta dz + z d\theta &= 0 \\
 Md\xi + \xi dM + (1-(\varepsilon+\theta))dz - z d\varepsilon - z d\theta &= 0 \\
 (1-(\alpha+\xi))dM - Md\alpha - Md\xi &= 0
 \end{aligned}$$

Nehmen wir wie vorhin die Grundmasse der Thiorsa-Lava als Beispiel, so wird  $x = 10,6267$   $M = 1,6419$   $z = 4,8951$   $f = 0,9231$ ; ferner  $\lambda = 2,9353$   $\mu = 0,0647$   $h = 1,8373$   $\varepsilon = 0,1559$   $\theta = 0,4454$   $\alpha = 0,9304$   $\zeta = 0,0153$ . Setzt man ferner  $dh = 0,02$   $d\varepsilon = 0,02$   $d\theta = -0,02$ .

Man findet alsdann:

$$\begin{aligned} 1,6419dx + 10,6267dM + 1,8373dz + 0,0979 &= 0 \\ 3,2838d\lambda + 5,8706dM + 0,4881dz - 0,2937 &= 0 \\ -1,6419d\lambda + 0,0647dM &= 0 \\ &+ 0,1559dz + df + 0,0979 = 0 \\ 1,6419d\alpha + 0,9304dM + 0,4454dz - 0,0979 &= 0 \\ 1,6419d\zeta + 0,0153dM + 0,3987dz &= 0 \\ -1,6419d\alpha - 1,6419d\zeta + 0,0543dM &= 0 \end{aligned}$$

Aus diesen Gleichungen folgt durch Elimination:

	Veränd. Elem.	Feldspath Coeff.	Augit Coeff.
$dx = -0,9253$	$x' = 9,7014$	$\alpha' = 0,9235$	$h' = 1,8572$
$dM = +0,1430$	$M' = 1,7839$	$\zeta' = 0,0269$	$g' = 0,2142$
$dz = -0,0534$	$z' = 4,8417$	$\lambda' = 2,7773$	$\varepsilon' = 0,1759$
$df = -0,0896$	$f' = 0,8335$	$\mu' = 0,2227$	$\theta' = 0,4254$
$d\alpha = -0,0069$			$k' = 0,3187$
$d\zeta = +0,0116$			
$d\lambda = -0,1580$			

Mit diesen Zahlen berechnet man die neue quantitative mineralogische Zusammensetzung:

Feldspath	51,263
Augit	35,289
Magneteisenst.	12,099
	<hr/>
	98,651

während die mit den Coefficienten, des in dieser Lava vorkommenden Augits berechnete pag. 197 folgendermassen sich ergeben hat:

Feldspath	49,794
Augit	35,706
Magneteisenst.	13,399
	<hr/>
	98,899



Aus der Vergleichung dieser Zahlen unter einander leuchtet ein, dass die Grössen  $h$ ,  $\varepsilon$ ,  $\theta$  ziemlich erheblich geändert werden können, ohne dass die verschiedenen hier im Gemisch erscheinenden Mineralkörper durchschnittlich mehr als etwa 1 Procent von den frühern abweichen. Der Unterschied, der in diesen beiden Verbindungen namentlich für den Magneteisenstein am bemerklichsten wird, rührt daher, dass im ersten Falle die Grössen  $\lambda$  und  $\mu$  aus der Feldspath-Analyse pag. 196 entlehnt, im zweiten aber durch Elimination aus den angeführten Fehler-Gleichungen bestimmt worden sind. Substituirt man in die allgemeinen Gleichungen die Mittelwerthe pag. 218, so wird die Zusammensetzung der Thiorsá-Lava in den einzelnen Bestandtheilen etwa 2 Procent vom erstern Resultate abweichen, dagegen wird die Zusammensetzung der Lava vom Scalfandeflioth fast genau so wie vorhin gefunden werden.

Aus diesen Betrachtungen geht hervor, dass z. B. für eine Lava, einen Basalt, Porphyr oder Diorit u. s. w., vorausgesetzt, dass die Gesteinsanalyse sorgfältig ausgeführt und auf die Trennung von Eisenoxyd und Eisenoxydul Rücksicht genommen ist, die quantitative mineralogische Zusammensetzung leicht mit aller nöthigen Genauigkeit berechnet werden kann. Die hier vorgetragene Methode zur Lösung unserer Aufgabe leistet daher ungleich mehr, als bis jetzt in dieser Richtung irgend hat erreicht werden können; denn bei gehöriger Umsicht werden die Fehler in der Bestimmung der Quantitäten der einzelnen Mineralkörper kaum ein Procent übersteigen, unter günstigen Umständen werden sie sich noch unterhalb dieser Grenze halten.

Manche Mineralogen und Geologen werden vielleicht den Gang der hier vorgetragenen Rechnung beschwerlich finden, wenn man indess auf den äussersten Grad von Genauigkeit auf eine vollständige Combination der Beobachtungen verzichtet, ist eine jede der hier mitgetheilten Aufgaben selbst für wenig geübte Rechner in einer bis zwei Stunden auszuführen; jedenfalls sind diese Rechnungen im Umfang nicht entfernt mit denen zu vergleichen, welche bei vielen andern naturwissenschaftlichen Untersuchungen erfordert werden. Es ist ein grosser Irrthum zu glauben, dass aus einer solchen Gesamtanalyse jede beliebige Gesteinszusammensetzung berechnet werden könne. Zur Aufklärung dieses Gegenstandes mögen folgende Bemerkungen dienen:

- 1) Unsere Aufgabe, die Berechnung der quantitativen mineralogischen

Zusammensetzung, bei der der äusserste Grad von Genauigkeit nicht verlangt wird, hat nur ein rein geologisches Interesse. Die in den krystallinischen Gesteinen vorkommenden Mineralkörper sind der Zahl nach gering und ihre stöchiometrischen Formeln bekannt; in den meisten Fällen findet man sie in Krystallen oder in krystallinischen Körnern deutlich ausgesondert und lassen über ihre Natur keinen Zweifel übrig. Der Ansatz unserer Gleichungen wird unter solchen Verhältnissen auf keine Hindernisse stossen und das Endresultat leicht zu ermitteln sein. Selbstverständlich ist es, dass aus einer Gesamtanalyse keine Mineralkörper durch Rechnung bestimmt werden können, welche Elementarstoffe enthalten, die in jener nicht vorhanden sind, z. B. kann in einem Gesteine, welches weder Natron noch Kali enthält kein Leuzit vorkommen. Aus einer Analyse welche keine Magnesia enthielte, würde kein Olivin gefunden werden können; eine Analyse ohne Chlorgehalt beurkundet die Abwesenheit von Sodalit u. s. w. Einige Mineralkörper sind auch an gewissen Localitäten ganz ausgeschlossen, wie z. B. Nephelin<sup>1)</sup> und Leuzit am Aetna und in Island, und können daher sogleich unberücksichtigt bleiben. In schwierigen oder zweifelhaften Fällen wird es gerathen sein, die grösst mögliche Zahl von Bedingungsgleichungen aufzustellen, worauf bereits vorhin aufmerksam gemacht worden ist. Die Sicherheit des Endresultats wird dann aus dem Grade der Genauigkeit zu beurtheilen sein, mit denen die gewonnenen Elemente den Gleichungen genügen. Genügt ein System von Elementen nicht, so muss man versuchen ein anderes zu substituiren, oder für einen Mineralkörper einen andern in die Mischung einzuführen. Es bedarf wohl kaum erwähnt werden, dass in dem zu untersuchenden Gestein, die verschiedenen Mineralkörper noch in wesentlich unzersetztem oder unzerstörtem Zustande vorhanden sein müssen, weil sie sonst begreiflicher Weise den stöchiometrischen Proportionen, deren Richtigkeit vorausgesetzt wird nicht Genügen geleistet werden kann.

Mit Hülfe der von uns hier ausgeführten Aufgabe wird man verschiedene anderer geologischer Untersuchungen mit Vortheil weiter verfolgen können; gute Beobachtungen und genauere Gesteinsanalysen, als die meisten bisjetzt ausgeführten sind jedoch dazu die erste und unerlässliche Bedingung.

1) Da mir von Nephelgesteinen keine guten und brauchbaren Analysen bekannt sind, so habe ich dieselben hier nicht näher in Betracht gezogen. Vorkommenden Falls ist die Rechnung mit geringor Modification der Gleichungen leicht ausgeführt.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Abhandlungen der königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen](#)

Jahr/Year: 1861-1862

Band/Volume: [10](#)

Autor(en)/Author(s): Sartorius Wolfgang von Waltershausen

Artikel/Article: [Ueber die Berechnung der quantitativen mineralogischen Zusammensetzung der krystallinischen Gesteine, vornehmlich der Larven 181-222](#)