DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Herausgegeben von

Dr. Arnold Berliner und Prof. Dr. August Pütter

Vierter Jahrgang.

27. Oktober 1916.

Heft 43.

Forschungen im Gebiete der physikalisch-chemischen Eruptivgesteinskunde.

Von Prof. Dr. Paul Niggli, Leipzig.

Einführung.

Die Kenntnis der Zusammensetzung und Struktur der anorganischen Erdrinde ist das Ziel der eng miteinander verbundenen Wissenschaften *Mineralogie*, *Petrologie* und *Geologie*. Sie alle sind ihrem Wesen nach rein beschreibend. Das tatsächlich Gegebene und zu Erforschende ist das Naturvorkommnis. Eine gewisse Freude am Gegenständlichen und ein gutes Beobachtungsvermögen sind Gaben, die sie in erster Linie von ihren Jüngern verlangen.

Schon die kurze Zeit von etwa anderthalb Jahrhunderten rationeller Entwicklung dieser Wissenschaften hat eine außerordentliche Fülle von Beobachtungsmaterial ergeben. Je extensiver und intensiver sich der Ausbau der Kenntnisse gestaltete, um so schwieriger schien es anfänglich die Erscheinungskomplexe überblicken zu können. Sehr bald zeigte sich indessen eine gewisse Universalität alles Beobachtbaren. Es ist beispielsweise erstaunlich, wie wenig grundsätzlich Neues die Untersuchungen in den übrigen Weltteilen zu dem bekannten Material der am besten erforschten Gebiete von Europa und Nordamerika hinzugefügt haben. Die Kausalität und Eindeutigkeit alles menschlich Beobachtbaren trat auch hier in Erscheinung.

Schon der ökonomische Standpunkt verlangt für die Beschreibung die volle Ausnutzung dieser Zusammenhänge, die Betonung des Gemeinsamen in den Erscheinungskomplexen verschiedener Lokalitäten. Und um die auf statistisch vergleichendem Wege mühsam erworbenen Gesetzmäßigkeiten sich einzuprägen, sucht man sie in der Kausalitätsreihe nach rückwärts zu verfolgen. Indem aber die Beziehungen im Gewordenen auf beim Werden gültige Gesetze zurückgeführt werden, also die *genetische Betrachtungsweise* eingeführt wird, stellen sich automatisch alle jene Schwierigkeiten ein, die einer historischen Wissenschaft innewohnen. Gemäß dem Prinzip der Aktualität urteilen wir von vornherein, daß die ehemals wirksamen Kräfte, wenigstens ihrem Wesen nach, mit den jetzigen identisch sind, daß es somit *physikalische* und *chemische* Vorgänge waren, die zur Bildung der Erdrinde in ihrer heutigen Form führten. „Die Wirkungen der Natur sind bei gleichen Umständen den künstlichen gleich, oder wie wollte man das Entgegengesetzte vermuten können? Wir-

ken die allgemeinen Gesetze der physischen Welt in unseren Laboratorien nicht ebenso wie in den unterirdischen der Berge?“ (*H. B. de Saussure* 1786).

Physik und Chemie bauen sich schrittweise vom Einfachen zum Komplizierten auf. Vorerst sehen sie von der Mannigfaltigkeit, wie sie jedem in der Natur verlaufenden Prozeß eigen ist, ab. Indem man der Art und Zahl einwirkender Faktoren weise Beschränkungen auferlegt, sich also besondere Voraussetzungen schafft, erhält man die Möglichkeit, die Wirkungsweise äußerer Umstände gesondert zu studieren, die einfachen Beziehungen zu erkennen. Die Auflösung eines beliebigen heute vor sich gehenden Naturgeschehens in physikalisch-chemische Gesetze ist aber nur vollständig möglich, wenn man über den Einfluß *aller* Umstände orientiert ist, die dabei überhaupt wirksam sein können. Diese Auflösung kann sich somit nur als Endresultat der physikalischen und chemischen Forschungen ergeben. Schließen wir aber gar vom Produkt auf die Entstehung zurück, so vervielfältigen sich die Schwierigkeiten. Ein Mineral kann auf die mannigfaltigste Weise entstehen, und nichts war der Entwicklung in Mineralogie und Petrologie so hinderlich, wie die dogmatische Festlegung auf bestimmte Bildungsweisen (*Neptunismus* und *Plutonismus*), schien sie auch experimentell begründet zu sein (*Neoneptunismus* von *Bischof*). Erst die eingehende Betrachtungsweise aller mit einem Naturvorkommnis verknüpften Begleiterscheinungen, die intelligente Beobachtung in der Natur, vermag die Wirkung gewisser Faktoren als unwahrscheinlich hinzustellen, andere als wahrscheinlich anzunehmen. So führt die Beobachtung, verbunden mit einem Abwägen aller bekannten, in Betracht kommenden physikalisch-chemischen Daten, zu einer gewissen Vorstellung über die Art der Entstehung, somit auch über die Ursachen der vorhandenen Gesetzmäßigkeiten.

Hier setzt das spezielle *physikalisch-chemische Experiment* des Mineralogen und Petrologen ein. Dieses Experiment kann lediglich zeigen, ob es wirklich genügt, eine Erscheinung als Ausfluß gewisser Faktoren hinzustellen oder ob noch *andere* Einflüsse maßgebend sein mußten. Es spielt somit nicht ganz die entscheidende Rolle wie in Physik und Chemie. Es kann eine bestimmte Entstehungsart nie beweisen, sondern nur wahrscheinlich oder unwahrscheinlich machen. Es ist in Mineralogie und Petrologie nicht die Realität, diese ist das Naturvorkommnis, sondern nur ein, allerdings außerordentlich wertvolles, Mittel der Kritik.

So selbstverständlich dieser Zusammenhang zwischen Experiment und Naturvorkommen (historisch Gewordenes) ist, so leicht wird er auch in neuester Zeit noch übersehen. Ein Beispiel dafür findet man in manchen Diskussionen, die sich an die van't Hoff'schen Untersuchungen über die Bildung von Salzen aus dem Meerwasser durch Verdunstung angeschlossen haben. Die qualitative und quantitative Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Erscheinungen in den Salzlagerstätten war durchaus nicht befriedigend. Langsam nur hat man erkannt, daß gerade in dieser Nichtübereinstimmung das wesentliche Moment in der Genese dieser Gesteine liegt, daß das Verdunstungsexperiment den komplizierten Vorgängen, deren Endprodukt in den Salzlagern vorliegt, schon aus geologischen Gründen, nicht annähernd gerecht werden kann. Das Spiel der metamorphen Kräfte trat in Erscheinung.

Aus alledem ergibt sich, daß die physikalisch-chemische Mineralogie und Petrologie an und für sich keinen neuen Wissenszweig darstellt. Jede genetische Betrachtung in Mineral- und Gesteinskunde führt zur Diskussion physikalischer und chemischer Vorgänge. Unter ihrem Namen vereinigt sich nur die systematische Forschung in diesem Gebiet. Diese muß einmal, in der Rolle einer Hilfswissenschaft, die Kenntnis physikalischen und chemischen Verhaltens mineralischer Stoffe unter ähnlichen Bedingungen, wie sie die Erdkruste darbietet, erweitern. Insbesondere muß sie sich jener Erscheinungen annehmen, die in der theoretischen Chemie vielleicht vorerst für die Erforschung zurückgestellt wurden, aber in Mineralogie und Petrologie stets in Wirkung treten. Sie muß auch die Versuchstechnik entwickeln helfen, damit Experimente, mit durchaus meßbaren Faktoren, natürlichen Vorgängen immer ähnlicher gestaltet werden können.

Die magmatischen Gesteine. Von allen Problemen der Minerogenese und Petrogenese haben diejenigen stets die größte Anziehungskraft ausgeübt, die in Zusammenhang mit jenem geheimnisvollen, glutflüssigen Urquell, dem *Magma*, stehen, dessen unmittelbare, elementare Wirkungen im Vulkanismus zutage treten. Schätzungsweise sind etwa 95 % der 16 km mächtigen äußersten Erdkruste (bis zu solcher Tiefe geben uns Tektonik und Erosion annähernd eine Vorstellung über die Beschaffenheit) von Gesteinen gebildet, deren primäre Entstehungsweise die magmatische ist (*Eruptivgesteine*). Das Erstarren und Festwerden der Magmen findet je nach inneren und äußeren Bedingungen in verschiedenen Temperaturgebieten statt. Die Interpretation mannigfacher mineralogischer und geologischer Beobachtungen führt zu der Vorstellung, daß bei der Bildung typischer Eruptivgesteine Temperaturen von weit oberhalb 1000° bis hinunter zu mindestens 600° in Frage kommen. Sowohl in chemischer wie mineralogischer Beziehung weisen diese Gesteine außerordentlich enge Verwandtschaften und Gesetz-

mäßigkeiten auf, die die statistisch vergleichende Untersuchung ergeben hat.

1. Chemische Gesetzmäßigkeiten.

Am Aufbau der magmatischen Gesteine nehmen in wesentlichem Maße nur eine beschränkte Zahl von chemischen Elementen teil. Gestein ist der Name für eine Mineralkombination, die in annähernd gleichem Mengenverhältnis auf größere Erstreckung hin vorkommt. Die wesentlichen Komponenten der magmatischen Gesteine sind somit diejenigen, welche nicht nur lokal, sondern allgemein in erheblichen Mengen an der Zusammensetzung eruptiver Teile der Erdkruste partizipieren. In Oxydform sind es in erster Linie die folgenden: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O ; ihnen schließen sich zunächst an:

H_2O , TiO_2 , P_2O_5 , MnO , ZrO_2 .

Die mittlere Zusammensetzung der magmatischen Gesteine des äußersten Teiles der Erdkruste (16-km-Hülle) mag nicht weit von folgendem Chemismus entfernt sein¹⁾:

SiO_2	= 57,78
Al_2O_3	= 15,67
Fe_2O_3	= 3,31
FeO	= 3,84
MgO	= 3,81
CaO	= 5,18
Na_2O	= 3,88
K_2O	= 3,13
H_2O	= 1,78
TiO_2	= 1,03
P_2O_5	= 0,37
MnO	= 0,22
	<hr/>
	100,00

Diese Zahlen ergeben sich als Mittelwerte der bis in die neueren Zeiten ausgeführten Eruptivgesteinsanalysen. Heute kann man sich auf ca. 3000, wenigstens einigermaßen vertrauenswürdige, Pauschanalysen stützen. Die Analysen verteilen sich auf die ganze Erde. Naturgemäß geben sie nicht ein genaues Bild der Häufigkeit der Gesteine, doch liegt in der Auswahl als Ganzes keine bestimmte Zielstrebigkeit vor.

Um zu erfahren, auf welche Weise sich dieser Mittelwert bildet, muß man die *Variationsbreite* der verschiedenen Oxyde kennen. Man erhält einen guten Überblick, wenn man die Häufigkeitstabellen von 1 zu 1 Gewichtsprozent konstruiert. Eine derartige Statistik habe ich für die von *Washington* mitgeteilte Sammlung von Eruptivgesteinsanalysen sowie für die *Osann'sche* Zusammenstellung versucht. Die auf-oder-abgerundeten Zahlen geben an, wie viele von 1000 analysierten Gesteinen einen bestimmten, von 1 zu 1 Prozent unterschiedenen Gehalt an den hauptsächlichsten Metalloxyden besitzen. Die Zahlen

¹⁾ *H. S. Washington*, Prof. Pap. 14, U. S. G. Survey 1903. Siehe auch die etwas abweichende Schätzung von *F. W. Clarke*, Data of Geochemistry Bull. U. S. Geol. Survey 491, 1911.

Tabelle 1.
Verteilungstabelle der Metalloxyde in den magmatischen Gesteinen
(Häufigkeitszahlen $\times 10^3$).

Oxyde	0-1 %	1-2 %	2-3 %	3-4 %	4-5 %	5-6 %	6-7 %	7-8 %	8-9 %	9-10 %	10-11 %	11-12 %	12-13 %	13-14 %	14-15 %	15-16 %	16-17 %	17-18 %	18-19 %	19-20 %	20-21 %	21-22 %	22-23 %	23-24 %	24-25 %	25-26 %	26-27 %	27-28 %	28-29 %	Mehr als 29 %	Gewichts- prozente
Al ₂ O ₃	3	2	3	4	3	4	5	3	6	13	20	36	68	93	101	143	136	122	86	52	45	18	12	8	3	1	1	3	2	3	Die Zahlen geben an, wie viele von je 1000 Analysen magmatischer Gesteine (Sammlung Washington) einen von 1 zu 1 Gewichtsprozent unterschiedenen speziellen Gehalt an den Metalloxyden besitzen.
Fe ₂ O ₃	134	208	209	154	104	64	41	28	24	15	4	5	3	1	—	2	—	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	2	
FeO	162	176	147	119	102	79	64	41	43	25	14	8	6	4	3	—	1	1	1	—	—	1	1	—	1	—	—	1	1	0	
MgO	324	151	96	96	71	58	43	44	26	12	14	13	8	5	5	4	2	3	2	3	3	2	2	1	1	2	2	1	—	6	
CaO	122	132	106	102	75	63	67	71	74	52	49	29	17	12	12	6	4	1	2	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	0	
K ₂ O	172	180	168	147	160	95	36	18	11	7	2	3	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0	
Na ₂ O	46	87	198	277	183	87	42	31	22	12	4	4	2	—	1	1	1	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
H ₂ O ⁺	447	294	159	51	30	9	4	3	1	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Tabelle 2.

Verteilung der Eruptivgesteine auf verschiedenen
SiO₂-Gehalt (Häufigkeitszahlen $\times 10^3$)

unter 30 Gewichtsprocente SiO ₂ . . .	ca. 5	von 1000
zwischen 30 und 40 %	ca. 25	" 1000
" 40 " 50 %	ca. 197	" 1000
" 50 " 60 %	ca. 330	" 1000
" 60 " 70 %	ca. 263	" 1000
" 70 " 80 %	ca. 175	" 1000
oberhalb 80 %	ca. 5	" 1000

Fig. 1. Verteilungskurven der Eruptivgesteinsanalysen in bezug auf den Gehalt an K₂O, CaO und Al₂O₃ (Analysensammlung von Washington).

sind also relative Häufigkeiten multipliziert mit 10³. Die Tabellen 1 und 2 beziehen sich auf die Sammlung von Washington, deren Mittelwerte oben hingeschrieben wurden. (Sammlung von nahezu 2000 Analysen bis 1903.) Mit Ausnahme von SiO₂, dessen Gewichtsprozentgehalt von ca. 30 bis 85 % schwankt (Tabelle 2), treten die anderen Oxyde äußerst selten mit einem Gehalt von mehr als 30 % auf (Tabelle 1). Deutlich erkennt man den verschiedenen Charakter der Metalloxyde in der Art der Verteilung der Gesteine auf die einzelnen Rubriken. Al₂O₃ und Na₂O besitzen ein deutliches Häufigkeitsmaximum

in der Nähe der Mittelwerte. Fast ein Drittel der magmatischen Gesteine enthält weniger als 1 % MgO, während andererseits ein immerhin noch beträchtlicher Teil über 20, ja 30 % MgO aufweist.

Fig. 2. Verteilungskurven der Eruptivgesteinsanalysen in bezug auf den Gehalt an Na₂O und MgO (Analysensammlung von Washington).

Man erkennt hier, abgesehen von SiO₂, die stärkste Differentiation. Einige der charakteristischen Häufigkeitskurven sind in den Diagrammen 1—3 wiedergegeben¹⁾. Daß es sich jetzt schon in großen Zügen um Gesetzmäßigkeiten handelt, die von den in einem Zeitraum jeweiligen zur Analyse ausgewählten Gesteinen unabhängig sind, zeigt ein Vergleich der Al₂O₃-Kurven, bezogen einerseits auf alle Eruptivgesteinsanalysen von 1880—1900, und andererseits auf die Tiefengesteinsanalysen

¹⁾ Die FeO- und Fe₂O₃-Kurven können wegen der chemisch-analytischen Schwierigkeiten noch keinen Anspruch auf Genauigkeit machen.

von 1890—1909 (Fig. 4). Naturgemäß hat man es aber mit Beziehungen zu tun, die erst durch weitere Sammlungen und Untersuchungen scharf gefaßt werden können, wobei vielleicht manche jetzt noch vorhandenen Unregelmäßigkeiten verschwinden werden. Doch ist jetzt schon festgestellt, daß infolge irgendwelcher gesetzmäßiger Zusammenhänge die chemische Variationsbreite der magmatischen Gesteine eine beschränkte und in gewissem Sinne zielstrebige ist. Die gleiche Erscheinung kommt in verstärktem Maße zum Ausdruck, wenn die Verhältnisse einer Betrachtung unterzogen werden, in denen die einzelnen Komponenten in den Gesteinen zusammen vorkommen.

Er findet für diese Verhältnisse, besonders die ersten zwei, gewisse relativ engbegrenzte Felder, außerhalb deren für normale Eruptivgesteine irrationale Werte vorkommen. So liegen in bezug auf das 1. Verhältnis nur 12 von 1250 in Untersuchung gezogenen Eruptivgesteinsanalysen außerhalb eines Feldes, das von $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2 - \text{R}_2\text{SiO}_4$ begrenzt ist. Für das Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{CaO} : (\text{Na}, \text{K})_2\text{O}$ ist charakteristisch, daß, abgesehen von lokalen sowie schlieren- und gangförmig auftretenden Bildungen, eine Übersättigung mit Tonerde über das Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3 : (\text{CaO} + (\text{NaK})_2\text{O}) = 1:1$ nur bei sehr sauren Eruptivgesteinen (und auch da nur in sehr geringem

Fig. 3. Typus der Verteilungskurven der Eruptivgesteinsanalysen in bezug auf den SiO_2 -Gehalt (Ordinatenmaßstab vergrößert) (Analysensammlung von Washington).

Fig. 4. Vergleich der Häufigkeitskurve von Al_2O_3 aller Eruptivgesteinsanalysen von 1880—1900 (Washington) (a) und der Tiefengesteinsanalysen von 1880—1909 (Washington-Osann) (b).

Naturgemäß bezieht man sich hierbei auf molekulare Werte. Hier haben besonders die Osannschen statistischen Untersuchungen aufklärend gewirkt. Osann¹⁾ berechnete die 4 molekularen Verhältnisse:

1. $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 : (\text{Fe}, \text{Mg}, \text{Ca})\text{O} = \text{SAIF-Verhältnis}$,
2. $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{CaO} : (\text{Na}, \text{K})_2\text{O} = \text{AlCAIK-Verhältnis}$,
3. $\text{Na}_2\text{O} : (\text{Na}, \text{K})_2\text{O} = \text{NK-Verhältnis}$,
4. $\text{MgO} : (\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} = \text{MC-Verhältnis}$.

Maße auftritt. Zwischen den verschiedenen Verhältnissen, beispielsweise dem NK-Verhältnis und AlCAIK-Verhältnis, herrschen ebenfalls enge Beziehungen, die gewisse Kombinationen erfahrungsgemäß ausschließen. Die gleichen Gesetzmäßigkeiten sind aus der für diesen Zweck ausgezeichneten Analysenregistriermethode von Cross, Iddings, Pirsson und Washington¹⁾ ersichtlich.

Hier werden die Analysen nach gewissen einheitlichen Prinzipien auf bestimmte Standardmolekularwerte bezogen, wobei es sich zeigt, daß

¹⁾ A. Osann, Petrochemische Untersuchungen I. Teil, Heidelberg 1913.

¹⁾ W. Cross, J. P. Iddings, L. V. Pirsson, H. S. Washington, Quantitative Classification of igneous rocks, Chicago 1903.

man in der Mehrzahl der Fälle mit einer sehr kleinen Zahl derartiger Verbindungen auskommt.

Folgendermaßen kann man wenigstens die Gesetzmäßigkeiten erster Ordnung in einem Bilde vereinigen. Man denkt sich die Zusammensetzung umgerechnet auf Molekularprozente von $(\text{SiO}_2 + \text{TiO}_2)$, $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $(\text{FeO} + \text{MgO} + \text{CaO})$, Al_2O_3 ¹⁾. In dem von diesen vier Stoffgruppen gebildeten Konzentrationstetraeder nehmen die typischen Eruptivgesteine nur einen kleinen Raum ein. Er erstreckt sich vom SiO_2 -Pol aus gegen die Verbindungen $[2(\text{R}^{\text{II}}\text{O}) \cdot \text{SiO}_2]$; $[\text{R}^{\text{II}}\text{Al}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{SiO}_2]$; $[\text{R}_2^{\text{II}}\text{Al}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{SiO}_2]$. Hauptsächlich infolge der Verrechnung von Fe_2O_3 zu FeO statt zu Al_2O_3 ist es notwendig, den Raum gegen den Pol der Alkalien

hat ihren besonderen Charakter. Die Gesteine eines Eruptivgebietes weisen bestimmte verwandtschaftliche Züge auf, die oft dem Gesamtgebiet ein eigenes Gepräge verleihen. Andererseits erkennt man analoge Zusammenhänge in weit entfernten Eruptionsprovinzen wieder; ein deutlicher Hinweis, daß es sich um universelle Abhängigkeiten handelt. Nicht selten gelingt es, die Verwandtschaften chemischer Art diagrammatisch festzulegen und so die Beziehungen zwischen den einzelnen Bestandteilen direkt zu erfassen. Der Begriff der Gesteinsassoziation ist zuerst an Hand der Zugehörigkeit gewisser Erzlagerstätten zu bestimmten Eruptivgesteinen dargelegt worden. Am augenfälligsten tritt er im Gangfolge tiefenmagmatischer Gesteine oder in der Sukzession der Laven ein und desselben Vulkanes zutage. Die ursächlichen Zusammenhänge reichen aber oft viel weiter, und manche Eruptionszyklen und Gesteinsreihen scheinen unter ähnlichen Umständen primär überall gültige Gesetze zu vertreten. So werden granitische und syenitische Gesteine fast stets von pegmatitischen Gängen durchbrochen, deren Intrusion sich direkt an die Erstarrung des Hauptstocks anschließt. Zwei Reihen der Gesteinsassoziation kommen in den extremen Gliedern meist getrennt, in den Mittelgliedern nicht selten gemeinsam vor, die sogenannten *pazifischen* und *atlantischen* Sippen (Kalkalkali- und Alkalireihen). Zeigt sich in der ersten Reihe eine ziemlich strenge Abhängigkeit des CaO -Gehaltes der Plagioklase vom Gesamtgehalt der Basen zweiwertiger Metalle, so fehlt diese in den anderen Gesteinen, die neben Alkalifeldspäten auch die weniger SiO_2 -reichen Feldspatstellvertreter (Nephelin, Analcim, Leucit) besitzen. Für die eine Reihe scheinen Gleichgewichtsverschiebungen nach der Gleichung

besonders maßgebend zu sein; für die andere Reihe außerdem noch

beziehungsweise

(Fortsetzung folgt.)

Die Entstehung der Kurzsichtigkeit.

Von Augenarzt Prof. Dr. G. Levinsohn, Berlin.

Die hohe Bedeutung einer Lösung des Problems von der Entstehung der Kurzsichtigkeit liegt hauptsächlich darin, daß mit einer Aufdeckung der Entstehungsursache gleichzeitig auch die richtige Waffe gegen die ungeheure Verbreitung der Kurzsichtigkeit und ihre zahlreichen Schädigungen gefunden ist. Wenn trotz der außerordentlich zahlreichen Bemühungen auf diesem Gebiete die erzielten Erfolge nur recht minimal genannt werden können, so muß der wesentliche Grund für diese Erscheinung auf die

Fig. 5. Raum für typische Eruptivgesteine im Konzentrationstetraeder:
 Al_2O_3 : $(\text{K}, \text{Na})_2\text{O}$: $(\text{Ca}, \text{Fe}, \text{Mg}, \text{Mn})\text{O}$: $(\text{Si}, \text{Ti})\text{O}_2$.

hin zu erweitern, entsprechend dem Auftreten ägirinartiger Moleküle. Die Abgrenzung kann nach dieser Seite ohne umfassende Neuberechnungen nur provisorisch angegeben werden, die Besetzungsdichtigkeit läßt sich mit der des Hauptteiles nicht vergleichen. In Fig. 5 findet man die Projektion einer derartigen Darstellung auf die Al_2O_3 - R_2O - RO -Ebene. Sie vermittelt gleichzeitig ein einigermaßen perspektivisches Bild, ob schon einzelne Kantenrichtungen aufeinanderfallen. Außerhalb des in dieser Figur gezeichneten Gesamtraumes für Eruptivgesteine liegen verhältnismäßig sehr wenige Analysen magmatischer Gesteine, sofern man von den Erzabsonderungen und Pegmatitbildungen absieht.

Damit sind aber die chemischen Gesetzmäßigkeiten noch lange nicht erschöpft. Die verschiedenen Typen der Eruptivgesteine finden sich nicht regellos vermischt vor, auch die *Gesteinsassoziation*

¹⁾ Fe_2O_3 muß leider bei derartigen statistischen Untersuchungen noch zu FeO geschlagen werden, weil die Bestimmungen des Oxydationsgrades von Eisen in Gesteinen meist unzuverlässig sind.