

## Synthetische Studien.

Von

Dr. **Hans Schleimer** in Graz.

Mit Taf. I, II.

---

Die Frage, von welchen Faktoren die Ausscheidungsfolge der Mineralien, insbesondere der Silikatmineralien aus Schmelzfluß abhängt, wird gegenwärtig viel erörtert.

H. L. VOGT<sup>1</sup> macht die Altersfolge hauptsächlich von der chemischen Zusammensetzung der Schmelze im Verhältnis zur eutektischen Mischung abhängig, indem er sagt: „Dasjenige Mineral, das im Verhältnis zur eutektischen Mischung im Überschuß vorhanden ist, kristallisiert zuerst aus.“ Den physikalischen Bedingungen weist er nur eine sekundäre Bedeutung zu.

Ungefähr denselben Standpunkt vertritt W. MEYERHOFFER<sup>2</sup>: „Maßgebend für die Reihenfolge der Ausscheidungen ist die chemische Zusammensetzung der Schmelze, verglichen mit der des eutektischen Punktes.“ Doch gibt er den Einfluß der Unterkühlung zu.

Im Gegensatze zu den genannten Forschern spricht C. DOELTER in seinen einschlägigen Arbeiten die Ansicht aus,

---

<sup>1</sup> H. L. VOGT, Die Silikatschmelzlösungen. I. Teil. Christiania 1903. p. 103.

<sup>2</sup> W. MEYERHOFFER, Schmelzpunkt und Ausscheidungsfolge der Mineralien. Zeitschr. f. Krist. **36**. 1902. p. 594.

daß man zur Erklärung der Ausscheidungsfolge mehrere Faktoren, wie die chemische Zusammensetzung der Schmelze, das Kristallisationsvermögen bzw. die Kristallisationsgeschwindigkeit, die Unterkühlung und die chemischen Reaktionen, die in der dissoziierten Schmelze vor sich gehen, in Betracht ziehen müsse.

Auch J. MOROZEWICZ<sup>1</sup> meint, daß die Altersfolge das Resultat mehrerer zusammenwirkender Momente, des Verhältnisses der Quantitäten der in Lösung befindlichen Verbindungen, der Löslichkeit im Magma, der individuellen Fähigkeit der Substanz, übersättigte Lösungen zu bilden, und der Temperaturverhältnisse sei.

Die Ausscheidungsfolge der Mineralien aus Schmelzfluß wird schon seit Jahren namentlich von C. DOELTER und seinen Schülern experimentell studiert. Die zahlreichen Versuche, die zunächst mit zwei Komponenten angestellt wurden, lieferten das wichtige Ergebnis, daß bei der Mineralausscheidung neben der chemischen Zusammensetzung der Schmelze die oben genannten Faktoren eine große Rolle spielen.

Zum exakten Studium der Silikatschmelzlösungen konstruierte sich DOELTER im Jahre 1903 ein Kristallisationsmikroskop für hohe Temperaturen, das direkte Temperaturmessung und direkte Beobachtung der Erstarrungsvorgänge im Magma zuläßt.

Auf Grund der an Versuchen mit zwei Komponenten gewonnenen Erfahrungen konnte man, um der Erklärung der Verfestigung der natürlichen Gesteine einen Schritt näher zu kommen, daran gehen, die Verhältnisse in komplizierteren, drei Komponenten enthaltenden Magmen zu untersuchen.

Versuche mit Mischungen von drei Komponenten sind bisher von C. DOELTER<sup>2</sup>, H. H. REITER<sup>3</sup> und R. FREIS<sup>4</sup> durchgeführt worden.

<sup>1</sup> J. MOROZEWICZ, Min.-petr. Mitt. 1899. 18. 229.

<sup>2</sup> C. DOELTER, Die Silikatschmelzlösungen. II. Mitt. Sitz.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. 113. 1904. p. 495.

<sup>3</sup> H. H. REITER, Experimentelle Studien an Silikatschmelzen. Dies. Jahrb. Beil.-Bd. XXII. 1906. p. 183.

<sup>4</sup> R. FREIS, Experimentaluntersuchungen über die Ausscheidungsfolge von Silikaten bei 2 und 3 Komponenten. Dies. Jahrb. Beil.-Bd. XXIII. 1907. p. 43.

In der vorliegenden Arbeit werden neben drei Versuchen mit Eläolith und Anorthit zwei Versuchsreihen mit Mischungen von je drei Komponenten besprochen.

Es wurden folgende Versuche angestellt:

A. Eläolith, Anorthit.

a) 5 Eläolith : 1 Anorthit.

b) 1 " : 1 "

c) 1 " : 3 "

B. Olivin, Labrador, Augit.

a) 25 Olivin : 55 Labrador : 20 Augit.

b) 15 " : 65 " : 20 "

c) 15 " : 50 " : 35 "

d) 10 " : 80 " : 10 "

e) 10 " : 50 " : 40 "

f) 10 " : 30 " : 60 "

g) 5 " : 70 " : 25 "

h) 5 " : 35 " : 60 "

C. Labrador, Augit, Magnetit.

a) 85 Labrador : 10 Augit : 5 Magnetit.

b) 80 " : 10 " : 10 "

c) 75 " : 10 " : 15 "

d) 70 " : 20 " : 10 "

e) 50 " : 35 " : 15 "

f) 50 " : 45 " : 5 "

g) 45 " : 45 " : 10 "

h) 35 " : 60 " : 5 "

i) 30 " : 60 " : 10 "

Die Versuche wurden in der Weise ausgeführt, daß die feingepulverten, innig gemengten Mineralien in Porzellantiegeln im Fourquignon-Ofen zum Schmelzen gebracht — der Schmelzprozeß dauerte je nach der Zusammensetzung der Mischung 1—2 Stunden —, die Schmelzen längere Zeit, während welcher oft gerührt wurde, im Flusse erhalten und dann zur weichteigigen Konsistenz abgekühlt wurden. Dieser Viskositätsgrad wurde durch 3—4 Stunden beibehalten, worauf die Abkühlung durch weitere 3 Stunden fortgesetzt wurde, so daß die Dauer der einzelnen Versuche, Schmelz- und Abkühlungsdauer zusammengerechnet, 9 Stunden betrug.

Wo dieser Abkühlungsmodus nicht eingehalten wurde, wird dies besonders vermerkt.

Die Schmelzpunktmessungen der kristallinen Gemenge und der Glasproben, die den Schmelzen im Zustande des Flüssigseins entnommen worden waren, wurden im horizontalen elektrischen Ofen vorgenommen.

Aus der gepulverten Mischung wurden kleine Tetraeder geformt, auf einem Platinschlitten in den Ofen eingeführt und so lange darin belassen, bis das Tetraeder nach Abflachung der Kanten mit seiner Basis an die Unterlage anzuschmelzen begann, so zwar, daß es bei Aufwand einer geringen Kraft noch unversehrt abgehoben werden konnte. Bei gewissen Mischungen, die vorwiegend Augit-Magnetit enthielten, gelang dies nicht mehr, da eine Temperaturerhöhung von nur  $10^{\circ}$  völlige Verflüssigung zur Folge hatte. Die Punkte des beginnenden Anschmelzens sind mit  $\Delta_2$  und jene der Kantenabflachung mit  $\Delta_1$  bezeichnet. Die Punkte  $\Delta_1$  wurden nur bei der Eläolith-Anorthit-Reihe gemessen.

Bei der Bestimmung der Erweichungs- und Flüssigkeitspunkte der Gläser wurden meist Fäden von ungefähr 0,5 mm im Durchmesser verwendet, die, quer über den Platinschlitten befestigt, in den Röhrenofen eingeführt und mit dem Fernrohre betrachtet wurden. Die Punkte  $T_1$ , bei denen eine Krümmung des Fadens beobachtet wurde, bezeichnen die Erweichungspunkte, und die Punkte  $T_2$ , bei denen der Faden abschmolz, die Flüssigkeitspunkte.

In jenen Fällen, wo ein Fadenziehen infolge der Dünne der Flüssigkeit der Schmelze nicht möglich war, wurden kleine, angeschliffene Stücke in Verwendung gebracht. Die Punkte  $T_1$  geben jene Temperaturen an, bei denen eine Abrundung der Kanten erfolgte, während die Punkte  $T_2$  den Beginn des Anschmelzens an die Unterlage bezeichnen und so als Punkte des völligen Flüssigseins aufzufassen sind.

Da diese Schmelzpunktsbestimmungen nur approximative sind, werden sie nur der Vervollständigung der Kristallisationsversuche wegen bei den einzelnen Versuchen angeführt.

## Spezieller Teil.

### A. Eläolith—Anorthit-Reihe.

Zu den drei Versuchen dieser Reihe wurden verwendet: Eläolith vom Ilmengebirge und Anorthit von Pizmeda.

Der Eläolith wurde im hiesigen Laboratorium von TEDESCHI analysiert. Die Analyse ergab:

Si O <sub>2</sub> . . . . .	43,27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	36,52
Na <sub>2</sub> O . . . . .	16,73
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,25
Mg O . . . . .	Spuren

#### Versuch a. 5 Eläolith, 1 Anorthit.

$$A_1 = 1190^\circ, A_2 = 1225^\circ, T_1 = 1030^\circ, T_2 = 1165^\circ.$$

Der Dünnschliff zeigt u. d. M. auffallend viele und große Anorthitdurchschnitte mit Schichtenbau. Die großen Tafeln zeigen auf P eine Auslöschung von 30—34°. Als Einschlüsse enthält der Plagioklas kleine, hexagonale, stark lichtbrechende Korundkriställchen und lange, dünne, oft verfilzte Aggregate bildende Fasern und Säulchen von starker Doppelbrechung, die als Sillimanite gedeutet werden müssen. Außerdem finden sich in der erstarrten Schmelze große Nepheline vor, die sich im Dünnschliffe durch isotrope, hexanguläre Basisschnitte kennzeichnen. Auch der Nephelin enthält Korund- und Sillimaniteinschlüsse.

Was die Kristallisationsfolge betrifft, sind die Neubildungen Korund und Sillimanit die ersten Ausscheidungsprodukte.

Bezüglich der Frage, ob Anorthit oder Nephelin älteren Ursprungs sei, konnten keine sicheren Anhaltspunkte gefunden werden.

#### Versuch b. 1 Eläolith, 1 Anorthit.

$$A_1 = 1200^\circ, A_2 = 1220^\circ, T_1 = 1045^\circ, T_2 = 1155^\circ.$$

Dieses Magma ergab neben Korund, Sillimanit, Anorthit und Nephelin noch Spinell, der in farblosen, stark lichtbrechenden, isotropen Oktaederdurchschnitten auftritt und wahrscheinlich ein Ca-Spinell ist.

Der Nephelin hat sich größtenteils mesostatisch zwischen den großen, scharf begrenzten, Korund, Spinell und Sillimanit führenden Anorthitprismen ausgeschieden.

Zu bemerken wäre noch, daß die Menge der ausgeschiedenen Korundkriställchen und Sillimanitnadeln im Vergleich zu Versuch a bedeutend zurücktritt.

Als Erstlingsprodukte sind Korund, Spinell, Sillimanit zu betrachten. Der Anorthit ist entschieden älter als der Nephelin.

#### Versuch c. 1 Eläolith, 3 Anorthit.

$$\Delta_1 = 1205^\circ, \Delta_2 = 1235^\circ, T_1 = 1080^\circ, T_2 = 1170^\circ.$$

Auch hier haben sich Korund, Spinell und Sillimanit neu gebildet, nur sind die Sillimanitausscheidungen noch seltener als in b. Alle drei Mineralien kommen in dem reichlich individualisierten Anorthit als Einschlüsse vor. Nephelin ist wieder nur als Mesostasis zur Ausscheidung gelangt.

Die Reihenfolge der Ausscheidungen stimmt also mit der in Versuch b überein.

#### Zusammenfassung.

Vor allem fällt die Neubildung von Korund, Spinell und Sillimanit auf, die jedenfalls auf eine weitgehende Dissoziation der Schmelzlösung schließen läßt.

J. MOROZEWICZ<sup>1</sup> hält für die Ausscheidung dieser Mineralien das Verhältnis der Basen zur Tonerde und Kieselsäure für maßgebend und meint, daß sich Korund, Spinell und Sillimanit aus übersättigten Alumosilikatlösungen ausscheiden können, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

Die mit  $\text{Al}_2\text{O}_3$  übersättigte Lösung hat die Zusammensetzung  $(\text{K}_2\text{Na}_2\text{Ca})\text{O} \cdot m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot n\text{SiO}_2$ . Ist  $n$  nicht größer als 6 und ist der Gehalt der Lösung an  $\text{MgO}$  und  $\text{FeO}$  nicht zu groß, so scheidet sich der Überschuß an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in Korundform aus, enthält aber die Lösung mehr als 0,5 %  $\text{MgO}$  und  $\text{FeO}$ , in Spinellform und endlich als Sillimanit, wenn  $n$  größer als 6 und wenn  $\text{MgO}$  in der Lösung nicht enthalten ist.

Nach MOROZEWICZ schließen sich also Korund- und Sillimanitbildung gegenseitig aus, da für die erstere  $n$  nicht größer

<sup>1</sup> J. MOROZEWICZ, TSCHERM. Min.-petr. Mitt. 1899. 18.

als 6 und für letztere  $n$  größer als 6 gefordert wird. Nun hat sich in meinen Versuchen aus allen Eläolith—Anorthitmagmen, wenn auch in verschiedenen Mengen, sowohl Korund als auch Sillimanit ausgeschieden, welche Tatsache beweist, daß die von MOROZEWICZ für die Korund- und Sillimanit-ausscheidung aufgestellten Regeln nicht allgemeine Geltung beanspruchen können.

Das Verhältnis der Basen zu  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$  wird bei der Bildung dieser Mineralien sicherlich eine Rolle spielen, nur darf es, so glaube ich, nicht so streng präzisiert werden, da es durch Verschiedenheit des Dissoziationsgrades, durch Verschiedenheit der Abkühlungsbedingungen, der Abkühlungstemperatur und der Abkühlungsgeschwindigkeit, eine Abänderung erfahren kann.

Zur Bildung von Korund, Spinell und Sillimanit war ein Überschuß an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  über die zur Anorthit- und Nephelinbildung erforderliche Menge nötig.

Wenn sich Ca-Spinell nur in den Schmelzlösungen b und c gebildet hat, so liegt die Ursache hierfür offenbar in dem höheren Gehalte dieser Lösungen an CaO.

Korund und Sillimanit haben sich aus dem Schmelzflusse a infolge des höheren Prozentgehaltes an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$  am reichlichsten abgeschieden. Nach HINTZE's Handbuch der Mineralogie, II. Bd., p. 1549 beträgt nämlich der Höchstgehalt des Anorthits von Pizmeda an  $\text{SiO}_2$  42,79 % und der an  $\text{Al}_2\text{O}_3$  36,04 %, woraus zu ersehen ist, daß das Magma 5 Eläolith, 1 Anorthit einen größeren Gehalt an Kieselsäure und Tonerde enthielt als die Magmen b und c.

Was die Altersfolge betrifft, so sind die neugebildeten Mineralien die ersten Ausscheidungsprodukte. Der Anorthit ist älter als der Nephelin, der nur in Versuch a vielleicht infolge des größeren Mengenverhältnisses fast gleichzeitig mit Anorthit zur Ausscheidung gekommen zu sein scheint.

### Schmelzpunktmessungen.

Eine Erniedrigung des Schmelzpunktes der kristallinen Mischungen unter den Schmelzpunkt der niedriger schmelzenden Komponente (Eläolith  $T_2 = 1190^\circ$ ) hat nicht stattgefunden. Die Punkte  $\Delta_1$  fallen mit dem Schmelzpunkte ungefähr zusammen.

Bei den Gläsern liegen die Punkte  $T_1$  90—195° unter den entsprechenden Punkten  $T_2$ . Die größte Differenz zwischen dem Umwandlungspunkte und dem Flüssigkeitspunkte hat sich bei der Mischung 1 Eläolith, 3 Anorthit ergeben, die in der durch den höheren Gehalt des Glases an An gegebenen größeren Viskosität begründet ist.

### B. Olivin—Labradorit—Augit-Reihe.

Zu den Versuchen dieser Reihe wurden verwendet: Olivin (angeblich) von Almeklovdal — die Versuche d, e, f wurden mit Olivin von Ceylon wiederholt —, Labradorit von Kamenoi Brod und Augit von den Monti Rossi.

#### Versuch a. 25 Olivin, 55 Labrador, 20 Augit.

$$A_2 = 1205^\circ, T_1 = 1020^\circ, T_2 = 1175^\circ.$$

Schon makroskopisch läßt die erstarrte Schmelze eine kristalline und eine glasige Partie unterscheiden.

U. d. M. erscheint die obere Zone mit großen, grünen Augiten übersät. Wir sehen ferner Plagioklastafeln mit scharfer kristallographischer Begrenzung, die Zwillingsstreifung und Schichtenbau zeigen. Zwischen die kristallinen Bildungen ist stellenweise Glas eingebettet (Taf. I Fig. 1).

Diese Zone geht allmählich über in eine glasreichere, nur Plagioklas führende Partie.

Olivin ist nirgends vorhanden und ist offenbar teils im Glase stecken geblieben, teils zur Konstitution des Augits verwendet worden.

Die Altersfolge der ausgeschiedenen Komponenten ist klar ausgedrückt: Die idiomorphen Plagioklase, welche hohe Auslöschung zeigen, sind entweder ganz oder doch z. T. von Augit umschlossen, während nur selten Augitkriställchen als Einschluß im Feldspat auftreten. Im großen und ganzen wird sich also der Plagioklas vor dem Augit ausgeschieden haben.

Bei diesem Versuche ist bemerkenswert, daß der Augit nur in den oberflächlichen Schichten auskristallisiert ist. woraus eine Differentiation entgegen dem spezifischen Gewichte resultiert.

Die Ursache dieser Erscheinung wird vermutlich in der Abkühlungstemperatur zu suchen sein; denn in den höher gelegenen Schichten war infolge des wiederholten Abhebens des Tiegeldeckels und der größeren Entfernung vom Brennloch die Temperatur 30—50° niedriger als am Boden des Tiegels. Hierfür spricht die wiederholt beobachtete Tatsache, daß die Schmelze bisweilen oben fast starr war, während eine Untersuchung nach beendeter Abkühlung eine Durchschmelzung des Bodens des Tiegels ergab. In diesen Fällen mußte der betreffende Versuch wiederholt werden.

Es hat sich in den unteren Teilen neben Glas nur Plagioklas gebildet, während in den oberen Schichten der Augit typisch in großen Kristallen und in reicher Menge auskristallisieren konnte.

Auch der Umstand, daß bei diesem Versuche insofern vom allgemeinen Abkühlungsmodus abgewichen wurde, als die dünnflüssige Schmelze zu einem geringeren Viskositätsgrade abgekühlt und dieser bis ans Ende der Abkühlung beibehalten wurde, daß also die Schmelze sich bei einer ziemlich hohen Temperatur verfestigte, kann das Zustandekommen der Differentiation bedingt haben, da die Möglichkeit, daß in den unteren Teilen die Temperatur während der Erstarrung höher war als der Schmelzpunkt des Augits, nicht ausgeschlossen ist.

Auf die Nichtausscheidung des Olivins will ich bei der Zusammenfassung der in dieser Versuchsreihe erhaltenen Resultate noch zurückkommen.

#### Versuch b. 15 Olivin, 65 Labrador, 20 Augit.

$$A_2 = 1210^\circ, T_1 = 1050^\circ, T_2 = 1195^\circ.$$

Die Schmelze enthielt die gleiche prozentuale Augitmenge wie die in a, aber 10 % mehr Labrador und 10 % weniger Olivin.

Trotz des gleichen Mengenverhältnisses ist der Augit in bedeutend geringerer Menge zur Ausscheidung gekommen.

Olivin hat sich nur vereinzelt ausgeschieden.

Der Plagioklas, der wieder Zonarstruktur zeigt, ist reichlich vorhanden. Der Kern der zonaren Kristalle hat auf P

eine Auslöschung von  $17^\circ$ , die Hülle eine solche von  $27^\circ$ . Der Kern ist also Ab-reicher, die Hülle An-reicher.

Da Olivin nur spärlich auskristallisiert ist, kann sein Alter nicht mit Sicherheit festgestellt werden.

Bezüglich der Altersfolge zwischen Plagioklas und Augit ist zu bemerken, daß sich letzterer, der an einzelnen Stellen als Einschluß im Feldspat vorkommt, teils vor, teils nach dem ersteren ausgeschieden hat.

Eine Differenzierung ist in dieser Schmelze nicht zu beobachten.

Die Verschiedenheit der abgeschiedenen Augitmengen, trotz desselben Prozentgehaltes in diesem und dem vorausgehenden Versuche, läßt den Schluß zu, daß die reiche Augit-ausscheidung in a auf Kosten des dissoziierten Olivins erfolgt ist.

#### Versuch c. 15 Olivin, 50 Labrador, 35 Augit.

$$A_2 = 1205^\circ, T_1 = 1080^\circ, T_2 = 1195^\circ.$$

Der untere Teil der Schmelze enthält nur spärliche Ausscheidungen von Plagioklas und Augitmikrolithen und einigen Olivinen. Er besteht hauptsächlich aus Glas.

Häufiger sind die Ausscheidungen in den oberen Lagen. Hier hat sich Olivin zum erstenmal in großen, typischen, lebhaft polarisierenden Kristallen abgesetzt.

Der Plagioklas tritt nur spärlich, und zwar in Leisten- und Nadelform auf, ist randlich stark korrodiert und bildet die Zwischenklemmungsmasse für die zahlreichen, großen Augite, die Olivineinschlüsse zeigen.

Daher ist der Olivin als erstes Bildungsprodukt zu betrachten.

Der Augit ist nach dem Gesagten älter als der Plagioklas.

Die gleiche Mischung wurde von C. DOELTER<sup>1</sup> unter dem Kristallisationsmikroskop untersucht. DOELTER konstatierte bei  $1160^\circ$  Olivinbildung, bei  $1150^\circ$  geringe Augitbildung. Bei  $1145^\circ$  schieden sich kleine Mengen von Augit und Plagioklas ab, bei  $1130^\circ$  trat starke Augitbildung ein und erst bei

<sup>1</sup> C. DOELTER, l. c. II, Mitteilung.

1120° begann sich die Hauptmasse des Plagioklases auszuscheiden.

In meinem Versuche ist es offenbar wegen der nicht weit genug fortgesetzten langsamen Abkühlung zu einer starken Plagioklasbildung nicht gekommen. Die Plagioklasnadeln dürften sich wie bei DOELTER unmittelbar nach Beginn der Augitausscheidung gebildet haben.

**Versuch d. 10 Olivin, 80 Labrador, 10 Augit.**

$$A_2 = 1205^\circ, T_1 = 1050^\circ, T_2 = 1175^\circ.$$

I. Da der Dünnschliff nur Plagioklasleisten aufweist, wurde der Versuch mit Olivin angeblich von Ceylon wiederholt.

II. Die erstarrte Schmelze zeigt ausgesprochene Porphystruktur, und zwar Intersertalstruktur. Als Einsprengling fungiert der Plagioklas, dessen Hauptausscheidung aber erst nach der Bildung von etwas Augit eingesetzt hat (Taf. I Fig. 2). Die Plagioklase umschließen nämlich ziemlich große Augitkristalle. Im übrigen hat sich der Augit grundmasseartig verfestigt.

Die Olivinindividuen sind klein, zu perlschnurartigen Ketten aneinandergereiht, und verleihen gewissen Partien ein körneliges Aussehen.

Als Plagioklaseinschluß ist der Olivin als erstes Bildungsprodukt anzusehen.

Was das Alter von Augit und Plagioklas betrifft, kann behauptet werden, daß die größeren Augitkristalle vor, die Augitkörner nach der Ausscheidung der Hauptmasse des Plagioklases zur Individualisation gelangt sind.

**Versuch e. 10 Olivin, 50 Labrador, 40 Augit.**

$$A_2 = 1190^\circ, T_1 = 1120^\circ, T_2 = 1185^\circ.$$

I. Auch hier ergab der erste Versuch neben reicher Glasbildung nur geringe Plagioklas- und Augitausscheidungen, weshalb der Versuch nochmals angestellt wurde, und zwar wieder mit Olivin angeblich von Ceylon.

II. Der reichlich abgesetzte Olivin zeigt lebhaftere Polarisierung und gerade Auslöschung, enthält keinerlei Einschlüsse

— von einigen Glaseinlagerungen abgesehen — und bildet an einigen Stellen Ansatzpunkte für die Plagioklasprismen.

In den unteren Teilen der Schmelze finden sich neben Olivin nur Feldspatleisten vor, Augit fehlt hier ganz und tritt nur in den oberen Zonen auf.

Der Olivin, der sich als Fe-haltig erweist, dürfte sich teilweise auf Kosten des Augits in so reicher Menge ausgeschieden haben.

Die Abkühlungstemperatur war wie in Versuch a nur in den höheren Schichten der Augitbildung günstig, wo er älteren Ursprungs ist als der Plagioklas.

Der Olivin ist in beiden Partien das erste Bildungsprodukt.

#### Versuch f. 10 Olivin, 30 Labrador, 60 Augit.

$$A_2 = 1185^\circ, T_1 = 1140^\circ, T_2 = 1180^\circ.$$

I. Mikroskopisch erweist sich die Schmelze als ein schwarzbraunes, Fe-reiches Glas, in das ziemlich große Augite eingebettet sind. Der Plagioklas ist nur durch spärliche Leisten vertreten. Olivin fehlt.

II. Der zweite Versuch, der wieder mit demselben Olivin durchgeführt wurde, lieferte ein günstigeres Resultat. Die Schmelze enthält Olivin in langen Leisten und sechsseitigen Durchschnitten, gut ausgebildeten Fe-armen Augit, der den Olivin bisweilen ganz umschließt, und spärliche Plagioklasleisten.

Die Altersfolge ist also: Olivin, Augit, Plagioklas.

Die Ursache, daß die Schmelzen dI, eI, fI der Hauptsache nach glasig erstarrt sind, liegt in den ungünstigen Abkühlungsbedingungen. Die Abkühlung erfolgte zu rasch und die große innere Reibung war der Abscheidung der Komponenten hinderlich.

Bei der Wiederholung dieser Versuche wurden die Schmelzmassen auf geringere Viskosität abgekühlt. Die höhere Erstarrungstemperatur und die verminderte innere Reibung waren der Mineralausscheidung günstig, insbesondere der Augitbildung günstiger. Zur Bildung von größeren Olivinen ist es infolge der raschen Abkühlung nur ausnahmsweise gekommen.

**Versuch g. 5 Olivin, 70 Labrador, 25 Augit.**

$$A_2 = 1195^\circ, T_1 = 1120^\circ, T_2 = 1170^\circ.$$

Olivin tritt nur selten, und zwar nur in den glasig erstarrten Teilen der Schmelze in deutlicher Kristallform auf.

Plagioklas und Augit haben sich differenziert, insofern die oberen Schichten vorwiegend Augit, die unteren vorwiegend Plagioklas enthalten.

Bezüglich der Ausscheidungsfolge erscheint der Olivin als erstes Bildungsprodukt, während die Entscheidung der Frage, ob Plagioklas oder Augit älter sei, nicht gut getroffen werden kann.

**Versuch h. 5 Olivin, 35 Labrador, 60 Augit.**

$$A_2 = 1205^\circ, T_1 = 1070^\circ, T_2 = 1175^\circ.$$

Die Schmelze zeigt Differentiation in eine glasreiche und eine glasarme Partie. In der ersteren finden sich wieder vorwiegend Plagioklasprismen, während letztere von gut ausgebildeten Augiten und fast farblosen Olivinen erfüllt ist. Der Plagioklas fehlt hier beinahe ganz.

Die Reihenfolge der Ausscheidungen ist: Olivin, Augit, Plagioklas (Taf. I Fig. 5).

C. DOELTER<sup>1</sup> erhielt bei diesem Versuche bei 1195—1190° neben Olivin- auch Magnetitbildung. Der Beginn der Augitausscheidung (1190°) liegt 60° vor dem Beginne der Plagioklasbildung (1130°). Interessant ist die Neubildung des Magnetits, die in meinem Versuche nicht erfolgt ist.

**Zusammenfassung.**

Olivin hat sich immer zuerst ausgeschieden, auch wenn der Gehalt der Schmelze an diesem Silikat nur 5—10% betrug.

H. L. VOGT<sup>2</sup> erklärt die Erstbildung des Olivins vor Labrador und Augit durch das W. NERNST'sche Löslichkeitsgesetz, nach welchem die Löslichkeit eines Salzes durch Zusatz eines zweiten mit gemeinschaftlichem Ion erniedrigt wird,

<sup>1</sup> C. DOELTER, Sitz.-Ber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. **113**. 495. 1904.

<sup>2</sup> H. L. VOGT, Die Silikatschmelzlösungen. Christiania 1903. II. Teil. p. 156.

und meint, daß bei Gegenwart einer „nennenswerten“ Augitmenge in einem Olivin-Feldspatmagma die Löslichkeit des Olivins infolge der gemeinschaftlichen Mg-Fe-Ionen erniedrigt wird und die Kristallisation des Olivins selbst bei einer geringen Olivinmenge (15—20 %) früher beginnen muß als die der übrigen Silikatminerale, daß dagegen die Ausscheidung des Olivins bei einer kleinen Olivinmenge erst beginnen kann, nachdem sich eine größere oder kleinere Menge von Augit oder Plagioklas bereits ausgeschieden hat.

Die aus dem Löslichkeitsgesetze abgeleitete Erklärung VOGT's für die Erstbildung des Olivins scheint aber nicht ganz richtig zu sein, da wir einerseits im Versuch a trotz des Gehaltes der Schmelze an 25 % Olivin keine Olivinausscheidung, andererseits aber in mehreren Versuchen bei einer geringeren Olivinmenge (5 % und 10 %) Olivin als erstes Bildungsprodukt erhalten haben.

Man wird also zur Erklärung der Erstbildung des Olivins in den natürlichen Gesteinen und künstlichen Schmelzen nicht nur das Gesetz der Löslichkeitserniedrigung durch gemeinschaftliche Ionen bei Gegenwart von 15—20 % Olivin, sondern auch, und zwar in erster Linie jene Faktoren, die die Anwendung dieses Gesetzes voraussetzt, die Ionenspaltung und außerdem die Temperaturverhältnisse heranziehen müssen. Da wir aber nicht wissen, wie weit die Ionisierung eines Magmas vorschreiten kann und in einem konkreten Falle vorgeschritten ist, wird auch die Anwendbarkeit des Gesetzes der Löslichkeitserniedrigung auf die Silikatschmelzen überhaupt noch vorher näher zu erforschen sein.

Die Ursache für die Nichtausscheidung des Olivins in dI, eI und fI liegt in den Abkühlungsverhältnissen, in der niedrigen Erstarrungstemperatur, der durch diese bedingten großen inneren Reibung und der zu raschen Abkühlung.

Da die Olivinausscheidung eine relativ hohe Temperatur voraussetzt und dieses Temperaturgebiet bei der Abkühlung rasch durchlaufen wurde, ist der Olivin in die Bildung des Glases eingegangen.

In Versuch a war die Erstarrungstemperatur ziemlich hoch, die Viskosität besonders in den unteren Teilen der Schmelze gering und die Dauer der Abkühlung im Verhältnis

zu den übrigen Versuchen eine längere. Wenn sich trotzdem kein Olivin ausgeschieden hat, kann die Ursache seiner Nichtausscheidung in einer weitgehenden Dissoziation der Schmelze liegen.

Was die Altersfolge zwischen Augit und Plagioklas betrifft, so hat sich infolge des labilen Gleichgewichtes der unterkühlten Lösungen — die Ausscheidung erfolgt bei künstlichen Schmelzen meist im unterkühlten Zustande — bald diese, bald jene Komponente zuerst abgeschieden.

Augit zeigt die Tendenz, sich vermöge seines größeren Kristallisationsvermögens und seiner größeren Kristallisationsgeschwindigkeit vor dem Plagioklas zu individualisieren. Doch darf die Erstarrungstemperatur nicht zu hoch sein. In den kristallinen Teilen der Schmelzen tritt der Augit meist als erstes Ausscheidungsprodukt auf, während in den tieferen Schichten, die bei einer 30—50° höheren Temperatur erstarrt sind, fast nur Plagioklas zur Ausscheidung gekommen ist.

Dadurch ist also eine Differenzierung der Schmelze in eine glasreiche, nur Feldspat führende und eine kristalline Partie gegeben.

Am schönsten ist diese Sonderung in der Schmelze ausgedrückt. Die oberflächlichen, nur wenig Glas enthaltenden Schichten sind von reichlichen Augit- und Plagioklasausscheidungen erfüllt. Nach der Tiefe werden die Augitausscheidungen immer geringer und in den untersten Partien fehlt von Augit jede Spur.

Die Schmelze verfestigte sich, wie bereits bemerkt wurde, bei einer relativ hohen Temperatur, so daß die Erstarrungstemperatur in den oberen Teilen etwa 1140—1170°, in den unteren ungefähr 1200° betragen haben mag. Bei 1200° ist aber, da sich kein Mineral über seinem Schmelzpunkte auszuscheiden vermag, Augitbildung nicht mehr möglich, weshalb nur Kalk-Plagioklas, dessen obere Individualisationsgrenze höher liegen dürfte als die des Augits, auskristallisieren konnte.

Diese Differentiationserscheinungen sind also sehr wahrscheinlich z. T. auf die der Augitbildung ungünstige hohe Erstarrungstemperatur der unteren Schichten des Magmas zurückzuführen.

Neubildungen treten in dieser Reihe nicht auf, wohl aber scheint sich der ausgeschiedene Plagioklas nach seiner hohen Auslöschung der chemischen Zusammensetzung des Anorthits zu nähern.

### C. Labrador—Augit—Magnetit-Reihe.

Bei dieser Versuchsreihe wurde der gleiche Labrador und der gleiche Augit wie in der Olivin—Labrador—Augit-Reihe und Magnetit von Mulatto verwendet.

#### Versuch a. 85 Labrador, 10 Augit, 5 Magnetit.

$$A_2 = 1220^\circ, T_1 = 1020^\circ, T_2 = 1195^\circ.$$

Die Schmelze zeigt ausgesprochene Porphyrstruktur (Taf. I Fig. 3) mit annähernd panidiomorpher Grundmasse. Als Einsprengling tritt der Plagioklas auf, dessen Auslöschung auf P 21—24°, auf M 40° beträgt. Die chemische Zusammensetzung des Plagioklases nähert sich also der des Anorthits. Einzelne Prismen haben eine Länge von 0,3 mm und eine Breite von 0,2 mm. Als Einschluß enthält der Plagioklas Magnetitoktaeder, die trotz des geringen Prozentgehaltes reichlich in allen Teilen der Schmelze auskristallisiert sind, und einzelne, kleine, fast farblose Augite. Sonst ist Augit meist nur in Körnerform grundmasseartig zur Ausscheidung gelangt und dürfte, da er ausgebleicht ist, FeO zur Magnetit- und CaO zur Anorthitbildung abgegeben haben. Bisweilen bilden die Plagioklasleisten und -Tafeln Ansatzpunkte für den Magnetit, woraus geschlossen werden darf, daß sich das Magneteisen z. T. auch nach der Plagioklasausscheidung individualisiert hat.

Was die Altersfolge betrifft, so hat sich Magnetit zuerst und fast gleichzeitig mit ihm auch etwas Augit gebildet, hierauf setzte starke Plagioklasbildung ein, nach der wieder Augit- und Plagioklasausscheidung erfolgte.

#### Versuch b. 80 Labrador, 10 Augit, 10 Magnetit.

$$A_2 = 1210^\circ, T_1 = 1055^\circ, T_2 = 1190^\circ.$$

Die chemische Zusammensetzung dieser Lösung stimmt mit der vorhergehenden beinahe überein. Damit ist auch eine Übereinstimmung in den Strukturen und der Altersfolge der ausgeschiedenen Komponenten gegeben (Taf. I Fig. 4).

Auch diese Schmelze ist porphyrisch erstarrt. Die Porphystruktur ist durch ziemlich große, idiomorph ausgebildete Plagioklase mit deutlichem Zonenbau und durch grundmasseartig ausgeschiedenen Augit ausgeprägt.

Nach der Auslöschungsschiefe ist der Plagioklas wieder in die Anorthitreihe zu verlegen und schließt Magnetit, der über den ganzen Schliff gleichmäßig verteilt ist und an gewissen Stellen typische Skelette bildet, und geringe Mengen von Augit ein.

Die Altersfolge ist analog der im früheren Versuche: Zuerst hat sich Magnetit und etwas Augit gebildet, dann erfolgte die Hauptausscheidung von Plagioklas, zuletzt Augitbildung.

**Versuch c. 75 Labrador, 10 Augit, 15 Magnetit.**

$$A_2 = 1205^\circ, T_1 = 1015^\circ, T_2 = 1185^\circ.$$

U. d. M. zeigt die Schmelze wieder ausgesprochene Porphy- und zwar Intersertalstruktur (Taf. I Fig. 5).

Porphyrisch ausgebildet sind die idiomorphen Plagioklase, welche Einschlüsse von Magnetit und zuweilen auch von Augit aufweisen. Auch hier deutet die Auslöschungsschiefe des Plagioklases auf seine Zugehörigkeit zum Anorthit hin. Die Feldspäte werden von der Glasbasis, in der nur spärliche Augite liegen, zusammengekittet.

Magnetit ist reichlich ausgeschieden und bildet Dendriten.

Auch bei diesem Versuche sind also Magnetit und geringe Mengen von Augit vor dem Plagioklas zur Ausscheidung gekommen.

Die Erstarrung der gleichen Schmelze wurde von C. DOELTER<sup>1</sup> unter dem Kristallisationsmikroskop beobachtet. DOELTER konstatierte bei 1190° geringe Magnetit- und Augitbildung, bei 1185° starke Plagioklasausscheidung, bei 1180° wieder Ausscheidung von Magnetit und Augit und von 1170—1050° Bildung von Plagioklas und Wachsen desselben.

Es hat sich also auch beim Versuche DOELTER's trotz der

<sup>1</sup> C. DOELTER, Die Silikatschmelzen. II. Mitt. Sitz.-Ber. K. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. **113**. 1904. p. 495.

überwiegenden Menge des Plagioklases zuerst etwas Magnetit und Augit gebildet.

Auffällig ist hierbei die Augitausscheidung bei 1190° und 1180° in nicht unterkühltem Zustande.

**Versuch d. 70 Labrador, 20 Augit, 10 Magnetit.**

$$A_2 = 1205^\circ; T_1 = 1060^\circ; T_2 = 1205^\circ.$$

Die quantitativen Verhältnisse der Ausscheidungen liegen in dieser Schmelze anders als in den früheren. Vor allem tritt die Menge des ausgeschiedenen Magnetits bedeutend zurück, nur vereinzelte Kriställchen liegen in dem reichlich gebildeten Augit.  $Fe_3O_4$  dürfte teils in die Bildung des Fe-reichen Glases eingegangen, teils zur Konstitution des Augits verwendet worden sein (Taf. II Fig. 1).

Auch der Plagioklas hat sich in geringerer Menge individualisiert und ist nur durch schmale Prismen mit Augit- und Glaseinschlüssen vertreten. Doch hat er sich z. T. vor dem Augit gebildet, der in dem kristallinen Teile der Schmelze meist als Zwischenklemmungsmasse zwischen den Plagioklasleisten auftritt. Dafür spricht auch die Tatsache, daß er in den glasreicheren Teilen der Schmelze bereits individualisiert ist, während hier von Augit nur Spuren wahrzunehmen sind.

Es hat sich also zuerst Magnetit und etwas Augit gebildet, dann trat starke Plagioklasausscheidung ein, worauf wieder Augitbildung erfolgte.

Zu bemerken ist noch, daß in diesem Versuche zum ersten Male in dieser Mischungsreihe eine Differenzierung in eine glasarme und glasreiche Partie zu konstatieren ist, während die früheren Schmelzen a, b, c durchaus gleichartig erstarrt sind.

**Versuch e. 50 Labrador, 35 Augit, 15 Magnetit.**

$$A_2 = 1200^\circ; T_1 = 955^\circ; T_2 = 1205^\circ.$$

Die Differenzierung in einen glasigen und einen kristallinen Anteil kann schon mit freiem Auge unterschieden werden.

U. d. M. sieht man am Boden des Tiegels gelbbraune Glasbasis mit zahlreichen Plagioklasprismen und vereinzelten Augiten. Magnetit fehlt hier.

Anders gestalten sich die Verhältnisse in dem kristallinen Teile der Schmelze, wo Magnetit reichlich zur Ausscheidung gekommen ist. Auch Augit ist intersertal zwischen den Feldspatleisten in ziemlich großer Menge vorhanden. Magnetit und Augit sind hier älteren Ursprungs als der diese Mineralien umschließende Plagioklas (Taf. II Fig. 2).

Versuch f. 50 Labrador, 45 Augit, 5 Magnetit.

$$A_2 = 1200^\circ, T_1 = 970^\circ, T_2 = 1170^\circ.$$

Dieser Versuch wurde dreimal angestellt.

I. Die Schmelze lieferte das erstemal in den tieferen Schichten Fe-armes, in den höheren Fe-reiches Glas. Dieses enthält neben spärlichen Plagioklasleisten größere und kleinere Augite und Magnetitkörner, jenes nur Plagioklas.

Die Abkühlungsbedingungen waren der Mineralbildung ungünstig, weshalb bei der Wiederholung des Versuches die Abkühlung nicht so weit fortgesetzt wurde.

II. Es wurde gelbliches Glas mit unausgeprägten Kristallindividuen erhalten.

An einigen Stellen ist nur Plagioklas in Form von schmalen Leisten, an anderen nur Augit in kleinen Kriställchen zur Ausscheidung gekommen.

Bisweilen sind beide Komponenten zu einem Eutektikum vereint. Dann finden sich wieder Stellen, an denen die Plagioklasleisten büschelartig von einem Punkte ausgehen. Dazwischen liegen kleine Augite (Taf. II Fig. 3). Magnetit fehlt.

III. Die Schmelze ist beinahe vollkommen kristallin erstarrt.

Die Magnetitausscheidungen sind über den ganzen Schliff gleichmäßig verteilt.

Der Plagioklas ist nur spärlich durch schmale Prismen, die Magnetit und Augit einschließen, vertreten.

Der Augit ist in großer Menge typisch zur Ausscheidung gekommen und zeigt Einschlüsse von Magnetit.

Magnetit ist also entschieden das erste Bildungsprodukt, Augit ist älter als Plagioklas. In I und II dürfte sich der Plagioklas im allgemeinen vor dem Augit individualisiert haben.

Trotz gleicher chemischer Zusammensetzung ergab sich also in den drei unter verschiedenen Temperaturbedingungen ausgeführten Versuchen eine Verschiedenheit der Ausscheidungsprodukte mithin auch der Strukturen, und auch eine teilweise Verschiedenheit in der Reihenfolge der Ausscheidungen.

Während sich in I der Magnetit nur in Körnerform, in II überhaupt nicht ausgeschieden hat, ist er in III reichlich in schönen Oktaedern auskristallisiert.

Der Augit zeichnet sich in III durch besondere Größe aus.

Die Ursache dieser abweichenden Verfestigung ein und derselben Schmelze kann nur in der Verschiedenheit der Abkühlungsgeschwindigkeit liegen.

**Versuch g. 45 Labrador, 45 Augit, 10 Magnetit.**

$$A_2 = 1195^\circ, T_1 = 1000^\circ, T_2 = 1160^\circ.$$

Bei der mikroskopischen Untersuchung der erstarrten Schmelze fallen besonders die großen Augite auf, die schmale Plagioklase entweder ganz oder nur teilweise einschließen.

Im übrigen hat sich der Plagioklas nur in geringer Menge meist in Nadelform individualisiert (Taf. II Fig. 4).

Magnetit, nur spärlich in kleinen Oktaedern abgeschieden, tritt sowohl im Augit als auch im Feldspat als Einschluß auf und ist daher das älteste Bildungsprodukt.

Die kleinen Plagioklase dürften sich zu Beginn der Abkühlung gebildet haben und von den fast gleichzeitig gebildeten, rasch wachsenden Augiten umschlossen worden sein.

**Versuch h. 35 Labrador, 60 Augit, 5 Magnetit.**

$$A_2 = 1190^\circ, T_1 = 960^\circ, T_2 = 1160^\circ.$$

Die Schmelze ist in eine glasige und eine halbkristalline Partie differenziert.

In beiden Zonen finden sich neben nadelförmigen Augiten auch größere Augitkristalle vor. Der Plagioklas tritt wieder nur in schmalen Leisten, die Augitmikrolithen einschließen, auf. Einzelne größere Augite werden von schmalen Plagioklasen durchdrungen.

Magnetit ist nicht zur Ausscheidung gekommen.

Es tragen mithin bald Augit, bald Plagioklas die Merkmale eines Erstlingsproduktes an sich.

Wahrscheinlich aber haben sich die Plagioklase, die den Augit durchsetzen, zu Beginn der Abkühlung gebildet, worauf die Hauptausscheidung des Augits erfolgte. Einzelne kleinere Augite sind dann von den sekundär gebildeten Plagioklasen umschlossen worden.

**Versuch i. 30 Labrador, 60 Augit, 10 Magnetit.**

$$A_2 = 1185^\circ, T_1 = 990^\circ, T_2 = 1175^\circ.$$

I. Der erste Versuch ergab der Hauptsache nach eine schwarze Glasmasse mit nur spärlichen Plagioklasleisten und einzelnen Augitkörnern, die nur bei starker Vergrößerung und im polarisierten Lichte zu erkennen sind. Auch der Magnetit hat sich nur in Körnerform abgesetzt.

Die Abkühlungstemperatur war jedenfalls sehr niedrig, die damit verbundene Viskosität verhältnismäßig groß und der Ausbildung der Komponenten hinderlich.

II. Bei der Wiederholung des Versuches wurde auf geringere Viskosität abgekühlt und folgendes Resultat erhalten:

Magnetit und Augit haben sich in großer Menge abgeschieden. Ersterer ist in größeren und kleineren Oktaedern über den ganzen Schliff verteilt, oft zu Klumpen zusammengeballt, letzterer fällt durch seine Größe auf (Taf. II Fig. 5).

Der Plagioklas ist auch hier nur in geringer Menge in längeren und kürzeren Leisten vorhanden.

Der Magnetit, der von Augit umschlossen wird, ist als erstes, der Plagioklas als letztes Ausscheidungsprodukt anzusehen.

Die gleiche Schmelze lieferte also, verschieden rasch, bei verschiedenen Temperaturen erstarrt, verschiedene Resultate.

Nicht unerwähnt soll die bei der Abkühlung gemachte Beobachtung bleiben, daß die Lösungen f, g, h, i, die mindestens 50% Augit—Magnetit enthielten, das Bestreben zeigten, schon bei geringer Abkühlung unter den Flüssigkeitspunkt aus dem dünnflüssigen in den viskosen Zustand überzugehen, während bei den labradoritreichen Schmelzen dieser Übergang nur langsam und allmählich vor sich ging.

### Zusammenfassung.

Das Magneteisen zeigt überall, wo es zur Ausscheidung gekommen ist, die Merkmale des ersten Bildungsproduktes. Seine Bildung kann aber, was besonders der Versuch a zeigt, auch nach der Augit- und Plagioklasbildung erfolgen.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe bestätigen die Behauptung DOELTER'S<sup>1</sup>, daß sich Magnetit bei Labradorit—Augit—Magnetit-Magmen zuerst ausscheidet.

Auffallend ist die Nichtausscheidung des Magnetits in zwei Fällen (f II und h).

Nach H. L. VOGT<sup>2</sup> wird in Metasilikatschmelzlösungen mit nur ungefähr 0,2—0,5 %  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  neben 10—20 %  $\text{FeO}$  die kleine, in Lösung befindliche  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ -Menge zur Bildung des Silikatminerals verwendet, weshalb die Magnetitbildung unterbleibt.

Der niedrige Prozentgehalt der Schmelze an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  kann allein zur Erklärung der Nichtausscheidung des Magnetits nicht ausreichen, da dieser in Versuch f bei gleicher chemischer Zusammensetzung der Lösung einmal schön auskristallisiert ist (III), das zweitemal überhaupt nicht zur Ausscheidung gekommen ist (II). Außerdem hat sich Magneteisen in a trotz des noch niedrigeren Prozentgehaltes an  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  als in f oder h reichlich in schönen Kristallen ausgeschieden.

Auch die Ansicht J. MOROZEWICZ'S<sup>3</sup>, daß der Magnetit bei einer 1000° übersteigenden Temperatur ein Magma schwer sättige und deshalb nicht zur Ausscheidung komme, trifft nicht immer zu, da C. DOELTER<sup>4</sup> bei seinen zahlreichen Versuchen unter dem Kristallisationsmikroskop sogar bei 1190° Magnetitbildung beobachtet hat. Der Magnetit kann daher sowohl bei höherer als auch bei niedrigerer Temperatur auskristallisieren.

Nach meiner Meinung liegen für die Nichtausscheidung

<sup>1</sup> C. DOELTER, Die Silikatschmelzen. II. Mitt. Sitz.-Ber. K. Akad. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. **113**. 1904. p. 495.

<sup>2</sup> H. L. VOGT, Die Mineralbildung in Silikatschmelzlösungen. Christiania 1904. I. Teil. p. 110.

<sup>3</sup> J. MOROZEWICZ, TSCHERM. Min. Mitt. **18**. 1899. p. 230.

<sup>4</sup> C. DOELTER (l. c.), II. Mitteilung.

des Magnetits in f II und h zwei Möglichkeiten vor: Entweder hat sich  $\overset{\text{II}}{\text{Fe}}\overset{\text{III}}{\text{Fe}}_2\text{O}_4$  infolge starken Erhitzens über  $T_2$  hinaus dissoziiert und ist ganz in Lösung gegangen oder, was auch möglich ist, die Abkühlungs- und Viskositätsverhältnisse waren seiner Kristallisation nicht günstig, wahrscheinlich liegt beides vor.

In h dürfte die chemische Zusammensetzung der Schmelze und die damit verbundene Viskosität für die Nichtausscheidung des Magneteisens von Einfluß gewesen sein.

Es wurde schon gesagt, daß die Lösungen, die viel Augit—Magnetit enthielten (f, g, h, i), bei der Abkühlung rasch in den viskosen Zustand überzugehen strebten. während bei den Schmelzen, die vorwiegend Labradorit führten (a, b, c, d), dieser Übergang langsam und allmählich erfolgte.

Die Abkühlungs- und Viskositätsverhältnisse waren also in ersteren mit Ausnahme von f III und i II, wo infolge der höheren Erstarrungstemperatur die Viskosität geringer war, der Magnetitausscheidung ungünstig, in letzteren (a, b, c, d) günstiger.

Am schönsten und z. T. sogar am reichlichsten ist  $\overset{\text{II}}{\text{Fe}}\overset{\text{III}}{\text{Fe}}_2\text{O}_4$  aus den Fe-armen Schmelzen auskristallisiert, die also für Magnetit sehr verdünnt waren.

Was die Ausscheidungsfolge zwischen Augit und Plagioklas betrifft, so scheint mir das Mengenverhältnis häufig insofern eine Rolle zu spielen, als sich bei überwiegendem Labradorit die Hauptmasse des Plagioklases früher ausscheidet als die Hauptmasse des Augits und umgekehrt; doch erleidet das Mengenprinzip dadurch eine Ausnahme, daß sowohl in jenen Lösungen, in denen Labradorit gegenüber Augit bedeutend vorherrschte (a, b, c), kleine Augitmengen vor der starken Plagioklasbildung zur Ausscheidung gekommen, als auch in Schmelzen, die vorwiegend Augit enthielten, kleine Plagioklase vor der Hauptausscheidung des Augits auskristallisiert sind.

Auch C. DOELTER hat bei Mischungen mit vorwiegend Labradorit u. d. M. die Bildung kleiner Augitmengen vor der Hauptausscheidung des Plagioklases konstatiert<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> C. DOELTER (l. c.), II. Mitteilung.

Der Einfluß der Unterkühlung auf das Zustandekommen dieser Erscheinung ist sehr wahrscheinlich, da sich infolge des labilen Gleichgewichts bald die eine, bald die andere Komponente zuerst abscheiden kann.

Die obere Individualisationsgrenze des Plagioklases kann infolge seines höheren Schmelzpunktes etwas höher liegen als die des Augits, was auch von F. FOUQUÉ und M. LÉVY gezeigt worden ist<sup>1</sup>.

Die beiden Forscher wollten nämlich aus Mischungen von 1 Anorthit, 1 Augit und 1 Anorthit, 2 Augit ein ophitisches Anorthit—Augit-Gestein erhalten. Es handelte sich also darum, leistenförmige Plagioklase zuerst zur Ausscheidung zu bringen, zwischen denen sich später Augit ausscheiden sollte. Durch Regelung der Temperatur gelang es auch tatsächlich, den Plagioklas zur Kristallisation zu bringen, während Augit noch flüssig blieb. Der Einfluß der Abkühlungsgeschwindigkeit und der durch diese und die chemische Zusammensetzung des Magmas bedingten Viskosität ist also für die Ausscheidung der Mineralien aus Schmelzfluß ein ziemlich bedeutender.

### Rückblick.

#### Die Schmelzpunkte der kristallinen Gemenge.

Eigentlich kann man bei Silikatgemengen von Schmelzpunkten nicht sprechen, da sie keine homogenen, sondern aus verschiedenen, bei verschiedenen Temperaturen schmelzenden Bestandteilen zusammengesetzte Körper darstellen, weshalb oft große Schmelzintervalle zwischen dem Beginn des Schmelzens und der vollzogenen Schmelzung eintreten. Wenn wir aber trotzdem von Schmelzpunkten kristalliner Gemenge reden, so ist darunter jene Temperatur zu verstehen, bei der alle Bestandteile der Mischung geschmolzen bzw. gelöst sind.

Die Verflüssigungspunkte liegen, wie aus den einzelnen Versuchsbesprechungen ersichtlich ist, meist über dem Schmelzpunkte der niedrigst schmelzenden Komponente oder fallen mit ihm zusammen. Eine erhebliche Schmelzpunktserniedrigung unter den Schmelzpunkt der niedrigst schmelzenden Kom-

---

<sup>1</sup> F. ZIRKEL, Lehrbuch der Petrographie. I. Teil. p. 827. 1893.

ponente tritt nach C. DOELTER<sup>1</sup> bei den kristallinen Silikatgemengen infolge geringer Lösungsgeschwindigkeit zumeist nicht ein.

Bei den aus zwei Komponenten bestehenden Gemengen findet also in der Regel eine einseitige, bei den aus drei Komponenten bestehenden eine zweiseitige Schmelzpunktserniedrigung statt.

Der Schmelzpunkt der höher schmelzenden Komponente wird um so mehr herabgesetzt, je größer die Menge des niedriger schmelzenden Bestandteiles ist. Ist die Menge der niedriger schmelzenden Komponente im Verhältnis zur Menge der höher schmelzenden sehr groß, so wird der Schmelzpunkt des Gemenges mit dem Schmelzpunkte der niedriger schmelzenden Komponente ungefähr zusammenfallen, herrscht aber im Gemenge der höher schmelzende Bestandteil vor, so wird der Schmelzpunkt näher dem Schmelzpunkte der höher schmelzenden Komponente liegen.

Der Schmelzpunkt eines Silikatgemenges ist also abhängig von den Mengenverhältnissen der Komponenten.

### Die Erweichungspunkte der Gläser.

Die Messungen ergaben bedeutend höhere Temperaturpunkte, als man theoretisch erwarten könnte. Die maximale Erniedrigung unter den Schmelzpunkt des Augits beträgt bei der Olivin—Labrador—Augit-Reihe nur  $15^{\circ}$ , bei der Labrador—Augit—Magnetit-Reihe  $25^{\circ}$ . Für sehr verschiedene Konzentrationen sind die Punkte  $T_2$  nur wenig verschieden.

Die Punkte  $T_1$  liegen tief unter den entsprechenden Punkten  $T_2$  und dürften, was schon einmal gesagt wurde, mit den Kristallisationsendpunkten übereinstimmen.

Auf die Unsicherheit der Punkte  $T_1$  und  $T_2$  wurde schon hingewiesen, weshalb sie nur insoferne, als sie für die verschiedenen Konzentrationen immer unter gleichen Bedingungen gemessen wurden, approximative Geltung beanspruchen können.

Ich will nun noch kurz den Einfluß jener Faktoren, die bei der Mineralausscheidung eine Rolle spielen, besprechen.

---

<sup>1</sup> C. DOELTER, Physikalisch-chemische Mineralogie. 1905.

### Das Eutektikum.

Nach VOGT wird die Ausscheidungsfolge hauptsächlich von der Lage der eutektischen Mischung bestimmt.

Die von VOGT auch auf die Silikatschmelzen übertragene Eutektregel ist zwar theoretisch richtig, in praxi aber hat sie, wie von DOELTER und dessen Schülern wiederholt nachgewiesen wurde, nur in seltenen Fällen Gültigkeit, da sie von zahlreichen Faktoren, wie Kristallisationsvermögen und -geschwindigkeit, Dissoziation, Unterkühlung, Temperatur etc. in ihrer Anwendbarkeit eine Einschränkung erleidet.

### Einfluß der Temperatur.

Daß die Erstarrungstemperatur bei der Mineralausscheidung eine ganz bedeutende Rolle spielt, geht besonders aus dem Versuche f der Labrador—Augit—Magnetit-Reihe hervor. Die mit derselben Mischung angestellten drei Versuche lieferten infolge der verschiedenen Erstarrungstemperatur resp. der verschiedenen Abkühlungsgeschwindigkeit und Unterkühlung verschiedene Resultate.

Die Temperatur ist schon aus dem Grunde von großer Wichtigkeit, weil sie beinahe alle bei der Mineralabscheidung maßgebenden Faktoren beeinflusst.

Die Löslichkeit und die Übersättigung sind von der Temperatur abhängig. Die Viskosität ändert sich mit der Temperatur, indem sie mit Abnahme derselben zunimmt. Auch das Kristallisationsvermögen und die Kristallisationsgeschwindigkeit, Hauptfaktoren bei der Ausscheidung, werden von der Temperatur beeinflusst.

Für jedes Mineral gibt es eine obere und eine untere Temperaturgrenze, über welche hinaus seine Individualisation nicht mehr möglich ist. Innerhalb dieser Grenzen wird ein bestimmtes Temperaturegebiet für die Kristallisationsgeschwindigkeit und das Kristallisationsvermögen eines Mineralen ein Optimum darstellen.

### Einfluß der Abkühlungsgeschwindigkeit.

Auch die Zeitdauer der Abkühlung darf nicht unberücksichtigt bleiben, da bei rasch gekühlten Schmelzen die Ausscheidung eine andere sein kann als bei langsam gekühlten.

Nach DOELTER bilden sich bei rascher Abkühlung metastabile Formen, wie Spinell u. a. Aber auch in verhältnismäßig langsam, bei einer bestimmten Temperatur abgekühlten Schmelzen kann die Ausscheidung einer Komponente dadurch unterbleiben, daß das ihrer Bildung günstige Temperaturgebiet zu rasch durchlaufen wird.

Dies mag auch die Ursache der Nichtausscheidung des Olivins in einigen Versuchen der Olivin—Labrador—Augit-Reihe gewesen sein. Bei langsamer Abkühlung bei einer höheren Temperatur wäre Olivin vielleicht zur Ausscheidung gekommen.

### Einfluß der Viskosität.

Die Viskosität ist für die Mineralbildung von nicht zu unterschätzendem Einflusse.

Sie ist eine Funktion der chemischen Zusammensetzung des Magmas — FeO, MnO, MgO vermindern nach C. DOELTER<sup>1</sup> die Viskosität einer Schmelze, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, SiO<sub>2</sub> erhöhen sie —, der Temperatur und des Druckes.

Infolge des großen Fe-Gehaltes erwiesen sich tatsächlich die Augit—Magnetit- bzw. Augit—Olivin-reichen Schmelzen unter sonst gleichen Bedingungen dünnflüssiger als die, in denen Labrador gegen Augit—Magnetit bzw. Augit—Olivin vorherrschend war.

Die Viskosität nimmt mit Abnahme der Temperatur zu, und zwar erfolgt diese Zunahme bei den zähflüssigen Schmelzen langsam und allmählich, bei den dünnflüssigen dagegen plötzlich. Die Viskositätskurve der Fe-reichen Schmelzen der besprochenen Mischungsreihen mit drei Komponenten weist 20—30° unter dem Punkte T<sub>2</sub> einen Knickpunkt auf.

DOELTER<sup>2</sup> unterscheidet bezüglich der Viskosität zwei Klassen von Mineralien.

In die eine Klasse gehören jene Mineralien, bei denen die Umwandlung der festen in die flüssige Phase langsam vor sich geht, z. B. bei Labrador, Eläolith, Anorthit u. a., in die andere die, bei welchen der Umwandlungspunkt und Verflüssigungspunkt beinahe zusammenfallen. Dies ist bei Augit, Magnetit und Olivin der Fall.

<sup>1</sup> C. DOELTER, Physikalisch-chemische Mineralogie. 1905. p. 111.

<sup>2</sup> C. DOELTER (l. c.), III. Mitt. Sitz.-Ber. Wien. Akad. 114. 1905. p. 529.

Die Eigenschaft der Mineralien, langsam oder schnell aus dem kristallisierten in den flüssigen Zustand überzugehen, äußert sich nun auch bei Mischungen von zwei oder drei Komponenten in zweifacher Weise: Einerseits konnten die Augit—Magnetit- bzw. Augit—Olivin-reichen Schmelzen leichter und schneller in den flüssigen Zustand übergeführt werden als jene, die mehr Labradorit enthielten, andererseits zeigten sie schon bei geringer Abkühlung unter den Flüssigkeitspunkt das Bestreben, in den viskosen Zustand überzugehen, während bei den labradoritreichen Schmelzen dieser Übergang langsam vor sich ging.

Allzugroße innere Reibung vermag die Mineralausscheidung, da die Gruppierung der Moleküle in einem stark viskosen Medium nicht mehr möglich ist, zu verhindern.

Für Orthoklas und Albit liegt das Gebiet des größten Kristallisationsvermögens gerade bei einer Temperatur, bei der die Flüssigkeitsteilchen infolge der Viskosität ihre Beweglichkeit verloren haben, weshalb diese Silikate nur mehr glasig erstarren können. Durch gewisse Zusätze kann aber die Viskosität vermindert und die Auskristallisation ermöglicht werden<sup>1</sup>.

Das Kristallisationsvermögen und die Kristallisationsgeschwindigkeit werden also von der Viskosität stark beeinflusst.

So kann auch die von DOELTER konstatierte Tatsache, daß Labrador in einer gemengten Schmelze schneller, Augit aber langsamer wächst als in der eigenen, erklärt werden. Die reine Labradorschmelze ist in der Nähe des Schmelzpunktes ziemlich viskos, in einer gemengten Schmelze aber, z. B. in einer Magnetit—Augit—Labradorit Schmelzlösung, ist die Viskosität infolge des Fe-Gehaltes bei gleicher Temperatur geringer, mithin die Kristallisationsgeschwindigkeit und das Kristallisationsvermögen des Labradorits größer. Umgekehrt ist die Viskosität einer Magnetit—Augit—Labradorit-Schmelze, vorausgesetzt, daß die Labradoritmenge im Verhältnis zu der des Magnetits nicht zu klein ist, größer als die der reinen Augitschmelze, folglich die Kristallisationsgeschwindigkeit für Augit kleiner.

---

<sup>1</sup> C. DOELTER, Physikalisch-chemische Mineralogie. 1905. p. 112 u. 110.

### Einfluß der Schmelzpunkte.

Frühere Forscher vertraten den Standpunkt, daß die Altersfolge der Mineralien von ihren Schmelzpunkten abhängt, so zwar, daß sich die Mineralien mit höheren Schmelzpunkten vor den bei niedrigerer Temperatur schmelzenden ausscheiden.

Auch H. L. VOGT (l. c.) legt den Schmelzpunkten Bedeutung bei, insoferne die Lage des eutektischen Punktes von den Schmelzpunkten der Komponenten abhängig sei.

C. DOELTER<sup>1</sup> schreibt den Schmelzpunkten keinen direkten Einfluß auf die Mineralausscheidung — die isomorphen Mischungen ausgenommen — zu, da die Ausscheidung meist im unterkühlten Zustande vor sich geht und bei vielen gesteinsbildenden Mineralien, deren Schmelzpunkte mit einigen Ausnahmen zwischen 1150—1250° liegen, immer in dem Temperaturintervall von 1200° bis ungefähr 1000° stattfindet.

Die Schmelzpunkte können aber trotzdem bei der Mineralverfestigung von Bedeutung sein, wenn die Erstarrungstemperatur einer Schmelze über dem Schmelzpunkte einer der Komponenten liegt, wird sich diese nicht ausscheiden können. In einem Olivin—Augit- oder Anorthit—Augit-Magma, das bei einer Temperatur von 1200° oder darüber erstarrt, wird wohl Olivin- bzw. Anorthit-Ausscheidung, nicht aber auch Augitbildung möglich sein.

Dies scheint in Versuch B, a und einigen Versuchen der Labrador—Augit—Magnetit-Reihe in den tieferen Schichten der Fall gewesen zu sein, wo fast nur der höher schmelzende Plagioklas zur Ausscheidung gekommen ist.

### Einfluß der Unterkühlung.

Die Mineralausscheidung aus künstlichen Schmelzen erfolgt meist in unterkühltem Zustande, so daß infolge des labilen Gleichgewichtes die Ausscheidungsfolge der Komponenten wechselt und verschiedene Versuche mit derselben Mischung verschiedene Resultate ergeben können.

Der große Einfluß der Unterkühlung auf die Reihenfolge der Ausscheidungen ist auch aus einigen Versuchen DOELTER'S

---

<sup>1</sup> C. DOELTER, Physikalisch-chemische Mineralogie. 1905. p. 127.

und LENARČIČ'S<sup>1</sup>, in denen durch Aufhebung der Unterkühlung durch Rühren und Impfen die Altersfolge beeinflußt wurde, ersichtlich.

Durch alle diese Faktoren erfährt also das Massenwirkungsgesetz resp. das Eutektikum eine wesentliche Einschränkung.

Man darf also die Altersfolge der Mineralien nicht von einem einzigen Faktor abhängig machen.

### Einfluß der Dissoziation.

Daß die Silikatschmelzen dissoziierte Lösungen darstellen, geht aus der Tatsache, daß es beim Zusammenschmelzen mehrerer Mineralien infolge von chemischen Umsetzungen oft zu Neubildungen kommt, hervor.

Bei der Eläolith—Anorthit-Reihe konnten die Neubildungen Korund, Kalkspinnell und Sillimanit verzeichnet werden.

Über die Art und den Grad der Dissoziation herrscht allerdings noch ziemliches Dunkel, weshalb auch die Anwendbarkeit des NERNST'Schen Löslichkeitsgesetzes auf die Silikatschmelzen in Frage gestellt ist.

Meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. C. DOELTER, sowie Herrn Prof. Dr. J. A. IPPEN spreche ich für die belehrenden Anleitungen, mit denen sie mir bei der Ausführung vorliegender Arbeit an die Hand gingen, meinen herzlichsten Dank aus.

Mineral. Institut der Universität Graz, Nov. 1906.

---

## Tafel-Erklärungen.

### Tafel I.

- Fig. 1. Schmelze aus 25 Olivin, 55 Labrador, 20 Augit. Plagioklas- und Augitausscheidungen in dem oberen kristallinen Anteile.  
 „ 2. Schmelze aus 10 Olivin, 80 Labrador, 10 Augit. Intersertalstruktur. Zwischen den großen Plagioklasleisten Augitkörner, kleine Olivine und Glas.

---

<sup>1</sup> J. LENARČIČ, Centralbl. f. Min. etc. 1903. p. 705, 743.

- Fig. 3. Schmelze aus 85 Labrador, 10 Augit, 5 Magnetit. Porphystruktur mit annähernd panidiomorpher Grundmasse.
- „ 4. Schmelze aus 80 Labrador, 10 Augit, 10 Magnetit. Porphystruktur. Große Plagioklaskristalle mit Magnetiteinschlüssen.
- „ 5. Schmelze aus 75 Labrador, 10 Augit, 15 Magnetit. Porphystruktur, und zwar teilweise Intersertalstruktur. Plagioklas in Tafeln und Leisten.

#### Tafel II.

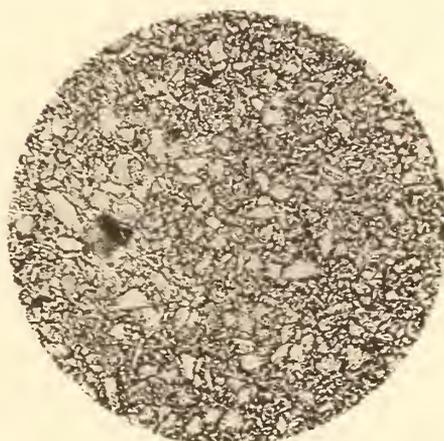
- Fig. 1. Schmelze aus 70 Labrador, 20 Augit, 10 Magnetit. Ausgeprägte Intersertalstruktur. Zwischen den Plagioklasleisten Augit und Glasbasis als Zwischenklemmungsmasse.
- „ 2. Schmelze aus 50 Labrador, 35 Augit, 15 Magnetit. Struktur annähernd wie in Fig. 1.
- „ 3. Schmelze aus 50 Labrador, 45 Augit, 5 Magnetit, bei relativ hoher Temperatur erstarrt. Büschelartig angeordnete schmale Plagioklasleisten mit dazwischen liegenden kleinen Augiten. Reichliche Glasbasis.
- „ 4. Schmelze aus 45 Labrador, 45 Augit, 10 Magnetit. Große Augite, spärliche Plagioklasleistchen, reichliches Eisenoxydulglas.
- „ 5. Schmelze aus 30 Labrador, 60 Augit, 10 Magnetit. Magnetiteinschlüsse im Augit, vereinzelt Plagioklasleistchen.
-



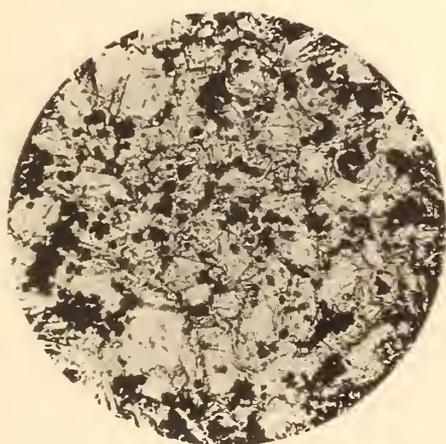
1.



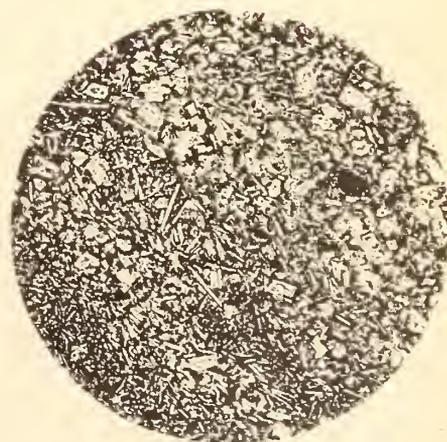
2.



3.



4.



5.

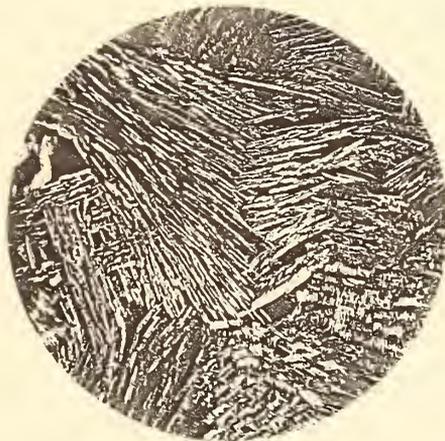
Druck der Hofkunstanstalt von Martin Rommel & Co., Stuttgart.



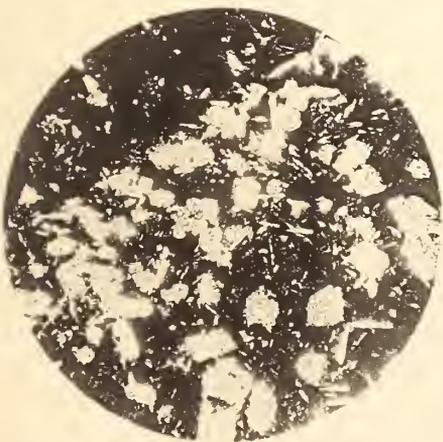
1.



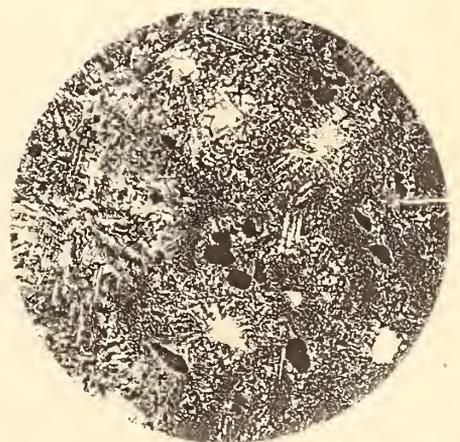
2.



3.



4.



5.

Lichtdruck der Hofkunstanstalt von Martin Kommel & Co., Stuttgart

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1908

Band/Volume: [1908\\_2](#)

Autor(en)/Author(s): Schleimer Hans

Artikel/Article: [Synthetische Studien. 1-31](#)