

# XVI. Von den Orthoklas- und Mikroklinperthiten und über J. H. L. Vogts Zustandsdiagramm der *K-Na* Feldspäte.

Von

P. Tschirwinsky in Nowotscherkassk, Dongebiet<sup>1)</sup>.

(Mit einer Textfigur.)

---

Sehr interessant erscheint die Frage über den quantitativen Gehalt des Albites (Albit-Oligoklases) in den perthitischen Kalifeldspäten. Bekannt ist, daß Prof. J. H. L. Vogt die Perthitausscheidung ausschließlich als sekundären Prozeß betrachtet haben will — als Folge der Entmischung im festen Zustande. Diese Annahme scheint wahrscheinlich zu sein für die unregelmäßigen, band- und zweigartigen Albitausscheidungen, ist aber vollständig ausgeschlossen bei den scharf ausgeprägten Kriställchen des sauern Plagioklases, die echte primäre Einschlüsse darstellen<sup>2)</sup>. Solche Einschlüsse sind in kleinen Mengen vorhanden, meistens können sie ganz fehlen. (Nach Rosiwal's Methode bestimmte N. Besborodko im Tschigiringgranit aus dem Gouvernement Kijew, 0,68% und 0,85% nach Gewicht.) Die Albitisierung der Kalifeldspäte stellt einen besonderen Fall der Umwandlung dar, die in der geochemischen Geschichte, insbesondere der metamorphen Gesteine, zu behandeln ist. Hier ist diese Umwandlung sicher mit Hilfe wässriger

---

1) Der Herausgeber möchte auf die in dieser Zeitschrift, Bd. 57, S. 112, eingehend referierten Abhandlungen von Ch. H. Warren und E. Mäkinen aufmerksam machen, die dem Autor dieser neuen Arbeit naturgemäß unbekannt waren. Die Übereinstimmung der Resultate von Tschirwinskys Untersuchung mit denjenigen der referierten Arbeiten ist eine bemerkenswerte. Der Herausgeber hofft über neue russische mineralogische Arbeiten auch weiterhin berichten zu können.

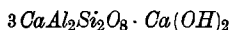
2) Dieser Meinung sind B. Popow, F. Becke, W. Lutschitzki, N. Besborodko, D. Bjelianskin — dieser Ansicht bin auch ich. (Nähere Zitate siehe bei mir: Notizen über die Mineralogie Rußlands. Nachrichten des Donpolytechnikums 1919, Bd. VII.) D. Bjelianskin hat die primären Plagioklaseinschlüsse in acht Aufnahmen veranschaulicht. (Nachrichten des Polytechnikums zu Petrograd 1914, Bd. XXII.)

Lösungen und bei erhöhter Temperatur vor sich gegangen. Sie wurde von der Ausscheidung der charakteristischen sekundären Mineralien (wie Zoisit, Epidot, Quarz, Serizit) begleitet<sup>1)</sup>.

Die Perthitbildung und Albitisierung, im eigentlichen Sinne des Wortes, haben ihre Grundursache darin, daß die magmatischen Feldspatmischungen *Or—Ab* und *Ab—An* bei niedriger Temperatur überhaupt zum Zerfall geneigt sind. Anwesendes Wasser erleichterte den Prozeß<sup>2)</sup>. Die petrographische Seite der Albitisierung der Mikrokline hat kurz J. d. Lapparent<sup>3)</sup> erläutert, leider aber nichts vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus hinzugefügt. Meine Notiz ist zum Teil die Folge der Kritik D. Bjelianskins an J. H. L. Vogts Diagramm für *K—Na* Feldspäte<sup>4)</sup>. J. H. L. Vogt hat Albitschnüre der Mikroklinperthite in Schnitten (010) annähernd gemessen. Dabei hat es sich herausgestellt, daß diese Menge einigermaßen konstant ist und 15 oder 15—20% ausmacht. Nehmen wir die Zahl 16—17% (nach Gewicht), so muß im durchschnittlichen Kalifeldspat der Granite etwa die Hälfte (14,2—16,5%) der Albitsubstanz auf 85,7—86,7% der Orthoklassubstanz als isomorphe Mischung vorhanden sein. Zu diesem Resultat bin ich auf einem ganz anderen Wege gekommen, als J. H. L. Vogt<sup>5)</sup>. (Das ist jedenfalls von Bedeutung, was aber H. Bjelianskin mit keinem Worte erwähnt.) W. Lutschitzky hat in seiner Reihe von Dünnschliffen des Mikroklinperthites, aus normalem korsuner Rapakiwigranit, mit Hilfe des Hirschwalds-Okular, den Plagioklasgehalt zu 23,81% bestimmt<sup>6)</sup>.

1) Über Albitisierung siehe »Monographie von N. Smirnow (Moskau 1913, S. 291. Auszug im Archiv des Sc. Phys. et Nat. Genève, 1914, T. XXXVII, p. 512—528). Hier finden wir nichts bestimmtes über Perthitbildung gesagt, was merkwürdig erscheint. Als Hauptmerkmal des sekundären Albits betrachtet N. Smirnow die fast immer nicht-vorhandene Lamellierung. Wir werden uns weiter unten überzeugen, daß diese Behauptung für die Perthite nicht maßgebend ist, was aber schon lange bekannt ist.

2) Nach Vernadsky weist der Zoisit die Zusammenstellung:



auf und müßte sich auf Kosten des Zerfalles von Plagioklas bilden. Die Epidot-, Quarz- und Serizitbildungen sind dann leicht zu verstehen.

3) J. d. Lapparent, Étude comparative de quelques porphyroïdes français. 1909, t. XXXII. Seconde partie, p. 243—255, 266, 268—274.

4) D. Bjelianskin, Über den Darialgranit. Geologische Untersuchungen in dem Gebiete der Paßbahn über die Hauptkaukasische Gebirgskette. Petersburg 1914. Reihenfolge der Kristallisation der Feldspäte in Granitgesteinen. Nachrichten des Polytechnikums zu Petrograd 1914, Bd. XXII, S. 259—277.

5) P. Tschirwinsky, Quantitative mineralogische und chemische Zusammensetzung der Granite und Gneisen. Moskau 1914, S. 511 u. 513.

6) Rapakiwi aus dem Gouvernment Kijew und die ihn begleitenden Gesteine. Warschau 1912, S. 52 u. 260. Diese Zahl ist von mir aus dem Verhältnis 3,2:1, wie es der Autor gibt, der reinen Mikroklinsubstanz zu Plagioklas berechnet worden. Aus der chemischen Analyse des Mikroklin hat Lutschitzky 33,9%  $Ab_{88}An_{12}$  berechnet. Also blieb in der isomorphen Mischung, bei gewöhnlicher Temperatur 33,9—23,81=10,09%.

Darin ist auch etwas primärer Plagioklas mitgerechnet. D. Bjeliänkin hebt besonders gegen Vogts Diagramm hervor, daß der Mikroklin aus den Darjalgranodioriten »der zum Teil perthitisiert ist« einen zu hohen Gehalt an Kalium aufweist, wie folgende Analyse zeigt:

<i>SiO</i> <sub>2</sub>	64,28	
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	18,72	oder 92% Or.
<i>CaO</i>	0,28	
<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	15,34	6,5
<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	0,74	1,5
<i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i> usw.	0,66	
		8% Pl.
		<hr/>
		100,00
	100,02	

Ferner zitiert D. Bjeliänkin aus der Literatur drei Analysen der Perthitfeldspäte aus den Pegmatitadern mit *Ab*-Gehalt von 28,07 bis 60,49% und bemerkt: »Es ist zwecklos, eine von diesen Mischungen, als gesättigte Lösung, oder als ein eutektisches Gemisch anzunehmen.« Unter diesen Analysen weist D. Bjeliänkin auf den Mikroklinperthit vom Nephelinsyenit aus Turkestan hin, in dem N. Preobraschensky Albitschnüre zu 6,4% direkt bestimmt und chemisch berechnet hat:

<i>Or</i>	86,3
<i>Ab</i>	13,3
<i>An</i>	0,4
	<hr/>
	100,00 <sup>1)</sup>

Es sei bemerkt, daß auch hier etwa die Hälfte der Plagioklassubstanz, die früher in aufgelöster Form war, frei geworden ist. Mäkinen hat in den Mikroklinperthiten der Granitpegmatite von Härkäsaari und Pakkalanmäki, in Finnland, nach Rösiwals Methode im ersten Fall 24,4% Albit (nach der chemischen Analyse 32,8% Pl.) und im zweiten — 27,7% (nach der Analyse 28,9%) gefunden<sup>2)</sup>. Um ein sicheres Resultat für die Diagrammdarstellung zu finden, muß man stets mit Durchschnittszahlen operieren. Das gilt besonders für gesteinsbildende Silikate, in denen viele isomorphe Verbindungen vorhanden sein können, und wo Kristallisationsverhältnisse, Einschmelzungen und Unterkühlungen in einzelnen Fällen relativ starke Schwankungen hervorrufen. Nur auf diesem Wege könnte man feststellen, daß das Eutektgemisch in den Granitmassen aus äquimolaren Quantitäten des Kalifeldspates und saurem Plagioklas besteht (siehe unten). Auf diesem

1) N. Preobraschensky, Nephelinsyenit aus dem Quellengebiet des Tagoby-Sobak, Zerauscham Beassin. Nachrichten des Polytechnikums zu Petrograd 1911, Bd. XV, L. 1, S. 34.

2) Mäkinen, Die Granitpegmatite von Tamela (in Finnland) und ihre Mineralien. Bull. de Comité géol. de Finlande 1913, p. 74.

Wege habe ich gefunden, daß in den basischen Gesteinen der Durchschnitts-augit  $2CaSiO_3 \cdot 3(Fe, Mg)SiO_3$  als Kerngruppe enthält (wenn  $Al_2O_3$  und Alkalien ausgeschieden werden). Der Granodiorit aus dem Darial zeigt viele Schwankungen in seiner Zusammensetzung (Schlieren, basische Konkretionen) und entstand durch das Einschmelzen einer Sedimentserie ins Granitmagma. Die Mikroklinanalyse wurde von Bjelianskin, gemäß seiner eigenen Aussage, von einem Gemisch von Mikroklinperthit und reinem Mikroklin gemacht. Dieser Fall gibt besonders unsichere Resultate. Auch hat Bjelianskin keine direkte Schätzung der Albitschnüre und der primären Plagioklaseinschlüsse für diesen Fall gegeben. Der spätere Metamorphismus kann, besonders in den kristallinen Schiefern, die Entmischung bis zum Ende treiben<sup>1)</sup>. Eine Vergleichung wird daher nur frische Gesteine in Betracht ziehen müssen. Von diesem Standpunkte aus sollen die Feldspäte aus den Nephelinsyeniten und aus den Graniten von den Tiefen- und Ergußgesteinen (jedes nach Gruppen) verglichen werden. Meinerseits habe ich einige neue Messungen mit Beihilfe meines Schülers, des Studenten W. Wolkow, vorgenommen. Wir haben die entmischten Quantitäten des Plagioklases darin vermittels Hirschwalds Okular bestimmt. Dabei hat sich folgendes herausgestellt:

**Orthoklasperthit aus dem Granitpegmatit, Eisenbahnstation Grafskaja bei Schitomir, Wolhynien.**

Das Probestück ist blaßrosa und stammt aus einem grobkörnigen Moskowit führenden Granitpegmatit. Die Albitschnüre sind typisch entwickelt — sie verlaufen annähernd parallel zueinander und verzweigen sich. Ihre Dicke beträgt 0,03—0,10 mm — in Ausnahmefällen — 0,45 mm. Die Zwillingstreifung ist nur bei dickeren Schnüren gut bemerkbar; sie ist bald schräge, bald parallel zu den Salbändern orientiert. In einem Dünnschliffe (IV 103b) hat der Orthoklas eine überwiegend verschwommene, gitterartige Struktur des Mikroklin. Diese Struktur ist stellenweise sehr gut entwickelt und zwar: entweder dicht an den Albitschnüren oder als selbständige Ausfüllung der Spalten. Untersucht wurden drei Schliffe, die folgende Winkel bilden:

$$a/b = 92^\circ$$

$$a/c = 93^\circ$$

$$b/c = 76^\circ$$

Spez. Gew. 2,569 bei 24° C.

Der Schliff IV 103c ist senkrecht zu einer der optischen Achsen geschnitten.

<sup>1)</sup> Ein solcher Fall ist z. B. von H. Backlund beschrieben: er hat in einem Epidot-amphibolit des polaren Urals gemeinschaftlich Albit und Anorthit gefunden. (Nachrichten der Akad. d. Wissensch. Petersburg 1912, Bd. XXVIII, Nr. 3.)

	IV 103 a	IV 103 b	IV 103 c	Durchschnittszahlen:
Orthoklas	86,34	83,70	85,22	85,08
Plagioklas	13,07	16,30	13,53	14,30
Moskowit	0,34	—	1,08	0,46
Quarz	0,34	—	0,17	0,16
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Moskowit<sup>1)</sup> und Quarz sind meistens in der Nähe der Albitschnüre eingeschlossen.

#### Orthoklas-Mikroperthit aus dem Granitpegmatit der Grube 14 in Narin-Kunduj, Transbajkalien.

Der Feldspat ist ganz frisch. Die Perthitstruktur tritt u. d. M. charakteristisch hervor. Primäre Plagioklaseinschlüsse sind nicht vorhanden. Zwei Dünnschliffe sind untersucht worden: der eine nach der Fläche *M* (Schliff Nr. 224), der andere nach der Basisfläche *P* (Schliff Nr. 225). Im ersten Präparat sieht man, daß die Albitadern mit den Basalspaltrissen einen Winkel von 74° bilden. Dieser Dünnschliff ist ziemlich senkrecht zu einer der optischen Achsen gelegen. Das Auslöschen des Orthoklases zu den Rissen nach *P* hin beträgt etwa 5°—7°. Im Dünnschliffe trifft man kleine Felder (nicht größer als 0,5 qmm), wo die Albitäderchen ganz fehlen und wohin sich die angrenzenden Äderchen auskeilen. Bei starker Vergrößerung kann man auf diesen Feldern die faserige Struktur jedoch bemerken. In den Dünnschliffen nach *P* treten die Adern viel deutlicher hervor. Hier sieht man ziemlich deutlich den Albitzwillingsbau, in dem die Lamelle zu den Längsadern senkrecht steht und parallel den Spaltrissen nach *M* verläuft. Dies überzeugt uns, daß die Albitadern hauptsächlich zu einem steilen Makrodom, vielleicht auch zu einer Murchisonitspaltfläche orientiert sind, wie es schon einmal B. Popow im Mikroklinperthit des südrussischen Rapakiwi beobachtet hat. Das Auslöschen des Orthoklas und der Albitadern tritt, praktisch gesprochen, gleichzeitig und geradlinig ein.

Für die Dünnschliffe: Nr. 224 (*M*) wurden 22,39 (Vol. % %),

Nr. 225 (*P*) 16,06

im Durchschnitt 19,23 gefunden.

Spez. Gew. des Orthoklas-Mikroperthits = 2,58 bei 37° C.

#### Orthoklasperthit aus dem Granitpegmatit Zagan-Oluj, Transbajkalien.

Das Material ist ganz frisch. Primäre Plagioklaseinschlüsse scheinen ganz zu fehlen. Die Grenzen der Albitadern sind verschwommen. Deswegen kann der erhaltene Albitgehalt in einem Schliffe nur annähernd bestimmt werden. Gefunden wurde: 13,04 % (nach Vol.).

1) Moskowit statt Muskowit bleibt auf ausdrückliches Verlangen des Autors stehen.

### Mikroklinperthit aus dem Schriftgranit Hitterö in Norwegen.

Primäre Plagioklaseinschlüsse fehlen. In seltenen Fällen zeigen Albitadern einen schwach entwickelten Zonenbau. Die Randzonen löschen anders aus und sind besser erhalten. Die Zwillingsstreifung ist, die dünnste ausgenommen, zu den Salbändern senkrecht. Der Schriftgranit von Hitterö ist petrographisch eingehend von J. H. L. Vogt und von mir beschrieben<sup>1)</sup>. In einem großen Dünnschliffe (von etwa 40 qcm) ließ sich 13,89% sekundärer Albit bestimmen. Da der Mikroklinperthit von Hitterö aus 72,61% *Or* und 27,39% *Ab*<sub>12</sub>*An*<sub>1</sub> besteht<sup>2)</sup>, so können wir daraus schließen, daß die eine Hälfte der Albitsubstanz in der Kalifeldspatsubstanz als isomorphe Mischung verblieb, die andere jedoch frei ausfiel.

### Mikroklinperthit aus dem Schriftgranit Rummelsburg bei Strehlen, Schlesien.

Die Gitterstruktur ist typisch entwickelt. Die Albitlamellierung der Adern ist wenig merklich und durchquert die Adern. Primäre Ausscheidungen von Plagioklas sind möglicherweise vorhanden, sind aber nicht idiomorph ausgebildet; sie sind etwas größer. Bei der Messung wurden diese Körner nicht separat betrachtet. Die Gesamtoberfläche dieses interessanten Schliffes beträgt etwa 40 qcm. Näheres über diese Art Gesteine siehe mein Werk über Granite<sup>3)</sup>. Ich fand:

Im Dünnschliff a 18,61% Albitgehalt. Aus dem Dünnschliff b aber, der beiläufig eine Größe von 8 qcm hat, ist folgendes zu ersehen: echte Gitterstruktur fehlt. Eine Art Faserstruktur ersetzt dieselbe. Stellenweise ist nicht einmal diese letztere zu sehen, und es erscheint ein Bild gleich dem, welches Orthoklas darstellt. Die Fasernstriche stellen die Verlängerung der Albitlamellen in den Albitadern dar. Hier wurde gefunden:

49,42% Albitausscheidungen.

Also im Durchschnitt für beide Dünnschliffe:

49,02%.

### Orthoklasperthit aus dem Granitpegmatit vom Dorfe Lipowaja im Ural.

Das Exemplar ist ein Spaltstück von 4 cm Dicke. Seine Farbe ist ungleichmäßig — stellenweise grau-gelblich, stellenweise mit einem Stich ins Bläuliche. Die typische Perthitstruktur ist mit dem bloßen Auge als

1) J. H. L. Vogt, Die Silikatschmelzlösungen usw., II. Christiania 1904, S. 120.

P. Tschirwinsky, Quantitative chemische und mineralogische Zusammensetzung der Granite und Greisen. Moskau 1911, S. 191—200.

2) a. a. O., S. 192.

3) a. a. O., S. 402—407.

eine zarte Faserung recht gut zu erkennen. Es sind drei Dünnschliffe untersucht worden: IV 112 a, b, c. Davon ist der Schliff a parallel (010) geschnitten, und der Schliff b — parallel *P*(001). Primär angesetzte Plagioklaskriställchen sind nur ganz vereinzelt vorhanden. In den Dünnschliffen a und b sieht man im konvergenten Lichte eine aus dem Gesichtskreise heraustretende Hyperbel. Im Dünnschliff c ist die Hyperbel symmetrisch gelegen — der Schnitt verhält sich also senkrecht zur optischen Achse. In ein- und demselben Schliffe variieren die Albitäderchen in Größe und Verteilungsdichtigkeit.

Spez. Gew. des Feldspates = 2,57 bei 28° C.

Schliff IV 112 a.

Die Dimensionen der Äderchen sind folgende:

Mikrometerteile:	Wahre Dimensionen:	% %
1.	0,0118 mm	51 %
2.	0,0236 »	23 »
3.	0,0354 »	9 »
4.	0,0472 »	10 »
5.	0,0590 »	5 »
6.	0,0708 »	1 »
7.	0,0826 »	1 »
Im Durchschnitt: 0,0238 mm <sup>1)</sup>		100 %.

Mechanischer Albitgehalt: 41,50 %.

Schliff IV 112 b:

0,5	0,0059 mm	20 %
1	0,0118 »	52 »
1,5	0,0177 »	7 »
2	0,0236 »	19 »
3	0,0354 »	2 »
Im Durchschnitt: 0,0137 mm		100 %.

Mechanischer Albitgehalt: 16,53 %.

Schliff IV 112 c:

4.	0,0472 mm	6 %
5.	0,0590 »	11 »
6.	0,0708 »	20 »
7.	0,0826 »	17 »
8.	0,0944 »	14 »
9.	0,1062 »	17 »
10.	0,1180 »	10 »
12.	0,1416 »	5 »
Im Durchschnitt: 0,0877 mm		100 %.

1) Mit Rücksicht auf das %-Verhältnis der Äderchen verschiedener Dicke.

Also ist in diesem Schlitze die Dicke der Adern 4—6 mal so groß, wie in den Schliffen *M* und *P*.

Mechanischer Albitgehalt: 36,07 %.

Für die drei Dünnschliffe erhalten wir demnach im Durchschnitt:

21,37 %.

**Orthoklasperthit aus dem porphyrischen Biotitgranit vom Dorfe Uljanowka, Alexandrijsker Distrikt, Gouvernement Cherson.**

Die rosa Kristalle aus dem Porphygranit bei der Eisenbahnstation Dolinskaja<sup>1)</sup> ergaben nach N. Besborodkos Analyse folgende Resultate:

$SiO_2$	63,30
$Al_2O_3$	18,67
$CuO$	0,46
$K_2O$	9,25
$Na_2O$	6,34
$Fe_2O_3$	0,92
$MgO$	0,24
$H_2O$	0,36
	<hr/>
	99,54

Zur optischen Untersuchung wurden drei Dünnschliffe IV 115 a, b und c gefertigt; leider erwiesen sich aber a und b als wenig brauchbar. Die Feldspatsubstanz erscheint hier trübe. Der Schliff IV 115 c ergab folgendes:

Dicke der Adern:	%-Verhältnis:
0,0118 mm	14
0,0235 »	53
0,0354 »	9
0,0472 »	14
0,0590 »	8
0,0708 »	4
0,0944 »	4
	<hr/>
Im Durchschnitt: 0,0303 mm	100 %.

Albitgehalt: 4,28 %.

Eine so niedere Zahl des Albitaderngehalts, neben dem hohen Natriumgehalt in den Orthoklaskristallen, aus dem oben erwähnten Fundort, scheint nur in der Weise verstanden werden zu können, daß, wegen der ziemlich schnellen Erstarrung der Granitmasse des Granitmagmas, die Albitsubstanz meist als isomorphe Mischung darin geblieben, sich also nicht ausscheiden

<sup>1)</sup> Dieser Ort liegt unweit des Steinbruches, woraus der Orthoklas zur optischen Untersuchung entnommen wurde.



konnte. Diese Vermutung soll aber an den Feldspatkristallen der typischen porphyrischen Granitarten anderer Fundorte geprüft werden (wie z. B. von der Insel Elba). Zum Schlusse kann ich jetzt folgendes Material (das ich möglicherweise noch erweitern werde) zusammenstellen:

Herkunft:	nach:	Albitgehalt:
1. Die Perthitfeldspäte von Wenglein beschrieben (Dissert. Kiel 1903)	J. H. L. Vogt	etwa 17 %
2. Härkässari	Mäkinen	24,4 »
3. Pakkalanmäki	»	27,7 »
4. Korsun	Lutschitzky	23,84 »
5. Grafskaja	Tschirwinsky	44,39 »
6. Narin-Kunduj	»	19,23 »
7. Zapan-Oluj	»	15,04 »
8. Hitterö	»	13,89 »
9. Rummelsburg	»	19,02 »
10. Lipowaja	Wolkow	21,37 »
11. Uljanowka	»	4,28 »
Im Durchschnitt aus 11		18,19 %

Jetzt wollen wir zur Frage über die Zusammensetzung der Eutektgemische in der Reihe der Kalium- und Natriumfeldspäte übergehen. Am leichtesten wäre das, wie mir scheint, vermittels Durchschnittszahlen der Zusammensetzung beider Feldspäte zu erzielen. Gegenwärtig besitze ich eine Sammlung von 106 Kalifeldspatanalysen (Orthoklas und Mikroklin) aus Graniten und Granitpegmatiten, die ich aus der Literatur herausgesucht und tabellarisch zusammengestellt habe<sup>1)</sup>. Die daraus erhaltenen Durchschnittszahlen ergeben:

	(Geteilt durch 106:)	Zahl der Bestimmungen:	Geteilt durch die Zahl der Bestimmungen:
$SiO_2$	64,96	106	64,96
$Al_2O_3$	19,04	106	19,04
$CaO$	0,58	106	0,58
$K_2O$	44,68 <sup>2)</sup>	106	44,68
	96,23		96,23

1) Ich habe dies jetzt für fast alle petrographisch wichtigen Mineralen der magmatischen Gesteine gemacht und will dies Material mit der Zeit ganz oder nur in Durchschnittszahlen publizieren. (Letzteres ist bereits zum Teil geschehen für Granitminerale, für den Augit aus Basalten und Diabasen — siehe in Doelters Handbuch der Mineralchemie — und für Hypersthen.) In meinem Buche über Granite sind die Durchschnittszahlen von 82 Analysen der Kalifeldspäte aus Graniten angeführt (S. 506), die nur wenig von weiteren Angaben abweichen.

2) Hier ist sicher ein Teil von *Rb* (auch *Cs*, *Tl*) mitgewogen. Nach Vernadsky beträgt  $Rb_2O$  im Mikroklinperthit aus dem Ilmengebirge — 3,12 %, also muß  $Rb_2Al_2Si_6O_{16}$

	(Geteilt durch 106:)	Zahl der Bestimmungen:	Geteilt durch die Zahl der Bestimmungen:
$Na_2O$	2,92	106	2,92
$Fe_2O_3$	0,29	54	0,56
$FeO$	0,08	5	1,62
$MnO$	0,04	2	0,58
$MgO$	0,13	44	0,34
$BaO$	0,03	7	0,39
$H_2O$	0,27	73	0,40
	<hr/> 3,73		<hr/> 6,78

Daraus ergibt sich (Atomgewichte von 1907):

$SiO_2$	44,89	
$Al_2O_3$	12,66	
$K_2O$	11,68	
	<hr/> 69,23	$K_2Al_2Si_6O_{16}$
$SiO_2$	17,04	
$Al_2O_3$	4,81	
$Na_2O$	2,92	
	<hr/> 24,77	$Na_2Al_2Si_6O_{16}$
$SiO_2$	1,25	} 27,66 $Ab_{9,1}An_1$
$Al_2O_3$	1,06	
$CaO$	0,58	
	<hr/> 2,89	$(CaAl_2Si_2O_8)_2$
	<hr/> 96,89	

Durch die Reduzierung auf 100<sup>1)</sup> entsteht folgende Zusammensetzung des Granitkalifeldspates:

Gew. %		Mol.-Gew.	Mol.-Koef.	Mol. %	
$Or$ 71,45		558,9	0,1278	70,34	
$Ab$ 25,57	28,55	526,7	0,0486	26,75	29,66
$An$ 2,98	$Ab_{9,2}An_1$	558,2	0,0053	2,91	$Ab_{9,2}An_1$
<hr/> 100,0			<hr/> 0,1817	<hr/> 100,00	

zu 10,89% geschätzt werden. Die spektroskopische Prüfung des Orthoklases aus Mursinka und deren Umgegend auf Rubidium erschien ihm viel deutlicher als beim Mikroklin des Ilmengebirges. Dieses Resultat verlangt eine weitere quantitative Untersuchung der Kalifeldspäte, besonders aus den Pegmatitgängen. Näheres siehe in den Arbeiten von Vernadsky, Barbier und Gramont.

1) Man kann natürlich auch die Tonerdekorrektur benutzen. Nach der oben angeführten Berechnung ist  $Al_2O_3$  gleich 18,53%, nach der direkten Analyse aber um 0,48% höher — also 19,01%. Daraus ist  $18,53:96,89 = 0,48:x$  und  $x = 2,51\%$  ( $Or, Ab, An$ ). Bei uns fehlen nun zu 100 ( $100 - 96,89 = 3,11\%$ ) 3,11%. Die Zahlen zeigen also einen kleinen Unterschied (2,51% und 3,11%). Sie gleichen sich aber beinahe ganz aus, besonders wenn wir noch die anderen chemischen Bestandteile berücksichtigen werden.

Das molekulare Gewicht solcher Feldspäte läßt sich auf folgende Weise berechnen:

$$0,7034 \cdot 558,9 = 393,13026$$

$$0,2675 \cdot 526,7 = 140,89225$$

$$0,0291 \cdot 558,2 = 16,24362$$

$$\underline{550,26613} \text{ oder rund: } 550,3.$$

Spez. Gew. 2,559 (die Durchschnittszahl aus 35 Bestimmungen). Alle diese Resultate kommen denjenigen nahe, welche ich schon einmal erhalten habe<sup>1)</sup>. Wir wollen uns jetzt zur Berechnung des Plagioklases aus Granit und Granitpegmatit wenden. Dabei sollen 59 Analysen berücksichtigt werden (29 Analysen von Albit, und 30 von Oligoklas). Die Durchschnittszahlen sind:

	Geteilt durch 59:	Zahl der Bestimmungen:	Geteilt durch die Zahl der Bestimmungen:
<i>SiO</i> <sub>2</sub>	64,60	59	64,60
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	21,46	59	21,46
<i>CaO</i>	2,51	59	2,51
<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	1,12	59	1,12
<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	9,22	59	9,22
<i>Fe</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	0,52	30	1,02
<i>FeO</i>	0,05	2	1,51
<i>Mn</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	0,00	1	0,20
<i>MnO</i>	0,01	1	0,32
<i>MgO</i>	0,15	29	0,31
<i>BaO</i>	0,01	1	0,40
<i>H</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	0,43	35	0,72
	<hr/> 100,08		<hr/> 103,39

Eine weitere Berechnung ergibt:

<i>SiO</i> <sub>2</sub>	4,31	
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	1,21	
<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	1,12	
	<hr/> 6,64	<i>K</i> <sub>2</sub> <i>Al</i> <sub>2</sub> <i>Si</i> <sub>6</sub> <i>O</i> <sub>16</sub>
<i>SiO</i> <sub>2</sub>	53,81	
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	15,17	
<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	9,22	
	<hr/> 78,20	<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>Al</i> <sub>2</sub> <i>Si</i> <sub>6</sub> <i>O</i> <sub>16</sub>
<i>SiO</i> <sub>2</sub>	5,41	} 90,69 <i>Ab</i> <sub>6,6</sub> <i>An</i> <sub>1</sub>
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	4,57	
<i>CaO</i>	2,51	
	<hr/> 12,49	
		( <i>CaAl</i> <sub>2</sub> <i>Si</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>8</sub> ) <sub>2</sub>
Summe	97,33	

1) P. Tschirwinsky, a. a. O., S. 506, 508 und 509.

Der Tonerdeüberschuß ist gleich 0,51 %. Die Korrektur des  $x$  ist demnach gleich 2,37 % *Or*, *Ab*, *An*; müßte sich aber folgendermaßen gestalten:  $100,00 - 97,33 = 2,67\%$ . Nun erhalten wir nach der Reduzierung auf 100 folgendes:

Gew. %		Mol.-Gew.	Mol.-Koef.	Mol. %	
<i>Or</i>	6,82	558,9	0,0422	6,49	
<i>Ab</i>	80,35	526,7	0,1526	81,26	93,51
<i>An</i>	12,83	558,2	0,0230	12,25	<i>Ab</i> <sub>6,6</sub> <i>An</i> <sub>1</sub>
	100,00		0,1878	100,00	

Das Molekulargewicht eines solchen Plagioklasses läßt sich dann leicht berechnen:

$$\begin{aligned}
 0,0649 \cdot 558,9 &= 36,27264 \\
 0,8126 \cdot 526,7 &= 427,99642 \\
 0,1225 \cdot 558,2 &= 68,37950 \\
 \hline
 &532,64853 \text{ oder rund: } 532,7.
 \end{aligned}$$

Spez. Gew. 2,629 (Durchschnitt aus 24 Daten). Die äquimolare Mischung des Kalifeldspates (Mol.-Gew. 550,3) und des Oligoklasses (Mol.-Gew. 532,7) stellt sich in Gew.-% wie folgt dar:

Kalifeldspat 50,84,  
Oligoklas 49,19.

Diesen Zahlen entspricht ein theoretisches Gemisch von:

<i>Or</i>	36,34	50,84	Orthoklas und Mikroklin in der Durchschnittszusammensetzung
<i>Ab</i>	42,99		
<i>An</i>	1,51		
<i>Or</i>	3,36	49,19	Albit und Oligoklas in der Durchschnittszusammensetzung.
<i>Ab</i>	39,52		
<i>An</i>	6,34		
	100,00		

Und der Summierung gemäß:

<i>Or</i>	39,67	
<i>Ab</i>	52,51	60,33
<i>An</i>	7,82	<i>Ab</i> <sub>7,1</sub> <i>An</i> <sub>1</sub>
	100,00	

Dieses Verhältnis ist typisch für die Durchschnittszusammensetzung der Feldspatmischung typischer Granitgesteine und entspricht der einfachen Formel:

$$2 \text{ Mol. } Or : 3 \text{ Mol. } Ab_{7,1} An_1,$$

Das hat J. H. L. Vogt behauptet, auch wurde es von mir bereits bestätigt. Doch meine ich gut zu tun, wenn ich für das Ausland einige Beispiele aus meiner Berechnung wiedergebe<sup>1)</sup>:

	I.	II.	III.
<i>Or</i>	44,43	39,22	38,54
<i>Ab</i>	43,68	44,67	46,70
<i>An</i>	14,89	16,11	14,76
	<i>Ab<sub>3</sub>An<sub>1</sub></i>	<i>Ab<sub>3</sub>An<sub>1</sub></i>	<i>Ab<sub>3,3</sub>An<sub>1</sub></i>
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

- I. Für 119 schwedische Granite,  
 II. Für 8 Granite aus dem Harzgebirge,  
 III. Für 90 Biotitgranite aus der ganzen Welt.

Die chemische Zusammensetzung unserer theoretischen äquimolaren Mischung der Granitfeldspäte entspricht (A) und die des Gemisches, das in der I. Kolonne angegeben wurde, ist unter (B) angeführt:

	A.	B.
<i>SiO<sub>2</sub></i>	65,24	63,36
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	20,31	21,51
<i>K<sub>2</sub>O</i>	6,69	6,99
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	6,19	5,15
<i>CaO</i>	1,57	2,99
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Die kleine Abweichung, die im Natrium und Calciumgehalt unserer Zahlen auftritt, ist leicht begreiflich: sie beruht hauptsächlich darauf, daß wir die Albitanalysen für den Plagioklas des Granitmagmas in relativ großen Mengen vorgenommen haben, was tatsächlich für normale Granite nicht ganz richtig ist. Es ist darum richtiger ausschließlich die Oligoklasanalysen zu berücksichtigen, ich tat es bereits<sup>2)</sup> und erhielt:

<i>Or</i>	36,44	} 50,60	Orthoklas und Mikroklin in der Durchschnittszusammensetzung.
<i>Ab</i>	42,72		
<i>An</i>	1,44		
<i>Or</i>	4,48	} 49,40	Oligoklas in der Durchschnittszusammensetzung.
<i>Ab</i>	34,11		
<i>An</i>	10,81		
	<hr/> 100,00.		

1) P. Tschirwinsky, a. a. O. (S. 450, 454, 307, 322, 575, 579 usw.), siehe auch meinen Vortrag zur Frage der quantitativen, mineralogischen und chemischen Zusammensetzung der schwedischen Granite in C. R. Cong. Geol. Intér. XI, Stockholm 1910.

2) P. Tschirwinsky, a. a. O., S. 524—526, 578—579. Der Durchschnitt wurde aus 19 Analysen berechnet und für Kalifeldspäte aus 82 (506 u. 509).

Daraus:

<i>Or</i>	40,92	
<i>Ab</i>	46,83	} 59,08
<i>An</i>	12,25	
<hr/>		<i>Ab<sub>4</sub>An<sub>1</sub></i>
		100,00.

Und:

<i>SiO<sub>2</sub></i>	64,05	
<i>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></i>	21,06	
<i>K<sub>2</sub>O</i>	6,91	
<i>Na<sub>2</sub>O</i>	5,52	
<i>CaO</i>	2,46	
<hr/>		100,00.

Gehen wir nun zur Konstruktion der Diagramme nach J. H. L. Vogt über. Dabei sind folgende Annahmen zulässig:

I. Nehmen wir das System *Or-Ab-An* als ein zweifaches an: *Or* und (*Ab* + *An*).

II. Nehmen wir an, daß der Kalifeldspat der Granite perthitisiert ist, Albit und Oligoklas aber fast gar keine antiperthitische Ausscheidungen aufweisen. (Antiperthit übersteigt im Durchschnitt nicht 1—2%.)

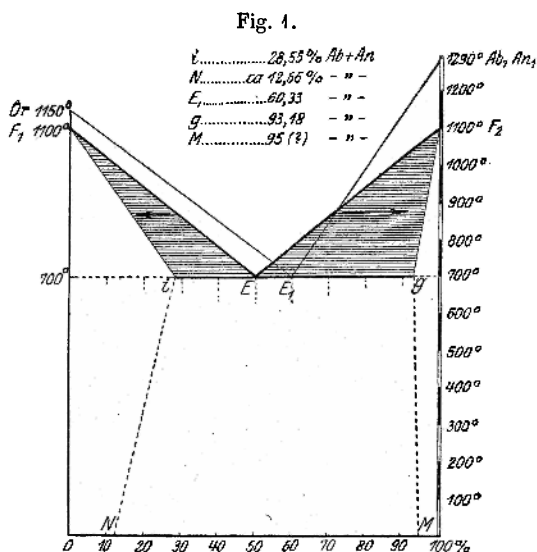
III. Daß die Temperatur der Erstarrung der Granitmagmen (bei der Anwesenheit der Dissoziationsprodukte des Wassers) 700° (800° ist<sup>1)</sup>). Die Schmelztemperatur für *Ab<sub>7,1</sub>An<sub>1</sub>*, nach den neuesten (1915) Bestimmungen von Bowen für *Ab<sub>3</sub>An<sub>1</sub>* und *Ab<sub>7</sub>An<sub>1</sub>* soll etwa 1290° betragen. Der Kalifeldspat schmilzt bei 1100°—1200°; *Or* bei 1150° (?). Das Fallen der Schmelztemperatur in mechanischen Mischungen des Mikroklinperthites und Albits (einschließlich Oligoklas) haben schon die Porzellanfabrikanten bemerkt. (Bull 53, U. S. Bureau of Mines, Trans. Amer. Ceramic. Soc. XI, p. 144, 454.) Das maximale Fallen beträgt etwa 60° (in trockenen Schmelzen!).

Der Punkt *N* wird folgendermaßen berechnet:  $100,00 - 18,19 = 81,81$ ;  $28,55 - 18,19 = 10,36$ ;  $10,36 : 81,81 = N : 100$ , daraus  $N = 12,66\%$ .

Die Konzentration für *i*, *N*, *g* und *M* ist in Vol. %% gegeben; für *E* und *E<sub>1</sub>* aber in Gew. %% . Diese Zusammenstellung ist auf einem Diagramm aus dem Grunde gemacht, weil die Vol.- und Gew.-Verhältnisse in unserem Falle einander ähnlich sind. Aus dem Diagramm ersieht man, daß, wenn wir die Mischungen *Ab<sub>7</sub>An<sub>1</sub>* (bei 1290° Schmelztemperatur) und des theoretisch reinen Orthoklas (*Or* bei gegen 1150° Schmelztemperatur) nehmen, die Schmelztemperatur des Eutektikums *E<sub>1</sub>* sich 10% zur Seite

1) Näheres bei mir a. a. O., S. 620,

des schwer schmelzbaren Komponenten<sup>1)</sup> verschiebt, und die symmetrische Lage des Eutektikums (für  $E$  bei 50,81%  $F_1$  und 49,19%  $F_2$  mit  $\text{SiO}_2$  64,96% in  $F_1$  und 64,60% in  $F_2$ ) verschwindet. Für  $E_1$  haben wir 40%  $Or$  und 60%  $Ab_1An_1$ . Diese merkwürdige Erscheinung ist in der Weise zu verstehen, daß in Wirklichkeit aus dem Magma nicht  $Or$  und  $Ab_1An_1$  ausfallen, sondern feste Lösungen in Form der  $\bar{F}_1$  und  $F_2$ , wo alle drei Komponenten  $Or$ ,  $Ab$  und  $An$  isomorph gemischt sind. Bei fallender Temperatur erweist sich die Mischung  $F_1$  weniger beständig als  $F_2$ . Aus diesem Grunde sind in den nicht metamorphosierten Gesteinen Perthite weit verbreitet; die Antiperthite kommen jedoch nur selten vor. Es fragt sich nun: Warum differenziert sich unser Gemisch so, daß es auch eine äquimolare



Temperaturkonzentrationsdiagramm der *K-Na* Feldspäte in Granitgesteinen nach Vogt.  $F_1$  entspricht Orthoklas und Mikroklin in ihrer Durchschnittszusammensetzung;  $F_2$  ist Durchschnittsalbit und gleich Oligoklas derselben Gesteine.

Mischung der beiden Arten von Feldspat vorstellt? Hier liegt die Ursache darin, daß auf diese Weise ein Eutektgemisch entsteht, dessen beide Arten von Feldspat eine (annähernd) gleiche und relativ niedere Temperatur der Erstarrung zeigen. Solch ein Gleichgewicht, das im geologischen Maßstabe des Raumes und der Zeitdauer sich einstellt (darum paßt es auch nur für das Durchschnittsgranitmagma) kann in Einzelfällen Verschiebungen zeigen. Deshalb kristallisiert Orthoklas und Mikroklin etwas später als Natrium-

<sup>1)</sup> Das Resultat ist unerwartet: die Schubrichtung sollte sich nach einer anderen Seite vollziehen, sofern die Schmelztemperaturen für  $Or$  und  $Ab_1An_1$  richtig genommen sind.

Calcium-Plagioklas. So können sich auch kleine Mengen mehr theoretischen, und dazu schwerschmelzenden Plagioklases ausscheiden, wobei sie kleine primäre Einschlüsse im Kalifeldspat bilden. Es ist experimentell sicher bewiesen, daß die Orthoklas- und Mikroklin-schmelze bei gleicher Temperatur viskoser ist als die des Albites und Oligoklases. Die Unterkühlung vollzieht sich deshalb leichter, und die Kristallisation des Kalifeldspates kann deshalb etwas verspätet eintreten. Vom Standpunkte der Phasenlehre erscheint es interessant, daß der eutektische Feldspat der Zusammensetzung des durchschnittlichen Feldspatgemisches der Granite entspricht, wie es J. H. L. Vogt bewiesen.

Das Verteilungsgesetz des Anorthites zwischen Orthoklas und der Albitsubstanz in flüssigem Zustande, unter Gleichgewichtsbedingungen (?) des nephelinsyenitischen Magmas, kann man aus folgenden Daten ersehen. Die durchschnittliche Zusammensetzung des Orthoklases, Mikroklin und Kryptoperthites ist von mir (Durchschnitt aus 32 Analysen) unter I angeführt; des Albits (Durchschnitt aus 11 Analysen) unter II.

	I.	II.
$SiO_2$	64,45	64,95
$Al_2O_3$	19,65	21,33
$Fe_2O_3$	0,63	0,06
$CaO$	0,94	1,72
$K_2O$	8,14	1,51
$Na_2O$	5,58	9,64
	<hr/> 99,39	<hr/> 99,21

Daraus berechnet man für I:

<i>Or</i>	48,13	46,77	
<i>Ab</i>	47,21	48,67	} 53,23
<i>An</i>	4,66	4,56	
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<i>Ab<sub>11</sub>An<sub>1</sub></i>

und für II:

<i>Or</i>	8,99	8,57	
<i>Ab</i>	82,39	83,24	} 94,43
<i>An</i>	8,62	8,19	
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<i>Ab<sub>10</sub>An<sub>1</sub></i>

hieraus:

$Or : An = 10 : 1$  und  $Ab : An = 11 : 1$  in I  
und  $Ab : An = 10 : 1$  und  $Ab : Or = 10 : 1$  in II.

Aus den Proportionen des I läßt sich schließen, daß  $Or : Ab = 1 : 1$ ; und aus den Proportionen für II soll  $Or : An = 1 : 1$ , was auch wirklich der Fall ist. Dies gilt bei der Anwesenheit eines Nephelins, der, gemäß



meiner Berechnung, für 46 Fundorte der Nephelinsyenite, folgende Zusammensetzung hat:

<i>SiO</i> <sub>2</sub>	43,97
<i>Al</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	32,89
<i>Fe</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	0,65
<i>CaO</i>	0,43
<i>K</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	5,45
<i>Na</i> <sub>2</sub> <i>O</i>	15,73
	<hr/> 99,12.

#### Nachtrag.

Während der Drucklegung dieses Artikels sind mir zwei Arbeiten bekannt geworden, die unsere Frage berühren, aber leider schon nicht mehr näher berücksichtigt werden konnten. Das sind: Rob. Herzenberg, Beitrag zur Kenntnis der Kalinatronfeldspäte. Inaug.-Diss. Kiel 1911. — Kôzu und Endô, X-ray analysis of Adularia and Moonstone etc. Sci. Rep. Tôhoku Imp. Univ. Sendai, Japan, Ser. 3. Siehe diese Zeitschr. Bd. 57, S. 116, 117, 121, 122.