

UEBER
DAS SPINELL:MAGNETIT-
EUTEKTIKUM

VON
J. H. L. VOGT

(MIT EINER TAFEL)

(VIDENSKABS-SELSKABETS SKRIFTER. I. MATH.-NATURV. KLASSE. 1910. No. 5)

UDGIVET FOR FRIDTJOF NANSENS FOND



CHRISTIANIA
IN COMMISSION BEI JACOB DYBWAD

1910

Die unten folgende Untersuchung stützt sich hauptsächlich auf Beobachtungen betreffs des in verschiedenen Lokalitäten in Norwegen und Schweden vorkommenden

Titanomagnetit-spinellites.

Dieser ist früher in mehreren Abhandlungen besprochen worden, nämlich von:

HJ. SJÖGREN, über Routivare (in Schweden), in Geol. Fören. Förh. XV, 1893.

W. PETERSSON, über Routivare, ebenda, XV, 1893, und über Hellevik (in Norwegen), ebenda XVII, 1895.

J. H. L. VOGT, namentlich in Zeits. f. prakt. Geol. 1900—1901; s. auch eine Abhandlung über die Korund-führende Titaneisenerzlagerstätte bei Rödsand, in derselben Zeits. für 1910, Februar-Heft.

Gabbroidale Ausscheidungen von Titanomagnetit-spinellit kennt man an einer Stelle, Routivare, im nordlichen Schweden, und bisher an sieben Stellen in Norwegen, nämlich auf Stjernö in Finmarken; bei Andopen auf Flakstadö in Lofoten; bei Lia in Örskoug und Solnördal in Skodje, beide in Söndmöre; bei Kammen (und Överste Kammen) in Tafjord, ebenfalls in Söndmöre; bei Hellevik und bei Gjölanger in Dalsfjord in Söndfjord.

Der Titanomagnetit-spinellit tritt überall als ein Ausscheidungsprodukt basischer Eruptivmagmen auf, und zwar bildet er das eine Endglied der durch magmatische Konzentration entstandenen Titaneisenerzaussonderungen; hierüber verweise ich namentlich auf meine Abhandlung in Zeits. f. prakt. Geol. 1900—1901, siehe auch ebenda 1910. — Er kommt in basischen Eruptivgesteinen ziemlich verschiedener Zusammensetzung vor. So ist das Muttergestein:

bei Andopen, Labradorfels;

bei Routivare, ziemlich sicher ein umgewandelter Labradorfels;

bei den zwei nur 2—3 Kilom. von einander entfernten Lokalitäten, bei Lia—Örskoug und Solnördal—Skodje dagegen Olivinhyperit, mit etwas Amphibolitschiefer;

auf Stjernö, ein üblicher Gabbro oder Norit;

in Tafjord, insofern ich diesbezüglich Nachrichten erhalten habe, ein etwas gepresster Gabbro;

bei Hellevik und Gjölanger, ein stark umgewandeltes Gabbrogestein, das von früheren Forschern seiner Reichtum an Granat wegen als Eklogit bezeichnet wurde.¹

Zu näherer Erörterung stelle ich die mir bekannten Analysen der skandinavischen Titanomagnetit-spinellite zusammen; auch nehme ich eine Analyse des Korund-führenden Titaneisenerzes bei Rödsand mit.

	Titanomagnetit-spinellit							Korund-führend Rödsand
	Solnördal	Andopen	Hellevik	Gjölanger	Kammen, Tafjord	Routivare		
	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6a	No. 6b	
SiO ₂	2.32	1.26	1.11	1.67	3.26	3.20	4.08	7.30
TiO ₂	15.41	10.19	18.82	15.43	16.87	10.22	14.25	8.20
Fe ₂ O ₃	} 73.87		39.18	36.63	24.11	} 74.95	33.43	} 72.09
FeO			30.73	27.41	40.36		34.58	
Al ₂ O ₃	4.06		6.18	5.91	9.40	6.55	6.40	6.93
MnO			0.46	0.50	0.40	0.50	0.45	
MgO	3.66	4.33	4.04	6.62	5.03	4.75	3.89	2.91
CaO	0.13	Wenig			0.78	1.40	0.65	1.83
P ₂ O ₅	0.009		0.08		0.00	0.008	0.016	
S	1.42		0.02	0.018	0.01	Spur	0.044	
Na ₂ O							0.29	
K ₂ O							0.15	
Sonstiges			0.07 NiO	2		0.35 BeO	3	
H ₂ O			0.26	0.60	0.04		1.32	
Summe	100.88		100.95	99.77	100.26	101.99	99.75	99.26
Fe	53.84	ca. 60	51.33	46.95	48.27	54.27	50.30	52.20

No. 6 a und b nach W. PETERSSON (l. c.). Die anderen sind technische Analysen; siehe meine oben citierten Abhandlungen.

No. 7, mit mehr SiO₂ (und Al₂O₃), aber mit weniger MgO, führt Korund, dagegen nicht Spinell.

¹ Die letzterwähnten Lokalitäten habe ich nicht besucht.

² mit 1.98 % Cr₂O₃ (?).

³ mit 0.20 % Cr₂O₃. Ferner ist gelegentlich V₂O₅ nachgewiesen.

Trotz der sehr wechselnden Zusammensetzungen der Muttergesteine ergeben die Titanomagnetit-spinellite in den grossen Zügen eine einiger-massen konstante Zusammensetzung, nämlich:

meist 6—10 Przt., gelegentlich bis 12—15 Przt. Spinell (Pleonast);
einige Przt. Silikatmineral;

Rest »Titanomagnetit«;

die Kiesmenge ist wechselnd; Apatit ist nur in sehr geringer Menge vorhanden.

Der Spinell (Pleonast). Vor einigen Jahren habe ich eine Analyse des mit Schwefelsäure-Flusssäure isolierten Spinells aus dem Erz von Solnördal (cfr. der obigen Analyse No. 1) ausgeführt (s. Zeits. f. prakt. Geol. 1900, S. 237).

Zu der Analyse wurden nur 0.35 gr. eingewogen. Gefunden wurden 24.68 Przt. Fe_2O_3 , was als FeO und Fe_2O_3 berechnet worden ist, so dass die Analyse der Formel $\text{RO} \cdot \text{R}_2\text{O}_3$ entspricht. — Chrom fehlte völlig oder war nur in so kleiner Menge vorhanden, dass die Sodaschmelze bei der Aufschliessung von 0.35 gr. nicht mal gelb wurde. — Ganz wenig Titan wurde nachgewiesen.

Spinell von Solnördal. Anal. No. 8.

		Quotientwerte.
Al_2O_3	61.8 %	0.605
Fe_2O_3	4.6 »	0.029
FeO . . .	18.1 »	0.252
MnO	1.05 »	0.015
MgO	14.75 »	0.365
	Sum 100.3 %	

Unter der Voraussetzung, dass die geringe Menge von MnO zu FeO umgerechnet wird und ferner, dass nur die Komponenten MgAl_2O_4 , FeAl_2O_4 und FeFe_2O_4 vorliegen, berechnet sich die Zusammensetzung:

	Molekularprocent.
0.730 MgAl_2O_4 } 0.476 FeAl_2O_4 } 0.058 FeFe_2O_4 }	57.8 % MgAl_2O_4 37.6 » FeAl_2O_4 4.6 » FeFe_2O_4
	oder

Unser Spinell ist somit ein Aluminat mit nur einer untergeordneten Beimischung von Ferrat (FeFe_2O_4 nebst MgFe_2O_4). Weil MgAl_2O_4 über FeAl_2O_4 überwiegt, ist der Spinell als *Pleonast* zu bezeichnen.

Die Farbe ist in den Dünnschliffen aus den verschiedenen Lokalitäten immer rein und intensiv grün, ohne bräunliche Nuance.

Die Spinelle sind häufig (s. die Tafel, Fig. 1—3) ganz voll von mikroskopisch — oder submikroskopisch — feinen Interpositionen, die in so weit reichlicher Menge vorhanden sein können, dass der Spinell im Dünnschliff der üblichen Dicke an gewissen Stellen beinahe undurchsichtig wird. Diese Interpositionen, die auch in der Abhandlung von SJÖGREN (1893) besprochen wurden, sind grau oder grauschwarz, nicht aber ganz dunkelschwarz. Bisweilen sind sie in den inneren Partien der grösseren Spinellkrystalle angehäuft, während dagegen die Peregrie beinahe frei von Interpositionen ist (s. die Tafel, Fig. 3). — Bei der chemischen Isolirung des Spinells von Solnördal, No. 8, mit Schwefelsäure-Flusssäure scheinen die Interpositionen in Lösung gegangen zu sein. — Das stoffliche Material der Interpositionen war ziemlich sicher anfänglich in fester Lösung in dem Spinell enthalten; bei der Abkühlung fand aber eine Ausscheidung aus der festen Lösung statt. Die Zusammensetzung der Interpositionen ist wahrscheinlich $(\text{Fe, Mg})\text{Fe}_2\text{O}_4$, mit einer ganz niedriger Menge von Aluminat (s. hierüber unten, S. 16).

Der sogenannte »Titanomagnetit« der Titanomagnetit-spinellite oder im allgemeinen der gabbroidalen Titaneisenerzaussonderungen lässt sich bei genügender Feinpulverisirung durch magnetische Separation in ein magnetisches Produkt, Magnetit, und in ein unmagnetisches Produkt, Ilmenit, trennen. Bei Korngrösse von Maximum 0.1 mm, des Pulvers enthält das aus einigermassen grobkörnigem Titanomagnetit-Erz mit ca. 8 % TiO_2 magnetisch isolierte Magnetit gelegentlich gar unterhalb 1 % TiO_2 (0.96 % TiO_2 , 0.40 % TiO_2), und bei noch feinerer Zerkleinerung würde sich die Titansäure-Menge zweifellos noch weiter vermindern. — Bei mehr feinkörnigem Erz ist eine Pulverisirung zu ganz feinem Korn nötig um einen einigermassen an TiO_2 armen Magnetit durch den Magnet auszuziehen.

Es folgt hieraus, dass der Titanomagnetit im allgemeinen eine mechanische Mischung aus Magnetit und Ilmenit darstellt. Ob eine ganz geringe Menge von Titansäure, wie Fe_2TiO_4 oder als eine nahestehende Titansäure-Komponente, in die Konstitution des Magnetits hineingehen kann, ist freilich noch nicht entschieden.

Die hier ganz kurz referierte Untersuchung über die magnetische Separation des Titanomagnetits ist namentlich von Prof. Dr. P. FARUP ausgeführt und in meiner Arbeit »Norges Jernmalforekomster« (Publikation No. 51 der norwegischen geologischen Untersuchung, 1910 und als Bericht No. II des norwegischen elektrometallurgischen Komitês, 1910)

veröffentlicht; siehe auch das Referat in meiner oben citierten Abh. über die Korund-führende Lagerstätte bei Rödsand, in Zeits. f. prakt. Geol. 1910. Auch verweisen wir auf die Abhandlung von E. HUSSAK »Ueber die Mikrostruktur einiger brasilianischer Titanmagneteisensteine« (im Neuen Jahrb. f. Min. Geol. Pal., 1904, I). Dabei erwähnen wir, dass HJ. SJÖGREN aus dem Titanomagnetit (No. 6) von Routivare Ilmenit mit ca. 42 % TiO_2 isolierte.

Die in geringer Menge in den Titanomagnetit-spinelliten auftretenden *Silikatmineralien* sind namentlich verschiedene an MgO oder (Mg, Fe)O reiche Mineralien, nämlich Olivin, Hypersthen, Diallag, bisweilen auch braune, basaltische, ziemlich sicher titanhaltige Hornblende und ein wenig Magnesiaglimmer; dabei kommt hie und da auch Granat (wahrscheinlich sekundär) vor, ferner sekundär gebildete Hornblende und als Zersetzungsprodukte Serpentin, Chlorit usw. — Im Erz mit nur einigen Przt. Silikatmineral scheint Plagioklas völlig zu fehlen; in Proben mit etwas mehr Silikatmineral tritt aber Plagioklas hie und da in spärlicher Menge auf.

Die Silikatmineralien sind in den Titanomagnetit-spinelliten der verschiedenen Lokalitäten etwas wechselnd.

In dem Erz von Routivare (Anal. No. 6) erwähnt SJÖGREN Olivin, ferner ein in ganz kleinen Individuen auftretendes Hypersthen-ähnliches Pyroxenmineral und dabei als Dekompositionsprodukt ein chloritisches Mineral. In den von mir untersuchten Dünnschliffen von Routivare sieht man teils frischen, ziemlich eisenarmen Olivin und teils aus diesem entstandenen Serpentin.

Das Erz von Solnördal (Anal. No. 1) enthält namentlich Hypersthen, der relativ eisenarm zu sein scheint, hie und da auch etwas Granat; an der benachbarten Lagerstätte bei Lia findet sich dabei auch etwas Magnesiaglimmer und sekundär gebildete Hornblende nebst Chlorit.

Das wichtigste Silikatmineral in dem Erz von Stjernö ist eine braune, basaltische Hornblende; dabei kommt auch Hypersthen vor. In einigen an Silikatmineral ziemlich reichen Erzproben tritt auch etwas Plagioklas auf.

Auch in dem Erz von Andopen (Anal. No. 2) findet sich die braune basaltische Hornblende, ferner etwas Hypersthen, Biotit und in an Silikatmineral etwas reichere Proben auch ganz wenig Plagioklas.

In den von den anderen Lokalitäten stammenden Dünnschliffen sind die Silikatmineralien grösstenteils zu Chlorit, Serpentin usw. umgebildet.

In unseren Titanomagnetit-spinelliten steckt die ganz überwiegende Menge von Al_2O_3 in dem Spinell; ein wenig geht gelegentlich auch in einige der Silikatminerale ein. — Macht man einen kleinen Abzug von dem analytisch gefundenen Al_2O_3 -Przt. und setzt man den Al_2O_3 -Przt. des Spinells auf ca. 62 0/0, lässt sich die Spinellmenge des ganzen Erzes ziemlich genau berechnen.

Ein erheblicher Teil der MgO-Menge sitzt in dem Spinell und der Rest einerseits in den Silikatmineralien und andererseits in der MgTiO_3 -Komponente des Ilmenits.

Die prozentische Menge der beteiligten Mineralien berechnet sich abnahernd auf:

	0/0 Spinell	0/0 Magnetit	0/0 Ilmenit	0/0 Silikatmineral
Solnördal. No. 1 . . .	ca. 6	ca. 60	ca. 29	ca. 5 (meist Hypersthen)
Andopen. No. 2 . . .	» 7	» 72	» 19	» 2 (Hornblende, Hyp. usw.)
Hellevik. No. 3 . . .	» 10	» 53	» 35	» 2
Gjölanger. No. 4 . . .	» 9	» 51	» 29	» 11
Kammen. No. 5 . . .	» 14	» 47	» 31	» 8
Routivare. No. 6 b . . .	» 10	» 54	» 27	» 9 (meist Olivin)

An einer und derselben Lokalität ist die TiO_2 -Menge der Ausscheidungen jedenfalls einigermassen konstant (s. Zeits. f. prakt. Geol. 1900, S. 377). Dasselbe gilt auch dem quantitativen Verhältnis zwischen dem Spinell einerseits und dem Magnetit (oder dem Titanomagnetit) andererseits. Etwas grösserer Schwankungen ergeben dagegen die Menge der Silikatminerale; so kann man von einer und derselben Lokalität Proben mit 2, 4, 6, 8 und gar bis etwa 10 0/0 Silikatmineral schlagen.

Das Areal (»Erzareal«) unserer Titanomagnetit-spinellite beträgt annähernd:

bei Routivare	ca. 300.000 m ²
» Solnördal	» 5.000 »
» Lia	mindestens etwa 1.250 »
» Hellevik	ca. 350 »

bei Andopen, Gjolangen, Kammen (und oberste Kammen) in Tafjord noch weniger.

Jedenfalls an einigen Lokalitäten treten diese Art von gabbroidalen Ausscheidungen in bedeutender Menge auf, — und dieses Tiefeneruptivgestein spielt quantitativ eine wichtigere Rolle als mehrere der seltenen Ganggesteine.

Ueber die Mischkrystallkombination zwischen $MgAl_2O_4$, $FeAl_2O_4$, $MgFe_2O_4$ und $FeFe_2O_4$.

Zufolge den in ganz grosser Anzahl vorliegenden Spinellanalysen¹ giebt es zwischen dem beinahe nur aus $MgAl_2O_4$ bestehenden edlen Spinell und dem beinahe nur aus $FeAl_2O_4$ bestehenden Hercynit eine praktisch gerechnet unabgebrochene, durch die Pleonaste und die Chlorospinelle vermittelte Reihe von Zwischenstufen. Die Mischkrystallkombination $MgAl_2O_4 : FeAl_2O_4$ ist somit eine *kontinuierliche*.

Betrachten wir *Magnetit contra Spinell* (im eingeschränkten Sinne des Wortes, nämlich die Reihe: edler Spinell, Pleonast, Chlorospinell und Hercynit umfassend), so sind namentlich die folgenden Beobachtungen hervorzuheben:

1. *Spinell und Magnetit krystallisieren aus Schmelzfluss jeder für sich*, und zwar sowohl aus Laboratoriumschmelzen und Schlacken wie auch aus Decken-, Gang- und Tiefengesteinen, folglich sowohl bei schneller wie auch bei langsamer und extrem langsamer Abkühlung und sowohl bei niedrigem wie bei hohem Druck. Auch bei anderer Bildungsvorgängen, wie z. B. bei der Kontaktmetamorphose, erhält man Spinell und Magnetit als zwei von einander scharf getrennte Mineralien.

2. Die Spinelle kennzeichnet sich durchgängig durch eine *nur verhältnissmässig geringe Beimischung von $FeFe_2O_4$ oder $MgFe_2O_4$* . So ergeben die mir bekannten Analysen der — nicht Cr_2O_3 haltigen — Spinelle nie weniger als 57 % Al_2O_3 und dabei nur einige Przt. Fe_2O_3 . Die an Fe_2O_3 reichste Analyse von Spinell, die in Dana's Mineralogy angeführt ist, — nämlich eine von PISANI, C. r. 63, 1866, ausgeführte Analyse von Spinell aus Auvergne — entspricht nicht ganz 10 Gewichtsprzt. $FeFe_2O_4$ oder $(Fe, Mg)Fe_2O_4$ gegen ein wenig mehr als 90 % $(Mg, Fe)Al_2O_4$. — Die obige Analyse No. 8 ergibt noch weniger $FeFe_2O_4$ oder $(Fe, Mg)Fe_2O_4$. Das Material zu der letzterwähnten Analyse wurde längere Zeit mit Flusssäure und Schwefelsäure behandelt; hierdurch sind ziemlich sicher die mikroskopischen, aller Wahrscheinlichkeit nach aus

¹ Siehe z. B. die Zusammenstellung in Dana's Mineralogy, dabei u. a. auch G. LINCK, Ueber Hercynit aus dem Veltlin, Sitz. ber. d. Akad. d. Wiss. Berlin, 1893, VI.

(Mg, Fe)Fe₂O₄ bestehenden Interpositionen aufgelöst; die Analyse entspricht somit ziemlich sicher nicht Punkt *J*, sondern Punkt *N* auf der unten folgenden Fig. 3.

3. In den bisherigen Analysen von Magnetit wird ausnahmsweise ein *klein wenig* MgO angegeben; mir bekannt ist aber Al₂O₃ *nie sicher* in Magnetit nachgewiesen. — Der Magnetit ist in den letzteren Jahrzehnten überaus häufig analysiert worden, freilich nicht so oft mit wissenschaftlichem Ziel, aber desto mehr in der Technik und als Uebungsaufgaben in den chemischen Laboratorien. Gäbe es Magnetite mit einer nennenswerten Beimischung von (Mg, Fe)Al₂O₄, so müsste dies längst bekannt sind. Zum Vergleich erinnere ich daran, dass der viel seltener analysierte Chromit — im Gegensatz zu dem Magnetit — beinahe immer mehrere, oftmals gar ziemlich viele Przt. MgO und Al₂O₃ ergibt.

Wir gelangen somit zu dem Schluss, dass nur eine Winzigkeit MgAl₂O₄ oder FeAl₂O₄ in die Constitution des Magnetits eingehen kann. Dabei scheint der Magnetit nur ziemlich wenig MgFe₂O₄ führen zu können, und die bisherigen, übrigens ganz spärlichen Analysen von Magnesioferrit ergeben nur ganz wenig FeFe₂O₄.

Aus diesen Erörterungen folgt, dass die binären Mischkristallkombinationen MgAl₂O₄ : FeFe₂O₄ und FeAl₂O₄ : FeFe₂O₄, oder kurz ausgedrückt die Kombination (Mg, Fe)Al₂O₄ : FeFe₂O₄ *diskontinuierlich* ist. Wahrscheinlich ist auch die Kombination MgFe₂O₄ : FeFe₂O₄ *diskontinuierlich*; dies letztere ist jedoch nicht sicher entschieden.

Mit den anderen Komponenten der Spinellgruppe — FeCr₂O₄, MgCr₂O₄, ZnAl₂O₄, ZnFe₂O₄, MnFe₂O₄ usw. — brauchen wir uns für die hier vorliegenden Untersuchung nicht zu beschäftigen. Nur sei erwähnt, dass hier offenbar zu einem grossen Teil diskontinuierliche Mischungsreihen vorliegen, wie beispielsweise zwischen Franklinit und Chromit, zwischen Magnetit und Chromit, usw.

Der von E. S. SHEPHERD and G. A. RANKIN¹ durch Schmelzung dargestellte CaAl₂O₄ ist entweder monoklin oder triklin. Bei *schneller* Abkühlung mag jedoch gar bis etwa 30 % CaAl₂O₄ in Spinell, (Mg, Ca)Al₂O₄, eingehen².

Der Hausmannit ist bekanntlich tetragonal. In die Spinelle mag jedoch auch etwas von der Komponente MnMn₂O₄ eingehen³.

Dabei erwähnen wir, das die Mineralien der Spinellgruppe entweder nichts oder nur eine Kleinigkeit von der Komponente Fe₂TiO₄ — oder einer anderen nahestehenden Titan-komponente — aufnehmen können.

¹ Amer. Journ. of. Sc. XXVIII, Okt. 1909.

² S. das Kapitel »Bei schneller Abkühlung entstandene labile Mischkristalle« in meiner Arbeit Silikatschmelzlösungen, I, Ges. d. Wiss. Christiania, 1903.

³ J. KRENNER, Manganspinelle in der Hochofenschlacke von Menyháza. Z. f. Kryst. Min., XLIII, 1907.

Ueber die zwei Spinell-Generationen der Titanomagnetit-spinellite.

Hj. SJÖGREN, erwähnte in seiner Abh. von 1893, dass der Spinell in dem Routivare-Erz in zwei Generationen vorliegt; diegleiche Beobachtung machte auch W. PETERSSON, 1895, betreffs des Hellevik-Erzes.

Ohne mich dieser älteren Beobachtungen, die ich in meiner Abh. in Zeits. f. prakt. Geol. 1900—01 citiert hatte, im Augenblicke zu erinnern, wurde meine Aufmerksamkeit auf dieselbe Erscheinung betreffs des Erzes von Överste-Kammen¹ in Tafjord gelenkt, — und diese Beobachtung gab eigentlich den Stoss zu dieser kleinen Abhandlung.

Aus SJÖGRENS Abh. von 1893 über das Routivare-Erz entnehme ich folgendes: »Man unterscheidet leicht zwei verschiedene »Generationen« von dem Spinell. Die ältere Generation erscheint in Körnern von 1 bis 5 mm. Grösse mit idiomorpher Begrenzung gegen den Magnetit und deutlich früher ausgeschieden als dieser.« »Die jüngere Generation des Spinells, dessen Individuen ungefähr 50 bis 100 mal kleiner als diejenige der ersteren Generation sind, sind ziemlich gleich in dem Magnetit verteilt. Die Spinellindividuen der jüngeren Generation ergeben nicht idiomorphe Begrenzung gegen den Magnetit, scheinen aber gleichzeitig mit diesem ausgeschieden zu sein.«

In den von mir untersuchten Dünnschliffen der Titanomagnetit-spinellite der verschiedenen Lokalitäten zeigen die »porphyrischen« Spinelle, die meist eine Grösse hinunter bis zu 1—2 mm. und hinauf bis zu 5—7 mm. erreichen, eine oktaëdrische Begrenzung — oder jedenfalls eine Andeutung zu oktaëdrischer Begrenzung, — freilich nicht mit scharfen Krystallflächen (s. die Tafel, Fig. 1—3).

Eine entsprechende idiomorphe Kontur fehlt aber, wie schon von SJÖGREN bemerkt, bei den kleinen Spinellindividuen, die in der überwiegend aus Magnetit bestehenden »Grundmasse« liegen (s. die Tafel, Fig. 1—3).

Der Unterschied in Bezug auf Grösse zwischen den porphyrischen Spinellen und denjenigen der Grundmasse ist durchgängig stark in die Augen fallend.

In dem Erz von Överste-Kammen in Tafjord beträgt so der Durchmesser der porphyrischen Spinelle meist 1,5—4, Mittel etwa 2,5 mm., die Individuen der Grundmasse sind andrerseits selten so gross wie

¹ Diese Lokalität liegt nur einige Hundert m. von der Lokalität Kammen (Anal. No. 5) entfernt.

0.3 mm., häufig 0.15—0.2 mm., und meist 0.1 mm. oder etwas darunter. Die porphyrischen Krystalle sind durchschnittlich etwa 12-mal lineär, entsprechend etwa 1500—2000-mal kubisch so gross wie diejenigen der Grundmasse.

Bei dem Erz von Routivare ist der Unterschied noch erheblicher. Die porphyrischen Krystalle sind meist 1 bis 5 mm., Mittel 2 mm. lang; unter denjenigen der Grundmasse giebt es nur einige ganz spärliche Individuen auf 0.15—0.2 mm., einige mehrere auf 0.05—0.1 mm.; die Hauptmenge dagegen auf nur unterhalb 0.05 und sogar unter 0.01 mm. Die porphyrischen Individuen sind hier durchschnittlich etwa 25-mal lineär gleich rund 15000-mal kubisch so gross wie diejenigen der Grundmasse.

Bei den anderen Lokalitäten begegnen wir ungefähr ähnliche Verhältnisse zwischen der Grösse der zu der ersten und der zu der zweiten Generation gehörigen Individuen.

Auf einen mm² Dünnschliff der Magnetitgrundmasse kommen in dem Erz von Överste-Kammen in Tafjord (Tafel 1, Fig. 1) durchschnittlich 3—4 und in dem Erz von Routivare durchschnittlich ungefähr 10 Spinellindividuen.

In quantitativer Beziehung sind die porphyrischen Spinelle bei unseren Titanomagnetit-spinelliten, mit mindestens etwa 6 % Spinell, entschieden reichlicher vertreten als diejenigen der Grundmasse. — In Dünnschliffen von Proben mit nur einem oder ein Paar Przt. Silikatmineral und — zufolge den quantitativen Analysen — mit etwa 6 oder 7 Przt. Spinell macht die Spinellmenge der Grundmasse schätzungsweise nur ein Drittel, somit rund 2 Przt. aus.

An einigen Dünnschliffphotographien¹ habe ich die Spinelle der Grundmasse auf einigermaßen grossen Flächen gezählt und arealberechnet, und habe dadurch gefunden, dass der Grundmassespinell volumprozentisch in dem Erz von Överste-Kammen etwa 2.5 Przt., und in dem Erz von Routivare etwa 1.5 Przt. von der Magnetitgrundmasse ausmacht. Diese Berechnungen sind freilich aus verschiedenen Ursachen nicht absolut exakt, und ich sehe keine Methode, wodurch ich die Spinellmenge der Grundmasse mit absoluter Präcision bestimmen kann. Wir begnügen uns somit mit dem Resultat, dass die Magnetitgrundmasse aus ungefähr 98 Gew.-Przt. Titanomagnetit (Magnetit nebst etwas Ilmenit, s. die Tabelle S. 8) und 2 Gew.-Przt. Spinell besteht. Ob hier statt 2 % lieber 2.5 oder 1.5 % stehen sollte, ist ziemlich nebensächlich. —

¹ Diese sind alle von dem Staatsgeolog J. REKSTAD, dem ich für seine liebenswürdige Assistance bestens danke, ausgeführt worden.

Ziehen wir die Ilmenitmenge ab, erhalten wir das Verhältniss ca. 97 Gew.-Przt. Magnetit: 3 Gew.-Przt. Spinell.

Die zwei Spinell-Generationen lassen sich nur dadurch erklären, dass anfangs nur Spinell krystallisierte, und später Magnetit (Titanomagnetit) und Spinell gleichzeitig. In den meisten Fällen, wie beispielsweise bei dem Routivare- und dem Tafjord-Erz, besteht die Grundmasse, wenn wir die in kleiner Menge vorhandenen Silikatminerale nicht berücksichtigen, aus einer feinkörniger Mischung von dem Titanomagnetit (Magnetit mit Ilmenit) und den ganz kleinen Spinellindividuen. Bei dem Erz von Andopen in Lofoten (Anal. No. 2) dagegen begegnen wir einer besonderen Erscheinung. In der Grundmasse bildet der Spinell hauptsächlich ganz kleine und dünne Leisten, die nach gewissen Richtungen in dem Magnetit eingebettet sind. Diese Richtungen entsprechen den Oktaëderflächen der in einigermaßen grossen Individuen auftretenden Magnetitkrystalle (s. die Tafel, Fig. 4). Auf denselben Oktaëderflächen beobachtet man häufig auch etwas Ilmenit¹. Bisweilen sieht man einen Kern von einem porphyrischen Spinellkrystall, von etwa 2—3 mm. Grösse und jedenfalls mit Andeutung zu oktaëdrischer Begrenzung, und darum Magnetit mit den ganz kleinen Spinelleisten an den Oktaëderflächen. Die Deutung ist zweifellos (cfr. meine frühere Darstellung dieser Erscheinung in Z. f. prakt. Geol. 1900, S. 238) folgende:

Zuerst ist der porphyrische Spinell gebildet; dann fing die Krystallisation des Magnetits an, indem jedoch ganz wenig Spinell während der Magnetitkrystallisation auf den Oktaëderflächen des Magnetits abgesetzt wurde. Es handelt sich somit um eine Art zonalen Aufbaues, von sehr viel Magnetit neben ganz wenig Spinell. Dabei krystallisierte auch etwas Ilmenit.

Ueber das Spinell: Magnetit-Eutektikum.

Die Krystallisationsfolge unserer Titanomagnetit-spinellite — mit mindestens etwa 6 % Spinell — ergibt, wenn wir den Ilmenit und die in geringer Menge vorhandenen Silikatminerale ausser Betracht setzen, die zwei Stufen:

zuerst nur Spinell;

später, als Schlussprodukt, Spinell und Magnetit gleichzeitig.

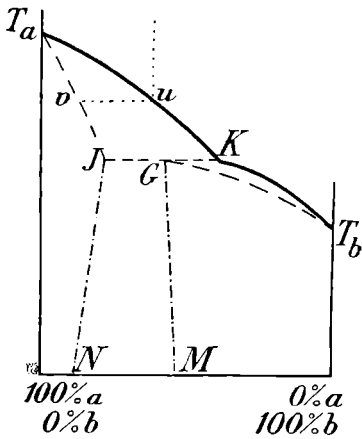
Dies erklärt sich ganz einfach dadurch, dass *die gleichzeitige Krystallisation der Grundmasse — Magnetit mit ein wenig Spinell — ein*

¹ Dies entspricht dem von HUSSAK (l. c.) früher beschriebenen Auftreten von Ilmenit auf den Oktaëderflächen des Magnetits.

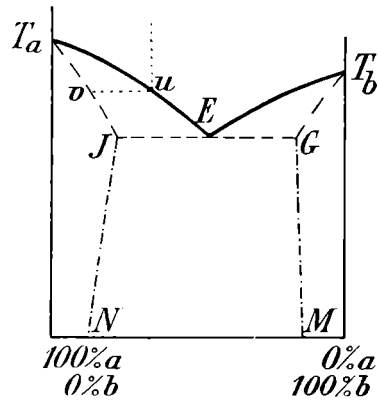
Eutektikum darstellt. Anfänglich war der Spinell in reichlicherer Menge als dem Eutektikum entsprechend vorhanden; deswegen krystallisierte auf der ersten Stufe nur Spinell, ohne Magnetit.

Weil Spinell und Magnetit eine diskontinuierliche Mischungsreihe mit einander bilden, handelt es sich im vorliegenden Falle um ein *Mischkrystall-Eutektikum*.

Der Einfachheit wegen betrachten wir den Spinell vorläufig als nur $MgAl_2O_4$, und ferner setzen wir voraus, dass eine geschmolzene Mischung von $MgAl_2O_4$ und $FeFe_2O_4$ sich nicht teilweise zu $FeAl_2O_4$ und $MgFe_2O_4$ umsetzt¹. Die Kombination Spinell : Magnetit vereinfacht sich hierdurch zu der binären Kombination $MgAl_2O_4 : FeFe_2O_4$.



Typus IV. Fig. 1.



Typus V. Fig. 2.

Bei Fig. 1—3 ist das Verhältniss zwischen den zwei Komponenten auf der Abscisse und die Temperatur auf der Ordinate abgesetzt. T_a , T_b stellen die Schmelzpunkte von a , bzw. b dar. Die voll aufgezeichneten Kurven ergeben die Kurven der Erstarrung und die gestrichelten Kurven die Zusammensetzung der auskrystallisierenden Mineralien dar.

Bei den binären diskontinuierlichen Mischkrystallkombinationen gibt es nur zwei Fälle: entweder gehören sie *Bakhuis Roozebooms* Typus IV oder Typus V an.

Bei Typus IV² krystallisieren aus Lösungen mit verhältnissmässig viel a neben einer mittels grossen b -Menge (u , zwischen T_a und K an Fig. 1) zuerst nur a -Krystalle mit etwas b (v) und zum Schluss nur b -Krystalle mit einigermassen viel a . Bei Typus V (s. Fig. 2) erhalten wir dagegen aus einer Lösung von der Zusammensetzung u , zuerst nur a -Krystalle

¹ Bezüglich dieser Voraussetzung siehe unten S. 15.

² Siehe z. B. den Abschnitt »Ueber die analytischen Merkmale zur Entscheidung, ob bei den diskontinuierlichen Mischungsreihen Typus IV oder V vorliegt«, in einer Abh. von mir in *Tscherm. Min. petrogr. Mitt.* XXIV, 1905, S. 483—486.

mit etwas b (v), und zum Schluss ein Eutektikum bestehend aus a -Kristallen von der Zusammensetzung J und aus b -Kristallen von der Zusammensetzung G .

Den obigen Beobachtungen zufolge gehört $MgAl_2O_4 : FeFe_2O_4$ dem letzteren Falle, somit *Typus V* an.

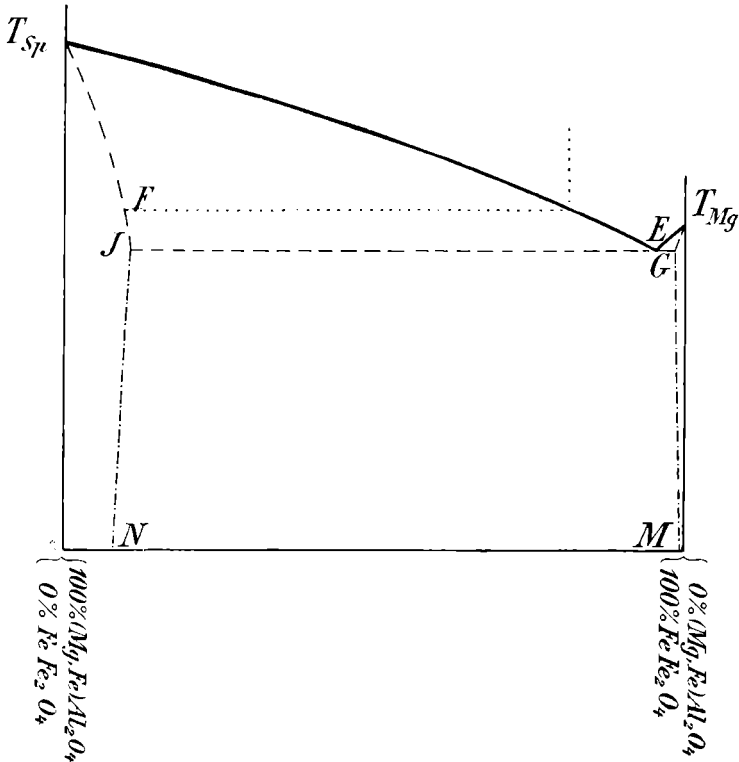


Fig. 3.

Dasselbe gilt auch der Kombination $FeAl_2O_4 : FeFe_2O_4$.

$MgAl_2O_4$ und $FeAl_2O_4$, die mit einander eine kontinuierliche Mischungsreihe bilden, können wir dem Magnetit gegenüber als eine Einheit, $(Mg, Fe)Al_2O_4$ auffassen. — Eine teilweise Umsetzung im Schmelzfluss von $(Mg, Fe)Al_2O_4$ und $FeFe_2O_4$ zu $MgFe_2O_4$ können wir, ohne uns eines nennenswerten Fehlers schuldig zu machen, ausser Betracht setzen. — Der Schmelzpunkt von Spinell ist erheblich höher als derjenige von Magnetit; Präzisionsbestimmungen sind jedoch noch nicht ausgeführt, deswegen verzichten wir auf Zahlenangaben.

Das Eutektikum Spinell: Magnetit liegt, den obigen Bestimmungen zufolge, bei etwa 3% Spinell : 97% Magnetit, s. Fig. 3.

Für Punkt J nehmen wir eine Zusammensetzung von etwa 90% (Gew.przt.) $(Mg, Fe)Al_2O_4$: 10% $FeFe_2O_4$ an (s. S. 9).

Die im Schmelzfluss mit höchstens etwa 10 oder 15 % Spinell *anfänglich* gebildeten Spinellkrystalle — am Beginn der ersten Spinellgenerationen — von der Zusammensetzung *F* unterscheiden sich chemisch nur ziemlich unwesentlich von *J*. Ob bei unseren Titanomagnetit-spinelliten der anfänglich ausgeschiedene Spinell sich auf der Strecke *F* bis *J* im Gleichgewicht mit der Lösung hielt oder nicht, lässt sich aus den Beobachtungen unter dem Mikroskop nicht entscheiden¹.

Die oben (S. 6) erwähnten für den Spinell unserer Spinellite charakteristischen mikroskopisch feinen Interpositionen sind zweifellos sekundär entstanden, und zwar derart, dass sie aus der Spinellsubstanz ausgeschieden sind. — Im allgemeinen können die bei hoher Temperatur an *J* (Fig. 2, 3) auskrystallisierten *a*-Mischkrystalle mehr *b* aufnehmen, als sie bei niedriger Temperatur, bei *N*, in fester Lösung halten können; oder mit anderen Worten, die Linie *JN* verläuft im allgemeinen schräg nach links. Es steht somit im besten Einklange mit der Theorie, wenn wir die staubförmigen Interpositionen als ein *b*-Mineral von der Zusammensetzung *M* auffassen; die Zusammensetzung wäre somit RFe_2O_4 mit nur einer Spur von Al_2O_4 . *R* ist hier wahrscheinlich nicht *Fe* allein, sondern *Mg* und *Fe* zusammen.

Die prozentische Zusammensetzung des Spinell : Magnetit-Eutektikums *E* (Fig. 3) ist freilich nicht absolut exakt bestimmt; sicher ist jedoch, dass es nur ganz wenige Przt. Spinell, etwa 3 Przt. führt; vielleicht handelt es sich gar um etwas weniger als 3 Przt. $(Mg, Fe)Al_2O_4$. Die Zusammensetzung (*G* an Fig. 3) des aus Schmelzfluss ausgeschiedenen Magnetits muss folglich noch weniger — und zwar wahrscheinlicher Weise nicht unwesentlich weniger — $(Mg, Fe)Al_2O_4$ führen. Oben (S. 10) ist erwähnt, dass die Beimischung von $(Mg, Fe)Al_2O_4$ in dem Magnetit nur eine Kleinigkeit oder eine Winzigkeit betragen kann.

Die zwei von einander völlig unabhängigen Beobachtungen, einerseits über die Lage des Spinell : Magnetit-Eutektikums (bei nur ein Paar — etwa 3 — Przt. $(Mg, Fe)Al_2O_4$), und andererseits über die chemische Zusammensetzung des Magnetits ($FeFe_2O_4$ mit nur einer Kleinigkeit $(Mg, Fe)Al_2O_4$), stehen somit in der schönsten Uebereinstimmung mit einander.

Dies liefert uns auch ein interessantes Beispiel über die nahe Beziehung zwischen der *Physicochemie der Erstarrungsvorgänge und der Chemie der resultierenden Mineralien.*

¹ In dieser Verbindung verweise ich auf das in meiner Abh. »On Labradorite-Norite with Porphyritic Labradorite-Crystals; a Contribution to the Study of the Gabbroidal Eutectic« (Quart. Journ., 1909) besprochene *teilweise* Gleichgewicht zwischen *An* + *Ab* in der festen und der flüssigen Phase.

In der Tat wird die Physicochemie der Erstarrungsvorgänge unserer Titanomagnetit-spinellite aus mehreren Gründen noch mehr kompliziert als oben geschildert. Wir haben bisher die übrigens nur in geringer Menge vorhandenen Silikate ausser Betracht gesetzt. Dies bedeutet in Bezug auf die quantitative Angabe des Spinell: Magnetit-Eutektikums, dass wir nicht das binäre Eutektikum E_{Sp-M} , sondern dagegen Punkte auf der Linie zwischen Q und E auf der unten folgenden Fig. 4 bestimmt haben. Die Ablesungen liegen freilich meist in der nächsten Nähe von Q ; das in den Dünnschliffen beobachtete Verhältniss zwischen Spinell und Magnetit mag folglich hier nicht nennenswert von dem Verhältniss in dem binären Eutektikum (E_{Sp-M}) abweichen. Die hier besprochene Fehlerquelle ist somit ziemlich unwesentlich. Es mag ferner berücksichtigt werden, dass der Verlauf der Linie $Q-E$ von der Art des Silikatminerals (Hypersthen oder Olivin usw.) abhängig ist; dies erklärt, dass das quantitative Verhältniss zwischen Spinell und Magnetit in der Grundmasse der verschiedenen Titanomagnetit-spinellite kleinen Schwankungen unterworfen sein mag.

Dabei haben wir die Menge des Ilmenits nicht berücksichtigt, oder richtiger ausgedrückt, wir haben diese Menge abgezogen und den Rest mit 100 % berechnet. — Ferner sollte auch mit in Betracht genommen werden, dass die Spinellkomponente und die Silikatkomponente gewisse Ionen (Mg und Fe) gemeinschaftlich haben; auch sollten die gemeinschaftlichen Ionen zwischen Spinell einerseits und Magnetit nebst Ilmenit andererseits berücksichtigt werden.

Es ist zur Zeit unmöglich alle diese Komplikationen in den Einzelheiten zu entziffern. Ein Stückchen vorwärts können wir jedoch kommen.

Als Beispiel nehmen wir das Erz von Solnördal, und zwar werden wir uns nur mit denjenigen Proben beschäftigen, die unten den Silikatmineralien nur Hypersthen — und nicht dabei auch Granat usw. — führen. Die Hypersthenmenge in den mikroskopisch untersuchten Proben beträgt nach Ermessen etwa 6—7 %.

Setzen wir den Ilmenit ausser Betracht, erhalten wir die folgende mineralogische Zusammensetzung:

8 %	Spinell	(Sp.)
83 %	Magnetit	(M.)
9 %	Hypersthen	(Hp.).

Diese verhalten sich im wesentlichen als drei von einander unabhängige Komponenten, — freilich mit der Begrenzung, dass Spinell und Magnetit ein Mischkristall-Eutektikum mit einander bilden, und dass

Spinell wie auch Hypersthen jeder aus mehreren Komponenten bestehen; dann sind auch die gemeinsamen Ionen nicht zu vergessen.

Oben haben wir das Eutektikum Spinell : Magnetit annähernd bestimmt ($\approx 3 \text{ Sp} : 97 \text{ M}$). Für die zwei anderen binären Eutektika nehmen wir die Werte an:

$$2 \text{ Sp} : 98 \text{ Hp} \text{ und } 15 \text{ M} : 85 \text{ Hp.}^1$$

Das binären Eutektikum², E , setzen wir schätzungsweise auf:

$$2.5 \text{ Sp} : 14 \text{ M} : 83.5 \text{ Hp.}$$

Auf der Horizontalprojektion Fig. 4 bedeutet P die Zusammensetzung der ursprünglichen Lösung.

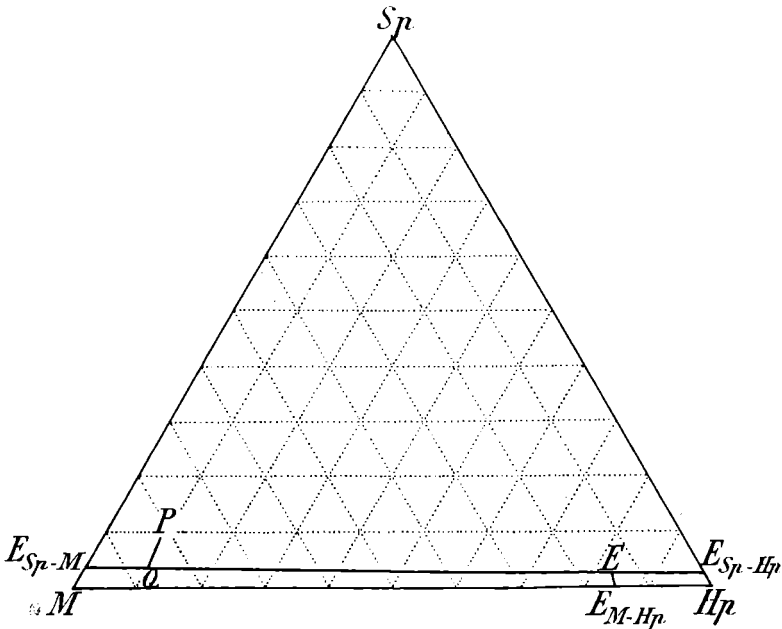


Fig. 4.

Die Theorie verlangt:

1. Anfänglich, auf der Strecke $P-Q$, alleinige Krystallisation von Spinell.

2. Dann auf der Strecke $Q-E$ Krystallisation von Magnetit und Spinell gleichzeitig; zwar sollte auf dieser Stufe die Krystallisation der Hauptmenge von Magnetit statt finden.

¹ Das Eutektikum Magnetit zu Fayalit habe ich in einer früheren Abhandlung auf etwa 33—20 Gewichtsprzt. Magnetit : 67—80 Przt. Fayalit geschätzt.

² Diejenigen Leser, die nicht mit dem ternären Eutektikum von unabhängigen Komponenten vertraulich sind, verweise ich auf das Referat in meiner Abh. in Tscherm. Min. petrogr. Mitt. XXIV, 1905, S. 441—443.

3. Zum Schluss, an *E*, gleichzeitige Krystallisation von Hypersthen, Magnetit und Spinell, und zwar im Verhältniss: sehr viel Hypersthen, etwas Magnetit, aber nur relativ wenig Spinell.

In der Tat finden wir:

1. Anfänglich nur Krystallisation von Spinell (porphyrische Spinell-Generation).

2. Dann in reichlicher Menge eine Grundmasse bestehend aus sehr viel Magnetit nebst ganz wenig Spinell.

3. Als Zwischenklemmungsmasse (Mesostasis), die in den Dünnschliffen nur etwa zehn Przt. ausmacht, erscheint Hypersthen mit etwas Magnetit und ein wenig Spinell. Die schwarzen Erzminerale (Magnetit und Ilmenit) zeigen häufig idiomorphe Kontur gegen den Hypersthen; die Hauptmenge der Erzminerale war somit ausgeschieden, ehe die Krystallisation des Hypersthens anfang. — Der Hypersthen ist bald ganz frei von Magnetit und Spinell; bald dagegen — und zwar überaus häufig — beobachtet man eine sehr schöne mikrogranophyrische Zusammenwachsung zwischen Hypersthen und Spinell wie auch zwischen Hypersthen und Magnetit. — Bei diesen Zusammenwachsungen von Hypersthen und Spinell erscheint der letztere in winzig dünnen Dräthen oder Stäbchen, die quantitativ nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen (s. die Tafel, Fig. 5). Bei den entsprechenden Zusammenwachsungen von Hypersthen und Magnetit kommt der Magnetit in etwas grösserer Menge vor; der Hypersthen ist jedoch auch bei diesen Zusammenwachsungen quantitativ gänzlich überwiegend. — Diese Erscheinung erklärt sich nur durch eine *gleichzeitige* Krystallisation, *am Schluss* des Erstarrungsvorganges, von Hypersthen, Magnetit und Spinell, und zwar im Verhältnis, Hypersthen überwiegend, etwas Magnetit, aber wenig Spinell.

Die Beobachtungen an dem Solnörerez stehen somit, betreffs allen drei Krystallisationsstufen, in der besten Uebereinstimmung mit der Theorie.

Entsprechende Zusammenwachsung zwischen den Silikatmineralien einerseits und dem Magnetit oder dem Spinell andererseits habe ich nicht bei den Proben der anderen Lokalitäten von Titanomagnetit-spinellit wahrgenommen. Bei den anderen Proben, wo das Silikatmineral häufig gänzlich serpentiniert oder chloritisiert ist, lässt sich die Krystallisationsstufe des Silikatmineral nicht sicher feststellen.

— Der Schwefelkies ist in unseren Titanomagnetit-spinelliten noch früher als der Spinell ausgeschieden (s. Zeits. f. prakt. Geol., 1900, S. 238).

Im Anschluss an den Titanomagnetit-spinelliten besprechen wir ganz kurz die von mir (in Zeits. f. prakt. Geol. 1910, Febr.-Heft) beschriebene Ausscheidung von *Korund*-führendem Titan-eisenerz bei Rödsand in Norwegen. Dieses Erz besteht (s. Anal. No. 7) annähernd aus:

1 $\frac{1}{2}$	Przt.	Korund
2	»	Kies
18	»	Ilmenit
59 $\frac{1}{2}$	»	Magnetit
19	»	Hornblende

nebst etwas Granat und ganz wenig Biotit (mit Chlorit).

Die Korundmenge schwankt in den verschiedenen Proben zwischen ca. 1 und ca. 2 Przt., steigt aber nicht noch höher auf.

Der — an Eisen ganz arme — Korund bildet hauptsächlich mittels grosse, porphyrische, in dem Titanomagnetit eingebettete Krystalle, die kurz säulenförmig und von OR, ∞R_2 und R begrenzt sind. Die Krystallflächen sind am öftesten sehr scharf; an mehreren Stellen sieht man jedoch ründliche Einbuchtungen des Magnetits, die in die Korundindividuen hinein reichen. Die Länge der Krystalle beträgt meist $\frac{1}{3}$ — $\frac{2}{3}$ mm., ausnahmsweise bis 1 $\frac{1}{2}$ mm. Nicht selten findet man Anhäufungen von mehreren (bis etwa 6 oder 7) Korundindividuen, die in dem noch flüssigen Magma zusammengeschwommen sind. Sowohl aus diesem Grunde wie aus der idiomorphen Kontur der Krystalle folgt, dass die Krystallisation des Korunds früher als diejenige des Magnetits (oder Titanomagnetits) anging. Ausser den oben besprochenen, relativ grossen Individuen finden sich auch kleinere (hinunter bis zu etwa 0,02 mm.) und zwar ergeben diese letzteren in der Regel keine idiomorphe Kontur. Es darf somit angenommen werden, dass die Krystallisation dieser letzteren, kleineren Individuen erst nach dem Beginn der Krystallisation des Magnetits anging, oder dass die Krystallisation derselben gleichzeitig mit derjenigen des Magnetits statt fand. Es lassen sich aber hier nicht — wie betreffs des Spinells der Titanomagnetit-spinellite — zwei distinkte Generationen von einander aushalten.

Weil eine bedeutende Menge des Korunds schon ausgeschieden war, ehe die Krystallisation des Magnetits anging, mag das Eutektikum zwischen Korund und Magnetit in den untersuchten Proben sicher nicht so viel wie $\frac{3}{4}$ Gew. Przt. Korund — gegen 99 $\frac{1}{4}$ Przt. Magnetit — enthalten; eher handelt es sich um eine Zahl wie etwa $\frac{1}{2}$ Przt. Korund : 99 $\frac{1}{2}$ Przt. Magnetit, oder vielleicht um noch weniger Korund zu noch mehr Magnetit.

Der Schmelzpunkt des Korunds liegt erheblich höher als derjenige des Spinells.¹ Hiermit dürfte in Verbindung stehen, dass das binäre Eutektikum der beiden Mineralien mit Magnetit (ca. 3 Przt. Spinell : 97 Przt. Magnetit; etwa $1\frac{1}{2}$ Przt. Korund : $99\frac{1}{2}$ Przt. Magnetit) viel weniger Korund als Spinell enthält.

Auch bei Metallen mit sehr bedeutenden Schmelzpunktunterschieden gilt als Regel, dass das binäre Eutektikum in der nächsten Nähe des am niedrigsten schmelzenden Minerals liegt²; beispielsweise bestehen so die binären Eutektika zwischen Silber (Schmelzpunkt 960°) und Zinn (232°) bzw. Blei (328°) in Gewichtsprozenten aus:

3.4 Przt. Ag : 96.6 Przt. Zinn
2.3 » Ag : 97.7 » Blei.

— Zum Schluss geben wir eine

Zusammenstellung einiger für die Petrographie wichtigen Bestimmungen von Mischkrystallkombinationen und von Eutektika.

A. *Kontinuierliche binäre Mischkrystallkombinationen.*

A. 1. *Zum Bakhuis Roozebooms Typus I* angehörnd.

Diejenige Komponente, welche den höchsten Schmelzpunkt hat, wird zuerst gestellt.

Plagioklas, An : Ab (*Vogt*¹; *Day and Allen*²)

Olivin, Mg_2SiO_4 : Fe_2SiO_4 (*Vogt*³; *V. Pöschl*⁴; *Döller*⁵)

Diopsid-Hedenbergit, $CaMgSi_2O_6$: $CaFeSi_2O_6$ (*Vogt*³; *Pöschl*⁴; *Döller*⁵)

Andere Pyroxenkombinationen, $CaMgSi_2O_6$:

$Na\ddot{F}eSi_2O_6$, $CaFeSi_2O_6$: $Na\ddot{F}eSi_2O_6$, wahr- } (*Vogt*³, z. T. *Döller*⁵)
scheinlich zum Typus I

Enstatit-Hypersthen, $Mg_2Si_2O_6$: $Fe_2Si_2O_6$ (*Vogt*³, z. T. *Döller*⁵)

Äkermanit-Gehlenit (*Vogt*³)

A. 2. *Zum Typus III* gehörend (z: mit Erniedrigung der Schmelzkurve, unterhalb dem Schmelzpunkt der am leichtesten schmelzbaren Komponente).

¹ Der Schmelzpunkt von Korund wird zu etwa 2000° (oder etwas darüber?) angegeben; und derjenige von Spinell zu etwa 1700° , jedoch etwas niedriger bei grösserer Beimengung von $FeAl_2O_4$ mit etwas $FeFe_2O_4$.

² Siehe z. B. meine Zusammenstellung in *Tscherm. Min. petrogr. Mitt.* XXV, 1908, S. 112 u. f.

Kombination) ist nicht scharf und sollte z. T. gestrichen werden; hierauf brauche ich aber hier nicht einzugeben.

C. 1. *Binäre Eutektika.*

Quarz : Orthoklas, ca. 27.5 % Qu : 72.5 % Or } (*Vogt*¹⁴)
 Quarz : Albit, ca. 27.5 % Qu : 72.5 % Ab }

Olivin, Mg₂SiO₄ : Diopsid, } ca. 32 % Ol. : 68 % Diops. }
 CaMgSi₂O₆ }
 Tephroit : Rhodolit, etwa 36 % Teph. : 64 % Rhod. } (*Vogt*⁹)
 Olivin : Melilith, ca. 26 % Ol. : 74 % Mel. }
 Augit : Åkermanit, etwa 40 % Aug. : 60 % Åkerm. }
 Anorthit : Melilith, etwa 35 % An. : 65 % Mel. }

SiO₂, Tridymit : α-CaSiO₃, } ca. 23 % Trid. : 77 % α-CaSiO₃ } (*Day*¹⁵)
 Pseudowollastonit }
 α-Ca₂SiO₄ : α-CaSiO₃, ca. 35 % α-Ca₂SiO₄ : 65 % α-CaSiO₃ } (etc.)
 CaO : α-Ca₂SiO₄, etwa 1/10 CaO : 9/10 Ca α-Ca₂SiO₄ }

Sillimanit, Al₂SiO₅ : SiO₂, etwa 1/6 Sill. : 5/6 SiO₂ } (*Shepherd*¹⁶)
 Korund, Al₂O₃ : Sillimanit, } ganz wenig Korund : bei- } (etc.)
 Al₂SiO₅ } nahe 100 % Sillimanit }

In derselben Abhandlung (No. 16) sind auch die Eutektika

zwischen 3CaO . Al₂O₃ und 5CaO . 3Al₂O₃,

zwischen 5CaO . 3Al₂O₃ und CaO . Al₂O₃,

zwischen CaO . Al₂O₃ und 3CaO . 5Al₂O₃

erforscht.

Cooper etc.¹⁷ haben die Eutektika

PbO : Pb₂SiO₄

Pb₂SiO₄ : PbSiO₃ festgestellt.

Magnetit : Fayalit, etwa 1/5—1/3 Magnetit : 4/5—2/3 Fayalit (*Vogt*³)

Korund : Magnetit, etwa 1/2 % Korund : } (*Vogt*, s. oben).
 99 1/2 % Magnetit }

C. 2. *Ternäre Eutektika* (oder noch mehr zusammengesetzte Eutektika).

Quarz : Orthoklas : Albit, etwa 27.5 % Qu : 30.5 % Or : 42 % Ab + An
 (*Vogt*¹⁴)

Dieses Eutektikum habe ich als das »granitische« Eutektikum (ohne Berücksichtigung der Eisenerze und der Eisenmagnesiumsilikate) bezeichnet.¹

Plagioklas : Magnetit : Hypersthen-Diallag 64.5 % Pl. (Labrador) :
8.5 % Magnetit : 27 % Hypersthen-Diallag (Vogt¹⁸).

Diese Bestimmung gilt jedoch nicht dem ternären, »gabbroidalen« Eutektikum, sondern einem Punkt auf der eutektischen Linie zwischen dem binären Eutektikum Plagioklas : Magnetit und dem Eutektikum Plagioklas : Magnetit : Hypersthen (nebst etwas Diallag), und zwar einigermassen in der Nähe des letzteren.

- 1) Silikatschmelzlösungen, II, 1904 und Phys.-chem. Gesetze der Krystallisationsfolge in Eruptivgest. Tscherm. Min. petrogr. Mitt. (T. M. P. M.), XXIV, 1905.
- 2) The isomorphism and thermal properties of the feldspars. Carnegie Institution of Washington, 1905; Amer. Journ. of Sc. XIX, 1905; T. M. P. M., XXVI, 1907.
- 3) Sil. I, II; T. M. P. M., XXIV, 1905.
- 4) Experimentelle Unters. an isomorphen Silikaten. T. M. P. M., XXVI, 1907.
- 5) Phys.-chem. Mineralogie, Leipzig, 1905. — Ueber die Schmelzpunkte der Silikate. Sitzber. Akad. Wiss. Wien, Juli 1906.
- 6) Ueber die binären Systeme des Na-Metasilikats mit Li-, Mg-, Ca-, Sr- und Ba-Metasilikat; des Li-Metasilikats mit K-, Mg-, Ca-, Sr- und Ba-Metasilikat; und über das Dreistoffsystem $\text{Na}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$. Diss. Göttingen, 1909 (bei *Tammann*); Zeits. f. anorg. Chemie, B. LXIII, 1909.
- 7) Isomorphismus der Ca- und Mn-Bisilikate. Zeits. f. anorg. Chemie, LIX, 1908.
- 8) T. M. P. M. XXIV, 1905.
- 9) Sil. I, II.
- 10) *E. T. Allen* and *W. P. White*, an dem Geophysical Labr. der Carnegie Inst., Washington. Diopside and its Relations to Calcium and Magnesium Metasilicates. Amer. Journ. Sc. XXVII, 1909.
- 11) *Vogt*, Sil. II, berechnet nach *H. O. Hofmann*, Transact. Amer. Inst. Min. Eng. 1899; die Bestimmung ist etwas fraglich.
- 12) Sil. II; die Bestimmung ist etwas fraglich.
- 13) Die Rödsand-Abh. in Zeits. f. prakt. Geol. 1910.
- 14) Namentlich T. M. P. M. XXV, 1906, wo andere Arbeiten citiert sind.
- 15) *Arthur L. Day* and *E. S. Shepherd*, Carnegie Inst. The Lime-Silica Series of Minerals. Amer. Journ. of Sc. XXII, 1906.
- 16) *E. S. Shepherd* and *G. A. Rankin*. Carnegie Inst. The Binary Systems of Alumina with Silica, Lime and Magnesia. Amer. Journ. of Sc. XXVIII, 1909.

¹ Ich benutze hier die Angelegenheit folgendes einzuschalten:

Als ich den Abschnitt »Ueber die Obsidiane« in meiner Abh. »Ueber anchi-mineralische und anchi-eutektische Eruptivgesteine« (Kristiania, Ges. d. Wiss., 1908, No. 10, S. 93—100) schrieb — mit näherer Entwicklung der in meiner Abh. »Physik.-chem. Gesetze der Krystallisationsfolge in Eruptivgest.« (Tscherm. Min. petr. Mit. XXIV, 1905, S. 459) und in »Anchi-eutektische und anchi-monominer. Eruptivgest.« (Norsk geol. Tidsskr. 1906, Heft I) angedeuteten Erklärung der Ursache der glasigen Erstarrung der Obsidiane (von Zusammensetzung annähernd wie das ternäre granitische Eutektikum) — war ich leider nicht darauf aufmerksam, dass *H. E. JOHANSSON*, von derselben theoretischen Betrachtung ausgehend, dieselbe Frage, in Geol. Fören. Förh. XXVII, 1905 behandelt hatte. Ich bitte um Entschuldigung, dass ich in meiner Abh. von 1908 seine zutreffende Darstellung nicht citierte.

- 17) H. C. Cooper, L. I. Shaw and N. E. Loewis. Thermal Analysis of the System $PbO-SiO_2$. Amer. Chemical Journ. XLII, 1909.
- 18) Vogt. On Labradorite-Norite with Porphyritic Labradorite-Crystals: a Contribution to the Study of the »Gabbroidal Eutectic«. Quart. Journ. LXV, 1909.

In der obigen Zusammenstellung habe ich nicht die von DÖLTER und seinen Schülern vor einigen Jahren auf Grundlage wissenschaftlich unrichtigen Arbeitsmethoden (hauptsächlich über »Erweichungspunkte« von Gläsern und über »Schmelzpunkte« von *mechanischen* Gemengen der Mineralien) zur Bestimmung der Eutektika mitnehmen können.

Die von mir vor einigen Jahren — auf Grundlage roher und approximativer, aber doch wissenschaftlich berechtigten Arbeitsmethoden¹ — gezogenen Schlüsse über die sehr *bedeutenden Schmelzpunkterniedrigungen* in den gemischten Silikatschmelzlösungen sind durch eine Reihe Präzisionsuntersuchungen aus den späteren Jahren bestätigt worden; namentlich verweise ich auf mehrere Arbeiten (No. 10, 15 und 16) von dem Geophysical Laboratory in Washington und auf WALLACE'S in Tammanns Laboratorium ausgeführte Arbeit (No. 6), ferner auch auf die Arbeit (No. 17) von COOPER etc.

Die bisherigen einschlägigen Untersuchungen über die Mischkrystallkombinationen und die Eutektika der Mineralien sind freilich kurz zu zählen, -- trotzdem sind wir ganz weit gekommen. Die physicochemischen Gesetze der Krystallisationsvorgänge in den Magmen sind in den Grundzügen ausgearbeitet, und neues Licht wird für die Petrographie geschaffen.

¹ Mein wichtigstes Material war die von R. ÅKERMAN ausgeführten Bestimmungen der totalen Schmelzwärme der Silikatschmelzflüsse am Anfange der Krystallisation.

Erleuchtung zu der Tafel.

Die Mikrophotographien sind von Herrn Staatsgeolog *J. Rekestad* ausgeführt worden.

Die Photographien Fig. 1—4 sind ohne Nicols, Fig. 5 dagegen unter gekreuzten Nicols aufgenommen.

Sämtliche Photographien stellen Titanomagnetit-spinellit von norwegischen Lokalitäten dar; No. 1 von Överste-Kammen, Tafjord; No. 2 und 3 von Hellevik; No. 4 von Andopen; No. 5 von Solnördal.

Das schwarze an Fig. 1—4 ist Titanomagnetit (Magnetit mit Ilmenit); das helle oder graue ist Spinell, ohne Silikatmineral.

An Fig. 1—3 sieht man den erheblichen Unterschied zwischen den grossen, porphyrischen Spinellkrystallen, mit mehr oder minder ausgeprägelter oktaëdrischer Begrenzung, und den ganz kleinen Spinellindividuen der Grundmasse. — Die grossen porphyrischen Spinellkrystalle in Fig. 1 und 2 führen mikroskopische Interpositionen in einigermaßen geringer Menge. Bei Fig. 3 dagegen sind die Interpositionen im inneren des Krystalls so reichlich, dass der Dünnschliff beinahe undurchsichtig ist; die Kante entlang ist die Menge der Interpositionen viel geringer.

Der porphyrische, an der Zeichnung ganz weisse Spinell an Fig. 4 ist frei oder beinahe frei von Interpositionen. Die dünnen weissen Streifen sind Spinell der Grundmasse, meist an dem oktaëdrischen Wachstumsflächen des Magnetits abgesetzt; s. S. 13.

Das schwarze an den beiden Seiten von Fig. 5 ist Titanomagnetit. Die Mittelpartie ist die Mesostasis, bestehend aus überwiegend Hypersthen (hell) in mikrogranophyrischer Zusammenwachsung mit Spinell (in ganz dünnen Stäbchen) und etwas Magnetit (in schwarzen, etwas dickeren Stäbchen oder Klümpchen); s. S. 19. An anderen Stellen desselben Dünnschliffes ist die Magnetitmenge in der Mesostasis grösser.

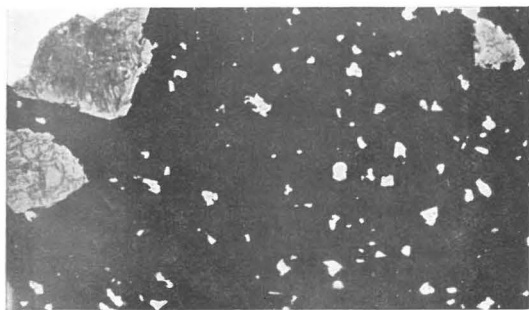


Fig. 1. Tafjorden. ($16_{/1}$)



Fig. 2. Hellevik. ($16_{/1}$)



Fig. 4. Andopen. ($32_{/1}$)



Fig. 3. Hellevik. ($16_{/1}$)

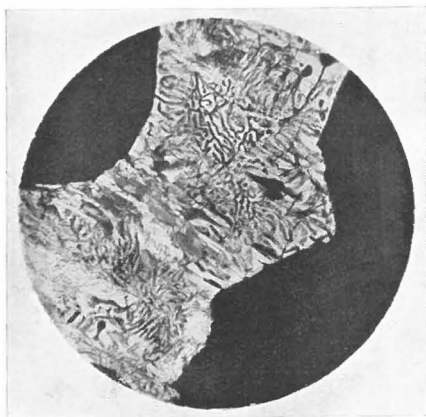


Fig. 5. Solnördal. ($65_{/1}$)