MEDDELELSER OM GRØNLAND
UDGIVNE AF
KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND
Bd. 95 · Nr. 5

TREAARSEXPEDITIONEN TIL CHRISTIAN DEN X's LAND 1931-34
Under Ledelse af Lauge Koch

PETROGRAPHIE DER EKLOGITEINSCHLÜSSE IN DEN GNEISEN DES SÜDWESTLICHEN LIVERPOOL-LANDES IN OST-GRÖNLAND

NEBST ANHANG: GRANULITARTIGER GNEIS NORDÖSTLICH VON KAP HOPE

VON

TH. G. SAHLSTEIN

MIT 5 TEXTFIGUREN UND 1 TAFEL

KØBENHAVN
C. A. REITZELS FORLAG
BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI A/S
1935

INHALT

Seite

Vorwort 5
Art des Vorkommens 7
Chemische Zusammensetzung 11
Minerale 15
Granat 15
Monokliner Pyroxen 19
Hornblende 21
Hypersthen 31
Plagioklas 33
Quarz 33
Biotit 33
Akzessorien 34
Anhang 36
Literatur 42

VORWORT

Die folgenden Seiten behandeln einige Gesteinstypen, die während der »Dreijährigen dänischen Expedition nach Christian X. Land (Ost-Grönland)« unter der Leitung von Dr. Lauge Koch im Jahre 1933 eingesammelt wurden. Die Felduntersuchungen standen unter der unmittelbaren Leitung von Prof. H. G. Backlund (Upsala). Verf. hatte dank seiner Aufforderung Gelegenheit als Assistent an diesen Untersuchungen zusammen mit den Herren Prof. Dr. E. H. Kranck, Mag. Scient. Arne Noe-Nygaard und Ing. Sten Hasselbalch teilzunehmen.

Die Untersuchungen Prof. Backlunds und seiner Begleiter wurden am Liverpool-Land, dessen Schwerpunkt etwa 71° nördlicher Breite und 22° westlich von Greenwich liegt, begonnen und später im Sommer weiter nach Norden fortgesetzt. Während der Untersuchung am Liverpool-Land wurden am 3—5. Juli am östlichen Ufer des Hurry Inlet (Lokalität I in Fig. 1) in den oft granatführenden Pyroxen-Hornblende-Gneisen granatreiche Bruchstücke gefunden, die petrographisch deutliche Analogien mit den von Eskola untersuchten norwegischen Eklogiten zeigten. Später, am 20. Juli, wurden ähnliche, aber stärker umgewandelte Bruchstücke auch in den granulitartigen, äusserst stark geschieferten Gneisen der Gegend nordöstlich der Grönländerhäuser von Kap Hope (2 in Fig. 1) und schliesslich kurz vor der Abreise am 29. August bei der Kolonie von Scoresbysund (3 in Fig. 1) in den dortigen Migmatiten angetroffen.

Das an den drei oben erwähnten Lokalitäten gesammelte Material an Bruchstücken wurde von Verf. im Mineralogisch-Geologischen Institut der Universität Helsingfors einer mikroskopischen Untersuchung unterzogen; die chemisch-analytische Seite der Arbeit hat Dr. Naima Sahlbom in Stockholm erledigt. Die Resultate dieser Untersuchung sind in der vorliegenden Arbeit zusammengestellt worden.

Verf. ist dem Leiter der Expedition, Herrn Dr. Lauge Koch, sowie Herrn Prof. Backlund, der seine Teilnahme an der Expedition ermöglichte, hierfür sowie für das bereitwillige Entgegenkommen bei der

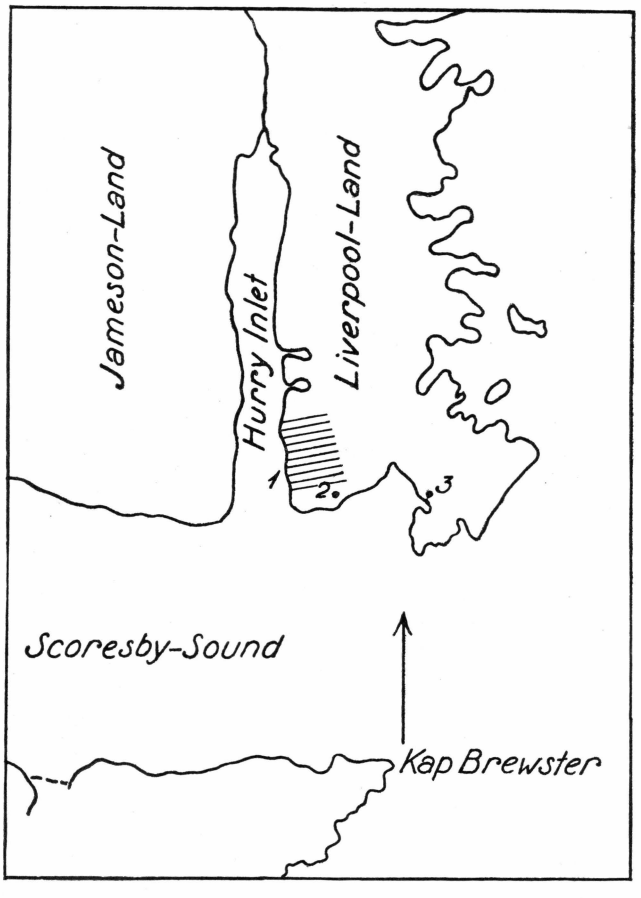

Fig. 1. Geographische Lage der Eklogitvorkommnisse im Liverpool-Lande. 1 E-Ufer des Hurry Inlet. 2 NE von Kap Hope. 3 Kolonie von Scoresbysund.

Bearbeitung des Materials zu Dank verpflichtet. Auch den übrigen genannten Mitgliedern der »BACKLUND-Gruppe« möchte Verf. für die lehrreiche Gesellschaft im Felde, insbesondere Herrn Prof. Dr. KRANCK auch für die Zusammenarbeit im Laboratorium, seinen Dank aussprechen. Seinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. PENTTI ESKOLA schuldet Verf. Dank für zahlreiche Ratschläge sowie für sonstige Unterstützung.

ART DES VORKOMMENS

Liverpool-Land, das von Koch (1929) dem ostgrönländischen Kaledonikum zugerechnet wird, bildet sowohl in petrographischer, als auch tektonischer Hinsicht einen einheitlichen, von der Umgebung scharf zu unterscheidenden Komplex. Wie aus der Arbeit von Kranck (1935) hervorgeht, trifft man hier neben granitischen bis granodioritischen Intrusionen verschiedenartige Gneise, die bald schwächer, bald stärker deformiert sind und gewöhnlich flachliegende Schieferungen und Faltungsachsen zeigen. In diesen Gneisen sieht man ganz allgemein teils schiefrige, teils fast massige Bruchstücke verschiedener Grösse, die zuweilen aus demselben Gneis bestehen wie das umhüllende Gestein, die aber doch in den überwiegend meisten Fällen einen basischeren Charakter tragen.

Die Eklogite und ihre Umwandlungsprodukte, die — wie oben erwähnt — im südlichsten Teil von Liverpool-Land vorkommen, sind offenbar diesen basischen Bruchstücken vollkommen analog. Es sind unregelmässig begrenzte (Fig. 3), linsenförmige (Fig. 4 und 5) oder langgestreckte Einschlüsse im Gneis, deren Grösse einige Zentimeter bis über hundert Meter beträgt (vgl. Kranck l. c.). Die Eklogite sind dabei völlig massig, zeigen aber in einigen Fällen eine schwache Parallelstruktur, die entweder mit derjenigen der Umgebung zusammenfällt oder zuweilen davon abweicht. Oft sieht man ausserdem, dass in grösseren Bruchstücken die beiden Hauptminerale des Eklogits, grasgrüner Pyroxen und dunkelroter Granat, zu schlierenartigen Wechsellagern sich entmischt haben.

Das Gebiet, in dem bei diesen Bruchstücken der eklogitische Charakter dominiert, ist nach den bisherigen Feldbeobachtungen nicht scharf abzugrenzen, denn in der betreffenden Gegend sind bisher hauptsächlich die Küstenteile aufgenommen worden. In dem Gebiet, das auf der Karte (Fig. 1) mit »E-Ufer des Hurry Inlet« bezeichnet worden ist, trifft man die Eklogite am schönsten ausgebildet. Es wurden dort drei Tage lang Exkursionen in verschiedene Richtungen unternommen,



Fig. 2. Eklogitführender Gneis am E-Ufer des Hurry Inlet.

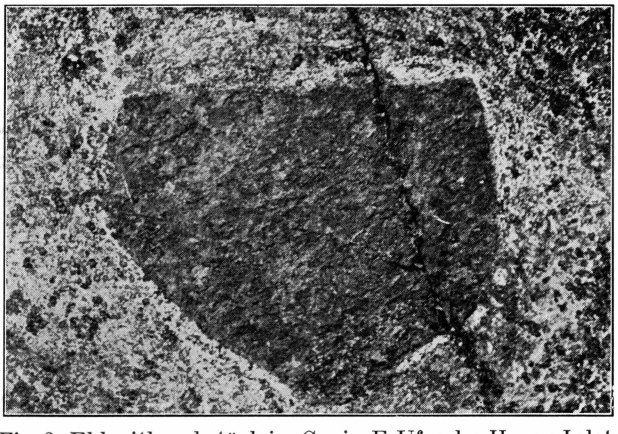

Fig. 3. Eklogitbruchstück im Gneis. E-Ufer des Hurry Inlet.

und dabei liess sich feststellen, dass frische Eklogite in einem Gebiet von einigen Kilometern Breite vorkommen, dessen östliche Grenze in einer Entfernung von etwa 4,5 km von der Küste noch nicht erreicht worden war. Im Gegensatz zum E-Ufer des Hurry Inlet sind die granatführenden Bruchstücke bei Kap Hope und der Scoresbysund-Kolonie immer bedeutend stärker umgewandelt. Diese Gesteine, in denen Amphibole oft eine dominierende Stellung einnehmen, zeigen zwar im Mikroskop gewöhnlich mehr oder weniger gut bewahrte Pyroxenreste, die jedoch dem unbewaffneten Auge völlig entgehen.

Wie von ESKOLA (1920 und 1921), GOLDSCHMIDT (1922) u. a. dargelegt, hat man in den Granat-Pyroxen-Gesteinen der Eklogitfazies, die in der Literatur gewöhnlich rein beschreibend als Eklogite bezeichnet worden sind, Gesteine zweierlei Genesis vor sich. Einerseits sind in ihnen primäre Eruptivgesteine zu erblicken, die tieferen Zonen der Erdrinde

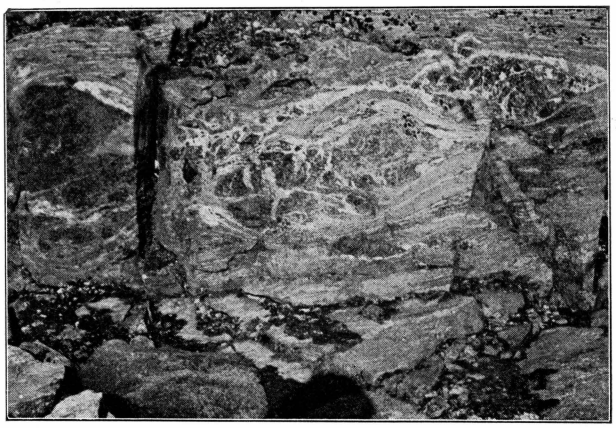

Fig. 4. Eklogitlinsen im Gneis. E-Ufer des Hurry Inlet.



Fig. 5. Eklogitlinsen im Gneis. E-Ufer des Hurry Inlet.

entstammen und durch irgendwelche tektonische, vulkanische etc. Prozesse verhältnismässig rasch aufwärts transportiert worden sind und deswegen ihren eklogitischen Charakter z. T. reliktisch bewahrt haben. Andererseits gibt es Fälle, die vermuten lassen dass die Eklogite zwar als Orthogesteine zu betrachten sind, dass sie aber ihren eklogitischen Habitus einer hochtemperierten Metamorphose unter hohem Druck zu verdanken haben.

Was die Genesis der Eklogite von Liverpool-Land betrifft, so ist sie schon von KRANCK (1935) eingehend erörtert worden und wird demgemäss hier nicht weiter diskutiert; es erscheint jedoch wünschenwert, in vorliegendem Zusammenhang über seine Theorie in aller Kürze zu referieren.

Die Granat-Pyroxen-Gneise vom E-Ufer des Hurry Inlet, wo die Eklogitbruchstücke eingebettet liegen, sind nicht als Arterite im Sinne

SEDERHOLMS zu betrachten, sondern werden von KRANCK als Paragneise gedeutet, die ihre Struktur (Fig. 2) grösstenteils durch eine metamorphe Differentiation (»solution principle«, ESKOLA 1932) erhalten haben. In diese Gneise sind basische Magmen intrudiert und dann auskristallisiert in einer Mineralzusammensetzung, von der wir nichts Sicheres aussagen können. Danach ist im ganzen Komplex eine starke Durchbewegung und zugleich eine Metamorphose in hoher Temperatur erfolgt. Die basischen Intrusiva sind dabei zu einzelnen Linsen auseinandergerissen worden und haben als Produkte der Metamorphose Eklogite geliefert, während die umhüllenden Paragesteine zu Granat-Pyroxen-Gneisen metamorphosiert worden sind.

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

Die chemische Zusammensetzung der zu untersuchenden Eklogite geht aus den drei untenstehenden Analysen hervor. Von diesen repräsentiert Analyse I ein fast vollkommen unumgewandeltes Gestein, in dem Mineralien sekundären Ursprungs nur spärlich vorhanden sind. Dagegen ist die Probe von Anal. II zu einem bedeutenden Teil amphibolitisiert, und diejenige von Anal. III zeigt nur hier und da Relikte vom eklogitischen Pyroxen und Granat.

In den Normen der Analysen sind, dem Vorschlag von BARTH (1932) folgend, die Pyroxene nur einfach als Metasilikate von Ca$^{\cdot\cdot}$, Fe$^{\cdot\cdot}$ und Mg$^{\cdot\cdot}$ angegeben.

Anal. I. Frischer Eklogit, Probe Nr. 19, Hurry Inlet.

	%	Mol.-Zahl	Norm	
SiO_2	53.24	0.883	q	8.94
TiO_2	0.44	6	or	1.11
ZrO_2	0.00	—	ab	2.10
Al_2O_3	5.96	58	an	14.46
Fe_2O_3	5.70	36	hl	0.23
FeO	5.58	92	Σ sal.	26.84
MnO	0.25	4		
MgO	16.49	409	$CaSiO_3$	15.66
CaO	10.49	187	hy $FeSiO_3$	6.60
BaO	0.00	—	hy $MgSiO_3$	40.90
Na_2O	0.40	6	mt	8.35
K_2O	0.17	2	il	0.91
P_2O_5	0.00	—	Σ fem.	72.42
Cl	0.14	4		
F	0.00	—		
S	0.00	—	Σ total.	99.26
$H_2O + 105°$	0.40	22		
	100.26			
— O für Cl	0.03			
	100.23			
$H_2O - 105°$	0.10			
CO_2	keine Reaktion			

Sp. Gew. 3.363.

Von Probe Nr. 19 wurde noch eine planimetrische Analyse mit dem Integrationstisch von LEITZ ausgeführt, und zwar mit folgendem Resultat:

	Vol. %	Sp. Gew.[1])	Gew. %
Pyroxen	66.2	3.248	64.6
Granat	24.4	3.754	27.6
Quarz	7.6	2.65	6.0
Amphibol	1.3	3.170	1.2
Rutil	0.5	4.2	0.6
	100.0		100.0

Ausserdem enthält das Gestein kleine Mengen von Erz etc.

Das für das ganze Gestein ermittelte spez. Gewicht, das auf Grund dieser für die Minerale angenommenen spezifischen Gewichte berechnet worden ist, beträgt 3.329.

Nimmt man an, dass Pyroxen, Granat und Amphibol von Probe Nr. 19 mit denjenigen von Probe Nr. 5A übereinstimmen, so lässt sich aus den im folgenden Kapitel gegebenen Analysen der betr. Minerale, sowie aus dem Resultat der planimetrischen Gesteinsanalyse die Zusammensetzung von Probe Nr. 19 ermitteln. Die Berechnung ergibt Folgendes:

	%
SiO_2	51.09
TiO_2	0.76
Al_2O_3	10.37
Fe_2O_3	3.20
FeO	5.60
MnO	0.06
MgO	12.57
CaO	14.54
Na_2O	1.21
K_2O	0.07
H_2O	0.36
	99.83

Vergleicht man diese Zusammensetzung mit Analyse I, so ist zu bemerken, dass beide keineswegs als identisch zu betrachten sind. Die Gehalte an Al_2O_3 und CaO sind nämlich bei Analyse I viel niedriger und diejenigen an Fe_2O_3, FeO, MgO bedeutend höher als in der berechneten Zusammensetzung. Diese Unterschiede zeigen deutlich, dass die Hauptminerale, Granat und Pyroxen, in den beiden Proben Nr. 5A und 19 in ihrer Zusammensetzung voneinander abweichen müssen.

[1]) Siehe folg. Kap.

Um — soweit es ohne chemische Analyse möglich ist — zu ergründen, in welchem Masse eine Verschiedenheit der Granate beider Proben zu erwarten ist, wurde die Lichtbrechung des Granats aus Probe Nr. 19 bestimmt. Als Mittelwert aus zahlreichen leicht divergierenden Messungen ergab sich $n_D = 1.788$. Weil nun die beiden in Frage stehenden Granate in ihrer Lichtbrechung einander verhältnismässig nahe stehen (s. folg. Kap), und vor allem weil der Pyroxen in Probe Nr. 19 mit dem überwiegend grössten Anteil vorhanden ist, lässt sich wohl vermuten, dass die oben angedeutete Divergenz der tatsächlichen und der berechneten Zusammensetzung der betr. Probe hauptsächlich in der Verschiedenheit der Pyroxene dieser beiden Proben ihre Erklärung findet, und dass der Granat in dieser Hinsicht eine unbedeutendere Rolle spielt. Zwar zeigen auch die Pyroxene der beiden Proben Nr. 19 und 5A eine weitgehende Parallelität (vgl. unten) in ihren optischen Eigenschaften, es ist aber in der Pyroxengruppe eine oft beobachtete Tatsache, dass die optische Identität zweier Varietäten keineswegs chemische Unterschiede ausschliesst.

Bei Anal. I fällt vor allem der abnorm niedrige Gehalt an Al_2O_3 in die Augen. MgO ist sehr reichlich vorhanden und bedingt einen Gehalt von 40.9% $MgSiO_3$ in den Normen. SiO_2 steht ebenfalls stark im Vordergrunde; dagegen treten die Alkalien ganz zurück.

Anal. II. Zum Teil amphibolitisierter Eklogit, Probe Nr. 16, Hurry Inlet.

	%	Mol.-Zahl	Norm	
SiO_2	48.80	0.809	or	5.00
TiO_2	1.30	16	ab	25.15
ZrO_2	Sp.	—	an	21.13
Al_2O_3	13.60	133	Σ sal.	51.28
Fe_2O_3	5.03	32		
FeO	5.80	81	$CaSiO_3$	13.69
MnO	0.18	3	hy $FeSiO_3$	3.56
MgO	8.58	213	hy $MgSiO_3$	15.40
CaO	11.57	206	ol Fe_2SiO_4	0.82
BaO	Sp?	—	ol Mg_2SiO_4	3.64
Na_2O	3.01	48	mt	7.42
K_2O	0.83	9	il	2.43
P_2O_5	0.38	3	ap	1.01
Cl	0.14	4	Σ fem.	47.97
F	0.00	—		
S	0.00	—	Σ total	99.25
$H_2O + 105°$	0.50	28		
	99.72			
—O für Cl	0.03			
	99.59			
$H_2O - 105°$	0.12			
CO_2	keine Reaktion			

Sp. Gew. 3.084

Anal. III. Stark amphibolitisierter Eklogit, Probe Nr. 1, Scoresbysund.

	%	Mol.-Zahl	Norm	
SiO_2	45.56	0.756	or	8.34
TiO_2	2.60	33	ab	22.53
ZrO_2	Sp?	—	an	27.80
Al_2O_3	16.10	158	Σ sal...	58.67
Fe_2O_3	5.59	35		
FeO	9.15	127		
MnO	0.20	3	$CaSiO_3$	3.25
MgO	6.54	162	hy $FeSiO_3$	6.20
CaO	8.60	153	hy $MgSiO_3$	11.70
BaO	0.05	—	ol Fe_2SiO_4	1.43
Na_2O	2.67	43	ol Mg_2SiO_4	3.22
K_2O	1.38	15	il	5.02
P_2O_5	0.86	6	mt	8.12
Cl	0.34	10	ap	2.02
F	0.00	—	Σ fem...	40.96
S	0.00	—		
$H_2O + 105°$	0.72	40	Σ total...	99,63
	100.36			
—O für Cl...	0.08			
	100.28			
$H_2O - 105°$	0.15			

Sp. Gew. 3.140.

Im Gegensatz zu Anal. I zeigen Anal. II und III einen viel höheren Al_2O_3-Gehalt und kommen demgemäss in dieser Hinsicht der üblichen Eklogitzusammensetzung näher. SiO_2 ist in letzteren nicht so reichlich vorhanden, ein Umstand, der durch die Abwesenheit von q in den Normen hervortritt. Ebenfalls zeigt MgO niedrigere Werte. Allerdings ist zu beachten, dass in den Anal. II und III die Alkalien bedeutend stärker vertreten sind als in Anal. I.

Wie oben erwähnt, stellen die Anal. I—III eine Reihe dar, in der die Amphibolitisation verschiedene Stadien aufweist. Vergleicht man die Analysen untereinander, so ist zu ersehen, wie die früher mehrmals gemachte Feststellung, dass die Umwandlung der Eklogite ohne nennenswerte Veränderung der Totalzusammensetzung vor sich geht, auch hier als gültig sich erweist. Denn die Unterschiede, die zwischen den drei gegebenen Analysen bestehen, sind offenbar solcher Natur, dass sie wohl mit gutem Recht grösstenteils als ursprünglich und nicht als Folge der Umwandlung anzusehen sind.

MINERALE

Diejenigen der gesammelten Proben, die am besten die unumgewandelte Eklogitzusammensetzung aufweisen, zeigen eine für Eklogite sehr charakteristische Mineralkombination. Die Hauptminerale sind monokliner Pyroxen, Granat und z. T. Quarz; akzessorisch treten noch Rutil, der jedoch zuweilen in ziemlich bedeutender Menge vorhanden sein kann, sowie Eisenerz und Pyrit auf. In den umgewandelten Typen findet sich dazu oft Amphibol, Plagioklas, Biotit, Hypersthen sowie viele akzessorische Minerale.

Es erschien nun wünschenswert, neben der chemischen Untersuchung des ganzen Gesteins auch nach Möglichkeit eine solche über die wichtigsten Minerale auszuführen. Darum wurden sowohl Granat und Pyroxen, als auch der als Umwandlungsprodukt um die Granatkörner herum auftretende Amphibol aus Probe Nr. 5A, die am besten dazu geeignet war, isoliert und von Dr. NAIMA SAHLBOM einer Analyse unterzogen. Die Separation, die durch das reichliche Vorhandensein von verschiedenartigen Einschlüssen sowie durch den geringen Unterschied zwischen den spezifischen Gewichten von Pyroxen und Amphibol (c:a 0.08) sehr erschwert war, wurde folgendermassen unternommen: aus dem gemahlenen Material war zuerst die Hauptmasse des sich unmagnetisch verhaltenden Pyroxens von den beiden magnetischen Mineralen Granat und Amphibol magnetisch zu trennen und der magnetische Teil mit Clericilösung zu fraktionieren. Die reinsten Granat- und Amphibolfraktionen sowie der unmagnetische Pyroxen wurden nun ganz fein gemahlen und in Clericilösung mittels der Zentrifuge von den Verunreinigungen befreit. — Wegen der Grobkörnigkeit der Probe ist keine Bauschalanalyse ausgeführt worden.

GRANAT.

Vom Granat der Probe Nr. 5A wurde die fast vollkommen reine Fraktion mit dem spezifischen Gewicht $3.725 < d < 3.848$ zur Analyse verbraucht.

Granat, E-Ufer des Hurry Inlet. Probe Nr. 5A.

	%	Mol. Zahl.	
SiO_2	37.97	0.630	
TiO_2	0.00	—	
Al_2O_3	21.79	213	251
Fe_2O_3	6.02	38	
FeO	12.87	179	648
MnO	0.13	2	
MgO	13.34	331	
CaO	7.65	136	
Na_2O	0.04	1	
K_2O	0.25	3	
$H_2O^{+105°}$	0.18	10	
	100.24		
$H_2O^{-105°}$	0.08		

Spezifisches Gewicht mit dem Pyknometer 3.754.
$n_D = 1.772$ (mit dem Prisma).

Versucht man auf Grund dieser Analyse die Gehalte an verschiedenen Granatmolekülen zu berechnen, so ist zu bemerken, dass es nicht ohne weiteres gelingt, denn das Verhältnis

$$RO : R_2O_3 : SiO_2 = 2.58 : 1 : 2.51$$

zeigt einen ungewöhnlich starken Ueberschuss an R_2O_3. Nimmt man den Gehalt an SiO_2 als Ausgangspunkt, so ergibt sich — in Mol.-Zahlen ausgedrückt — ein Ueberschuss von 41 R_2O_3 und 18 RO. Von diesen beiden übersteigt wohl letzterer nicht den Grad der in den Granaten üblichen Schwankungen in der Zusammensetzung, ersterer dagegen bedarf einer näheren Besprechung.

In den Fällen, wo eine bedeutende Unstimmigkeit der tatsächlichen Granatzusammensetzung mit der Theorie zu Tage tritt, ist sie in der Literatur gewöhnlich auf fremde Verunreinigungen zurückgeführt worden. In vorliegendem Granat jedoch, in dem der Ueberschuss an R_2O_3 etwa 4.18 Gew. % Al_2O_3 (bezw. allem vorhandenen Fe_2O_3) entspricht, ist diese Erklärungsweise nicht ausreichend. In dem zur Analyse verbrauchten Material kann man zwar mit der Lupe einige schwarze Pünktchen entdecken, die offenbar von den eingebetteten Einschlüssen, zum grössten Teil aber von den die Granatkristalle umhüllenden Umwandlungszonen herstammen; doch kann deren Menge selbst bei höchstmöglicher Schätzung sicherlich nicht 1—2 % übersteigen. Dazu ist nun zu beachten, dass der Amphibol, der den überwiegend grössten Teil dieser Umwandlungszonen einnimmt und folglich auch unter den betr. Verunreinigungen dominiert, nach der weiter unten gegebenen Analyse auf den R_2O_3-Gehalt des Granats nicht erhöhend, sondern umgekehrt

erniedrigend wirken muss (ähnlich verhält sich auch der ev. vorhandene Pyroxen). Ebenfalls ist es in dieser Hinsicht von Bedeutung, dass die Analyse kein TiO_2 aufweist, obschon die Granatkristalle recht allgemein Rutilnädelchen bis zu einer Länge von 0.02 mm enthalten.

Eine andere Möglichkeit zur Erklärung des von der Theorie abweichenden Verhältnisses RO : R_2O_3 : SiO_2 besteht in der Annahme teilweiser isomorpher Vertretung von Si durch Al. Aber auch dies führt nicht zu einem befriedigenden Resultat, denn SiO_2 und RO stehen schon ohne solche Vertretung in verhältnismässig guter Uebereinstimmung miteinander, und die evt. Vertretung kann demgemäss nur einen kleinen Teil von dem Al_2O_3-Ueberschuss beseitigen. Zu bemerken ist noch, dass nach Machatschki (1933) in den Silikaten, die vereinzelte SiO_4-Tetraeder enthalten, erfahrungsgemäss »Si in den Tetraederverbänden nicht oder nur unbedeutend durch Al ersetzbar« ist.

Es bleibt nach Obigem noch die Möglichkeit, dass der Al-Ueberschuss zwar dem Granatgitter selbst innewohnt, dass er aber, da die Al-Atome nicht die gleiche Stellung einnehmen wie der übrige Teil der R^{III}-Atome, nicht in der Formel zur Geltung gelangt. Die endgültige Lösung dieser Frage muss jedoch z.Z. ausbleiben. Es sei nur darauf hingewiesen, dass nach Menzer (1929) beim Granat keine dichteste Kugelpackung vorliegt, dass vielmehr vereinzelte Lücken auftreten.

Lässt man nun diese Unstimmigkeit mit der theoretisch zu erwartenden Zusammenzetzung vorläufig ausser acht und rechnet man alles MgO und FeO als Pyrop bezw. Almandin (einschliesslich Spessartin), so ergeben sich rund 51 Mol. % Pyrop und 28 Mol. % Almandin. Auf Grund dieser Werte sowie der oben angegebenen Lichtbrechung kann man nach der von Philipsborn (1928) entwickelten Methode der Tetraederprojektion die Zusammensetzung des Granats wie folgt bestimmen:

Pyrop	51	Mol. %
Almandin	28	—
Andradit	17	—
Grossular	4	—

oder direkt aus der Analyse in der Darstellungsweise Eskolas:

$$(Fe_{28},\ Mg_{51},\ Ca_{21})_3\ (Al_{83},\ Fe_{17})_2.$$

Bei der Benutzung dieser Angaben muss beachtet werden, dass nach Obigem die gegebenen Werte nicht als exakt anzusehen sind. Die Fehlersumme dieser Prozentzahlen kann höchstens etwa 4 Mol. % betragen.

Wie Eskola (1920) gezeigt hat, ist es eine auffallende Tatsache, dass die Granate, die in den eklogitischen Gesteinen vorkommen, in ihrer

chemischen Zusammensetzung eine recht grosse Variationsbreite repräsentieren. In seiner oben zitierten Arbeit über die norwegischen Eklogite hat ESKOLA im Ganzen 12 Granatanalysen veröffentlicht, deren Material z. T. aus echten Eklogiten (4) und Labradoritgesteinen (2), z. T. aber aus Granat-Gabbros (1) und Granatamphiboliten (5) herstammt. Die vier Eklogitgranate zeigen folgende Zusammensetzung:

Almklovdalen	$(Fe_{26}Mn_1Mg_{61}Ca_{12})_3\ (Al_{97}Fe_3)_2$
Silden	$(Fe_{40}Mn_2Mg_{43}Ca_{15})_3\ (Al_{94}Fe_6)_2$
Vanelvsdalen	$(Fe_{57}Mn_2Mg_{16}Ca_{25})_3\ (Al_{95}Fe_5)_2$
Romsdalshorn	$(Fe_{61}Mn_1Mg_{20}Ca_{18})_3\ (Al_{89}Fe_{11})_2$.

Von diesen stimmen die Granate aus Vanelvsdalen und Romsdalshorn vollkommen mit denjenigen der Granatamphibolite überein, während beim Granat aus Almklovdalen das Verhältnis Mg : Fe^{II} viel grösser ist. Dabei nimmt der Granat aus Silden gewissermassen eine vermittelnde Stellung ein, steht aber doch dem Granat aus Almklovdalen näher. — Die Granate aus Labradoritgesteinen zeigen eine dem Granat von Silden entsprechende Zusammensetzung.

Der Unterschied zwischen dem Granat aus Almklovdalen einerseits und den drei übrigen Eklogitgranaten anderseits ist umso bemerkenswerter, als ein entsprechender Unterschied auch in der Art des Vorkommens zu spüren ist. Der Eklogit von Almklovdalen ist nämlich in ein Olivingestein eingebettet, diejenigen von Vanelvsdalen, Silden und Romsdalshorn dagegen in Gneiss.

Wie weit diesem Umstand allgemeinere Gültigkeit zukommt, ist z. Z. nicht zu entscheiden, jedenfalls scheint eine ähnliche Tendenz auch anderswo zu bestehen. So berichtet FR. BRIÈRE (1920) von einem Eklogitgranat mit der Zusammensetzung $(Fe_{38}Mg_{34}Ca_{28})_3\ (Al_{92}Fe_3)_2$ aus Saint-Philbert de Grandlieu, wo der betr. Eklogit in einem nicht näher beschriebenen kristallinen Schiefer liegt. Auch LAURA HEZNER (1903) gibt einen hierhergehörigen Granat aus den Eklogiten des Ötztals mit der Zusammensetzung $(Fe_{43}Mg_{35}Ca_{22})_3\ (Al_{85}Fe_{15})_2$ an. Eklogitgranate aus Eklogiten mit einem ultrabasischen Umhüllenden hat MENNELL (1910) angegeben, und zwar aus dem Kimberlit von Colossus Mine (Rhodesia). Es sind zwei Analysen angeführt, die eine Zusammensetzung von $Fe_{31}Mg_{36}Ca_{33}$ bezw. $Fe_{18}Mg_{49}Ca_{33}$ zeigen und die demgemäss zwischen denen der Granate von Silden und Almklovdalen stehen.

Von der oben angedeuteten Tendenz stellt der untersuchte Granat aus Liverpool-Land eine deutliche Ausnahme dar. Er entspricht nämlich trotz seines andersartigen Vorkommens am besten dem Granat aus Almklovdalen, jedoch mit dem Unterschied, dass der Granat aus Liverpool-Land einen viel höheren Gehalt an Fe^{III} aufweist, eine Tatsache, die auch seine höhere Lichtbrechung erklärt.

MONOKLINER PYROXEN.

Der Pyroxen tritt hervor in rundlichen, seltener etwas länglichen Körnern, die gewöhnlich keine Kristallflächen zeigen. In den unumgewandelten Eklogiten ist er in der Regel verhältnismässig arm an Einschlüssen, in den stark umgewandelten Typen dagegen ist er oft äusserst intensiv, teils von einem Uralitisierungsprozess, teils von einer Symplektitbildung, angegriffen.

Zur chemischen Analyse wurde von Probe 5A die Fraktion mit dem spezifischen Gewicht $3.210 < d < 3.338$ verbraucht. Die mikroskopische Untersuchung des Materials zeigte, dass eine quantitative Beseitigung aller derjenigen Körner, welche nicht absolut frei von Feldspateinschlüssen waren, auch bei mehrfacher Behandlung mit der Zentrifuge ausgeschlossen bleibt. Es ist demnach der Gehalt an Feldspateinschlüssen, dessen quantitative Auswertung auf Schwierigkeiten stiess, im analysierten Material zwar stark herabgesetzt, nicht aber völlig verschwunden, was sicherlich keinen grösseren Einfluss auf das Resultat der Analyse ausüben kann.

Monokliner Pyroxen, E-Ufer des Hurry Inlet. Probe Nr. 5A.

	%	Mol.-Zahl.
SiO_2	52.82	0.876
TiO_2	0.25	3
Al_2O_3	6.42	63
Fe_2O_3	2.30	14
FeO	3.07	43
MnO	0.03	—
MgO	13.49	335
CaO	19.06	340
Na_2O	1.82	29
K_2O	Sp?	—
$H_2O + 105°$	0.48	27
	99.74	
$H_2O - 105°$	0.15	

Spezifisches Gewicht mit dem Pyknometer 3.248.

Der Pyroxen in Probe Nr. 5A zeigt eine optische Orientierung von

$$b//\beta, \quad c \wedge \gamma = c{:}a\ 43°.$$

Optischer Charakter positiv. Keinerlei Pleochroismus sowie keine merkliche Dispersion wahrnehmbar. Das Mineral ist megaskopisch grün, im Dünnschliff dagegen fast farblos. Lichtbrechung mit der Immersionsmethode

$$\left.\begin{matrix} \alpha = 1.679 \\ \gamma = 1.700 \end{matrix}\right\} \pm 0.003$$

$\gamma - \alpha = 0.019$ (mit dem BEREKschen Kompensator). 2V wurde mit dem U-Tische von LEITZ zu 72° bestimmt.

Nunmehr wäre es wünschenwert, auf Grund der oben angegebenen Analyse die Gehalte der verschiedenen Pyroxenkomponenten auszurechnen und die gewonnenen Ergebnisse mit ähnlichen Angaben aus der Literatur zu vergleichen. Es hat jedoch den Anschein, als ob gerade beim Augit die Kristallstruktur gegenwärtig nicht in genügender Schärfe bekannt wäre, um exakte Prozentzahlen aller ihn aufbauenden Komponenten angeben zu können, zumal hinsichtlich dieser Komponenten selbst wohl eine gewisse Unsicherheit herrscht. Ausserdem ist es z. B. beim Al nicht im voraus zu sagen, wie weit es in jedem einzelnen Fall als Kation oder als Vertreter von Si im Anion am Aufbau des Gitters beteiligt ist. Aus diesen Gründen wird die gegebene Analyse weiter unten nur als solche ohne irgendwelche Umrechnungen diskutiert und mit Pyroxenanalysen aus anderen Eklogiten verglichen.

Dass die chemische Zusammensetzung des Granats in den Eklogiten ziemlich starken Variationen unterworfen ist, scheint, wie ebenfalls von ESKOLA dargelegt worden ist, auch für den Eklogitpyroxen zu gelten. In den Eklogiten und den damit verwandten Chloromelanititen sowie Jadeititen ist eine mehr oder minder kontinuierliche Reihe von Pyroxenen vom Jadeit bis zur fast reinen Augit- bezw. Diopsidzusammensetzung anzutreffen. Diese Pyroxene tragen nun in der Literatur verschiedene Namen. Abgesehen vom echten Jadeit, der offenbar eine genau definierte Mineralspezies repräsentiert, sind die übrigen als Chloromelanit, Omphazit und z. T. nur einfach als Klinopyroxen bezeichneten Varietäten ziemlich komplizierte Mischungen, die sich nicht mit scharfen Grenzen voneinander trennen lassen. Während man unter Chloromelanit eine oft eisenreichere, sonst aber gewissermassen zwischen Jadeit und Omphazit rangierende Abart versteht, scheint dem Omphazit in der Literatur zweierlei Bedeutung zugeschrieben worden zu sein. Einerseits bezeichnet man damit Diopside und Augite, die immer Na_2O bis etwa 7—8% enthalten. Andererseits hat man darauf aufmerksam gemacht, dass es fast alkalifreie Eklogitpyroxene gibt, die sowohl optisch, als auch ihrem Vorkommen nach den »Omphaziten« völlig zur Seite gestellt werden können. Man hat daher den Begriff Omphazit oft nicht mit einem bestimmten Chemismus verbunden, sondern ganz einfach alle Eklogitpyroxene umfassen lassen.

Weil nun der zu untersuchende Pyroxen von Liverpool-Land einen Na_2O-Gehalt von nur 1.82% aufweist, ist er nach der ersteren der oben erwähnten Definitionen nicht als ein echter Omphazit zu bezeichnen,

denn diese zeigen gewöhnlich wenigstens 3—4% Na_2O. Am nächsten scheint dieser Pyroxen den Eklogitpyroxenen von Silden und Almklovdalen (Norwegen) sowie denjenigen von Aiguilles Rouges zu entsprechen. Diese geben nach Eskola (1921) bezw. Joukowsky[1]) folgende Daten:

	Silden	Almklovdalen	Aiguilles Rouges
SiO_2	55.56	54.49	51.28
TiO_2	0.15	Sp.	—
Al_2O_3	7.17	2.50	5.00
Fe_2O_3	2.82	1.63	2.95
Cr_2O_3	—	0.20	—
FeO	2.06	1.98	9.58
MnO	0.05	0.06	—
MgO	11.32	16.74	11.93
NiO	—	0.03	—
CaO	16.85	21.40	19.17
Na_2O	3.92	0.83	—
K_2O	0.57	0.40	—
H_2O	0.08	0.12	0.49
	100.55	100.38	100.40
Sp. Gew.	3.330	3.30	—
β_{Na}	1.685	1.675	—
$\gamma - \alpha$	0.024	—	0.0249
2V	67° appr.	58°—59°	—
$c : \gamma$	42° appr.	40° appr.	44°—45°

Der Pyroxen von Probe Nr. 19, der nach Obigem in seinem Chemismus mit demjenigen aus Probe Nr. 5A nicht übereinstimmt, zeigt Folgendes: Optisch positiv. $b \parallel \beta$; $c \wedge \gamma = 42°$ ca. Keinerlei Dispersion. 2V mit dem U-Tisch = 72° ca. $\alpha = 1.676 \pm 0.003$, $\gamma = 1.700 \pm 0.003$. Kein Pleochroismus wahrnehmbar.

HORNBLENDE.

In den am wenigsten umgewandelten Eklogitproben trifft man eine Hornblendevarietät, die ausschliesslich in den Umwandlungszonen ringsum die Granatkristalle hervortritt, und die demgemäss als ein Umwandlungsprodukt von Granat und Pyroxen zu betrachten ist. In der Probe Nr. 5 A, in der diese Umwandlungszonen am schönsten ausgebildet sind,

[1]) Die Arbeit von Joukowsky (Sur les éclogites des Aiguilles Rouges, Genève 1902) hat dem Verf. nicht zur Verfügung gestanden. Die betr. Daten sind aus M:lle Brière (1920) und Laura Hezner (1903) entnommen.

sieht man um den Granat zuerst die äusserst schöne und regelmässige Zone eines bläulichgrünlichen, stark pleochroitischen Amphibols. Zwischen diesem Amphibol und dem umhüllenden Pyroxen sieht man hie und da unregelmässige, oft ganz feinkörnige Teilchen eines grünlichen, schwach pleochroitischen Minerals, das prismatische Spaltbarkeit zeigt und parallel zu den Spaltrissen auslöscht. Die nähere Identifikation dieses Minerals ist nicht möglich, doch wäre es denkbar, dass man es hier mit einer gerade auslöschenden Hornblende zu tun hätte.

Der bläulichgrünliche Amphibol bildet bald dünnere, bald dickere Zonen und nimmt zuweilen sogar den ganzen Raum eines umgewandelten Granatkristalls ein. Diese Hornblende wurde aus Probe Nr. 5A in der vorhin geschilderten Weise isoliert und die vollkommen reine Fraktion mit dem spezifischen Gewicht $3.143 < d < 3.288$ analysiert.

Um die Analyse mit denjenigen von KUNITZ (1930) vergleichen zu können, sind auch die Mol.% angegeben.

Amphibol, E-Ufer des Hurry Inlet, Probe Nr. 5A.

	%	Mol. Zahl	Mol. %
SiO_2	41.06	0.681	42.23
TiO_2	0.24	3	0.18
Al_2O_3	18.52	181	11.21
Fe_2O_3	4.67	29	1.79
FeO	7.81	109	6.75
MnO	0.25	4	0.25
MgO	15.31	380	23.53
CaO	9.92	177	10.96
Na_2O	1.24	20	1.24
K_2O	0.34	4	0.25
$H_2O + 105°$	0.46	26	1.61
	99.82		100.00
$H_2O - 105°$	0.11		

In einer Clericilösung mit $d = 3.170$ bleibt das Mineral auch beim längeren Zentrifugieren schwebend.

Optische Orientierung des Amphibols:

$$b \parallel \beta;\ c \wedge \gamma = \text{ca. } 24°$$

Keine merkliche Dispersion. Winkel der optischen Achsen gross. Mit dem U-Tisch von LEITZ wurde bestimmt: $V = 45°$ appr.

Pleochroismus deutlich:

α = fast farblos
β = lichtgrünlich
γ = lichtbläulich
Absorption: $\beta \sim \gamma > \alpha$.

Lichtbrechung mit der Immersionsmethode:

$$\left.\begin{array}{l}\alpha = 1.658\\ \gamma = 1.674\end{array}\right\} \pm 0.003$$

Mit dem BEREKschen Kompensator wurde $\gamma - \alpha$ zu 0.018 ca. bestimmt.

Aus denselben Gründen wie beim Pyroxen wurden aus der Amphibolanalyse die Gehalte an verschiedenen Amphibolkomponenten nicht berechnet, sondern die Analyse wird nur einfach an sich mit solchen von Amphibolen verglichen.

Betrachtet man die Analyse des untersuchten Amphibols und vergleicht sie mit dem von KUNITZ (1930) gegebenen Analysenmaterial aus verschiedenartigen Hornblenden, so fällt im Amphibol von Liverpool-Land vor allem der hohe Al_2O_3-Gehalt in die Augen, denn bei KUNITZ findet man keine einzige Analyse, die mehr als 10 Mol.% Al_2O_3 enthält. Auch der Wassergehalt ist abnorm niedrig. Am besten scheint die Hornblende aus Liverpool-Land der gemeinen Hornblende von Barnaschka Kudnik zu entsprechen, die nach KUNITZ (l. c. p. 207) folgende Werte aufweist:

SiO_2	41.92	Mol.%	Sp. Gew. 3.214
TiO_2	0.15		$\alpha = 1.652$
Al_2O_3	7.55		$\gamma = 1.671$
Fe_2O_3	1.10		$\gamma - \alpha = 0.019$
FeO	8.87		b // β
MgO	20.59		Optischer Charakter —.
CaO	12.40		
Na_2O	1.78		
K_2O	0.49		
H_2O	5.16		

Obwohl die Hornblenden in den Eklogiten oft als Untersuchungsgegenstand gedient haben, gibt es in der Literatur äusserst wenig Angaben über ihre chemische Zusammensetzung. Dieser Umstand scheint darauf zurückzuführen zu sein, dass die Hornblende, die in den Eklogiten ein Umwandlungsprodukt aus Granat und Pyroxen darstellt, nur in schmalen Kontaktzonen um die Granatkristalle herum oder sonst in feinkörnigen Massen vorkommt und daher öfters unmöglich von den übrigen Gemengteilen in einer für die chemische Analyse genügenden Reinheit zu isolieren ist. Unter den Angaben, die in der Literatur über die Eklogithornblenden zu finden sind, verdient diejenige von JOUKOWSKY (1901) besondere Beachtung. Er hat offenbar aus derselben Probe sowohl Pyroxen und Granat, als auch den um die Granatkörner herum auftretenden Amphibol analysiert. Diese Analysen sind zwar ziemlich unvollständig, soweit aber aus ihnen zu ersehen ist, nimmt der Amphibol

in seiner Zusammensetzung eine Zwischenstellung zwischen Granat und Pyroxen ein. Ausserdem hat ZAMBONINI (1902) einen glaukophanartigen Amphibol aus Eklogiten des Gressoney-Tales analysiert, und KREUTZ (1908) gibt die von RAMMELSBERG ausgeführte Analyse einer Hornblende aus Eklogit von der Saualpe wieder. Diese letztere ist in Analogie mit derjenigen von Liverpool-Land ziemlich alkaliarm, zeigt aber, wie auch die vorige, einen bedeutend niedrigeren Al_2O_3-Gehalt. In der ebenfalls verhältnismässig alkaliarmen »Hornblende aus Eklogit, Calaveras Valley, Kalifornien« (ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre, p. 716) ist das Verhältnis FeO : MgO viel höher als in dem Amphibol aus Liverpool-Land.

Vergleicht man die Amphibolanalyse mit den vorhin oben angegebenen Granat- und Pyroxenanalysen, so bemerkt man, dass, wie zu erwarten war, der Amphibol in seiner chemischen Zusammensetzung im allgemeinen zwischen Granat und Pyroxen steht. Sieht man von MnO und K_2O ab, so nimmt nur MgO von dieser Regel eine Ausnahmestellung ein, denn der Amphibol enthält rund 2% MgO mehr als sowohl Granat wie auch Pyroxen. Es wäre nun von Bedeutung, auf Grund der drei gegebenen Mineralanalysen der Probe Nr. 5A zu erfahren, in welchem Verhältnis Granat und Pyroxen unter Amphibolbildung mit einander in Reaktion treten. Bezeichnet man die an der Reaktion teilnehmenden Mengen der betr. Minerale mit M_{Granat} bezw. $M_{Pyroxen}$, so kann man das Verhältnis $M_{Granat} : M_{Pyroxen}$ für die verschiedenen Oxyde etwa nach folgender Gleichung berechnen:

$$g \cdot M_{Granat} + p \cdot M_{Pyroxen} = a \cdot (M_{Granat} + M_{Pyroxen}),$$

wobei g, p und a die Prozentzahlen eines betr. Oxyds im Granat, Pyroxen bezw. Amphibol darstellen. Die Berechnung gibt folgende Werte:

Für	SiO_2	ist	$M_{Granat} : M_{Pyroxen}$	= 3.6
—	Al_2O_3	—	—	= 3.6
—	Fe_2O_3	—	—	= 1.7
—	FeO	—	—	= 0.9
—	CaO	—	—	= 4.0

Für MgO, MnO und K_2O ist die Berechnung natürlich nicht durchzuführen; für Na_2O, TiO_2 und H_2O wurde sie ebenfalls nicht ausgeführt, denn die betr. Prozentzahlen sind so gering, dass das aus ihnen zu gewinnende Verhältnis ziemlich unexakt wird.

Die berechneten Werte für das Verhältnis $M_{Granat} : M_{Pyroxen}$ zeigen eine Einteilung in zwei deutlich voneinander zu unterscheidenden Gruppen. Die Werte für SiO_2, Al_2O_3 und CaO einerseits zeigen eine verhältnismässig gute gegenseitige Uebereinstimmung mit einem Mittelwert von 3,7, und andererseits sind die Werte für Fe_2O_3 und FeO von

einer gemeinsamen, wenn auch von ersterer streng abweichenden Grössenordnung.

Als erstes Resultat obiger Ueberlegungen lässt sich nun feststellen, dass die Reaktion zwischen Granat und Pyroxen nicht ganz einfach unter ausschliesslicher Bildung von Amphibol verlaufen kann, sondern dass es notwendigerweise auch andere Reaktionsteilnehmer gibt, die entweder auf der linken, oder wahrscheinlicher auf der rechten Seite der Reaktionsgleichung auftreten.

Um diese Reaktionsgleichung für die Amphibolbildung aufzustellen, kann man nach Obigem in zweierlei Weise verfahren. Man kann erstens den Mittelwert des Verhältnisses $M_{Granat}:M_{Pyroxen}$ für Fe_2O_3 und FeO zugrundelegen und die Gleichung etwa so schreiben: 1.3 Granat + 1 Pyroxen → 2.3 Amphibol (+ ev. andere Reaktionsprodukte). Man fragt sich nun, wie verhalten sich SiO_2, Al_2O_3 und CaO, für welche das Verhältnis $M_{Granat}:M_{Pyroxen}$ nicht dieser Gleichung entspricht? Geschieht die Reaktion wirklich nach obiger Gleichung, so erhält man im Reaktionsprodukt einen Ueberschuss an SiO_2 und CaO über die Amphibolzusammensetzung, denn der Pyroxen enthält von diesen Oxyden mehr als der Granat. Was dagegen Al_2O_3 betrifft, so muss es sich damit gerade umgekehrt verhalten, nämlich in der Weise, dass das System von aussen her eine Al_2O_3-Zufuhr braucht, da der Granat bedeutend reicher an Al_2O_3 als der Pyroxen ist.

Zweitens kann man für das Verhältnis $M_{Granat}:M_{Pyroxen}$ den oben erwähnten Mittelwert 3.7 einsetzen. Dann ergibt sich zwar im Reaktionsprodukt ein Ueberschuss an Fe_2O_3 und FeO über die Amphibolzusammensetzung, jedoch dieser Umstand stimmt mit dem Schliffbild des Gesteins gut überein; denn besonders dort, wo die Umwandlung der Granatkristalle etwas weiter fortgeschritten ist, sind im Amphibol oft Spinell- bezw. Eisenkiesausscheidungen anzutreffen.

Von diesen beiden Versuchen, eine Reaktionsgleichung für die Amphibolbildung aufzustellen, scheint nun offenbar der letztere den wahren Verhältnissen näher zu kommen. Die Gleichung ist daher etwa folgendermassen zu fassen:

3.7 Granat + 1 Pyroxen → (4.7—x) Amphibol + x (Spinell + Eisenerz).

Bei Anwendung dieser Gleichung ist jedoch zu beachten, dass der hohe MgO-Gehalt des Amphibols nicht mit ihr in Uebereinstimmung steht, und dass diese Gleichung demgemäss nur ein annäherndes und stark schematisiertes Bild von der Reaktion vermittelt.

Was bei der oben aufgestellten Reaktionsgleichung in erster Linie Beachtung verdient, ist dass der Pyroxen nur zu einem verhältnismässig kleinen Teil an der Amphibolbildung teilnimmt. Wie aber schon eine qualitative Betrachtung von Probe Nr. 5A zeigt, ist der Pyroxen

in diesem Gestein in bedeutend grösserer Menge vorhanden als der Granat. Denkt man sich nun die Reaktion so weit fortgeschritten, dass der Granat völlig verzehrt ist, so muss also im Gestein noch reichlich Pyroxen übrig sein, der von dieser Reaktion nicht verbraucht werden kann. Der Hauptteil des Pyroxens reagiert also garnicht mit dem Granat, sondern erleidet teils eine Uralitisation, teils eine Symplektitbildung mit Plagioklasausscheidung.

Es ist nun im voraus zu erwarten, dass die Hornblende, die bei dieser Uralitisation entsteht, in ihrem Chemismus nicht mit derjenigen der Granatumwandlung identisch ist. Direkte analytische Belege für diese Sachlage gibt es zwar nicht, man sieht aber, dass, wenigstens nach den optischen Eigenschaften zu urteilen, zwischen den Hornblenden der Granatumwandlung und der Pyroxenuralitisation ein durchlaufender Unterschied besteht. Vergleicht man Hornblenden aus verschiedenen Dünnschliffen mit einander, so ist zu bemerken, dass es sich hier nicht um optisch scharf definierte Amphiboltypen handelt, sondern dass Varietäten einer mehr oder minder kontinuierlichen Amphibolreihe vorliegen. Die optische Orientierung variiert in den verschiedenen Proben, wenngleich sich beobachten lässt, dass die Hornblenden der Granatumwandlung einen etwas grösseren Auslöschungswinkel auf (010) zeigen als diejenigen der Pyroxenuralitisation. Bei den letzteren wurden für $c \wedge \gamma$ verschiedene Werte zwischen 15° und 20° gemessen, während bei den ersteren der betr. Winkel über 20° betrug. In der Lichtbrechung wurden keine durchgreifenden Unterschiede beobachtet, dagegen ist die Doppelbrechung in den Hornblenden der Granatumwandlung stets etwas geringer. Am deutlichsten sind jedoch die Unterschiede in den Farben der Hornblenden zu sehen. Die Absorption ist zwar immer die gleiche wie beim Amphibol von Probe Nr. 5A, die Farbennüanzen sind aber in den Hornblenden der Granatumwandlung immer zarter und besitzen vorwiegend bläuliche Töne, die den Hornblenden der Pyroxenuralitisation entweder vollkommen fehlen, oder doch höchstens in geringerem Grade hervortreten. In diesen letzteren sind die Farben immer viel intensiver und dunkler und zeigen grüne oder bräunliche Töne.

Von dieser Amphibolreihe trifft man zuweilen sogar in einem und demselben Gestein verschiedene Glieder. Im Dünnschliff sieht man dann unregelmässige Amphibolkörner, die oft einen reliktischen Pyroxenkern enthalten. Dieser Pyroxenkern ist ganz allgemein von derselben Hornblende perthitisch durchwachsen. Die Amphibolschnüre, die gegen den Pyroxen gewöhnlich scharf abgegrenzt sind, haben sich parallel der c-Achse des Pyroxens angeordnet und besitzen dieselbe Orientierung wie die umhüllende Hornblendezone. Es ist nun offenbar, dass diese Art von Hornblende einer reinen Pyroxenuralitisation ihre Entstehung verdankt. Andererseits sieht man aber daneben oft Amphibolkörner, die immer in

unmittelbarer Nähe der grossen Granatkörner vorkommen und im Gegensatz zu den vorigen ihrem optischen Verhalten nach den typischen Hornblenden der Granatumwandlung näher stehen.

Dass die Hornblenden, die als Umwandlungsprodukte in den eklogitischen Gesteinen auftreten, nicht einzelne ganz bestimmte Varietäten, sondern eine kontinuierliche Reihe isomorpher Mischungen repräsentieren, ist nun bei den Eklogiten eine weitverbreitete Tatsache. Die Erscheinung ist z. B. von Eskola, Mlle Brière und Laura Hezner beobachtet worden und scheint sogar als eine Regel zu betrachten zu sein. Besonders Laura Hezner (1903, p. 509) hat sich mit dieser Erscheinung bei den Ötztaler Eklogiten befasst und dabei festgestellt, dass oft in einem und demselben Gestein eine grüne und eine farblose Hornblende mit vielen Zwischengliedern vorkommen: »Die grüne und die farblose Hornblende sind nicht abgegrenzte Arten; es existieren alle Uebergänge zwischen ihnen, nicht nur nach der Farbe, sonder auch nach der Doppelbrechung. Zonarer Bau ist nicht selten, wobei der Rand gewöhnlich dunkler ist als die Mitte. Zuweilen lässt sich auch ein allmähliches Grünerwerden eines Individuums gegen die Granatgrenze hin beobachten, woran man dann bequem den Unterschied im optischen Verhalten studieren kann. Es wurde ein Korn gefunden, dessen Schnittlage annähernd in (010) fällt. Die Auslöschungsschiefe am farblosen Ende betrug 16°, am gefärbtesten 19°; dadurch kam eine Art undulöser Auslöschung zustande, die rein chemisch bedingt ist. Die Doppelbrechung der grünsten Partie betrug 0.022, die der farblosen 0.027, Daten, welche ungefähr der Doppelbrechung der gewöhnlichen Hornblende und des Strahlsteins entsprechen. Die Auslöschungsschiefe der am intensivsten gefärbten Hornblende auf (010) wurde zu 22° gefunden; eine hellgrüne Stufe ergab 19° und die ganz farblose Hornblende löschte mit 18° aus«.

In den Ötztaler Eklogiten sind somit die Farben derjenigen Amphibole, die unmittelbar im Kontakt mit den Granaten liegen, immer dunkler als in denjenigen, welche sich in grösserer Entfernung von Granatkristallen befinden. Wie aus Obigem hervorgeht, liegt dieses Verhältnis in den Amphibolen von Liverpool-Land gerade umgekehrt, das Gemeinsame in beiden Fällen ist aber, dass in den den Granat umschliessenden Hornblenden die Auslöschung auf (010) immer grösser und die Doppelbrechung immer niedriger ist. Zwar wurde in Liverpool-Land in einem einzigen Fall (Probe Nr. 31, Hurry Inlet) ein ähnlicher Farbenunterschied wie im Ötztal beobachtet, aber auch hier stimmen Auslöschung und Doppelbrechung mit der allgemeinen Tendenz überein:

	Kernteil	Randteil
$c \wedge \gamma$	= 22°	19°
$\gamma - \alpha$	= 0.016	0.018 (mit dem Berekschen Kompensator).
Farbe:	bläulichgrün	farblos

Wie nun lässt sich die Existenz dieser Amphibolreihe erklären, in der nach Obigem die chemische Zusammensetzung einer kontinuierlichen Änderung ausgesetzt ist? Warum hat man nicht hier, in Analogie mit den gewöhnlichen Amphiboliten, nur eine einzige dem Chemismus des ganzen Gesteins entsprechende Hornblendeart vor sich? Ist die Existenz dieser Amphibolreihe auf eine kontinuierliche Änderung der Druck-Temperatur-Verhältnisse zurückzuführen, oder ist sie nur durch eine unvollständige Diffusion bei der Metamorphose zu erklären?

Es ist offenbar, dass die Umwandlung der Eklogite von Liverpool-Land — wie wohl auch bei meisten anderen Eklogitvorkomnissen — der Amphibolitfazies mit einem Hornblende-Plagioklas-Gestein als theoretischem Endglied zustrebt. Es ist demgemäss zu erwarten, dass in diesem Gestein der Amphibol zu der Gruppe der gemeinen grünen Hornblenden gehört und den üblichen Amphibolit-Hornblenden entspricht. Wie aus obiger Darstellung hervorgeht, sind diejenigen Amphibole der vorliegenden Eklogite, die einen kleineren Auslöschungswinkel und eine grössere Doppelbrechung zeigen, in ihren optischen Eigenschaften mit den gewöhnlichen Amphibolit-Hornblenden identisch und sind somit als stabile Endprodukte bei der Amphibolbildung zu betrachten. Dagegen sind die zartgefärbten Amphiboltypen, die sich nach den betr. Schliffbildern in den früheren Stadien der Metamorphose ausgebildet haben, sicherlich nicht stabil, sondern als Folgen irgendwelcher Bedingungen zu betrachten, die während der Metamorphose nur vorübergehend gewirkt haben.

Die Unvollkommenheit der Diffusion ist zwar ein Faktor, der nur in den ersteren Stadien der Metamorphose einen grösseren Einfluss auf die Art der Reaktionsprodukte ausüben kann, ob aber die Existenz der zartgefärbten Amphiboltypen auf sie allein sich zurückführen lässt, ist eine Frage, auf die man wohl keine endgültige Antwort geben kann. Vielmehr hat es den Anschein, wie wenn die Sache nicht so einfach erklärt werden könnte, denn es ist wohl nicht ganz leicht einzusehen, warum Granat und Pyroxen — vorausgesetzt, dass die Metamorphose ausschliesslich unter konstanten Bedingungen erfolgt — schon von Anfang an in einem solchen Verhältnis miteinander in Reaktion treten, dass die zu entstehende Hornblende auch in den späteren Stadien der Metamorphose stabil verbleibt und also von Anfang bis zu Ende mit derselben Zusammensetzung auskristallisiert. Es scheint demnach, dass die Unvollkommenheit der Diffusion bei der Metamorphose zwar mitwirkt, dass sie aber nicht den Hauptfaktor darstellt. Die eigentliche Ursache für die Existenz der in Frage stehenden Amphibolreihe liegt wohl darin, dass ein Eklogit, der einer Umwandlung ausgesetzt ist, während der Amphibolitisation verschiedene Druck-Temperatur-Gebiete durchläuft, von denen alle ihre kritischen Minerale besitzen. Welche

Bedingungen entsprechen nun den ersten Stadien der Eklogitumwandlung, die die Amphibole mit grosser Auslöschungsschiefe und niedriger Doppelbrechung geliefert haben? Das ist eine Frage, die sich noch weniger sicher als die vorige beantworten lässt.

Die Amphibolbildung bei der Eklogitumwandlung ist u. a. in den Eklogiten des südlichen Grossvenedigers von ANGEL (1929) studiert worden. Er hat dabei sowohl grüne gemeine Hornblenden, als auch grünblaue bis veilchenblaue Typen gefunden, für welche er den Namen Barroisit verwendet. Dieser Barroisit wird von ihm folgendermassen charakterisiert: (p. 232) »Man sagt, die Barroisite verbänden als Mischglieder einerseits Glaukophan-Gastaldit, andererseits hiermit wiederum gemeine Hornblende.« — — — — — »Für eine schärfere Fassung der Barroisitgruppe ist also die Zeit noch nicht gekommen, weil zumindest »gemeine Hornblende« als Endglied einer Mischungsreihe doch zu wenig scharf umschrieben ist. Vielleicht aber werden sich die Verhältnisse einfacher gestalten, falls es sich nämlich herausstellt, dass das Aktinolithsilikat an Stelle der gemeinen Hornblende tritt, was ich wegen der bekannten, eigentümlichen Vergesellschaftung von Glaukophan und Smaragdit erwarten möchte.«

Wie schon von ANGEL selbst und wie später z. B. von WEG (1931) darauf aufmerksam gemacht worden ist, stehen die Hornblenden, die in den prasinitischen Gesteinen anzutreffen sind, ihrem optischen Verhalten nach oft den Barroisiten nahe. Dieser Umstand hat ANGEL (l. c.) Veranlassung gegeben, die Grossvenediger-Eklogite und ihre Umwandlungsprodukte in drei Tiefenzonen einzuteilen:

3. Tiefenzone:	2. Tiefenzone:	1. Tiefenzone:
Alpine Eklogitfazies. Karinthin.[1])	Alp. Amphibolitfazies. Gemeine Hornblende.	Prasinitfazies. Barroisit bis Glaukophan (Gastaldit).

Die Amphibolbildung denkt er sich dabei etwa so: »Ein Teil der Eklogite verfiel einer Diaphthorese von der dritten in die zweite Tiefenzone.« — — »Ein anderer Teil erlitt einen Gleichgewichtswechsel von der dritten in die erste Tiefenzone.« — — — »Sie strebte darnach, die Eklogite in Prasinitfazies überzuführen, was indes nur in so beschränkten Masse gelang, dass der Eklogitcharakter der betroffenen Gesteine nur stellenweise stärker verwischt werden konnte. Dieser Gleichgewichtswechsel war von einem umfänglichen Stoffwechsel begleitet, als dessen Zeugen u. a. Muscovit und Breunerit genannt werden mögen.«

In den Eklogiten von Liverpool-Land ist wohl die Amphibolbildung

[1]) Den Karinthin fasst ANGEL als primär auf, hat ihn aber im Grossvenediger nicht mit Sicherheit konstatieren können.

nicht auf diese Weise aufzufassen, denn — wie auch in den Ötztaler Eklogiten — die zartgefärbte Hornblende, von der vorhin oben eine chemische Analyse gegeben ist, bildet immer die Kernteile in zonaren Hornblendekörnern und hat offenbar früher auskristallisiert als die grüne gemeine Hornblende. Verf. möchte in erster Linie annehmen, dass wir in den allerersten Stadien der Eklogitumwandlung in Liverpool-Land mit einem etwas höheren Druck und einer höheren Temperatur zu tun haben als in den späteren Stadien, und dass diese Änderung der Druck-Temperatur-Verhältnisse mit der Änderung der Amphibolzusammensetzung Hand in Hand geht. Die zartfärbten Amphiboltypen der Eklogite aus Liverpool-Land gehören demgemass höheren Druck-Temperatur-Verhältnissen an als die grünen gemeinen Hornblenden.

Weil nun, wie oben erörtert, das analytische Belegmaterial hinsichtlich dieser Frage noch unzureichend erscheint, muss die Erklärung des Mechanismus der Amphibolbildung bei der Eklogitumwandlung vorläufig der Zukunft überlassen bleiben. Doch sei in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen, dass ESKOLA (1929) neuerdings in seiner Faziesklassifikation die Glaukophanschieferfazies zu den Hochdruckfazies gezählt hat, und dass es somit nicht ausgeschlossen erscheint, dass ein Teil der bläulichen Amphiboltypen seine Heimat in höheren Druckgebieten hat.

Wie Mlle BRIÈRE und besonders ESKOLA (1921) dargelegt haben, gibt es in den Eklogittypen, die von ESKOLA als Amphibol-Eklogite bezeichnet worden sind, Hornblenden, die wohl als primär gedeutet werden können. Die Hornblenden gehören jedoch offenbar nicht zur eigentlichen Eklogitfazies; sie sind zwar direkt aus dem Magma auskristallisiert, jedoch unter veränderten Bedingungen. Seinen Gedankengang legt ESKOLA folgendermassen dar: (p. 50) »We already touched on the problem of the amphiboles in the amphibole-eclogites. We found proofs in their structures indicating that the amphiboles are not congenetic with the other minerals, although they may be primary minerals in the usual sense, having probably crystallized out from the magma. Yet they have originated at the expense of earlier minerals and under other conditions than the latter.« — — — (p. 48) »Garnet and ortho- and clinopyroxene had crystallized out from the magma in the usual way, but the consolidation did not end with these phases, probably because mineralizers were present in larger amounts than usually and residual magma was still present, when the temperature had sunk below the stability limit of the eclogite facies. The clinoamphibole then began to cristallize and, at the same time, resorption of the pyroxene and, though in smaller degree, of garnet set in.«

Unter den Eklogiten von Liverpool-Land gibt es auch Fälle (z. B. Probe Nr. 1109, Cap Hope), in denen sich die Deutung der Hornblenden

als primären Kristallisationsprodukten aus dem Magma als denkbar erweist. Diese Hornblenden treten immer als selbständige, oft prismatische Körner auf und erreichen zuweilen eine bedeutende Grösse. Es ist in diesem Zusammenhang von Wichtigkeit, darauf aufmerksam zu machen, dass die primären Hornblenden ihrem optischen Verhalten nach vollkommen denjenigen der Pyroxenuralitisation zur Seite gestellt werden können und nichts Gemeinsames mit den zartgefärbten Hornblendetypen der Granatumwandlung zu haben scheinen.

HYPERSTHEN.

Der Hypersthen ist in den untersuchten Eklogiten nur in geringen Mengen anzutreffen. In den unumgewandelten Proben Nr. 19 und 27, die primären Quarz enthalten, lässt sich oft dort, wo Quarz und Granat einander berühren, eine äusserst schmale Zone erkennen, die offenbar eine sekundäre Umwandlungszone darstellt. Diese Zone ist immer aus zwei Teilen zusammengesetzt. An der dem Granat zugekehrten Seite besteht sie überall aus Plagioklas, an der anderen Seite dagegen aus Hypersthen. Sowohl der Plagioklas als auch der Hypersthen treten in so feinkörnigen Aggregaten auf, dass von einer näheren Bestimmung ihrer optischen Konstanten abgesehen werden muss. Die Identifikation ist jedoch vollkommen sicher, denn am Plagioklas sieht man zuweilen eine deutliche Zwillingsstreifung nach dem Albitgesetz, und die Hypersthenkristalle zeigen, soweit sie etwas grössere Dimensionen aufweisen, eine prismatische Spaltbarkeit, eine gerade Auslöschung und den für Hypersthen äusserst typischen Pleochroismus.

Die Probe Nr. 5A, von deren Granat oben eine chemische Analyse gegeben ist, enthält keinen Quarz und zeigt infolge dessen nicht die eben besprochene Umwandlung. Nimmt man aber an, dass die Granate der Proben, in denen diese Umwandlung wirklich sichtbar ist, in ihrer Zusammensetzung denjenigen der Probe Nr. 5A nahekommen, so kann man sich die Reaktion

$$\text{Granat} + \text{Quarz} \rightarrow \text{Plagioklas} + \text{Hypersthen}$$

etwa folgendermassen denken. Berechnet man auf Grund der Granatanalyse von Probe Nr. 5A alles CaO, Na_2O und K_2O zu den betr. Feldspäten und alles FeO, MnO, MgO zu einem rhombischen Pyroxen, so erhält man folgende Tabelle. (Seite 32).

Aus dieser Tabelle ist erstens zu ersehen, dass eine solche Umwandlung des Granats eine bedeutende SiO_2-Zufuhr voraussetzt, ein Umstand, der in guter Uebereinstimmung mit der Beobachtung steht, dass eine Plagioklas-Hypersthen-Zone nur am Kontakt zwischen Granat und Quarz, nicht aber zwischen Granat und Pyroxen angetroffen worden ist. Zweitens ist zu erkennen, dass sich bei dieser Reaktion ein bedeutender

	Plagioklas	Hypersthen	Ueberschuss
SiO_2	296	512	—178
Al_2O_3	140	—	+73
Fe_2O_3	—	—	+38
FeO	—	179	—
MnO	—	2	—
MgO	—	331	—
CaO	136	—	—
Na_2O	1	—	—
K_2O	3	—	—
$H_2O + 105°$	—	—	+10

R_2O_3-Ueberschuss ergibt. Wie dieser zu deuten ist, kann noch nicht gezeigt werden; vielleicht ist die Erklärung hierfür in dem bräunlichen Umwandlungsprodukt zu finden, das ziemlich allgemein in der Umwandlungszone vorkommt, das aber wegen seiner Feinkörnigkeit nicht zu identifizieren ist.

Wie weit die beiden Minerale Plagioklas und Hypersthen der aus obiger Tabelle zu ersehenden Zusammensetzung wirklich entsprechen, ist nicht zu entscheiden, denn, wie erwähnt, ihre optischen Daten sind nicht zu bestimmen. Nach der Tabelle ist der Plagioklas ein fast reiner Anorthit, und der Hypersthen enthält etwa 35 Mol.% $FeSiO_3$.

Ausser in den Kontaktzonen zwischen Granat und Quarz der Proben Nr. 19 und 27, wo er offenbar sekundären Ursprungs ist, trifft man den Hypersthen auch in den Proben Nr. 11 und 20 an.

Auf Grund der Probe Nr. 11 wurden für den Hypersthen folgende Daten ermittelt: Optischer Charakter negativ. Pleochroismus deutlich, //c grünlich, $\perp$ c rötlich. Gerade Auslöschung mit Achsenebene parallel c.

$\alpha = 1.688 \pm 0.003$	entsprechend[1])	23 Mol.%	$FeSiO_3$
$\gamma = 1.698 \pm 0.003$	—	22	—
$2V = 74°$	—	27	—

Die Messung von 2V wurde mit dem U-Tisch von LEITZ ausgeführt und macht demgemäss keinen Anspruch auf grössere Genauigkeit.

Die Hypersthene in diesen zwei letztgenannten Proben sind nun in ihrer Genesis nicht so offensichtlich wie in den beiden ersteren. In Probe Nr. 11, wo das Verhalten des Hypersthens deutlicher ist, sieht man von ihm unregelmässig begrenzte Körner; sie kommen am reichlichsten dort vor, wo fleckenhaft geteilte Areale an einander grenzen, in denen der monokline Pyroxen und die gemeine Hornblende abwechselnd dominieren. Gerade dieser Umstand, dass das Vorkommen des Hypersthens an die

[1]) WINCHELL, Elements of Optical Mineralogy, p. 218.

gemeine Hornblende geknüpft erscheint, weist zwar auf einen sekundären Ursprung hin, bildet aber doch keinen Beleg hierfür. Weil der Hypersthen immer im Zusammenhang mit dem monoklinen Pyroxen und nicht mit dem Granat steht, scheint er jedenfalls nicht derselben Reaktion wie derjenige von Probe Nr. 19 sein Dasein zu verdanken haben.

PLAGIOKLAS.

Der Plagioklas, der in den frischeren Eklogiten durchaus fehlt, findet in den umgewandelten Typen eine allgemeine Verbreitung. Er tritt sowohl als Einschlüsse in den symplektitischen Pyroxenkristallen, als auch in selbständigen Körnern in den stärker amphibolitisierten Gesteinen auf. Die Kristalle sind gewöhnlich unverzwillingt, zeigen aber hier und da eine schwach ausgebildete Zwillingsstreifung nach dem Albitgesetz.

Von Probe Nr. 1 (Scoresbysund) wurde aus dem Plagioklas unter Anwendung der von Berek[1]) angegebenen Methode der maximale Auslöschungswinkel in der Zone $\perp$M bestimmt. Die erhaltenen Werte schwankten zwischen 5° und 12° entsprechend etwa 25—31 Mol.% An. Aus Anal. III wurde der An-Gehalt im Plagioklas zu 70 Mol.% berechnet. — Im Plagioklas der Probe Nr. 16 (Hurry Inlet) wurde der Auslöschungswinkel in einem Schnitt $\perp$ (001:010) = 7° gefunden, entsprechend etwa 25 Mol.% An. Aus Anal. II wurde berechnet: 6 Mol.% An. — Probe Nr. 19 enthält keinen Plagioklas.

QUARZ.

An Quarz finden sich zwei Generationen, primäre und sekundäre. Die unumgewandelten Eklogittypen sind z. T. quarzfrei, z. T. enthalten sie aber da und dort grosse, unregelmässig begrenzte Quarzkörner, die sicherlich primären Ursprungs sind. Bei der Umwandlung des Gesteins wird dieser primäre Quarz oft vollkommen verzehrt, doch sieht man in einigen Fällen in einem schon stark amphibolitisierten Gestein grosse Quarzkörner, die ihrem Aussehen nach offenbar Relikte von dem primären Eklogitquarz darstellen. Andererseits sieht man Quarz oft in den mittel- bis feinkörnigen Intergranularen, ja sogar unter den winzigen, einschlussartigen Ausscheidungen symplektitischer Pyroxenkristalle. Dass der Quarz in solchen Fällen sekundärer Natur sein muss, liegt an der Hand.

BIOTIT.

Biotit kommt in den meisten Proben vor, in den frischen Eklogiten jedoch nur spärlich. Seine Farbe ist parallel der Spaltung immer intensiv

[1]) Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtisch-Methoden, p. 87.

braun und sein Pleochroismus kräftig. Von Probe Nr. 1 (Scoresbysund) wurde seine Lichtbrechung zu $\beta \backsim \gamma = 1.651 \pm 0.003$ bestimmt. Das Mineral gehört demnach zu den Fe-reichen Gliedern der K- (Mg, Fe)-Glimmer.

AKZESSORIEN.

Rutil.

Der Rutil tritt ganz allgemein in prismatischen bezw. rundlichen Einschlüssen in den Granat- und Pyroxenkristallen der unumgewandelten bis wenig umgewandelten Eklogitproben hervor. In den Proben, in denen die Amphibolitisation weiter fortgeschritten ist, scheint der Rutil zu Titanit umgewandelt zu sein.

Titanit.

Den Titanit findet man in einigen fast vollkommen umgewandelten Proben. In den Granatresten, die in ihnen noch hier und da stecken, trifft man bei den Titanitkristallen zuweilen sogar noch die ursprüngliche langprismatische Rutilform an.

Zirkon.

In einigen Dünnschliffen sind ein paar farblose Körnchen Zirkon zu erkennen, die gewöhnlich eine rundliche Form besitzen. Das Mineral scheint gleicherweise in den ursprünglichen Eklogiten wie in ihren Umwandlungsprodukten zu Hause zu sein.

Spinell.

Der Spinell ist in Einschlüssen in dem bläulichgrünlichen Amphibol der Probe Nr. 5A beobachtet worden. Er besitzt eine tiefgrüne Farbe und zeigt keine deutlichen Kristallformen. Nach der oben angenommenen Reaktion der Amphibolbildung ist zu erwarten, dass der Spinell eine ziemlich Fe-reiche Varietät repräsentiert. Ob dies wirklich der Fall ist, lässt sich leider nicht entscheiden, denn die Spinellkristalle sind zu klein, um isoliert und chemisch untersucht werden zu können.

Apatit.

Der Apatit ist nicht in unumgewandelten Eklogiten gefunden worden, dagegen trifft man ihn ziemlich allgemein in den amphibolitisierten Proben an. In Probe Nr. 1107 von Kap Hope ist der Apatit oft von parallel angeordneten pleochroitischen Einschlüssen durchwachsen, die dem Mineral einen Pleochroismus mit bräunlichen und graulichen Tönen verleihen.

Erz.

An Erzen sind sowohl in frischen Eklogiten, als auch in ihren Umwandlungsprodukten Eisenerz und Pyrit anzutreffen.

Chlorit.

Grüne chloritische Massen mit anomalen Interferenzfarben sind in geringen Mengen recht allgemein und zeigen deutlich zweierlei Genesis. In vielen Fällen sieht man solche Massen um die Granatkörner sowie in den Klüften der Granate; zuweilen nehmen sie den ganzen Raum der ehemaligen Granate ein. Andererseits sind hier und da auch Biotitkristalle vertreten, die teilweise chloritisiert sind. Es ist offensichtlich, dass der Chlorit ein Umwandlungsprodukt entweder aus dem Granat oder aus dem Biotit darstellt. Beide Chlorite sind jedoch in ihrem Aussehen identisch.

Kalzit.

In Probe Nr. 19 sind Spuren von Kalzit angetroffen worden. Seine Menge ist allerdings so gering, dass sie in Anal. I nicht zur Geltung gelangt.

Serizit.

Der Serizit, der spurenweise in einigen Proben hervortritt, zeigt deutlich eine glimmerartige Spaltbarkeit sowie eine starke Doppelbrechung.

ANHANG: GRANULITARTIGER GNEIS NORDÖSTLICH VON KAP HOPE

Vorkommen ..... S. 36
Chemischer Zusammensetzung . » 37
Minerale ..... » 37
Struktur ..... » 41

VORKOMMEN

Nachdem man an der Küste NE der Grönländerhäuser von Kap Hope (S-Liverpool-Land) die flache Strandplatte aus tertiärem Basalt überschritten hat, stösst man in dem dortigen kaledonischen (Koch 1929) Kristallin auf eine äusserst stark verschieferte und zum Teil mylonitisierte Zone, in der die Gesteine eine eigenartige und in Liverpool-Land sonst nicht beobachtete Beschaffenheit aufweisen. Diese Zone wurde gelegentlich einer Exkursion am 20. Juli 1933 von Herrn Prof. Dr. E. H. Kranck und Verf. aufgefunden und in einer Erstreckung von etwa zwei Kilometern verfolgt. Die betreffenden Gesteine streichen nördlich mit einer mässigen östlichen Abweichung, zeigen gut ausgebildete, flachgestellte Striemungen und fallen im grossen und ganzen flach nach W, jedoch mit zahlreichen lokalen Ausnahmen, die von vielen Kleinfalten herrühren.

Was die Petrographie dieser Gesteine betrifft, so wurde von Kranck schon im Felde die Vermutung ausgesprochen, dass wir es hier in mancher Hinsicht mit granulitartigen Gesteinen zu tun haben, die ihre Struktur der besonderen tektonischen Stellung als stark bewegter Kontaktzone zwischen den Granat-Pyroxen-Gneisen am Hurry Inlet und dem Gneiskomplex der Südküste von Liverpool-land verdanken (Kranck 1935). Später hat auch die mikroskopische Untersuchung erwiesen, dass diese Gesteine petrographisch viele gemeinsame Züge mit den echten Granuliten aus Finnland, Sachsen, Waldviertel und Ceylon aufweisen, zugleich aber auch, dass hier ebenfalls Unterschiede vorliegen, die bewirken, dass die Bezeichnung der Gesteine als Granulite nicht in genauer Uebereinstimmung mit derjenigen Bedeutung des Begriffes "Granulit" steht, die vor allem in der deutschen und österreichschen Literatur anzutreffen ist. Um diesen Sach-

verhalt hervorzuheben, sind die in Frage stehenden Gesteine in dem vorliegenden Anhang als "granulitartige Gneise" bezeichnet worden.

In diesen granulitartigen Gneisen finden sich als linsenförmige Einschlüsse ganz allgemein Granat-Hornblende-Gesteine, die offenbar in naher Beziehung zu den eklogitischen Bruchstücken in den Gneisen am E-Ufer des Hurry Inlet stehen, und die von Verf. in Verbindung mit den letztgenannten in dem vorstehenden Aufsatz behandelt worden sind.

CHEMISCHE ZUSAMMENZETZUNG

Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Gesteine geht aus der unten wiedergegebenen Analyse hervor, die von Dr. Naima Sahlbom in Stockholm ausgeführt worden ist.

Granulitartiger Gneis. NE von Kap Hope.
Probe Nr. 1110.

	%	Mol.-Zahl	Norm	
SiO_2	63.86	1.066	q	32.82
TiO_2	1.60	20	or	13.34
Al_2O_3	13.45	131	ab	16.24
Fe_3O_3	3.28	21	an	7.23
FeO	5.33	74	c	5.10
MnO	0.10	1	Σ sal.	74.73
MgO	4.16	104	$MgSiO_3$	10.40
CaO	2.04	36	$FeSiO_3$	4.36
Na_2O	1.87	31	il	3.04
K_2O	2.32	24	mt	4.87
P_2O_5	0.42	3	ap	1.01
$H_2O + 105°$	1.40	78	Σ fem.	23.68
	99.83		Σ total	98.41

Spez. Gew. des Gesteins 2.850.

Die Feinkörnigkeit des Gesteins schliesst eine planimetrische Analyse mit dem Integrationstisch aus.

Bei der Betrachtung der Analyse fällt vor allem der verhältnismässig hohe Gehalt an MgO, FeO und Fe_2O_3 auf, ein Umstand, der in dem Reichtum des Gesteins an Granat und besonders an Biotit zur Geltung gelangt. Dieses reichliche Vorkommen von Biotit erklärt auch den hohen Wassergehalt des Gesteins.

MINERALE

In den verschiedenen Proben der untersuchten Gesteine wurden folgende Minerale beobachtet: Quarz, Plagioklas, Kalifeldspat, Granat,

Biotit, Pyroxen, Chlorit, Amphibol, Serpentin, Apatit, Rutil, Eisenerz, Kalzit, Zirkon.

Der Quarz tritt in typischer Ausbildung als längliche, stark abgeplattete Körner auf, die sich mit den Nachbarkörnern zu langgestreckten Streifen angeordnet haben und im Handstück oft eine gebänderte Struktur verursachen (vgl. Tafel, Fig. 1 und 3). In diesen Streifen ist er bei einigen Proben oft deutlich, zuweilen sogar ziemlich stark undulierend, besitzt manchmal winzige Konturen (Kornzerfallstruktur) und zeigt in vielen Fällen in seinem ganzen Auftreten deutliche Spuren einer nachkristallinen mechanischen Beanspruchung. In dem dunkleren Intergranular dagegen, das mit den hellen Quarzstreifen wechsellagert, besitzt der Quarz gewöhnlich isometrische Korngrenzen und zeigt ebenfalls manchmal deutliche Spuren von nachkristallinen Bewegungen, scheint aber z. T. von der postdeformativen Umkristallisation stärker betroffen zu sein.

Von den beiden Feldspäten ist der Plagioklas immer dominierend. Er tritt in der Quarz-Feldspat-Grundmasse hervor, zeigt meist keine Zwillingsstreifung und ist sehr oft stark in einer serizitischen Umwandlung begriffen. Um die grossen Granatkristalle herum ist der Plagioklas noch in einer schmalen Zone anzutreffen, die offenbar als ein Umwandlungsprodukt von Granat aufzufassen und ihrerseits oft von einer Biotit-bezw. Chloritzone umgeben ist. Seiner Zusammensetzung nach ist der Plagioklas ein Albit-Oligoklas. An Probe Nr. 1110 wurde seine Lichtbrechung bestimmt zu

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= 1.529 \\ \gamma &= 1.539 \end{aligned}\right\} \pm 0.003$$

entsprechend etwa 7—8 Moll. % An.

Der Kalifeldspat, der in den untersuchten Gesteinen immer untergeordnet vorkommt, tritt im Dünnschliff ebenfalls in der Quarz-Feldspat-Grundmasse auf, die zwischen den einzelnen Quarzstreifen liegt. In dieser Grundmasse zeigt er jedoch manchmal eine deutliche Neigung, sich in den Kontakten mit den Quarzstreifen anzusammeln und dort eine besondere Zone zu bilden.

Der Granat ist in grossen rundlichen Körnern zu sehen (Tafel, Fig. 2), die oft nur an den Rändern, in vielen Fällen dagegen sogar fast vollständig in der oben angedeuteten Weise umgewandelt sind. Die Kristalle tragen gewöhnlich deutliche Spuren einer äusserst starken mechanischen Beanspruchung. Sie sind überall von scharf auftretenden und z. T. noch offenen sowie mit Biotit belegten Fugen dicht durchkreuzt und zuweilen zu gesonderten Stücken auseinandergerissen. Es ist gerade in dieser Hinsicht ein deutlicher Unterschied zwischen

den grossen Granatporphyroblasten und der Quarz-Feldspat-Biotit-Grundmasse zu spüren. Obschon in der Grundmasse ebenfalls oft Spuren mechanischer Beanspruchungen sich geltend machen, ist es doch offenbar, dass diese in der Grundmasse durch eine mit der Deformation parallel verlaufende, mehr oder minder starke Umkristallisation z. T. ausgeheilt worden sind. Weil aber der Granat — wie auch sonst — einer Umkristallisation überhaupt nicht oder doch nicht in merkbaren Masse fähig ist, und weil er ausserdem auf Beanspruchung offenbar weniger elastisch reagiert als die Grundmasse, scheint man im diesem Falle im Granat ein Mineral vor sich zu haben, das besonders deutlich die mechanischen Deformationsstrukturen des Gesteins reliktisch widerspiegelt.

Um ein Bild von dem Chemismus des Granats zu gewinnen, wurde von einem grossen Granatkristall der analysierte Proben Nr. 1110 ein Prisma geschliffen und die Lichtbrechung bestimmt:

$\lambda = 671\,\mu\mu$	$n = 1.7772$
589	1.7819
535	1.7870

Sowohl die Lichtbrechung, als auch die Dispersion stimmen weitgehend mit denjenigen eines von Philipsborn (1928) untersuchten Granats aus einem Granatamphibolit aus Waldheim (sächs. Granulitgebirge) überein, von dem aber — soweit dem Verf. bekannt — keine chemische Analyse vorliegt:

$$n_{Li} = 1.7777$$
$$n_{Na} = 1.7829$$
$$n_{Tl} = 1.7878$$

Das spezifische Gewicht des Granats in Probe Nr. 1110 liegt zwischen 3.929 und 3.984.

Wie Philipsborn in seiner oben zitierten Arbeit ausführlich dargelegt hat, ist es nicht möglich, nur auf Grund der Angaben über Lichtbrechung und spezifisches Gewicht die chemische Zusammensetzung eines bestimmten Granats eindeutig festzustellen; es scheint jedoch, wie wenn gerade in dem vorliegenden Fall unter Heranziehung der oben gegebenen Analyse des Gesteins gewisse Aussagen über diese Frage gemacht werden könnten. Es ist vor allem der Umstand zu beachten, dass, wie die Untersuchungen Eskolas (1929 a) zeigen, die Granate im Granulitgebiet von Finnisch-Lappland immer bedeutend reicher an der Pyropkomponente sind als die Granate in den Gesteinen des südfinnischen Archäikums. Nach ihm zeigen näm-

lich die letztgenannten nie eine niedrigere Lichtbrechung als 1.795, während bei den Granulitgranaten die erhaltenen Werte zwischen 1.775 und 1.785 schwanken. Diesen Unterschied hat ESKOLA (l. c. und 1929) sogar verallgemeinert und angenommen, dass der hohe Mg-Gehalt der Granulitgranate auf die besonderen Druck-Temperaturverhältnisse der Granulitfazies zurückzuführen sei. Wie aus einem Vergleich obiger Angaben hervorgeht, scheint der untersuchte Granat von Kap Hope seiner Lichtbrechung nach den finnischen Granulitgranaten gut zur Seite gestellt werden zu können. Wir haben es hier also wohl mit einem verhältnismässig Mg-reichen Granat zu tun, ein Umstand, der in guter Übereinstimmung mit den hohem Mg-Gehalt des Gesteins steht.

Biotit ist im Gestein sehr reichlich vorhanden. Er tritt in kleinen Kriställchen hervor, die z. T. selbständig in der Quarz-Feldspat-Grundmasse liegen, z. T. aber zu gesonderten, mit Quarz und Feldspat wechsellagernden Streifen sich angehäuft haben und oft die grossen Granatkristalle umrahmen.

Seiner Farbe nach ist der Biotit dunkelbraun in einer mit den Spaltrissen parallelen Richtung und zeigt einen sehr starken Pleochroismus. Die Lichtbrechung wurde zu

$$\beta \sim \gamma = 1.633 \pm 0.003$$

bestimmt. In vielen Fällen ist der Biotit teilweise, zuweilen sogar beinahe vollständig in einer Chloritisation begriffen. Es lassen sich dabei alle möglichen Zwischenstufen zwischen Biotit und Chlorit finden und auf diese Weise die Stadien der Chloritbildung verfolgen. Und zwar wurde immer beobachtet, dass bei der beginnenden Chloritisation eines Biotitkristalls zuerst eine Änderung der Farbe von dunkelbraun über hellbraun bis grünlich stattfindet und erst nachher eine Abnahme der Doppelbrechung sich einstellt. In den späteren Stadien tritt gewöhnlich noch eine Erzausscheidung hervor.

Der monokline Pyroxen ist meistens nur in geringen Mengen vorhanden. Er ist oft symplektitisch von Plagioklas durchwachsen und zeigt in einigen Fällen Spuren einer beginnenden Uralitisation. Besonders in den grösseren Kristallen lässt sich oft eine deutliche Zonarstruktur erkennen, wobei der Kern immer etwas dunkler, mit sehr schwachem Pleochroismus, ist. Die Farbe des Pyroxens ist sehr schwach grünlich. $c \wedge \gamma = 40°$ ca. Optisch positiv.

An primären Akzessorien sind im Schliff Apatit, Rutil, Eisenerz und Zirkon zu erkennen, von denen die zwei ersteren verhältnismässig reichlich vorkommen. Als Umwandlungsprodukte treten Chlorit und Serpentin sowie Spuren von Amphibol auf. Von diesen stammen der Chlorit und der gelbliche Serpentin vom Biotit

her, der Chlorit jedoch auch z. T. vom Granat. Der Amphibol dagegen, der eine bläulichgrünliche Farbe besitzt, ist nur in unmittelbarer Nachbarschaft mit dem Granat anzutreffen und scheint offenbar in seinem Chemismus dem Amphibol nahe zu stehen, der als Umwandlungsprodukt ringsum den Eklogitgranat aus Hurry Inlet vorkommt, und der vom Verf. im vorstehenden Aufsatz näher untersucht worden ist. — In einigen Schliffen sind noch kleine Mengen von Kalzit angetroffen worden, die mit besonderer Vorliebe in den Fugen des Gesteins auftreten.

STRUKTUR

Wie aus der obigen Darlegung hervorgeht, stehen die untersuchten Gesteine von Kap Hope denjenigen biotitführenden Gesteinstypen chemisch-mineralogisch ziemlich nahe, die wohl in den meisten Granulitgebieten in Zusammenhang mit glimmerfreien »Weisssteinen« vorkommen, und die gewöhnlich auch zu den Gesteinen der betr. Granulitformationen gezählt werden. Meist wird wohl angenommen, dass die Granulite, abgesehen von denen auf Ceylon (Adams 1929), in ihrem Hauptteil primäre Eruptivgesteine oder kristalline Orthoschiefer darstellen und ihren jetzigen Habitus einer äusserst intensiven vor- bezw. parakristallinen Durchbewegung verdanken. (Vergl. Kranck 1935).

Es ist demgemäss zu beachten, dass bei den granulitartigen Gneisen von Kape Hope die z. T. sehr kräftige Mylonitisation, die doch auf starke nachkristalline Bewegungen hindeutet, eine Art Deformation widerspiegelt, die den echten Granuliten fremd ist.

Um den Mechanismus der Deformation der untersuchten Gesteine näher klarzulegen und mit anderen Gesteinen des Liverpool-landes zu vergleichen, wurde an einigen Proben auf die Regelung von Quarz und Biotit mit dem Universaltisch von Leitz geprüft; die Resultate dieser Untersuchung sind jedoch an anderer Stelle wiedergegeben (Verf. 1935).

LITERATUR

Adams, Frank. The Geology of Ceylon, Canadian Journal of Research, 1, p. 425, 1929.

Angel, Franz. Gesteine vom Grossvenediger, Neues Jahrb. f. Min. B.-B. 59, Abt. A, p. 223, 1929.

Barth, Tom. Proposed Change in Calculation of Norms of Rocks, Min. Petr. Mitt. Bd. 42, p. I, 1932.

Brière, Y. Les Eclogites françaises, Paris, 1920.

Eskola, Pentti. The Mineral Facies of Rocks, Norsk Geol. Tidskr. 6, 1920.

— On the Eclogites of Norway, Videnskabsselskapets Skrifter, 1 Mat.-Naturv. Kl. No. 8, 1921.

— Om Mineralfacies, Geol. För. Stockholm Förh., Bd. 51, p. 157, 1929.

— On the Rôle of Pressure in Rock Crystallization, C. R. Soc. Geol. Finl., Bull. Comm. Géol. Finl. No. 85, p. 77, 1929 (a).

— On the Principles of metamorphic Differentiation, C.R. Soc. Géol. Finl.,No 5, p. 67, 1932.

Goldschmidt, V. M. Der Stoffwechsel der Erde, Videnskapsselskapets Skrifter, 1 Mat.-Naturv. Kl. No 11, 1922.

Hezner, Laura. Ein Beitrag zur Kenntnis der Eklogite und Amphibolite, mit besonderer Berücksichtigung der Vorkommnisse des mittleren Ötztals, Min. Petr. Mitt., Bd. 22, p. 437, und 505, 1903.

Joukowsky, E. Sur les Eclogites des Aiguilles Rouges, C. R., 1. 133. 2, p. 1312, 1901.

Koch, Lauge. The Geology of East Greenland, Medd. om Grönland, Bd. 73,2, 1929.

Kranck, E. H. The Geology of Liverpool-Land, Medd. om Grönland (im Druck).

Kreutz, St. Untersuchung der optischen Eigenschaften von Mineralien der Amphibolgruppe und ihrer Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung, Sitzungsb. Akad. Wiss. Wien, 117. I, p. 875, 1908.

Kunitz, W. Die Isomorphieverhältnisse in der Hornblendegruppe, Neues Jahrb. f. Min., B.-B. 60, p. 171, 1930.

Machatschki, Felix. Kristallchemie der Silikate, Geol. För. Stockholm Förh., Bd. 54, p. 447, 1933.

Mennell, F. Ph. The geological Structure of Southern Rhodesia, Quart. Journ. Geol. Soc. London, Vol. 66, p. 353, 1910.

Menzer, G. Die Kristallstruktur der Granate, Zeitschr. f. Krist., Bd. 69, p. 300, 1929.

v. Philipsborn, H. Beziehungen zwischen Lichtbrechung, Dichte und chemischer

Zusammensetzung in der Granatgruppe, Abh. Math.-Phys. Kl. Sächs. Akad. Wiss., Bd. 40, III, 1928.

Sahlstein, Th. G. Zur Regelung der Gesteine im Kristallin des Liverpool-Landes in Ost-Grönland, Medd. om Grønland (im Druck).

Weg, Otto. Die zwischengebirgische Prasinitscholle bei Hainichen-Berbersdorf, Abh. Sächs. Geol. Landesamts, Heft II, 1931.

Zambonini, F. Sul glaucofane di Chateyroux (Valle di Gressoney), Atti R. Acc. Lincei, II. 1 sem (5) fasc. 5. 1902.

Færdig fra Trykkeriet den 5. September 1935.

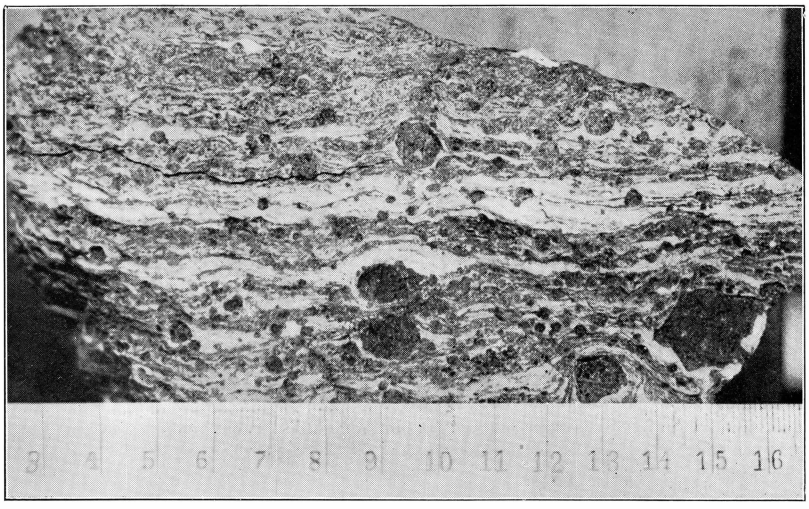

Fig. 1. Granulitartiger Gneis NE von Kap Hope. (Vgl. S. 38).

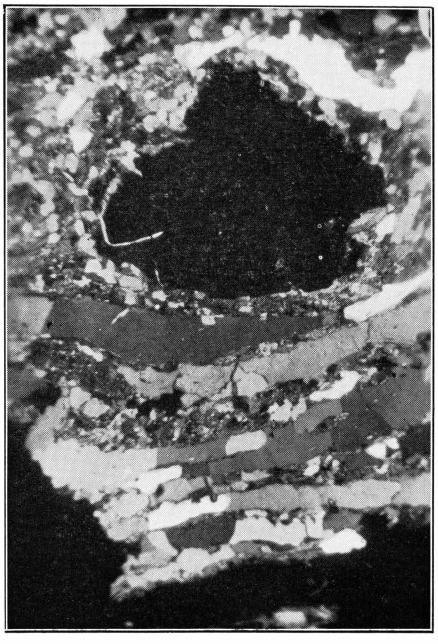

Fig. 2. Granualitartiger Gneis. Probe Nr. 1111. Grosser Granatkristall (schwarz) oben, mit umbiegenden Quarzstreifen. × 25 ca. Nic.+ (Vgl. S. 38).

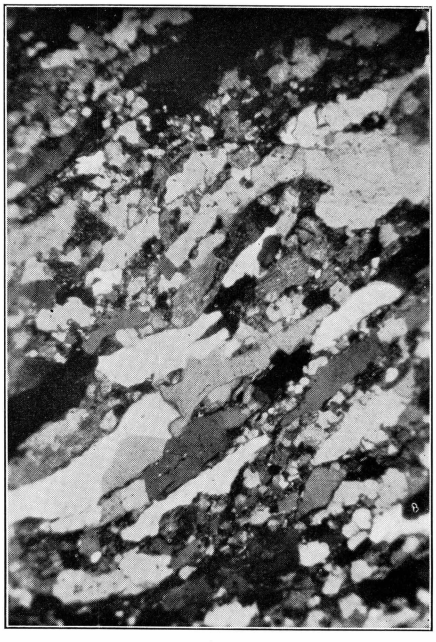

Fig. 3. Granulitartiger Gneis. Probe Nr. 1110. Granulitische Struktur mit stark abgeplatteten Quarskörnern, in längeren Streifen angeordnet. × 25 ca. Nic.+ (Vgl. S. 38).