

Strukturelle Zustände in den Anorthoklasen der Rhombenporphyre des Oslogebietes

Autor(en): **Harnik, A.B.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **49 (1969)**

Heft 3

PDF erstellt am: **26.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-38607>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Strukturelle Zustände in den Anorthoklasen der Rhombenporphyre des Oslogebietes

Von *A. B. Harnik* (Zürich)*)

Mit 22 Textfiguren und 4 Tabellen

Abstract

Structural states in the anorthoclases of the rhomb porphyries of the Oslo region

The purpose of this work was to obtain a general view of the relations between the observed chemical and crystal structural variations in feldspars of the rhomb porphyries (RP) of the Oslo region. The flows studied were the regionally distributed RP 1 (Kolsås-type), RP 5, RP 7 and a rectangle porphyry type; the local flow, RP 3a; and the famous Tyveholmen dike. The feldspars of these rhomb porphyries were investigated by means of x-ray powder- and precession photographs and electron microprobe. Using data from microprobe profiles, "scatter diagrams" (Streubilder) were constructed for phenocryst cores, rims and groundmass of different RP-types. These scatter diagrams enable one to evaluate the composition of chemically different phases and their percentage in the entire sample investigated.

The results can be summarized as follows: 1. The *cores* of the phenocrysts are micro- to crypto-antiperthitically unmixed. The antiperthitic host commonly makes up more than 90% of the total volume. Its composition varies depending on RP-type between approximately $\text{Or}_{15}\text{Ab}_{75}\text{An}_{10}$ and $\text{Or}_{10}\text{Ab}_{45}\text{An}_{45}$. The concentration of potassium in solid solution in the plagioclase host on one hand appears to be dependent on the crystallization temperature and yet on the other, proportional to the degree of disorder of the host. The structural state of the host can be designated as disordered to intermediate. – The alkali feldspar guest has an An-content that is in most cases between An_5 and An_{15} . These alkali feldspars are occasionally in their turn unmixed again; they can, depending on their composition, form antiperthite as well as perthite. The members of this second unmixing-generation are sometimes almost pure K- und Na-feldspars with small An-content. The structural state of the guest, in view of the observed symmetry, high An-contents and small measured Δ -values (about 0,40), is considered to be disordered to intermediate, which corresponds to the structural state of the host.

2. The *rims* of the phenocrysts differ in the following way from the cores: Host and guest are more An-poor and more (Ab + Or)-rich than those that occur in the cores. The total volume of the exsolved domains is nearly twice as large as in the cores; yet the chemical differentiation between host and guest has not progressed as far. The tendency for formation of crypto-perthite is stronger in the rims than in the cores.

*) Institut für Kristallographie und Petrographie, Eidg. Techn. Hochschule, Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich.

Especially striking differences between core and rim of the phenocrysts were observed in the Tyveholmen-RP. Precession photographs of feldspars in the cores as well as in the rims show strong reflections of the triclinic plagioclase host twinned according to the albite law. However, photographs of feldspars of the rims in addition show distinct, wide streaks between these reflections; one can also recognize weak reflections from exsolved alkali feldspar. These observations appear to corroborate the views of LAVES (1956) concerning the appearance of feldspar phases in rhomb porphyries.

3. The Ca-poor alkali feldspars of the *groundmass* are strongly unmixed. The Na-feldspars are structurally intermediate to ordered. Also the structural state of the K-feldspars is regarded as intermediate to ordered in view of their symmetry and the measured relatively high Δ -values (about 0,83). *The feldspars of the groundmass are thus structurally significantly more ordered than feldspars of the same chemical composition making up the phenocrysts.*

Finally probable formation and cooling conditions of the rhomb porphyries are discussed.

Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Überblick zu gewinnen über die Beziehungen zwischen den auftretenden chemischen und kristallstrukturellen Variationen der Feldspäte der Rhombenporphyre des Oslogebietes. Untersucht wurden die regional verbreiteten Ströme RP1 (Kolsås-Typ), RP5, RP7 und ein Rektangelporphyrtyp, der lokale Strom RP 3a und der berühmte Tyveholmen-Gang. Die Feldspäte dieser Rhombenporphyre wurden mittels Röntgen-Pulver- und Precessionaufnahmen und mit der Elektronenmikrosonde untersucht. Mit Hilfe der Daten der Mikrosondenprofile wurden für Einsprenglingskerne, -hüllen und Grundmasse der verschiedenen RP-Typen *Streubilder* (scatter diagrams) konstruiert. Diese Streubilder gestatten Aussagen über die Zusammensetzung chemisch unterschiedlicher Phasen und über deren prozentualen Anteil an der gesamten untersuchten Probe.

Die Resultate können folgendermassen zusammengefasst werden:

1. Die *Kerne* der Einsprenglinge sind mikro- bis kryptoantiperthitisch entmisch. Der Wirt des Antiperthites macht gewöhnlich über 90% des Gesamtvolumens aus. Seine Zusammensetzung variierte, je nach RP-Typ, zwischen etwa $Or_{15}Ab_{75}An_{10}$ und $Or_{10}Ab_{45}An_{45}$. Die Konzentration von Kalium in fester Lösung im Plagioklaswirt scheint in erster Linie abhängig von der Kristallisationstemperatur und erst in zweiter Linie proportional dem Grade der strukturellen Unordnung des Wirtes zu sein. Der strukturelle Zustand des Wirtes kann als ungeordnet bis intermediär bezeichnet werden. – Der Alkalifeldspat-Gast hat An-Konzentrationen von meistens grösser als An_5 und kleiner als An_{15} . Diese Alkalifeldspäte sind gelegentlich ihrerseits nochmals entmisch; sie können, je nach ihrer Zusammensetzung, sowohl Antiperthite als auch Perthite bilden. Die Glieder dieser zweiten Entmischungsgeneration sind manchmal fast reine K- und Na-Feldspäte mit geringem An-Gehalt. Der strukturelle Zustand des Gastes ist, in Anbetracht der Symmetrie, der hohen An-Konzentrationen und der gemessenen kleinen Δ -Werte (um 0,40 herum), als ungeordnet bis intermediär anzusehen, was dem strukturellen Zustand des Wirtes entspricht.

2. Die *Hüllen* der Einsprenglinge unterscheiden sich in folgender Weise von den Einsprenglingskernen: Wirt und Gast sind An-ärmer und (Ab + Or)-reicher als in den Kernen. Das Gesamtvolumen der ausgeschiedenen Domänen ist etwa doppelt so gross wie in den Kernen, doch ist die chemische Differenzierung zwischen Wirt und Gast nicht so weit fortgeschritten. Die Neigung zur Kryptoperthitbildung ist stärker als in den Kernen.

Besonders auffallende Unterschiede zwischen Kern und Hülle der Einsprenglinge wur-

den beim Tyveholmen-RP beobachtet. Precessionaufnahmen von Feldspäten in den Kernen wie in den Hüllen zeigen starke Reflexe des triklinen, nach Albitgesetz verzwillingten Plagioklaswirtes. Aufnahmen von Feldspäten der Hüllen zeigen jedoch zusätzlich zwischen diesen Reflexen deutliche breite Streifen; auch kann man schwach Reflexe von aus-
 geschiedenem Alkalifeldspat erkennen. Diese Beobachtungen scheinen die Ansichten von LAVES (1956) über die Erscheinungsformen von Feldspäten in Rhombenporphyren zu bestätigen.

3. Die Ca-armen Alkalifeldspäte der *Grundmasse* sind sehr stark entmischt. Die Na-Feldspäte sind strukturell intermediär bis geordnet. Auch der strukturelle Zustand der K-Feldspäte ist, in Anbetracht ihrer Symmetrie und der relativ grossen Δ -Werte (um 0,83 herum), intermediär bis geordnet. *Die Feldspäte der Grundmasse sind somit strukturell bedeutend geordneter als Feldspäte gleicher chemischer Zusammensetzung der Einsprenglinge.*

Schliesslich werden mutmassliche Bildungs- und Abkühlungsbedingungen der Rhombenporphyre diskutiert.

Inhalt

1. Einleitung	512
1.1. Geologie und Petrographie des Oslogebietes	512
1.2. Die Rhombenporphyre des Oslogebietes	513
1.3. Andere Rhombenporphyrvorkommen	515
2. Problemstellung	515
3. Was sind Anorthoklase?	516
4. Material	518
5. Feldspatoptik	519
6. Chemische Zusammensetzung	520
6.1. Normatives Feldspatverhältnis	520
6.2. Oslogebiet	520
6.3. Kilimanjaro	521
6.4. Mt. Erebus	522
6.5. Vergleich der drei Vorkommen	522
7. Elektronenmikrosondenanalysen	524
7.1. Präparation und Messung	524
7.2. Streubilder (scatter diagrams)	526
7.3. Diskussion der Ergebnisse	528
8. Pulveraufnahmen	539
8.1. Technische Angaben	539
8.2. Auswertung der Pulverdiagramme	540
8.3. Resultate	541
9. Einkristallaufnahmen	547
9.1. Methode und Auswertung	547
9.2. Resultate	548
10. Zu den Bildungs- und Abkühlungsbedingungen der Rhombenporphyre	552
Tabellen	555
Dank	564
Literaturverzeichnis	564

1. EINLEITUNG

1.1. Geologie und Petrographie des Oslogebietes

Umfassende Angaben über Geologie und Petrographie des Oslogebietes sind in zwei norwegischen Monographie-Serien enthalten:

„Die Eruptivgesteine des Kristiania-(Oslo)-Gebietes“, I. (1894) – VII. (1933); diese Arbeiten stammen alle von BRØGGER.

“Studies on the igneous rock complex of the Oslo region”, I. (1943) – XVIII. (1962), mit verschiedenen Autoren; diese Serie wird fortgesetzt.

Es würde zu umfangreich, den Inhalt aller Arbeiten zu diskutieren; es seien deswegen davon nur die wichtigsten, die Rhombenporphyre betreffenden, erwähnt:

BRØGGER (1933) veröffentlichte die grosse klassische Beschreibung der Geologie des Oslogebietes und entwickelte eine Theorie der magmatischen Differentiation. OFTEDAHL (1952) stellte die Beziehungen zwischen den verschiedenen Lavaströmen in- und ausserhalb der Osloregion dar und diskutierte Probleme des Lavenausflusses. BARTH (1952) schilderte eingehend die Magmenentwicklung allgemein und speziell im Oslogebiet.

Eine neue allgemeine Darstellung der Geologie des Oslogebietes sowie eine Lava-Stratigraphie mit 17 RP-Strömen wurde von OFTEDAHL (1960a) vorgelegt. Danach begann die Eruptionstätigkeit der RP-Laven im frühen Perm und dauerte, mit Unterbrüchen, während des Perms. OFTEDAHL wies aber schon damals darauf hin, dass die Erforschung vor allem des südlichen Teils des Oslogebietes noch unvollständig war.

SAETHER (1962) beschrieb 13 RP-Ströme und mehrere RP-Gänge und illustrierte dies mit einigen Handstückfotos. Es finden sich dort (p. 41–45) auch Überlegungen zum Fliessverhalten von Laven.

Umfangreiche Kartierungsarbeiten der letzten Jahre in der Vestfoldregion von OFTEDAHL (1967) lassen die Lava-Stratigraphie nicht mehr so gesichert erscheinen, wie bislang noch angenommen wurde: Die neueste Zusammenstellung von OFTEDAHL umfasst nun 26 verschiedene RP-Ströme, und die Angaben über die Dicke der einzelnen Ströme und über die Merkmale von Einsprenglingen und Grundmasse unterscheiden sich zuweilen erheblich von früheren Beschreibungen. Es sind gewiss künftig noch weitere Änderungen zu erwarten; beispielsweise scheint sich nach OFTEDAHL (1968, persönliche Mitteilung) der Strom 26 als eine ganze Gruppe von Strömen zu erweisen.

Bisher wurde noch keine *absolute Altersbestimmung* an Rhombenporphyren durchgeführt. HEIER und COMPSTON (1969) geben jedoch das Alter der plutonischen Gesteine des Oslogebietes, darunter auch der Larvikite, mit 276 ± 7 m.y. an. Es besteht aller Grund zur Annahme, dass dies auch das Alter der Rhombenporphyre ist.

1.2. Die Rhombenporphyre des Oslogebietes

Die Bezeichnung „Rhombenporphyr“ (kurz RP) wurde von LEOPOLD VON BUCH (1810, Bd. I., p. 106) für ein Ganggestein am Vettakollen auf der Halbinsel Tyveholmen (Oslo) geprägt. Sie sollte die rhombenförmigen Querschnitte vieler Feldspateinsprenglinge in diesem Gestein charakterisieren. Die besondere Form dieser Querschnitte lässt sich auf die „rhomboedrische“ Tracht der Einsprenglinge zurückführen, welche durch etwa gleiches Flächenwachstum von $\{110\}$, $\{\bar{1}\bar{1}0\}$ und $\{20\bar{1}\}$ zustandekommt. – Diese Tracht entspricht übrigens merkwürdigerweise der häufigen Ausbildung von Adularen, welche bei tiefen Temperaturen in Klüften (zum Beispiel der Alpen) wuchsen.

In der Folge erlangte der RP-Gang von Tyveholmen grössere Berühmtheit. Analysen seiner Einsprenglinge finden sich zuerst bei KJERULF (1855), welcher allerdings nicht die Bezeichnung Rhombenporphyr, sondern Melaphyr verwendete, sowie bei MÜGGE (1881), der diesen Feldspat als Oligoklas bezeichnete. Auch TÖRNEBOHM (1875) hielt den Feldspat der RP-Einsprenglinge seiner feinen Albitverzwillingung wegen für Oligoklas.

Zu einem anderen Resultat kam BRØGGER („Die silurischen Etagen 2 und 3 im Kristianiagebiet und auf Eker“, Universitetsprogram 1882, p. 260–262 und 303–305; zitiert 1890, p. 42): Nach ihm sollte der Feldspat der Einsprenglinge „Natronmikroclin“, seltener auch „Natronorthoklas“ sein. Für diese Feldspäte führte dann ROSENBUSCH (1885) den Namen „Anorthoklas“ ein, der im Laufe der Jahre zu einem der umstrittensten der Feldspat-Terminologie wurde (siehe Kap. 3).

QUENSEL (1918) unterschied in Einsprenglingen schwedischer Rhombenporphyre bereits zwischen einem inneren Kern und einer äusseren Hülle. Der Kern sollte antiperthitisch entmischt sein in K-Oligoklas als Wirt und in Mikroclin als Gast. Oft wurde eine weitere sekundäre Entmischung des Wirtes beobachtet. Die Rhombenform der Kerne deutete QUENSEL nicht als Kristallisations-, sondern als Resorptionserscheinung; die Kerne sollten dann in einer späteren Kristallisationsphase mehr oder weniger gut orientiert von Hüllen umwachsen worden sein. OFTEDAHL lehnte (1948, p. 35) diese Hypothese, wohl aufgrund von zu wenig CaO ausweisenden Grundmasseanalysen, zuerst ab, bezeichnete sie aber später (1967) im Zusammenhang mit neuen Überlegungen zur Magmenentwicklung im Oslogebiet als plausibel.

LJUNGNER (1927) erkannte in seiner Untersuchung der RP-Gänge von Bohuslän (Westschweden) und einiger Rhombenporphyre des Oslogebietes ebenfalls antiperthitische Entmischung in den Einsprenglingen, mit Oligoklas bis Andesin als Wirt und „Natronorthoklas“ als Gast. Die Grundmassenzusammensetzung gab er als eine Mischung von Plagioklas An_{20} und „Anorthoklas“ an.

BAIER (1930) beschrieb die Einsprenglinge des RP1 (Kolsås-Strom) als „Alkalifeldspat“ mit stufenlosen Übergängen von schwach gestreiften, triklinen

zu optisch einheitlichen, monoklinen Partien. Obwohl sich die gestreiften Partien im Zentrum der Einsprenglinge konzentrierten, schloss BAIER „Zonarbau“ (worunter er vermutlich eine wesentliche Variation der chemischen Zusammensetzung verstand) als Erklärung für diese Anordnung aus.

Einen Markstein in der Geschichte der Untersuchung der Rhombenporphyre bildete die Sammlung von 331 chemischen Analysen von Eruptivgesteinen des Oslogebietes, welche BRØGGER (1933) veröffentlichte und welche sämtliche seit 1848 von verschiedenen Autoren angegebenen Analysen enthält. Für die Regionen Krokskogen und Jarlsberg ist eine stratigraphische Ordnung von insgesamt 15 RP-Strömen bzw. -Decken gegeben. Daneben sind viele RP-Gänge sowie RP-Konglomerate beschrieben. Aus dieser Sammlung wurden für die vorliegende Arbeit die Benennung der RP-Ströme und zahlreiche chemische Analysen übernommen.

Die ausführliche geologische und petrographische Beschreibung von Gesteinen des Oslogebietes von HOLTEDAHL (1943) ist illustriert durch Fotos von Handstücken der RP-Typen 1 bis 15 und des Tyveholmen-RP.

Eine spezielle Hochtemperaturoptik der Plagioklase in RP-Einsprenglingen wurde erstmals von OFTEDAHL (1944), gestützt auf die Forschungen von KÖHLER, erwähnt.

OFTEDAHL (1946) untersuchte etwa 300 alte BRØGGERSCHE RP-Dünnschliffe mit dem U-Tisch und kam zu folgenden Ergebnissen: Die Einsprenglinge sind Antiperthite. Die Zusammensetzung des Plagioklas-Wirtes im Kern ist An_{33-40} für gewöhnliche *Rhombenporphyre* und An_{40-42} für *Rektangelporphyre*. Der Plagioklas ist manchmal schwach serizitisiert. Der Gast tritt in Form einzelner Flecken auf; sein Anteil am Antiperthit schwankt zwischen 5 und 20 Prozent. Die Flecken sind oft wolkig getrübt und hie und da durch Eisenerz ersetzt („replaced“). Ein dicker Mantel aus Alkalifeldspat umgibt die Kerne. Die Minerale der Grundmasse sind Feldspat (hauptsächlich Alkalifeldspat), Chlorit, Pyroxen, Quarz, Eisenerz, Apatit, Serizit und Calcit. Der Alkalifeldspat besteht aus einer einzigen Phase; nur bei den Rektangelporphyren wurden zwei Phasen beobachtet. – Der *Tyveholmen-RP* kann als typischer Vertreter der RP-Gänge aufgefasst werden. Der Plagioklaswirt der Einsprenglingskerne hat eine Zusammensetzung von An_{30-34} . Der Alkalifeldspat-Gast macht 30 bis 50 Prozent des Antiperthites aus. Eine Hülle, welche frei von Einschlüssen und nicht entmischt ist, umgibt die Kerne. Diese Hülle besteht im inneren Teil aus Plagioklas, im äusseren, dickeren Teil aus Alkalifeldspat. Die Grundmasse besteht zum grössten Teil aus langen rechtwinkligen, pseudomonoklinen Anorthoklas-Tafeln. Die meisten von ihnen sind nach Karlsbad-, einige auch schwach nach Albitgesetz verzwillingt. Entmischung wurde nicht festgestellt. – OFTEDAHL erwähnte *Laborversuche*, welche darauf hindeuteten, dass die Einsprenglinge vor dem Austritt des Magmas an die Erdoberfläche kristallisierten, und dass dieses Magma nass gewesen sein muss.

In einer weiteren Arbeit berichtete OFTEDAHL (1948) über eine Serie von Hochtemperatur-Alkalifeldspäten, in welchen nur in Dünnschliffen senkrecht zu (010) feine Albitverzwillingung sichtbar war. Aus dieser Tatsache schloss OFTEDAHL auf eine weite Verbreitung von submikroskopischer Albitverzwillingung. Er erkannte, dass anhand der optischen Eigenschaften des Plagioklases der Einsprenglingskerne der Nachweis von nicht entmischtem Kalium in der Plagioklasmatrix nicht möglich ist.

Aufgrund des optischen Verhaltens der RP-Einsprenglinge vertrat OFTEDAHL (1950) die Meinung, dass diese mikro- bis kryptoantiperthitischen Feldspäte monoklin gewachsen seien „with as little structural disarrangement as possible during cooling“. Diese Auffassung konnte er durch Röntgenaufnahmen stützen.

1.3. Andere Rhombenporphyrvorkommen

Ergussgesteine mit ähnlichen Struktureigenschaften wie die Oslo-Rhombenporphyre sind auch ausserhalb des Oslogebietes gefunden worden. Abgesehen von den erwähnten schwedischen Rhombenporphyren sind die beiden bekanntesten Vorkommen diejenigen vom *Kilimanjaro* (Tansania) und vom *Mt. Erebus* (Ross Island, Antarktis). Neuere Angaben mit kartographischen Details finden sich über den Kilimanjaro bei WILCOCKSON (1956), über den Mt. Erebus bei W. C. SMITH (1954). Auch die meisten der Arbeiten, welche als Quellen chemischer Analysen zitiert werden (Tab. 1), enthalten petrographische Beschreibungen dieser Laven.

2. PROBLEMSTELLUNG

Die bis 1950 publizierten Resultate von Untersuchungen der Rhombenporphyre des Oslogebietes zeigten bereits, dass deren Feldspäte äusserst kompliziert gebaut sind, und es ist verständlich, dass nach Ausschöpfung der lichtoptischen Messmöglichkeiten das RP-Problem längere Zeit auf der Seite liegen blieb.

Die Entwicklung der Elektronenmikrosonde indessen gestattet heute die Bestimmung der chemischen Zusammensetzung von Bereichen, deren Grösse nurmehr wenige μ beträgt. Die Elektronenmikrosonde erweist sich somit ideal geeignet zur Analyse von mikroperthitischem Material, bei dem eine klassische chemische Bestimmung infolge der Schwierigkeiten bei der Trennung der einzelnen Phasen unmöglich ist.

Das Ziel dieser Untersuchung war es, detaillierte Aussagen über die Mikrostruktur der Feldspäte der Rhombenporphyre des Oslogebietes zu erlangen, besonders hinsichtlich ihres Chemismus, der Entmischungerscheinungen, ihrer Verzwillingung und ihrer strukturellen Zustände (Al/Si-Verteilungen). Insbesondere sollten Unterschiede zwischen Kern und Hülle der Einsprenglinge untersucht werden.

3. WAS SIND ANORTHOKLASE?

Der Begriff „Anorthoklas“ hat seit seiner Prägung durch ROSENBUSCH (1885) manche Wandlungen durchgemacht; ein Überblick darüber wurde von LAVES (1952, p. 567–570, und 1960, p. 290–293) gegeben. Sowenig sich die verschiedenen Autoren auch auf eine gemeinsame Definition einigen können, so sehr sind sich doch alle darin einig, dass heute in dieser Frage eine vollständige Konfusion herrscht. Diese rührt offensichtlich daher, dass einerseits verschiedene Dinge denselben Namen und andererseits gleiche Dinge verschiedene Namen haben.

Ob sich heute noch eine für jedermann befriedigende Definition des Namens Anorthoklas finden lässt, ist schwierig zu sagen, denn dieser Begriff ist als Streitobjekt vorbelastet, und manche der verschiedenen Auslegungen haben sich eingebürgert und leisten gute Dienste. Auf alle Fälle ist die Beantwortung der beiden folgenden Fragen wesentlich:

1. Welche Merkmale eines Kristalls sollen zur Definition von Anorthoklas überhaupt herangezogen werden? Soll man beispielsweise nur die chemische Gesamtzusammensetzung als wesentlich betrachten, oder auch strukturelle, thermodynamische und vielleicht weitere andere Eigenschaften? Durch die Beantwortung dieser ersten Teilfrage werden die anzuwendenden Untersuchungsmethoden und damit auch, und dies ist wesentlich, die anzustrebende bzw. maximal erreichbare Auflösung (etwa mm-, μ -, Å-Bereich) festgelegt.

2. Welche Variationsbreite soll jedem Merkmal definitionsgemäss zugeordnet werden? Dies ist stets eine schwierige Entscheidung. Ist nämlich die Variationsbreite zu klein, so werden viele Messwerte dadurch nicht erfasst, und es sind diverse Zusätze – wie zum Beispiel (K, Ca) – nötig, um Abweichungen von der Norm anzugeben. Auch ist dann zu befürchten, dass jedermann eine separate, auf seine eigenen Bedürfnisse zugeschnittene kleine Variationsbreite postuliert. Ist andererseits die Variationsbreite zu gross, so können zwar alle Messwerte damit erfasst werden, doch wird die gewählte Definition dadurch zu einem Sammelnamen und erreicht ihren Zweck der eindeutigen Kennzeichnung nicht.

Eine Anorthoklasdefinition, welche die vielen divergierenden Ansichten unter Umständen zusammenfassen könnte, wurde von BAMBAUER (1966, p. 679) vorgeschlagen: „Anorthoklase sind Feldspat-Paramorphosen der pauschalen chemischen Zusammensetzung (Ab, Or, An), abgegrenzt entsprechend Abb. 214 durch $Or < Ab$, $(Ab + An) > 50$ Mol.-%. Im Vergleich zu Orthoklasen sind für Anorthoklase typisch die im Mittel höheren An-Gehalte, welche jedoch selten mehr als 20–25 Mol.-% erreichen.“ Und weiter: „... entstehen Anorthoklase als Umwandlungs- und Entmischungsprodukte von primär bei hohen Temperaturen gewachsenem (K, Ca)-Monalbit (bis Na-Sanidin). Es handelt sich dabei *nicht* um eine strukturell definierbare Feldspat-Phase, sondern um ein Gemenge von oft submikroskopischen Feldspat-Phasen variabler Zusammensetzung.“

zung und Verwachsung.“ Und weiter: „Die nähere Untersuchung eines vorliegenden Anorthoklases richtet sich dann auf den speziellen Aufbau (Homogenität, Inhomogenität, Natur der beteiligten Phasen, Domänengrösse, Verzwillingung, Entmischung).“

Ich möchte mich dem Vorschlag von BAMBAUER anpassen, möchte aber dazu noch folgende Bemerkungen machen:

1. Zwar ist in den meisten Fällen eine ursprüngliche monokline Kristallisation anzunehmen, doch ist das nicht unbedingt notwendig.

2. Die Bedingung $Or < Ab$ sollte im Hinblick auf bei Raumtemperatur untersuchte Analbite zweckmässigerweise derart modifiziert werden, dass $Or/(Ab + An) < \approx 2/3$ sein sollte (BAMBAUERS Bedingung $(Ab + An) > 50$ Mol.-% ist darin mitenthalten).

3. Anorthoklas *kann* aus *einer* Phase (phasenmässig Analbit zu nennen, eventuell verzwillingt) bestehen.

Aus den von LAVES (1952 und 1960) gegebenen Gründen ist es nicht möglich, eine willkürfreie Definition des Begriffes „Anorthoklas“ zu geben, es sei denn eine phasentheoretisch begründbare, die mit dem Namen „Analbit“ (und dessen „instabilen“ Variationen) identisch wäre. Eine solche Definition würde aber begreiflicherweise den Mineralogen und Petrographen nicht passen (auch nicht den Kristallographen) und auch nichts nützen.

Vorstehendes und die Diskussion von LAVES (1960) berücksichtigend, sei unter dem Wort Anorthoklas folgendes verstanden:

1. Anorthoklas ist eine Feldspat-Mineralbezeichnung, braucht aber nicht eine Feldspat-Phasenbezeichnung zu sein.

2. Anorthoklas kann aus einer oder mehreren Phasen bestehen.

3. Falls Anorthoklas aus mehreren Phasen besteht, können diese als Domänen submikroskopischer Grösse derart klein sein, dass sie kristalloptisch nicht aufgelöst werden können.

4. Falls Anorthoklas lediglich aus verzwillingten Analbitlamellen besteht, können diese ebenfalls so klein sein, dass sie kristalloptisch nicht gesehen werden können.

5. Sind die aus 3. und 4. bestehenden Domänen so klein, dass sie kristalloptisch nicht aufgelöst werden können, kann ein Anorthoklas polarisationsoptisch homogen erscheinen. – Je nachdem, ob die Entmischungskörper 3. in ihrer Menge „balanciert“ auftreten oder nicht, oder ob die Zwillingdomänen 4. (entsprechend Albitgesetz oder Periklingesetz) in ihrer Menge „balanciert“ auftreten oder nicht, oder ob 3. und 4. gemeinsam in „balancierter“ Weise auftreten oder nicht, kann ein solches Material kristalloptisch monoklin oder mehr oder weniger triklin erscheinen.

6. Unabhängig von der submikroskopischen Domänengrösse wird sich ein solches Material kristalloptisch durch einen Summenwinkel $2V$ charakterisieren lassen, dessen Variationsbreite zur Zeit nicht bekannt ist. – $2V$ (und die Bre-

chungsindizes) werden im wesentlichen abhängig sein von dem strukturellen Zustand der beteiligten Phasen und deren Mengenverhältnis. – Die Orientierung der Summenindikatrix (also zum Beispiel Auslöschungswinkel) wird von den relativen Anteilen der in Zwillingsorientierung befindlichen Domänen (sei das Material phasentheoretisch homogen oder nicht) abhängen. – Die Brechungsindizes werden ebenfalls vom Zustand der beteiligten Phasen und ihrer chemischen Zusammensetzung abhängen.

4. MATERIAL

Die untersuchten Proben stammen von den folgenden Lokalitäten (Benennung der RP-Ströme nach BRØGGER 1933):

Bezeichnung	Fundort
Rhombenporphyr RP 1	Kolsås (Baerum)
Rhombenporphyr RP 3a	Strasse von Sollihøgda nach Oslo
Rhombenporphyr RP 5	NW Sollihøgda
Rhombenporphyr RP 7	Krokskogen (nicht näher bestimmt)
Rektangelporphyr RP 13d	Bergedal, Sørkedal
Rhombenporphyr-Gang	Tyveholmen (Oslo)

Die Rhombenporphyrströme RP 1, 5 und 7 haben regionale Verbreitung und kommen praktisch im ganzen Oslogebiet vor. Der Strom 3a ist auf das Krokskogen-Gebiet beschränkt und hat nur lokale Bedeutung. Der Rektangelporphyr RP 13d ist ein Glied der wegen der auffallenden Tracht ihrer Einsprenglinge, welche vorwiegend tafelig nach (010) und dazu in Richtung der a-Achse gestreckt sind, berühmten Rektangelporphyre, die ebenfalls regional verbreitet sind. Der RP-Gang von Tyveholmen schliesslich ist ein typischer Vertreter der RP-Gänge.

Es war die Absicht, in Einsprenglingen und Grundmasse nach Möglichkeit an ein und denselben Stellen Chemismus, Entmischung, Verzwilligung, Symmetrie usw. zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde mit jedem Einsprengling samt umgebender Grundmasse in folgender Weise verfahren:

1. Mit einem dünnen Sägeblatt wurde der Einsprengling mittendurch, aber nicht exakt durch sein Zentrum, geschnitten. Diese Schnitte waren alle orientiert, und zwar teils // (010) und teils // (001). Nur noch die grössere der beiden Einsprenglingshälften wurde weiterverwendet.

2. Durch einen 2. Schnitt, // zum ersten, wurde ein dünnes Plättchen abgetrennt. Dieses wurde auf der 2. Schnittfläche aufge kittet und auf Dünnschliffdicke geschliffen. Der Schliff wurde nicht gedeckt, um aus ihm Material für *Einkristallaufnahmen* heraus schneiden zu können.

3. Ein 3. Schnitt, // zum zweiten, lieferte ein weiteres dünnes Plättchen, wel-

ches bei geschickter Wahl der Schnitte nun ziemlich genau aus dem Einsprenglingszentrum stammte. Dieses Plättchen wurde ebenfalls auf der 2. Schnittfläche aufgeklebt und auf Dünnschliffdicke geschliffen. Dieser Schliff diente zur Bestimmung des Chemismus mit der *Elektronenmikrosonde*.

4. Schliesslich wurde noch mit einem 4. Schnitt ein 1 mm dickes Plättchen abgeschnitten. Daraus wurden Proben für *Pulveraufnahmen* entnommen.

Auf diese Weise hatten die beiden Dünnschliffe, die zur Einkristallaussuche und für die Bestimmung des Chemismus verwendet wurden, einen Abstand von nur etwa 0,5 mm voneinander, was fast ausschliesslich auf den Schnittverlust zurückzuführen war; ihr Abstand vom Plättchen, welchem Material für Pulveraufnahmen entnommen wurde, schwankte zwischen 1 und 3 mm.

5. FELDSPATOPTIK

OFTEDAHL (1944) berichtete zum erstenmal aufgrund der Untersuchungen von KÖHLER, dass die optische Orientierung der RP-Einsprenglinge eher mit Hoch- als mit Tieftemperaturplagioklasen übereinstimme. Schon bald danach (1948, p. 11) stellte er aber fest, dass die Plagioklase der Ergussgesteine in den allermeisten Fällen umgewandelt seien, und dass aus diesem Grunde eine ausgedehnte statistische Studie der Hochtemperaturoptik anhand der Laven des Oslogebietes nicht möglich sei.

Weitere Untersuchungen bestätigten diesen Befund. Über die Rhombenporphyre des Krokskogengebietes schrieb OFTEDAHL (1960b, p. 9): „Alteration has made the groundmass feldspar (principally alkali feldspar) indeterminate and the oligoclase of the phenocrysts so cloudy that optical studies are usually impossible.“ Und über die Rhombenporphyre des Vestfoldgebietes bemerkte er (1967, p. 210): „Dünnschliffe von den erwähnten Gesteinen zeigen eigentlich sehr wenig. Die Phenokristalle von saurem Plagioklas sind mehr oder weniger stark zersetzt und die Grundmassenfeldspäte sind immer so zersetzt, dass sie nicht mehr zu bestimmen sind. Im allgemeinen repräsentieren sie umgewandelte Sanidine oder Mischungen von Sanidinen und saurem Plagioklas. Die dunklen Gemengteile sind immer in Chlorit und andere Mineralien umgewandelt.“

Eigene Dünnschliffe hatten ähnliches Aussehen. Einzig der Rektangelporphyr erwies sich im Dünnschliff als etwas klarer als die übrigen Rhombenporphyre. Gesamthaft gesehen wird daher der Ansicht zugestimmt, dass die optische Bestimmung der Rhombenporphyre, und zwar sowohl der Einsprenglinge wie der Grundmasse, im allgemeinen unmöglich ist. Ausnahmen von dieser Regel stellen wenigstens die erwähnten Rektangelporphyr dar sowie der Rhombenporphyr RP 12c im Vestfoldgebiet, den OFTEDAHL (1967) als einzigen nicht metamorphisierten Rhombenporphyr bezeichnet. Eine detaillierte Untersuchung dieses letztgenannten Materials steht noch aus.

6. CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

6.1. Normatives Feldspatverhältnis

Die Auswertung von Gesteinsanalysen ist zum Verständnis der Entstehung der Rhombenporphyre und insbesondere ihrer Einsprenglinge von grosser Bedeutung. Darüber hinaus schien es auch interessant, einen Vergleich mit Analysen ähnlicher Gesteine vom Kilimanjaro und vom Mt. Erebus zu machen.

In Tab. 1 sind die Quellen der Analysen aus den drei Vorkommen zusammengestellt. Von diesen Analysen wurde, in den meisten Fällen erstmalig, die Standard-Katanorm (Äquivalentnorm) nach NIGGLI berechnet (BURRI 1959, p.106–111 und 121–126). Tab. 2a enthält die aus der Katanorm abgeleiteten normativen Feldspatverhältnisse. Um einen Vergleich mit den entsprechenden Tiefengesteinen zu gestatten, sind auch die normativen Feldspatverhältnisse von sieben Larvikiten angegeben (Tab. 2b). Die Feldspatdreiecke der Fig. 1 bis 5 stellen die Beziehungen zwischen den verschiedenen Gesteinen dar.

6.2. Oslogebiet

Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen RP-Ströme ist nicht konstant, sondern schwankt, wie Fig. 1 zeigt, innerhalb gewisser Grenzen. Es kann daraus aber nicht auf eine fortschreitende Differentiation geschlossen werden etwa derart, dass der älteste RP-Strom (RP 1) der basischste und der jüngste Strom (RP 15) der sauerste wäre. Vielmehr waren relativ kurzfristige Fluktuationen in der sonst konstanten Magmenzusammensetzung die Ursache dieser Schwankungen. Die Unterschiede zwischen einzelnen Lavatypen können aber gleichwohl erheblich sein, wie die Sonderstellung des Rektangelporphyr

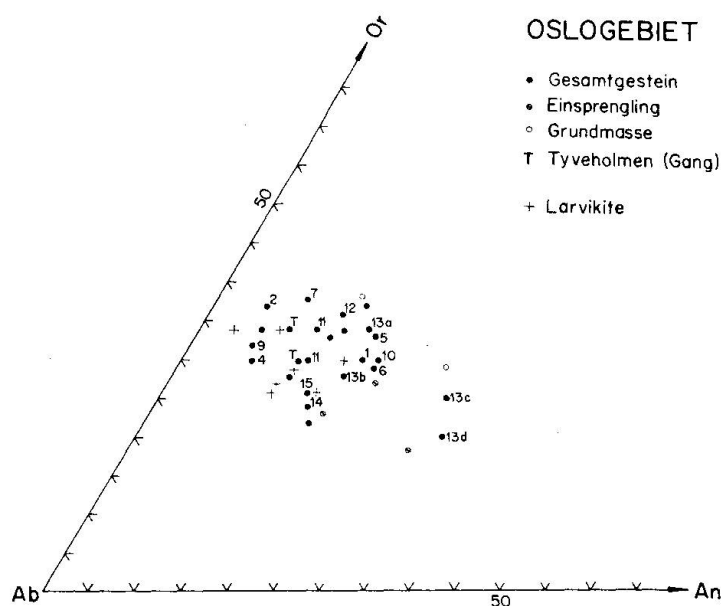


Fig. 1. Normatives Feldspatverhältnis der Rhombenporphyre (Analysen 1 bis 30 in Tab. 2a) und Larvikite (Tab. 2b) des Oslogebietes. Zahlen = RP-Schichtenfolge nach BRØGGER (1933).

RP13d beweist. – Jüngste, von OFTEDAHL (1967, Abb.5) auszugsweise veröffentlichte Analysen weisen eine leichte Zunahme des Silifizierungsgrades zwischen dem RP17 und dem RP26 des Vestfoldgebietes nach.

Die Larvikite sind nur wenig Na-reicher als die Rhombenporphyre. Die normativen Feldspatverhältnisse von Larvikiten und von Rhombenporphyren sind demnach einander so ähnlich, wie es von zusammengehörigen Tiefen- und Ergussgesteinen erwartet wird.

Zwischen den RP-Strömen und den RP-Gängen sind keine Unterschiede feststellbar; die in ihrer Ausdehnung begrenzten Gänge zeigen gesamthaft gesehen gleiche Verhältnisse wie die grossen, sich weithin erstreckenden Ströme.

Auch von den wenigen Analysen von Einsprenglingen und Grundmassen wurden normative Feldspatverhältnisse berechnet. Sie liegen für die *Einsprenglinge* im Mittel bei $Or_{20}Ab_{55}An_{25}$. Für die *Grundmasse* erkennt man qualitativ einen höheren Or-Gehalt als im Gesamtgestein. Röntgenpulveraufnahmen (Kap. 8) zeigen denn auch, dass der Alkalifeldspat in der Grundmasse konzentriert ist.

6.3. Kilimanjaro

In Fig. 2 fallen drei Gruppen von Gesamtgesteinsanalysen ins Auge. Die erste besteht aus Nephelinrhombenporphyren vom Kilimanjaro bei $Or_{40}An_{10}$. Die zweite umfasst Leucit-Rhombenporphyre und glasige RP des Kilimanjaro sowie Kenyite vom Mt. Kenya bei $Or_{50}An_{0-3}$. Dazu kommt noch die Einzelanalyse eines RP vom Mt. Meru mit $Or_{28}Ab_{61}An_{11}$. – In den *Einsprenglingen* ist die Ab-Komponente der normativen Feldspatverhältnisse bedeutend grösser als im Gesamtgestein. – Analysen der *Grundmasse* werden in der Literatur nicht angegeben.

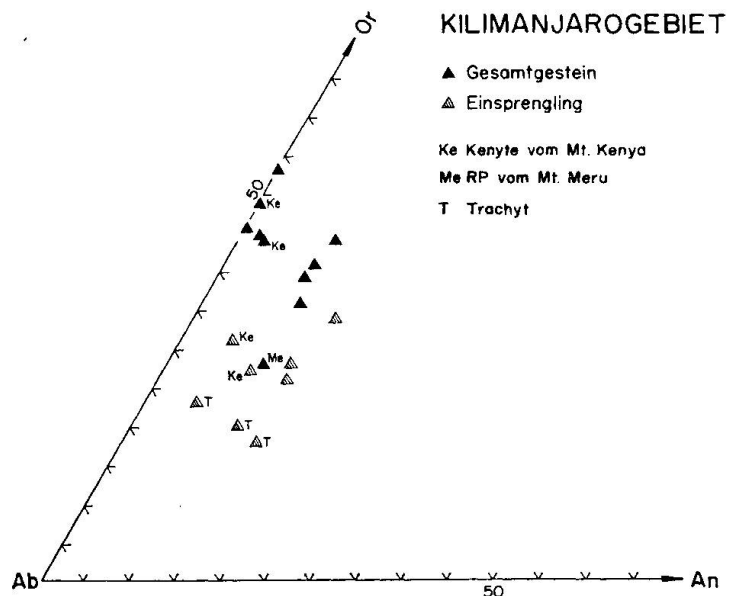


Fig. 2. Normatives Feldspatverhältnis der Rhombenporphyre des Kilimanjaro und seiner Umgebung (Analysen 31 bis 48 in Tab. 2a).

6.4. Mt. Erebus

Von diesen Rhombenporphyren sind am wenigsten Analysen veröffentlicht worden. Weil diese Lokalität schwer zugänglich ist, haben sich die meisten Autoren, soweit sie überhaupt die Quellen ihres Materials angeben, auf die Sammlung des British Museum in London gestützt, welche die Originalproben der National Antarctic Expedition (1901–1904), der British Antarctic Expedition (1907–1909) und der British Antarctic („Terra Nova“) Expedition (1910) enthält.

Das normative Feldspatverhältnis der *Einsprenglinge* ist Na-reicher als dasjenige des Gesamtgesteins, das normative Feldspatverhältnis der *Grundmasse* K-reicher.

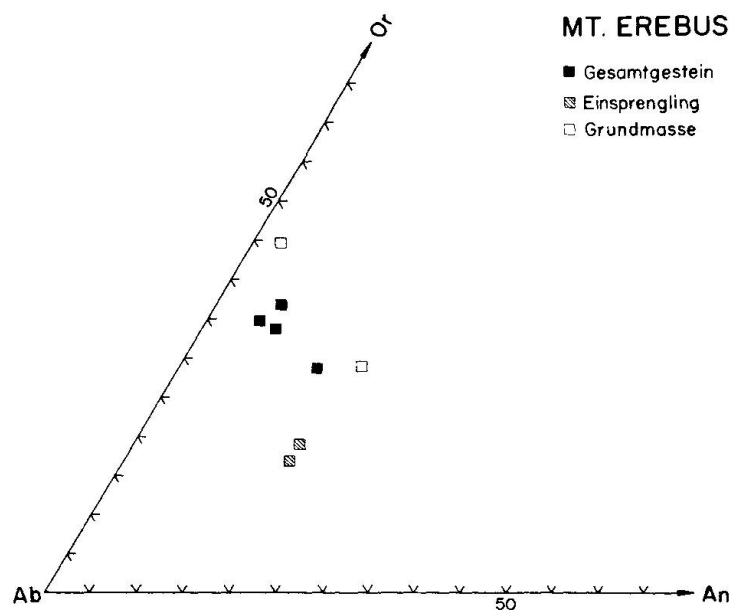


Fig. 3. Normatives Feldspatverhältnis der Rhombenporphyre des Mt. Erebus (Analysen 49 bis 56 in Tab. 2a).

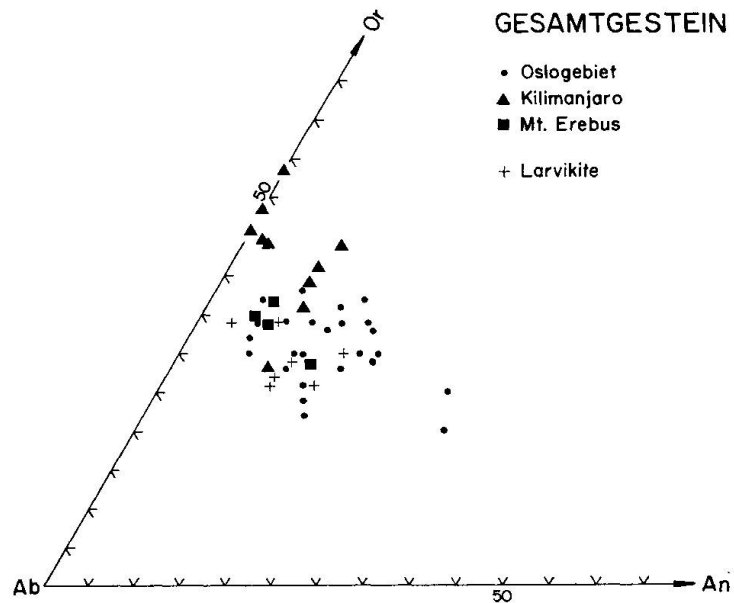
6.5. Vergleich der drei Vorkommen

Das mittlere normative Feldspatverhältnis der Rhombenporphyre vom *Mt. Erebus* ($Or_{34}Ab_{57}An_9$) ist demjenigen der *Oslo-RP* ($Or_{31}Ab_{55}An_{14}$) recht ähnlich, obwohl es etwas An-ärmer und Or-reicher ist als dieses (Fig. 4).

Die Verhältnisse der Rhombenporphyre vom *Kilimanjaro* und seiner Umgebung weisen dagegen einen anderen Charakter auf: Erstens sind sie Or-reicher als die Verhältnisse der *Oslo-RP*. Zweitens ist ihr An-Gehalt sehr niedrig; dies trifft speziell für die Gesteine vom *Mt. Kenya* zu. Diese Feststellung steht im Einklang mit der Beobachtung, dass in den Rhombenporphyren des *Kilimanjaro* und des *Mt. Kenya* neben Feldspäten auch Nephelin und Leuzit als *Einsprenglinge* und in der *Grundmasse* vorkommen.

MOUNTAIN (1925, p. 338) zählte die *Einsprenglinge* vom *Mt. Kenya* und vom *Mt. Erebus* zu einer ganzen Serie von Feldspateinsprenglingen, welche zwi-

Fig. 4. Normatives Feldspatverhältnis des Gesamtgesteins von Rhombenporphyren und Larvikiten: Alle Analysen in Tab. 2a, die mit G bezeichnet sind.

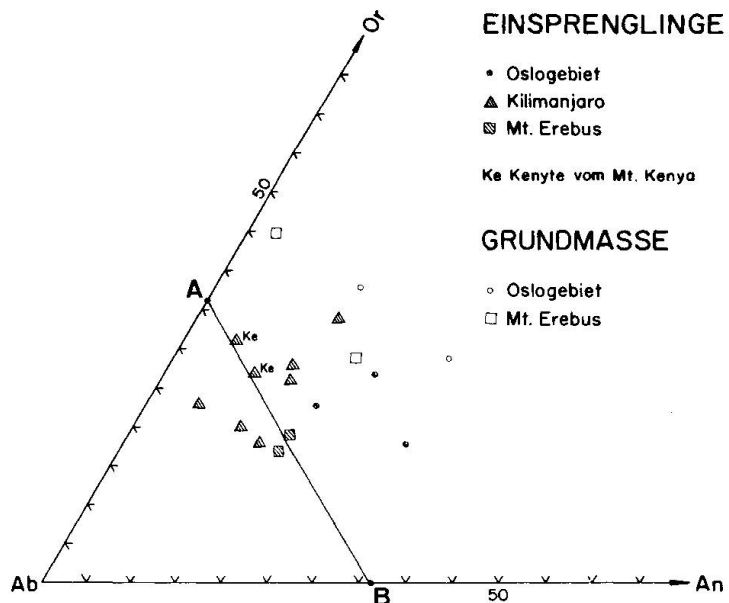


schen den Punkten $A = Ab_{65}Or_{35}$ und $B = Ab_{65}An_{35}$ (in Mol.-%, siehe Fig. 5) verläuft. Physikalische Eigenschaften wie spezifisches Gewicht, Brechungsindizes, Achsenwinkel usw. sollten innerhalb dieser Serie kontinuierlich variieren. MOUNTAIN rechnete auch Einsprenglinge in Laven von Pantelleria, Tenerife und vom Vesuv zu dieser Reihe. Hingegen gehören die Einsprenglinge in Trachyt-laven (Analysen 37–39 in Tab. 1) und die Einsprenglinge vom Kilimanjarahauptgipfel, wie Fig. 5 zeigt, nicht zu dieser Serie.

Die Grundmassenanalysen sind so spärlich, dass ein Vergleich ihrer Verhältnisse nicht sinnvoll erscheint.

Gesamthalt gesehen zeigt es sich, dass die normativen Feldspatverhältnisse der Rhombenporphyre und Larvikite des Oslogebietes und diejenigen der

Fig. 5. Normatives Feldspatverhältnis von Einsprenglingen und Grundmasse der Rhombenporphyre: Alle Analysen in Tab. 2a, die mit E oder M bezeichnet sind. – Die Einsprenglinge des Mt. Kenya und des Mt. Erebus sind Glieder einer von MOUNTAIN (1925, p. 338) erwähnten Serie von Feldspateinsprenglingen, welche zwischen $A = Ab_{65}Or_{35}$ und $B = Ab_{65}An_{35}$ (Mol.%) verläuft.



Rhombenporphyre vom Mt. Erebus einander recht ähnlich sind. Zwischen diesen beiden und den Verhältnissen der Rhombenporphyre vom Kilimanjaro und seiner Umgebung sind die Beziehungen dagegen weniger eng.

7. ELEKTRONENMIKROSONDENANALYSEN

7.1. Präparation und Messung

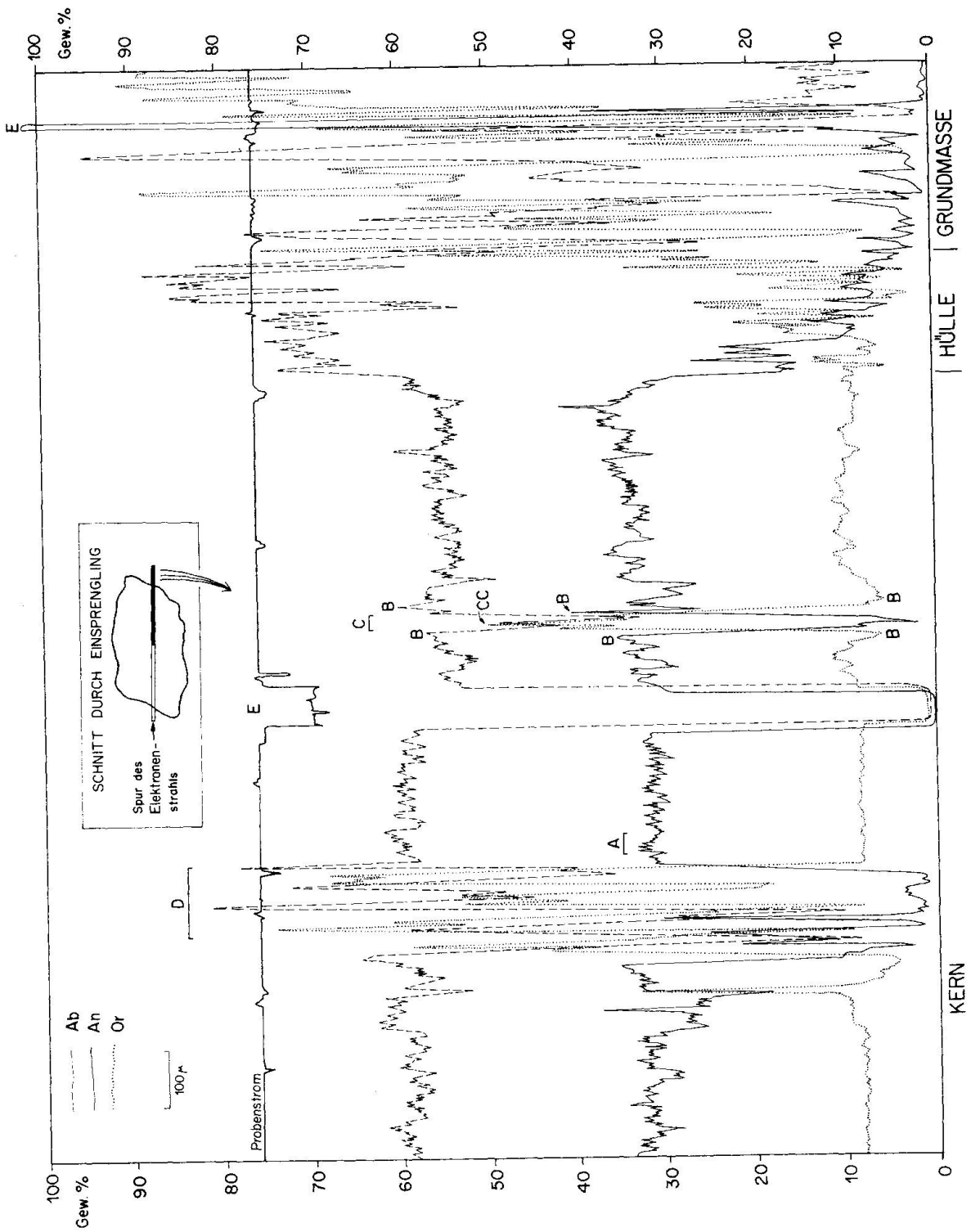
In Kap. 4 wurde beschrieben, wie von Scheiben, welche durch das Zentrum von Einsprenglingen geschnitten wurden, Dünnschliffe hergestellt wurden. Diese Schliffe wurden mit Diamantpaste poliert und dann mit Beryllium ca. 100 Å dick bedampft. Die zu untersuchenden Stellen wurden im Mikroskop ausgesucht und markiert.

Zur Untersuchung wurde eine ARL-EMX-Elektronenmikrosonde benutzt. Der Elektronenstrahl von 25 kV hatte auf der Präparatoberfläche einen Durchmesser von ca. 1 μ . Der Probenstrom betrug etwa 0,1 μ A. Die Schliffe wurden bei feststehendem Elektronenstrahl kontinuierlich geradlinig bewegt, und die Intensität der charakteristischen Röntgenstrahlung von K, Na und Ca (in einigen Messreihen K, Na und Ba) wurde zusammen mit dem Probenstrom durch einen Mehrkanalschreiber aufgezeichnet.

Als *Standards* wurden drei genau analysierte Minerale und ein synthetisches Glas verwendet: Für Na ein Albit, für Ca ein An₁₀₀-Glas, für K ein Adular und für Ba ein Hyalophan (Standards F1, F3, F5 und K9 von M. Corlett und R. Gubser, unveröffentlicht). Vor und nach jeder Messung wurden auch die Standards gemessen und die entsprechenden Schreiberausschläge geeicht.

Die derart erhaltenen Profile (Fig. 6 zeigt ein Beispiel) geben die Konzentration von Or, Ab und An bzw. Cn (Celsian) in Gewichtsprozenten. Diese Resul-

Fig. 6. Beispiel eines Mikrosondeprofils durch einen Rhombenporphyreinsprengling. Dargestellt ist (siehe kleine Einsatzfigur) das Profil entlang des schwarzen Teils der Spur des Elektronenstrahls. Dieser Einsprengling stammte aus dem RP 1 (Kolsås-Typ). – Die Geschwindigkeit des Präparatvorschubs betrug 120 μ /min. Der Bereich von 0 bis 100 Gew. % war im Original 25 cm hoch. Die kleine Verschiebung der Kurven für Probenstrom, Ab, Or und An gegeneinander ist eine Folge der Schreiberanordnung. – Im chemisch homogenen Plagioklas des Einsprenglings-Kerns tritt manchmal oszillierender Zonarbau (A) auf. – An den Grenzen (B) von antiperthitisch ausgeschiedenem Alkalifeldspat (C) ist die Or-Konzentration vermindert und dafür die (Ab + An)-Konzentration erhöht. Dieser Alkalifeldspat (C) ist sekundär antiperthitisch entmischt unter Bildung einer zweiten Generation von Alkalifeldspat (CC) mit kleinerem Ca-Gehalt, dessen Grenzen dieselbe Charakteristik aufweisen wie (B). – Zuweilen findet man in Einsprenglingen Stellen (D), welche eine gleiche Zusammensetzung wie die Grundmasse haben. Dies legt den Schluss nahe, dass sich die betreffenden Einsprenglinge während ihres Wachstums in Milieus mit unterschiedlichen physikalisch-chemischen Bedingungen aufgehalten haben. – Einschlüsse (E) anderer Mineralien wie Augit, Chlorit, Erze usw. sind daran erkenntlich, dass die Summe (Or + Ab + An) teilweise beträchtlich von 100 abweicht. – Die *Hülle* des Einsprenglings ist gekennzeichnet durch einen saurer werdenden Plagioklas, der bisweilen in einen Ca-reichen Alkalifeldspat übergeht. – Die Zusammensetzung der *Grundmassenfeldspäte* variiert im ganzen Bereich der Alkalifeldspäte. Der An-Gehalt dieser Feldspäte ist gewöhnlich gering.



tate wurden nicht mehr korrigiert, und es ist deswegen mit gewissen Abweichungen von den wahren Werten zu rechnen. Diese Abweichungen können nach KEIL (1966, p. 19) unter den schlechtesten Bedingungen häufig $\pm 20\%$ erreichen. Die Untersuchungsbedingungen waren jedoch in der vorliegenden Arbeit viel günstiger, da als Standards nicht reine Elemente, sondern Minerale mit einer den untersuchten Proben ähnlichen Zusammensetzung verwendet wurden. Daher dürften die Resultate von den wahren Werten im Mittel nicht mehr als $\pm 5\%$ und maximal nicht mehr als $\pm 10\%$ abweichen.

7.2. Streubilder (scatter diagrams)

Mikrosondeprofile von Rhombenporphyren zeigen, dass zwischen Einsprenglingskernen, Einsprenglingshüllen und der Grundmasse Unterschiede bestehen im *Mengen- oder Volumenverhältnis* chemisch unterschiedlicher Bereiche, zum Beispiel von Plagioklas und Alkalifeldspat (vgl. Fig. 6).

Zur genaueren Charakterisierung der Einsprenglinge werden zwei Begriffe unterschieden: Als *Hülle* (vgl. Fig. 22) wird eine Zone bezeichnet, welche den Einsprenglings-Kern schalenartig umgibt und welche sich von ihm makroskopisch durch eine andere Färbung unterscheidet. Die Dicke dieser Hülle ist stark variabel; meist beträgt sie nur wenige Zehntelsmillimeter, kann aber gelegentlich einen Millimeter und mehr erreichen. Manchmal ist auch nur stellenweise eine Hülle vorhanden. Nicht alle Einsprenglinge besitzen jedoch eine derartige Hülle. – Makroskopisch oder auch mikroskopisch erkennbare Hüllen brauchen sich chemisch nicht wesentlich vom Kern zu unterscheiden, denn auch submikroskopische Verzwilligung und Verunreinigungen können die beobachteten Unterschiede hervorrufen.

Um diese Volumenverhältnisse zu bestimmen, führe man ein Gedankenexperiment durch: Man denke sich die Probe, zum Beispiel einen Einsprenglingskern, mit einem feinen dreidimensionalen Raster überzogen. In jeder Zelle dieses Rasters würde die chemische Zusammensetzung bestimmt. Die Resultate würden in einem Or-Ab-An-Dreieck dargestellt. Gleiche Resultate, das heisst in verschiedenen Zellen des Rasters gemessene gleiche Zusammensetzungen, würden als kleine Würfel übereinander aufgetragen. Derart entstünden im Dreieck grössere und kleinere Hügel, welche grösseren und kleineren Häufigkeiten der betreffenden chemischen Zusammensetzung entsprächen. Würde man die gesamte Probe auf diese Weise auswerten, so erhielte man eine *Häufigkeitsverteilung*, welche die Mengenverhältnisse der vorhandenen chemisch unterschiedlichen Phasen genau wiedergäbe.

Ein schematischer Schnitt (Fig. 7) veranschaulicht zweidimensional, dass eine solche Häufigkeitsverteilung spezifische Aussagen ermöglicht über:

1. die mittlere chemische Zusammensetzung der Hauptphase („Wirt“ eines entmischten Kristalles, B);

2. die Zusammensetzung der Nebenphasen („Gast“ eines entmischten Kristalles), einschliesslich der maximalen Entmischungsprodukte (A und E);
3. den prozentualen Anteil der verschiedenen Phasen an der inhomogenen Probe, das heisst die Volumenverhältnisse.

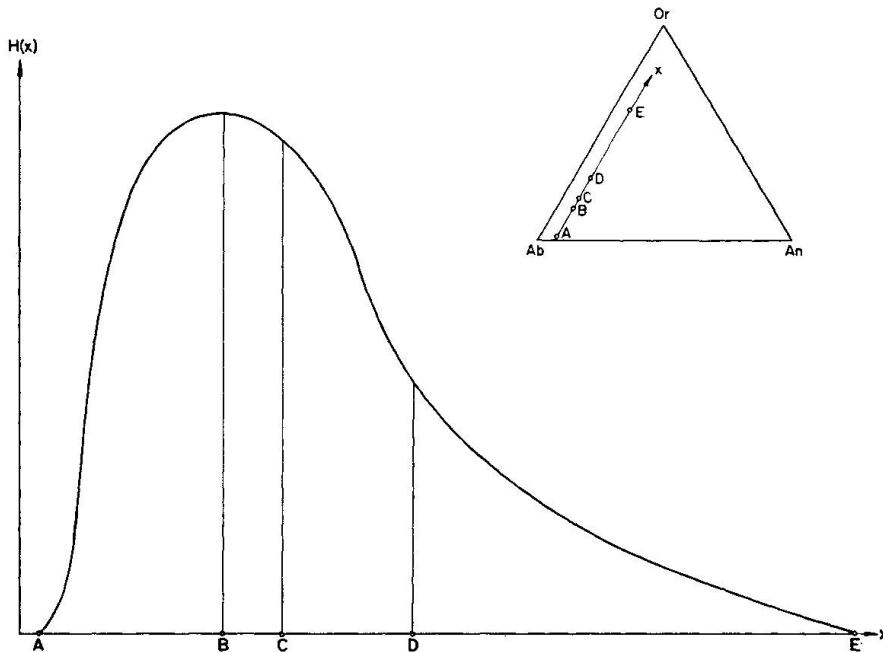


Fig. 7. Chemische Zusammensetzung der Rhombenporphyre: Schematischer Schnitt (siehe Einsetzfigur) durch eine Häufigkeitsverteilung. In diesem Beispiel steht die Variable X für den Or-Gehalt; An ist konstant. A = Minimalwert, B = häufigster Wert, C = Zentralwert, D = arithmetisches Mittel und E = Maximalwert von X .

Aus der Gesamtheit der erhaltenen Resultate (verschiedene Zusammensetzungen in den Rasterzellen) kann schliesslich die mittlere Zusammensetzung der ganzen inhomogenen Probe (D) berechnet werden. (Diese Zusammensetzung kann auch durch eine klassische chemische Analyse bestimmt werden.)

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass die Volumenverhältnisse gemäss 3. an verschiedenen Stellen desselben Einsprenglingskernes gleich sind, ebenso an verschiedenen Stellen derselben Hülle und an verschiedenen Stellen der Grundmasse. Daher konnte die Rasterung in stark vereinfachter Form angenähert werden, indem pro Einsprengling in zwei senkrecht zueinander stehenden Schliften je ein Profil in der Längs- und in der Querrichtung aufgenommen wurde. Entlang dieser Profile wurde in gleichmässigen Abständen die Zusammensetzung abgelesen. Die Grösse dieser Abstände wurde empirisch ermittelt und entsprach in der Regel einer Distanz von 5μ auf der Probenoberfläche. Stark inhomogene Proben erforderten eine Ablesung alle $2,5\mu$, weniger inhomogene Proben nur alle 10μ . Zusätzlich wurden alle Extremwerte (Maxima und Minima von Or, Ab oder An) abgelesen, sofern sie nicht schon erfasst worden waren. – Stellen, an welchen der Probenstrom während der Messung

nicht konstant war, und Einschlüsse von anderen als Feldspatmineralien wurden von der Auswertung ausgenommen, das heisst es wurden die entsprechenden Teile der Profile nicht ausgemessen.

Alle Ablesungen wurden in ein Or-Ab-An-Dreieck eingetragen. Von mehreren gleichen Werten wurde der erste exakt an der richtigen Stelle und alle weiteren nebeneinander, so nahe wie möglich um den ersten herum, eingezeichnet. Das auf diese Weise entstandene sogenannte *Streubild* (scatter diagram, correlation diagram) stellt eine gute *Näherung an die gesamte Häufigkeitsverteilung* dar und ermöglicht alle weiter oben unter 1. bis 3. genannten Aussagen.

7.3. Diskussion der Ergebnisse

Im Laufe der Auswertung der Profile erwies es sich, dass die Volumenverhältnisse in verschiedenen Kernen, verschiedenen Hüllen und ebenso in verschiedenen Grundmassepartien desselben RP-Stromes untereinander praktisch gleich sind. Daher wurden in jedem Streubild (Fig. 8 bis 13) die Auswertungsergebnisse mehrerer Profile zusammengefasst, um einen repräsentativen Überblick über die einzelnen RP-Typen zu geben. Es ist möglich, anhand dieser Streubilder einige Aussagen über die Bildung der Rhombenporphyre zu machen.

A. Einsprenglingskerne

1. Plagioklas-Wirt

a) Die Zusammensetzung des Plagioklaswirts ist nicht in allen RP-Typen gleich. Es wurden Variationen von K-Albit (RP 5, Fig. 10) bis zu K-Andesin (RP 13d, Fig. 12) gefunden.

b) Der nicht entmischte K-Gehalt des Wirts ist im allgemeinen recht hoch und erreicht bei mehreren RP-Typen Durchschnittswerte von Or₇ bis Or₉. Da nach BAMBAUER et al. (1965) der K-Gehalt der Feldspatmatrix natürlicher geordneter Plagioklase (tief) von Or₀ bis Or₄ (selten Or₅) variiert, jedoch gewöhnlich Or_{0,5} nicht übersteigt, lässt der gemessene viel höhere K-Gehalt den Schluss zu, dass der strukturelle Zustand des Plagioklaswirts noch vorwiegend ungeordnet bis intermediär sein dürfte.

c) Die Verteilung von nicht entmischem Or in der Plagioklasmatrix ist in der Regel inhomogen (vgl. Fig. 6). Dies scheint, ähnlich wie von BAMBAUER et al. (1967) berichtet, vom Vorhandensein kryptoantiperthitisch entmischter Alkalifeldspatbereiche herzurühren, welche zu klein sind, um vom Elektronenstrahl von ca. 1 μ Durchmesser aufgelöst werden zu können.

d) In Dünnschliffen der Ca-reichen RP-Typen erkennt man zuweilen eine zonare Ausbildung des Feldspats. Am deutlichsten ist das sichtbar bei Einsprenglingen des Rektangelporphyr RP 13d. Den Mikrosondeprofilen nach

kann es sich dabei keinesfalls um einen normalen Zonarbau mit von Zone zu Zone grossen Änderungen der Ca-Konzentration handeln. Vielmehr scheint sogenannter oszillierender Zonarbau vorzuliegen: Der Ca-Gehalt pendelt mit wechselnden Perioden von etwa 20 bis 80μ und mit Amplituden von 1 bis 3 (selten mehr) Prozent An um einen Mittelwert. Eine mehr oder weniger ausgeprägte Sägezahn-ähnliche Ca-Verteilung (Fig. 6, A) scheint charakteristisch für diese Oszillation zu sein, das heisst eine vom Einsprenglingszentrum nach aussen sich wiederholende Folge von flachem Abfall und anschliessendem, steilem Anstieg des An-Gehaltes (BOTTINGA et al. 1966, Fig. 1). Es kann aber auch umgekehrt der An-Gehalt steil abfallen und dann allmählich wieder ansteigen. – Die Verteilung des Kaliums ist an solchen Stellen teils ebenfalls oszillierend, teils aber auch homogen; die allgemeine Tendenz ist, dass die K-Verteilung gegenläufig der Ca-Verteilung folgt: Wenn An steigt, dann fällt Or, und umgekehrt. Ebenso verhält es sich mit der Ba-Verteilung; vgl. dazu f).

e) Der etwa 1μ grosse Durchmesser des verwendeten Elektronenstrahls machte es unmöglich, im Bereich der Pauschalzusammensetzung An_2 bis An_{17} Peristeritentmischung nachzuweisen, da deren Periodizität nur etwa $0,2\mu$ beträgt. Jedoch machen es das Fehlen von Peristeritreflexen auf Röntgenpulver- und -einkristallaufnahmen sowie der erwähnte hohe K-Gehalt der Plagioklasmatrix wahrscheinlich, dass der Plagioklas strukturell ungeordneter ist als eventuelle Peristeritentmischungskomponenten.

f) Der Ba-Gehalt des Plagioklases, welcher in Proben von RP 1, 13d und des Tyveholmen-RP gemessen wurde, ist ziemlich homogen und beträgt, auf Celsian umgerechnet, bei allen drei RP-Typen ca. 1 Gew.-% Cn. Dieser Wert ist rund zehnmal grösser als die von CORLETT und RIBBE (1967) gemessene maximale Ba-Konzentration in natürlichen K-freien ($K < 0,5$ Gew.-%) Plagioklasen (tief). Auch hieraus kann man schliessen, dass sich der Plagioklas in einem strukturell ungeordneten bis intermediären Zustand befinden dürfte.

2. Alkalifeldspat-Gast

a) In den meisten RP-Typen sind die Einsprenglingskerne entmischt. Es wurde sowohl antiperthitische als auch perthitische Entmischung beobachtet. Eine Ausnahme bildet der Rektangelporphyr RP 13d, dessen Kerne chemisch sehr homogen sind, und bei welchem mit der Mikrosonde Entmischung nur selten und auch dann nur in kleinen Bereichen gefunden werden konnte. Indessen bestehen da dieselben Verhältnisse wie in 1c).

b) Die Zusammensetzung des antiperthitischen Gastes (vgl. Fig. 6, C) variiert im ganzen Bereich der chemisch intermediären Alkalifeldspäte. Der Ca-Gehalt ist meistens höher als An_5 und kann An_{15} , gelegentlich auch mehr, erreichen. Die Dicke der Entmischungskörper beträgt gewöhnlich nicht mehr als 50μ .

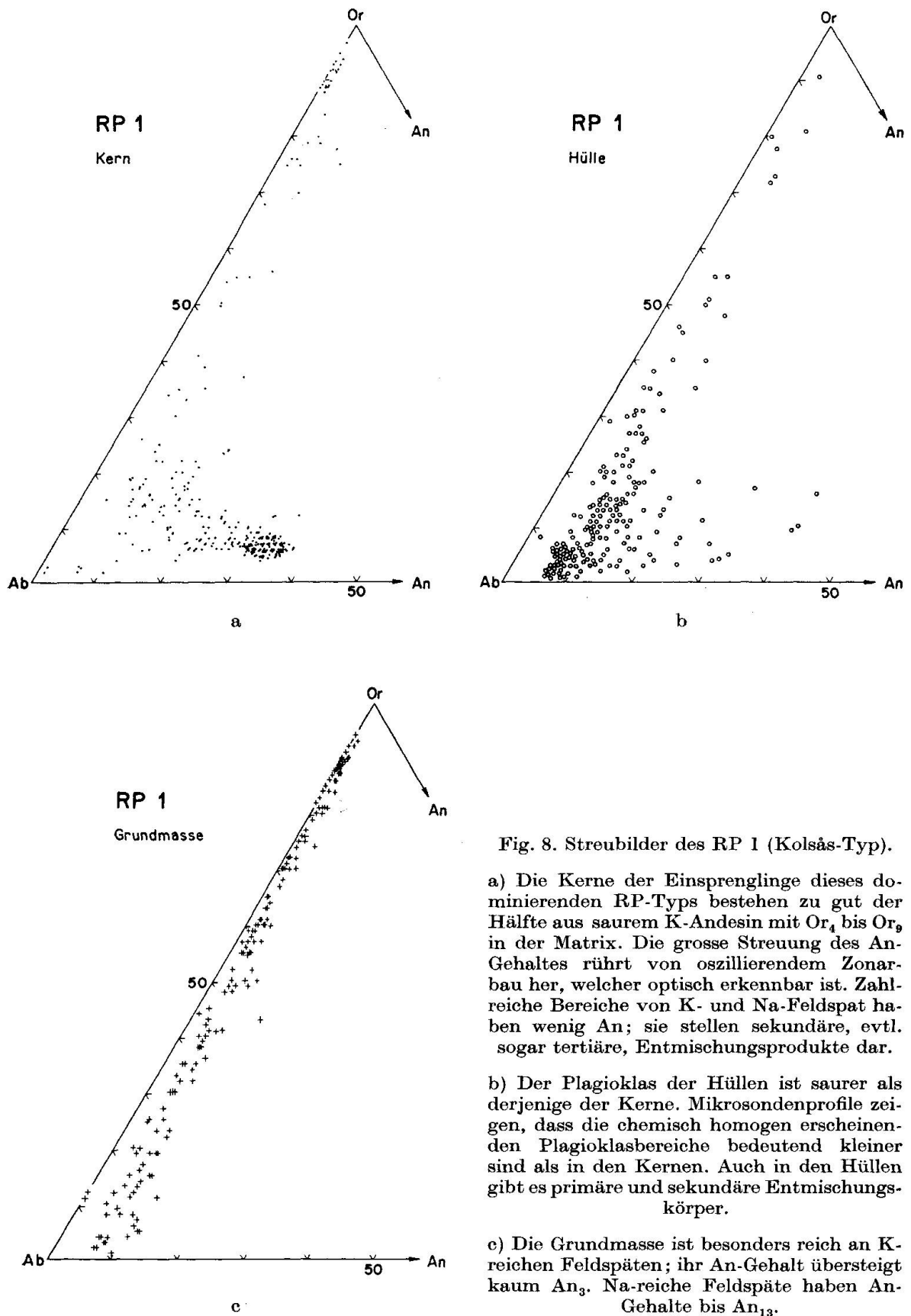


Fig. 8. Streubilder des RP 1 (Kolsås-Typ).

a) Die Kerne der Einsprenglinge dieses dominierenden RP-Typs bestehen zu gut der Hälfte aus saurem K-Andesin mit Or_4 bis Or_9 in der Matrix. Die grosse Streuung des An-Gehaltes rührt von oszillierendem Zonarbau her, welcher optisch erkennbar ist. Zahlreiche Bereiche von K- und Na-Feldspat haben wenig An; sie stellen sekundäre, evtl. sogar tertiäre, Entmischungsprodukte dar.

b) Der Plagioklas der Hüllen ist saurer als derjenige der Kerne. Mikrosondenprofile zeigen, dass die chemisch homogen erscheinenden Plagioklasbereiche bedeutend kleiner sind als in den Kernen. Auch in den Hüllen gibt es primäre und sekundäre Entmischungskörper.

c) Die Grundmasse ist besonders reich an K-reichen Feldspäten; ihr An-Gehalt übersteigt kaum An_3 . Na-reiche Feldspäte haben An-Gehalte bis An_{13} .

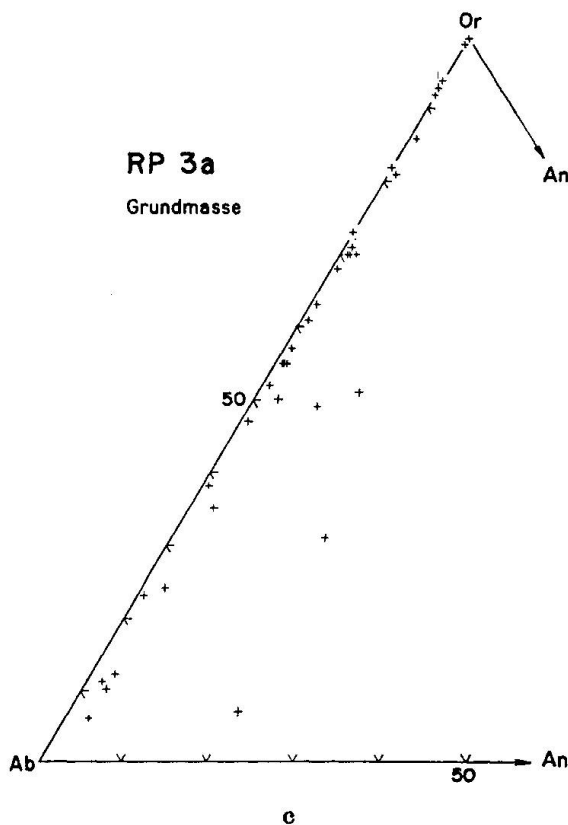
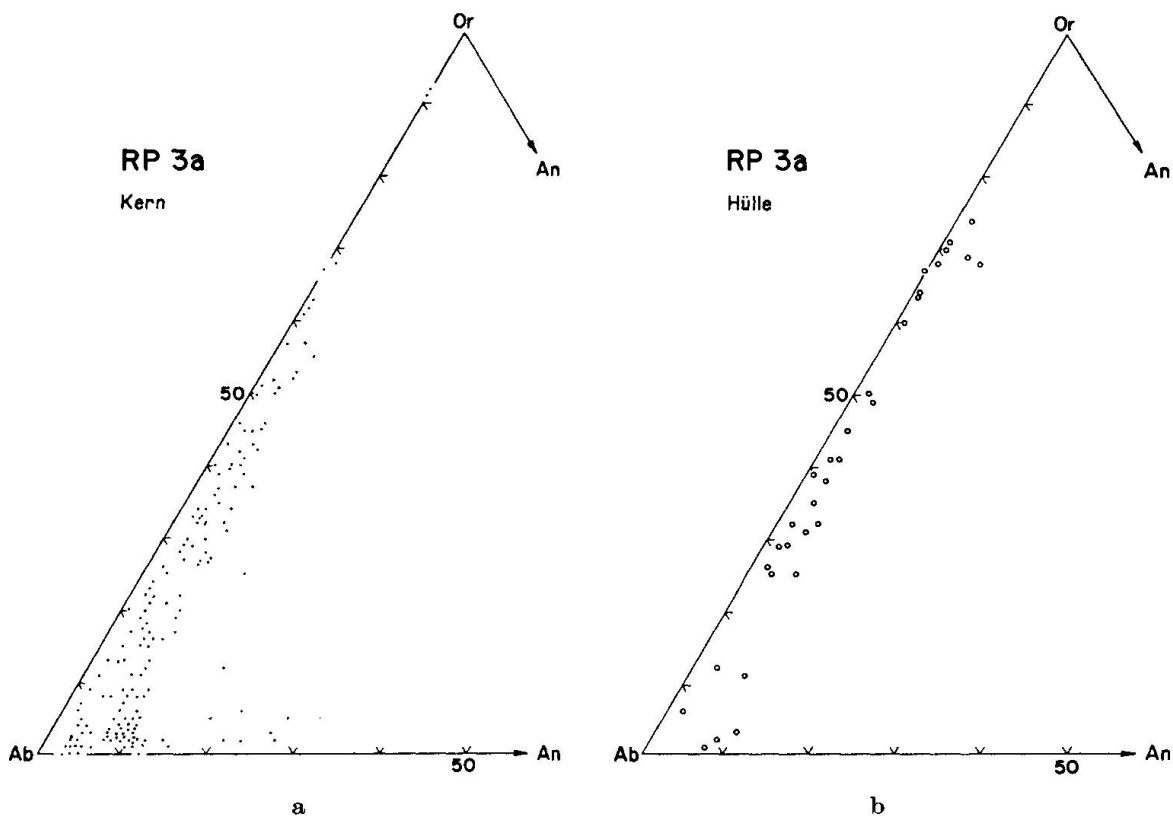


Fig. 9. Streubilder des RP 3a.

- a) Auffallend ist das Vorkommen von K-armen Plagioklasen sowie von Ca-armen Alkalifeldspäten.
- b) Die Hüllen unterscheiden sich chemisch kaum von den Kernen. In Kernen und Hüllen hat sowohl primäre wie sekundäre Entmischung stattgefunden.
- c) Die Grundmasse ist reich an fast Ca-freien Alkalifeldspäten.

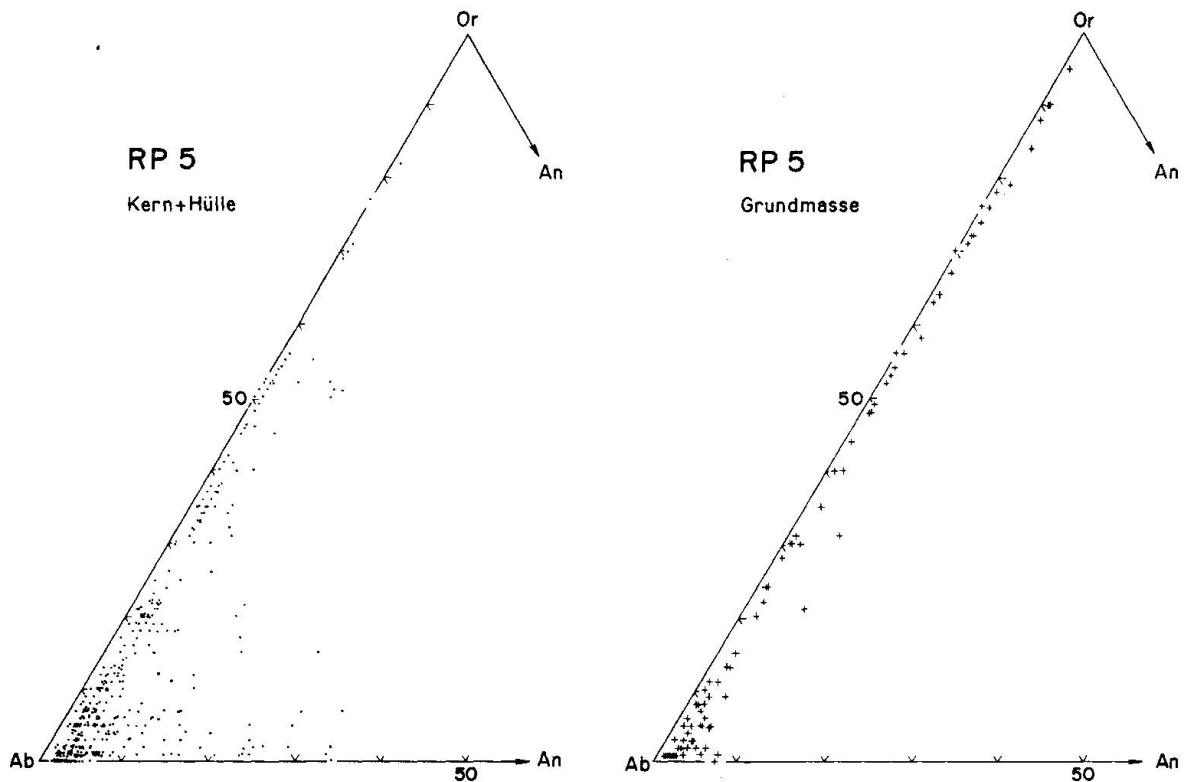


Fig. 10. Streubilder des RP 5.

a) Für Kerne und Hüllen gibt es ein gemeinsames Streubild, denn sie unterscheiden sich chemisch nicht. Noch häufiger als beim RP 3a (Fig. 9) kommt hier K-ärmer Plagioklas vor. Der Ca-Gehalt der Alkalifeldspäte ist niedrig.

b) Die Feldspäte der Grundmasse sind ebenfalls Ca-arm. Für die Alkalifeldspäte gilt im allgemeinen $Ab > Or$.

c) Manchmal ist der Alkalifeldspatgast nochmals entmischt. Es kann sich dabei, je nach seiner Zusammensetzung, um antiperthitische oder um perthitische Entmischung handeln. Diese sekundären Entmischungsprodukte (Fig. 6, CC) besitzen ebenfalls sehr variable Zusammensetzungen, welche gelegentlich bis zu den Endgliedern der Alkalifeldspatreihe reichen. Typisch ist eine Ca-Konzentration von An_0 bis An_1 (maximal etwa An_3).

d) Die Ba-Konzentration im Alkalifeldspat ist grösser als im Plagioklas und beträgt im Mittel 2 Gew.-% Cn; die höchste, in einem fast (Na, Ca)-freien Kalifeldspat gemessene Konzentration betrug 4 Gew.-% Cn. Nach GAY und ROY (1968) sollte man erwarten, dass unter Tieftemperaturbedingungen eine so grosse Ba-Konzentration zu Entmischung in einen triklinen Hyalophan und in einen wenig oder kein Ba enthaltenden Alkalifeldspat vom Mikroklinotyp führt. Solche Entmischung wurde jedoch bei keinem RP-Typ gefunden. Auch wenn es nicht ausgeschlossen ist, dass die Ba-reichen Kalifeldspäte teilweise in der oben skizzierten Art kryptoperthitisch entmischt sind, so lassen die Beobachtungen doch vermuten, dass der strukturelle Zustand des Alkalifeldspatgastes noch wenig geordnet ist.

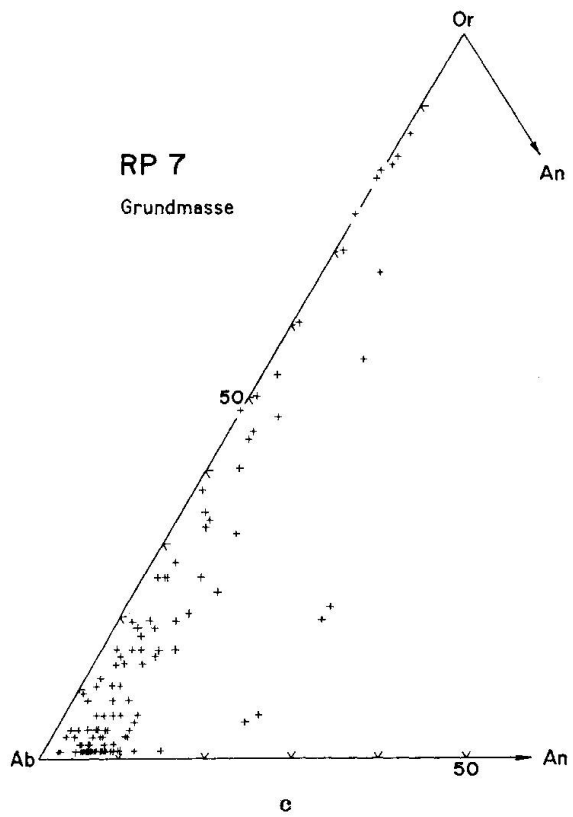
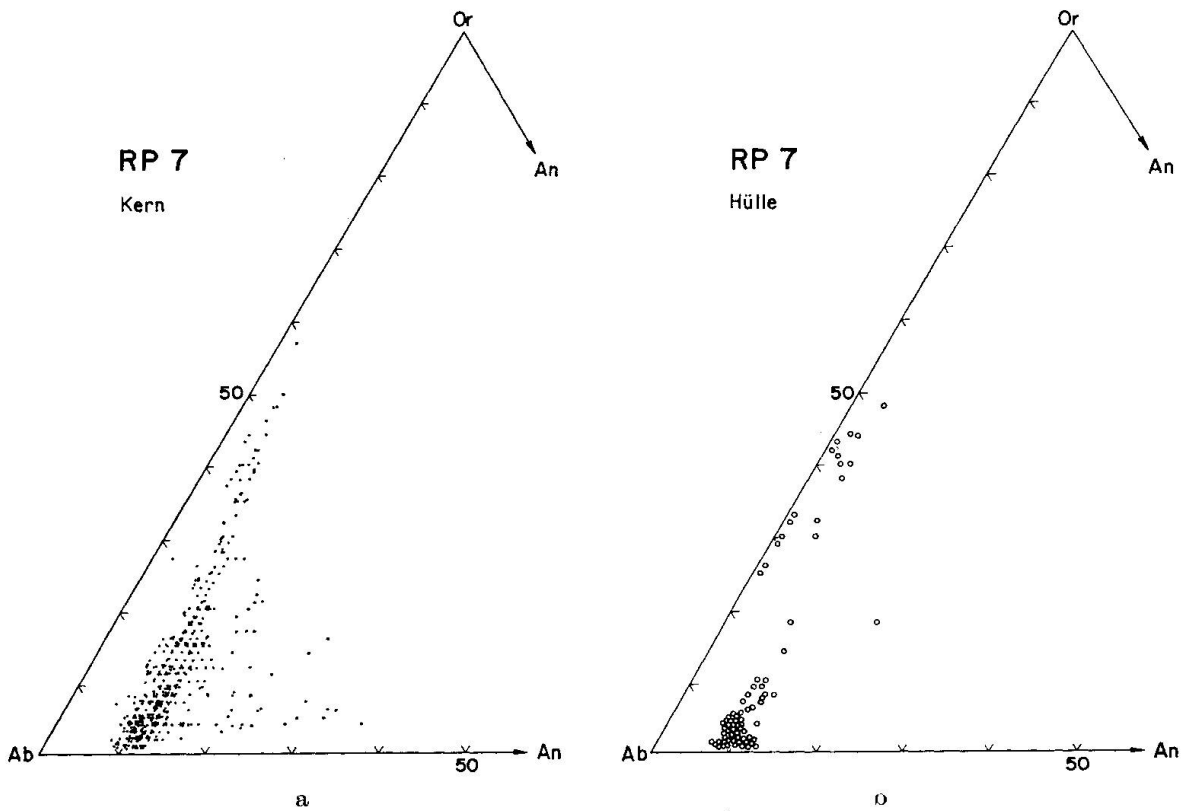
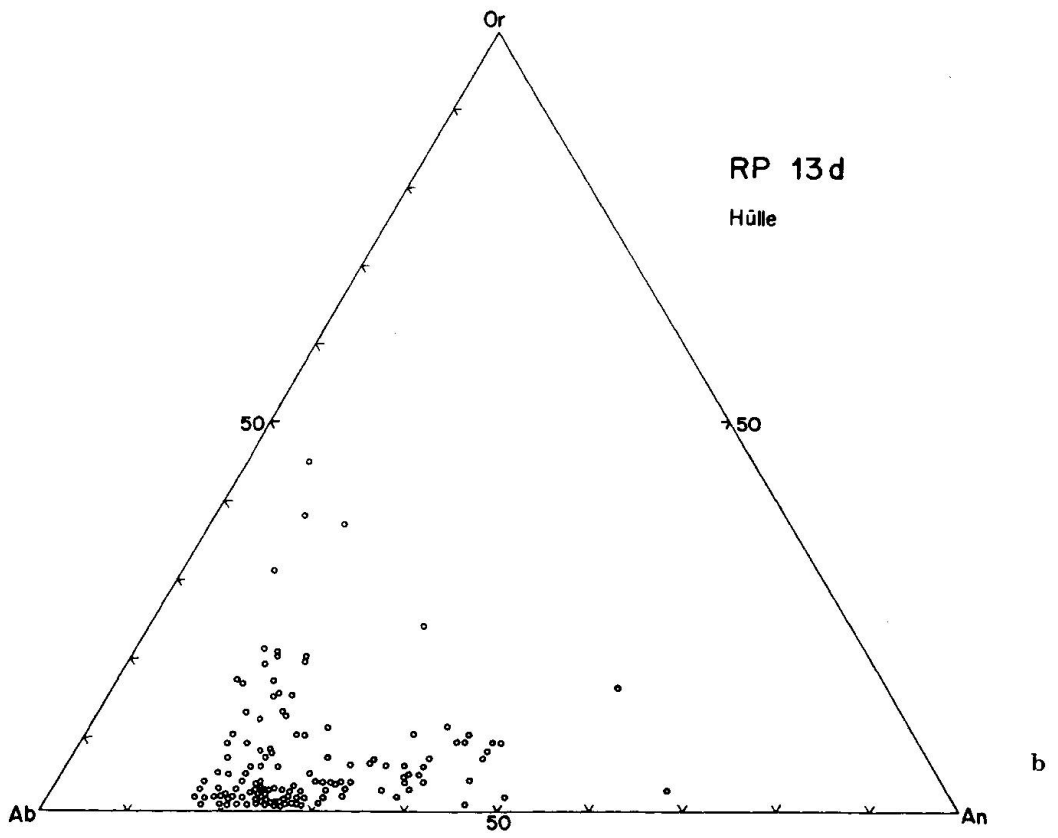
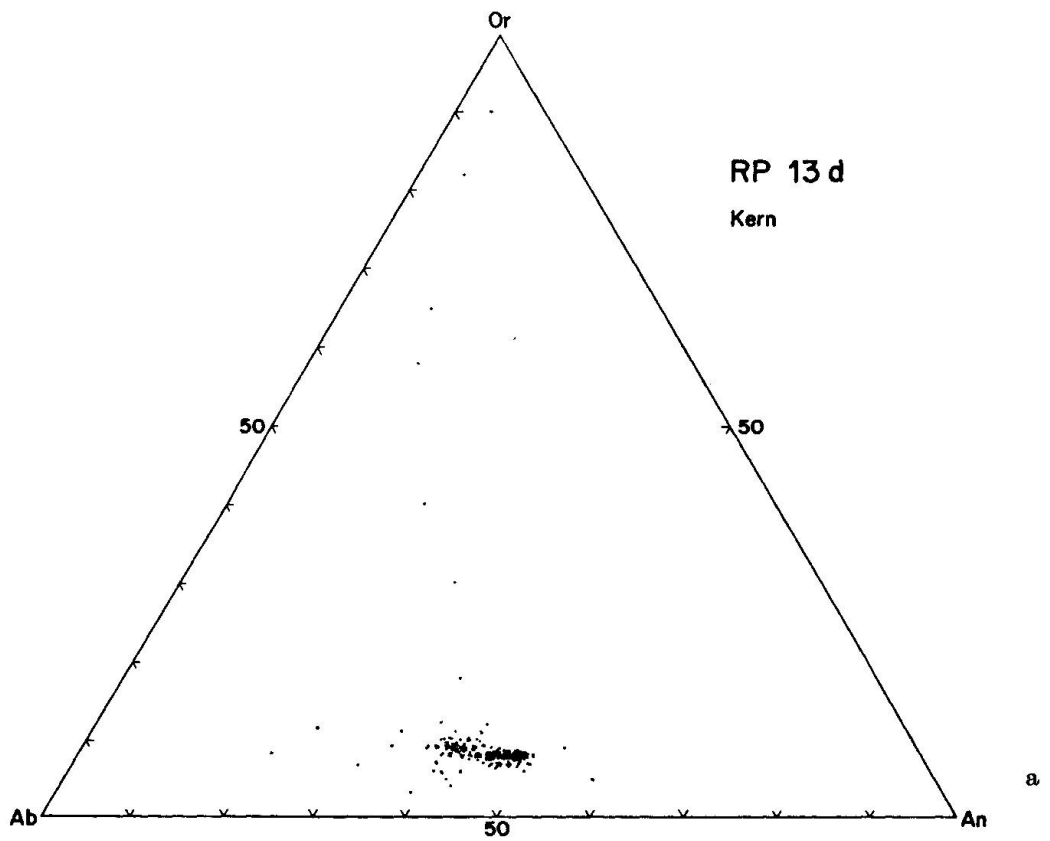


Fig. 11. Streubilder des RP 7.

- a) Die Kerne bestehen vorwiegend aus (Na+Ca)-reichen Alkalifeldspäten.
- b) Die Hüllen bestehen grösstenteils aus einem Plagioklas mit einer auffallend kleinen Variation der Zusammensetzung. Der K-Gehalt des Alkalifeldspats ist nicht grösser als etwa Or₅₀.
- c) In der Grundmasse überwiegen Na-reiche Feldspäte.



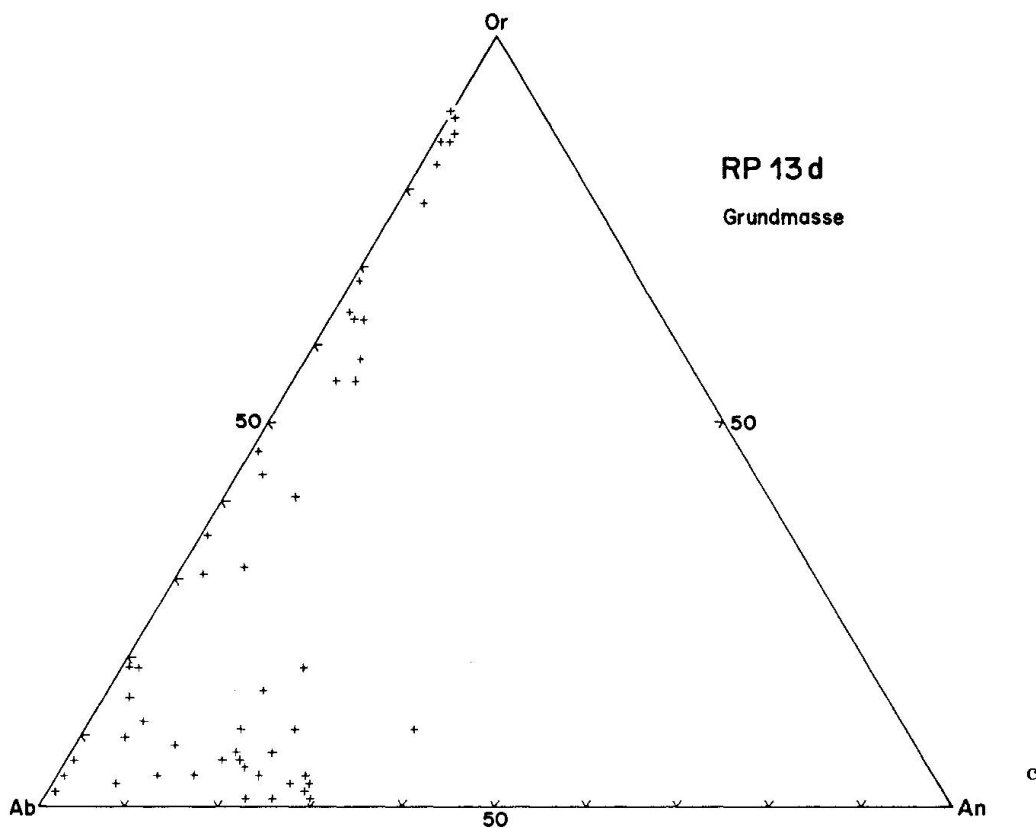


Fig. 12. Streubilder des Rektangelporphyr RP 13 d.

- a) Der Plagioklas in den Kernen ist basischer und zugleich homogener als bei den anderen RP-Typen. Sein K-Gehalt ist ziemlich konstant (etwa Or₈). Die Variation des An-Gehaltes entspricht dem in Dünnschliffen erkennbaren oszillierenden Zonarbau. – Der beträchtliche K-Gehalt der Plagioklasmatrix und das beinahe völlige Fehlen von ausgeschiedenem Alkalifeldspat deuten auf einen strukturell noch ungeordneten bis intermediären Zustand des Feldspats im Kern hin.
- b) Die Feldspäte sind in den Hüllen stärker entmischt als in den Kernen. Der Plagioklaswirt ist saurer und K-ärmer.
- c) Die Na-reichen Feldspäte der Grundmasse enthalten mehr An als die entsprechenden Feldspäte anderer RP-Typen.

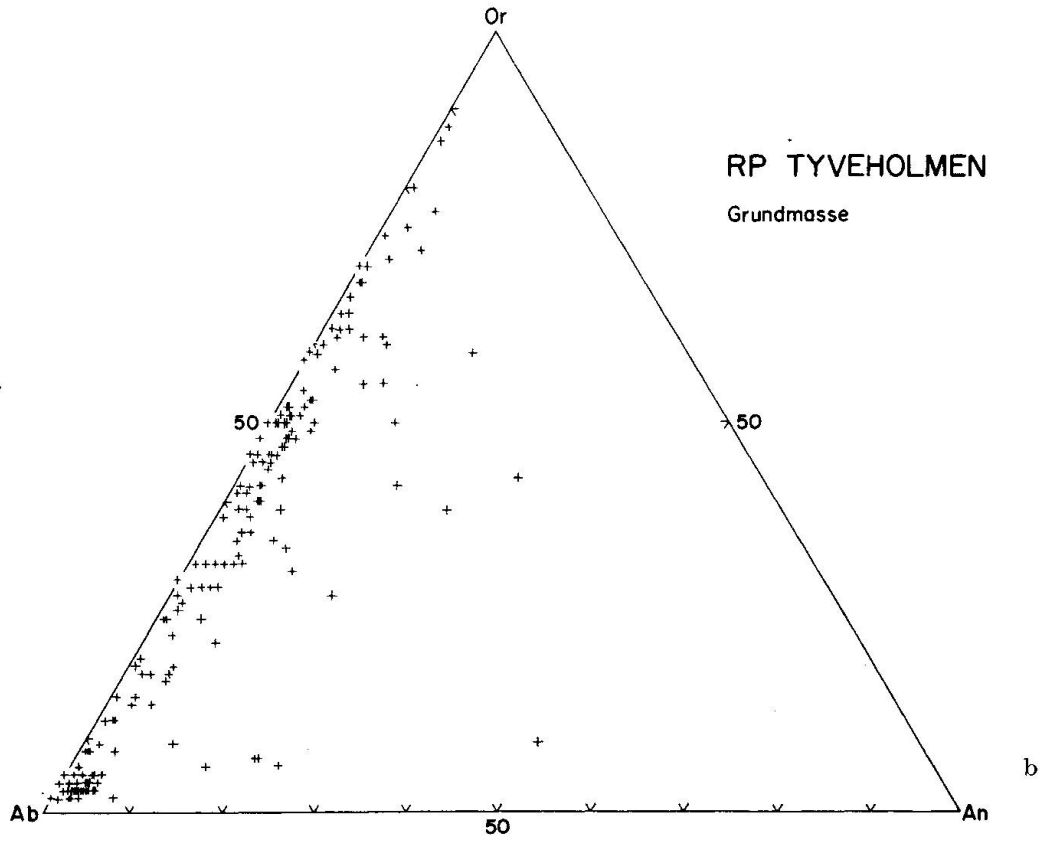
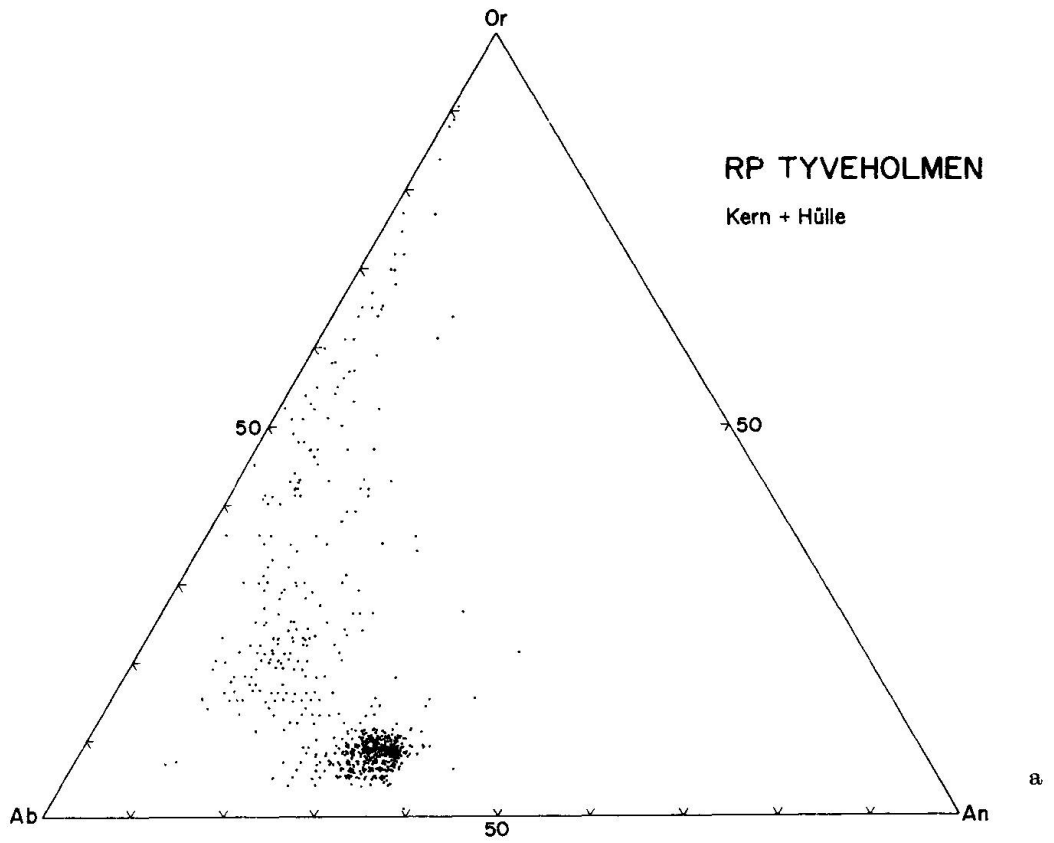
B. Einsprenglingshüllen

Zwischen Kernen und Hüllen bestehen folgende Unterschiede:

1. Plagioklas-Wirt

a) Die chemisch homogen erscheinenden Partien der Hüllen sind weniger mächtig als diejenigen der Kerne. Ihre Zusammensetzung variiert von K-Albit bis etwa K-Oligoklas. Sie enthalten weniger An als die Kerne.

b) Der K-Gehalt der Plagioklasmatrix der Hüllen ist niedriger als in den Kernen (vgl. Fig. 14). Einige wichtige Überlegungen dazu sind unter E. zusammengefasst.



2. Alkalifeldspat-Gast

a) Grundsätzlich zeigt die im allgemeinen kleinere Streuung der Werte in den Streudiagrammen, dass die Entmischungsprodukte der Hüllen einander chemisch ähnlicher sind als diejenigen der Kerne.

b) Wie die Plagioklasbereiche, so sind auch die Alkalifeldspatbereiche kleiner als im Kern. Sie sind nur selten sekundär entmischt.

c) Die Ca-Konzentration im Alkalifeldspat der Hüllen ist geringer als im Alkalifeldspat der Kerne und schwankt von An_0 bis An_5 , gelegentlich auch bis An_{10} .

C. Einsprenglinge gesamthaft

Aufgrund der oben angeführten Beobachtungen erscheinen die Einsprenglinge der Rhombenporphyre einschliesslich der Rektangelporphyre krypto- bis mikroantiperthitisch entmischt*).

D. Grundmasse

a) Die Komponenten der sehr stark entmischten Alkalifeldspäte haben näherungsweise die Zusammensetzung der reinen Endglieder. Die vielen Messwerte im Gebiet der chemisch intermediären Alkalifeldspäte rühren teils von nicht vollständig entmischten Kristallen her; zum Teil resultieren sie aber auch aus der Trägheit der zu Verfügung stehenden Apparaturen, welche dem Wechsel der eng verflochtenen chemisch unterschiedlichen Phasen der Grundmassefeldspäte nicht rasch genug zu folgen vermochten.

b) Die Ca-Konzentration in K-armem Feldspat beträgt bis zu An_{12} , und beim Rektangelporphyr RP 13d sogar bis zu An_{29} . K-reiche Feldspäte dagegen enthalten nicht mehr als An_1 bis An_2 .

c) Der Ba-Gehalt der Feldspäte der Grundmasse ist im Mittel gleich hoch wie in den Einsprenglingen: Etwa Cn_1 in Na-reichen und bis zu Cn_3 in K-reichen Feldspäten.

*) Über die hier benutzten Perthitbegriffe soll gesondert (voraussichtlich im J. Geol.) berichtet werden.

Fig. 13. Streubilder des RP-Ganges von Tyveholmen.

a) Die Streubilder dieses RP-Typs sind beinahe identisch mit den Streubildern des RP 1 (Fig. 8). Der K-Gehalt der Plagioklasmatrix in den Kernen ist mit Or_4 bis Or_{11} etwas höher als beim RP 1. Sekundäre Entmischung hat kaum begonnen. Die Hüllen, deren Dicke meist unter 0,3 mm liegt, unterscheiden sich chemisch kaum von den Kernen (sie sind etwas K-reicher); deswegen wurden beide Streubilder zusammengefasst. – Man vergleiche die Einkristallaufnahmen in Fig. 21.

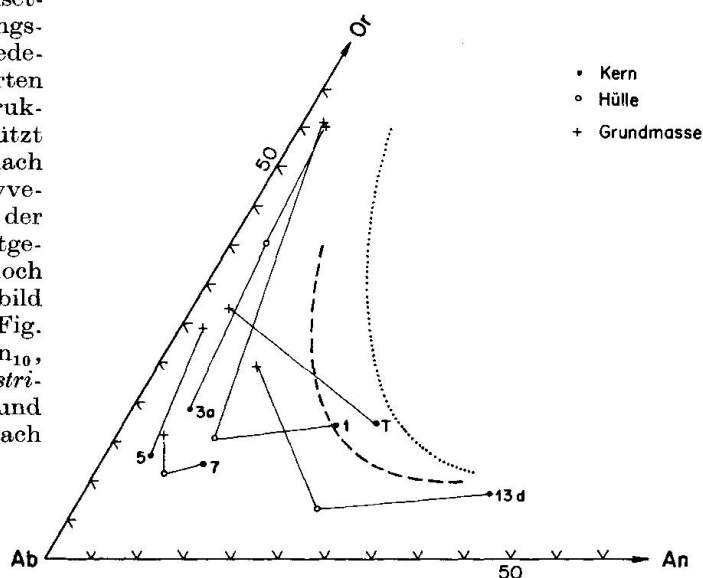
b) Die Grundmasse ist chemisch der Grundmasse des RP 1 ähnlich, ist jedoch Ab-reicher.

E. Mittlere chemische Zusammensetzung der Feldspäte in Kern, Hülle und Grundmasse verschiedener RP-Typen

Aus den Werten, welche zur Konstruktion der Streubilder (Fig. 8 bis 13) benützt wurden, wurde die mittlere chemische Zusammensetzung der Feldspäte in Kernen, Hüllen und Grundmasse der untersuchten RP-Typen berechnet. Die Resultate (Fig. 14) entsprechen der *Zusammensetzung* der betreffenden Feldspäte *vor Beginn der Entmischung*. Dazu ist zu bemerken:

a) Die in der magmatischen Schmelze zuerst, das heisst bei der höchsten Temperatur, gebildeten Kristalle, welche die Kerne der späteren Einsprenglinge bildeten, waren (Na + Ca)-reich. Dass diese Kristalle bei praktisch konstanter Zusammensetzung teilweise Grössen von mehreren Zentimetern erreichten, lässt darauf schliessen, dass während dieser ersten Wachstumsphase die Temperatur über längere Zeit hinweg unverändert blieb.

Fig. 14. Mittlere chemische Zusammensetzung der Feldspäte der Einsprenglingskerne, -Hüllen und Grundmasse verschiedener RP-Ströme. Berechnet aus den Werten der Mikrosondeprofile, welche zur Konstruktion der Streubilder (Fig. 8 bis 13) benützt wurden. Zahlen = RP-Schichtenfolge nach BRÖGGER (1933). T = RP-Gang von Tyveholmen. - *Punktiert*: Ungefähre Lage der Grenzlinie zwischen Ein- und Zweifeldspatgebiet für natürliche ternäre Feldspäte (hoch bis intermediär), angepasst an das Streubild der Einsprenglinge von Tyveholmen (Fig. 13a). Die Linie geht etwa durch $Or_{55}Ab_{35}An_{10}$, $Or_{30}Ab_{50}An_{20}$ und $Or_{15}Ab_{52}An_{33}$. - *Gestrichelt*: Gleiche Grenzlinie für natürliche und synthetische ternäre Feldspäte (hoch) nach SMITH und MACKENZIE (1958).



b) In Fig. 14 erkennt man als gemeinsame Charakteristik aller Einsprenglingshüllen, dass sie gesamthaft weniger Ca enthalten als die Kerne. Entsprechend dem Verlaufe der Liquidus-Solidus-Kurven sollten sie demzufolge bei niedrigeren Temperaturen als die Kerne gebildet worden sein.

c) Die Feldspäte der Hüllen der RP 1, 7 und 13d haben ausser einem geringeren An- auch einen geringeren Or-Gehalt als die Feldspäte der entsprechenden Kerne. Dagegen wurde oben bereits gesagt, dass sich die Feldspäte in Kernen und Hüllen in einem strukturell ähnlichen, vorwiegend ungeordneten bis intermediären Zustand befinden dürften. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Syntheseveruche von EBERHARD (1967) bei 500 bis 800° C und 1000 bar p_{H_2O} , welche zeigten, dass K-freie Plagioklase An_0 bis An_{50} zur Zeit der Bildung, unabhängig von der Temperatur, in einem maximal ungeordneten

Zustand vorliegen. – Unter der Annahme, dass die RP-Einsprenglinge ebenfalls unter Wasserdruck entstanden sind, und dass deshalb EBERHARDS Resultate auf sie übertragen werden dürfen, sowie unter Berücksichtigung von b), folgt daraus: Die Fähigkeit von Plagioklas An_0 bis An_{50} , während der Kristallisation K in die Matrix aufzunehmen, ist, wenigstens unter den geschilderten Bildungsbedingungen, nicht abhängig vom strukturellen Zustand, welcher nach EBERHARD ohnehin maximal ungeordnet sein sollte, sondern allein eine Funktion der Bildungstemperatur: Je höher diese ist, desto mehr K kann in die Plagioklasmatrix aufgenommen werden. – Das bedeutet wieder, dass die Hüllen bei niedrigeren Temperaturen kristallisierten als die Kerne.

d) Die Feldspäte der Grundmasse sind infolge der vorausgegangenen Bildung (Na + Ca)-reicher Einsprenglinge relativ stark an Kalium angereichert.

e) Die bisher angenommene Lage der Grenzlinie zwischen Ein- und Zweifeldspatgebiet für ternäre Feldspäte (hoch) von SMITH und MACKENZIE (1958) dürfte qualitativ stimmen, entspricht aber nicht allen Werten des Streubildes Fig. 13a, das bei den Einsprenglingen des Tyveholmen-RP gefunden wurde. Deswegen wurde, angepasst an diese Werte, versuchsweise eine *neue Grenzlinie* (Fig. 14) für natürliche ternäre Feldspäte (hoch bis intermediär) gezeichnet.

8. PULVERAUFNAHMEN

8.1. Technische Angaben

Von 1 mm dicken Gesteinsplättchen, deren Herstellung in Kap. 4 beschrieben worden ist, wurden Proben aus Einsprenglingkernen, -hüllen und aus der Grundmasse entnommen. Die Probenmenge betrug bei einem Volumen von ca. $(3 \times 1 \times 1) \text{ mm}^3$ etwa 10 mg. Als Standard wurde 1 mg Silizium ($a_0 = 5,4304 \text{ \AA}$) beigemischt.

Die Aufnahmen wurden mit einer hochauflösenden AEG-Guinierkamera, modifiziert nach Hofmann und Jagodzinski, von 360 mm Radius gemacht. Die Kamera wurde auf 5 Torr evakuiert. Für die meisten Aufnahmen wurde $\text{FeK}\alpha_1$ -

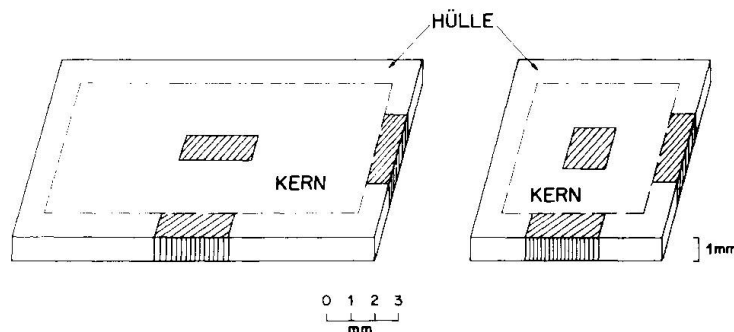


Fig. 15. Entnahme von Proben aus RP-Einsprenglingen für Pulveraufnahmen: Zwei schematische Beispiele für Wahl der Entnahmestelle, Form und Grösse der Proben.

Strahlung verwendet, weil dadurch die Trennung nahe benachbarter Reflexe im Vergleich zu Aufnahmen mit $\text{CuK}\alpha_1$ -Strahlung beträchtlich verbessert wird. Die Bestrahlungszeit pro Aufnahme betrug 20 Stunden.

3.2. Auswertung der Pulverdiagramme

Auf vielen Filmen waren Reflexe von zwei, auf manchen sogar von drei Feldspatphasen sichtbar. Von den *Plagioklasphasen* wurde 2θ von $20\bar{1}$, $1\bar{3}1$ und 131 (daraus berechnet $\Delta\theta_1$) sowie von $2\bar{4}1$ und $\bar{2}41$ (daraus berechnet $\Delta\theta_2$) gemessen. Von den *Kalifeldspatphasen* wurde 2θ von $20\bar{1}$, 060 und $20\bar{4}$ gemessen; diese Daten wurden teilweise mittels der „three peak method“ von WRIGHT (1968) korreliert. Ausserdem wurde 2θ von 131 und $1\bar{3}1$ gemessen, und es wurde daraus der Δ -Wert nach GOLDSMITH und LAVES (1954) berechnet. – Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Phasen wurde anhand der Streubilder (Fig. 8 bis 13) abgeschätzt. Es wurde dabei von der Annahme ausgegangen, dass die schwärzesten Stellen der Reflexe der häufigsten Zusammensetzung, das heisst Stellen grösster Konzentration von Messwerten im Streubild, entsprechen. Alle diese Daten sind in Tab. 3 vereinigt.

Über die Charakteristik von Feldspatpulverdiagrammen sind viele Einzelheiten und Literaturangaben von BAMBAUER (1966) zusammengestellt worden. Einige eigene, typische Beobachtungen in den Pulverdiagrammen der RP-Feldspäte waren:

1. Die Reflexe von Plagioklas (hoch), der vor allem in Einsprenglingskernen vorkommt, sind, auch mit K-Gehalten im Plagioklas bis zu Or_8 , sehr scharf und sind zweifelsfrei indizierbar.

2. Häufig erscheinen aber die Plagioklasreflexe diffus verbreitert, und gleichzeitig weisen sie wegen dieser Verbreiterung eine geringere Schwärzung auf; schwache Linien können sogar ganz im Untergrund verschwinden. Es handelt sich hierbei um Plagioklase (intermediär bis tief) mit partiell abnehmender struktureller Unordnung, welche meistens auch infolge begonnener Entmischung eine von Ort zu Ort etwas verschiedene chemische Zusammensetzung besitzen. Diese Veränderungen verursachen bekanntlich nicht nur die erwähnte Linienverbreiterung, sondern auch eine teilweise beachtliche Änderung der Linienlagen.

3. Bei beginnender K-Feldspatausscheidung wird zuerst der $20\bar{1}$ -Reflex sichtbar. Erst mit zunehmender Menge von ausgeschiedenem Kalifeldspat erscheint auch der zugehörige 131 -Reflex.

4. Der Reflex 131 von K-reichem, monoklinem Feldspat bleibt auch dann noch praktisch ausnahmslos schwach sichtbar, wenn der grössere Teil des Kalifeldspats triklone Symmetrie angenommen hat unter Aufspaltung von 131 in 131 und $1\bar{3}1$. In solchen Fällen ist häufig der Reflex $20\bar{1}$ nicht aufgespalten, sondern nur verbreitert.

Diese Beobachtungen lassen erkennen, dass bei entmischten ternären Feldspäten die Indizierung der Reflexe der zwei oder sogar drei in Pulverdiagrammen erkennbaren Phasen sehr schwierig sein kann, und dass sie in vielen Fällen nur für wenige starke Reflexe mit Sicherheit möglich ist.

Aus drei Gründen wurde kein Versuch gemacht, die Proben durch Tempern zu homogenisieren:

a) Die Zusammensetzung nicht nur des Gesamtfeldspats, sondern auch der verschiedenen Phasen in Kernen, Hüllen und Grundmasse war bekannt (vgl. Kap. 7).

b) Für ternäre Feldspäte lagen keine übereinstimmenden Bestimmungsdiagramme vor.

c) Es ist fraglich, ob bei allen Proben durch Tempern die erstrebte Homogenität erreicht worden wäre. PARSONS (1968) kommt in einem Vergleich der Resultate mehrerer Arbeiten zum Schluss, dass (Anti-)Perthite verschiedener Herkunft recht unterschiedlich auf eine Wärmebehandlung reagieren. Neben solchen, die in wenigen Minuten homogenisierbar sind, gibt es offensichtlich einige, welche auch durch mehrmonatiges Tempern nahe dem Schmelzpunkt nicht vollständig homogenisiert wurden: Zwar zeigte das Pulverdiagramm nur noch einen einzigen $20\bar{1}$ -Reflex (das üblicherweise verwendete Kriterium für Homogenität), doch wich die damit bestimmte Zusammensetzung von der durch chemische Analyse bestimmten noch immer um einige Gew.-% ab. Dies ist nach PARSONS eine Folge der komplexen Bedingungen, welche die Homogenisierung eines (Anti-)Perthites beeinflussen, so zum Beispiel Grösse und Form der Verwachsungen, Ca-Gehalt, Verzwilligung und Al/Si-Verteilung, wie bereits von LAVES (1952) unter Verwendung der Buerger-„precession method“ experimentell gezeigt wurde.

8.3. Resultate

Die Fig. 16 bis 19 zeigen Beziehungen zwischen den in Tab. 3 zusammengestellten Daten. Auffällig ist, dass bedeutend mehr Daten von Na-Ca- als von K-Feldspäten vorliegen, und zwar nicht nur aus Einsprenglingen, sondern auch aus der Grundmasse. Dies erklärt sich aus der Tatsache, dass die Einsprenglinge nur in geringem Masse entmischt sind, und dass auch in der Grundmasse der Anteil der Na- gegenüber den K-Feldspäten überwiegt (vgl. Streubilder Fig. 8 bis 13).

A. Figur 16

1. Die $\Delta\theta_1$ -Werte der Plagioklase in Kern und Hülle der Einsprenglinge unterscheiden sich, bei gleicher An-Konzentration, trotz sehr verschiedenen Or-Gehalten kaum voneinander. Ausserdem wurde in Kap. 7 gezeigt, dass Kerne und Hüllen strukturell etwa gleich ungeordnet sind. Dies könnte bedeu-

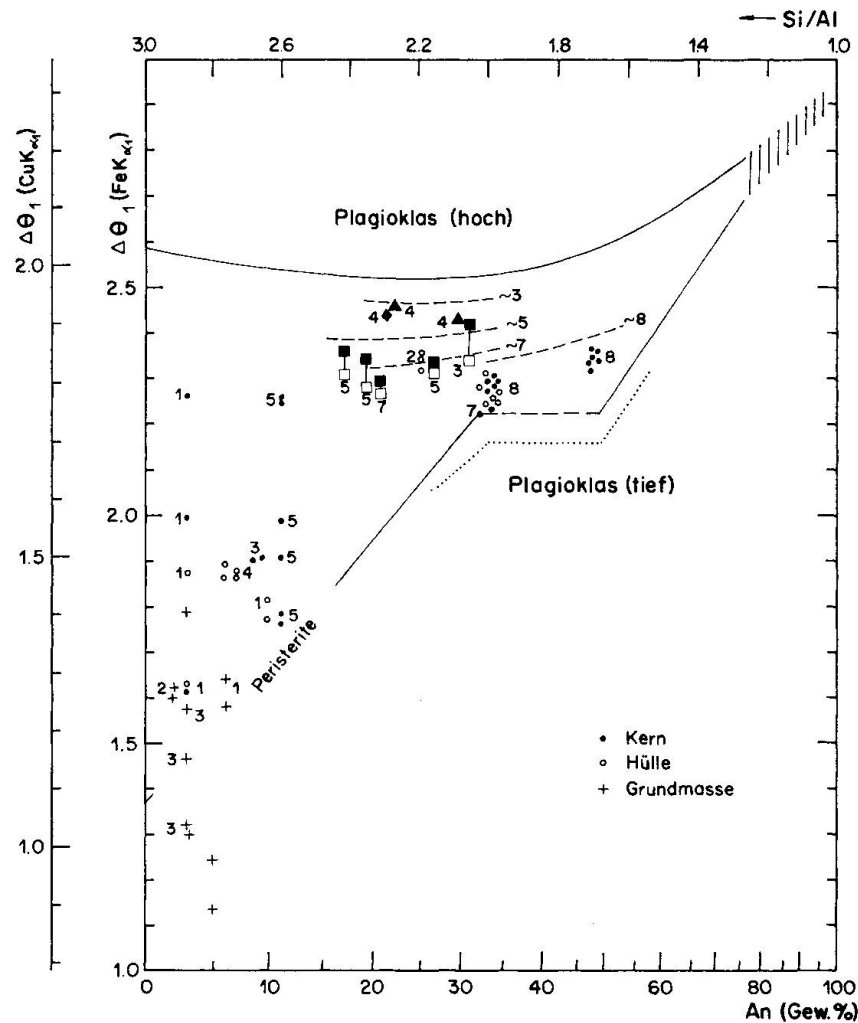


Fig. 16. Pulverdiagramm: Beziehungen zwischen $\Delta\theta_1 = 2\theta_{131} - 2\theta_{\bar{1}31}$ und An-Konzentration bzw. Si/Al-Verhältnis K-haltiger natürlicher Plagioklasse. *Punkte, Kreise und Kreuze* bezeichnen die Rhombenporphyre. Die Zahlen geben den Or-Gehalt. Alle Daten sind in Tab. 3 zusammengestellt. – Zum Vergleich sind einige Literaturdaten eingezeichnet. *Offene Quadrate*: 5 Plagioklasse aus vulkanischen Einsprenglingen, nach CARMICHAEL und MACKENZIE (1964). *Schwarze Quadrate*: Dieselben Proben, 28 Tage bei 1100°C trocken erhitzt. *Schwarzer Rhombus*: Plagioklas aus Pegmatit, nach SMITH (1958), 28 Tage bei 1120°C trocken erhitzt (Probe 80'165). *Schwarze Dreiecke*: Plagioklasse aus Pegmatiten, nach SMITH (1956), 42 Tage bei 1090°C trocken erhitzt (Proben 103'086 und 97'490). Alle Autoren nehmen an, dass nach dem Erhitzen Zustände höchstmöglicher Unordnung erreicht worden waren. – *Ausgezogen* Grenzkurven für Plagioklas (hoch), sowie für Plagioklas (tief) mit $\text{Or} < 0,5$ bis $0,8$. *Punktiert* eine Grenzkurve für Plagioklas (tief) mit $\text{Or} \sim 4$. Alle drei Kurven nach BAMBAUER et al. (1967, Fig. 5). – Versuchsweise wurden nach den eigenen sowie nach den oben erwähnten Literaturdaten *gestrichelt* vier Grenzkurven für natürliche Plagioklasse (hoch) mit $\text{Or} \sim 3$, $\text{Or} \sim 5$, $\text{Or} \sim 7$ und $\text{Or} \sim 8$ eingezeichnet.

ten, dass bei Plagioklasen An_0 bis etwa An_{30} die Grösse der Liniendifferenzen $131\text{--}\bar{1}31$ abhängig ist a) in erster Linie vom Grade der strukturellen Unordnung des Plagioklases und b) erst in zweiter Linie vom K-Gehalt der Plagioklasmatrix, welcher seinerseits von a) abhängt (Kap. 7).

2. Plagioklasse in Kernen und Hüllen sind, bei jeweils gleicher An-Konzentration, durchwegs strukturell ungeordneter als Plagioklasse der Grundmasse.

Die letzteren erscheinen aufgrund ihrer sehr niedrigen $\Delta\theta_1$ -Werte als ziemlich geordnet. Einige „anomal“ tiefe $\Delta\theta_1$ -Werte könnten allerdings durch Wechselbeziehungen zwischen den Komponenten des in kleinen Domänen entmischten Feldspats der Grundmasse entstanden sein.

3. Erstaunlicherweise enthalten die basischeren Plagioklase mehr Kalium als die sauren Plagioklase. Dies könnte verursacht sein a) durch lange Verweilzeiten der Einsprenglinge in Milieus mit hoher Temperatur, mit anschliessender rascher Abkühlung, sowie b) durch ein Minimum im Ordnungsvermögen bei ca. An_{30} , welches von EBERHARD (1967) beobachtet wurde, und wodurch auch die Entmischung verzögert würde.

4. Im ganzen Bereich der Peristeritlücke treten kontinuierlich Werte auf, welche nicht auf eine Peristeritentmischung hindeuten. Es ist vor weiteren Experimenten unmöglich, zu entscheiden, ob die Temperatur dazu zu hoch war, oder ob die Al/Si-Verteilung (instabil) so ungeordnet war, dass keine Entmischung eintrat.

5. Vergleichshalber sind die Werte von fünf aus vulkanischen Einsprenglingen stammenden Plagioklasen nach CARMICHAEL und MACKENZIE (1964) eingezeichnet, und zwar sowohl vor wie nach dem Tempern (28 Tage trocken bei 1100°C). Die Plagioklase mit dem höchsten K-Gehalt zeigen die kleinste Änderung von $\Delta\theta_1$; keine der getemperten Proben erreicht die (hoch)-Kurve für synthetische Plagioklase. CARMICHAEL und MACKENZIE folgern daraus, dass diese (hoch)-Kurve nur von Plagioklasen mit niedrigem K-Gehalt erreicht werden kann. – Gestützt auf diese Beobachtungen und auf eigene Resultate wurden versuchsweise vier Grenzkurven für Plagioklase (hoch) zwischen An_{30} und An_{50} mit $Or_{\sim 3}$, $Or_{\sim 5}$, $Or_{\sim 7}$ und $Or_{\sim 8}$ gezeichnet, unter der Annahme, a) dass die Proben von CARMICHAEL und MACKENZIE durch das Tempern Zustände nahezu völliger Unordnung erreicht hatten, und b) dass die RP-Plagioklase im Bereich von An_{30} bis An_{50} strukturell ungeordnet bis intermediär sind (Kap. 7).

B. Figur 17

1. Auch in dieser Darstellung unterscheiden sich bei gleichem An-Gehalt die Werte von Kernen und Hüllen kaum untereinander.

2. Im ganzen Bereich der Peristeritlücke treten Werte auf, welche nicht auf eine Peristeritentmischung hindeuten.

3. Versuchsweise wurde, angepasst an die An-Konzentration der Einsprenglingskerne, eine An-Kalibrierung für intermediäre Plagioklase eingezeichnet. Der Vergleich mit der nach BAMBAUER et al. (1967) wiedergegebenen An-Kalibrierung für Plagioklase (tief) mit $Or_{<0.5-0.8}$ bestätigt die von verschiedenen Autoren gemachte Feststellung, dass der Übergang von Plagioklas (hoch) zu Plagioklas (tief) bei gegebenem An-Gehalt durch eine Abnahme der $131/131$ - und eine Zunahme der $241/241$ -Differenzen gekennzeichnet ist.

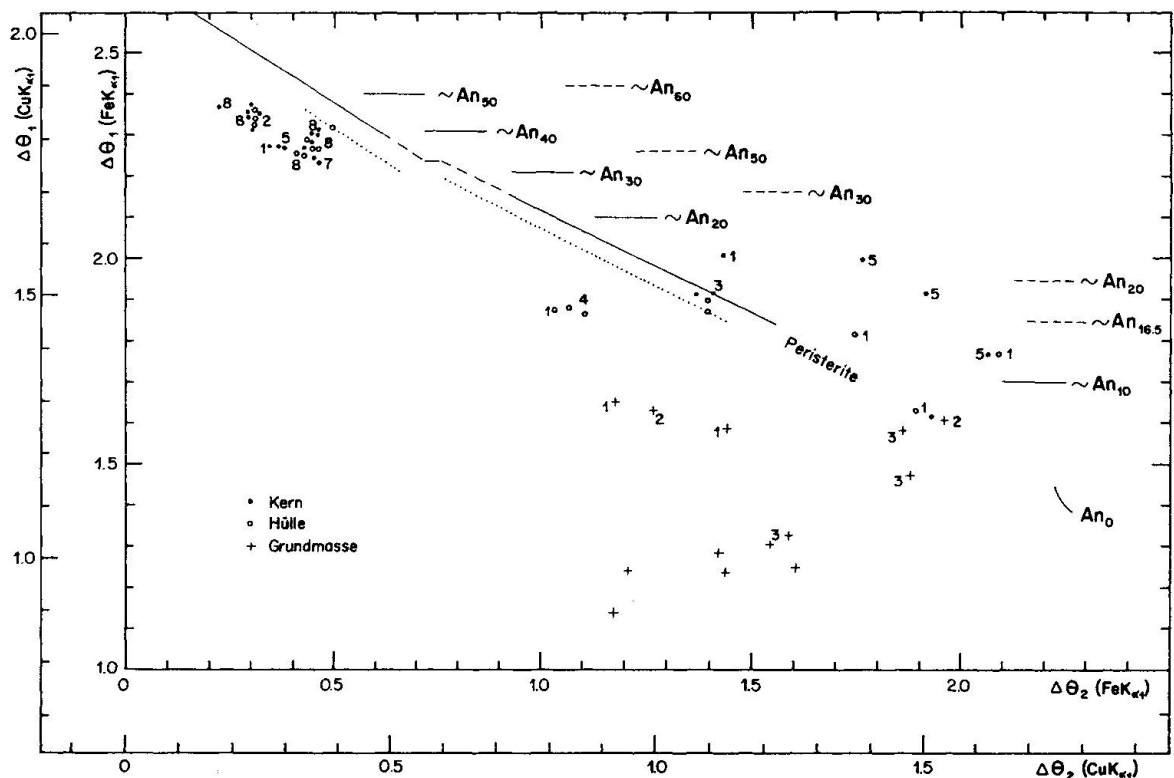


Fig. 17. Pulverdiagramm: Beziehungen zwischen $\Delta\theta_1 = 2\theta_{131}^- - 2\theta_{131}^+$ und $\Delta\theta_2 = 2\theta_{241}^- - 2\theta_{241}^+$ für Or-haltige natürliche Plagiokläse. Punkte, Kreise und Kreuze bezeichnen die Rhombenporphyre. Die Zahlen geben den Or-Gehalt. Alle Daten sind in Tab. 3 zusammengestellt. – Vergleichsweise sind *ausgezogen* die Kurve für Plagiokläse (ordered) mit $Or < 0,5$ bis $0,8$ und *punktiert* die Grenzkurve für gleiche Plagiokläse mit $Or \sim 4$ nach BAMBAUER et al. (1967, Fig. 7) wiedergegeben. – *An-Kalibrierungen*: *Ausgezogen* eine An-Kalibrierung nach eigenen Daten, welche den Einsprenglingskernen angepasst ist (die An-Gehalte sind in Tab. 3 aufgeführt); sie gilt demgemäss etwa für intermediäre Plagiokläse. Vergleichsweise ist *gestrichelt* die An-Kalibrierung für Plagiokläse (ordered) mit $Or < 0,5$ bis $0,8$ nach BAMBAUER et al. (1967, Fig. 7) eingezeichnet.

4. Die Werte der Grundmassenplagiokläse weichen auffallend stark von der (tief)-Kurve ab. Hoher K-Gehalt scheidet als Ursache aus. Eine mögliche Erklärung dieser Erscheinung deutet EBERHARD (1967, Fig. 4) an: Synthetische Plagiokläse An_0 bis An_{70} wurden bei $600^\circ C$ teils 100 Stunden, teils 3200 Stunden getempert. Die durch dieses längere Tempern zustande gekommene Änderung des strukturellen Zustandes von (hoch, instabil) zu (intermediär, stabil) $_{600^\circ C}$ äusserte sich im Bereich An_{70} bis An_{40} beinahe ausschliesslich in einer $\Delta\theta_2$ -Zunahme; im Bereich An_{30} bis An_0 kam dazu eine $\Delta\theta_1$ -Abnahme. Generell lagen *unstable* Werte weiter von der (tief)-Kurve entfernt als stabile. Vergleiche mit den Beobachtungen am Kalifeldspat (Fig. 18).

C. Figur 18

1. Alle $2\theta_{201}^-$ -Werte liegen entweder im K- oder aber im weiteren Na-Ca-Feldspatgebiet.
2. Die $2\theta_{201}^-$ der Grundmassfeldspäte entsprechen auf der Na-Seite einem

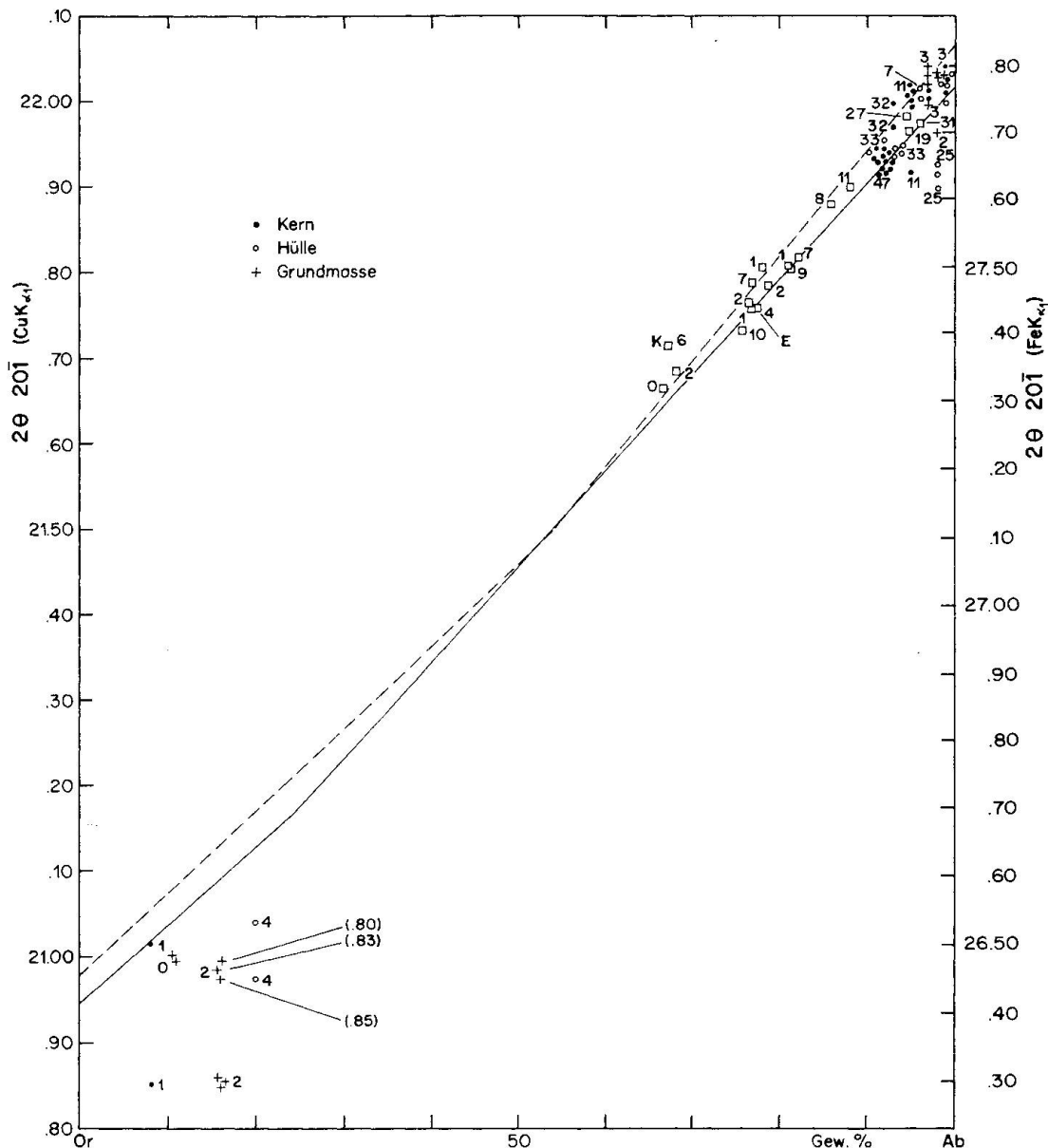


Fig. 18. Pulverdiagramm: Beziehungen zwischen $2\theta_{201}$ und Or-Gehalt natürlicher ternärer Feldspäte. Punkte, Kreise und Kreuze bezeichnen die Rhombenporphyre. Die Zahlen geben die An-Konzentration. In Klammern Δ -Werte für drei Kalifeldspäte der Grundmasse. Alle Daten sind in Tab. 3 zusammengestellt. – Zum Vergleich sind einige Literaturdaten eingetragen. Offene Quadrate: 3 Plagioklase aus vulkanischen Einsprenglingen (Proben 1, 2 und 4) und 15 Anorthoklase, nach CARMICHAEL und MACKENZIE (1964); K bezeichnet eine Probe vom Kilimanjaro, E eine Probe vom Mt. Erebus. Entmischte Anorthoklase waren von C. und M. durch 24stündiges Tempern bei 900°C homogenisiert worden. – Ausgezogen die Kurve für synthetische ungeordnete Alkalifeldspäte nach ORVILLE (1963), gestrichelt diejenige für „natürliche“ geordnete Alkalifeldspäte nach ORVILLE (1967). Beide Kurven gelten für Ca-freie Alkalifeldspäte; sie wurden auf Gew. % umgerechnet.

weitgehend geordneten Na-Feldspat. Auf der K-Seite dagegen wurden sehr niedrige 2θ festgestellt, welche noch jenseits der Grenzkurve von monoklinem Kalifeldspat liegen. Dass die Symmetrie dieser Phasen aber nicht monoklin ist,

beweisen die gemessenen grossen Δ -Werte. Es ist daher wahrscheinlich, dass sich die volumenmässig etwa gleichen, in kleinen Domänen entmischten Na- und K-Feldspäte gegenseitig so stark beeinflussen, dass daraus die gemessenen „anormalen“ 2θ resultieren.

3. Eigene Auswertungen der Pulverdiagramme der basischeren Rhombenporphyre ergaben $2\theta_{20\bar{1}}$ -Werte, welche eigentlich für Albite zutreffen würden. Dies bestätigt die Ansicht von HÄKLI (1960) und CARMICHAEL und MACKENZIE (1964), dass An-Gehalte in Na-reichen Feldspäten die Lage von $20\bar{1}$ nicht merklich beeinflussen; anders gesagt bedeutet das, dass die Lage von $20\bar{1}$ keinen Schluss auf die Zusammensetzung gestattet, falls es sich um Plagioklase An_0 bis An_{50} handelt (SMITH 1956).

D. Figur 19

1. Trotz weniger Daten erkennt man die Tendenz des Kalifeldspats, um so ungeordneter zu sein, je mehr Ca er enthält.

2. Die kleinen Δ -Werte (0,39 und 0,42) der Kalifeldspäte in Kern und Hülle der Einsprenglinge könnten in Zusammenhang stehen mit einem nicht entmischten Na-Gehalt oder mit einer gegenseitigen Beeinflussung K- und Na-reicher Domänen, wie sie von LAVES (1952) nachgewiesen wurde. Zusätzlich könnte als Ursache angeführt werden, dass die Al-Si-Verteilung eine „unstable“ sein könnte im Sinne von LAVES (1960).

9. EINKRISTALLAUFNAHMEN

9.1. Methode und Auswertung

Einkristalle von 0,05 bis 0,4 mm Kantenlänge wurden aus orientierten Dünnschliffen, deren Herstellung in Kap. 4 beschrieben worden ist, herausgeschnitten. Sie stammten alle aus Kern oder Hülle von Einsprenglingen.

Mit der Buerger-Precession-Kamera (Cu-Strahlung) wurde von jedem Kristall eine P_a - und eine P_c -Aufnahme gemacht, wobei die a- bzw. die c-Achse Präzessionsachse war. Die so erhaltenen Aufnahmen ermöglichten, α^* und γ^* schnell zu messen und ebenso schnell festzustellen, ob Albit- oder/und Periklinverzwillingung vorlag. γ^* der verzwillingten Plagioklasphasen wurde stets kleiner als 90° angenommen, weil sich diese Plagioklase nach Mikrosonde- und Röntgenpulverdaten als strukturell eher ungeordnet erwiesen hatten. Die Richtigkeit dieser Winkelwahl wurde gemäss LAVES und CHAISSON (1950, p. 590–591) anhand von Intensitätsunterschieden zwischen Reflexen (hkl) und ($h\bar{k}l$) überprüft. – Alle Daten sind in Tab. 4 zusammengestellt. Fig. 20 zeigt Beziehungen zwischen α^* und γ^* .

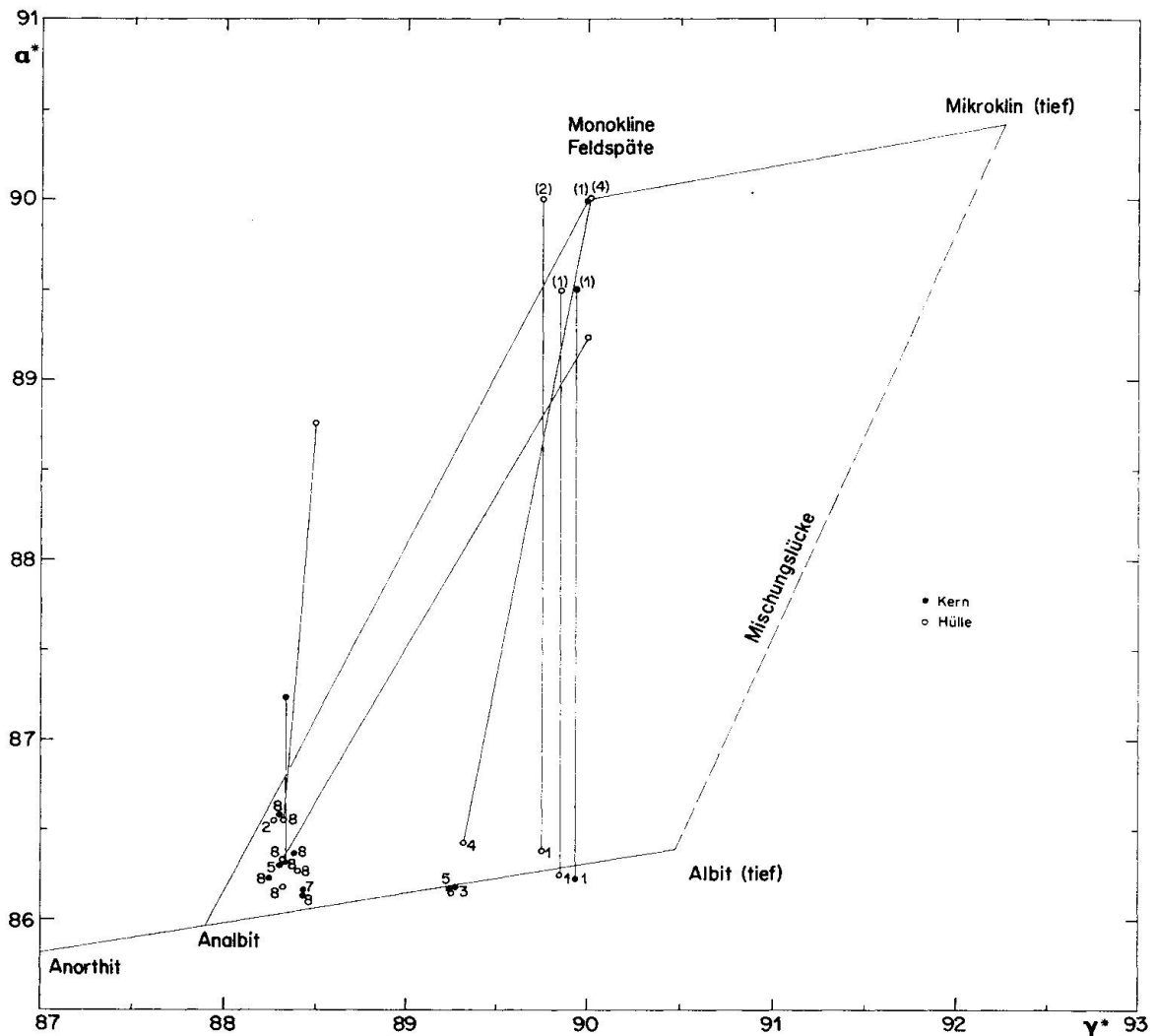


Fig. 20. Einkristallaufnahmen: Beziehungen zwischen α^* und γ^* . Punkte und Kreise bezeichnen die Rhombenporphyre. Die Zahlen in Klammern geben den nicht entmischten An-Gehalt, die übrigen Zahlen den nicht entmischten Or-Gehalt. Entmischungsprodukte (Wirt und Gast), welche im selben Kristall beobachtet wurden, sind durch *Striche* miteinander verbunden. Alle Daten sind in Tab. 4 zusammengestellt. – Ecken des Parallelogramms nach MACKENZIE und SMITH (1962). Anorthit-Ende und Benennung der Parallelogrammecken nach BAMBAUER (1966), welcher teilweise die von BROWN (1960) gegebenen Daten benützte.

9.2. Resultate

1. Strukturell intermediäre Plagioklase sind etwas häufiger und weitaus stärker entmischt als Plagioklase (hoch), und Plagioklase der Hüllen sind ungefähr doppelt so häufig entmischt wie Plagioklase in den Kernen (Fig. 20).

2. Ein Vergleich der Intensitäten gleichwertiger Reflexe von Wirt und Gast in den Einsprenglingen (Tab. 4) ergibt, ähnlich wie die Mikrosondenuntersuchung (Fig. 8 bis 13), dass der Wirt gewöhnlich über 90% des Gesamtvolumens ausmacht.

3. Je höher der Or-Gehalt des Plagioklaswirtes ist, desto näher der Analbit-

Ecke liegen die α^*/γ^* -Werte, das heisst die Al/Si-Verteilung ist relativ ungeordnet; je geringer dagegen der nicht entmischte Or-Gehalt ist, desto geordneter ist der Plagioklas.

4. Der Plagioklaswirt der Einsprenglinge ist praktisch immer verzwillingt, und zwar weit überwiegend nach Albitgesetz (Tab. 4). Sehr oft ist eine der beiden Albitstellungen stärker ausgeprägt als die andere, ähnlich wie bei der von LAVES und SOLDATOS (1962) beschriebenen unsymmetrischen Albitausscheidung in Kryptoperthit. – Nur selten ist der Wirt nach Periklingesetz verzwillingt. Unter 22 Beobachtungen (Tab. 4) wurde dies bei strukturell ungeordneten Plagioklasen nur einmal, bei strukturell intermediären Plagioklasen dreimal beobachtet, stets zusammen mit Albitverzwillingung.

5. Der ausgeschiedene pseudomonokline Kalifeldspatgast der Einsprenglinge ist unverzwillingt. Die leichte Verzerrung der Gitterwinkel ist wohl auf Beeinflussung durch den triklinen Wirt zurückzuführen. Manchmal lassen verbreiterte Reflexe einen Übergang zu trikliner Symmetrie mit beginnender Verzwillingung erkennen.

6. Wie schon erwähnt, erscheinen in Dünnschliffen die meisten Einsprenglingskerne stellenweise getrübt oder gefleckt. Vergleichende Aufnahmen von solch trüben und von klaren Stellen lassen erkennen, dass die Reflexe der ersteren stark verbreitert und diffus sind, die Reflexe der letzteren hingegen sehr scharf. Die α^*/γ^* -Werte der trüben Kristalle liegen im ganzen Diagramm verstreut; sämtliche Werte der klaren Kristalle dagegen liegen nahe beisammen in der Analbit-Ecke. Unter Berücksichtigung der chemischen Zusammensetzung folgt daraus: K-reiche, strukturell ungeordnete bis intermediäre Plagioklase An_{10} bis An_{50} erscheinen im Dünnschliff sehr klar; mit zunehmender Entmischung und Ordnung (und gleichzeitig auch durch Umwandlung) werden sie dann allmählich immer trüber.

7. LAVES (1956) gab anhand des „specimen 8“ von MUIR und SMITH (1956) eine Erklärung für die oft anzutreffende Erscheinungsform der Feldspäte in Rhombenporphyren und auch in vielen Larvikiten, dass nämlich ein optisch trikliner Kern von einer optisch monoklinen oder nur schwach triklin scheinenden Hülle umgeben wird. Darnach sollten die Feldspäte ursprünglich monoklin mit einer geringen Zonarausbildung von Kern zu Hülle gewachsen sein. Der etwas (Na + Ca)-reichere Kern sollte als erster durch displazive Umwandlung, unter gleichzeitiger Verzwillingung, triklin geworden sein. Anschliessend sollte der Kern krypto-antiperthitisch Kalifeldspat ausgeschieden haben. Die etwas K-reichere Hülle, deren $T_{\text{displ.}}$ tiefer als diejenige des Kerns war, sollte vorerst kryptoperthitisch triklinen Plagioklas ausgeschieden haben. Diese Ausscheidungen sollten eine weitere Umwandlung monoklin – triklin des Wirtes weitgehend eingeschränkt haben. Je nachdem, ob die Zwillingsdomänen des triklinen Gastes mehr oder weniger „balanciert“ auftreten oder nicht, sollte die Hülle optisch monoklin oder mehr oder weniger triklin erscheinen. – MUIR und

SMITH (1956) und SMITH und MUIR (1958) hingegen nehmen an, dass sowohl im Kern als auch in der Hülle Entmischung noch vor der Umwandlung monoklin – triklin eintrat. Im Kern sollten die Domänen von ausgeschiedenem, triklinem Plagioklas durch Sammelkristallisation solche Grössen erreicht haben, dass sie den Kern optisch triklin erscheinen liessen. In der Hülle dagegen sollten die Zwillingskomponenten submikroskopisch mehr oder weniger „balanciert“ verzwillingt sein, und deswegen sollte die Hülle optisch monoklin oder beinahe monoklin erscheinen.

Fig. 21 zeigt eigene Precessionaufnahmen von Feldspäten in Kern und Hülle desselben Einsprenglings (Tyveholmen-RP). Diese Aufnahmen lassen unter anderem folgendes erkennen:

a) Der Plagioklas ist in Kern und Hülle triklin und verzwillingt nach Albitgesetz.

b) Ausgeschiedener Kalifeldspat kann im Kern nicht beobachtet werden; in der Hülle hingegen beträgt sein Anteil am Gesamtfeldspat gegen 5%. Die Reflexe dieses Kalifeldspats zeigen monokline Symmetrie, mit Ausschwänzungen, welche einen Übergang zu trikliner Symmetrie und beginnende Verzwilligung erkennen lassen.

c) Die Aufnahme des Feldspats der Hülle zeigt in Richtung der a^* -Achse breite Streifen zwischen den in Albitzwillingsstellung befindlichen Plagioklasreflexen. Diese Streifen entsprechen Plagioklasphasen mit Symmetrien, welche von monoklin bis stark triklin variieren.

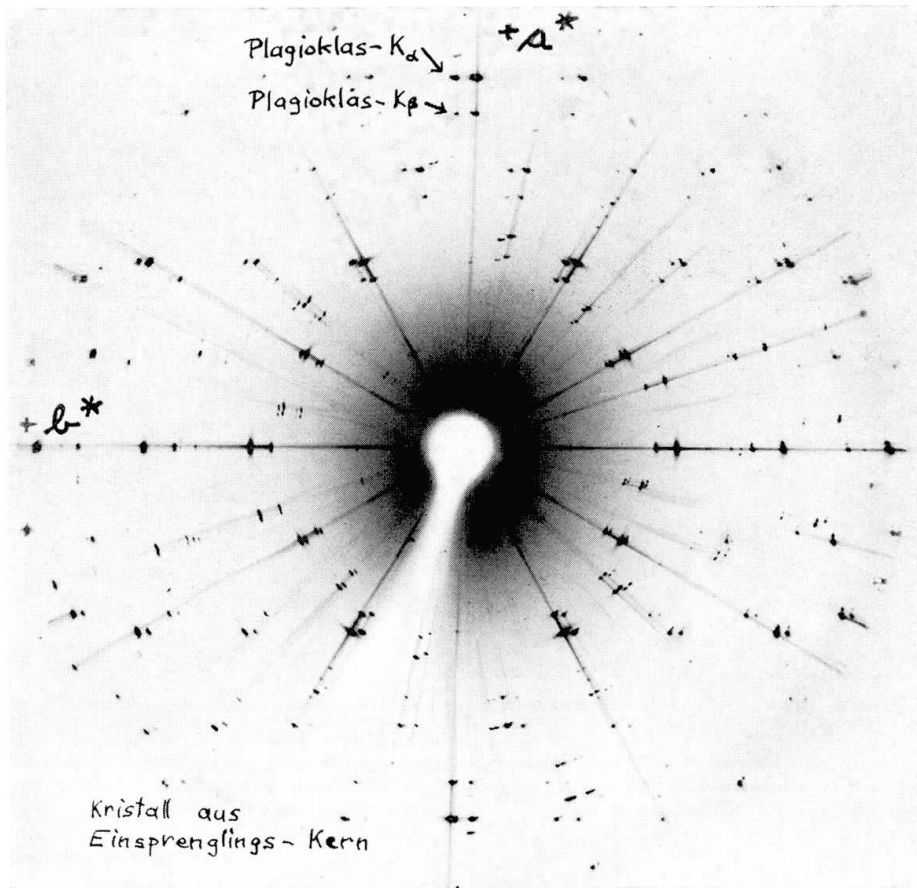
Die Beobachtungen a), b) und insbesondere c) scheinen aus zwei Gründen für Entmischung und Umwandlung der Feldspäte der Einsprenglinge in der von LAVES (1956) vorgeschlagenen Weise zu sprechen:

1. Es bestehen zwischen den Aufnahmen von Kern und Hülle beachtliche Unterschiede, wohingegen gemäss SMITH und MUIR (1958), welche für Kern und Hülle dieselbe Reihenfolge von Entmischung und Umwandlung annehmen, entsprechende Aufnahmen etwa gleich aussehen sollten.

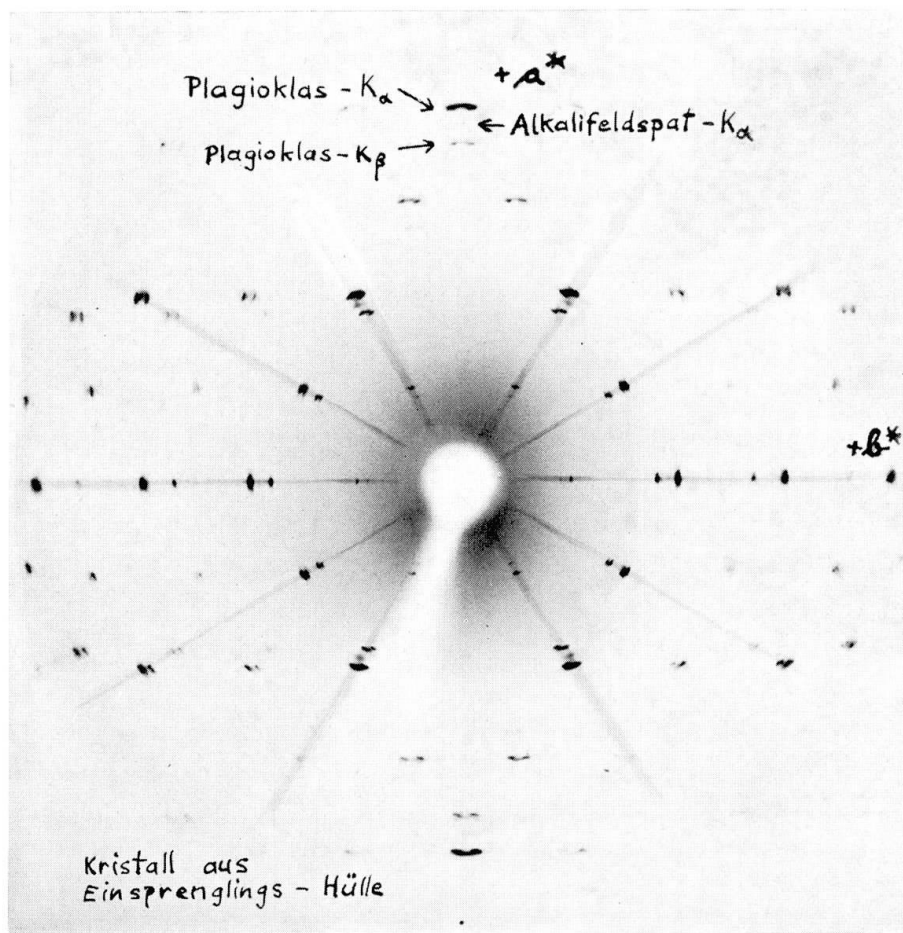
Fig. 21. Precessionaufnahmen von Kristallen aus einem Einsprengling des Rhombenporphyrs von Tyveholmen (vgl. auch Tab. 4). In beiden Aufnahmen war die c -Achse des Kristalls Präzessionsachse.

a) Kristall aus dem *Kern* eines Einsprenglings (x-8434), ungefilterte Cu-Strahlung. In der a^* -Richtung ist die starke, etwas ungleichmässige Albitverzwilligung des praktisch vollständig triklinen Plagioklases sichtbar. Äusserst schwach erkennt man eine ausgeschmierte Verbindung zwischen den beiden Albit-Zwillingsreflexen.

b) Kristall aus der *Hülle* desselben Einsprenglings (x-8442), ungefilterte Cu-Strahlung. Zwischen den Albitzwillingsreflexen des Plagioklaswirtes in der a^* -Richtung befinden sich deutliche breite Streifen. Diese Streifen zeigen, dass in diesem Kristall (also in der Hülle) nicht nur triklone, sondern auch noch zahlreiche monokline Domänen vorhanden sind. Zugleich deuten die Streifen darauf hin, dass die Hülle monoklin kristallisiert ist. – Zwischen den K_α - und K_β -Reflexen sind schwache Reflexe des ausgeschiedenen Alkalifeldspatgastes sichtbar. Auch diese Reflexe zeigen einen Übergang von monokliner zu trikliner Symmetrie, wobei der monokline Reflexanteil eine stärkere Intensität besitzt als der triklone.



a



b

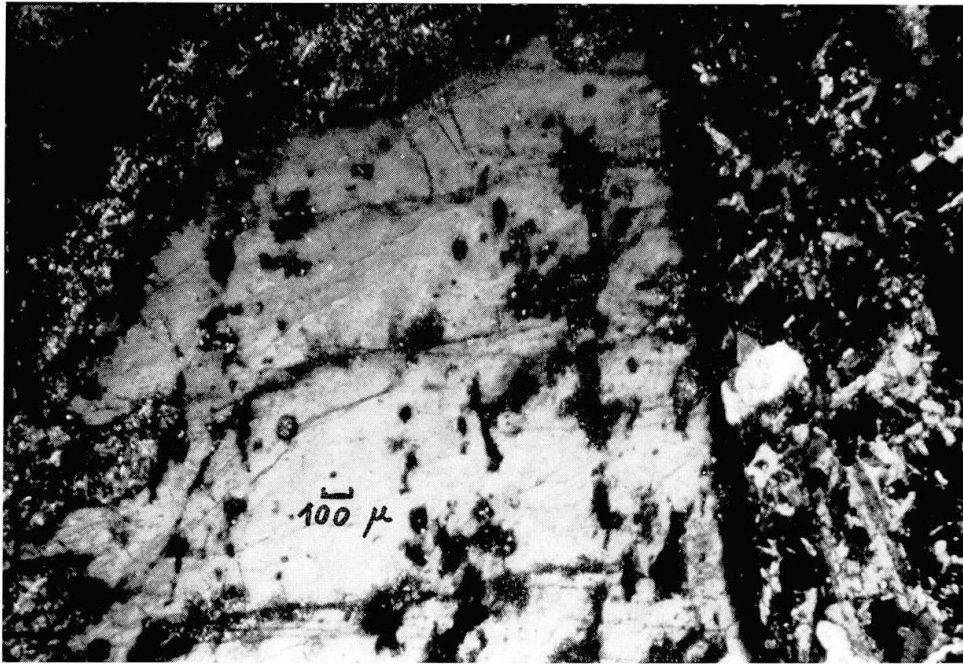


Fig. 22. Einsprengling in der Grundmasse des Rhombenporphyr-Ganges von Tyveholmen, X Nicols. Die Einsprenglingshülle erscheint als schmaler schwarzer Saum zwischen dem Einsprenglingskern (hell) und der Grundmasse in der rechten Bildhälfte. Ebenfalls schwarz erscheinende ausgeschiedener Alkalifeldspat im Kern des Einsprenglings sowie zahlreiche kleine Erzpartikel im Einsprengling und in der Grundmasse.

2. Die breiten Streifen (c) entsprechen ziemlich genau dem von LAVES beschriebenen Zustand, wo der monokline Plagioklas der Hülle durch den ausgeschiedenen Kalifeldspat trotz Erreichen bzw. Unterschreiten von $T_{\text{displ.}}$ an einem vollständigen Umklappen zu trikliner Symmetrie gehindert wird.

10. ZU DEN BILDUNGS- UND ABKÜHLUNGSBEDINGUNGEN DER RHOMBENPORPHYRE

Die vorliegende Untersuchung der Rhombenporphyre des Oslogbietes hat ergeben, dass die Feldspäte der Einsprenglinge strukturell ungeordnet bis intermediär sind, die Feldspäte der Grundmasse hingegen strukturell intermediär bis geordnet. Eine solche Anordnung von Feldspäten verschiedener struktureller Ordnungsgrade in ein und demselben Effusivgestein ist nicht gewöhnlich. Normalerweise verhalten sich Feldspäte von Grundmasse und Einsprenglingen gerade umgekehrt, wie es beispielsweise OGNIBEN (1963/64, abstract p. 130) beschrieb:

“A detailed study on the ‘thermal status’ of the examined plagioclases has lead to the conclusion that the groundmass plagioclase feldspars have ‘high-temperature’ optic, whereas all the other feldspars have ‘low-temperature’ optic. Some fine-twinned crystals with sodic inclusions have revealed a ‘transitional’ character.”

Im folgenden wird versucht, Angaben zu machen über die Bedingungen, unter welchen die Rhombenporphyre entstanden sind, und über die Bedingungen, unter welchen sie ihre in Kap. 7 bis 9 beschriebenen heutigen Zustände erreicht haben.

1. Bei den untersuchten Rhombenporphyren wurden Zusammensetzungen der K-reichsten Einsprenglingskerne zu etwa $\text{Or}_{20}\text{Ab}_{74}\text{An}_6$ (RP 3a) und der Ca-reichsten Einsprenglingskerne zu etwa $\text{Or}_8\text{Ab}_{48}\text{An}_{44}$ (RP 13d) gefunden. Man kann zur Abschätzung der Bildungsbedingungen davon ausgehen, dass die Einsprenglinge, speziell deren Kerne, stabil gewachsen sind, und dass die Magmen unter gewissen Wasserdrucken standen. Unter Berücksichtigung dieser Annahmen ergeben sich folgende Kristallisationstemperaturen (interpoliert nach Kurven von BOWEN und TUTTLE [1950]¹ und YODER et al. [1957]²; diese Experimente gelten für Drucke bis 5 kbar):

		kbar Wasserdruck			
		1	2	5	
RP 3a	$\text{Or}_{20}\text{Ab}_{74}\text{An}_6$	870 ¹	810 ¹	720 ²	} Temp. °C
RP 13d	$\text{Or}_8\text{Ab}_{48}\text{An}_{44}$	1360 ²	1290 ²	1080 ²	

Alle Temperaturen etwa $\pm 50^\circ \text{C}$, weil die Kristalle nicht wie in den Experimenten reine Alkalifeldspäte bzw. Plagioklase waren.

2. Vor dem Ausfliessen einer jeden dieser Magmen müssen die p, T-Bedingungen lange Zeit relativ konstant gewesen sein, um die Bildung von grossen Kristallen recht homogener Zusammensetzung – der späteren Einsprenglingskerne – zu ermöglichen.

3. Mit fortschreitender Bildung (An + Ab)-reicher Kristalle reicherte sich der Rest der Schmelzen allmählich relativ an Kalium an.

4. Die erste, lange Wachstumsphase wurde beendet durch eine Änderung der p, T-Bedingungen. Dabei spielte vermutlich Druckentlastung eine ursächliche Rolle.

5. In dieser Periode der infolge Druckentlastung sinkenden Temperatur bildeten sich um die schon vorhandenen (Ca + Na)-reichen Kristalle Hüllen von Na-reicherem, Or-ärmerem (Fig. 14), strukturell ungeordnetem, monoklinem Feldspat. Der geringen Dicke dieser Hüllen nach zu schliessen dauerte diese Wachstumsphase nur relativ kurze Zeit.

6. Danach erfolgte die Kristallisation der Alkalifeldspäte der Grundmasse (betr. deren chemische Zusammensetzung siehe Fig. 14). Dazu war eine Änderung der p, T-Bedingungen erforderlich, welcher im wesentlichen zwei Vorgänge zugrunde lagen:

a) Die Abnahme des Wasserdruckes verursachte ein Steigen der Kristallisationstemperaturen.

b) Die Temperaturen sanken, zuerst infolge von Wärmeabgabe an die umgebenden Gesteinsschichten während des Aufstiegs durch die Erdkruste und nach dem Ausfliessen an die Erdoberfläche durch Wärmeabgabe an den Untergrund und an die Atmosphäre.

7. Beachtenswert an der sich anschliessenden Abkühlungsphase ist, unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Zeit, dass die Temperaturen einerseits genügend hoch waren, um in den Alkalifeldspäten der Grundmasse eine gewisse strukturelle Ordnung und weitgehende Entmischung zu ermöglichen, dass sie aber andererseits zu niedrig waren, um in den Ca-reichen Feldspäten der Einsprenglinge noch eine wesentliche Ordnung der Al/Si-Verteilung oder eine starke Entmischung zuzulassen. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass grosse Unterschiede der Ordnungsgeschwindigkeiten der beiden Feldspatarten bei relativ tiefer Temperatur eine wesentliche Rolle gespielt haben könnten.

8. Eine erstaunlich niedrige Viskosität der RP-Laven (OFTEDAHL 1952, p. 52) machte deren Verbreitung über Dutzende von Kilometern erst möglich. In manchen Fällen mag auch die Bedeckung eines Lavastromes durch einen darauffolgenden Strom die Abkühlung und damit die Erstarrung der Lava verzögert haben.

Die geschilderten mutmasslichen Bildungsbedingungen der Rhombenporphyre an der geologisch-petrographischen Realität zu überprüfen, muss entsprechenden Fachleuten vorbehalten bleiben. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang eine Hypothese von OFTEDAHL (1952, p. 58) zur Bildung der Rhombenporphyrlaven:

“The magma was slightly super-heated when it reached its position during the effusions. After the temperature dropped to the crystallization interval in the uppermost layers the magma was still super-heated below. The first big effusion caused stirring of the upper layer, so that the crystal mesh was mixed with the super-heated magma, and the result was that the crystals were resorbed more or less completely, and then crystallization started over again. In this way one can, for instance, imagine that all the big crystals left over after the RP1 eruptions were nearly resorbed at the time of the 2a effusions, and close to totally resorbed a little later, giving birth to 2b with very small and very scattered crystals.”

Tabelle 1. Quellenangabe zu den chemischen Analysen von Rhombenporphyren

Nr.	1-19: RP-Ströme des Oslogebietes Nr. 20-30: RP-Gänge des Oslogebietes Nr. 31-48: RP des Kilimanjaro und benachbarter Gebiete Nr. 49-56: RP des Mt. Erebus, Antarktis	Kolonne 1: Fortlaufende Analysennummer Kolonne 2: Bezeichnung der Probe Kolonne 3: G = Gesamtgestein, E = Einsprengling, M = Grundmasse Kolonne 4: Spezielle Kennzeichen	Kolonne 5: Fundort Kolonne 6: Analytiker Kolonne 7: Quelle Kolonne 8: Seitenangabe
1	Rhombenporphyr RP 1	G Kolsås-Typ	Unterer Teil von Kolsås, O. N. Heidenreich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 68 Baerum
2	Rhombenporphyr RP 2	G Homledals-Typ	Chaussé bei Skaret, M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 68 Homledal, Ringerike
3	Rhombenporphyr RP 4	G Korsegård-Typ	S Abortjern, Klevkollen, M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 68 Ringerike
4	Rhombenporphyr RP 5	G Nordlandsdal-Typ	Höhe oberhalb Homledal, M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 68 Ringerike
5	Rhombenporphyr RP 6	G Aslegårds-Typ	Nähe bei Aslegård am M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 69 Ringeriksveien
6	Rhombenporphyr RP 7	G Sollihøgda-Typ	S Stubdal, Weg nach M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 69 Løvlieter, Ringerike
7	Rhombenporphyr RP 9	G Sorumseter-Typ	Granbakken, Lommedal M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 69
8	Kjelsåsitporphyr RP 10	G Niskin-Typ	Niskin am Holmsee M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 69
9	Rhombenporphyr RP 11	G Gaupehaug-Typ	N Kolsås, Weg von Sten M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 69 nach Baerum, Eisenwerk
10	Rhombenporphyr RP 11	G Gaupehaug-Typ	Südlich des Holmsees M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 70
11	Rektangelporphyr RP 12	G Rognli-Typ	Rognlia, Baerum M. Dittrich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 70
12	Rektangelporphyr RP 13a	G Pipenhus-Typ	Pipenhus, Sørkedal O. N. Heidenreich (1904) W. C. BRØGGER (1933) p. 70
13	Rektangelporphyr RP 13b	G Stubberud-Typ	Stubberud, Sørkedal O. N. Heidenreich (1913) W. C. BRØGGER (1933) p. 70
14	Kjelsåsitporphyr RP 13c	G Elgkoll-Typ	Elgkollen, Barlindals- L. Andersen-Aars (1907) W. C. BRØGGER (1933) p. 70 høyde
15	Kjelsåsitporphyr RP 13d	G Svarten-Typ	Gerölle von Bergendal, O. N. Heidenreich (1909) W. C. BRØGGER (1933) p. 71 Sørkedal
16	Rhombenporphyr RP 14	G Ågårdsli-Typ	W Ågårdsli, Nordmarka O. N. Heidenreich (1903) W. C. BRØGGER (1933) p. 71
17	Jüngster Rhombenporphyr RP 15	G Rektangelporphyr Storflåten-Typ	Svarten E. Klüver (1932) W. C. BRØGGER (1933) p. 71
18	Rektangelporphyr RP 13	E	N Haugen B. Bruun (ca. 1945) C. OFTEDAHL (1946) p. 24
19	Rektangelporphyr RP 13	M	N Haugen B. Bruun (ca. 1945) C. OFTEDAHL (1946) p. 24
20	Rhombenporphyr	G Ursprünglicher Typ L. von Buch's	Tyveholmen, Oslo O. N. Heidenreich (1910) W. C. BRØGGER (1933) p. 64

21	Rhombenporphyr	G	Ursprünglicher Typ L. von Buch's	S Gaustad Station Holmenkoll-Bahn W. Aker	O. N. Heidenreich (1910)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 64
22	Rhombenporphyr	E		Tyveholmen	O. N. Heidenreich (1903)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 66
23	Rhombenporphyr	E		Tyveholmen	A. Thorkildsen	C. OFTEDAHL (1946)	p. 24
24	Rhombenporphyr	M		Tyveholmen	A. Thorkildsen	C. OFTEDAHL (1946)	p. 24
25	Rhombenporphyr	G	Gang in RP 1	Zwischen Berg und Bø, Asker	O. N. Heidenreich (1912)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 64
26	Rhombenporphyr	G	Gang in RP 2	Skånåsen Nykirke S Holmestrand	L. Schmeleck (ca. 1896)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 65
27	Rhombenporphyr	G	Gang in Silur	Station Roa, Lunner	E. Klüver (1929)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 65
28	Rhombenporphyr	G		Ekornrød, Oppgård	L. Schmeleck (ca. 1896)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 65
29	Rhombenporphyr	G	Nersnesporphyr	Ramtonholmen, Røken	E. Klüver (1929)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 65
30	Rhombenporphyr	G		200 m NNW Solberg, Gran	E. Klüver (1929)	W. C. BRØGGER (1933)	p. 64
31	Nephelin-Rhombenporphyr	G		Nordostkibo, ca. 3500 m, Eyme Salpeterhöhle, Kilimanjaro		L. FINCKH (1906)	p. 392
32	Leucit-Rhombenporphyr	G		Ostkibo, 5600 m, Kilimanjaro	Klüss	L. FINCKH (1906)	p. 392
33	Glasiger Rhombenporphyr	G		Westkibo, 4500 m, Kilimanjaro	Eyme	L. FINCKH (1906)	p. 392
34	Leucit-Rhombenporphyr	G		Nordostkibo, 5000 m, Kilimanjaro	Klüss	L. FINCKH (1906)	p. 392
35	Kenyit	G		Lava flow at the foot of Mt. Höhnel, Mt. Kenya	G. T. Prior	G. T. PRIOR (1903)	p. 247
36	Kenyit	G		Core of Mt. Kenya (Teleki Valley)	G. T. Prior	G. T. PRIOR (1903)	p. 247
37	Trachyt	E		Timau-Nanyuki road, Lorimenji river Probe FEAE 161	H. B. Wiik	A. HÄKLI (1960)	p. 101
38	Trachyt	E	Sehr ähnlich Probe FEAE 173. Grund- masse: Korngrösse ca. 1/10 mm, enthält Augit, Iddingsit, Chlorit, Sodalith und Apatit	Arusha-Moshi road, Kikafu river Probe FEAE 183	H. B. Wiik	A. HÄKLI (1960)	p. 101

39	Trachyt	E	Durchmesser der <i>Ein-sprenglinge</i> 5 mm. Sehr klarer Alkalifeldspat. Ausgeprägter Zonarbau. <i>Grundmasse</i> mit Ägirin-Augit	H. B. Wiik	A. HÄKLI (1960)	p. 101
40	Kenyit	E	Homogener nicht-schillernder Feldspat. Subnormaler Achsenwinkel von $2V = 57,5^\circ$	E. Spencer	E. SPENCER (1937)	p. 489
41	Kenyit	E	Kein Fe, da Einschlüsse entfernt	E. D. Mountain	E. D. MOUNTAIN (1925)	p. 336
42	Leucit-Kenyit	E	Loher Einsprengling I	J. S. Hyland	J. S. HYLAND (1889)	p. 256
43	Leucit-Kenyit	E	Loher Einsprengling I	L. Fletcher	L. FLETCHER und H. A. MIERS (1887)	p. 131
44	Leucit-Kenyit	E	Loher Einsprengling 2. Verzwilligt und heller als Einsprengling 1.	L. Fletcher	L. FLETCHER und H. A. MIERS (1887)	p. 131
45	Nephelin-Rhombenporphyr	G	Engare Rungai, ca. 3000 m, Kilimanjaro Planquadrat 14 SW Probe K. 53	W. H. Herdsman	W. H. HERDSMAN (1955)	p. 99
46	Nephelin-Rhombenporphyr	G	Nördliche Seite des Südtal, ca. 4800 m, Kilimanjaro Planquadrat 22 NW Probe K. 955	W. H. Herdsman	W. H. HERDSMAN (1956)	p. 99
47	Glasiger Nephelin-Rhombenporphyr	G	Gipfelgrat des Kibo, 5895 m, Kilimanjaro Planquadrat 22 NW Probe K. 121	W. H. Herdsman	W. H. HERDSMAN (1956)	p. 99
48	Rhombenporphyr	G	Kraterinnenseite des Mt. Meru (ca. 60 km WSW Kilimanjaro), Arusha District Planquadrat 21 NE Probe JG. 1791 A	W. H. Herdsman	W. H. HERDSMAN (1956)	p. 99

49	Kenyit	G	Deviation Hill, East End of The Trench, Cape Evans, Ross Island	D. I. Bothwell	W. C. SMITH (1954)	p. 64
50	Glasier Kenyit	G	Cape Evans, Ross Island	Hogarth	W. C. SMITH (1954)	p. 64
51	Kenyit	G	Cape Evans, Ross Island	Hogarth	W. C. SMITH (1954)	p. 64
52	Kenyit-Bimstein	M	Frisher Aschenkegel am Mt. Erebus, Ross Island	J. D. Easton	W. C. SMITH (1954)	p. 64
53	Kenyit-Grundmasse (Bimstein)	M	Mt. Erebus, Ross Island	Burrows and Walkom	W. C. SMITH (1954)	p. 64
54	Leucit-Kenyit	G	„Keep“ of Cape Royds, Slope of Mt. Erebus, Ross Island	G. T. Prior	G. T. PRIOR (1907)	p. 113
55	Kenyit	E	Typ 1: Gedrungen, weisse Oberfläche	E. D. Mountain	E. D. MOUNTAIN (1925)	p. 336
56	Kenyit	E	Typ 2: Prismatisch, mit rhombischem Querschnitt, von schwarzer bläschenhaltiger Lava umgeben. E.D.M. hält diesen Typ 2 für identisch mit Probe 818 von G. T. Prior (1907)	E. D. Mountain	E. D. MOUNTAIN (1925)	p. 336
<i>Nicht ausgewertet wurden folgende Analysen:</i>						
57	Anorthoklas	E	Mt. Erebus, Ross Island	G. E. Burrows und A. B. Walkom	H. I. JENSEN (1916)	p. 122
58	Anorthoklas	E	Mt. Erebus, Ross Island	I. S. E. Carmichael	I. S. E. CARMICHAEL und W. S. MACKENZIE (1964)	p. 950
59	Anorthoklas	E	Cape Royds, Ross Island	P. Elmore, S. Botis, G. Chloee, L. Artis, H. Smith	E. L. BOUDETTE und A. B. FORD (1966)	p. 1376
60	Anorthoklas	E	300–400 m N Horombo hut, ca. 4000 m, Mt. Kibo, Kilimanjaro	W. B. Stern	W. B. STERN (1969)	p. 200

Tabelle 2a. Normatives Feldspatverhältnis von 56 Rhombenporphyren, berechnet aus den in Tabelle 1 angegebenen Analysen

G = Gesamtgestein, E = Einsprengling, M = Grundmasse.

	1	2	3	4	5	6	7	8
	G	G	G	G	G	G	G	G
Or	30,1	36,6	30,0	33,1	29,4	38,4	31,9	30,2
Ab	50,1	57,9	61,9	46,5	49,1	51,8	61,6	48,1
An	19,8	5,5	8,1	20,4	21,5	9,8	6,5	21,7
	9	10	11	12	13	14	15	16
	G	G	G	G	G	G	G	G
Or	34,2	30,1	35,6	33,7	27,7	25,2	19,5	24,4
Ab	52,4	55,9	49,7	47,8	53,1	42,7	46,7	58,8
An	13,4	14,0	14,7	18,5	19,2	32,1	33,8	16,8
	17	18	19	20	21	22	23	24
	G	E	M	G	G	E	E	M
Or	25,7	17,9	28,9	33,7	29,8	23,3	26,5	38,3
Ab	58,7	50,7	41,3	56,4	56,8	57,9	50,3	45,9
An	15,6	31,4	29,8	9,9	13,4	18,8	23,2	15,8
	25	26	27	28	29	30	31	32
	G	G	G	G	G	G	G	G
Or	37,0	22,2	33,8	28,3	33,4	34,3	43,7	44,5
Ab	45,6	60,1	50,2	58,3	51,7	58,7	45,7	53,6
An	17,4	17,7	16,0	13,4	14,9	7,0	10,6	1,9
	33	34	35	36	37	38	39	40
	G	G	G	G	E	E	E	E
Or	45,8	53,5	44,0	49,0	17,5	19,8	23,4	31,3
Ab	54,2	46,5	52,7	51,0	67,4	68,7	70,3	62,7
An	—	—	3,3	—	15,1	11,5	6,3	6,0
	41	42	43	44	45	46	47	48
	E	E	E	E	G	G	G	G
Or	27,1	33,7	28,2	25,9	36,0	38,9	41,4	28,3
Ab	63,1	50,6	57,8	59,5	52,9	50,7	48,8	61,1
An	9,8	15,7	14,0	14,6	11,1	10,4	9,8	10,6
	49	50	51	52	53	54	55	56
	G	G	G	M	M	G	E	E
Or	37,0	33,7	35,2	45,6	29,3	28,8	17,4	19,3
Ab	55,6	58,8	59,2	51,9	50,6	55,8	64,7	63,1
An	7,4	7,5	5,6	2,5	20,1	15,4	17,9	17,6

Tabelle 2b. Normatives Feldspatverhältnis von 7 Larvikiten des Oslogebietes

Berechnet nach Angaben von BARTH (1945, p. 82, Anal. Nr. 38–44).

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
Or	27,2	29,3	25,9	29,6	25,8	34,3	34,2
Ab	60,4	57,9	61,7	52,8	56,8	56,6	61,5
An	12,4	12,8	12,4	17,6	17,4	9,1	4,3

Tabelle 3. Auswertung der Pulverdiagramme von Feldspäten der Rhombenporphyre

Spalte 1: RP-Benennung nach Brøgger (1933). T = RP-Gang von Tyveholmen.
 Spalte 2: Nummer des Röntgenfilms.
 Spalte 3: Verwendete Röntgenstrahlung. Fe = FeK α_1 , Cu = CuK α_1 .
 Spalte 5+8: Beste Schätzung der Or- und An-Konzentration nach der Mikrosondeuntersuchung (Streubilder).
 Spalte 7: $\Delta\theta_1 = 2\theta_{131} - 2\theta_{131}^-$ und $\Delta\theta_2 = 2\theta_{241} - 2\theta_{241}^-$.
 Spalte 9: Die Klammern in drei Fällen bedeuten, dass die (060)- und die (204)-Linie nicht eindeutig einer der beiden vorhandenen (201)-Linien zugeordnet werden konnten.
 Spalte 10: Δ -Wert: $\Delta = 12,5 \times (d_{131} - d_{131}^-)$.
 s Linie zu schwach zum Ausmessen.
 d Linie zu diffus zum Ausmessen.

RP	X-Nr.	λ	Kern Hülle Grundm.	Plagioklas-Phasen			Alkalifeldspat-Phasen			
				[Gew. %] Or An	2 θ (201)	$\Delta\theta_1$	$\Delta\theta_2$	[Gew. %] Or An	2 θ (201)	2 θ (060) 2 θ (204)
1	8263/1,1	Fe	K	7 32	27,710	2,234	0,464	92 1	26,297	d d
	8263/2,4	Fe	K	7 32	27,744	1,882	1,072	92 1	26,499	d d
	8263/1,2	Fe	H	4 7	27,767	1,871	1,111	80 4	26,452	d d
	8263/2,5	Fe	H	4 7	27,752	1,138	1,174	80 4	26,533	d d
	8263/1,3	Fe	G	5 5	27,771	1,249	1,604	89 0	26,476	53,190 65,004
	8263/2,6	Fe	G	5 5	27,756	1,916	1,411	89 0	26,485	53,196 65,013
3a	8267/1,1	Fe	K	3 9	27,764	1,913	1,370	1 1		
	8267/2,4	Fe	K	3 9	27,751	1,902	1,398	67 2		
	8267/1,2	Fe	H	6 6	27,761	1,871	1,397	67 2		
	8267/2,6	Fe	H	6 6	27,776	1,795	d	1 1	26,447	53,188 65,004
	8267/1,3	Fe	G	3 3	27,770					
						1,620	1,932	1 1	26,452	d d
5	8269/1,1	Fe	K	1 3	27,800	2,275	0,356	1 1	26,476	d d
	8269/2,4	Fe	K	1 3	27,782	1,577	1,127	1 1	20,958	s d
	5724/0,2	Cu	K	1 3	22,011	1,637	1,897	1 1		
	8269/1,2	Fe	H	1 3	27,770	1,881	1,040	1 1	26,452	s s
	8269/2,6	Fe	H	1 3	27,786	1,607	1,959	2 2	26,449	53,139 65,049
	8269/1,3	Fe	G	2 2	27,789	1,281	0,998	2 2	20,967	41,710 50,646
7	5724/0,3	Cu	G	2 2	22,027					
	5723/0,2	Cu	K	5 11	21,917	1,790	0,286		20,984	
	8268/1,1	Fe	K	5 11	27,763	1,770	2,068			

Tabelle 4. Auswertung der Einkristallaufnahmen von Feldspäten der Rhombenporphyre

Spalte 1: RP-Benennung nach Bøggger (1933). T = RP-Gang von Tyveholmen.
 Spalte 2: Nummer des Röntgenfilms.
 Or, An: Beste Schätzung der Or- und An-Konzentration nach der Mikrosondeuntersuchung (Streubilder).
 Zw.: Zwillinge nach A = Albitgesetz, P = Periklingesetz. A > P bedeutet, dass mehr Material nach Albit- als nach Periklingesetz verzwillingt ist.
 I: Geschätzte relative Intensität gleichwertiger Reflexe der vorhandenen Phasen. Sie ist etwa proportional dem Anteil der betreffenden Phasen am Gesamtvolumen; die Summe aller I ist stets 100.
 Bemerkungen: kl. heisst, dass es sich um einen optisch klaren Kristall aus einem Einsprenglings-Kern handelt.

RP	X-Nr.	Kern Hülle	Plagioklas-Phasen					Alkalifeldspat-Phasen						
			[Gew. %] Or An	α^*	γ^*	Zw.	I	Bemerkungen	[Gew. %] Or An	α^*	γ^*	Zw.	I	Bemerkungen
1	6168	K	7	32	88,33	A	85		92	1	90,00	90,00	5	Verbreitert
	6227	K	7	32	90,00	A	5	Am Schwanz- ende gemessen Verbreitert						
	6226	H	4	7	86,17	A, P	100	kl.	80	4	90,00	90,00	50	
					86,43	A, P	40						10	Diffus
3a	6165	K	3	9	86,18	A > P	100							
	6166	H	6		86,17	A	100							
5	6169	K	1	3	86,23	A	95		1		89,50	89,93	5	Pseudomonoklin verzerzt
	6170	H	1	3	86,25	A	95		1		89,50	89,85	5	Pseudomonoklin verzerzt
7	6088	K	5	11	86,18	A > P	100	Eine Zw.-Stellung ca. 3 × stärker als die andere/kl.						
	6225	K	5	11	86,30	A	100							

	6167	H	1	10	86,38	89,75	A	95	Eine Stellung bevorzugt	2	90,00	89,75	A	5	Unsymmetrische K-Feldsp.-Aussch.
13d	5580	K	8	47		88,27	A	100	Eine Stellung bevorzugt						
	6558	K	8	47	86,23	88,25	A	100	Eine Stellung 10× stärker/kl.						
	7713	K	8	47	86,14		A	100	Eine Stellung 20× stärker/kl.						
	6089	H	2	25	86,55	88,26	A	100	Eine Stellung 10× stärker						
T	6086	K	8	33	86,32	88,33	A	90	Eine Stel. bevorzugt. Beide Winkel variieren bis 90°		87,24	88,33	A	10	Eine Stel. bevorzugt. Beide Winkel variieren bis 90°
	6557	K	8	33	86,37	88,38	A	100	Eine Stel. bevorzugt. α^* var. bis 88°/kl.						
	7712	K	8	33	86,58	88,32	A > P	100	Eine Stel. bevorzugt. α^* var. bis 90°/kl.						
	8434	K	8	33	86,15	88,42	A	100	γ^* var. bis 90°, schwach auch α^*		89,23	90,00		5	Spur von trikl. Alkalifeldspat. Beide Winkel sind nach beiden Seiten variabel
	8442	H	8	33	86,33	88,32	A	90	Nicht verzw.						
	8458	H	8	33	86,19	88,32	A	5	Eine Stellung bevorzugt		88,75	88,50		50	Spur von trikl. Alkalifeldspat
	6087	H	8	33	86,55	88,32	A	50							
					86,28	88,40	A	100							

Dank

Die vorliegende Arbeit entstand im Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.

Herrn Prof. Dr. F. Laves danke ich besonders herzlich für die Anregung zu dieser Arbeit, für zahlreiche wertvolle Hinweise und für sein immerwährendes Interesse und Wohlwollen sowie auch für die grosse Selbständigkeit, die er mir bei der Ausführung liess.

Herrn Prof. Dr. C. Burri und Fräulein Dr. G. Šoptrajanova bin ich für ihre Ratschläge und anregenden Diskussionen auf den Gebieten der Petrographie sowie der petrochemischen Berechnungsmethoden äusserst dankbar.

Soweit bekannt, ist dies die erste grössere Arbeit über die Rhombenporphyre des Oslo-gebietes, welche nicht von einem Norweger oder wenigstens in Norwegen ausgeführt wurde. Um so mehr bin ich dankbar für die tätige Hilfe und Unterstützung, welche ich in Oslo bei Prof. Dr. O. H. J. Christie gefunden habe. Mit Prof. Dr. T. F. W. Barth in Oslo und Prof. Dr. C. Oftedahl in Trondheim hätte ich gerne ausführlicher diskutiert, als es die räumlichen Entfernungen zulassen.

Herrn Dr. W. Petter möchte ich für seine Hilfe bei experimentellen Arbeiten, besonders aber für seine ständige Diskussionsbereitschaft danken.

Mein Dank gilt speziell Herrn E. Schärli, Chefpräparator, für die prompte Herstellung von Präparaten für Elektronenmikrosonden- und Einkristallaufnahmen. Fräulein Dr. M. Corlett und Herrn R. Gubser bin ich sehr dankbar für ihre Unterstützung bei den Elektronenmikrosondenuntersuchungen. Herr H. Kroll half zahlreiche Einkristallaufnahmen herzustellen und auszumessen. – Den Angehörigen des Institutes, insbesondere Herrn H.-J. Scheel, danke ich für mancherlei Hilfe und Ratschläge bei experimentellen Problemen.

LITERATURVERZEICHNIS

SMPM = Schweiz. Min. Petr. Mitt.

Studies etc. = Studies on the igneous rock complex of the Oslo region. Skrifter utgitt av Det Norske Videnskaps-Akademi i Oslo.

- BAIER, E. (1930): Lamellenbau und Entmischungsstruktur der Feldspäte. *Z. Krist.* 73, 465–560.
- BAMBAUER, H. U., CORLETT, M., EBERHARD, E., GUBSER, R., LAVES, F., NISSEN, H. U., VISWANATHAN, K. (1965): Variations in X-ray powder patterns of low structural state plagioclases. *SMPM* 45/1, 327–330.
- BAMBAUER, H. U. (1966): Feldspat-Familie. In W. E. Tröger: Optische Bestimmungen der gesteinsbildenden Minerale, Teil 2 (Textband), Schweizerbarth'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart, Seiten 645–762.
- BAMBAUER, H. U., CORLETT, M., EBERHARD, E., VISWANATHAN, K. (1967): Diagrams for the determination of plagioclases using X-ray powder methods. *SMPM* 47/1, 333–349.
- BARTH, T. F. W. (1945): II. Systematic petrography of the plutonic rocks. *Studies etc.*, 104 pp.
- (1952): *Theoretical petrology*. Wiley & Sons, New York, 387 pp.
- BOTTINGA, Y., KUDO, A., WEILL, D. (1966): Some observations on oscillatory zoning and crystallization of magmatic plagioclase. *Amer. Min.* 51, 792–806.
- BOUDETTE, E. L., FORD, A. B. (1966): Physical properties of anorthoclase from Antarctica. *Amer. Min.* 51, 1374–1387.

- BOWEN, N. L. and TUTTLE, O. F. (1950): The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{H}_2\text{O}$. *J. Geol.* 58, 489–511.
- BROWN, W. L. (1960): Lattice changes in heat-treated plagioclases. The existence of monalbite at room temperature. *Z. Krist.* 113, 297–329.
- BRØGGER, W. C. (1890): Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der süd-norwegischen Augit- und Nephelinsyenite. *Z. Krist.* 16, 1–663.
- (1933): VII. Die chemische Zusammensetzung der Eruptivgesteine des Oslogebietes. Die Eruptivgesteine des Kristiania-(Oslo-)Gebietes. Gleicher Herausgeber wie *Studies etc.*, 147 Seiten.
- VON BUCH, L. (1810): Reise durch Norwegen und Lappland. 2 Bde. Berlin.
- BURRI, C. (1959): Petrochemische Berechnungsmethoden auf äquivalenter Grundlage. Birkhäuser Verlag, Basel und Stuttgart, 334 Seiten.
- CARMICHAEL, I. S. E. and MACKENZIE, W. S. (1964): The lattice parameters of high-temperature triclinic sodic feldspars. *Min. Mag.* 33, 949–962.
- CORLETT, M. and RIBBE, P. H. (1967): Electron probe microanalysis of minor elements in plagioclase feldspars. *SMPM* 47/1, 317–332.
- EBERHARD, E. (1967): Zur Synthese der Plagioklase. *SMPM* 47/1, 385–398.
- FINCKH, L. (1906): Die Rhombenporphyre des Kilimandscharo. *Festschrift Harry Rosenbusch* 70. Geb., Stuttgart, 373–397.
- FLETCHER, L. and MIERS, H. A. (1887): Supplementary note on feldspar from Kilimanjaro. *Min. Mag.* 7, 131–132.
- GAY, P. and ROY, N. N. (1968): III. Subsolidus relationships. The mineralogy of potassium-barium feldspar series. *Min. Mag.* 36, 914–932.
- GOLDSMITH, J. R. and LAVES, F. (1954): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5, 1–19.
- HÄKLI, A. (1960): On high temperature alkali feldspars of some volcanic rocks of Kenya and northern Tanganyika. *Bull. Comm. Géol. Finlande* 188, 99–108.
- HARPUM, J. R. (1958): Complete analyses of rocks carried out in 1956. *Rec. Geol. Surv. Tanganyika, Dar es Salaam*, 6, 94–100.
- HEIER, K. S. and COMPSTON, W. (1969): Rb-Sr isotopic studies of the plutonic rocks of the Oslo region. *Lithos* 2, 133–145.
- HOLTEDAHL, O. (1943): I. Some structural features of the district near Oslo. *Studies etc.*, 71 pp.
- HYLAND, J. S. (1889): Über die Gesteine des Kilimandscharo und dessen Umgebung. *Tscherm. Min. Petr. Mitt.* 10, 203–267.
- JENSEN, H. I. (1916): Report on the petrology of the alkaline rocks of Mt. Erebus, Antarctica. *British Antarctic Expedition 1907–1909, Rep. Sci. Investigations, Geol. Vol.* 2/7, 93–128.
- KEIL, K. (1966): The electron microprobe X-ray analyzer and its application in mineralogy. *Fortschr. Min.* 44, 4–66.
- KJERULF, T. (1855): Das Christiania-Silurbecken. Universitetsprogram für das erste Halbjahr 1855.
- LAVES, F. and CHAISSON, U. (1950): An X-ray investigation of the "high"- "low" albite relations. *J. Geol.* 58, 584–592.
- LAVES, F. (1952): Phase relations of the alkali feldspars. *J. Geol.* 60, 436–450, 549–574.
- (1956): Über die Bedeutung der Barbierit-Analbit-Umwandlung (displacive transformation) für die Erscheinungsformen der Feldspäte in Larvikiten und Rhombenporphyren. *Z. Krist.* 107, 196–201.
- (1960): Al/Si-Verteilungen, Phasentransformationen und Namen der Alkalifeldspäte. *Z. Krist.* 113, 265–296.

- LAVES, F. und SOLDATOS, K. (1962): Über verzernte Mikroclin-Verzwilligung und über unsymmetrische Albitausscheidung in Kryptoperthit. *Z. Krist.* 117, 209–217.
- LJUNGNER, E. (1927): Spaltentektonik und Morphologie der schwedischen Skagerrak-Küste. *Bull. Geol. Inst. Upsala* 21.
- MACKENZIE, W. S. and SMITH, J. V. (1962): Single crystal X-ray studies of crypto- and micro-perthites. *Norsk Geol. Tidsskr.* 42/2 (feldspar volume), 72–103.
- MOUNTAIN, E. D. (1925): Potash-oligoclase from Mt. Erebus, Antarctic, and anorthoclase from Mt. Kenya, East Africa. *Min. Mag.* 20, 331–345.
- MÜGGE, O. (1881): Feldspath aus dem Rombenporphyr von Christiania. *Neues Jahrb. Min. Geol. Paleont.* 2.
- MUIR, I. D. and SMITH, J. V. (1956): Crystallization of feldspars in larvikites. *Z. Krist.* 107, 182–195.
- OFTEDAHL, C. (1944): High temperature optics in plagioclases of the Oslo region. *Norsk Geol. Tidsskr.* 24, 75–78.
- (1946): VI. On akerites, felsites and rhomb porphyries. *Studies etc.*, 51 pp.
- (1948): IX. The feldspars. *Studies etc.*, 71 pp.
- (1950): Note on „pseudo-monoclinic“ plagioclase. *J. Geol.* 58, 596–597.
- (1952): XII. The lavas. *Studies etc.*, 64 pp.
- (1960a): Permian rocks and structures of the Oslo region. In O. Høltedahl: *Geology of Norway. Norges Geol. Unders.* 208, 298–343.
- (1960b): Permian igneous rocks of the Oslo graben, Norway. *Internat. Geol. Congr. Norden 1960, XXI. Session*, 1–23.
- (1967): Magmen-Entstehung nach Lava-Stratigraphie im südlichen Oslo-Gebiete. *Geol. Rundschau* 57, 203–218.
- OGNIBEN, G. (1963/64): I plagioclasì del filone a chimismo leucotonalitico dello Scoglio di Seulo (Gadoni–Sardegna). *Mem. Accad. patav. Sc., Lett. e Arti, Cl. Sc. mat. nat.* 76, 129–162.
- ORVILLE, P. M. (1963): Alkali ion exchange between vapor and feldspar phases. *Amer. J. Sci.* 261, 201–237.
- (1967): Unit-cell parameters of the microcline – low albite and the sanidine – high albite solid solution series. *Amer. Min.* 52, 55–86.
- PARSONS, I. (1968): Homogeneity in feldspars. *Min. Mag.* 36, 797–804.
- PRIOR, G. T. (1903): Contributions to the petrology of British East Africa. *Min. Mag.* 13, 228–263.
- (1907): Report on the rock specimens. *National Antarctic Expedition 1901–1904, Natural History I*, 101–140.
- QUENSEL, P. (1918): Über ein Vorkommen von Rhombenporphyren in dem präkambri-schen Grundgebirge des Kebnekaisegebietes. *Bull. Geol. Inst. Upsala* 16, 1–14.
- ROSENBUSCH, H. (1885): *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine. Bd. I. Die petrographisch wichtigen Mineralien. Schweizerbarth'sche Verlagsbuch-handlung, Stuttgart*, 2. Aufl.
- SAETHER, E. (1962): XVIII. General investigation of the igneous rocks in the area north of Oslo. *Studies etc.*, 184 pp.
- SMITH, J. R. (1958): The optical properties of heated plagioclases. *Amer. Min.* 43, 1179–1194.
- SMITH, J. V. (1956): I. The soda-rich plagioclases. The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars. *Min. Mag.* 31, 47–68.
- SMITH, J. V. and MACKENZIE, W. S. (1958): IV. The cooling history of high-temperature sodium-rich feldspars. The alkali feldspars. *Amer. Min.* 43, 872–889.

- SMITH, J. V. and MUIR, I. D. (1958): The reaction sequence in larvikite feldspars. *Z. Krist.* **110**, 11–20.
- SMITH, W. C. (1954): The volcanic rocks of the Ross Archipelago. British Antarctic („Terra Nova“) Expedition, 1910, Natural History Report, Geology Vol. II, No. 1, 1–107.
- SPENCER, E. (1937): I. Thermal stability. The potash-soda feldspars. *Min. Mag.* **24**, 453–494.
- STERN, W. B. (1969): On the chemical composition of anorthoclase from Mt. Kibo/Kilimanjaro (Tanzania). *Contrib. Min. and Petrol.* **20**, 198–202.
- TÖRNEBOHM, A. E. (1875): I. Rhombporphyren vid Kristiania. *Mikroskopiska bergartsstudier. Geol. Fören. Förhandl.* **2**.
- WILCOCKSON, W. H. (1956): Preliminary notes on the geology of Kilimanjaro. *Geol. Mag.* **93**, 218–228.
- WRIGHT, T. L. (1968): II. An X-ray method for determining the composition and structural state from measurement of 2θ -values for three reflections. *Amer. Min.* **53**, 88–104.
- YODER, H. S., STEWART, D. B., SMITH, J. R. (1957): Ternary feldspars. *Carnegie Inst. Washington, Yearbook* **56**, 206–214.

Manuskript eingegangen am 27. Juli 1969.