

<b>Zeitschrift:</b>	Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
<b>Band:</b>	25 (1945)
<b>Heft:</b>	2
<b>Artikel:</b>	Kritischer Vergleich von simultan nach der Drehtisch- und der Immersions-Methode ausgeführten Anorithbestimmungen an Plagioklasen : Diskussion der beiden Methoden
<b>Autor:</b>	Wenk, E.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-21016">https://doi.org/10.5169/seals-21016</a>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# **Kritischer Vergleich von simultan nach der Dreh-tisch- und der Immersions-Methode ausgeführten Anorthitbestimmungen an Plagioklasen. Diskussion der beiden Methoden**

Von E. Wenk, Basel

## **INHALTSVERZEICHNIS**

	Seite
Einleitung . . . . .	349
Die zu vergleichenden Methoden . . . . .	350
Prinzip der beiden Methoden . . . . .	350
Benutzte Apparatur und Immersionen, praktische Erfahrungen . . . . .	356
Genauigkeit der beiden Methoden . . . . .	360
Anwendungsbereich der beiden Methoden . . . . .	364
Zeitaufwand . . . . .	364
Einfluss der Kalifeldspat-Komponente . . . . .	366
Zur Temperaturabhängigkeit der Optik der Plagioklase . . . . .	368
Die Messergebnisse . . . . .	371
Untersuchungsmaterial . . . . .	371
Diskussion der Messergebnisse . . . . .	374
Zusammenfassung . . . . .	379
Summary . . . . .	382

## **EINLEITUNG**

Die Plagioklase sind die verbreitetsten gesteinsbildenden Minerale und sie gehören überhaupt zu den wichtigsten Gemengteilen, da das Studium ihrer chemischen, physikalischen und morphologischen Eigenschaften dem Petrographen sehr wichtige Anhaltspunkte geben kann über die Zusammensetzung und Entstehung der Mutter-

gesteine. Die Kenntnis des Verhältnisses  $\frac{\text{An}}{\text{Ab} + \text{An}}$  dieser triklinen

Feldspate ist heute unbedingte Voraussetzung für eine genaue Gesteinsbestimmung; die Erfassung des meist untergeordneten Gehaltes an Or wäre in manchen Fällen sehr erwünscht. Abgesehen von dieser klassifikatorischen Vorbedingung ist ein genaueres Studium der Plagioklase sehr aufschlussreich für manche genetische Fragen. So registrieren z. B. zonar gebaute Plagioklase in ihrem Schalenbau die Veränderungen der bei ihrer Kristallisation herrschenden chemischen und physikalischen Bedingungen. Die Tatsache, dass Plagio-

klase von gleicher chemischer Zusammensetzung, aber ungleicher Bildungstemperatur, eine verschiedene Orientierung der Indikatrix aufweisen und unterschiedliche optische Achsenwinkel besitzen, wird wertvollen Aufschluss geben können über die Genese der Plagioklase und ihrer Muttergesteine, sobald diese Wechselbeziehungen einmal restlos abgeklärt sind.

Die zeitraubende chemische Analyse der Plagioklase kommt als petrographische Arbeitsmethode nur in den wenigsten Fällen in Betracht. Viel geeigneter zur Bestimmung des Anorthitgehaltes und anderer Merkmale der Plagioklase sind optische Methoden, welche sich die gesetzmässigen Beziehungen zwischen Chemismus und Optik zu Nutze machen. Die zwei am besten ausgebauten und am häufigsten angewandten optischen Methoden, die Drehtisch- und die Immersions-Methode, sollen in dieser Arbeit miteinander verglichen werden.

Die Prinzipien der beiden Methoden sind Ende des vergangenen Jahrhunderts begründet worden. Beide Methoden wurden in den letzten 20 Jahren stark ausgebaut, wozu auch die Konstruktion spezieller Instrumente beigetragen hat.

Die Messergebnisse der beiden Methoden sind bisher nie systematisch miteinander verglichen worden. Der Grund hiefür dürfte in der regionalen Beschränkung der beiden Methoden liegen: Die Drehtisch-Methode wird hauptsächlich auf unserm Kontinent, die Immersions-Methode aber in den angelsächsischen Ländern und in Japan zur Plagioklasbestimmung benutzt.

## DIE ZU VERGLEICHENDEN METHODEN

### Prinzip der beiden Methoden

#### Literatur (chronologisch geordnet)

##### *Fedorow-Methode (nur neuere Arbeiten):*

- L. DUPARC et M. REINHARD: La détermination des plagioclases dans les coupes minces. Soc. Phys. et Hist. Nat. Genève 40. 1. 1924.  
 M. BEREK: Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin 1924.  
 M. REINHARD: Universal-Drehtischmethoden. Basel 1931.  
 W. NIKITIN: Die Fedorow-Methode. Berlin 1936.

##### *Immersions-Methode:*

- J. L. C. SCHRÖDER VAN DER KOLK: Kurze Anleitung zur mikroskopischen Kristallbestimmung. Wiesbaden 1898.  
 — Tabellen zur mikroskopischen Bestimmung der Mineralien nach ihrem Brechungsindex. Wiesbaden 1906.

- H. L. MERWIN and E. S. LARSEN: Mixtures of amorphous sulphur and selenium as immersion media for the determination of high refractive indices with the microscope. Am. J. Sc. 34. 1912. 42.
- A. JOHANNSEN: Manual of petrographic methods. New York 1918.
- K. SPANGENBERG: Die Einbettungsmethode. Fortschr. Min. 7. 1922, 43.
- H. E. MERWIN and E. POSNJAK: The system  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ — $\text{SO}_3$ — $\text{H}_2\text{O}$ . J. Am. Chem. Soc. 44. 1922. 1965.
- S. TSUBOI: A dispersion method for determining plagioclases in cleavage flakes. Min. Mag. 20. 1923. 108.
- F. W. ASHTON and W. C. TAYLOR: A precision method for measuring temperatures of refractive index liquids on a crystal refractometer and on a microscope slide. Am. Min. 13. 1928. 411.
- R. C. EMMONS: The double dispersion method of mineral determination (preliminary paper). Am. Min. 13. 1928. 504.
- The double variation method of refractive index determination (second paper). Am. Min. 14. 1929. 414.
  - A set of thirty immersion media. Am. Min. 14. 1929. 482.
- M. J. BUERGER: The optical properties of ideal solution immersion liquids. Am. Min. 18. 1933. 325.
- R. D. BUTLER: Immersion liquids of intermediate refraction. (1. 450 — 1. 630). Am. Min. 18. 1933. 386.
- S. TSUBOI: A straight-line diagram for determining plagioclases by the dispersion method. Jap. J. Geol. 11. 1934. 325.
- F. C. CALKINS: Transfer of grains from one liquid to another. Am. Min. 19. 1934. 143.
- J. J. GLASS: Standardization of index liquids. Am. Min. 19. 1934. 459.
- F. C. PARTRIDGE: Methods of handling and determination of detrital grains and crushed rock fragments. Am. Min. 19. 1934. 482.
- E. S. LARSEN and H. BERMAN: The microscopic determination of nonopaque minerals. U. S. Geol. Survey Bull. 848. 1934.
- T. T. QUIRKE and W. C. LACY: Measurements of the indices of refraction in anisotropic media. Am. Min. 24. 1939. 705.
- V. L. BOSAZZA: Notes on refractive index liquids. Am. Min. 25. 1940. 299.
- V. A. VIOFUSSON: Equipment for the double variation method of refractive index determination. Am. Min. 25. 1940. 763.
- R. C. EVANS and N. F. M. HENRY: Note on the van der Kolk method of determining refractive indices. Min. Mag. 26. 1942. 267.
- T. VON WOLFF: Methodisches zur quantitativen Gesteins- und Mineral-Untersuchung mit Hilfe der Phasenanalyse. Min. Petr. Mitt. 54. 1942. 1.

Siehe auch:

- G. TUNNEL and G. W. MOREY: Some correct and some incorrect statements of elementary crystallographic theory and methods in current text books. Am. Min. 17. 1932. 365.

#### *Dispersion der Plagioklase:*

- S. TSUBOI: Optical dispersion of three intermediate plagioclases. Min. Mag. 20. 1925. 93.

- K. CHUDOBA: Die Dispersion der Plagioklase. Albit und Anorthit. Akad. Wiss. Wien. Math. Natw. Kl. Abt. 1. 134. 1925. 160.

Siehe auch: Fortschr. 11. 1927. 49.

A. N. WINCHELL: Dispersion of minerals. Am. Min. 14. 1929. 125.

E. LEISEN: Beitrag zur Kenntnis der Dispersion der Kalknatronfeldspate. Zeitschrift Krist. A. 89. 1934. 49.

Es ist eine grundlegende und in ihrer Auswertung sehr wichtige Erfahrung der Mineralogie, dass innerhalb der Mischkristallreihe Albit-Anorthit die kristallographischen Winkelbeziehungen und Achsenverhältnisse nur wenig variieren, die optischen Verhältnisse — die Grösse und die Lage der Indikatrix im Kristallgebäude — aber beträchtlich, und in gesetzmässiger Abhängigkeit vom Chemismus, ändern. Diese Beziehungen zwischen Chemismus und Optik sind bei den Plagioklasen recht genau untersucht worden, und sie sind besser bekannt als in irgend einer andern Mischkristallreihe. Dank diesen grundlegenden Untersuchungen ist es möglich, den Anorthitgehalt der Plagioklase auf optischem Wege zu bestimmen.

Nach der Drehtisch-Methode wird der Anorthitgehalt der Plagioklase auf Grund der Orientierung der Indikatrix im Kristallgebäude bestimmt. Die Hilfsmittel dieser Methode sind Mikroskop und Drehtisch; diese ermöglichen die gleichzeitige Einmessung der Raumlage der optischen Symmetrieeachsen und der kristallographischen Elemente (Spaltflächen, Zwillingsebenen und -achsen, Grenzflächen) der Plagioklase und anderer Mineralien in Dünnschliffen und Kornpräparaten. Als Nebenresultat kann auch der optische Achsenwinkel ermittelt werden, wodurch die relative Form der Indikatrix bestimmt wird. Diese elegante und leistungsfähige, oft auch nach ihrem Begründer E. S. FEDOROW benannte Methode ist durch verschiedene Forscher weiter entwickelt worden. Es sei an dieser Stelle auf die oben angeführten, übersichtlichen Darstellungen hingewiesen, die eine detaillierte Beschreibung der heute angewandten Methoden geben.

Für die Plagioklasbestimmung werden heute vorwiegend die Diagramme von REINHARD benutzt. Da diese Arbeitsweise sich in Europa eingebürgert hat, kann auf eine nähere Diskussion verzichtet werden. Es sei jedoch bemerkt, dass die Drehtisch-Methode das Verhältnis  $\frac{An}{Ab + An}$  bestimmen will unter bewusster Vernachlässigung eines allfälligen Or-Gehaltes.

Die Immersions-Methode erreicht das gleiche Ziel, nämlich den Rückschluss aus der Optik auf den Chemismus der Plagioklase durch die Bestimmung der Brechungsindizes. Ihre Hilfsmittel sind Mikroskop, ein Satz von Flüssigkeiten verschiedener Lichtbrechung und Refraktometer, manchmal kombiniert mit einem Mono-

chromator und einem Erhitzungsapparat. Diese Methode vergleicht die Brechungsindices von Pulverpräparaten der zu untersuchenden Mineralien mit der Lichtbrechung von Flüssigkeiten, die als Einbettungsmittel, Immersion, benutzt werden. Die Lichtbrechung der Immersion und der untersuchten Schwingungsrichtung im Kristall werden durch Verfolgen des Verlaufes der BECKE'schen Linien und durch Veränderung des Brechungsindex der Flüssigkeit zur Übereinstimmung gebracht. Darauf wird der Brechungsindex der Flüssigkeit auf dem Refraktometer gemessen. Es folgt also auf die relative eine exakte Bestimmung.

Eine grobe Bestimmung ist möglich durch sukzessives Einbetten des zu untersuchenden Kornes in nach ihrem Brechungsindex abgestufte Flüssigkeitsserien. Nach der Wahl der geeigneten, d. h. der dem Brechungsindex des Minerals am nächsten kommenden Immersion kann dann die Lichtbrechung des Mediums auf folgende Arten variiert werden:

1. Durch tropfenweises Hinzufügen von höher oder niedriger lichtbrechenden Flüssigkeiten, bis das Relief des eingebetteten Korns verschwindet. Da hiebei der Brechungsindex rückweise verändert wird, ist die Genauigkeit nicht gross ( $\pm 0,01$  bis  $0,003$ ). Es ist dies die normale Immersions-Methode.
2. Durch Veränderung der Wellenlänge des verwendeten Lichtes. Der Brechungsindex der Flüssigkeiten und der festen Körper nimmt zu mit abnehmender Wellenlänge des Lichtes, und diese chromatische Dispersion ist bei Flüssigkeiten in der Regel stärker als für feste Körper. Die Lichtbrechung mancher Flüssigkeiten ist im Violett um einige Einheiten in der 2. Dezimale höher als im Rot. Auf diesem Wege kann der Brechungsindex der Immersion kontinuierlich variiert und auf eine Genauigkeit von  $\pm 0,001$  bis  $0,0003$  bestimmt werden. Diese Dispersionsmethode ist 1912 von MERWIN und LARSEN vorgeschlagen und 1922 von MERWIN begründet worden.
3. Durch Veränderung der Temperatur der Flüssigkeit. Der Brechungsindex von Flüssigkeiten nimmt mit steigender Temperatur ab, und diese thermale Dispersion ist in vielen Immersionen sehr stark, während sie in Kriställen so gering ist, dass sie praktisch vernachlässigt werden kann.  $1^{\circ}$  Celsius Temperaturdifferenz verändert die Brechungsindices bestimmter Flüssigkeiten um 4—7 Einheiten in der 4. Dezimale. Auch auf diesem Wege kann bei geeigneter Apparatur die Lichtbrechung

der Immersion kontinuierlich verändert werden, und die Genauigkeit beträgt  $\pm 0,001$  bis  $0,0003$ . Diese Methode ist der unter 2. genannten Dispersionsmethode überlegen, hat aber den Nachteil, dass sie spezielle und kostspielige Apparaturen erfordert, die ihrer Verbreitung Grenzen setzen.

Von EMMONS wurde 1928 die sog. „double variation method“ oder „double dispersion method“ vorgeschlagen, die eine Kombination der unter 2. und 3. genannten Arbeitsweisen darstellt. Der grosse Vorteil dieser Methode liegt in ihrer grossen Leistungsfähigkeit. Mit Hilfe weniger Immersionen kann das grosse Intervall der Brechungsindices der Mineralien erfasst werden. Diese „double dispersion method“ ist die schnellste, allerdings unter der Voraussetzung, dass die finanziell anspruchsvolle Apparatur mit Mikroskop, Erhitzungs- und Zirkulationssystem, Refraktometer und Monochromator in einem eigens dafür reservierten Raum stets zum Gebrauch bereit stehe. Dies dürfte aber in den wenigsten Instituten möglich sein, und schon TUNELL und MOREY (Am. Min. 17. 1932. 372—373) haben mit Recht darauf hingewiesen, dass die meiste Bestimmungsarbeit nach der einfachen Immersions-Methode ausgeführt wird.

Was die Genauigkeit anbetrifft, würde die normale Immersions-Methode für die Plagioklasbestimmung genügen. Da aber die Plagioklase fast immer zonar gebaut sind, und Kern und Randzone des gleichen Kernes manchmal eine um 50 % an differierende Zusammensetzung haben, müssten bei Anwendung dieser nur scheinbar einfachen Arbeitsweise sehr viele Immersionen benutzt werden. Die Dispersions-Methoden sind viel leistungsfähiger und zeitsparender, indem durch Veränderung der Wellenlänge des Lichtes oder durch Variation der Temperatur ein grosser Anorthitbereich mit einer Immersion überspannt werden kann.

Die spezielle Anpassung der Immersions- resp. Dispersions-Methode von MERWIN für die Plagioklasbestimmung erfolgte 1923 durch TSUBOI. Die TSUBOI'sche Methode macht sich die zwei Tatsachen zu Nutzen, dass erstens Plagioklase ausgezeichnet spalten nach (001) und (010), während andere Spaltflächen selten sind, und dass zweitens die in Spaltstückchen nach (001) und (010) gefundenen Werte für  $n_a'$  fast übereinstimmen. Die Brechungsindices der Spaltstückchen von neun chemisch und optisch untersuchten Plagioklasen sind von TSUBOI berechnet und zur Konstruktion von Bestimmungs-Kurven benutzt worden. Wenn die Dispersion der Immersion und die Wellenlänge, bei welcher die Lichtbrechung von  $n_a'$  Plagioklas mit derjenigen der Immersion übereinstimmt, bekannt sind, kann

auf diesen Kurven der Anorthitgehalt abgelesen werden. 1934 hat TSUBOI ein identisches, jedoch geradliniges Diagramm publiziert, welches das HARTMANN'sche (Astrophys. Journ. 8. 1898. 218, sowie Z. f. Instrumentenkunde 37. 1917. 166) Dispersions-Netz benutzt. TSUBOI wiederholt dabei die wichtige Feststellung, dass Spaltblättchen irgendwelcher Lage zur Bestimmung von  $n_a'$  benutzt werden können, ohne dass die Resultate um mehr als  $\frac{1}{2}$  Prozent An differieren. Anorthitbestimmungen nach der Immersions-Methode erfolgen also nach den in den zitierten Arbeiten TSUBOI's (1923, 1934) enthaltenen Diagrammen.

Es ist prinzipiell wichtig, festzustellen, dass TSUBOI's Kurven, gleich wie diejenigen REINHARD's, auf dem Verhältnis  $\frac{\text{An}}{\text{Ab} + \text{An}}$  basieren, unter bewusster Vernachlässigung des Or-Gehaltes.

Von EMMONS ist 1929 eine Bestimmungs-Methode beschrieben worden, die nach der „double variation method“ auf dem Drehtisch arbeitet und damit die Orientierung von Optik und Morphologie und die Hauptbrechungsindices, sowie den optischen Achsenwinkel am gleichen Korn feststellen kann. Es ist eigenartig, dass diese überaus leistungsfähige Methode bis jetzt selten angewandt worden ist; offenbar scheitert sie oft an praktischen Gründen (Bewegung des in die Immersion eingebetteten Kernes während den Messungen am Drehstisch?).

Der hier unternommene Versuch, die Resultate von Anorthitbestimmungen nach der Drehtisch- und nach der Immersions-Methode zu vergleichen, könnte auf zwei Wegen erfolgen:

Es könnten erstens die Resultate der am gleichen Korn gemachten Bestimmungen miteinander verglichen werden. In diesem Falle müsste nach EMMONS mit der „double variation method“ auf dem Drehtisch gearbeitet werden. Es ist dies übrigens die Methode, nach der in Zukunft alle optischen Messungen an chemisch analysiertem Feldspatmaterial ausgeführt werden sollten. Dieses Vorgehen kam hier nicht in Betracht, da das nötige Instrumentarium nicht zur Verfügung stand.

Der zweite hier eingeschlagene Weg setzt sich zum Ziel, gewissermassen statistisch vorzugehen, und die an Plagioklasen des gleichen Handstückes (resp. Schleifsplitters) nach den beiden Methoden erzielten Messresultate miteinander zu vergleichen. Hierbei sind die beiden bis heute am häufigsten zur Plagioklasbestimmung benutzten Methoden anzuwenden. In dieser Arbeit werden deshalb die simultan nach der üblichen Drehtisch-Methode (Diagramme von

REINHARD) und nach der MERWIN'schen Immersions-Dispersions-Methode (Bestimmungskurven von TSUBOI) ausgeführten Anorthitbestimmungen miteinander verglichen. Dieser Weg scheint uns in gewissem Sinne aufschlussreicher zu sein; denn er kann Auskunft geben auf die Frage, ob bei petrographischer Routine-Arbeit gleiche Resultate erzielt werden und damit die Wahl der Methode keine Rolle spielt, oder ob die in einem Lande nach der Drehtisch-, im andern nach der Immersions-Methode ausgeführten Bestimmungen infolge irgendwelcher prinzipieller oder praktischer Umstände differieren. Bei diesem Vorgehen konnten manche praktische Erfahrungen über die beiden am häufigsten zur Anorthitbestimmung benutzten Methoden gesammelt werden.

### Benutzte Apparatur und Immersionen, praktische Erfahrungen

Für die Untersuchungen nach der Drehtisch-Methode wurde ein Leitz-Mikroskop mit aufsetzbarem Drehtisch (UT 4 Modell Leitz 1931) benutzt. Alle Messergebnisse wurden auf den neuen, verbesserten Kurven von REINHARD (siehe SPAENHAUER, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13. 1933. 356) interpretiert. Für Plagioklase aus Ergussgesteinen wurden auch die Tabellen von KÖHLER (siehe Seite 369) benutzt.

Für die Untersuchungen nach der Immersions- resp. Dispersions-Methode nach MERWIN wurde folgende Apparatur verwendet:

**Lichtquellen:** a) gewöhnliche Mikroskopierlampe zur ersten Durchsicht der Kornpräparate, für Untersuchungen im Konoskop (Prüfen der Schnittlage) und bisweilen auch zur Unterscheidung von  $n_a'$  und  $n_\gamma'$ .

b) Bogenlampe als Lichtquelle für den Monochromator (an Gleichstrom angeschlossen).

c) Na-Lampe zur Kontrolle des Monochromators und zur Bestimmung und Kontrolle der Brechungsindices der Immersionen vor und nach ihrer Verwendung.

Diese Lichtquellen waren so aufgestellt, dass sie je nach Bedarf, ohne Verrutschen der Apparatur, auf den Mikroskopspiegel, und von da aus entweder auf das Mikroskop-Präparat oder auf das Refraktometer gelenkt werden konnten. Die Lichtstärke war so gross, dass am Mikroskop stets gut abgeblendet werden konnte, und dass die Signale am Refraktometer auch im Blau noch deutlich waren.

**M i k r o s k o p - G l a s - M o n o c h r o m a t o r** Nr. 163 nach LINDLEY und FUESS, geeicht mit Hilfe der C-, D- und H-Linien, und jeweils kontrolliert mit der D-Linie.

**M i k r o s k o p:** Es wurde vorwiegend mit den Objektiven 3 und 5 und mit Okular 3 gearbeitet bei geeigneter Blendenstellung. Es wurde sowohl mit sog. schiefer, wie mit zentraler Beleuchtung gearbeitet.

**R e f r a k t o m e t e r:** älteres Modell von FUESS, geeicht mit ZEISS-schen Glasprismen. Die schärfsten Signale wurden bei schräg von unten her auf die Glaskugel fallendem Lichtstrahl erhalten.  $n_{Na}$  der Glaskugel war bekannt, nicht aber deren Dispersion. Letztere wurde zuerst aus dem Grenzwinkel gegen Luft bestimmt und konnte dann mit Hilfe eines genau orientierten Quarz-Präparates genau festgelegt werden. Die aus  $n_a$ - und  $n_Y$ -Quarz, jeweils in 0 und 180° Lage, erhaltenen Werte stimmten sehr gut überein (Genauigkeit  $\pm 0,0003$ ). Auf Grund dieser Bestimmungen wurde die Dispersionskurve der Glaskugel des Refraktometers gezeichnet, die dann für alle Umrechnungen ( $n = N \sin \varphi$ ) benutzt wurde.

**I m m e r s i o n s - M e d i a:** Als Immersions-Media werden von TSUBOI Mischungen von Nelkenöl ( $n = 1,533$ ) und Zimtöl ( $n = 1,603$ ) empfohlen, von amerikanischen Mineralogen aber Mischungen von Monochlornaphthalin ( $n = 1,631$ ) mit niedrig lichtbrechenden Petrol-derivaten.

Bei unseren gründlichen Vorversuchen konnte festgestellt werden, dass die zwei unten angeführten, reinen Flüssigkeiten sich dank ihrer starken Dispersion ebenfalls gut eignen für die Untersuchung von Plagioklasen:

	Wellenlänge	Lichtbrechung
Nitrobenzol ( $t = 18^\circ$ )	486	1,5684
	589	1,5504
	688	1,5420

geeignet zur Bestimmung von  $n_a'$  von Plagioklasen mit 28—66% An.

	Wellenlänge	Lichtbrechung
Orthotolidin ( $t = 18^\circ$ )	486	1,5836
	589	1,5688
	688	1,5609

geeignet zur Bestimmung von  $n_a'$  von Plagioklasen mit 62—100% An. Auch Anilin wurde zur Bestimmung basischer Plagioklase benutzt.

Diese zwei Flüssigkeiten genügen zur Bestimmung der intermediären und basischen Plagioklase, und sie wurden für die Mehrzahl der Messungen benutzt. Für saure Plagioklase sind als Ergän-

zung zu den genannten Immersionen Mischungen von Nelkenöl mit etwas Zimtöl zu empfehlen.

Ausser diesen Immersions-Media wurde ein entsprechend dem Vorschlag der amerikanischen Mineralogen herstellter und schon zur Verfügung stehender Satz von verschiedenen Mischungen von Monochlornaphthalin mit Maschinenöl verwendet. Die höher lichtbrechenden Mischungen dieser Serie sind gut geeignet für die Methode, die schwächer lichtbrechenden Glieder haben jedoch eine schwache Dispersion, und dadurch überdeckt jeweils eine Immersion einen nur kleinen Anorthitbereich. Ausserdem verändern sich solche Mischungen nach einiger Zeit infolge partiellen Verdampfens der einen Komponente. In unserem Falle war auch der Umstand hinderlich, dass die verwendeten Tropfflaschen mit Korkstopfen versehen waren, die sich dann durch das Tropfstäbchen vollsogen mit der ölichen Flüssigkeit, sodass die Mischungen im Laufe der Arbeiten ihren Brechungsindex veränderten. Es ist zu empfehlen, Tropfflaschen mit Glasstopfen zu verwenden, und generell reine Flüssigkeiten gemischten vorzuziehen.

**Temperatur einfluss:** Die Befürworter der Dispersions-Methode weisen darauf hin, dass die Dispersionskurven der Flüssigkeiten ein für allemal festgelegt werden könnten, und dass dann für eine Anorthitbestimmung lediglich diejenige Wellenlänge des Lichtes gesucht werden müsse, bei der  $n_{\alpha'}$  des Plagioklaskorns mit der Lichtbrechung der Immersion übereinstimme. Abgesehen vom partiellen Verdampfen der Mischungen können aber auch Temperaturschwankungen solche Messungen illusorisch machen:

Diesbezügliche Versuche wurden zu Beginn des Hochsommers (Juni) bei hohen Aussentemperaturen ausgeführt. Die Raumtemperatur in der nach Norden gelegenen Dunkelkammer konnte durch einen Ventilator verhältnismässig konstant gehalten werden (18—23°); Temperaturanstiege im unmittelbaren Bereich der benutzten Instrumente (Lichtquelle mit Widerstand als Wärmespender) waren jedoch unvermeidlich und praktisch unkontrollierbar. Bei mehrstündiger Untersuchung des gleichen Flüssigkeitstropfens auf dem Refraktometer wurden folgende Daten für Na-Licht erhalten:

#### Mischung 11 (Monochlornaphthalin und gereinigtes Maschinenöl)

18.6. 43.	Zeit	08.15	$n = 1,5446$	
		11.10	1,5429	Variationsbreite entspräche
		11.40	1,5425	bei Messung von $n_{\alpha'}$ einem
		12.00	1,5419	Intervall von 34—24 % An!
		14.48	1,5405	

## Mischung 12 (wie oben)

19. 6. 43.	Zeit	08.10	$n = 1,5477$
		09.20	1,5455
		10.40	1,5445
		11.15	1,5445
		14.45	1,5423

Intervall von 40—29 % An!

## Mischung 13 (wie oben)

18. 6. 43.	Zeit	15.08	$n = 1,5506$
		15.37	1,5495
		16.07	1,5495
		17.07	1,5480
23. 6. 43.	Zeit	10.54	$n = 1,5495$
		11.12	1,5493
		11.55	1,5490

Diese Daten zeigen durchwegs eine deutliche Abnahme des Brechungsindex der aus kühlen Flaschen stammenden und sich auf dem Refraktometer an der Luft erwärmenden Tropfen an. Verdunsten des leichter verdampfenden Monochlornaphthalins spielte wohl auch mit. Entsprechend diesen Erfahrungen wurden deshalb im Sommer stets gleiche Mengen Flüssigkeit auf den Objektträger und auf das Refraktometer gebracht, und nach jeder Messung mit Mikroskop und Monochromator wurde die Lichtbrechung der Immersion für die betreffende Wellenlänge des Lichtes am Refraktometer bestimmt. Dieses Verfahren ist sehr zeitraubend, bedeutend zeitraubender als Anorthitbestimmungen nach der Drehtisch-Methode. Analoge Kontrollversuche wurden bei besserer Anordnung der benutzten Instrumente im Winter durchgeführt und zeigten dann auch viel günstigere, gleichmässigere Resultate. Die Lichtbrechung des Nitrobenzols zum Beispiel variierte im Januar/Februar für Na-Licht nur um fünf Einheiten in der 4. Dezimale. Die wichtigsten Vorsichtsmassregeln können folgendermassen zusammengefasst werden:

1. Alle Instrumente und Flüssigkeiten sollen ständig, und zwar schon einige Zeit vor Beginn der Untersuchungen zum Temperaturausgleich im Arbeitsraum stehen. Als Arbeitsraum soll eine grosse und hohe Dunkelkammer gewählt werden. Die Raumtemperatur ist durch Lüften und Ventilieren zu regulieren. Im Winter kann sie am leichtesten konstant gehalten werden. Die ungünstigste Jahreszeit für Untersuchungen nach der Immersions-Methode ist zweifelsohne der Vorsommer und Beginn des Hochsummers wegen der relativ niedrigen Innen- und hohen Außen-Temperaturen.

2. Die Lichtquellen (Bogenlampe, Na-Lampe) sind gut abzuschirmen gegen die Instrumente hin. Die Widerstände sollen möglichst weit weg gebracht werden.
3. Reine Flüssigkeiten sind Mischungen vorzuziehen.
4. Auf Mikroskopisch und Refraktometer sollen gleiche Mengen der Immersions-Media verwendet werden.
5. Die Lichtbrechung der Immersion muss vor und nach der Messung bei Na-Licht kontrolliert werden.
6. Mit gleichem Kornpräparat und gleichem Flüssigkeitstropfen sollte nie länger als eine Stunde gearbeitet werden.

Beim Arbeiten nach der „double variation method“ würden die leidigen Vorsichtsmassnahmen gegen schlecht kontrollierbare Temperaturschwankungen wegfallen, und die Genauigkeit würde dadurch erhöht.

#### Genauigkeit der beiden Methoden

Voraussetzung für eine zuverlässige Anorthitbestimmung nach der Drehtisch-Methode ist die sorgfältige Justierung und Kontrolle der Apparatur, damit methodische Fehler möglichst vermieden werden. Auf dem Drehtisch werden die Winkel zwischen den optischen und morphologischen Bezugsrichtungen und der Dünnschliffebene gemessen und auf  $1^{\circ}$  genau abgelesen. Auf den Grad genau eingestellt werden können diese Winkel aber nur unter ganz günstigen Verhältnissen (klare, einheitliche Körner, scharfe Lamellen). Die effektive Messgenauigkeit, besonders der Polhöhen, beträgt meist  $\pm 1^{\circ}$ , bisweilen  $\pm 2-3^{\circ}$ . Glücklicherweise summieren sich die einzelnen Messfehler nur ganz ausnahmsweise. Es ist ja ein Vorzug der FEDOROW-Methode, dass die einzelnen, an einem Korn ausgeführten Messungen, z. B. der optischen Symmetriearchsen, oder zweier morphologischer Bezugsrichtungen, sich gegenseitig kontrollieren. Grobe Fehler beim Einstellen, beim Ablesen oder beim Projizieren und Transformieren fallen sofort auf und können nachgeprüft werden.

Da bei gleichem Anorthitintervall die Orientierung der Indikatrix in bezug auf das Kristallgebäude sich in sauren und intermediären Plagioklasen stärker ändert als in basischen, kann auch der Anorthitgehalt der sauren Plagioklase genauer bestimmt werden als derjenige der basischen. Ein Fehler von  $\pm 1^{\circ}$  kann bei sauren Plagioklasen einen Fehler von  $\pm 1\%$  An, bei basischen aber einen solchen von  $\pm 5\%$  bedeuten. Da zudem die zur Interpretation verwendeten Migrationskurven ihrem Verlauf und ihrer Gradierung nach noch un-

vollkommen sind, und da auch einige heute noch ungenügend erforschte Faktoren Abweichungen verursachen können, kann der Anorthitgehalt der Plagioklase nach der FEDOROW-Methode wohl nur auf  $\pm 5\%$  genau bestimmt werden; bei basischen Typen dürften die Fehler bisweilen wohl noch grösser sein.

Diese mehr theoretischen Erwägungen sollen uns aber nicht darüber täuschen, dass die genannten maximalen Fehler sich selten einstellen. Als Beleg hiefür seien sieben von CHUDOBA und ENGELS (K. CHUDOBA und A. ENGELS: Der Einfluss der Kalifeldspatkomponente auf die Optik der Plagioklase III. Zentralblatt 1937. A. 129) chemisch analysierte und optisch untersuchte Plagioklase angeführt, die in Tabelle I zusammengestellt sind.

Tabelle I

*Chemische Zusammensetzung und nach der Drehtisch-Methode bestimmter Anorthitgehalt einiger von K. CHUDOBA und A. ENGELS untersuchter Plagioklase*

Fundort	Chemische Zusammensetzung in %				Anorthitgehalt auf Grund der nach Reinhard interpretierten Drehtisch-Messungen
	Or	Ab	An	$\frac{An}{Ab + An}$	
Rischuna, Graubünden	1.83	96.94	1.23	1.3	4 %
Monteagle Township, Ontario	6.26	86.32	7.42	8	9 %
Monteagle Valley, Ontario	6.27	79.63	14.10	15	16 %
Nishishiadamura, Japan	5.89	58.77	35.34	37.5	38 %
Tamatave, Madagaskar	4.49	41.66	53.85	56	55 %
Crystal Bay, Minnesota	1.92	29.30	68.78	70	72 %
Vesuv	1.74	4.31	93.95	95.6	97 %

Diese Zahlen zeigen eindeutig, dass das Verhältnis  $\frac{An}{Ab + An}$  mit Hilfe der FEDOROW-Methode unter günstigen Verhältnissen sehr genau bestimmt werden kann ( $\pm 1$  bis  $2\%$  An).

Nach der Immersions- resp. Dispersions-Methode kann der Brechungsindex  $n_a'$  bei sorgfältiger Messung auf drei bis zehn Einheiten der 4. Dezimale genau bestimmt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Bestimmungskurven richtig sind und dass keine unbekannten Faktoren mitspielen, würde dies bedeuten, dass der Anorthitgehalt auf Bruchteile eines Prozentes, sicher aber auf  $\pm 1\%$  An genau bestimmt werden kann. Dank der recht gleich-

mässigen Zunahme der Lichtbrechung vom Albit zum Anorthit hin müssten Messungen an sauren und an basischen Plagioklasen gleich genau sein. Theoretisch sind somit alle Voraussetzungen für eine exakte Anorthitbestimmung gegeben: Die auf  $\pm 0,001$  genaue Messung von  $n_a$  ermöglichte eine auf  $\pm 1$  bis  $2\%$  genaue Ermittlung des Anorthitgehaltes. Praktisch sollte eine solche Genauigkeit auch bei Routine-Arbeit eingehalten werden können, sofern die durch die komplizierte Apparatur bedingten methodischen Fehler eliminiert resp. in kleinen Grenzen gehalten werden können. Dies setzt voraus: Genaue Eichung und Kontrolle des Monochromators, Fehlen eines sog. toten Ganges der Monochromator-Trommel, genaue Bestimmung der Dispersion der Glaskugel und des Instrumentenfehlers des Refraktometers, exakte Bestimmung der Dispersionskurve der Immersionen für die betreffenden Temperaturen; und verlangt: Messung der Wellenlänge, bei der die BECKE'sche Linie verschwindet, sowohl vom Rot als vom Violett her, Messungen am Refraktometer in 0 und  $180^\circ$  Lage etc.

Unser Beobachtungs-Journal zeigt, dass die Wellenlängen recht genau bestimmt werden können. Die Erfahrung liess erkennen, dass bei steil oder flach zu den Dispersions-Kurven der Plagioklase verlaufenden Dispersions-Kurven der Flüssigkeiten die Genauigkeit infolge einander kompensierender Faktoren praktisch gleich bleibt. Die grosse Unbekannte bleibt aber immer der Temperatureinfluss, und — bei längerem Arbeiten am gleichen Präparat — auch das partielle Verdampfen von gemischten Immersionen.

Wir haben versucht, die TSUBOI'schen Kurven anhand von 23 seit 1925 (Publikationsjahr der grundlegenden Arbeit von TSUBOI) veröffentlichten, chemisch und optisch untersuchten Plagioklasen zu prüfen und damit Anhaltspunkte zu bekommen über die Genauigkeit der Immersions-Methode. Die Daten sind in Tabelle II zusammengestellt und sie zeigen, dass die feststellbare, effektive Genauigkeit der Methode (Anorthitbestimmung aus  $n_a$ ,  $n_\beta$  und  $n_\gamma$ !) häufig  $\pm 2\%$ , bisweilen  $\pm 5$ — $6\%$  An beträgt. Ein Faktor, der bei diesen Differenzen mitspielen könnte (Or-Komponente), wird unten besprochen. Prinzipiell wichtig ist aber die Feststellung, dass nach dem vorhandenen, sich selbst kontrollierenden Material der Anorthitgehalt der Plagioklase nach der Immersions-Methode auf  $\pm 5\%$  genau bestimmt werden kann, wie das auch für die Drehtisch-Methode gilt. Das zur Konstruktion der Bestimmungskurven verwendete, grundlegende Daten-Material ist immer noch dürftig. Der von TSUBOI zur Kurvenkonstruktion verwendete Oligoklas von Sobothen, Steiermark, ( $13\%$

Tabelle II. Neuere Daten über chemische Zusammensetzung und Lichtbrechung von Plagioklasen

	Or	Ab	An	nα	nβ	nγ	An Ab + An n. chem. Analysē	An aus nα	An aus nβ	An aus nγ	Differenz zwischen optischen und che- mischen Daten für		
								nα	nβ	nγ			
1	0.59	99.12	0.29	1.529	1.533	1.538	0.3	2	2	0	+ 2	+ 2	0
2	1.8	96.95	1.25	1.5292	1.5334	1.5396	1.3	2	3	3	+ 1	+ 2	+ 2
3	3	95	2	1.5284	1.5326	1.5393	2.2	1	1	2	- 1	- 1	0
4	0.57	96.91	2.52	1.530	1.534	1.540	2.5	4.5	4.5	4.5	+ 2	+ 2	+ 2
5	3.99	90.31	5.70	1.531	1.535	1.541	5.9	7	7	8	+ 1	+ 1	+ 2
6	1.70	90.66	7.64	1.532	1.536	1.543	7.8	9.5	10	14	+ 1.5	+ 2	+ 6
7	7.3	81.6	11.1	1.535	1.540	1.544	12.0	15	16.5	16	+ 3	+ 4.5	+ 4
8	3.94	82.81	13.25	1.534	1.538	1.544	13.8	14	14	16	0	0	+ 2
9	3.6	75.5	20.9	1.5365	1.5408	1.5456	21.7	17	17.5	19	- 4.5	- 4	- 2.5
10	5.25	69.82	24.93	1.541	1.547	1.549	26.3	25.5	31	26	- 1	+ 5	0
11	4.56	64.88	29.8	1.5445	1.5486	1.5520	31.5	34	35	34	+ 2.5	+ 3.5	+ 2.5
12	3.25	57.78	38.97	1.5444	—	1.5522	40.3	34	—	34	- 6	—	- 6
13	0.56	45.94	53.5	1.555	1.560	1.564	53.8	51.5	55	53.5	- 2	+ 1	0
14	4.25	41.5	54.25	1.5552	1.5587	1.5630	56.6	52	52.5	52	- 4.5	- 4	- 4.5
15	2.4	42.7	54.9	1.5543	1.5573	1.5621	56.1	50.5	50.5	50.5	- 5.5	- 5.5	- 5.5
16	0.58	36.60	62.82	1.560	1.565	1.570	63.2	61.5	64	64	- 1.5	+ 1	+ 1
17	0.17	23.60	76.23	1.568	1.573	1.578	76.4	80.5	78.5	78	+ 4	+ 2	+ 1.5
18	1.74	11.90	86.36	1.5695	1.574	1.581	87.9	84	80.5	84	- 4	- 7.5	- 4
19	0.43	9.78	86.38	1.571	1.578	1.583	89.8	88	88	87.5	- 2	- 2	- 2.5
20	—	9.4	90.6	1.571	—	1.584	90.6	88	—	89	- 2.5	—	- 1.5
21	0.56	5.80	93.64	1.574	1.582	1.586	94.2	95	95	93	+ 1	+ 1	- 1
22	1.9	3.7	94.4	1.5749	1.5830	1.5883	96.2	98	97	97	+ 2	+ 1	+ 1
23	—	2.1	97.9	1.576	1.584	1.588	97.9	100	99	96.5	+ 2	+ 1	- 1.5

## Fundort

- 1 Silver Leaf Mine, Manitoba  
 2 Rischuna, Graubünden  
 3 Inschitobel, Amsteg, Uri  
 4 Amelia Courthouse, Virginia  
 5 Monteagle Township, Ontario  
 6 Villeneuve, Quebec  
 7 Lieserschlucht, Spittal, Drau  
 8 Monteagle Valley, Ontario  
 9 Spruce Pine, N-Carolina  
 10 Mohalno, W-Mähren  
 11 Bodenmais  
 12 Nová Nes, W-Mähren  
 13 Hawk's Harbour, Labrador  
 14 Tamatave, Madagaskar  
 15 Quebec  
 16 Millard County, Utah  
 17 Crystal Bay, Minnesota  
 18 Bönskär, Schweden  
 19 Meteorit, North-Carolina  
 20 Mti della Ciacca, Aetna  
 21 Pala Mountain, California  
 22 Vesuv  
 23 Wadaki, Idu, Japan

## Literatur

- V. B. MEEN, Univ. Toronto Studies Geol. Ser. 35. 1933. 37—45.  
 K. CHUDOBA, Sitz.ber. Ak. Wiss. Wien. 134. 1925. 159  
 L. DUPARC u. M. GYSIN, Schweiz. Min. Petr. Mitt. 6. 1926. 255  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 H. HERITSCH, Z. Krist. A. 86. 1933. 253  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 L. DUPARC u. M. GYSIN, loc. cit.  
 V. ROSICKÝ u. J. KOKTA, Sborník Přírodověd Mor. Ostravy, 1931. 97  
 E. ERNST, Sitz.ber. Heidelberg. Ak. Wiss. 5. 1926  
 V. ROSICKÝ und J. KOKTA, loc. cit.  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 K. CHUDOBA u. J. JAKOB, Zentralblatt A. 1933. 1  
 L. DUPARC u. M. GYSIN, loc. cit.  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 V. B. MEEN, loc. cit.  
 P. LUNDEGÅRDH, Bull. Geol. Inst. Upsala, 28. 1941. 415  
 E. P. HENDERSON, Am. Min. 21. 1936. 215  
 F. STELLA STARABBA, Boll. Ac. Sc. Nat. Catania 57  
 F. S. MILLER, Am. Min. 20. 1935. 139  
 K. CHUDOBA, Sitz.ber. Ak. Wiss. Wien. 134. 1925. 159  
 S. TSUBOI, Jap. J. Geol. Geogr. 12. 1935. 109

An) fällt, verglichen mit neuem Material, stark aus der Reihe (entweder zu hoher Anorthitgehalt oder zu niedrige Lichtbrechung). Nicht zu übersehen ist auch, dass weitaus die meisten Plagioklase zonar sind, sodass eine optische Messung nur in den seltensten Fällen den durchschnittlichen Anorthitgehalt anzugeben vermag, der aus der chemischen Analyse hervorgeht.

#### A n w e n d u n g s b e r e i c h d e r b e i d e n M e t h o d e n

Die im Laufe dieser Arbeit gesammelte Erfahrung lässt erkennen, dass die beiden diskutierten Methoden nicht immer simultan angewandt werden können.

Die Drehtisch-Methode scheidet aus, wenn die Plagioklase keine morphologischen Bezugsrichtungen (Spaltrisse, Zwillingsebenen) aufweisen, wie das bei Grundmasse-Feldspaten oft der Fall ist, aber auch bei Plagioklasen kristalliner Schiefer festgestellt werden kann. Die Immersions-Methode gestattet Anorthitbestimmungen auch in solchen Fällen. Wenn die Plagioklase stark bestäubt sind oder viele Einschlüsse enthalten, so wird jedoch die Einstellung der BECKE'schen Linien durch das irritierende, vom Wirtmineral abweichende Verhalten dieser Partikel erschwert oder verunmöglicht, und damit scheidet die Immersions-Methode aus; Untersuchungen nach der Drehtisch-Methode werden aber durch solche Bestäubung kaum beeinträchtigt. Bei der Auslese des Untersuchungsmaterials zu dieser Studie zeigte sich, dass schon geringe „Füllung“ der Feldspate die Anwendung der Immersions-Methode ausschliesst, und dass vor allem die Plagioklase vieler alpiner kristalliner Schiefer und solche aus Tiefengesteinen des Schwarzwaldes und der Vogesen sich schlecht eignen für Untersuchungen nach der Immersions-Methode. Die Immersions-Methode liefert ungenaue Resultate, wenn die Plagioklastkörper schlecht spalten; dies war bei probeweise untersuchten Plagioklasen penninischer und ostalpiner kristalliner Schiefer oft der Fall.

#### Z e i t a u f w a n d

Bei der exakten Untersuchung von Plagioklasen darf der Zeitaufwand keine Rolle spielen. Solange es sich aber nur darum handelt, den Anorthitgehalt von Plagioklasen für die Gesteinsbestimmung zu ermitteln, darf und muss der auf die Anorthitbestimmung verwendete Zeitaufwand beachtet werden.

Es ist ein verbreitetes Vorurteil gegen die Drehtisch-Methode, dass sie viel Zeit beansprucht, und dass die Immersions-Methode viel

rascher und speditiver arbeite. Wir sind von diesem Vorurteil durch diese vergleichenden Untersuchungen durchaus geheilt worden, müssen aber zu den folgenden Ausführungen den Vorbehalt machen, dass das Erlernen der Technik der Drehtisch-Methode erheblich mehr Zeit und Konzentration erfordert als das Eindringen in die Immersions-Methode.

Dünnschliff und Drehtisch sind rasch auf dem Mikroskop montiert und zentriert (ca. 10 Minuten), und damit können Untersuchungen nach der Drehtisch-Methode beginnen. Die Apparatur für die Immersions- resp. Dispersions-Methode ist bedeutend komplizierter, verlangt mehr Zeit zu ihrer Aufstellung und muss ständig kontrolliert werden. Es sei hier erwähnt, dass wir allein auf die Vorarbeiten zu den Untersuchungen nach der Immersions-Methode vier Wochen verwendet haben (Aufstellung der Apparatur, Eichung des Monochromators und des Refraktometers, Bestimmung der Dispersion der Glaskugel des Refraktometers, Auswahl und Kontrolle der Immersionen, Bestimmung der Dispersion der Flüssigkeiten, Beurteilung des Temperatur-Einflusses und des partiellen Verdampfens etc.). Wenn die benötigte Apparatur einmal aufgestellt ist, müssen erst Pulverpräparate hergestellt und ausgesiebt werden. Dann muss die für den betreffenden Anorthitbereich geeignete Immersion gesucht werden, eine Arbeit, die Zeit beansprucht, wenn die Variation der Zusammensetzung nicht schon durch andere Untersuchungen (FEDOROW-Methode) bekannt ist. All dies sind Vorbereitungsmassnahmen, die ausgeführt werden müssen, bevor die eigentliche Untersuchung beginnen kann, die dann allerdings — bei günstigem Material — wenig Zeit beansprucht. Zeitraubend ist aber wieder die Messung und Konstruktion der Dispersionskurve resp. -geraden der Immersion im bestimmten Zeitpunkt. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang auch, dass der Vergleich der Lichtbrechung von Mineral und Immersion in verschiedenfarbigem Licht das Auge stark ermüdet. Einstellungen im Rot sind irritierend; am angenehmsten sind Messungen im Gelb bis Grün.

Die Immersions-Methode bietet unseres Erachtens jedoch dann Vorteile gegenüber der Drehtisch-Methode, wenn ganze Untersuchungsreihen zu behandeln sind.

In Pulverpräparaten von grösseren, zonaren Plagioklasen (z. B. aus Ergussgesteinen) kann die Aufeinanderfolge der Zonen (Kern-Rand) oft nicht rekonstruiert werden. Es ist überhaupt ein Nachteil von Untersuchungen nach der Immersions-Methode, dass der räumliche Zusammenhang meist fehlt oder doch nur mühsam rekonstruiert

werden kann, während bei Untersuchungen am Dünnschliff diese Beziehungen (Kern-Zone, Einsprengling-Grundmasse) mit einem Blick zu übersehen sind und die einzelnen Mineralarten (Quarz, Alkalifeldspat, Plagioklas) auch leichter auseinander zu halten sind. Soweit monominerale Präparate von einheitlichen Plagioklasen (Beispiele: Albit-Rischuna, Oligoklas-Schweden, Labrador aus Anorthosit S. 47 etc.) zu untersuchen sind, fallen diese Nachteile dahin. In solchen Fällen kann nach der Immersions-Methode rasch und zuverlässig gearbeitet werden.

Abschliessend sei festgehalten, dass bei petrographischer Routine-Arbeit Anorthitbestimmungen nach der Immersions-Methode im allgemeinen nicht weniger Zeit beanspruchen als solche nach der Drehtisch-Methode, sofern Dünnschliffe vorhanden sind. Für spezielle Plagioklasstudien (Zonarbau etc.) bietet die Immersions-Methode keine Vorteile gegenüber der FEDOROW-Methode, da sie — ohne Zeitgewinn — zu wenig leistungsfähig ist. Ihre Ergebnisse ergänzen aber die Daten der letzteren.

Diese Ausführungen gelten für die Dispersions-Methode nach MERWIN-TSUBOI. Dass die gewöhnliche Immersions-Methode bei der Untersuchung zonarer Plagioklase wegen des notwendigen sukzessiven Eintauchens in verschiedene Flüssigkeiten noch zeitraubender ist, dürfte aus dem früher Gesagten hervorgehen.

### Einfluss der Kalifeldspat-Komponente Literatur

- K. CHUDOBA und A. ENGELS: Der Einfluss der Kalifeldspatk Komponente auf die Optik der Plagioklase II und III. Zentralblatt f. Min. 1937. A. 103 und 129.  
A. ENGELS: Chemismus und optische Orientierung kalifeldspathhaltiger Plagioklase. Diss. Bonn. 1937.

CHUDOBA und ENGELS haben einen sehr wertvollen Beitrag geliefert zur Abklärung der Frage nach dem Einfluss der Kalifeldspat-Komponente auf die Orientierung der Indikatrix der Plagioklase. Sieben 2—6 % Kalifeldspat führende Plagioklase sind chemisch analysiert und optisch untersucht worden. Die Daten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

CHUDOBA berechnet aus der chemischen Analyse die Verhältnisse  $\frac{An}{An + Ab + Or}$  und  $\frac{An + Or}{An + Ab + Or}$  und vergleicht diese mit den Anorthitwerten, welche die auf den Stereogrammen REINHARD's interpretierten, optischen Messungen liefern. Die Projektionspunkte der optischen Vektoren liegen auf den Migrationskurven REINHARD's, lie-

fern aber andere Anorthitwerte als die von CHUDOBA aus den Analysen berechneten. Das Vorgehen CHUDOBA's ist indessen falsch, da er nicht berücksichtigt, dass diese Migrationskurven das Verhältnis  $\frac{An}{An + Ab}$  angeben wollen, Die aus den Analysen berechneten Werte für  $\frac{An}{An + Ab}$  stimmen, wie Tabelle I zeigt, ausgezeichnet mit den auf optischem Wege mit Hilfe der Diagramme REINHARD's ermittelten Daten überein. Diese Untersuchungsergebnisse würden somit zeigen, dass die Beimengung von Or-Molekülen die Lage der Indikatrix im Kristallgebäude der Plagioklase nicht erkennbar verändert. Hiezu ist allerdings einschränkend beizufügen, dass die von CHUDOBA und ENGELS studierten Plagioklase z. T. ähnliche Or-Gehalte haben wie die von REINHARD zur Kurvenkonstruktion benutzten.

Der Frage nach dem Einfluss der Kalifeldspatkomponente auf die Hauptbrechungsindices der Plagioklase kommt grosse Wichtigkeit zu. Auch diese Frage soll durch den Vergleich von chemisch und optisch am gleichen Material genau untersuchten Plagioklasen etwas abgeklärt werden. In Tabelle II sind Chemismus und Brechungsindices von 23 in neuerer Zeit untersuchten Plagioklasen zusammengestellt. In Fig. 1 sind die Brechungsindices dieser Plagioklase mit den TSUBOI'schen Originaldaten für  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$  und  $n_\gamma$  (nicht  $n'_\alpha$ ,  $n'_\gamma$ !) verglichen. Das genaue Studium dieser Tabelle und Figur zeigt, dass die TSUBOI'schen Kurven auf Grund der neuen Daten nur geringfügig geändert werden müssten, und dass sich daraus kein genereller Einfluss der Or-Komponente auf die Grösse der Indikatrix der Plagioklase ableiten lässt. Die unterhalb der nach TSUBOI's Werten konstruierten Kurven fallenden Punkte für  $n_\alpha$  und  $n_\gamma$  betreffen zwar zum grösseren Teil Plagioklase mit  $2\frac{1}{2}$  bis 7 % Or. Aber es muss auch auffallen, dass einige Neubestimmungen mit höherer Lichtbrechung, als sie die TSUBOI'schen Kurven verlangen, ebenfalls beträchtliche Mengen von Or enthalten. Die in Tabelle II enthaltenen Daten sind von unterschiedlicher Güte. Es fehlen gute Bestimmungen an den offenbar nicht unseltenen Plagioklasen mit 7 bis 10 % An.

Die obigen Ausführungen beziehen sich auf Plagioklase mit 0 bis 7 % Or; eine derartige Beimischung resp. Einlagerung im Gitter der Plagioklase scheint die Grösse der Indikatrix nicht messbar zu beeinflussen. Bei einer Beimischung von mehr als 10 % Or ist dies jedoch unbedingt der Fall. Es sei hier nur auf die durch MOUNTAIN (Am. Min. 20. 1925. 331) untersuchten kalireichen Oligoklase (Or 18, Ab 64, An 18) des Erebus (Antarktis) hingewiesen, deren

Brechungsindices niedriger sind als diejenigen von Albit, und die sich somit nicht in die Plagioklaskurven einreihen lassen. Es sei an dieser Stelle nur nebenbei erwähnt, dass diese Plagioklase auch sehr grosse (um  $n_y$  gemessene) optische Achsenwinkel aufweisen. Leider ist das grundlegende Datenmaterial noch zu spärlich, um die Frage nach dem Einfluss der Kalifeldspat-Komponente auf die Lichtbrechung und auf den optischen Achsenwinkel der Plagioklase abklären zu können.

### Zur Temperaturabhängigkeit der Optik der Plagioklase

#### Literatur (chronologisch geordnet)

- T. F. W. BARTH: Permanent changes in the optical orientation of feldspars exposed to heat. Norsk Geol. Tidsskrift. 12. 1931. 57.
- H. SCHUHMANN: Lagebestimmung der Optik eines norwegischen Labradors mittels der Drehtischmethode nach Fedorow. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 11. 1931. 231.
- F. HOMMA: Über das Ergebnis von Messungen an zonaren Plagioklasen aus Andesiten mit Hilfe des Universaldrehtisches. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12. 1932. 345.
- G. PALIUC: Untersuchungen der Plagioklase einiger tertiärer Ergussgesteine Siebenbürgens mittelst der Universaldrehtischmethode. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12. 1932. 423.
- E. WENK: Statistische Drehtischuntersuchungen an Plagioklasen rumänischer Ergussgesteine. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13. 1933. 205.
- F. SPAENHAUER: Über das Ergebnis von Messungen an synthetischen Plagioklasen mit Hilfe des Universaldrehtisches. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13. 1933. 356.
- D. BELIANKIN: Albite from Druzhnaya Gorka works having a small angle of optical axes. Comptes Rendus Ac. Sc. U. R. S. S. 1934. 653.
- C. T. BARBER: The Tertiary igneous rocks of the Pakokku District and the Salingyi Township of the Lower Chindwin District, Burma, with special reference to the determination of the felspars by the Fedoroff method. Mem. Geol. Survey India. 68. 2. 1936. 121.  
— The effects of heat on the optical orientation of plagioclase felspars. Min. Mag. 26. 1936. 343.
- W. LARSSON: Petrology of interglacial volcanics from the Andes of northern Patagonia. Bull. Geol. Inst. Upsala. 28. 1940. 91.
- A. KÖHLER: Die Abhängigkeit der Plagioklasoptik vom vorangegangenen Wärmeverhalten. (Die Existenz einer Hoch- und Tieftemperaturopunkt.) Min. Petr. Mitt. 53. 1942. 25.
- H. TERTSCH: Die optische Orientierung des Hochtemperatur-Anorthites. Min. Petr. Mitt. 53. 1942. 50.
- A. KÖHLER: Drehtischmessungen an Plagioklaszwillingen von Tief- und Hochtemperaturopunkt. Min. Petr. Mitt. 53. 1942. 159.
- H. SCHOLLER: Versuche zur Temperaturabhängigkeit der Plagioklasoptik. Min. Petr. Mitt. 53. 1942. 180.
- H. TERTSCH: Zur Hochtemperaturopunkt basischer Plagioklase. Min. Petr. Mitt. 54. 1942. 193.

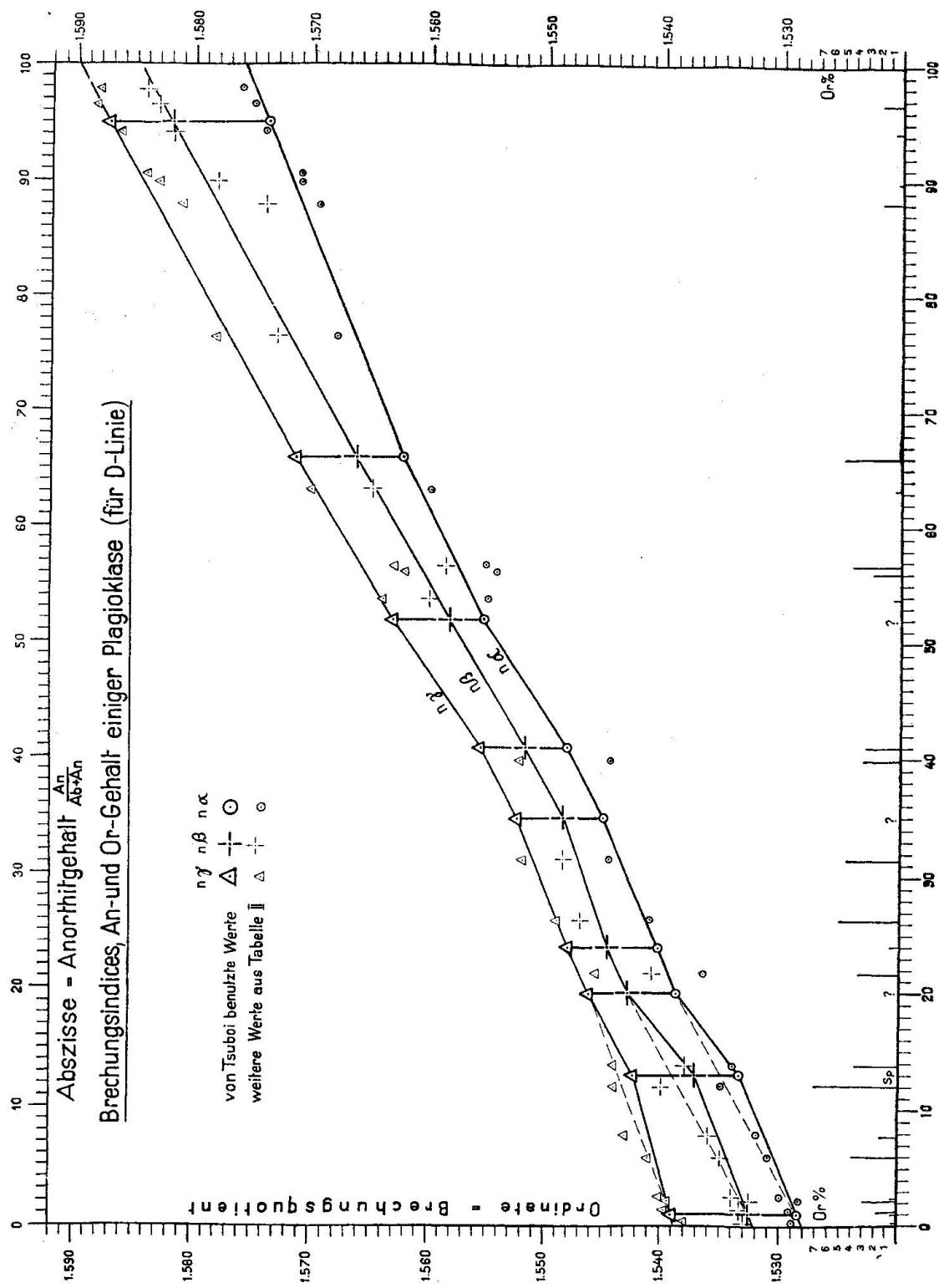


Fig. 1. Brechungsindices, An- und Or-Gehalt einiger Plagioklase. Vergleich des von Tsuboi zur Kurvenkonstruktion benutzten Datenmaterials mit einigen neueren Bestimmungen.

Im Laufe der letzten 15 Jahre ist von verschiedenen Autoren beobachtet worden, dass die Indikatrix der Ergussgestein-Plagioklase und synthetischer Plagioklase eine andere Orientierung aufweist, als man sie bei den aus Tiefengesteinen, kristallinen Schiefern und Kluftbildungen stammenden Feldspaten gleicher chemischer Zusammensetzung festgestellt und als normale Plagioklas-Optik angesehen hatte. Im gleichen Zeitraum ist zunächst durch die nicht ganz schlüssigen Versuche von BARTH und BARBER und dann hauptsächlich durch KÖHLER und dessen Mitarbeiter experimentell konstatiert worden, dass die Orientierung der Indikatrix und die optischen Achsenwinkel sich z. T. deutlich ändern beim Temperiern von Plagioklasen mit normaler Ausgangsoptik. Ob auch die Brechungsindizes sich dabei ändern, ist unseres Wissens bisher experimentell nicht geprüft worden.

KÖHLER und seine Mitarbeiter haben spezielle Kurven konstruiert für die Bestimmung von hochtemperierte, rasch abgekühlten Plagioklasen. Diese Bestimmungskurven haben im bisher untersuchten Anorthitbereich von 35—100 % einen andern Verlauf als diejenigen für die Tieftemperatur-Plagioklase; sie schneiden aber die letzteren bei 70—80 % An. Der Gedanke, dass zwei scharf trennbare Orientierungen der Indikatricen in bezug auf das Kristallgebäude vorliegen, dürfte wohl etwas zu starr sein, da die Temperungsversuche ja zeigen, dass mit zunehmender Temperatur und Erhitzungsdauer sich die Optik sukzessive ändert, und dass offenbar Übergänge vorhanden sind. Statistische Zusammenstellungen von viel Plagioklas-Material aus Tiefen- und Ergussgesteinen lassen jedenfalls in der bekannten Projektion senkrecht zu  $n\beta$  — auch wenn die Zwillings-Symmetrieebenen anstelle der Verwachsungsflächen benutzt werden — lediglich Streubänder erkennen, die keine randlichen Häufungen im Sinne von Tief- und Hochtemperaturkurven aufweisen.

Bei den hier unternommenen Untersuchungen ist aufgefallen, dass ausgezeichnet einmessbare, klare Andesine, Labadore und Bytownite aus Tiefengesteinen Nord-Borneos ebenfalls jene Lage der Indikatrix aufweisen, die charakteristisch sein soll für die Hochtemperaturpolitik. Dieses Material soll später weiter ausgenutzt werden. Daneben konnte aus einem Diagramm, in dem in bekannter Weise der am Drehtisch bestimmte optische Achsenwinkel dem aus der Orientierung der Indikatrix des gleichen Kornes ermittelten Anorthitgehalt gegenübergestellt wurde, abgelesen werden, dass die verschiedenen Plagioklase ein-und-dieselben Dünnschliffes, und auch die Plagioklase des gleichen geologischen Gesteinsvorkommens in sich recht einheitliche, wenig streuende Kurvenbänder besetzen. Hingegen

haben in diesem Diagramm die Mittelkurven der Plagioklase aus Ergussgesteinen, aus Tiefengesteinen und auch diejenigen aus kristallinen Schiefern in manchen Anorthitbereichen jeweils einen deutlich verschiedenen Verlauf. Sehr scharf ist die Grenze zwischen Plagioklasen aus kristallinen Schiefern und solchen aus Tiefengesteinen im Anorthitbereich von 30—45 %. Bei 50—60 % An überschneiden sich die Erguss- und Tiefengesteinskurven. Die Indikatrix von Plagioklasen gleicher chemischer Zusammensetzung, jedoch ungleicher Genese hat sicher eine veränderliche, von der Bildungstemperatur abhängige Form. Daneben spielt in der genannten Darstellung jedoch auch die Veränderung der Orientierung der Indikatrix eine Rolle, welche zur Folge hat, dass der Anorthitgehalt von hochtemperierte Plagioklasen nach der üblichen FEDOROW-Methode in gewissen Bereichen als zu hoch bestimmt wird. Dadurch werden die Achsenwinkelkurven der Ergussgestein-Plagioklase gewissermassen um Bruchteile einer „Wellenlänge“ gegen das Anorthitende zu verschoben. Diese Frage, wie auch diejenige nach dem Verhalten der Brechungsquotienten beim Tempern sollten experimentell näher geprüft werden. Es scheint uns der optische Achsenwinkel der Feldspate, trotz seiner heiklen Einmessung auf dem Drehtisch, doch eine charakteristische, empfindlich auf Temperaturverhältnisse reagierende Grösse zu sein. BELJANKIN hat dies schon 1934 bei der Untersuchung eines synthetischen Albites mit abnormalem optischem Achsenwinkel vermutet.

All diese Fragen können wohl erst als gelöst betrachtet werden, wenn auch die feinstrukturellen Veränderungen bekannt sind.

Es ist zu künftigen experimentellen Untersuchungen über die Veränderung der Grösse der Indikatrix beim Tempern von Plagioklasen noch grundsätzlich zu erwähnen, dass scharf getrennt werden muss zwischen der Frage, ob sich  $n_\alpha$ ,  $n_\beta$  und  $n_\gamma$  verändern und der ganz andern Frage, ob die in Spaltblättchen gefundenen Werte für  $n'_\alpha$  und  $n'_\gamma$  variieren. Wenn die Grösse der Indikatrix konstant bleibt, ihre Orientierung aber migriert in bezug auf das Kristallgebäude, so ändern sich selbstverständlich auch  $n'_\alpha$  und  $n'_\gamma$ .

#### DIE MESSERGEBNISSE

##### Das Untersuchungsmaterial

Es ist schon erwähnt worden, dass sericitisierte, saussuritisierte und kaolinisierte oder primär „gefüllte“ Feldspate ungeeignet sind für Untersuchungen nach der Immersions-Methode. Geeignete, klare Plagioklase wurden aus verschiedenen Gesteinsserien ausgewählt.

Aus Britisch Nord Borneo stammen die meisten untersuchten Tiefen-, Gang- und Ergussgesteinssplagioklase (B. R. 22, 24, 68, 110, 124; B. W. 5, 6, 12, 13, 14, 32, 66; Nh. 105, 411, 423, 424, 470). Dieses Material war sehr günstig für simultane Untersuchungen nach der Immersions-Methode und der FEDOROW-Methode. Ausserdem

Tabelle III  
*Verzeichnis des Untersuchungsmaterials (Numerierung nach Sammlungsnummern) und summarische Zusammenstellung der simultan nach der Drehtisch- und der Immersions-Methode ausgeführten Anorthitbestimmungen*

Nr.	Gestein resp. Mineral	Fundort	Anorthitbereich	
			D. M.	I. M.
<i>Tiefengesteins-Plagioklase:</i>				
8	Oligoklas	Schweden	15—20	17—19
B. W. 6	Hbl.-Mikro-Granodiorit	S. Sinoa, N-Borneo	28—42	25—44
B. W. 5	Hbl.-Mikro-Granodiorit	S. Sinoa, N-Borneo	32—50	33—43
Nh. 411	Hbl.-Quarzmonzonit	Kinabalu, N-Borneo	20—55	31—47
B. W. 66	Hbl.-Granodiorit	Kinabalu, N-Borneo	18—80	33—60
S. 47	Anorthosit	Nordingra, Schweden	43—62	50—55
12 A	Labrador-Bytownit	Närödal, Norwegen	62—70	61—66
B. W. 12	serp. Olivin-Gabbro	S. Imbok, N-Borneo	65—80	48—61
B. W. 13	serp. Olivin-Gabbro	S. Imbok, N-Borneo	70—90	56—71
B. R. 22	serp. Olivin-Gabbro	S. Blantian, N-Borneo	73—85	71—82
B. R. 24	uralit. Gabbro	S. Blantian, N-Borneo	78—90	75—86
B. W. 32	Olivin-Gabbro	S. Korong, N-Borneo	85—95	79—88
<i>Ergussgestein-Plagioklase (inkl. Ganggesteine):</i>				
11	Andesin aus Lava	Niedermendig, Eifel	35—38	35—36
B. R. 124	perlitartiger Andesit	Simporna, N-Borneo	33—43	36—49
Nh. 470	Granodioritporphyrit	Paranchangan, N-B.	43—50	37—46
Nh. 424	Biotit-Rhyodacit	S. Merali, N-Borneo	42—47	33—48
Nh. 423	Biotit-Rhyodacit	S. Merali, N-Borneo	48—58	43—48
B. R. 110	Biotit-Hbl.-Andesit	S. Tawau, N-Borneo	40—60	42—57
B. R. 68	Hbl.-Vitrophyr	S. Klumpang, N-Borneo	52—96	53—79
Nh. 105	Hbl.-Andesit	Tg. Sirar, N-Borneo	57—85	57—81
B. W. 14	Basaltischer Vitrophyr	Tungku, N-Borneo	80—97	76—90
<i>Plagioklase aus metamorphen Gesteinen, sowie Kluftmineralien:</i>				
X	Albit	Rischuna, Graubünden	2—5	3½—4½
Si. 277	Alkalifeldspatgneis	Crastatscha, Zernez	0—5	5—14
Si. 382	Hbl.-Biot.-Plag.-Gneis	V. Gondas, Zernez	28—38	31—40
S. 67	Amphibolit	Ornö Huvud, Schweden	34—46	41—49

wurden untersucht: Zwei kristalline Schiefer aus dem Silvrettakristallin (Si. 277, 382), ein Amphibolit (S. 67) und ein Anorthosit (S. 47) aus dem schwedischen Praekambrium, und vier Plagioklasstufen aus einer Mineralien-Sammlung (Albit-Rischuna, Oligoklas-Schweden, Oligoklas-Eifel, Labrador-Narödal). Dass die kristallinen Schiefer

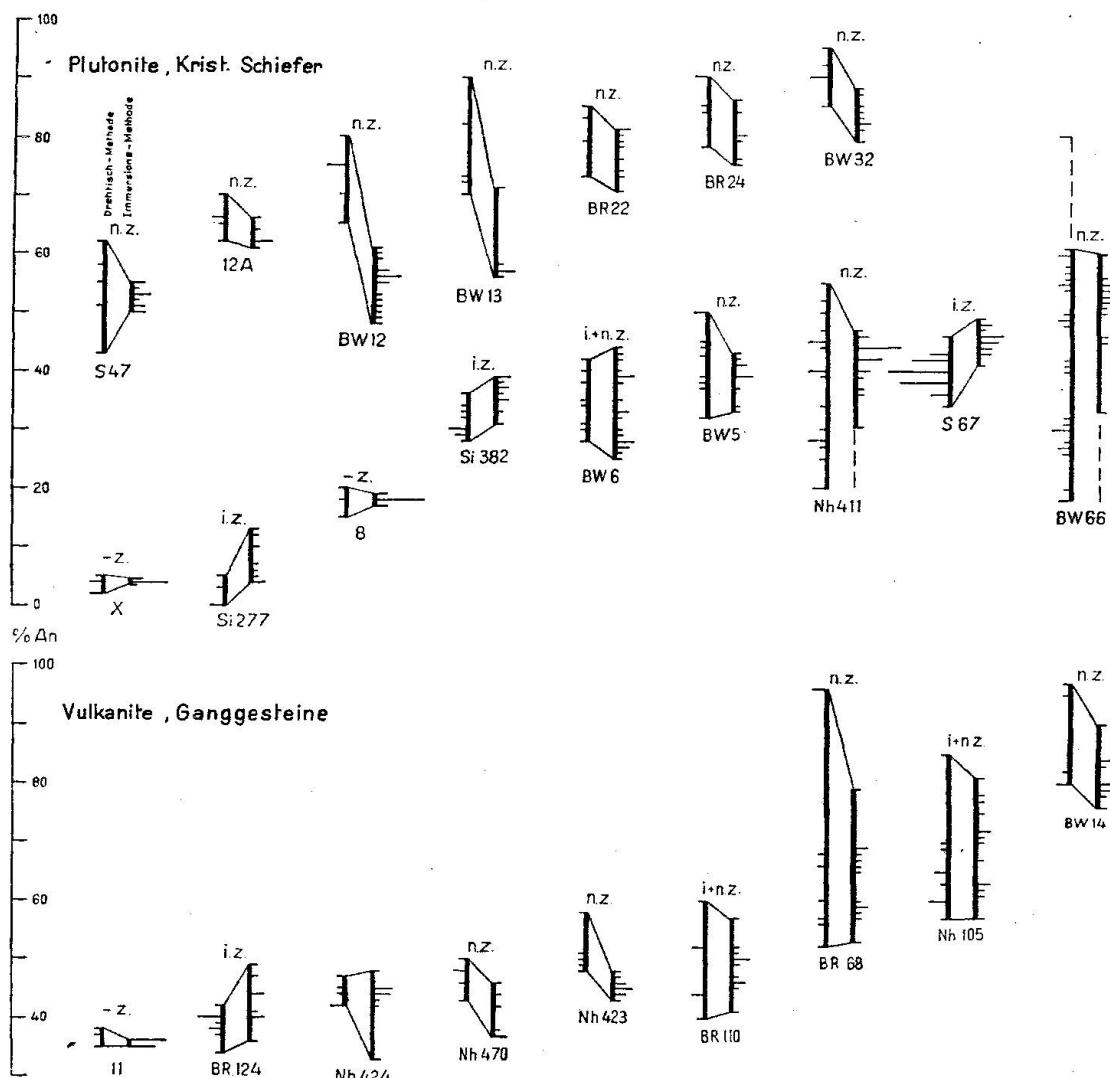


Fig. 2. Graphische Gegenüberstellung der simultan nach der Drehtisch-Methode (jeweils links) und der Immersions-Methode (jeweils rechts) erhaltenen Anorthitbestimmungen an Plagioklasen aus 25 verschiedenen Gesteinen. Die Sammlungsnummern verweisen auf Tabelle III. Die kräftig gezeichneten Geraden in der Richtung der Ordinate stellen die nach den beiden Methoden gemessene Variationsbreite des An-Gehaltes dar. Die Striche in der Richtung der Abszisse zeigen an, in wievielen Messungen der betreffende An-Gehalt bestimmt wurde (kürzeste horizontale Striche = eine Messung). n. z. bedeutet, dass die untersuchten Plagioklase normal zonal gebaut sind, i. z. = invers zonal,  
— z. = nicht erkennbar zonal.

schlecht berücksichtigt worden sind, ist eine Folge erstens des kleinen Anorthitbereiches (normalerweise 0—45 % An) der Plagioklase metamorpher Gesteine und zweitens der mangelhaften Eignung dieses Materials für solche simultane Untersuchungen. Auf die drei untersuchten Proben musste bei der Anwendung der Immersions-Methode durchschnittlich die dreifache Zeit aufgebracht werden, als bei Plagioklasen aus den übrigen Gesteinsklassen (feines Korn, schlechte Spaltstücke, Bestäubung).

Zur Herstellung der Pulverpräparate wurde meist der Schliffsplitter benutzt, um gleichartiges Untersuchungsmaterial zu gewährleisten.

#### Diskussion der Messergebnisse

Es entspricht dem Charakter einer vergleichenden methodischen Arbeit, dass die Methoden, ihre Vorzüge und Mängel, wie auch die praktischen Erfahrungen eingehend besprochen werden müssen; dass aber die eigentlichen Messergebnisse kurz behandelt werden können, da es sich ja um Zahlenmaterial handelt, das in übersichtlicher Weise tabellarisch und graphisch dargestellt werden kann und für sich selbst spricht.

Tabelle III enthält das Verzeichnis des Untersuchungsmaterials mit den Sammlungsnummern des Mineralogischen Institutes der Universität Basel und des Naturhistorischen Museums in Basel. In dieser Tabelle sind zugleich die nach der Drehtisch- und der Immersions-Methode ausgeführten Anorthitbestimmungen summarisch zusammengefasst; die Einzeldaten sind in 25 Tabellen protokolliert, welche im Mineralogischen Institut der Universität Basel deponiert sind. Die Messergebnisse der beiden Methoden sind sodann in Fig. 2 graphisch aufgetragen und einander gegenübergestellt worden. Diese Darstellung lässt eine Reihe von Tatsachen erkennen:

1. Die Anorthitbestimmungen nach der Drehtisch-Methode und nach der Immersions-Methode ergeben recht ähnliche Resultate, wenn zunächst von zwei Ausnahmen (B.W. 12 und 13) abgesehen wird. Die nach den beiden Methoden erhaltenen Werte für die basischsten und sauersten Plagioklase des gleichen Gesteins und die Durchschnittszahlen differieren selten um mehr als 5—6 % An. Die Streuung liegt innerhalb der anzunehmenden Fehlergrenze der Methoden. Für petrographische Routinearbeit (Ermittlung des Anorthitgehaltes der Plagioklase für die Gesteinsbestimmung) scheinen beide Methoden gleich geeignet zu sein.

2. Die Bestimmungen nach der FEDOROW-Methode zeigen in einigen Fällen (Nh. 411, B. W. 66, S. 47) eine grössere Variationsbreite des Anorthitgehaltes an als die simultanen Messungen nach der Immersions-Methode. Die Ergebnisse der FEDOROW-Methode sind hiebei nicht etwa ungenauer durch Fehlerstreuung, sondern sie sind im Gegenteil die vollständigeren und zuverlässigeren. Die Erklärung für die genannte Erscheinung ist leicht zu geben: Im Dünnschliff (Drehtisch-Methode) können im allgemeinen die Extremwerte von zonaren Plagioklasen leicht erkannt und eingemessen werden, während im Pulverpräparat (Inmersions-Methode) die basischsten und sauersten Zonen der Spaltstücke nur durch Zufall oder durch sehr zahlreiche Messungen, also gewissermassen nur auf statistischem Wege, erfasst werden können. Bei Nh. 411 und B. W. 66 spielte zudem noch eine im folgenden Abschnitt zu erwähnende Eigenheit des Materials mit.

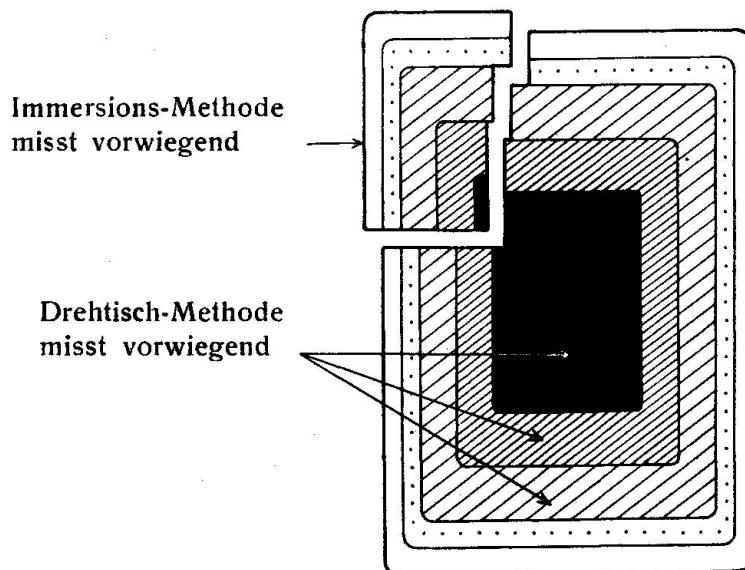


Fig. 3. Zonares Plagioklaskorn mit abgetrenntem Spaltstück

3. Beim näheren Studium der Fig. 2 fällt nicht so sehr die unter 1. genannte, durchschnittlich 0—6 % betragende Differenz zwischen den Anorthitbestimmungen nach den beiden Methoden auf, sondern vielmehr die Tatsache, dass diese Streuung meist einen bestimmten Sinn hat und kaum lediglich eine Fehlerstreuung darstellt: Die Messungen nach der Drehtisch-Methode ergeben für normal zonare, resp. normal oszillierend zonare Plagioklase aus plutonischen und vulkanischen Gesteinen stets einen höheren An-

orthitgehalt als die Bestimmungen nach der Immersions-Methode, und für invers zonare Plagioklase, wie sie in Ergussgesteinen und besonders in kristallinen Schiefern häufig sind, stets einen niedrigeren Anorthitgehalt. Auch diese Erscheinung kann zwanglos erklärt werden; denn sie ist durch die verschiedenen Arbeitsweisen bedingt: Nach der FEDOROW-Methode wird bei Einzelmessungen automatisch der (basische oder saure) Kern gemessen, da er in der Regel die grösste zusammenhängende Fläche einheitlicher Auslösung des Kernes darstellt und leicht eingemessen werden kann. Nach der Immersions-Methode wird aber das Wandern der BECKE'schen Linie am Rande der Spaltstücke verfolgt und dadurch werden die (sauren oder basischen) Randzonen der Plagioklase besonders berücksichtigt. Figur 3 soll zeigen, dass in solchen Spaltstücken von zonaren Plagioklasen die äusserste Randzone der Körner leicht, die Kerne aber wegen ihrer geringen Beteiligung an der Korngrenze nur schwierig oder überhaupt nicht eingemessen werden können nach der Immersions-Methode.

Die Richtigkeit dieser Argumentation wird dadurch bewiesen, dass die nach den beiden Methoden untersuchten, nicht zonaren Plagioklase fast identische Werte liefern (X, II, 8), und die teils invers, teils normal zonaren Plagioklase (B. W. 6, B. R. 110, Nh. 105) sehr ähnliche Anorthitzahlen. Unter Berücksichtigung dieser Tatsachen kann gesagt werden, dass die nach der FEDOROW- und nach der Immersions-Methode erhaltenen Anorthitwerte über Erwarten gut miteinander harmonieren, und dass die systematischen Differenzen darauf zurückzuführen sind, dass durch die beiden Methoden meist verschiedene Stellen der zonaren Körner gemessen werden.

Auch zwei scheinbare Ausnahmen von der oben gegebenen Regel sprechen nicht gegen sie: Die sehr eingehend studierten Plagioklase der Gesteine Nh. 411 und B. W. 66 des Kinabalu (Nord-Borneo) bestehen aus oszillierend zonaren Kernen (Andesin-Labrador) mit schmalen, bedeutend saureren Randzonen (Oligoklas). Diese schmalen,  $1/10$  bis  $1/15$  der Korn durchmesser ausmachenden Randzonen sind vom Kern scharf abgegrenzt, bisweilen durch einen Korrosionsrand. Es war bei der Prüfung der Kornpräparate aufgefallen, dass diese Aussenzonen stets vom Kern absplittern und in sehr kleine Bruchstücke zerfallen, die beim Aussieben der Präparate zusammen mit dem feinen Gesteinsmehl entfernt wurden. Aus diesem Grunde wur-

den diese Randzonen nur nach der FEDOROW-Methode (Dünnschliff) bestimmt, und somit ergibt diese Methode für die normal zonaren Körner niedrigere Anorthitwerte als die Immersions-Methode.

Der unter 3. genannte Einfluss der Zonarstruktur auf die Messergebnisse scheint uns entscheidend zu sein; er maskiert vielleicht noch vorhandene, prinzipielle Differenzen. Irgendwelche systematische Abweichungen der Messresultate zwischen analogen Plagioklasen verschiedener Gesteinskategorien oder zwischen sauren und basischen Typen konnten deshalb nicht festgestellt werden. Ebenso kann bis jetzt nicht nur kein Einfluss der Kalifeldspat-Komponente nachgewiesen werden, sondern es kann auch festgestellt werden, dass er normalerweise gering sein muss.

Es ist noch darauf hinzuweisen, dass bei zwei von den 25 untersuchten Plagioklastypen die Anorthitbestimmungen nach der FEDOROW-Methode und der Immersions-Methode stark differieren (um 10 bis 20 % An). Es handelt sich um zwei Olivin-Gabbros (B. W. 12 und 13) aus dem S. Imbok-Kuamut (Nord-Borneo). Die beiden Gesteine stammen aus einer Ophiolitserie (Danau-Formation), der auch die untersuchten Gabbros B. R. 22, B. R. 24 und B. W. 32 angehören, deren Plagioklase keine derartigen anormalen Differenzen ergaben. Die Plagioklase der Gesteine B. W. 12 und 13 sind schwach zonar. Die Messungen sind sorgfältig ausgeführt und wiederholt worden. Zur Herstellung der Kornpräparate war der Dünnschliffsplitter benutzt worden, sodass eine Verwechslung ausgeschlossen zu sein scheint. Erst eine genaue chemische und mikroskopische Analyse von Gestein und Plagioklas könnte vielleicht diese anormalen Messresultate aufklären.

Wenn die früheren Ausführungen zeigten, dass erstens die Genauigkeit der beiden Methoden eine ähnliche ist, dass zweitens die Bestimmungskurven REINHARD's für die FEDOROW-Methode, abgesehen von den Abweichungen der Plagioklase mit sog. Hochtemperaturopik, recht zuverlässig sind, und dass drittens die Bestimmungskurven TSUBOI's für die Immersions-Methode in einzelnen Bereichen etwas zu verbessern wären, so lassen die gemachten praktischen Erfahrungen deutlich erkennen, dass nicht nur exakte Anorthitwerte erwünscht sind, sondern dass auch angegeben werden muss, für welchen Bereich (ganzes Gestein oder Teile eines Kernes) diese Zahlen Geltung haben. Denn gerade diese Untersuchung zeigte, dass scheinbar

stofflich homogene Plagioklase bei genauerer Prüfung oft deutlich zonar sind, und dass sich meist Unterschiede von 5—10% An im gleichen Korn auf kürzeste Distanz einstellen, sodass ein auf 5 % oder gar auf 1 % genauer Durchschnittsgehalt sehr selten bestimmt werden kann. Ein praktisches Beispiel möge dies belegen:

Von den Plagioklasen des Hornblende-Granodiorites B. W. 66 wissen wir durch eine grosse Zahl von Messungen, dass die sporadisch vorhandenen, durch Korrosionsrand begrenzten, zentralen Partien 80 % An, die Hauptmasse der oszillierend zonaren Kerne ca. 60—30 % An, und schliesslich die von diesen wiederum meist korrodierten Kernen scharf abgegrenzten, schmalen Randzonen 30—18 % An enthalten (nach FEDOROW-Methode). Die Variationsbreite von 80—18 % An gilt nicht nur für das ganze Gestein, sondern kann gelegentlich in ein und demselben Plagioklaskorn gemessen werden. Der durchschnittliche Anorthitgehalt dieser Plagioklase ist nicht etwa das arithmetische Mittel der Extremwerte, oder aller Einzelbestimmungen, sondern er kann nur durch komplizierte Berechnung des Volumens der einzelnen Schalen (Zonen) unter Berücksichtigung ihres resp. Anorthitgehaltes und ihrer Korngestalt berechnet werden. Für die in B. W. 66 festgestellte Idealgestalt der Plagioklase liess sich z. B. berechnen, dass eine linear 10 % des Korndurchmessers bildende Randzone 27 % des gesamten Kornvolumens, und eine linear 20 % ausmachende Aussenzone bereits 49 % des Volumens einnimmt. Aus solchen überschlagsmässigen Berechnungen, aus Integrationstischmessungen und Umrechnungen aus der chemischen Gesteinsanalyse auf den Mineralbestand konnte festgestellt werden, dass die von 80 bis 18% An variierenden Plagioklase von B. W. 66 einen durchschnittlichen Anorthitgehalt von 32—33 % aufweisen. Dieses Beispiel möge zeigen, dass exakte Zahlen zwar erwünscht sind, dass aber vereinzelte, noch so exakte Daten der von der Natur hervorgebrachten Mannigfaltigkeit in keiner Weise gerecht werden können, da sie nur für einen bestimmten, oft sehr kleinen Bereich gelten. Auch wenn mit Hilfe von verbesserten Bestimmungskurven einmal der Anorthitgehalt der Plagioklase auf 1% genau bestimmt werden könnte, — dies ist unseres Erachtens keine dringende Forderung — so müssten diese Messungen in entsprechend grosser Zahl ausgeführt werden und den ganzen Variationsbereich erfassen, um überhaupt einen Sinn zu haben. Dieser Variationsbereich, und hauptsächlich der für genetische Fragen wichtige Anorthitgehalt der erst- und letztausgeschiedenen Plagioklase (Kern-Rand), wird stets nach der Drehtisch-Methode rascher und zuverlässiger erfasst werden können.

## ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit werden die Messergebnisse der Drehtisch-Methode, wie diese von REINHARD für die speziellen Zwecke der Plagioklasbestimmung ausgebaut worden ist, mit den Resultaten der von TSUBOI auf die Anorthitbestimmung der Plagioklase zugepassten, MERWIN'schen Immersions- resp. Dispersionsmethode verglichen, wobei auch die Methoden diskutiert werden. Die gewöhnliche Immersions-Methode, welche bei weissem oder Na-Licht arbeitet, und die Lichtbrechung der Immersionen lediglich durch Mischen verändert, ist zu schwerfällig und zu wenig leistungsfähig für die Untersuchung von stark zonaren Mischkristallen.

Von den beiden zu vergleichenden Methoden ist die Drehtisch-Methode zweifellos die leistungsfähigere, da sie auch Auskunft zu geben vermag über den Charakter der Verzwillingung, über die Indizierung der gemessenen Spaltflächen und Korngrenzflächen und über den optischen Achsenwinkel. Ein weiterer, nicht zu unterschätzender Vorzug der Methode liegt darin, dass sie mit Gesteinsdünnschliffen arbeitet und dadurch intakte Kristalle in ihrer natürlichen Umgebung untersucht. Dieser Vorteil ist nicht zu unterschätzen; er ermöglicht rasche Übersicht über die Zonarstruktur und hat zur Folge, dass mit Hilfe der FEDOROW-Methode mit wenigen Messungen jeweils die ganze Variationsbreite des Anorthitgehaltes erfasst werden kann. Ein Nachteil der Methode ist der, dass in gewissen Anorthitbereichen die Interpretation der Messergebnisse bisweilen unsicher bleibt, auch wenn der optische Charakter bekannt ist, und dass ganz allgemein Anorthitbestimmungen an basischen Plagioklasen wegen der geringen Migration der Indikatrix in bezug auf das Kristallgebäude nicht so genau sind, wie Messungen an sauren Plagioklasen. Die Tatsache, dass die sog. hochtemperierte, rasch abgekühlten Ergussgesteinssplagioklase sich in der Orientierung der Indikatrix von den entsprechenden, niedrig temperierte, langsam abgekühlten Plagioklasen aus Tiefengesteinen und kristallinen Schiefern unterscheiden, ist wohl — sobald diese Beziehungen einmal festgelegt sind — als ein für die genetische Gesteinsdiagnose wichtiger Vorzug der FEDOROW-Methode zu betrachten.

Die Immersions-Methode arbeitet mit Pulver-Präparaten. Dadurch, dass in den meisten Fällen nur Spaltstücke von Plagioklasen untersucht werden, kann der räumliche Aufbau dieser Kristalle aus Zonen mit verschiedenem Anorthitgehalt nicht so einfach überblickt werden wie bei der Anwendung der Drehtisch-Methode. Die Variationsbreite des Anorthitgehaltes kann nur durch

viele Einzelmessungen, gewissermassen nur auf statistischem Wege, erfasst werden. Die Immersions-Methode hat aber den Vorteil vor der FEDOROW-Methode, dass ihre Ergebnisse — sorgfältige Messung vorausgesetzt — eindeutig sind und in allen Anorthitbereichen gleich genau, da die Lichtbrechung vom Albit zum Anorthit hin stetig zunimmt. Man könnte daraus im Vergleich mit dem oben Gesagten schliessen, dass die Immersions-Methode sich besonders eigne für die Bestimmung des Anorthitgehaltes von basischen Plagioklasen.

Das für die Konstruktion der Bestimmungskurven nach den beiden Methoden benutzte grundlegende Datenmaterial ist von unterschiedlicher Güte und unzureichend. Nach beiden Methoden kann deshalb der Anorthitgehalt der Plagioklase meist nur auf  $\pm 5\%$  genau bestimmt werden. Wenn genaue Kurven vorlägen, so wäre theoretisch bei den heute zur Verfügung stehenden Messinstrumenten die Immersions-Methode im Vorteil, da nach ihr die Brechungsindices auf drei Einheiten der 4. Dezimale genau bestimmt werden können (entsprechend  $\pm \frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{2}\%$  An), während die FEDOROW-Methode die Winkelbeziehungen zwischen Optik und Morphologie nicht mit entsprechender Genauigkeit messen kann.

Die bei der Anwendung der Immersions- resp. Dispersions-Methode benutzte Apparatur ist komplizierter als diejenige der Drehtisch-Methode. Entsprechend sind bei der erstgenannten Methode auch die Fehlerquellen bei unsorgfältigem Arbeiten mannigfaltiger. Besonders zwei Faktoren können methodische Fehler verursachen: erstens die schwer kontrollierbare Temperaturänderung der Immersion beim Arbeiten und zweitens das partielle Verdampfen von gemischten Immersionen.

Die beiden Methoden können nicht immer simultan angewandt werden. Die FEDOROW-Methode scheidet aus, wenn die Plagioklase keine morphologischen Bezugsrichtungen aufweisen (Grundmassefeldspate der Ergussgesteine, viele Plagioklase kristalliner Schiefer). Die Immersions-Methode scheidet aus, sobald das Untersuchungsmaterial stark bestäubt ist, oder sonst viele Einschlüsse enthält (sericitisierte, saussuritisierte Plagioklase). Da die Plagioklase mittel-europäischer Gesteine meist epizonal verändert sind, kann an ihnen die Immersions-Methode selten mit Erfolg angewandt werden.

Die simultan nach der Drehtisch- und der Immersions-Methode ausgeführten Anorthitbestimmungen an 25 Plagioklasttypen von verschiedener Basizität, die aus Tiefen-, Gang- und Ergussgesteinen sowie aus kristallinen Schiefern stammen, ergaben recht über-

einstimmende Resultate. Die Unterschiede übersteigen im Durchschnitt selten 5 % An. Nur in zwei Fällen konnten Differenzen von mehr als 10 % An festgestellt werden.

Die Bestimmungen nach der Drehtisch-Methode zeigen in manchen Fällen einen grösseren Variationsbereich des Anorthitgehaltes an als die entsprechenden Messungen nach der Immersions-Methode. Es ist dies eine Folge davon, dass die Extremwerte des Zonarbaues im Dünnschliff leichter erkannt und gemessen werden können als im Pulverpräparat.

Beim genaueren Vergleich der sich entsprechenden Messresultate der beiden Methoden ergibt sich, dass bei nicht zonaren Körnern die An-Werte fast identisch sind; bei normal zonaren Plagioklasen ergibt die FEDOROW-Methode stets etwas höhere, bei invers zonaren Körnern stets niedrigere Anorthitwerte als die Immersions-Methode. Diese für alle Anorthitbereiche und für Plagioklase aller Gesteinsklassen geltenden systematischen Differenzen sind durch die verschiedenen Arbeitsweisen bedingt: Bei Untersuchungen nach der Drehtisch-Methode werden vor allem die (basischen und sauren) Kerne der Plagioklase eingemessen, da sie in der Regel die grössten zusammenhängenden Flächen einheitlicher Auslöschung darstellen. Nach der Immersions-Methode aber werden die (sauren oder basischen) Randzonen der Körner besonders berücksichtigt, da sie einen beträchtlichen Teil der einzumessenden Korngrenzen bilden. Die feststellbaren Differenzen sind also zum grossen Teil darauf zurückzuführen, dass durch die beiden Methoden meist verschiedene Stellen der zonaren Körner eingemessen werden. Weitere, vielleicht vorhandene Unterschiede werden durch den erwähnten Einfluss der Zonarstruktur auf die Messergebnisse maskiert. Es ergibt sich somit, dass beide miteinander verglichene Methoden für petrographische Routine-Arbeit (Anorthitbestimmungen) geeignet sind, und dass ihre Messergebnisse sich in gewissem Sinne ergänzen. Zur Analyse feinerer Unterschiede müsste das die Grundlage der beiden Bestimmungs-Methoden bildende Datenmaterial beträchtlich ergänzt und verbessert werden.

Für diese Untersuchung wurden über 300 Plagioklaskörper nach der Immersions-Methode und über 200 nach der Drehtisch-Methode untersucht. Einige Ergebnisse werden in anderem Zusammenhang bearbeitet werden (Beziehungen zwischen Form und Orientierung der Indikatrix, sog. Hochtemperatur-Optik).

### Summary

In this paper determinations of plagioclases by the FEDOROFF method (universal stage method, using REINHARD's determinative stereograms) are compared with the results obtained by the simultaneously employed chromatic dispersion method as worked out by MERWIN (immersion method, using TSUBOI's diagrams). These two methods are commonly used for the determination of plagioclases. The simple immersion method of SCHROEDER VAN DER KOLK is not efficient enough for the study of highly zoned crystals. The double variation method, as developed by EMMONS, and employing the universal stage, could not be employed owing to the lack of special instruments. The methods employed, their accuracy, range of application etc. and the practical experience obtained are discussed.

Determinations of the An-content of plagioclases from 25 different rock types by the FEDOROFF method and the immersion method agree fairly well. The differences rarely exceed 5 % An. Only in two cases differences of more than 10 % An resulted from the respective determinations.

Determinations by the universal stage method often yield a wider range of the An-variation than those by the dispersion method, because in thin sections (FEDOROFF method) the extreme An-values of zoned crystals are more easily detected and measured than in fragmental grains (dispersion method).

A detailed discussion of the corresponding results of the two methods shows, that in non-zonal plagioclases the An-values are practically identical. In normal zonal structures the FEDOROFF method regularly gives higher An-values for the central cores; in grains with inverse zoning, however, lower values. These systematic differences are obtained in sodic and calcic plagioclases and in all rock classes; they are given by the working methods: In thin sections examined by the universal stage method the more calcic or sodic cores of the plagioclases are readily measured, as they form the greatest connected areas of uniform extinction. In fragmental grains, however, examined by the immersion method, the cores generally form only a small part of the contours and are rarely measured. Therefore, by this method, the extreme calcic or sodic cores are only analysed, when a great many measurements are made. On the other hand and for the same reason measurements by the dispersion method favour the marginal zones of a grain which, on account of their narrowness, are rarely determined by the FEDOROFF method.

Further differences, if existent, are camouflaged by the influence mentioned.

Eingegangen: 3. Oktober 1945.