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

Band: 36 (1956)

Heft: 2

Artikel: Charakterisierung der Plagioklasoptik durch drei Winkel und Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung für konstante Anorthit-Intervalle

Autor: Burri, Conrad

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-28506

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: 27.01.2026

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

Charakterisierung der Plagioklasoptik durch drei Winkel und Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung für konstante Anorthit-Intervalle

Von *Conrad Burri* (Zürich)

Zusammenfassung

Es wird gezeigt, wie die optische Orientierung der Plagioklase sehr gut durch die drei Euler-Winkel, wie sie in der analytischen Geometrie zur Charakterisierung der gegenseitigen Lage zweier rechtwinkliger Koordinatensysteme gebräuchlich sind, charakterisiert werden kann. Da ihre Abhängigkeit vom Anorthitgehalt durch einfach verlaufende stetige Kurven dargestellt wird, kann die optische Orientierung für beliebige An-Gehalte interpoliert werden. Hiervon wird für den Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung der Tief- und Hochtemperaturplagioklase für gleichmässige An-Intervalle von 10% Gebrauch gemacht. Die Köhlerschen Diagramme für die Winkel korrespondierender Hauptschwingungsrichtungen in verzwillingten Plagioklasen werden für die sauren Mischglieder ergänzt. Es werden Hinweise auf die direkte Verwendung der Euler-Winkel zur Plagioklasbestimmung gegeben.

Inhalt

A. Einleitung 540

B. Darstellung der Plagioklasoptik 544

I. Allgemeines 544

II. Die Euler-Winkel 546

III. Die Anwendung der Euler-Winkel zur Darstellung der optischen Orientierung der Plagioklase 550

C. Grundaufgaben 552

I. Bestimmung der Euler-Winkel bei gegebener optischer Orientierung

a) Zeichnerisches Verfahren mit Hilfe des Wulffschen Netzes . . 552

b) Rechnerisches Verfahren 552

α) Gegeben: Die Position der optischen Achsen in Kugelkoordinaten 552

Beispiel: Labrador von Kamenoi Brod 553

β) Gegeben: Die Position der Hauptschwingungsrichtungen, wie sie bei U-Tischmessungen erhalten werden 553
Beispiel: Labrador von Tamatave 554

II. Ableitung der optischen Orientierung aus gegebenen Euler-Winkeln
a) Zeichnerisches Verfahren mit Hilfe des Wulffschen Netzes . . . 554
b) Rechnerisches Verfahren 554
Beispiel: Interpolierte optische Orientierung für einen Hochtemperatur-Plagioklas An_{50} 555

D. Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung der Plagioklase unter Berücksichtigung konstanter Anorthit-Intervalle 556

I. Allgemeines 556

II. Tieftemperatur-Plagioklase 559

III. Hochtemperatur-Plagioklase 569

IV. Kurzer Vergleich der Tief- und Hochtemperaturoptik 579

E. Anmerkungen für die Praxis der Plagioklasbestimmung 580

I. Zur Unterscheidung von Hoch- und Tieftemperaturplagioklasen an Hand der Zwillingsoptik 580

II. Direkte Verwendung der Euler-Winkel zur Plagioklasbestimmung . 586

F. Literatur 588

A. Einleitung

Die optische Orientierung der Plagioklase, d. h. die Lagebeziehung der optischen Indikatrix zum Kristallgebäude in ihrer Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung ist von grundlegender Bedeutung. Sie bildet die Unterlage der für petrographische Untersuchungen so wichtigen optischen Plagioklasbestimmungsmethoden, und zwar der sog. „klassischen", d. h. ohne U-Tisch durchführbaren, wie auch der Universalmethoden. Zur Übersicht lassen sich diese wie folgt einteilen:

1. Methoden, welche auf der Änderung der Form bzw. Dimension der Indikatrix in Abhängigkeit vom Chemismus beruhen:
   a) Bestimmung der Lichtbrechung durch Vergleich mit derjenigen angrenzender, gleichzeitig auslöschender Quarzkörner oder Canadabalsam (F. Becke).
   b) Bestimmung der Lichtbrechung an Spaltblättchen nach P (001) oder M (010) (S. Tsuboi).

2. Methoden, welche auf der Änderung der Lage der Indikatrix in Abhängigkeit vom Chemismus beruhen:
   a) Indirekte Ermittlung der Indikatrixlage.
      α) Durch Bestimmung der Auslöschungsschiefe an Schnitten, deren Orientierung sich kristallographisch oder optisch definieren lässt (A. Des Cloizeaux, M. Schuster, A. Michel-Lévy, F. Fouqué, F. Becke, G. F. Becker u. a.).
      β) Durch Bestimmung der Auslöschungsschiefe an vermittelst des U-Tisches orientierten Schnitten (Zonenmethode von A. Rittmann).
   b) Direkte Ermittlung der Indikatrixlage.
      α) Durch konoskopische Beobachtungen an geeigneten Schnittlagen (F. Becke).
      β) Durch direkte Einmessung der Indikatrixlage mit Hilfe des U-Tisches (E. v. Fedorow, W. W. Nikitin, A. Ussow, L. Duparc, M. Reinhard).

Von allen diesen Methoden benötigt nur 1 a), welche allerdings prinzipiell nur angenäherte Resultate, und diese nur für einen auf den Bereich von An_0 bis ca. An_{50} beschränktes Intervall der Gesamtvariation liefert, die Kenntnis der optischen Orientierung nicht. Für alle anderen optischen Methoden bildet sie die unumgänglich notwendige Grundlage, woraus sich die Wichtigkeit des ganzen Problemkreises ohne weiteres ergibt.

Was die abhängige Variable bei diesen Bestimmungen, d. h. den Chemismus anbetrifft, so ist man bekanntlich immer noch zu einer stark vereinfachenden Betrachtungsweise gezwungen, bei welcher die Plagioklase als Zweistoffsystem Ab–An aufgefasst werden und von einem eventuellen Gehalt an Kalifeldspat, Carnegieit oder einem SiO_2-Überschuss oder -Defizit abgesehen wird. Währenddem die klassischen Methoden prinzipiell nur die Ermittlung eines einzigen Konzentrationsverhältnisses, z. B. An/Ab oder An/(An + Ab + Or) erlauben, wäre zwar grundsätzlich für die U-Tischmethoden wegen der dreidimensionalen Betrachtungsweise die Bestimmung von zwei Konzentrationsverhältnissen möglich, so dass z. B. neben dem Verhältnis An/Ab auch An/Or oder Ab/Or bestimmt werden könnte. Der Einfluss des Kalifeldspatmoleküls scheint jedoch in bezug auf die optische Orientierung sehr gering zu sein, und in bezug auf die anderen erwähnten Möglichkeiten, welche in nur geringem Masse auftreten, fehlen vorläufig jegliche exakten Unterlagen.

Man beschränkt sich demnach in der Praxis darauf, die optische Orientierung in Abhängigkeit vom An-Gehalt zu betrachten. Hierzu wird entweder das Verhältnis An/(An + Ab), unter Vernachlässigung des Or-Gehaltes, oder An/(An + Ab + Or) gewählt. Das letztgenannte Verhältnis stimmt weitgehend mit dem direkt auf Grund des analytisch ermittelten CaO-Gehalts berechneten A-Gehalt überein, wie er im folgenden in der Regel benutzt werden soll.

Zur übersichtlichen Darstellung der optischen Orientierung wird seit langem (A. Michel-Lévy 1894, F. Becke 1906, E. Fedorow 1898, W. W. Nikitin 1933, L. Duparc und M. Reinhard 1923, 1924, M. Reinhard 1931 etc.) die stereographische Projektion der Lagekugel verwendet, auf welcher die Ausstichpunkte der kristallographischen und optischen Richtungen eingetragen sind. Im allgemeinen wird dabei als Projektionsebene die Ebene ⊥ [001] (A. Michel-Lévy, E. Fedorow, F. Becke, W. W. Nikitin, L. Duparc und M. Reinhard), von F. Becke auch die Ebene (010) verwendet. Die Positionen der optischen bzw. kristallographischen Richtungen werden in Kugelkoordinaten entweder entsprechend der geographischen Länge und Breite oder auch in (φ,ρ)-Werten nach V. Goldschmidt angegeben. Im ersten Fall wird konventionell die Äquatorebene parallel (010) gelegt und der Ausstichspunkt von c = [001] als Zentrum genommen. Die mit λ bezeichneten Längen werden vom Zentrum aus nach oben von 0° bis +90°, nach unten von 0° bis −90° gezählt, die Breiten analog nach rechts als +, nach links als −, und mit φ bezeichnet. Dem Pol von (010) kommen so die Werte $\lambda = 0°$, $\varphi = +90°$ zu. Bei der erwähnten Variante mit (010) als Projektionsebene nach F. Becke verläuft die c-Achse vertikal in der Zeichenebene und λ und φ werden in gleicher Weise vom Zentrum aus gezählt, wie oben angegeben. Um Verwechslungen mit den (φ, ρ)-Werten nach V. Goldschmidt vorzubeugen, wurde durch F. E. Wright (1913) vorgeschlagen, (λ, φ) durch (ξ, η) zu ersetzen, wie dies auch hier geschehen soll.

Bei Verwendung der Goldschmidtschen (φ, ρ)-Werte wird hier immer die Ebene ⊥ [001] als Projektionsebene angenommen, und φ, ausgehend vom Pol (010) im Uhrzeigersinn, von 0°—360° gezählt. Auf eine gewisse Inkonsequenz, welche sich daraus ergibt, dass φ damit im negativen Sinne gezählt wird, währenddem sich in der analytischen Geometrie im allgemeinen das Rechtssystem durchgesetzt hat, bei welchem die +X-Achse durch eine Drehung im positiven, d. h. Gegenuhrzeigersinn in die +Y- bzw. +Z-Achse übergeführt wird, wurde schon früher hingewiesen (C. Burri 1950).

Die Festlegung der optischen Orientierung der Plagioklase verschie-

dener Zusammensetzung ist ein Problem, an welchem schon lange gearbeitet wird. Trotzdem kann es noch nicht als befriedigend gelöst betrachtet werden, besonders nicht hinsichtlich der basischen Glieder. Bekannt sind vor allem die äusserst verdienstvollen Bemühungen von F. BECKE und seiner Schule zur genauen Festlegung der optischen Achsen für Plagioklase verschiedener Zusammensetzung. Auf Grund der Achsenlagen lassen sich mit Hilfe der FRESNELschen Konstruktion die Schwingungsrichtungen für beliebige Flächenlagen ermitteln. Dadurch werden die bekannten Auslöschungskurven erhalten, welche bis heute die Hauptgrundlage für die routinemässige Plagioklasbestimmung darstellen.

Durch verschiedene Autoren, ausser durch F. BECKE besonders durch A. USSOW (1910, E. A. WÜLFING (1921—1924), L. DUPARC und M. REINHARD (1924), M. REINHARD (1931), W. W. NIKITIN (1933) u. a. wurden nach dem jeweils neuesten Stande der Forschung die Migrationskurven der wichtigsten optischen Richtungen (optische Achsen, Hauptschwingungsrichtungen) in bezug auf das fixiert gedachte Kristallgebäude, oder umgekehrt, diejenigen der wichtigen kristallographischen Richtungen (Flächennormalen, Kanten, Kantennormalen parallel bestimmten Flächen etc.) in bezug auf die fixiert gedachte optische Indikatrix bzw. deren drei Hauptschwingungsrichtungen als Bezugssystem, in stereographischer Projektion dargestellt. Diese Stereogramme bilden die Unterlage zur Durchführung der U-Tischmethoden.

Eine Reihe von Unstimmigkeiten, welche sich beim Gebrauch dieser Stereogramme ergaben, insbesondere in bezug auf den Verlauf der Migrationskurve für (010) bei fix angenommenem optischem Bezugssystem, fanden ihre Erklärung, als A. KÖHLER (1941) zeigen konnte, dass für die Plagioklase eine Temperaturabhängigkeit der optischen Orientierung existiert, welche durch die Annahme einer sog. Hochtemperatur- bzw. Tieftemperaturoptik beschrieben werden kann. Schon vorher hatte ED. WENK (1933) darauf aufmerksam gemacht, dass sich Plagioklase aus Ergussgesteinen von Rumänien und Nord-Borneo gegensätzlich zu solchen aus Gneisen der Silvrettadecke verhielten, allerdings ohne daraus einen Schluss auf den Einfluss der Temperatur bzw. der Abkühlungsbedingungen zu ziehen. Dies tat ungefähr gleichzeitig mit A. KÖHLER jedoch W. LARSSON (1940) anlässlich seiner Studien über die jungen Eruptiva des Tronador (Patagonien), wenn auch zunächst nur für den Bereich An_{40-80}. Erhitzungsversuche, u. a. durch H. SCHOLLER (1941), erbrachten eine neue Stütze für die Temperaturabhängigkeit der optischen Orientierung, während solche früheren Datums durch T. W. F.

BARTH (1931) und C. T. BARBER (1936a) daran gescheitert waren, dass in Unkenntnis der Sachlage teilweise Hochtemperaturformen als Ausgangsmaterial benutzt wurden. Immerhin ist bemerkenswert, dass ein Tieftemperatur-Labrador von Klovsteinen, Sondeled (Norwegen), welcher durch BARTH untersucht wurde, nach dem Erhitzen eine Änderung der optischen Orientierung zeigte, welche nach Vorzeichen und Betrag durchaus den bei Ergussgesteinen konstatierten Verhältnissen entspricht. Die Frage, ob es sich bei dieser Erscheinung um zwei eigentliche Modifikationen handelt oder ob im Sinne von T. F. W. BARTH (1928, 1941) und F. LAVES (1950, 1952) die Erklärung im Sinne der Ordnung bzw. Unordnung der Si und Al bzw. für die Anorthite der Ca gesucht werden müsse, ist wohl heute eindeutig im letzteren Sinne entschieden, um so mehr als verschiedentlich zwischen den extremen Hoch- und Tieftemperaturformen liegende Orientierungen konstatiert (O. OFTEDAHL 1948; F. KARL 1954; I. D. MUIR 1955) bzw. durch Tempern erhalten wurden (H. TERTSCH 1944).

Eine neuere Zusammenfassung über den Stand unserer Kenntnisse der Plagioklasoptik in Abhängigkeit von Chemismus und Temperatur gab G. VAN DER KAADEN (1951). Die schon lange angekündete monographische Darstellung durch A. KÖHLER ist noch nicht erschienen.

B. Darstellung der Plagioklasoptik

I. Allgemeines

Prinzipiell ist zur Definition und Darstellung der optischen Orientierung der Plagioklase eine Methode zu wählen, welche mit einem Minimum von Messungen bzw. Angaben eine vollständige Charakterisierung gestattet. Wie bekannt ist, wurde zu diesem Zwecke durch F. BECKE und E. A. WÜLFING die Angabe der Position der beiden optischen Achsen benutzt. Diese lassen sich durch je ein Paar sphärischer Koordinaten (ξ, η) angeben. Wird dazu noch der optische Charakter vermerkt, so ist die Orientierung der Indikatrix vollständig gegeben. Mit Hilfe der FRESNELschen Konstruktion lassen sich bei bekannter Lage der optischen Achsen sofort die Schwingungsrichtungen für die beiden sich in einer beliebigen Wellennormalenrichtung fortpflanzenden Wellen, und somit die Auslöschungsschiefen für beliebige Schnittlagen in bezug auf beliebig gewählte Bezugsrichtungen erhalten. Die Festlegung der Achsenpositionen erfolgte nach der BECKEschen mikrokonoskopischen Methode oder nach WÜLFING mit Hilfe des Achsenwinkel-

apparates, unter Verwendung speziell angefertigter orientierter Präparate. Dazu werden jedoch in jedem Falle Kristallindividuen einer gewissen minimalen Grösse, welche eine geeignete Präparation zulassen, benötigt. Solche sind für saure bis intermediäre Plagioklase unter den Kluftalbiten und Pegmatitfeldspäten relativ leicht zu beschaffen, während dies für die basischeren Glieder mit grösseren Schwierigkeiten verbunden ist. Dies wird in augenfälliger Weise durch die, trotz allen Bemühungen, immer noch sehr spärlichen Daten für die Plagioklase basischer als Labrador belegt. Ein weiteres Moment, welches sich hier nachteilig auswirkt, ist die grössere Tendenz zur Umwandlung bei den basischen Plagioklasen. Soll daher ein Fortschritt erzielt werden, so wird man nicht darum herumkommen, Vorkommen in Gesteinen heranzuziehen, für welche zur Festlegung der optischen Orientierung dann allerdings nur die U-Tischmethoden in Frage kommen, wie dies u. a. durch W. W. Nikitin (1933) oder A. Engels (1937) gehandhabt wurde. Die chemische Analyse müsste in diesem Falle an separiertem Material vorgenommen werden. Dabei dürften in Zukunft neben den klassischen chemischen Methoden in vermehrtem Masse die spektrographischen und flammenphotometrischen eine Rolle spielen. Ein Nachteil der U-Tischmethode ist allerdings der, dass sie wohl die Positionen der Hauptschwingungsrichtungen bei sorgfältigem Arbeiten mit genügender Genauigkeit einzumessen gestattet, dass sie jedoch für diejenige der optischen Achsen niemals die Präzision der konoskopischen Verfahren ergibt. Dies ist insofern von Nachteil, als die Anwendung der Fresnelschen Konstruktion ohne Kenntnis der Achsenpositionen nicht möglich ist, so dass derartige Untersuchungen wohl als Unterlage für die Stereogramme zur U-Tischmethode, nicht jedoch für die Verbesserung der klassischen Auslöschungskurven benützt werden können. Es wird somit in Zukunft notwendig sein, sowohl konoskopisch wie mit den U-Tischmethoden charakterisiertes Material zu verwenden, wenn man die Beziehungen zwischen chemischer Zusammensetzung und optischer Orientierung für die gesamte Variationsbreite der Plagioklase möglichst vollständig erfassen will. Dazu benötigt man jedoch eine Darstellungsmethode, welche sich für beide Fälle gleichermassen eignet. Die Aufgabe lässt sich auf ein Problem zurückführen, welches die analytische Geometrie bzw. die Vektorrechnung schon lange gelöst hat, nämlich auf dasjenige der möglichst einfachen und zweckmässigen Charakterisierung der gegenseitigen Lage zweier rechtwinkliger, räumlicher Koordinatensysteme mit gemeinsamem Ursprung. Das eine der beiden Systeme wird in unserem Falle durch die drei Hauptschwingungsrichtungen der Indikatrix n_α, n_β, n_γ gebildet, das andere durch

drei zueinander senkrechte, zweckmässig gewählte kristallographische Richtungen. Als solche werden bei den Plagioklasen seit langem benützt:

1. [001] = c = ZA des Karlsbadergesetzes.
2. die Normale auf (010) = ZA des Albitgesetzes.
3. die sowohl auf 1. wie auf 2. zugleich normal stehende (irrationale) Richtung, welche der ZA des Albit-Karlsbad-Komplexgesetzes (Roc Tourné-Gesetz) entspricht, in FEDOROWscher Symbolisierung $\frac{\perp [001]}{(010)}$, d. h. die zu (010) parallele Normale auf [001].

II. Die Euler-Winkel

Die analytische Geometrie des Raumes kennt verschiedene Möglichkeiten zur Charakterisierung der gegenseitigen räumlichen Lage zweier gleichartiger (d. h. entweder „rechter" oder „linker") rechtwinkliger Koordinatensysteme mit gemeinsamem Ursprung. Für die hier interessierenden Aufgaben eignet sich sehr gut ein schon 1748 durch LEONHARD EULER in seiner berühmten „Introductio in Analysin Infinitorum" angegebenes Verfahren. Bezeichnet man die beiden Systeme mit XYZ bzw. X'Y'Z', so lassen sich die 9 von ihren Achsen gebildeten Winkel bzw. deren Richtungscosinus nach folgendem Schema bezeichnen:

	X	Y	Z
X'	$\cos(XX') = \lambda_1$	$\cos(YX') = \lambda_2$	$\cos(ZX') = \lambda_3$
Y'	$\cos(XY') = \mu_1$	$\cos(YY') = \mu_2$	$\cos(ZY') = \mu_2$
Z'	$\cos(XZ') = \nu_1$	$\cos(YZ') = \nu_2$	$\cos(ZZ') = \nu_3$

(1)

Die 9 Richtungscosinus sind ihrerseits nicht unabhängig voneinander, sondern es bestehen zwischen ihnen 4 Systeme von je drei Gleichungen von der Form:

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1^2+\lambda_2^2+\lambda_3^2 &= 1 \\ \mu_1^2+\mu_2^2+\mu_3^2 &= 1 \\ \nu_1^2+\nu_2^2+\nu_3^2 &= 1 \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} \lambda_1^2+\mu_1^2+\nu_1^2 &= 1 \\ \lambda_2^2+\mu_2^2+\nu_2^2 &= 1 \\ \lambda_3^2+\mu_3^2+\nu_3^2 &= 1 \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} \lambda_1\mu_1+\lambda_2\mu_2+\lambda_3\mu_3 &= 0 \\ \mu_1\nu_1+\mu_2\nu_2+\mu_3\nu_3 &= 0 \\ \nu_1\lambda_1+\nu_2\lambda_2+\nu_3\lambda_3 &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad \left.\begin{aligned} \lambda_1\lambda_2+\mu_1\mu_2+\nu_1\nu_2 &= 0 \\ \lambda_2\lambda_3+\mu_2\mu_3+\nu_2\nu_3 &= 0 \\ \lambda_3\lambda_1+\mu_3\mu_1+\nu_3\nu_1 &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{2}$$

Von den 9 Winkeln, welche die Koordinatenachsen der beiden Systeme miteinander einschliessen, würden an und für sich deren 3 zur Bestimmung ihrer gegenseitigen Lage genügen. Es müssen somit 6 Be-

dingungsgleichungen zwischen den 9 Richtungscosinus bestehen, und von den angeführten 12 Gleichungen können somit höchstens 6 voneinander unabhängig sein, während die anderen aus diesen folgen müssen.

Statt nun die drei zur Definition der gegenseitigen Lage der beiden Systeme benötigten Winkel aus den 9 durch die Koordinatenachsen gebildeten auszuwählen, erweist es sich als zweckmässiger, nach EULER 3 neue Winkel Φ, Ψ, Θ[1]) zu benützen, welche wie folgt definiert sind (vgl. Fig. 1):

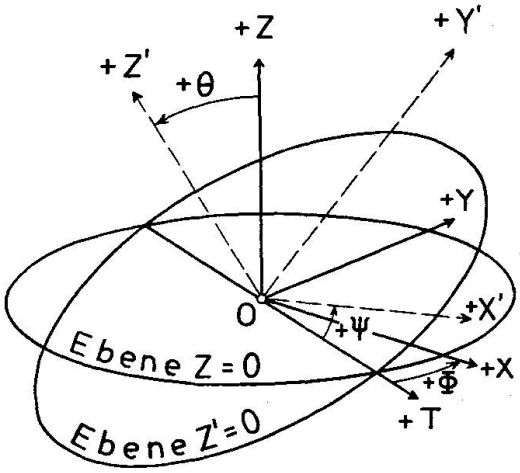


Fig. 1. Definition der EULER-Winkel für zwei rechtwinklige Rechts-Systeme XYZ und X'Y'Z' mit gemeinsamem Ursprung 0.

1. Θ entspricht der Neigung der Z'-Achse gegen die Z-Achse, und somit dem von den Ebenen $Z' = 0$ und $Z = 0$ eingeschlossenen Winkel.
2. Die beiden Ebenen $Z = 0$ und $Z' = 0$ schneiden sich in einer Geraden, welche als Knotenlinie bezeichnet wird und welcher man willkürlich einen Richtungssinn zuweist, womit sie zur Knotenachse T wird. Der unter 1. definierte Winkel Θ gilt als positiv, wenn die Überführung von Z in Z' durch Drehung um T zusammen mit einem Fortschreiten in Richtung der Knotenachse eine Rechtsschraube bedingt.
3. In der Ebene $Z = 0$ bezeichnet Φ den Winkel zwischen der positiven Knotenachse und der positiven X-Achse. Φ wird positiv gerechnet, wenn die kürzeste Überführung der positiven Knotenachse in die positive X-Achse durch Drehung um die Z-Achse, zusammen mit einem Fortschreiten in Richtung von $+Z$ ebenfalls eine Rechtsschraube ergibt.

---

[1]) Zur Vermeidung der Verwechslung mit anderen Grössen werden im folgenden die EULER-Winkel immer mit Majuskeln bezeichnet.

4. In der Ebene $Z' = 0$ bezeichnet Ψ den Winkel zwischen der positiven Knotenachse und der positiven X'-Achse. Ψ wird als positiv gerechnet, falls die kürzeste Drehung der positiven Knotenachse in die positive X'-Achse um die Z'-Achse zusammen mit einem Fortschreiten in Richtung von $+Z'$ wiederum eine Rechtsschraube ergibt. Man bezeichnet Φ auch als Präzession, Ψ als Rotation und Θ als Nutation.

Die beiden Systeme XYZ und X'Y'Z' lassen sich somit durch drei einfach zu beschreibende Drehungen um die eben definierten EULER-Winkel ineinander überführen. So bringt z. B.

1. eine Drehung im Betrag Φ um Z die Knotenachse T auf die X-Achse,
2. eine Drehung im Betrag Θ um die Knotenachse Z auf Z' bzw. die XY-Ebene auf die X'Y'-Ebene,
3. eine Drehung im Betrag Ψ um Z' die Knotenachse bzw. X auf X', womit das System XYZ in X'Y'Z' übergeführt ist. Umgekehrt lässt sich auch X'Y'Z' in XYZ überführen.

Es handelt sich nun weiter darum, die w. o. in (1) erwähnten 9 Richtungscosinus durch die EULER-Winkel Φ, Θ, Ψ auszudrücken. Dies

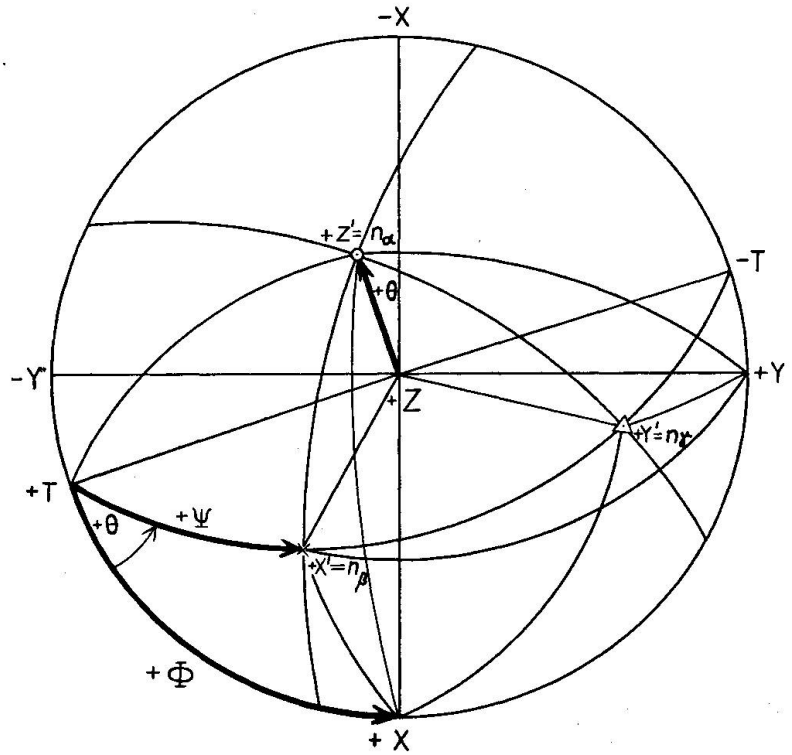


Fig. 2. Ableitung der Beziehungen zwischen den 9 durch die Achsen XYZ und X'Y'Z' gebildeten Winkeln und den EULER-Winkeln

geschieht in übersichtlicher Weise an Hand einer stereographischen Projektion unter Anwendung des cos-Satzes der sphärischen Trigonometrie (vgl. Fig. 2).

1. Aus $\triangle + X + X' + T$ erhält man:

$$\cos(XX') = \cos\Phi\cos\Psi + \sin\Phi\sin\Psi\cos\Theta$$

2. Aus $\triangle + X + Y' + T$:

$$\cos(XY') = \cos\Phi\cos\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right) + \sin\Phi\sin\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\Theta =$$
$$= -\cos\Phi\sin\Psi + \sin\Phi\cos\Psi\cos\Theta$$

3. Aus $\triangle + X + Z' + T$:

$$\cos(XZ') = \cos\Phi\cos\frac{\pi}{2} + \sin\Phi\sin\frac{\pi}{2}\cos\left(\Theta + \frac{\pi}{2}\right) = -\sin\Phi\sin\Theta$$

4. Aus $\triangle + X' + Y' + T$:

$$\cos(YX') = \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\Psi + \sin\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\sin\Psi\cos\Theta =$$
$$= -\sin\Phi\cos\Psi + \cos\Phi\sin\Psi\cos\Theta$$

5. Aus $\triangle + Y + Y' + T$:

$$\cos(YY') = \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right) + \sin\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\sin\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\Theta$$
$$= \sin\Phi\sin\Psi + \cos\Phi\cos\Psi\cos\Theta$$

6. Aus $\triangle + Y + Z' + T$:

$$\cos(YZ') = \cos\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\frac{\pi}{2} + \sin\left(\Phi + \frac{\pi}{2}\right)\sin\frac{\pi}{2}\cos\left(\Theta + \frac{\pi}{2}\right) =$$
$$= -\cos\Phi\sin\Theta$$

7. Aus $\triangle + Z + X' + T$:

$$\cos(ZX') = \cos\frac{\pi}{2}\cos\Psi + \sin\frac{\pi}{2}\sin\Psi\cos\left(\frac{\pi}{2} - \Theta\right) = \sin\Psi\sin\Theta$$

8. Aus $\triangle + Y' + Z + T$:

$$\cos(ZY') = \cos\frac{\pi}{2}\cos\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right) + \sin\frac{\pi}{2}\sin\left(\Psi + \frac{\pi}{2}\right)\cos\left(\frac{\pi}{2} - \Theta\right) =$$
$$= \cos\Psi\sin\Theta$$

9. $\cos(ZZ') = \cos\Theta$ nach Definition

In das Schema der Richtungscosinus (1) eingesetzt ergibt sich:

	X	Y
X′	$\lambda_1 = \cos\Phi\cos\Psi + \sin\Phi\sin\Psi\cos\Theta$	$\lambda_2 = -\sin\Phi\cos\Psi + \cos\Phi\sin\Psi\cos\Theta$
Y′	$\mu_1 = -\cos\Phi\sin\Psi + \sin\Phi\cos\Psi\cos\Theta$	$\mu_2 = \sin\Phi\sin\Psi + \cos\Phi\cos\Psi\cos\Theta$
Z′	$\nu_1 = -\sin\Phi\sin\Theta$	$\nu_2 = -\cos\Phi\sin\Theta$

	Z
X′	$\lambda_3 = \sin\Psi\sin\Theta$
Y′	$\mu_3 = \cos\Psi\sin\Theta$
Z′	$\nu_3 = \cos\Theta$

(3)

III. Die Anwendung der Euler-Winkel zur Darstellung der optischen Orientierung der Plagioklase

Da durch die EULER-Winkel die gegenseitige Lage zweier Koordinatensysteme mit gemeinsamem Ursprung eindeutig definiert ist, kann die optische Orientierung eines Plagioklases, d. h. die Lage der drei Hauptschwingungsrichtungen in bezug auf die w. o. erwähnten drei zueinander rechtwinkligen kristallographischen Richtungen [001], $\perp$ (010), $\frac{\perp [001]}{(010)}$ ebenfalls durch die Angabe von drei Winkeln eindeutig festgelegt werden.

Es ergeben sich daher sofort die beiden praktisch wichtigen Aufgaben:

1. Gegeben: die optische Orientierung eines Plagioklases in üblicher Weise, d. h. entweder durch Angabe der Achsenpositionen oder der Positionen der Hauptschwingungsrichtungen, entweder in Kugelkoordinaten (ξ, η) oder in (φ, ρ)-Werten.

   Gesucht: die EULER-Winkel Φ, Ψ, Θ.

2. Gegeben: die EULER-Winkel Φ, Ψ, Θ.

   Gesucht: die optische Orientierung des Plagioklases in stereographischer Projektion, entweder auf graphischem Wege, durch Konstruktion mit Hilfe des WULFFschen Netzes, oder durch Berechnung der Koordinaten der Hauptschwingungsrichtungen.

Vorgängig der Inangriffnahme der beiden Aufgaben muss jedoch noch festgesetzt werden, wie die beiden in Betracht kommenden Tripel

kristallographischer bzw. optischer Richtungen den Achsen XYZ bzw. X'Y'Z' zuzuordnen sind. Für das kristallographische System, welches mit dem Raume fest verbunden gedacht sein soll, ist die Zuordnung, wenn man sich für ein Rechtssystem entschliesst, gegeben:

$$X = \frac{\perp [001]}{(010)} = \text{ZA des Roc-Tourné-Gesetzes}$$
$$Y = \perp (010) = \text{ZA des Albitgesetzes}$$
$$Z = [010] = \text{ZA des Karlsbadergesetzes.}$$

In bezug auf das optische System ist die Zuordnung der Hauptachsen (Hauptschwingungsrichtungen) der Indikatrix n_α, n_β, n_γ an und für sich in verschiedener Weise möglich, und es ist vor allem eine Frage der Zweckmässigkeit, wie vorgegangen wird. Da die in der oberen Halbkugel ausstechenden, als positiv angenommenen Hauptschwingungsrichtungen n_α, n_β, n_γ in dieser Reihenfolge ein Rechtssystem bilden, so sind drei Möglichkeiten der Zuordnung vorhanden, nämlich:

X'	n_α	n_β	n_γ
Y'	n_β	n_γ	n_α
Z'	n_γ	n_α	n_β

Die naheliegend erscheinende erste Annahme ist nicht zweckmässig. Wie sich aus dem bekannten Stereogramm der optischen Orientierung, der Plagioklase, projiziert auf die Ebene $\perp [001]$ (z. B. Reinhard 1931, Taf. 1) ergibt, käme für diesen Fall $n_\gamma = Z'$ für ca. An_{20} in die XY-Ebene zu liegen, was einem Winkel $\Theta = 90°$ entsprechen würde. Θ würde somit für den ganzen Variationsbereich Werte $\lesseqgtr 90°$ annehmen, was die Übersicht erschwert. Die gleiche Schwierigkeit tritt für die dritte der angegebenen Möglichkeiten auf, da auch für $n_\beta = Z'$ der Winkel $\Theta \lesseqgtr 90°$ würde. Für die zweite Annahme jedoch verbleibt $Z' = n_\alpha$ für die ganze Variation von Albit bis Anorthit auf derselben Seite der XY-Ebene, und Θ ist immer $< 90°$, was die Übersicht bei Konstruktionen mit Hilfe des Wulffschen Netzes sehr erleichtert. Es soll daher im folgenden immer gelten:

$$X' = n_\beta$$
$$Y' = n_\gamma$$
$$Z' = n_\alpha$$

Nach diesen Festsetzungen kann die Behandlung der beiden Grundaufgaben in Angriff genommen werden.

C. Grundaufgaben

I. Bestimmung der Euler-Winkel bei gegebener optischer Orientierung

a) Zeichnerisches Verfahren mit Hilfe des Wulffschen Netzes

Liegt die optische Orientierung in Form einer stereographischen Projektion vor, wobei diese entweder aus den bekannten Positionen der optischen Achsen konstruiert oder durch U-Tischmessungen erhalten werden kann, bietet die graphische Bestimmung der EULER-Winkel mit Hilfe des WULFFschen Netzes weiter kein Problem, da diese unter Beachtung der gegebenen Definitionen direkt abgelesen werden können. Die Schnittgerade der Ebene $n_\beta n_\gamma = X'Y'$ mit der Zeichenebene XY entspricht der Knotenlinie T. Ihr vom Zentrum nach links verlaufender Ast wird willkürlich als positiv angenommen und der Winkel $(+T, +X)$ entspricht Φ. Ferner ist Winkel $(+T, +X') = (+T, n_\beta) = \Psi$, und Winkel $(+Z, +Z') = (Z, n_\alpha) = \Theta$ (vergl. Fig. 3).

b) Rechnerisches Verfahren

α) Gegeben die Positionen der optischen Achsen in Kugelkoordinaten (ξ, η).

Die Rechnung gestaltet sich am einfachsten unter Anwendung der Vektormethoden (vgl. C. BURRI (1950). Nennt man die Richtungscosinus der beiden optischen Achsen, bezogen auf das System XYZ λ, μ, ν, so gilt (BURRI 1950, 258—303):

$$\lambda = \cos\eta \sin\xi$$
$$\mu = \sin\eta$$
$$\nu = \cos\eta \cos\xi$$

und die Einheitsvektoren der optischen Achsen A und B lauten:

$$\mathfrak{A}_0 = \cos\eta_1 \sin\xi_1 \mathfrak{i} + \sin\eta_1 \mathfrak{j} + \cos\eta_1 \cos\xi_1 \mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{B}_0 = \cos\eta_2 \sin\xi_2 \mathfrak{i} + \sin\eta_2 \mathfrak{j} + \cos\eta_2 \cos\xi_2 \mathfrak{k}$$

Die drei gesuchten Eulerwinkel erhält man auf einfache Weise als skalare Produkte:

$$\cos\Theta = (\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k})$$
$$\cos\Phi = (\mathfrak{t}_0 \mathfrak{i})$$
$$\cos\Psi = (\mathfrak{b}_0 \mathfrak{t}_0)$$

Dabei sind $\mathfrak{a}_0$, $\mathfrak{b}_0$ und $\mathfrak{t}_0$ die Einheitsvektoren in Richtung von $n_\alpha = Z'$, $n_\beta = X'$ und der Knotenlinie T, und $\mathfrak{i}, \mathfrak{j}, \mathfrak{k}$ diejenigen in Richtung der drei Koordinatenachsen XYZ. Den Einheitsvektor $\mathfrak{a}_0$ erhält man, indem man

zuerst durch vektorielle Addition $\mathfrak{A}_0 + \mathfrak{B}_0 = \mathfrak{a}$ bildet. Aus $\mathfrak{a}$ erhält man durch skalare Multiplikation mit sich selbst $\mathfrak{a}^2$ und daraus $|\mathfrak{a}|$, worauf $\mathfrak{a}_0 = \frac{\mathfrak{a}}{|\mathfrak{a}|}$ ist.

Den Einheitsvektor $\mathfrak{b}_0$ bildet man auf analoge Weise aus $\mathfrak{b}$, welches man als vektorielles Produkt $[\mathfrak{A}_0 \mathfrak{B}_0]$ erhält. Da die Knotenlinie die Schnittgerade der Ebenen $Z = 0$ und $Z' = 0$ darstellt, so berechnet sich ihr Vektor zu $\mathfrak{t} = [\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k}]$, worauf $\mathfrak{t}_0$ wie oben erhalten wird.

Beispiel: Berechnung der EULER-Winkel für Labrador An_{54} von Kamenoi Brod. Durch O. GROSSPIETSCH (1925) wurden die Achsenpositionen wie folgt bestimmt:

$$\text{Achse A: } \xi_1 = 74{,}9^\circ \qquad \text{Achse B: } \xi_2 = 14{,}6^\circ$$
$$\eta_1 = 56{,}7^\circ \qquad \eta_2 = 33{,}0^\circ$$

Daraus folgt für die Einheitsvektoren in Richtung der optischen Achsen:

$$\mathfrak{A}_0 = -0{,}53006\,\mathfrak{i} - 0{,}83581\,\mathfrak{j} + 0{,}14302\,\mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{B}_0 = -0{,}21140\,\mathfrak{i} + 0{,}54464\,\mathfrak{j} + 0{,}81158\,\mathfrak{k}$$

und für die Bisektrix n_α (da Labrador An_{54} optisch negativ ist):

$$\mathfrak{a} = \mathfrak{A}_0 + \mathfrak{B}_0 = -0{,}74146\,\mathfrak{i} - 0{,}29117\,\mathfrak{j} + 0{,}95460\,\mathfrak{k}$$

und $$\mathfrak{a}_0 = -0{,}5964\,\mathfrak{i} - 0{,}2342\,\mathfrak{j} + 0{,}7678\,\mathfrak{k}$$

Für die Knotenlinie T folgt:

$$\mathfrak{t} = [\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k}] = -0{,}2342\,\mathfrak{i} + 0{,}5964\,\mathfrak{j}$$

und $$\mathfrak{t}_0 = -0{,}3655\,\mathfrak{i} + 0{,}9307\,\mathfrak{j}$$

In bezug auf die optische Normale erhält man:

$$\mathfrak{b} = [\mathfrak{A}_0 \mathfrak{B}_0] = 0{,}75632\,\mathfrak{i} - 0{,}39995\,\mathfrak{j} + 0{,}46538\,\mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{b}_0 = 0{,}7766\,\mathfrak{i} - 0{,}4107\,\mathfrak{j} + 0{,}4779\,\mathfrak{k}$$

Für die EULER-Winkel folgt somit:

$$\cos\Theta = (\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k}) = 0{,}7678 \qquad \Theta = 39{,}8^\circ$$
$$\cos\Phi = (\mathfrak{t}_0 \mathfrak{i}) = 0{,}3655 \qquad \Phi = 68{,}6^\circ$$
$$\cos\Psi = (\mathfrak{b}_0 \mathfrak{t}_0) = 0{,}6661 \qquad \Psi = 48{,}2^\circ$$

β) Gegeben die Positionen der Hauptschwingungsrichtungen, wie sie bei U-Tischmessungen erhalten werden.

Sind die Positionen der drei Hauptschwingungsrichtungen in (φ, ρ)-Werten gegeben, so gilt für die Richtungscosinus bzw. Koordinaten der Einheitsvektoren (BURRI 1950, 271):

$$\lambda = \sin\varphi \sin\rho$$
$$\mu = \cos\varphi \sin\rho$$
$$\nu = \cos\rho$$

Die benötigten Einheitsvektoren in Richtung von $\mathfrak{n}_\alpha$ und $\mathfrak{n}_\beta$ lassen sich somit sofort anschreiben:

$$\mathfrak{a}_0 = \sin\varphi_1 \sin\rho_1 \mathfrak{i} + \cos\varphi_1 \sin\rho_1 \mathfrak{j} + \cos\rho_1 \mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{b}_0 = \sin\varphi_2 \sin\rho_2 \mathfrak{i} + \cos\varphi_2 \sin\rho_2 \mathfrak{j} + \cos\rho_2 \mathfrak{k}$$

worauf, wie unter α) angegeben, weiterverfahren wird. Die stereographische Projektion erlaubt eine Kontrolle der Resultate.

Beispiel: Labrador von Tamatave, Madagaskar. Nach K. Chudoba und J. Jakob (1930) lauten die Positionswerte für die drei Hauptschwingungsrichtungen:

	φ	ρ
$\mathfrak{n}_\alpha$	254° 50′	38° 40′
$\mathfrak{n}_\beta$	119° 40′	64° 40′
$\mathfrak{n}_\gamma$	15° 05′	63° 05′

woraus folgt:

$$\mathfrak{a}_0 = -0{,}5721\,\mathfrak{i} - 0{,}2567\,\mathfrak{j} + 0{,}7790\,\mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{b}_0 = +0{,}7854\,\mathfrak{i} - 0{,}4473\,\mathfrak{j} + 0{,}4279\,\mathfrak{k}$$
$$\mathfrak{t} = [\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k}] = \quad -0{,}2567\,\mathfrak{i} + 0{,}5721\,\mathfrak{j}$$
$$\mathfrak{t}_0 = -0{,}4094\,\mathfrak{i} + 0{,}9124\,\mathfrak{j}$$

$$\cos\Phi = (\mathfrak{t}_0 \mathfrak{i}) = 0{,}4094 \qquad \Phi = 65{,}8°$$
$$\cos\Theta = (\mathfrak{a}_0 \mathfrak{k}) = 0{,}7790 \qquad \Theta = 38{,}8°$$
$$\cos\Psi = (\mathfrak{b}_0 \mathfrak{t}_0) = 0{,}7297 \qquad \Psi = 43{,}1°$$

II. Ableitung der optischen Orientierung aus gegebenen Euler-Winkeln

a) Zeichnerisches Verfahren mit Hilfe des Wulffschen Netzes

Man zeichnet das kristallographisch bestimmte System mit +X nach vorn, +Y nach rechts und +Z nach oben. In Übereinstimmung mit den w. o. gemachten Festsetzungen über das Vorzeichen der Drehungen trägt man darauf den (für alle Plagioklase immer positiven) Winkel Φ als $-\Phi$ von +X aus im Uhrzeigersinn auf dem Grundkreis ab, wodurch man das positive Ende der Knotenlinie T erhält, und diese als Durchmesser einzeichnen kann. Normal zur Knotenlinie, vom Zentrum aus, und zwar

nach oben, d. h. im positiven Sinne nach Definition, trägt man den Winkel Θ auf und erhält auf diese Weise die Position von $n_\alpha = Z'$. Man zeichnet den hierzu polaren Grosskreis, welcher den Grundkreis in den Endpunkten der Knotenlinie trifft. Auf dem zu Z' polaren Grosskreis trägt man den Winkel Ψ, positive Werte vom positiven, negative vom negativen Ende der Knotenlinie aus ab, wodurch $n_\beta = X'$ erhalten wird. In 90° Abstand davon liegt die dritte Hauptschwingungsrichtung $n_\gamma = Y'$, womit die gesuchte optische Orientierung erhalten ist.

b) Rechnerisches Verfahren

Sind die 3 EULER-Winkel gegeben, so lassen sich auf Grund des Schemas (3) die 9 Richtungscosinus berechnen. Da die Richtungscosinus der Achsen $X'Y'Z'$, bezogen auf das System XYZ, gleich den Koordinaten der Einheitsvektoren $\mathfrak{i}', \mathfrak{j}', \mathfrak{k}'$ in Richtung von $X'Y'Z'$, bezogen auf XYZ sind, so lassen sich diese unmittelbar anschreiben:

$$\begin{aligned}
\mathfrak{i}' &= \mathfrak{b}_0 = \cos(XX')\,\mathfrak{i} + \cos(YX')\,\mathfrak{j} + \cos(ZX')\,\mathfrak{k} \\
\mathfrak{j}' &= \mathfrak{c}_0 = \cos(XY')\,\mathfrak{i} + \cos(YY')\,\mathfrak{j} + \cos(ZY')\,\mathfrak{k} \\
\mathfrak{k}' &= \mathfrak{a}_0 = \cos(XZ')\,\mathfrak{i} + \cos(YZ')\,\mathfrak{j} + \cos(ZZ')\,\mathfrak{k}
\end{aligned}$$

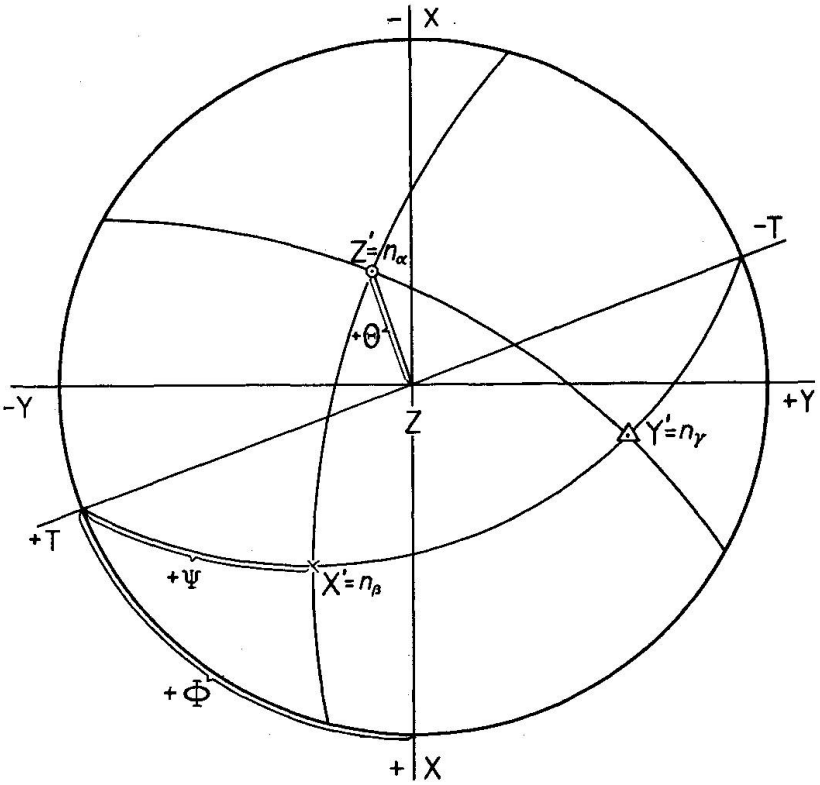


Fig. 3. Optische Orientierung eines Hochtemperatur-Plagioklases An_{50}.

$$\text{bzw. } \mathfrak{i}' = \mathfrak{b}_0 = (\cos\Phi\cos\Psi + \sin\Phi\sin\Psi\cos\Theta)\,\mathfrak{i} - (\sin\Phi\cos\Psi - \cos\Phi\sin\Psi\cos\Theta)\,\mathfrak{j} + \sin\Psi\sin\Theta\,\mathfrak{k}$$

$$\mathfrak{j}' = \mathfrak{c}_0 = (\cos\Phi\sin\Psi - \sin\Phi\cos\Psi)\,\mathfrak{i} + (\sin\Phi\sin\Psi + \cos\Phi\cos\Psi\cos\Theta)\,\mathfrak{j} + \cos\Psi\sin\Theta\,\mathfrak{k}$$

$$\mathfrak{k}' = \mathfrak{a}_0 = -\sin\Phi\sin\Psi\,\mathfrak{i} - \cos\Phi\sin\Psi\,\mathfrak{j} + \cos\Theta\,\mathfrak{k}$$

Beispiel: Optische Orientierung für Hochtemperatur-Plagioklas An_{50} auf Grund der durch Interpolation erhaltenen EULER-Winkel $\Phi = +75{,}0°$, $\Psi = +47{,}0°$, $\Theta = +43{,}0°$ (vgl. Fig. 3).

Nach (3) berechnen sich die 9 Richtungscosinus bzw. Richtungswinkel zwischen den Achsen der Systeme XYZ und X′Y′Z′ wie folgt:

	$X = \frac{[001]}{(010)}$	$Y = \perp(010)$	$Z = [001]$
$X' = \mathfrak{b}_0$ (n_β)	$\cos(XX') = +0{,}6932$ $(XX') = 46{,}1°$	$\cos(YX') = -0{,}5203$ $(YY') = 121{,}4°$	$\cos(ZX') = +0{,}4988$ $(ZX') = 60{,}1°$
$Y' = \mathfrak{c}_0$ (n_γ)	$\cos(XY') = +0{,}2925$ $(XY') = 73{,}0°$	$\cos(YY') = +0{,}8356$ $(YY') = 33{,}2°$	$\cos(ZY') = +0{,}4651$ $(ZY') = 62{,}3°$
$Z' = \mathfrak{a}_0$ (n_α)	$\cos(XZ') = -0{,}6587$ $(XZ') = 131{,}2°$	$\cos(YZ') = -0{,}1765$ $(YZ') = 100{,}2°$	$\cos(ZZ') = +0{,}7314$ $(ZZ') = 43{,}0°$

Die Einheitsvektoren in Richtung der drei Hauptschwingungsrichtungen, bezogen auf das kristallographische Achsensystem XYZ lauten somit:

$$\mathfrak{a}_0 = -0{,}6587\,\mathfrak{i} - 0{,}1765\,\mathfrak{j} + 0{,}7314\,\mathfrak{k} \qquad \varphi = 255{,}0° \qquad \rho = 43{,}0°$$

$$\mathfrak{b}_0 = +0{,}6932\,\mathfrak{i} - 0{,}5203\,\mathfrak{j} + 0{,}4988\,\mathfrak{k} \qquad \varphi = 126{,}9° \qquad \rho = 60{,}1°$$

$$\mathfrak{c}_0 = +0{,}2925\,\mathfrak{i} + 0{,}8356\,\mathfrak{j} + 0{,}4651\,\mathfrak{k} \qquad \varphi = 19{,}3° \qquad \rho = 62{,}3°$$

Die Eintragung in eine stereographische Projektion kann entweder auf Grund der Richtungswinkel oder der (φ, ρ)-Werte erfolgen.

D. Neuentwurf des Stereogrammes der optischen Orientierung der Plagioklase unter Berücksichtigung konstanter Anorthit-Intervalle

I. Allgemeines

Die bekannten Stereogramme mit Projektionsebene $\perp$ c, welche die Wanderung der optischen Vektoren (Hauptschwingungsrichtungen, optische Achsen) in bezug auf das als fest angenommene Kristallgebäude zur Darstellung bringen, bilden die Grundlage der Plagioklasbestimmung,

und zwar sowohl für die klassischen wie für die U-Tischmethoden. Für die erstern liefern sie über die FRESNELsche Konstruktion die Auslöschungskurven für die interessierenden Flächen und Zonen. Für die letztern finden sie direkte Anwendung, indem man die Resultate der Einmessungen, in stereographischer Projektion dargestellt, nach geeigneter Transformation mit ihnen vergleicht. Dazu ist es praktisch von Vorteil, über weitere Stereogramme zu verfügen, welche die Migration der wichtigen Flächenpole, Kanten und Kantennormalen in bezug auf das als fest angenommene optische System (Hauptschwingungsrichtungen) zeigen, sowie zusätzliche Projektionen auf bestimmte, z. B. als Verwachsungsebenen von Zwillingen häufige Flächen, wie (010) und (001). Diese lassen sich alle aus dem grundlegenden Stereogramm $\perp$ c graphisch oder rechnerisch leicht ableiten. Derartige Darstellungen sind seit der Einführung der U-Tischmethoden durch E. v. FEDOROW auf Grund der jeweils vorhandenen, als zuverlässig erscheinenden Daten vor allem durch A. MICHEL-LÉVY (1894), V. USSOW (1910), E. A. WÜLFLING (1921—1924), L. DUPARC und M. REINHARD (1924), M. REINHARD (1931), W. W. NIKITIN (1936), G. VAN DER KAADEN (1951) u. a. veröffentlicht worden, wobei sich im Laufe der Zeiten immer neue Verbesserungen ergaben. Am bekanntesten und am meisten gebraucht sind wohl die durch M. REINHARD (1931) gegebenen Stereogramme.

Beim Gebrauch dieser Darstellungen bei petrographischen Untersuchungen ergaben sich jedoch gewisse Unstimmigkeiten, welche zu ausgedehnten Diskussionen führten, da die gefundenen Abweichungen sich nicht durch mangelhafte Unterlagen oder Messfehler allein deuten liessen. Sie betrafen besonders den Verlauf der (010)-Migrationskurve im System der fest gedachten kristallographischen Richtungen. Arbeiten von H. SCHUMANN (1931), G. PALIUC (1932), ED. WENK (1933), C. T. BARBER (1936), E. ERNST und H. NIELAND (1934) u. a. lieferten die hauptsächlichsten Unterlagen. Nach erfolglosen Versuchen zur Festlegung einer mittleren Kurve durch BARBER (1936) wurde die Lösung des Dilemmas durch die Erkenntnis von der Existenz einer gesonderten Hoch- bzw. Tieftemperaturoptik der Plagioklase durch A. KÖHLER (1941) erbracht. Gleichzeitig wurden auch die bisher nicht verständlichen Unstimmigkeiten im Gebiet der Andesine geklärt, indem sich die untersuchten Beispiele aus dem „porphyre bleu" des Estérel-Gebirges und aus japanischen vulkanischen Gesteinen, welche sich nicht in die Reihe der übrigen Plagioklase eingefügt hatten, als Hochtemperaturformen erwiesen. Auch die bisher unverständliche Tatsache, dass synthetische basische Plagioklase, mit deren Hilfe man eine Ergänzung der spärlichen

Daten natürlicher Vorkommen versucht hatte, ebenfalls aus der Reihe fielen, fand ihre Erklärung durch die neue Erkenntnis. Es handelte sich bei ihnen ebenfalls um Hochtemperaturformen.

Nach dem heutigen Stand der Erkenntnis sind somit diese beiden Fälle getrennt zu betrachten, d. h. die Abhängigkeit der Lagendispersion der Indikatrix vom An-Gehalt muss sowohl für die Tieftemperatur- wie für die Hochtemperaturform erforscht und voneinander getrennt in besonderen Darstellungen festgehalten werden. Dies wurde unter Verwendung des jeweils verfügbaren Materials durch H. TERTSCH (1942b) und VAN DER KAADEN (1951) versucht.

Die älteren Darstellungen, vor allem die viel gebrauchten REINHARDschen Stereogramme, sind durch die neuen Erkenntnisse nicht etwa wertlos geworden, wie vielleicht vermutet werden könnte. Da sie ausschliesslich auf Tieftemperaturplagioklasen basieren und da für diese keine wesentlichen neuen Tatsachen bekannt geworden sind, sind sie zur Bestimmung dieser sehr gut weiter zu gebrauchen, sie bedürfen nur einer Ergänzung für die Hochtemperaturformen.

Dass unsere grundlegenden Kenntnisse über die Plagioklasoptik bis vor kurzem vorwiegend oder fast ausschliesslich auf Tieftemperaturformen basierten, ist nicht zufällig. Der Grund liegt darin, dass sich gut ausgebildete und homogene Kristalle, welche sich in bezug auf Grösse und Frische zu optischen und chemischen Untersuchungen eignen und daher auch in erster Linie beachtet wurden, vor allem unter diesen finden. Es sind vorwiegend unter hydrothermalen Bedingungen gebildete Kluftalbite, Oligoklase aus Pegmatiten sowie basischere Glieder aus Tiefengesteinen bzw. kristallinen Schiefern oder auch metasomatische Bildungen, wie der bekannte Anorthit des Vesuvs. Die Hochtemperaturvorkommen, wie sie sich in Natur in vulkanischen Gesteinen finden, eignen sich u. a. wegen der oft vorhandenen intensiven Zonarstruktur sowie der häufigen Glaseinschlüsse weit weniger zur chemischen und optischen Untersuchung. Sie wurden daher nur in Ausnahmefällen untersucht und, da dies z. B. für die japanischen Andesine oder demjenigen von St. Raphael (Estérel) zu den erwähnten Unstimmigkeiten führte, als Grundlage zur Konstruktion der grundlegenden Stereogramme nicht weiter benützt. Die geringe Eignung der Vorkommen aus vulkanischen Gesteinen zu chemischen und optischen Untersuchungen sind auch z. H. dafür verantwortlich, dass man auch heute noch zur Festlegung der optischen Verhältnisse der Hochtemperatur-Plagioklase weitgehend auf synthetisches Material angewiesen ist. Eine Ausnahme machen in dieser Beziehung, neben den erwähnten Andesinen, nur die durch E. ERNST und

H. NIELAND (1934) ausgezeichnet untersuchten Andesine und Labradore von Linosa.

Ein besonderes Problem bei der Konstruktion der Stereogramme für die U-Tischmethoden bildete die Kalibrierung der Migrationskurven zur Ablesung der An-Gehalte. Während man für das grundlegende Stereogramm der Migration der optischen Vektoren bei fixem Kristallgebäude bisher im allgemeinen die einzelnen chemisch und optisch bestimmten Typen einzeichnete und auf eine gleichmässige Kalibrierung der Migrationskurven, z. B. von 10 zu 10% An verzichtete, ist eine solche für die daraus abgeleiteten Stereogramme meist üblich. Naturgemäss haftet jedoch den hierzu notwendigen Interpolationen immer eine gewisse Willkür an, da die Lagenänderung der Indikatrix in Abhängigkeit vom Chemismus nicht gleichmässig erfolgt, so dass eine exakte Interpolation überhaupt gar nicht möglich war. Wenn auch die dadurch bedingten Fehler im Vergleich zu denjenigen, welche z. B. durch die vielfach ungenügenden chemischen Unterlagen bedingt sind, in vielen Fällen sicherlich vernachlässigt werden dürfen, so ist es dennoch prinzipiell interessant und gerechtfertigt, zu versuchen ob sie nicht vermieden werden können. Eine exaktere Kalibrierung der Migrationskurven ist vor allem auch von grösserer Bedeutung, seit man weiss, dass eine Temperaturabhängigkeit der Optik besteht. Die Migrationskurven für die Hoch- bzw. Tieftemperaturformen differieren in ihrem allgemeinen Verlauf z. T. nur wenig voneinander, hingegen fallen die Örter gleichen An-Gehaltes im allgemeinen nicht zusammen, da sie in Richtung der Kurven verschoben sind. Eine Anwendung der Tieftemperatur-Kalibrierung für die Hochtemperaturkurven z. B. würde deshalb erhebliche Fehler im Gefolge haben. Die EULER-Winkel scheinen nun eine Möglichkeit für eine gleichmässige Interpolation zu bieten, und es soll daher im folgenden versucht werden, das grundlegende Stereogramm für die optische Orientierung der Plagioklase, für Hoch- und Tieftemperaturformen getrennt, unter Berücksichtigung dieses Gesichtspunktes neu zu entwerfen.

II. Die Tieftemperatur-Plagioklase

Obgleich sich unsere Kenntnisse über die Abhängigkeit der Tieftemperatur-Plagioklase von der chemischen Zusammensetzung im Laufe der Zeiten bedeutend gebessert haben, so können sie doch bei weitem noch nicht als befriedigend bezeichnet werden. Immer noch gilt, leider z. T. auch für neuere Bestimmungen, die REINHARDsche Bemerkung, dass eine ganze Anzahl von chemischen Analysen optisch genau untersuchter Plagioklastypen nicht einmal den Anforderungen genügen, welche

heute gemeinhin an Gesteinsanalysen gestellt werden, geschweige denn an solche von Mineralien. Wenn es sich überhaupt verantworten lässt, sie dennoch zu benützen, so dann vor allem deshalb, weil die für die Berechnung des An-Gehaltes in erster Linie massgebliche CaO-Bestimmung chemisch-analytisch zu den genauesten im gesamten Analysengang der klassischen chemischen Silikatanalyse gehört. Was unsere Kenntnisse der einzelnen Typen anbelangt, so darf gesagt werden, dass sie für die Albite und Oligoklase einigermassen befriedigen. Die früher bestehenden und viel diskutierten Unstimmigkeiten im Gebiete der Andesine haben sich insofern geklärt, als die scheinbar aus der Reihe fallenden Vorkommen aus dem Porphyre bleu des Estérel-Massivs, von Japan und Linosa als Hochtemperaturbildungen erkannt wurden und daher ausgeschaltet werden konnten. Während man auch über die Labradore einigermassen informiert ist, besteht immer noch mehr oder weniger eine unbefriedigende Situation für die basischeren Glieder. Die lange Zeit bestehende Lücke zwischen dem Labrador-Bytowniten von Närödäl, ca. An_{70}, und dem Anorthit An_{97} vom Vesuv (aus kontaktmetasomatischen Kalkauswürflingen, sog. Somma-Blöcken) ist zwar in neuerer Zeit teilweise ausgefüllt worden. Obgleich die neueren Untersuchungen an den Anorthiten von Bönskär (Schweden), Verch Isetsk (Ural) und vom Pala Mt., San Luis Rey quadr. (Kalifornien) sowie von Akerö (Schweden) ausschliesslich ohne Bestimmung der genauen Achsenpositionen nach der U-Tischmethode ausgeführt wurden, so bilden sie doch einen sehr schätzenswerten Zuwachs unserer Kenntnisse, um so mehr als der An-Gehalt des Labrador-Bytownits von Närödäl wegen beginnender Zoisitisierung nicht genau feststeht. Leider sind jedoch die chemischen Analysen der Vorkommen von Akerö und Verch Isetsk nicht den heutigen Anforderungen entsprechend, während dies für diejenigen von Bönskär und Kalifornien der Fall ist.

Tabelle 1 gibt eine Zusammenstellung über die bis heute chemisch und optisch untersuchten Tieftemperatur-Plagioklase, insofern die Bestimmungen als verlässlich erscheinen. Zugleich sind die nach den angegebenen Methoden berechneten EULER-Winkel aufgeführt. Da die Lagenänderung der Indikatrix in Abhängigkeit vom Chemismus in stetiger Weise erfolgt, so darf erwartet werden, dass sich die drei EULER-Winkel ebenfalls stetig ändern. Es müssen somit, wenn man sie in Abhängigkeit vom An-Gehalt aufträgt, stetig verlaufende Kurven resultieren, welche sich zu Interpolationen eignen. Wie die Fig. 4 zeigt, ist dies tatsächlich auch der Fall. Die in Anbetracht der verschiedenen Beobachter und Methoden erstaunlich geringe Streuung lässt sich ohne weiteres aus

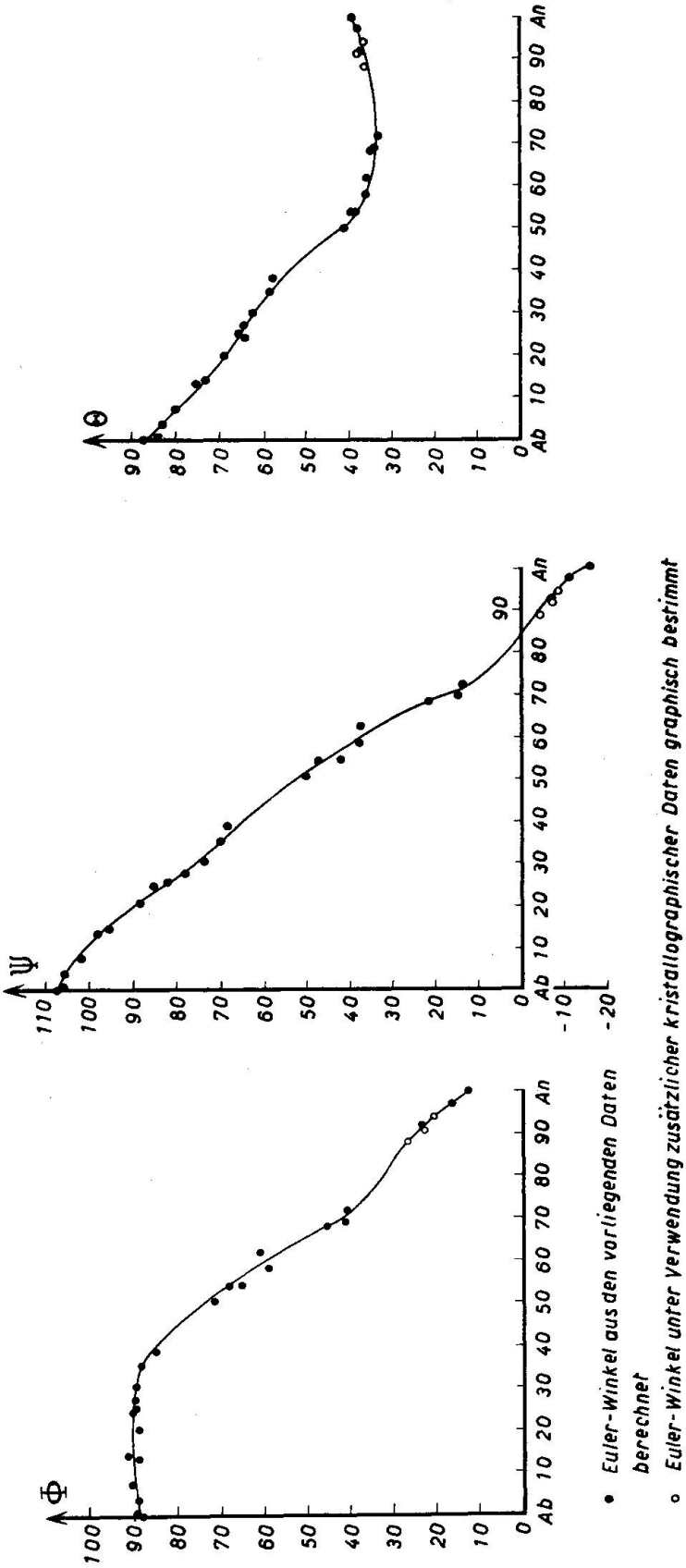


Fig. 4. Variation der EULER-Winkel in Abhängigkeit vom An-Gehalt für die Tieftemperatur-Plagioklase.

Unvollkommenheiten der chemischen und optischen Untersuchung erklären sowie wohl auch durch den Umstand, dass in den meisten Fällen chemische und optische Untersuchungen wohl an Kristallen der gleichen Stufe oder des gleichen Fundortes, nicht aber am gleichen Individuum durchgeführt wurden. Dies dürfte wohl auf die meisten, nicht Pegmatiten oder sehr grobkörnigen Anorthositen bzw. Labradorfelsen entstammenden Beispiele zutreffen. Die Mehrzahl der konstatierbaren kleinen Unstimmigkeiten liesse sich ohne weiteres völlig eliminieren, wenn der An-Gehalt um maximal $\pm 2\%$ geändert würde, also um einen relativ geringen Betrag, wie er sehr wohl, ausser durch Analysenfehler, durch die eben erwähnten Umstände bedingt sein könnte. Es fällt z. B. auf, dass die beiden durch W. W. Nikitin nach der U-Tischmethode untersuchten Plagioklase von Verch-Isetsk (Ural), welchen dieser Autor auf Grund der allerdings nicht erstklassigen Analysen die Zusammensetzung $An_{38,5}$ und An_{60} zuschreibt, sich dem Kurvenverlauf bedeutend besser einfügen würden, wenn man ihren An-Gehalt um 2% niedriger ansetzte. Eine Neuberechnung für das zweite Beispiel, ausgehend vom CaO-Gehalt, führt auf An_{58}, welcher Wert daher auch verwendet wurde. Für das ersterwähnte Beispiel wurde das Resultat durch eine entsprechende Neuberechnung nicht verändert. Die Angabe der chemischen Zusammensetzung, für drei verschieden schwere Fraktionen getrennt, zeigt jedoch, dass offenbar Zonarstruktur vorhanden sein muss, welche nicht in Rechnung gesetzt werden kann, weshalb die angegebene Zusammensetzung $An_{38,5}$ beibehalten wurde. Ebenfalls auf Grund von Neuberechnungen, ausgehend vom CaO-Gehalt, wurde die Zusammensetzung des Andesins von Bodenmais von An_{29} in An_{30} und diejenige des Anorthits von Akerö von An_{96} in An_{91} geändert, was eine bessere Übereinstimmung mit den übrigen Daten ergibt. Besondere Beachtung verdient der Labrador von Pillau, welchem in der Literatur auf Grund einer im Laboratorium Dittrich (Analytiker ungenannt) in Heidelberg ausgeführten Analyse (Schmidt 1926, 23) die Zusammensetzung An_{64} zugeschrieben wird. Das Material stammt von der Hafenmole von Pillau; es handelt sich wohl entweder um ein nordisches Geschiebe oder um Schiffsballast. Die optische Orientierung wurde durch E. A. Wülfing nach seiner konoskopischen Methode bestimmt, wozu das beste vorhandene Material benutzt wurde. Während, unter Annahme einer Zusammensetzung von An_{64}, Θ gut auf die mittlere Kurve fällt, liegen Φ und Ψ deutlich zu tief. Die Annahme einer Zusammensetzung von An_{68} würde die Unstimmigkeiten in bezug auf Φ und Ψ zum Verschwinden bringen, ohne dass sich eine solche für Θ neu bemerkbar machte, da diese Kurve im interessierenden Gebiet flach

verläuft. Eine Bestätigung für die Vermutung, dass dem Labrador von Pillau tatsächlich eine Zusammensetzung von ca. An_{68} zukommt, ergibt sich aus der exakten Bestimmung des Spaltwinkels (010)/(001) = A ($=\alpha^*$) durch Ed. Schmidt. Geht man von der durch Schmidt (1916) und Wülfing (1915) konstatierten linearen Abhängigkeit von A vom An-Gehalt aus, so erhält man für den am Labrador von Pillau gemessenen Winkel von $86^1/_3{}^\circ \pm 2'$ im Mittel ebenfalls einen An-Gehalt von 68%, während die Berücksichtigung der angegebenen Fehlergrenzen auf An_{74} bzw. An_{63} führen. Auch aus den Figuren 12 in der Arbeit Schmidt (1916) bzw. 5 in der Arbeit Wülfing (1915), wo der betrachtete Labrador eingezeichnet ist, ist sehr schön ersichtlich, dass eine Verschiebung von An_{64} nach An_{68} eine viel bessere Übereinstimmung mit der Kurve ergäbe. Es dürfte somit anzunehmen sein, dass die Analyse, welche übrigens bei einer Summe von 100,91 auch 0,44 MgO und 0,73% H_2O+ aufweist, die chemische Zusammensetzung nicht richtig wiedergibt. Sie wurde wahrscheinlich von verunreinigtem und unfrischem Material angefertigt. Der Labrador von Pillau wurde daher mit der Zusammensetzung An_{68} in Fig. 4 aufgenommen.

Für die Anorthite von Bönskär (Tab. 1, Nr. 22) und Akerö (Tab. 1, Nr. 25) reichen die gegebenen Daten nicht aus, um die Euler-Winkel nach den angegebenen Methoden zu berechnen. Gegeben sind für das Vorkommen von Akerö nur die Positionen von (010), (001), [010] und des rhombischen Schnittes. Die Bestimmung der Euler-Winkel erfolgte daher graphisch mit Hilfe des Wulffschen Netzes. Dabei wurde zuerst die kristallographische a-Achse als Zonenachse von (010) und (001) bestimmt, worauf c in der Ebene (010) unter Verwendung des kristallographischen Achsenwinkels $\beta = 116^\circ$ erhalten wurde. Hierauf liessen sich die Euler-Winkel in gewohnter Weise konstruieren. Eine weitergehende Annahme musste für den Anorthit von Bönskär gemacht werden, für welchen nur die Positionen von (010), [010] und des rhombischen Schnittes bekannt waren. Der Pol von (001) wurde in der Zone [010] eingezeichnet unter der Annahme, dass der Winkel s = Rhombischer Schnitt/(001) = 13°. Dieser Wert wurde unter Verwendung der aus den Kurven von E. A. Wülfing (1915) bzw. Ed. Schmidt (1915) für eine Zusammensetzung von An_{88} interpolierten Werte für $\gamma = 90^\circ 57'$ und A = (001)/(010) = 85° 52′ erhalten (vgl. G. Tunnel 1952, p. 549). Nach Festlegung der Position von (001) konnte weiter wie im Falle des Anorthites von Akerö vorgegangen werden. Auch für den Anorthit von Kalifornien (Tab. 1, Nr. 24), für welchen die Positionen der optischen Achsen und der Schwingungsrichtungen in einer stereographischen Projektion $\perp$ [100] nur auf ganze

Tabelle 1. *Tieftemperatur-Plagioklase*

Nr.	An%	Fundort	Φ	Ψ	Θ	Quelle
1	0	extrapoliert	88,4°	108,2°	87,4°	E. A. Wülfing, Mikroskop. Physiographie d. petrogr. wichtigen Mineralien. 5. Aufl. I. 1. (1921 bis 1924) 511
2	0,5	Grönland	89,3°	106,7°	84,1°	O. Grosspietsch, Tscherm. Mitt. 27 (1908) 353—376
3	3,5	Mittel versch. Fundorte	89,2°	106,3°	83,6°	M. Reinhard, Universaldrehtischmethoden, Basel (1931) 114
4	7	Mt. Eagle Township, Ont., Kanada	90,7°	102,6°	80,3°	A. Engels, Inaug. Diss. Univ. Bonn (1937) 14—18
5	13	Sobot, Bamle, Wilmington (Mittel)	89,0°	98,8°	76,1°	F. Becke, Denkschr. k. k. Akad. Wiss. Wien 75 (1906) 141
6	14	Mt. Eagle Valley, Hasting Co., Ont., Kanada	91,4°	96,4°	73,3°	A. Engels, loc. cit. (1937) 18—20
7	20	Ytterby, Bakersville, N.C. (Mittel)	88,9°	89,1°	69,5°	F. Becke, loc. cit. (1906) 142
8	24	Bakersville N. C.	90,8°	86,0°	64,7°	S. Tsuboi, Min. Mag. 20 (1923) 94—100
9	25	Twedestrand	90,0°	83,0°	66,1°	F. Becke, loc. cit. (1906) 142
10	27	Unbekannt	90,0°	79,4°	65,0°	E. Leisen, Z. Kristallogr. 89 (1934) 65
11	30	Bodenmais, Bayern	89,7°	74,4°	62,9°	E. Ernst, Sitz. Ber. Heidelb. Akad. Wiss. (1926) 5. Abh.
12	35	Hohenstein, Österreich	88,7°	70,9°	58,8°	O. Grosspietsch. Sitz. Ber. Math. Phys. Kl. k. k. Akad. Wiss. Wien 127 Abt. I (1918) 437
13	38,5	Verch-Isetsk, Ural	85,2°	68,8°	58,2°	W. W. Nikitin, Tscherm. Mitt. 44 (1933) 150
14	50	Labrador (Mittel)	71,8°	51,0°	41,5°	W. Luczizky, Tscherm. Mitt. 24 (1905) 191—198 E. A. Wülfing, loc. cit. (1921 bis 1924) 340

Nr.	An%	Fundort	Φ	Ψ	Θ	Quelle
15	54	Tamatave, Madagaskar	55,8°	43,1°	38,8°	K. CHUBODA u. J. JAKOB, C. B. f. Min. etc. (A) (1933) 1—9
16	54	Kamenoi Brod, Russland	68,8°	48,2°	39,8°	O. GROSSPIETSCH, Tscherm. Mitt. 33 (1915) 27—47
17	58	Verch-Isetsk, Russland, Ural	59,7°	38,7°	36,5°	W. W. NIKITIN, loc. cit. (1933) 150
18	62	Co. Down, Irland	61,3°	38,2°	36,3°	S. TSUBOI, Min. Mag. 20 (1923) 101—107 W. CAMPBELL SMITH, ibid. 21 (1928) 543—551
19	68	Pillau (Nordisches Geschiebe)	46,1°	22,2°	34,7°	E. A. WÜLFING, loc. cit. (1921 bis 1924) 511
20	69	Crystal Bay, Minnesota	41,8°	15,3°	34,5°	A. ENGELS, loc. cit. (1937) 28—31
21	72	Närödäl, Norwegen	41,2°	14,3°	33,7°	F. BECKE, loc. cit. (1906) und Tscherm. Mitt. 14 (1895) 430
22	88	Bönskär, Schweden	27°	−4°	37°	P. H. LUNDEGÅRDH, Bull. Geol. Inst. Uppsala 28 (1941) 424. EULER-Winkel graphisch bestimmt unter Annahme, dass ∢ rhombischer Schnitt/(001) = 13°
23	91	Akerö, Schweden	23°	−7°	38°	W. W. NIKITIN, loc. cit. (1933) 150. EULER-Winkel graphisch bestimmt unter Annahme, dass krist. $\beta = 116°$
24	92	Verch-Isetsk, Ural	23,7°	−6,7°	38,0°	W. W. NIKITIN, loc. cit. (1933) 150
25	94	Pala Mt., San Luis Rey Co., Kalif.	21°	−8°	37°	F. S. MILLER, Amer. Min. 20 (1935) 145. EULER-Winkel graphisch bestimmt unter Annahme, dass krist. $\beta = 116°$
26	97	Vesuv (aus kontaktmetasomatischem Auswürfling)	16,6°	−10,4°	38,2°	J. KRATZERT, Z. Kristallogr. 46 (1921) 486. Vgl. a. F. BECKE, Tscherm. Mitt. 14 (1894) 430—436, und E. A. WÜLFING ibid. 36 (1902) 403—407
27	100	extrapoliert	13,0°	−15,3°	39,6°	E. A. WÜLFING, loc. cit. (1921 bis 1924) 511

Grade genau angegeben waren, wurden die EULER-Winkel konstruktiv ermittelt unter Zugrundelegung von krist. $\beta = 116°$. Wenn auch diesen Beispielen nicht das gleiche Gewicht zukommt wie den übrigen, so wurden sie doch mitberücksichtigt, da es wünschenswert schien, die bis jetzt allzu spärlichen Daten über die basischen Glieder der Plagioklasreihe nach Möglichkeit zu ergänzen. Sie wurden jedoch in den Diagrammen der EULER-Winkel mit besonderer Signatur eingetragen, um sie von den aus vollständigen Daten berechneten Beispielen zu unterscheiden.

Nicht berücksichtigt wurden jedoch die durch W. W. NIKITIN (1933) untersuchten Albite, da die Kurven im Albit-Oligoklasgebiet durch die zahlreichen konoskopisch untersuchten Beispiele genügend gesichert erscheinen. Kontrollen vermittelst stereographischer Projektion ergaben, dass sich z. B. die Albite von Kirjabinsk und Tagil dem bestehenden Bild gut einfügten. Für das Gebiet der Albite und Oligoklase wurden auch nicht die zahlreichen existierenden Einzelbestimmungen, sondern die Mittelwerte von E. A. WÜLFING und F. BECKE benutzt, wie sie sich auch bei REINHARD (1931) angewandt finden. Das Mittel für den Albit $An_{3,5}$ beruht z. B. auf den Einzelbestimmungen an den Vorkommen von Rischuna, Amelia Co., Nadabula, Beaume und Morro Velho (vgl. a. M. VENDL 1922).

Der Verlauf der drei Kurven weist bemerkenswerte Eigentümlichkeiten auf. Die Φ-Kurve verläuft bis ca. An_{35} annähernd horizontal, um darauf gleichmässig abzufallen. Dies besagt, dass die Drehung der Indikatrix um $c = [001]$ für Zusammensetzungen bis ca. An_{35} praktisch keine Rolle spielt und erst im Gebiet der Andesine einsetzt. Die Ψ-Kurve verläuft im Gegensatz hierzu für den gesamten Variationsbereich mit ungefähr gleichmässiger Steigung, was bedeutet, dass die Drehung der Indikatrix um $n_\alpha = Z'$ von Albit bis Anorthit ungefähr gleichmässig erfolgt. Die Θ-Kurve verhält sich in bezug auf ihren generellen Verlauf annähernd zentrosymmetrisch zur Φ-Kurve, d. h. die Drehung um die Knotenachse spielt nur eine Rolle von An_0 bis ca. An_{50}, um sich dann stark zu verlangsamen und ab An_{70} ca. sogar leicht rückläufig zu werden.

Es ist auffällig, dass die erwähnten, ausgeprägten Richtungsänderungen der Φ- und Θ-Kurven an An-Gehalte gebunden sind, welche auch auf Grund anderer optischer sowie struktureller Besonderheiten ausgezeichnet sind. Obwohl diese Zusammenhänge beim gegenwärtigen Stande unserer Kenntnisse noch nicht erklärt werden können, soll doch kurz darauf hingewiesen werden. So wird z. B. durch O. F. TUTTLE und N. L. BOWEN (1950) auf Grund struktureller Untersuchungen für das Intervall An_0—An_{30} das Vorhandensein vollkommener Mischkristall-

bildung zwischen Ab und An auch für tiefe Temperaturen angenommen, während dies für höhere An-Gehalte nicht mehr zutreffend sein soll. In Übereinstimmung hiermit machte F. CHAYES (1950) auf eine auffällige Diskontinuität in der Abhängigkeit des Brechungsindexes n_γ vom An-Gehalt im Gebiet von An_{30-35} aufmerksam. Allerdings trifft nach F. LAVES (1954) die Existenz homogener, auch bei tiefer Temperatur beständiger Mischkristalle nur bis zu einem An-Gehalt von ca. 5% zu, während für das Intervall An_5 bis An_{17} submikroskopische Entmischung in zwei Phasen von der Zusammensetzung An_0 und An_{30} zutrifft. Diese Verhältnisse sind wahrscheinlich bis zur Zusammensetzung An_{30} vorhanden. Nach S. H. CHAO und W. H. TAYLOR (1940) sowie W. F. COLE, H. SÖRUM und W. H. TAYLOR (1951) treffen ähnliche Verhältnisse auch für das Intervall An_{30-70} zu. Es sind also, wenn auch die Ansichten der verschiedenen Autoren z. T. etwas voneinander differieren, gerade die Zusammensetzungen An_{30} und An_{70} von Bedeutung, d. h. gerade diejenigen, für welche deutlich ausgeprägte Richtungsänderungen der Variationskurven der EULER-Winkel bemerkbar sind.

Aus den drei Kurven für die Variation der EULER-Winkel in Abhängigkeit vom An-Gehalt lassen sich nun durch Interpolation Φ, Ψ und Θ für beliebige Zusammensetzungen entnehmen, worauf die optische Orientierung durch einfache Rechnung oder Konstruktion erhalten werden kann. Es ist somit möglich, die Stereogramme für die optische Orientierung der Plagioklase für beliebig gewählte Intervalle des An-Gehaltes neu zu entwerfen und sich von den Willkürlichkeiten, wie sie das bis jetzt gehandhabte Verfahren der Interpolation zwangsläufig mit sich brachte, zu befreien. Bei einer Vermehrung der Unterlagen durch Neuuntersuchung von Plagioklasen in bezug auf Chemismus und optische Orientierung lässt eine Berechnung der EULER-Winkel sofort erkennen, ob sie sich in die auf Grund der bis jetzt bekannt gewordenen Typen bedingte Variation einfügen. Ist dies der Fall, so braucht nichts geändert zu werden, während im gegenteiligen Fall die notwendigen Berechnungen auf Basis des geänderten Kurvenverlaufs rasch gemacht sind und die Migrationskurven im betreffenden Abschnitt verbessert werden können.

Es ist eine verschiedentlich konstatierte Tatsache, dass bei Untersuchung chemisch analysierter Plagioklase, und zwar auch unter günstigsten Bedingungen, der An-Gehalt vermittelst der U-Tischmethoden weniger genau erhalten wird, als erwartet werden könnte. So fanden u. a. E. JÄGER und H. HUTTENLOCHER (1955) für den völlig frischen und einschlussfreien Bytownit aus dem Gabbro von Anzola d'Ossola (Prov. Novara, Italien) bei einer chemischen Zusammensetzung von An_{76} ver-

mittelst der U-Tischmethoden „überraschenderweise" nur An_{70-76}. Weitere diesbezügliche Beispiele liessen sich leicht finden. In diesen Fällen, wie auch dort, wo die Bestimmungsstereogramme verschiedener Autoren auf verschiedene An-Gehalte führten, dürfte der Grund wohl vorwiegend in der bisher ausschliesslich gehandhabten, von Willkür nicht freien Art

Tabelle 3. *Einheitsvektoren in Richtung der Hauptschwingungsrichtungen der Tieftemperatur-Plagioklase, für Anorthitintervalle von 10% aus der Variation der Euler-Winkel berechnet*

		i	j	k	φ	ρ
An_0	a_0	−0,9977	−0,0278	+0,0623	268,4°	86,4°
	b_0	+0,0505	+0,3111	+0,9495	9,2°	18,3°
	c_0	+0,0461	−0,9500	+0,3089	177,2°	72,0°
An_{10}	a_0	−0,9781	0	+0,2079	270,0°	78,0°
	b_0	+0,2041	+0,1908	+0,9601	46,9°	16,2°
	c_0	+0,0397	−0,9816	+0,1866	177,7°	79,2°
An_{20}	a_0	−0,9366	+0,0082	+0,3502	270,5°	69,5°
	b_0	+0,3502	−0,0031	+0,9367	90,6°	20,5°
	c_0	+0,0087	+0,9999	0	0,5°	90,0°
An_{30}	a_0	−0,8870	0	+0,4618	270,0°	62,5°
	b_0	+0,4480	−0,2419	+0,8607	118,4°	30,6°
	c_0	+0,1117	+0,9703	+0,2146	6,6°	77,6°
An_{40}	a_0	+0,8046	−0,0846	+0,5878	264,0°	54,0°
	b_0	+0,5740	−0,3646	+0,7332	122,4°	42,8°
	c_0	+0,1523	+0,9273	+0,3419	9,3°	70,0°
An_{50}	a_0	−0,6399	−0,1956	+0,7431	253,0°	42,0°
	b_0	+0,7400	−0,4175	+0,5273	119,4°	58,2°
	c_0	+0,2071	+0,8875	+0,4119	13,1°	65,7°
An_{60}	a_0	−0,5141	−0,2850	+0,8090	241,0°	36,0°
	b_0	−0,8221	−0,4329	+0,3699	117,8°	68,3°
	c_0	+0,2448	+0,8552	+0,4568	16,0°	62,8°
An_{70}	a_0	−0,3778	−0,4123	+0,8290	222,5°	34,0°
	b_0	+0,8688	−0,4674	+0,1635	118,3°	80,6°
	c_0	+0,3201	+0,7820	+0,5348	22,3°	57,5°
An_{80}	a_0	−0,3126	−0,4723	+0,8241	213,5°	34,5°
	b_0	+0,8670	−0,4963	+0,0444	119,8°	87,5°
	c_0	+0,3880	+0,7284	+0,5646	28,0°	55,6°
An_{90}	a_0	−0,2543	−0,5454	+0,7986	205,0°	37,0°
	b_0	−0,8734	+0,4841	+0,0524	299,0°	87,0°
	c_0	+0,4152	+0,6842	+0,5995	31,3°	53,2°
An_{100}	a_0	−0,1432	−0,6211	+0,7705	192,0°	39,6°
	b_0	−0,8944	+0,4146	+0,1680	294,9°	80,3°
	c_0	+0,4238	+0,6651	+0,6149	32,5°	52,1°

der Interpolation bei der Kalibrierung der Migrationskurven zu suchen sein.

Durch Interpolation mit Intervallen von 10% An erhält man für die Tieftemperatur-Plagioklase die in Tabelle 2 zusammengestellten Werte für die EULER-Winkel.

Tabelle 2: *Interpolierte Euler-Winkel für die Tieftemperatur-Plagioklase*

An%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Φ	88,4°	90°	90,5°	90°	84°	73°	61°	42,5°	33,5°	25°	13,0°
Ψ	108,2°	101°	90°	76°	65°	52°	39°	17°	4,5°	–5°	–15,3°
Θ	86,4°	78°	69,5°	62,5°	54°	42°	36°	34°	34,5°	37°	39,6°

Aus ihnen berechnen sich nach (3) die 9 Richtungscosinus, durch welche die Lage der Indikatrix gegenüber dem Kristallgebäude festgelegt wird. Die Richtungswinkel ermöglichen die Darstellung in stereographischer Projektion.

Im folgenden sind in Tabelle 3 als Unterlagen zu weiteren Berechnungen die Einheitsvektoren $\mathfrak{a}_0$, $\mathfrak{b}_0$, $\mathfrak{c}_0$ in Richtung der drei Hauptschwingungsrichtungen n_α, n_β, n_γ angegeben sowie die GOLDSCHMIDTschen (φ, ρ)-Werte, wobei φ von (010) aus von 0° bis 360° gezählt wird. Die Darstellung in stereographischer Projektion zeigt Tafel I[2]).

III. Hochtemperatur-Plagioklase

Die Feststellungen, wie sie im vorhergehenden Abschnitt in bezug auf ungenügende Unterlagen für die Tieftemperatur-Plagioklase gemacht wurden, treffen in noch vermehrtem Ausmasse auch für die Hochtemperaturformen zu. Wie die Zusammenstellung von Tabelle 4 zeigt, sind wir an Hand natürlicher Vorkommen nur über die Andesine und Labradore des Intervalls An_{35-54} genauer unterrichtet. Für dieses bestehen allerdings, vor allem dank der sorgfältigen Untersuchungen an den Plagioklasen von Linosa durch E. ERNST und H. NIELAND (1934), welche durch E. LEISEN (1934) teilweise nachgeprüft wurden, zahlreiche und gut übereinstimmende Beobachtungen. Ältere Untersuchungen von F. BECKE (1921) an den Andesinen von St. Raphael (Esterél) und Maeyamo (Japan) ordnen sich den Linosa-Feldspäten sehr gut ein. Saurere Glieder

[2]) Die Tafel wurde durch dipl. ing. geol. ST. HAFNER auf Grund der in Tab. 3 und 7 angeführten (φ, ρ)-Werte unter Verwendung eines durch Herrn Kollegen F. KOBOLD, Direktor des Geodätischen Instituts der ETH freundlicherweise zur Verfügung gestellten Polarkoordinatographen gezeichnet. Beiden Herren möchte ich auch an dieser Stelle meinen besten Dank aussprechen.

sind in der Natur, wie zu erwarten, offenbar äusserst selten und daher nicht genauer untersucht. Auf zwei diesbezügliche Beispiele soll in der Folge zurückgekommen werden. Glücklicherweise verfügt man jedoch über genügend Daten von synthetischem Hochalbit (Analbit F. LAVES) nach O. E. TUTTLE und N. L. BOWEN (1950) sowie F. LAVES und U. CHAISSON (1950), welche mit solchen an genügend lang getemperten Tief-Albiten übereinstimmen, so dass für das Gebiet An_{0-35} interpoliert werden kann. Diese Interpolation scheint um so mehr gerechtfertigt, als eine Extrapolation ausgehend von den Andesinen in Richtung Albit umgekehrt auf Analbit führt. Ob die Verhältnisse im Gebiet der Oligoklase auf diese Weise richtig wiedergegeben werden, muss die Erfahrung lehren; vorläufig sei sie einmal im Sinne einer Arbeitshypothese zur Diskussion gestellt. Es sei jedoch schon an dieser Stelle bemerkt, dass die drei durch H. TERTSCH (1944) durch offenbar ungenügendes Tempern dargestellten Hochtemperatur-Plagioklase von der Zusammensetzung $An_{3,5}$, An_{17} und An_{26} nicht dem extrem ungeordneten Zustand entsprechen, sondern Zwischenformen darstellen.

Tabelle 4. *Hochtemperatur-Plagioklase*

Nr.	An%	Fundort	Φ	Ψ	Θ	Quelle
1	0	synthetisch	94,5°	109,4°	72,5°	F. LAVES und U. CHAISSON, J. Geol. 58 (1950) 584—592 O. E. TUTTLE und N. L. BOWEN, ibid. 572—583. Achsenpositionen interpoliert nach G. VAN DER KAADEN, Diss. Univ. Utrecht (1951) 19
2	35	Nishidiadamura, Japan	85,4°	66,5°	55,6°	A. ENGELS, Inaug. Diss. Univ. Bonn (1937) 21—24
3	35	Linosa (Präp. 1′)	90,8°	68,7°	61,6°	E. ERNST und H. NIELAND, Tscherm. Mitt. 46 (1934) 93—126
4	35,5	Linosa (Präp. 2′)	91,5°	63,6°	61,1°	E. ERNST und H. NIELAND, Tscherm. Mitt. 46 (1934) 93 bis 126
5	36	Linosa (Präp. 3′)	90,9°	63,4°	60,4°	E. ERNST und H. NIELAND, Tscherm. Mitt. 46 (1934) 93 bis 126
6	38	Maeyamo, Japan	89,5°	64,8°	60,4°	F. BECKE, Tscherm. Mitt. 35 (1921) 31—46
7	40	St. Raphael, Estérel, Frankr.	86,8°	64,2°	57,1°	F. BECKE, Tscherm. Mitt. 35 (1921) 31—46

Nr.	An%	Fundort	Φ	Ψ	Θ	Quelle
8	41	Linosa (Präp. 5′)	86,9°	60,6°	55,4°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
9	43,5	Linosa (Präp. 6′)	86,9°	60,6°	55,1°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
10	45	Linosa (Präp. 7′)	83,0°	55,4°	51,5°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
11	46	Linosa (Präp. 8′ M)	83,3°	52,9°	50,4°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
12	47,5	Linosa (Präp. 9′)	81,8°	53,8°	48,5°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
13	48,5	Linosa (Präp. 11′)	75,5°	47,7°	44,2°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
14	48,5	Linosa (Präp. 10′ M)	76,6°	49,4°	45,1°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
15	53	Linosa (Präp. 12′)	67,4°	41,3°	39,8°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
16	54	Linosa (Präp. 13′)	63,7°	37,6°	37,9°	E. Ernst und H. Nieland, loc. cit. (1934)
17	70	synthetisch	34,5°	6,0°	33,5°	H. Tertsch, Tscherm. Mitt. 54 (1942) 202
18	80	synthetisch	28,8°	–0,3°	34,9°	H. Tertsch, Tscherm. Mitt. 54 (1942) 202
19	90	synthetisch	21,7°	–7,3°	36,2°	H. Tertsch, Tscherm. Mitt. 54 (1942) 202
20	95,5	Kamitsuki, Mijakeshima, Japan	18,0°	–9,4°	37,2°	E. Leisen, Z. Kristallogr. 89 (1934) 66
21	100	synthetisch	21,4°	–8,6°	35,5°	L. Duparc und M. Gysin, Bull. Soc. Min. France 48 (1926) 1—14
22	100	synthetisch	18,1°	–9,4°	37,2°	H. Tertsch, Tscherm. Mitt. 53 (1942) 59

Auch für das basische Ende der Serie ist man vorläufig weitgehend auf synthetisches Material angewiesen, wenn auch hier Hoffnung besteht, dass die Zukunft für diesen Bereich vermehrte Messungen an natürlichen Vorkommen bringen dürfte. Durch H. Tertsch (1942) wurden die Typen mit 70, 80, 90 und 100% An dargestellt und optisch untersucht. Ausserdem liegen Messungen an einem durch A. Brun dargestellten synthetischen Anorthit durch L. Duparc und M. Gysin (1926) vor. Als einzige natürliche Vorkommen mit einem An-Gehalt über 54% wurden zwei Anorthite von Mijakeshima (Japan) durch E. Leisen (1934) optisch untersucht. Die Messungen zeigen, dass die chemische Zusammensetzung

offenbar für die beiden Präparate etwas differiert. Da neue Analysen nicht vorliegen, wurde hier versuchsweise dem Mittelwert der beiden Messungen ein An-Gehalt von 95,5% zugeschrieben, wie er für durch S. Kôzu (1914) untersuchte Kristalle vom gleichen Fundort festgestellt wurde. Dieses Vorgehen kann naturgemäss nicht befriedigen. Es schien jedoch angezeigt, auf diese Weise wenigstens ein natürliches Vorkommen für die basischen Hochtemperatur-Plagioklase in Betracht zu ziehen, da sonst die ganze Serie von An_{54} bis An_{100} als ausschliesslich durch synthetische Produkte belegt erscheinen würde. Die durch S. Kôzu am chemisch analysierten Material durchgeführten Messungen konnten leider nicht berücksichtigt werden, ebensowenig wie diejenigen desselben Autors an Kristallen des Tarumae, da sie insgesamt unter der Voraussetzung erfolgten, dass der optischen Achse B die gleiche Lage zukomme wie im Anorthit vom Vesuv. Diese Annahme trifft jedoch nicht zu, wie sich aus den neuen Messungen durch E. Leisen (1934) ergibt. Die Verhältnisse der Anorthite bedürfen einer Neuabklärung auch aus anderen Gründen. Wie F. Laves (1954) und F. Laves und J. Goldsmith (1954, 1955) gezeigt haben, sind für die Anorthite bis zu einem Albit-Gehalt von ca. 3% Si und Al bei allen Temperaturen völlig geordnet, so dass eine eventuell konstatierbare Temperaturabhängigkeit der Optik nicht, wie bei den übrigen Plagioklasen, durch Si-Al-Ordnung bzw. -Unordnung gedeutet werden kann. Eine Möglichkeit der Unordnung besteht jedoch in bezug auf die Ca-Ionen. Diese ist jedoch anscheinend erst bei Temperaturen in unmittelbarer Nähe des Schmelzpunktes vollständig und sie kann nur durch rasche Abschreckung fixiert werden. Ihr Grad lässt sich aus der Unschärfe gewisser Röntgenreflexe abschätzen. Dieser Effekt ist bei basischen Plagioklasen bis maximal ca. 27% Ab wahrnehmbar. Bevor somit über die optischen Verhältnisse von Hochtemperatur-Bytowniten und Anorthiten etwas Definitives ausgesagt werden kann, müssen an optisch untersuchten Beispielen von bekannter chemischer Zusammensetzung zugleich röntgenographische Untersuchungen zur Charakterisierung des Grades der Unordnung der Ca-Ionen gemacht werden. Nur auf diese Weise wird es möglich sein, die optische Orientierung maximal ungeordneter Typen festzustellen und damit die eigentliche Hochtemperaturoptik basischer Plagioklase abzuklären. Die Differenzen in den Angaben für die beiden synthetischen Anorthite (Duparc und Gysin 1926, Tertsch 1942) sind vielleicht auf verschiedene Abkühlungsbedingungen zurückzuführen. Diesbezügliche Angaben fehlen.

Fig. 5 zeigt die Variationskurve für die Euler-Winkel der in Tabelle 4 zusammengestellten Hochtemperatur-Plagioklase. Die Streuung

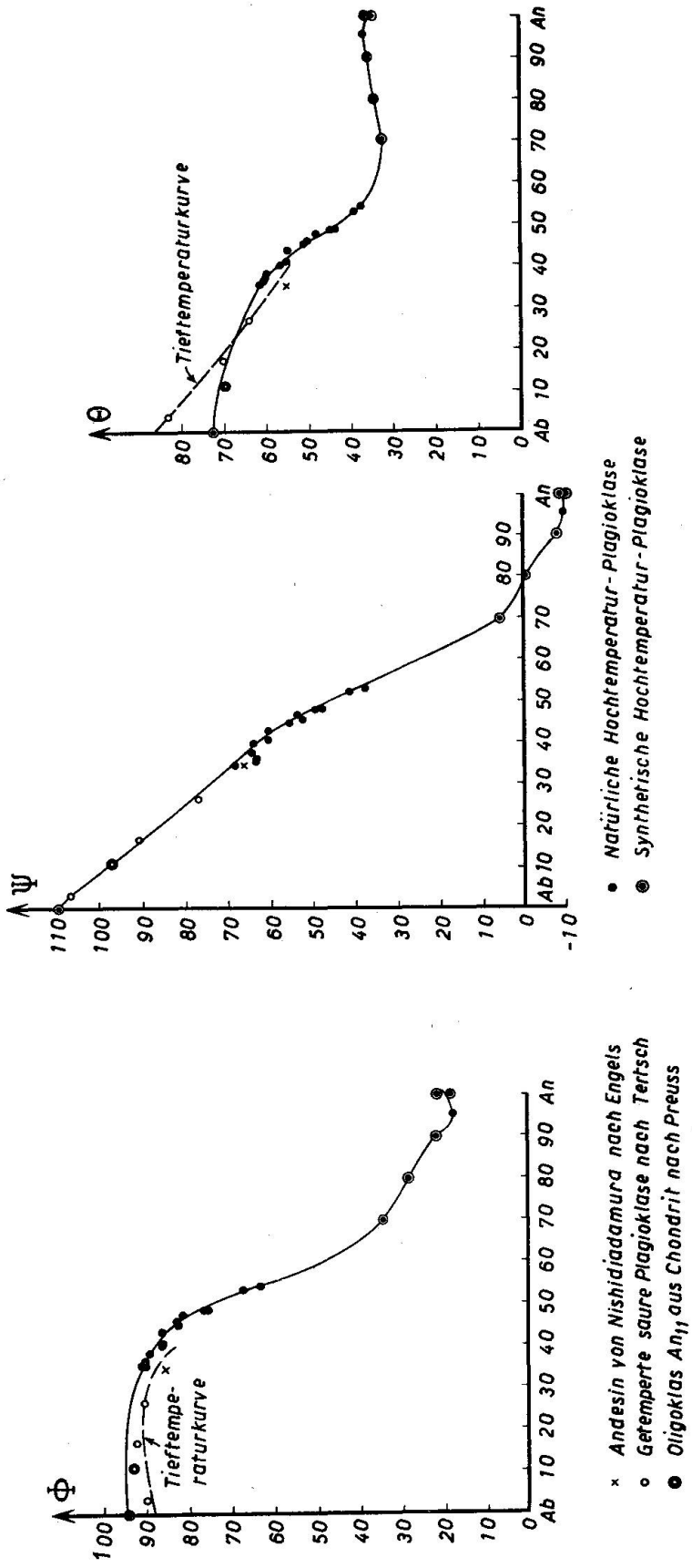


Fig. 5. Variation der EULER-Winkel in Abhängigkeit vom An-Gehalt für die Hochtemperatur-Plagioklase.

im Gebiet der Andesine und sauren Labradore ist eine sehr geringe und auch für das basische Ende lässt sich eine mittlere Kurve angeben, welche Interpolationen gestattet, bis man über neue, vermehrte Daten verfügt. Eine gewisse Unsicherheit besteht für das Gebiet um An_{70}, wo der Kurvenverlauf einzig durch den synthetischen Labrador-Bytownit dieser Zusammensetzung (H. TERTSCH 1942) bestimmt wird. Während der Θ-Wert plausibel erscheinen mag, konnte man vermuten, dass die Φ- und Ψ-Werte je um ca. 5—6 Einheiten zu hoch sind, und dass die Ausbuchtungen der entsprechenden Kurven vielleicht in Wirklichkeit weniger ausgeprägt sind. Hier können natürlich nur neue Messungen entscheiden. Es soll immerhin darauf hingewiesen werden, dass eine ähnliche Einbuchtung der Φ- und Ψ-Kurven auch bei den Tieftemperatur-Plagioklasen auftritt, wenn auch vielleicht etwas weniger ausgeprägt, und dass sie dort durch verschiedene Analysen belegt ist.

Ein besonderer Umstand, welcher für die Tieftemperatur-Plagioklase ohne Bedeutung war, muss bei der Konstruktion von Bestimmungsdiagrammen für die Hochtemperatur-Formen beachtet werden. Da es sich bei den verschiedenen Formen nicht um verschiedene Modifikationen handelt, sondern um eine Folge des herrschenden Ordnungsgrades der Si- und Al- bzw. Ca-Ionen, so sind logischerweise auch Zwischenformen zu erwarten, wie sie durch eine mehr oder weniger vollkommene Ordnung bzw. Unordnung bedingt sein müssen. Es darf angenommen werden, dass diese durch eine zwischen der Tief- und der extremen Hochtemperaturoptik liegende optische Orientierung charakterisiert sind. Beispiele dieser Art sind in der Tat durch O. OFTEDAHL (1948), F. KARL (1954) und I. D. MUIR (1955) namhaft gemacht worden. Auch durch H. TERTSCH (1950) wurden drei schon kurz erwähnte, getemperte Plagioklase mit den An-Gehalten 3,5, 17,0 und 26,5 beschrieben, welche aber offensichtlich Zwischenformen entsprechen. Aus der durch H. TERTSCH bestimmten optischen Orientierung berechnen sich folgende EULER-Winkel:

An%	Φ	Ψ	Θ
3,5	89,0°	106,4°	83,3°
17,0	92,7°	90,5°	70,5°
26,5	90,9°	76,7°	64,7°

Trägt man diese Werte in die Diagramme Fig. 5 ein, so ergeben sich einige bemerkenswerte Feststellungen. Währenddem die drei Ψ-Werte sehr gut auf der Hochtemperaturkurve liegen, ist dies für die Φ- und Θ-Werte nicht der Fall. In bezug auf die Φ-Kurve sind sie alle zu tief, wobei die $An_{3,5}$ und $An_{26,5}$ sogar Werte aufweisen, wie sie sich von Tief-

temperaturformen der gleichen Zusammensetzung nicht unterscheiden. An_{17} nimmt deutlich eine Mittelstellung ein. Ähnliche Verhältnisse ergeben sich für die Θ-Werte, welche für alle drei Beispiele sehr nahe der Tieftemperaturkurve liegen. Es zeigt sich somit, dass beim Übergang vom geordneten in den ungeordneten Zustand (Tempern von Tieftemperaturplagioklasen) die Drehung der optischen Indikatrix um die drei betrachteten EULER-Winkel nicht gleichzeitig einsetzt, sondern dass diejenige um den Winkel Ψ den andern vorauseilt. Das durch das TERTSCHsche Experiment realisierte Zwischenstadium ist somit dadurch charakterisiert, dass in bezug auf den Winkel Ψ bereits die extreme Hochtemperaturorientierung der optischen Indikatrix erreicht wurde, während in bezug auf die Winkel Φ und Θ die extreme Niedertemperaturform noch fast völlig erhalten blieb. Dieses unerwartete Ergebnis eröffnet interessante Perspektiven. Auf diesem Wege wird es beim Vorliegen eines grösseren und wohldefinierten Beobachtungsmaterials vielleicht einmal möglich sein, den Grad der Unordnung bzw. Ordnung auf rein optischem Wege abzuschätzen, wodurch sich eine willkommene Kontrolle der auf röntgenographischem bzw. infrarot-spektrographischem (F. LAVES und ST. HAFNER 1956) Wege gewonnenen diesbezüglichen Schlüsse ergeben würde.

Dass ähnliche Verhältnisse auch in der Natur vorkommen, zeigt der durch A. ENGELS (1937) chemisch und optisch untersuchte Andesin von Nishidiadamura (Japan, aus Ergussgestein), Nr. 2 in Tabelle 4. Auch hier entspricht der Ψ-Wert der Hochtemperaturform, während die Φ- und Θ-Werte zwar nicht genau auf den Tieftemperaturkurven, wohl aber in der Nähe derselben liegen. Vielleicht war die bei Einsprenglingen vulkanischer Gesteine immer vorhandene Zonarstruktur der Grund dafür, dass chemische und optische Daten einander nicht genau entsprechen. Ein um 2—3% höherer An-Gehalt würde die Übereinstimmung für alle drei Kurven bedeutend verbessern.

Durch I. D. MUIR (1955) wurden vier intermediäre Plagioklase aus hypoabyssischen Diabasen und Doleriten (z. H. Karroo-Doleriten) beschrieben, welchen auf Grund der Pollagen hinsichtlich der Hoch- bzw. Tieftemperatur-Migrationskurven ebenfalls eine Übergangsoptik zugeschrieben werden muss. Erhitzungsversuche bestätigten diese Auffassung, indem sie eine weitere Verlagerung der Indikatrix in Richtung der Hochtemperaturoptik ergaben, woraus hervorgeht, dass ursprünglich noch nicht die extreme Hochtemperaturorientierung vorgelegen hatte. Für vier chemisch analysierte Beispiele werden die mit der U-Tischmethode ermittelten Achsenpositionen in bezug auf eine Projektion auf die

Ebene ⊥ [001] (nicht auf (001), wie angegeben) gegeben, so dass sich die EULER-Winkel berechnen lassen (vgl. Tab. 5).

Tabelle 5

Nr.	Fundort	Anorthitgehalt a)	b)	c)	Φ	Ψ	Θ
1	Andesin, aus Fe-reichem Diabas, Beaver Bay, Minnesota	42,8	39,3	44,1	85,2°	61,6°	54,2°
2	Andesin, aus Fe-reichem Dolerit, New Amalfi, S-Afrika (EH 52)	38,4	40,4	44,1	78,5°	53,5°	46,9°
3	Labrador, aus Quarzdolerit, New Amalfi, S-Afrika (EH 20)	48,3	46,7	50,4	71,2°	47,8°	41,5°
4	Labrador, aus Augit-Hypersthen-dolerit, New Amalfi, S-Afrika	53,4	51,6	55,1	60,4°	37,4°	36,3°

a) An-Gehalt in Gew.-%, aus der Analyse berechnet durch I. D. MUIR.
b) An-Gehalt in Äquivalent-%, entsprechend dem Verhältnis $CaO : {}^1/_2 Na_2O : {}^1/_2 K_2O$ aus der Analyse berechnet durch C. BURRI.
c) An-Gehalt aus der Lichtbrechung ermittelt durch I. D. MUIR.

Unter Berücksichtigung der unter b) gegebenen Äquivalent-%-A-Gehalte liegen die Projektionspunkte sämtlicher Analysen links der Variationskurven der EULER-Winkel, d. h. der optisch bestimmte An-Gehalt ist höher als der sich aus der chemischen Analyse ergebende. Der Grund für diese Diskrepanz dürfte wohl im Vorhandensein einer leichten Zonarstruktur liegen. Bei der U-Tischuntersuchung werden vorwiegend die mehr zentralen Partien betrachtet und die äusseren saureren Zonen anscheinend nicht erfasst. Die chemische Analyse des magnetisch separierten Materials wird jedoch durch deren Vorhandensein beeinflusst, auch wenn sie nur sehr dünn ausgebildet sind, da sie als periphere Bildungen volumenmässig in relativ bedeutendem Ausmasse am Aufbau des Individuums beteiligt sind. Nimmt man einen um ca. 3—5% höhern An-Gehalt an, ähnlich demjenigen, wie er sich aus der Lichtbrechung nach I. D. MUIR ergibt, so ist die Übereinstimmung mit den Kurven eine sehr gute. Die Bestimmung des An-Gehaltes aus der Lichtbrechung durch I. D. MUIR erfolgte offenbar nach den Kurven von F. CHAYES (1952), welche für Tieftemperatur-Plagioklase gelten. Da die entsprechenden Kurven für die Hochtemperaturformen etwas tiefer liegen (S. SCHWARZMANN 1956) und zu erwarten ist, dass sie für Zwischenformen ebenfalls eine mittlere Lage einnehmen, so dürfte der aus der Lichtbrechung ermittelte An-Gehalt noch etwas höher liegen als durch I. D. MUIR angegeben. Es soll nicht unerwähnt bleiben, dass die Tatsache,

dass die Lichtbrechungsbestimmung auf einen höhern An-Gehalt führt als die U-Tischbestimmungen, im Widerspruch zu den Konstatierungen von E. WENK (1955) steht.

Unter Annahme eines leicht erhöhten An-Gehaltes gestalten sich die Verhältnisse wie folgt:

Nr.	Angenommener An-Gehalt	Φ	Ψ	Θ
1	44	H	T	über T
	39	T	H	T
2	45	T	H	T
3	51	HT	zw. H u. T	HT
4	55	H	H	H

H: Punkt liegt auf der Hochtemperaturkurve.
T: Punkt liegt auf der Tieftemperaturkurve.

Unter Annahme einer Zusammensetzung von An_{39}, entsprechend der chemischen Analyse, ergeben sich für 1, wie auch für 2, analoge Verhältnisse wie für den w. o. erwähnten Andesin von Nishidiadamura. Auch für 3 ergibt sich eine deutliche Zwischenstellung in bezug auf die optische Orientierung, während 4 Hochtemperaturoptik aufzuweisen scheint. Auch nach den Bestimmungen von I. D. MUIR liegen die Pole dieses Vorkommens sehr nahe den Hochtemperaturkurven. Infolge des unsicheren An-Gehaltes wurde darauf verzichtet, die vier Plagioklase in die Variationsdiagramme der EULER-Winkel einzutragen.

Hält man nach natürlichen, sauren Niedertemperatur-Plagioklasen Ausschau, so ergibt sich, dass das Material bis heute sehr bescheiden ist. Ein durch LARSEN und IRVING (1938) aus Quarzlatit des San Juan-Gebietes, Colorado, beschriebener Oligoklas von der Zusammensetzung An_{11} wird durch O. E. TUTTLE und N. L. BOWEN (1950) auf Grund seines Achsenwinkels den Hochtemperaturformen zugeteilt. Seine optische Orientierung ist jedoch nicht bekannt. Als einziges weiteres Beispiel ist nur noch ein Oligoklas von ebenfalls An_{11} aus einem Meteoriten (Chondrit) von Oldenburg bekannt, wie er durch E. PREUSS (1951) beschrieben wurde. Hier gelang es, die optische Orientierung mit der U-Tischmethode zu bestimmen, und es lassen sich aus den gegebenen Positionen für die Bisektrizen folgende EULER-Winkel berechnen:

Φ	Ψ	Θ
93,2°	97,1°	70,0°

Sie sind in Fig. 5 mit einer besonderen Signatur eingetragen und es zeigt sich, dass für die durch E. PREUSS auf Grund von Lichtbrechungs-

Tabelle 6. *Interpolierte Euler-Winkel für die Hochtemperatur-Plagioklase*

An%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Φ	94,5°	95°	94,5°	93°	88°	75°	51°	34,5°	28,8°	21,7°	19,7°
Ψ	109,4°	98°	86°	73°	61°	47°	25°	6,0°	0,3°	−7,3°	−9,0°
Θ	72,5°	71°	68°	64°	56°	43°	35°	33,8°	34,9°	36,2°	36,3°

Tabelle 7. *Einheitsvektoren in Richtung der Hauptschwingungsrichtungen der Hochtemperatur-Plagioklase, für Anorthitintervalle von 10% aus der Variation der Euler-Winkel berechnet.*

		$\mathfrak{i}$	$\mathfrak{j}$	$\mathfrak{k}$	φ	ρ
An_0	$\mathfrak{a}_0$	−0,9509	+0,0749	+0,3002	274,5°	72,5°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,3084	+0,3081	+0,9000	45,0°	25,8°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,0251	−0,9484	+0,3161	178,5°	71,6°
An_{10}	$\mathfrak{a}_0$	−0,9419	+0,0824	+0,3256	275,0°	71,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,3333	+0,1105	+0,9363	71,7°	20,6°
	$\mathfrak{c}_0$	−0,0422	−0,9904	+0,1316	182,4°	82,4°
An_{20}	$\mathfrak{a}_0$	−0,9243	+0,0727	+0,3746	274,5°	68,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,3671	−0,0989	+0,9249	105,1°	22,3°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,1043	+0,9924	+0,0647	6,0°	86,3°
An_{30}	$\mathfrak{a}_0$	−0,8976	+0,0523	+0,4384	273,3°	64,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,4033	−0,3139	+0,8595	127,9°	30,8°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,1780	+0,9483	+0,2628	10,6°	74,8°
An_{40}	$\mathfrak{a}_0$	−0,8285	−0,0289	+0,5592	268,0°	56,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,5057	−0,4675	+0,7251	132,8°	43,5°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,2404	+0,8836	+0,4019	15,2°	66,3°
An_{50}	$\mathfrak{a}_0$	−0,6587	−0,1765	+0,7314	255,0°	43,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,6932	−0,5203	+0,4988	126,9°	60,1°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,2925	+0,8356	+0,4651	19,3°	62,3°
An_{60}	$\mathfrak{a}_0$	−0,4458	−0,3610	+0,8191	231,0°	35,0°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,8394	−0,4865	+0,2424	120,1°	76,0°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,3110	+0,7957	+0,5198	21,3°	58,7°
An_{70}	$\mathfrak{a}_0$	−0,3155	−0,4586	+0,8307	214,5°	33,8°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,8684	−0,4924	+0,0577	119,6°	86,7°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,3845	+0,7420	+0,5492	27,4°	56,7°
An_{80}	$\mathfrak{a}_0$	−0,2759	−0,5015	+0,8200	208,8°	34,9°
	$\mathfrak{b}_0$	+0,8797	−0,4756	+0,0015	118,4°	89,1°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,3899	+0,7254	+0,5673	28,3°	55,4°
An_{90}	$\mathfrak{a}_0$	−0,2191	−0,5490	+0,8066	201,8°	36,2°
	$\mathfrak{b}_0$	−0,8836	+0,4618	+0,0773	297,6°	85,6°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,4061	+0,6972	−0,5908	30,2°	53,8°
An_{100}	$\mathfrak{a}_0$	−0,1996	−0,5574	+0,8059	199,7°	36,3°
	$\mathfrak{b}_0$	−0,8874	+0,4516	+0,0926	297,0°	84,7°
	$\mathfrak{c}_0$	+0,4156	+0,6967	+0,5847	30,8°	54,2°

bestimmungen angenommene Zusammensetzung An_{11} eine sehr gute Übereinstimmung in bezug auf die Ψ- und Θ-Werte besteht, während der Φ-Wert etwas zu hoch liegt und dem Punkt eine Zwischenlage zwischen Hoch- und Tieftemperaturkurve zukommt.

In gleicher Weise, wie dies für die Tieftemperatur-Plagioklase getan wurde, lässt sich auch hier in Intervallen von 10 zu 10% An interpolieren, wodurch man die Werte von Tab. 6 erhält.

Aus diesen Winkeln berechnen sich wiederum die Einheitsvektoren in Richtung der 3 Hauptschwingungsrichtungen, wie sie in Tabelle 7 zusammengestellt sind und als Grundlage zu weiteren Berechnungen dienen. Das Stereogramm der Migrationskurven kann auf Grund der Richtungswinkel oder der ebenfalls angegebenen (φ, ρ)-Werte gezeichnet werden und ist in Tafel I dargestellt.

IV. Kurzer Vergleich der Tief- und Hochtemperaturoptik

Allgemeines

Die optische Orientierung für Hoch- und Tieftemperatur-Plagioklase für An-Intervalle von je 10% geht aus dem Stereogramm $\perp$ [001] (Tafel I) hervor. Der allgemeine Kurvenverlauf entspricht mit einigen geringen Abweichungen der früheren Darstellung durch G. VAN DER KAADEN (1951) bzw. für die Tieftemperaturformen durch M. REINHARD (1931), was in Anbetracht der zum grössten Teil gleichen Unterlagen auch zu erwarten war. Was jedoch deutlicher als bisher hervortritt, ist der Umstand, dass die Örter gleichen An-Gehaltes für Hoch- und Tieftemperatur auch dort, wo die Migrationskurven weitgehend zusammenfallen, nicht übereinstimmen. Es ist somit klar ersichtlich, dass man unrichtige Resultate erhalten würde, wenn man z. B. für einen Hochtemperatur-Plagioklas, für welchen die Pole der drei Hauptschwingungsrichtungen annähernd auf die Tieftemperaturkurven zu liegen kommen, den An-Gehalt gemäss deren Kalibrierung ablesen würde. Dies tritt u. a. besonders deutlich für die Kurven für n_α hervor. Diese verlaufen eng benachbart, wobei sich die Hochtemperaturkurve über ca. 68° erstreckt, die Tieftemperaturkurve jedoch über ca. 79°. Ausserdem sind die je 10% An entsprechenden Abschnitte nicht nur für die beiden Kurven von unterschiedlichen Beträgen, sondern diese wechseln auch noch im Verlauf der einzelnen Kurven. Aber auch für die n_γ-Kurven, welche sowohl in bezug auf allgemeinen Verlauf wie auf Längserstreckung nur geringe Unterschiede aufweisen, fallen die Örter gleichen An-Gehaltes durchaus nicht zusammen. Die n_β-Kurven zeigen im Gebiet der Andesine und Labradore

eine grössere Abweichung voneinander. Für die basischen Plagioklase mit An > 70% verlaufen die n_β-Kurven zwar wieder eng benachbart, ihre Kalibrierung ist jedoch eine stark unterschiedliche, was bei der Benutzung der (010)-Migrationskurve zu Bestimmungszwecken zu beachten ist.

E. Anmerkung für die Praxis der Plagioklasbestimmung

I. Zur Unterscheidung von Hoch- und Tieftemperaturplagioklasen an Hand der Zwillingsoptik

Durch F. Becke wurde seinerzeit (F. Becke 1906) vorgeschlagen, die Winkel, welche korrespondierende optische Richtungen, vor allem die optischen Achsen, in Plagioklaszwillingen miteinander bilden, zur Bestimmung des An-Gehaltes zu benützen. Da zu ihrer Ermittlung die mikrokonoskopische Methode benützt wurde, war das Vorhandensein geeigneter Schnittlagen eine nicht immer im gewünschten Ausmasse realisierte Bedingung für die Durchführung der Bestimmung. Mit Einführung der U-Tischmethoden erweiterten sich die Möglichkeiten jedoch bedeutend, weshalb die entsprechenden Bestimmungskurven durch L. Duparc und M. Reinhard (1924) in erweiterter Form neu gezeichnet wurden. Einen weiteren Ausbau erfuhr die Methode durch A. Köhler (1941), als dieser Autor zeigen konnte, dass sich einige dieser Winkel zur Unterscheidung von Hoch- und Tieftemperaturoptik gut eignen. Dabei wurden neben der Abhängigkeit der Winkel der optischen Achsen in Zwillingen vor allem auch diejenigen der Hauptschwingungsrichtungen in Betracht gezogen und in Form von Bestimmungskurven dargestellt. Durch A. Köhler (1941) und bald darauf durch H. Tertsch (1942a) wurden die Verhältnisse der Hochtemperaturoptik zunächst nur für den jeweils bekannten Bereich der Gesamtvariation dargestellt. Im folgenden sollen diese Angaben für die sauren Plagioklase ergänzt werden, so wie sie sich auf Grund der w. o. durchgeführten Interpolation zwischen Hochalbit und natürlichen Andesinen aus vulkanischen Gesteinen auf Grund der Euler-Winkel ergeben. Ob auf diese Weise die Verhältnisse richtig dargestellt werden, muss die zukünftige Erfahrung lehren. Natürliche Hochtemperatur-Plagioklase sind bekannt, wenn auch bis jetzt nur in geringer Zahl. Der Grund hierfür dürfte u. a. darin liegen, dass rasch abgeschreckte vulkanische Gesteine, welche in erster Linie als Muttergestein in Betracht kommen, im allgemeinen relativ glasreich sind. In solchen Gesteinen sind jedoch meist zur Zeit der Erstarrung nur relativ An-reiche Mischglieder ausgeschieden, während sich die Ab-reicheren

Komponenten okkult im Glas befinden. Sind diese auch zur Auskristallisation gelangt, so ist damit eine Tendenz zu mehr holokristalliner Kristallisation verbunden, welche infolge der damit verbundenen langsameren Abkühlung der Fixierung der Hochtemperaturoptik weniger günstig ist.

Die Winkel zwischen den Hauptschwingungsrichtungen verzwillingter Plagioklase lassen sich für das Albit-, Karlsbader und Roc Tourné-Gesetz aus den in Tab. 3 bzw. 7 zusammengestellten Einheitsvektoren auf sehr einfache und elegante Weise berechnen. Dabei soll, wie seit A. Michel-Lévy allgemein üblich, die zu einer beliebigen Richtung R_1 im Ausgangsindividuum korrespondierende Richtung im Albitzwilling mit R_1', im Karlsbader mit R_2 und im Roc-Tourné-Zwilling mit R_2' bezeichnet werden. Ist R_1 in Fig. 6 in stereographischer Projektion der Pol einer derartigen beliebigen Richtung im Ausgangsindividuum, so bringt ihn eine Drehung von 180° um die Y-Achse (=ZA des Albitgesetzes) nach S auf der unteren Halbkugel. Auf der im allgemeinen allein betrachteten oberen Halbkugel entspricht ihm der auf dem gleichen Grosskreis und zugleich auf dem durch S verlaufenden Kugeldurchmesser liegende Pol R_1', welcher zu R_1 spiegelbildlich in bezug auf die X-Achse (=Spur der Zwillingsebene des Albitgesetzes) angeordnet erscheint.

Eine Drehung von 180° um Z (=ZA des Karlsbader Gesetzes) bringt R_1 nach R_2, welches auf der oberen Halbkugel liegt. Gleichermassen bringt eine Drehung von 180° um X (=ZA des Roc Tourné-Gesetzes) den Pol R_1 nach T auf der unteren Halbkugel, wobei ihm auf der oberen der wiederum auf dem gleichen Grosskreis und einem durch T ver-

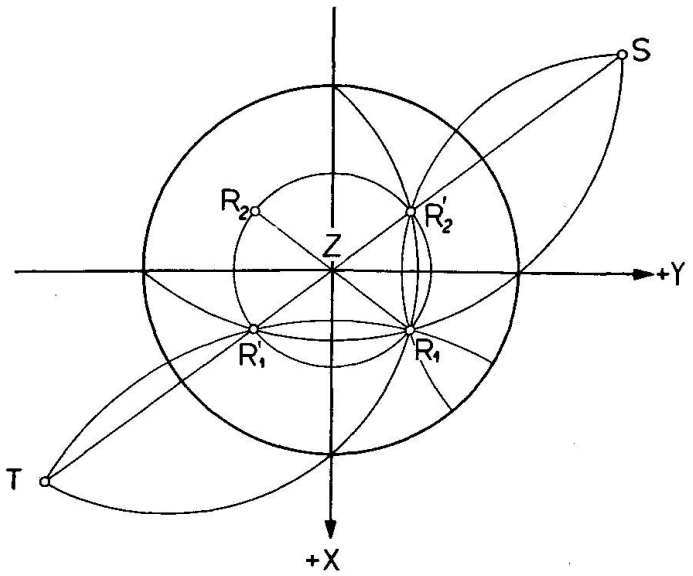


Fig. 6. Konjugierte Pole korrespondierender Richtungen in Albit-, Karlsbad- und Roc Tourné-Zwillingen.

laufenden Kugeldurchmesser liegende Pol R_2' entspricht. Die vier „konjugierten Pole" (A. MICHEL-LÉVY, 1894) korrespondierender Richtungen in Albit-, Karlsbad- und Roc Tourné-Zwillingen sind somit, wie die Figur zeigt, in stereographischer Projektion in bezug auf die X- bzw. Y- und Z-Achse symmetrisch angeordnet. Dabei entsprechen diese Achsen den Zwillingsachsen der drei in Betracht gezogenen Zwillingsgesetze bzw. den Spuren der Zwillingsebenen.

Sind die interessierenden Richtungen durch ihre Einheitsvektoren in bezug auf das System XYZ gegeben, so lassen sich die korrespondierenden Vektoren in verzwillingten Individuen sofort anschreiben, und die durch sie gebildeten Winkel lassen sich als skalare Produkte berechnen. Da die Koordinaten der Vektoren absolut genommen gleich gross sind und nur in bezug auf das Vorzeichen differieren, ist die Berechnung der skalaren Produkte unter Verwendung einer Tafel der Quadratzahlen sehr einfach. Für das Albit-Gesetz (ZA = Y) ergibt sich auf diese Weise:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1 &= \pm x_1 \mathfrak{i} \pm y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \\ \mathfrak{R}_1' &= \pm x_1 \mathfrak{i} \mp y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \end{aligned} \qquad \cos(\mathfrak{R}_1 \mathfrak{R}_1') = \pm x_1^2 \mp x^2 y_1^2 \pm z_1^2$$

Für das Karlsbader Gesetz:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1 &= \pm x_1 \mathfrak{i} \pm y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \\ \mathfrak{R}_2 &= \mp x_1 \mathfrak{i} \mp y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \end{aligned} \qquad \cos(\mathfrak{R}_1 \mathfrak{R}_2) = \mp x_1^2 \mp y_1^2 \pm z_1^2$$

Für das Roc-Tourné-Gesetz:

$$\begin{aligned} \mathfrak{R}_1 &= \pm x_1 \mathfrak{i} \pm y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \\ \mathfrak{R}_2 &= \mp x_1 \mathfrak{i} \pm y_1 \mathfrak{j} + z_1 \mathfrak{k} \end{aligned} \qquad \cos(\mathfrak{R}_1 \mathfrak{R}_2') = \mp x_1^2 \pm y_1^2 \pm z_1^2$$

Die cos der Winkel der Hauptschwingungsrichtungen verzwillingter Plagioklase lassen sich somit für die drei betrachteten Zwillingsgesetze durch die Quadratsummen der Koordinaten der Einheitsvektoren der betreffenden Richtung im Ausgangsindividuum darstellen. Dabei ist das der Richtung der Zwillingsachse entsprechende quadratische Glied mit entgegengesetztem Vorzeichen zu nehmen. Je nach der Zeichenwahl erhält man den spitzen oder den stumpfen Winkel. Für die systematische Darstellung der Resultate ergeben sich verschiedene Möglichkeiten. Um den Anschluss an die durch A. KÖHLER (1941) und H. TERTSCH (1942a) gegebenen Diagramme zu ermöglichen, wird hiermit der Vorschlag dieser Autoren befolgt, d. h. für das Albit- und das Roc Tourné-Gesetz wird der über (010) gemessene, für das Karlsbader Gesetz der über die c-Achse gemessene Winkel betrachtet. Die Resultate der Rechnung sind in Tab. 8 und 9 zusammengestellt. Es wurde darauf verzichtet, die

Tabelle 8. *Winkel der Bisektrizen verzwillingter Plagioklase*

Albit-Gesetz $\sphericalangle (n_{\alpha_1} n_{\alpha_1}')$

An%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
TT	176,9°	179,2°	178,8°	180,5°	170,3°	157,5°	146,9°	132,3°	123,6°	113,9°	76,8°
HT	171,4°	170,5°	171,6°	174,3°	176,6°	160,9°	137,7°	125,4°	119,8°	113,4°	112,2°

Albit-Gesetz $\sphericalangle (n_{\gamma_1} n_{\gamma_1}')$

TT	36,4°	22,0°	1,3°	28,0°	44,0°	54,9°	62,4°	77,1°	86,5°	86,4°	96,6°
HT	37,0°	15,9°	14,1°	36,8°	55,8°	66,7°	74,6°	84,2°	87,0°	88,4°	91,7°

Karlsbader-Gesetz $\sphericalangle (n_{\alpha_1} n_{\alpha_2})$

TT	7,1°	24,0°	41,0°	55,0°	72,0°	96,0°	108,0°	112,0°	111,0°	106,0°	95,0°
HT	34,9°	38,0°	44,0°	52,0°	68,0°	94,4°	110,0°	112,3°	110,2°	107,5°	107,4°

Karlsbader-Gesetz $\sphericalangle (n_{\gamma_1} n_{\gamma_2})$

TT	36,0°	21,5°	0,9°	24,8°	40,0°	48,6°	54,4°	64,7°	68,8°	73,3°	75,9°
HT	36,9°	15,1°	7,5°	30,3°	47,4°	55,4°	62,6°	66,6°	69,1°	72,4°	71,6°

Roc Tourné-Gesetz $\sphericalangle (n_{\alpha_1} n_{\alpha_2}')$

TT	172,2°	156,0°	138,9°	125,0°	107,1°	79,6°	61,9°	44,4°	36,5°	29,5°	16,5°
HT	143,9°	140,8°	135,1°	127,6°	111,9°	82,0°	52,9°	36,8°	32,0°	25,3°	23,0°

Roc Tourné-Gesetz $\sphericalangle (n_{\gamma_1} n_{\gamma_2}')$

TT	5,2°	4,6°	1,3°	12,8°	17,5°	23,9°	28,3°	37,3°	45,7°	49,1°	50,1°
HT	2,9°	4,8°	12,0°	20,2°	27,8°	34,0°	36,2°	45,2°	45,9°	47,9°	49,1°

Tabelle 9. *Winkel der optischen Achsenebenen verzwillingter Plagioklase*

Albit-Gesetz $\sphericalangle (n_{\beta_1} n_{\beta_1}')$

An%	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
TT	36,2°	22,0°	0°	28,0°	42,8°	49,5°	51,3°	55,7°	59,5°	57,9°	49,0°
HT	35,9°	12,7°	8,6°	36,6°	55,7°	62,7°	58,2°	59,0°	56,8°	55,0°	53,7°

Karlsbader-Gesetz $\sphericalangle (n_{\beta_1} n_{\beta_2})$

TT	36,6°	32,5°	41,0°	61,2°	87,5°	116,4°	136,6°	161,2°	174,9°	174,0°	160,7°
HT	51,7°	41,1°	44,0°	61,5°	87,0°	120,2°	151,9°	173,3°	179,2°	171,1°	169,4°

Roc Tourné-Gesetz $\sphericalangle (n_{\beta_1} n_{\beta_2}')$

TT	174,7°	156,5°	139,0°	126,8°	109,9°	84,5°	69,4°	59,4°	59,8°	58,3°	53,1°
HT	140,5°	141,1°	137,6°	132,0°	119,2°	92,2°	65,8°	59,4°	56,8°	55,8°	54,9°

TT = Tieftemperatur HT = Hochtemperatur

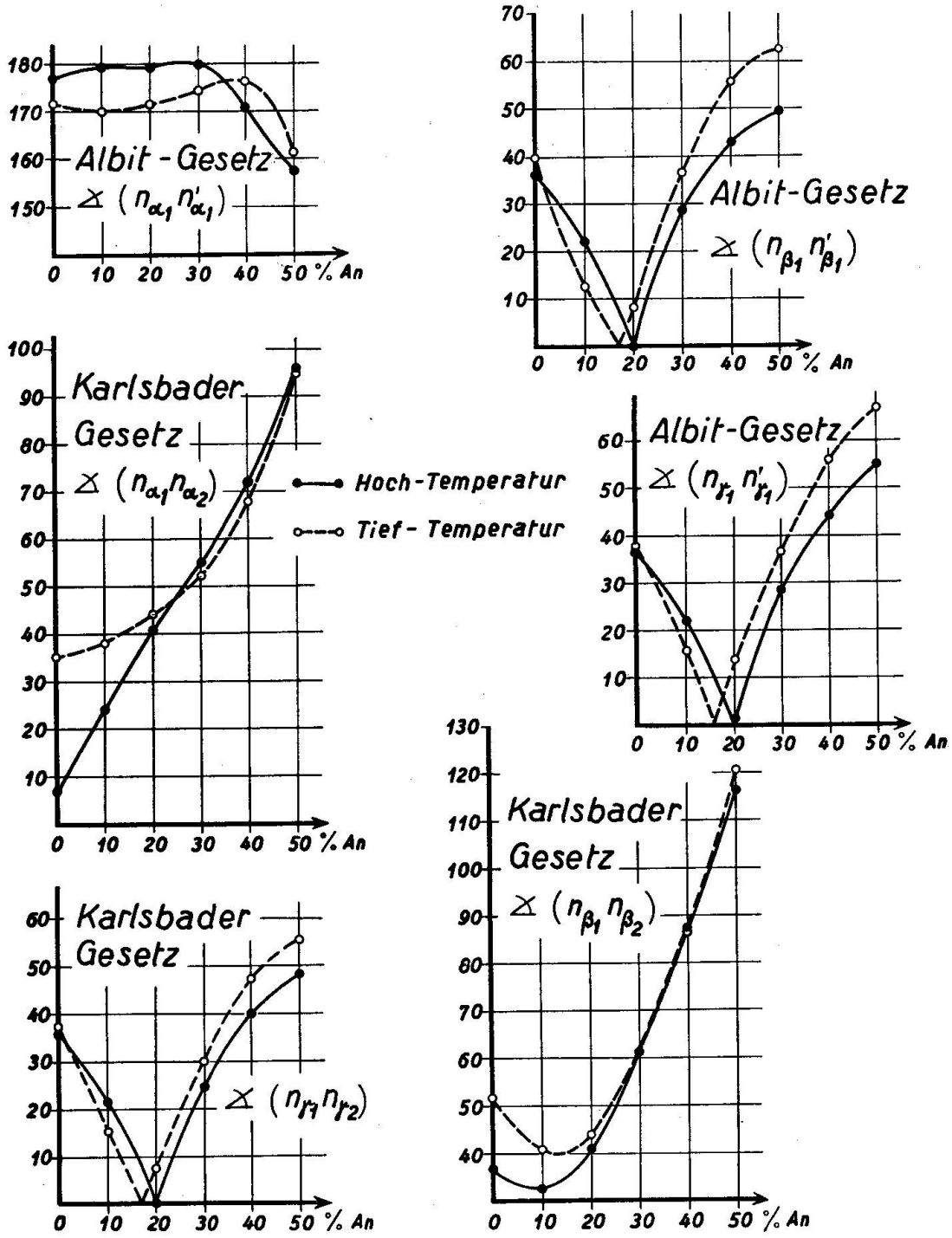


Fig. 7. Winkel der Bisektrizen für nach Albit-, Karlsbad- und Roc Tourné-Gesetz verzwillingte saure Tief- und Hochtemperatur-Plagioklase.

Kurven für den ganzen Variationsbereich zu zeichnen, weil sich für den intermediären und basischen Abschnitt keine prinzipiellen Unterschiede gegenüber den Kurven von A. Köhler und H. Tertsch ergeben, da ja die benutzten Unterlagen dieselben sind. Geringfügige Unterschiede beruhen auf der Interpolation an Hand der Euler-Winkel an Stelle einer solchen der für die einzelnen Typenplagioklase berechneten Werte sowie auf der Verwendung einer anderen Orientierung für den Hoch-Anorthit (Mittel aus den Messungen von Duparc-Gysin und Tertsch). Es zeigt sich, dass einige dieser Kurven sehr wohl zur Unterscheidung saurer Hoch- und Tieftemperatur-Plagioklase Verwendung finden können. Ihre Bewährung muss sich aus der Praxis ergeben (Fig. 7 und 8).

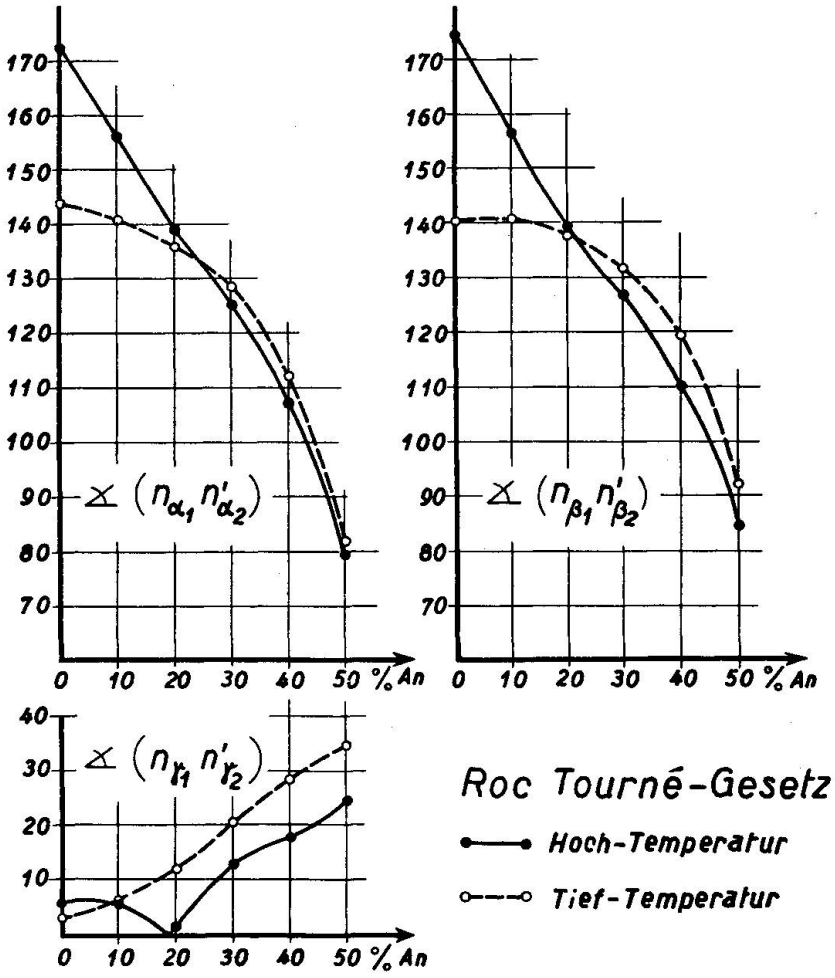


Fig. 8. Winkel der optischen Achsenebenen für nach Albit-, Karlsbad- und Roc Tourné-Gesetz verzwillingte saure Tief- und Hochtemperatur-Plagioklase.

II. Direkte Verwendung der Euler-Winkel zur Plagioklasbestimmung

Bei den klassischen U-Tischmethoden wird die Orientierung der Indikatrix zum Kristallgebäude direkt eingemessen und daraus, durch Vergleich mit empirisch aufgestellten Bestimmungsstereogrammen, auf den An-Gehalt geschlossen. Als kristallographische Bezugselemente verwendet man hierbei entweder direkt einmessbare Spalt- oder Verwachsungsebenen, seltener auch Wachstumsflächen bzw. die dazu normalen Richtungen, oder auch konstruierte Zwillingselemente. Da die direkte Einmessung von Spalt- oder Verwachsungsflächen in hohem Masse von der Güte ihrer Ausbildung sowie vom Fehlen von Vizinalbildungen abhängig ist, ist sie meistens mit einem gewissen Fehler behaftet. Man bevorzugt daher im allgemeinen konstruierte Zwillingselemente, um so mehr als damit neben dem An-Gehalt zugleich auch das Zwillingsgesetz ermittelt werden kann. Legt man auf dieses keinen Wert und will man sich mit der Feststellung des An-Gehaltes begnügen, lassen sich auch die EULER-Winkel bzw. ihre Variationskurven in Abhängigkeit des An-Gehaltes direkt zur Bestimmung verwenden. Dabei ergeben sich zugleich auch Kriterien für die Unterscheidung von Hoch- und Tieftemperaturoptik bzw. für die Konstatierung von Zwischenformen.

Für die Anwendung dieser Methode ist es notwendig, dass von den drei zu Achsen des morphologischen Bezugssystems gewählten Richtungen: $X = \frac{\perp [010]}{(010)}$, $Y = \perp (010)$, $Z = [001]$ mindestens zwei einmessbar bzw. konstruierbar sind, worauf sich die dritte aus der stereographischen Projektion als Pol des durch die beiden ersten verlaufenden Grosskreises ergibt. X wird direkt als ZA von Roc Tourné-Zwillingen erhalten. Dabei brauchen diese nicht im Sinne der üblichen Definition von Zwillingsindividuen vorhanden zu sein, d. h. sie brauchen nicht in unmittelbarem Kontakt miteinander zu stehen. Es genügt vielmehr, wenn in einem komplizierten Zwillingsstock zwei Individuen vorhanden sind, welche gegenseitig diese Stellung aufweisen, so dass die ZA konstruiert werden kann. Y ist ZA von Albit-Zwillingen oder Normale von einmessbaren Spalt- bzw. Verwachsungsebenen (010). Z kann als ZA von Karlsbader Zwillingen konstruiert werden. Beim Fehlen von Karlsbader Zwillingen kann unter Umständen die Richtung $Z = c$ unter Zuhilfenahme zusätzlicher kristallographischer Daten, welche sich aus den Angaben von SCHMIDT und WÜLFING interpolieren lassen, erhalten werden. Diesbezügliche Beispiele wurden bereits anlässlich der Zusammenstellung der Daten über die Tieftemperatur-Plagioklase diskutiert.

Die Konstruktion der EULER-Winkel ist selbstverständlich nicht an

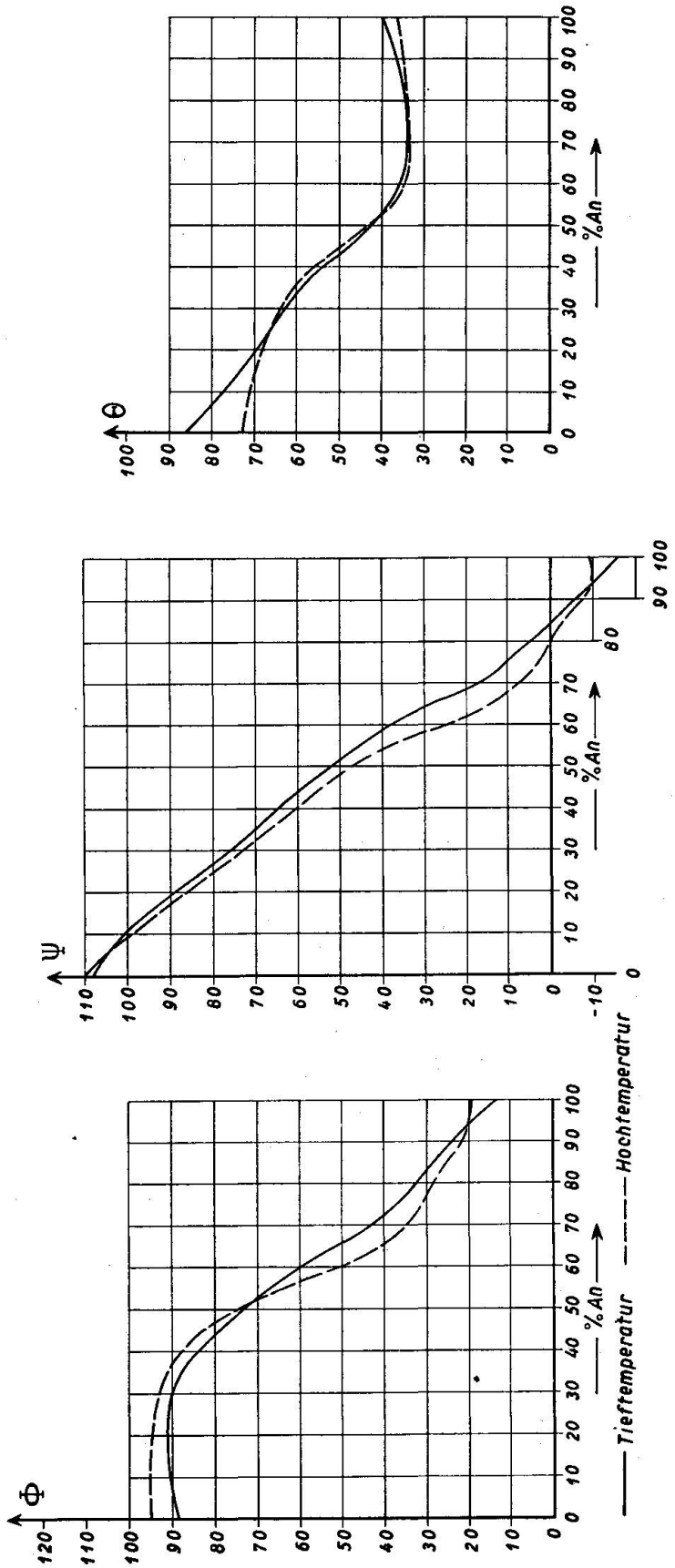


Fig. 9. Vergleich der Variation der Euler-Winkel in Abhängigkeit vom An-Gehalt für Tief- und Hochtemperatur-Plagioklase.

die Orientierung der Projektionsebene $\perp$ [001] gebunden. Der Ausstrichspunkt der Knotenachse T wird als Schnittpunkt des zu [001] normalen Grosskreises mit dem dem Indikatrixhauptschnitt $n_\beta n_\gamma = X'Y'$ entsprechenden erhalten. Die gesuchten EULER-Winkel lassen sich darauf wie folgt unmittelbar ablesen: $\Phi = (T, X)$, $\Psi = (T, X') = (T, n_\beta)$, $\Theta = (Z, Z') = (Z, n_\alpha)$. Da bei nach dem Albit-, Karlsbader bzw. Roc Tourné-Gesetz verzwillingten Individuen die n_α-Richtungen im Sinne von A. MICHEL-LÉVY zueinander konjugiert sind, gilt auch dass $2\Theta = (n_\alpha, n_{\alpha 2}) = (n_\alpha', n_{\alpha 2}')$. Da auch die Ausstichspunkte der Knotenlinie T zueinander konjugiert sind, gilt ferner $2\Phi = (T, T') = T_2, T_2')$. Hieraus ergeben sich willkommene Möglichkeiten zur Kontrolle oder Mittelwertbildung bei weniger sicheren Messungen.

Beim Vorliegen eines Plagioklases mit extremer Tief- bzw. Hochtemperaturoptik müssen sämtliche drei EULER-Winkel auf denselben An-Gehalt führen, worin eine weitere Kontrolle liegt und eventuelle Zweideutigkeiten in bezug auf das Vorzeichen von Ψ geklärt werden können. Macht man die Wahrnehmung, dass bei sonst zuverlässig erscheinenden Messungen dies nicht der Fall ist, so liegt eine Zwischenform zwischen extremer Tief- und Hochtemperaturform vor, wie dies w. o. für die durch H. TERTSCH beschriebenen, ungenügend getemperten sauren Plagioklase diskutiert wurde. Durch die EULER-Winkel wird in solchen Fällen eine Charakterisierung derartiger teilweise geordneter bzw. ungeordneter Zustände ermöglicht, welche auf die gebräuchlichen Bestimmungsdiagramme bzw. Migrationskurven nicht „stimmen". (C. BURRI 1956). Es scheint, dass derartige Zwischenformen häufiger sind als bisher vermutet wurde. Zur völligen Ausschöpfung der sich auf diese Weise ergebenden Möglichkeiten sind jedoch noch röntgenographische und infrarot-spektrographische (F. LAVES und ST. HAFNER, 1956) Paralleluntersuchungen notwendig. Fig. 9, welche die Variationskurven der EULER-Winkel für Hoch- und Tieftemperatur in einer Darstellung bereinigt zeigt, leistet für die Interpretation von Messresultaten gute Dienste.

F. Benützte Literatur

BARBER, C. T. (1936): 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 Fedorow method. Mem. Geol. Surv. India 68, 121—292.

— (1936a): The effect of heat on the optical orientation of plagioclase felspars. Min. Mag. 24, 343—352.

BARTH, T. F. W. (1928): Die Symmetrie der Kalifeldspäte. Fortschr. Min. etc. 13, 31—35.
— (1931): Permanent changes in the optical orientation of felspars exposed to heat. Norsk. Geol. Tidskr. 12. 57—72.
— (1934): Polymorphic phenomena and crystal structure. Am. J. Sc. 27, 273—286.
BECKE, F. (1895): Bestimmung kalkreicher Plagioklase durch die Interferenzbilder von Zwillingen. Tscherm. Mitt. 14, 415—442.
— (1900): Die optische Orientierung des Albites von Amelia, Virginia. Tscherm. Mitt. 19, 321—335.
— (1906): Zur Physiographie der Gemengteile der krystallinen Schiefer. Denkschr. Math. Phys. Kl. k. k. Akad. Wiss. Wien 75, 97—151.
— (1921): Die optischen Eigenschaften einiger Andesine. Tscherm. Mitt. 35, 41—46.
BEREK, M. (1924): Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin, Bornträger, 168 S., 7 Taf.
BRADLEY, O. (1955): An investigation of high-temperature optics in some naturally occurring plagioclases. Min. Mag. 30, 227—245.
BURRI, C. (1950): Anwendung der Vektorrechnung auf einige häufig auftretende kristalloptische Probleme. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 30, 258—303.
— (1956): Optische Charakterisierung von zwischen Hoch- und Tieftemperaturform gelegenen Übergangsstadien bei Plagioklasen. Z. Krist. (i. Druck).
— (1956a): Versuch einer Darstellung der thermischen Dispersion der Plagioklasoptik. (Erscheint in Z. Krist.)
CHAO, S. H. and TAYLOR, W. H. (1940): Isomorphous replacement and superlattice structure in the plagioclase felspars. Proc. R. Soc. London (A) 176, 76—87.
CHAYES, F. (1950): On the relation between anorthite content and γ-index of natural plagioclase. J. Geol. 58, 593—595.
— (1952): Relation between composition and indices of refraction in natural plagioclase. Am. J. Sc. (BOWEN Vol.) 85—105.
CHUDOBA, K. (1925): Die optische Orientierung des Albites von Rischuna (Schweiz). Tscherm. Mitt. 38 (Festband BECKE) 88—99.
CHUDOBA, K. und JAKOB, J. (1933): Über den Labrador von Tamatave. C. B. f. Min. etc. (A) 1—9.
COLE, W. F., SÖRUM, H. and TAYLOR, W. H. (1940): The structures of the plagioclase felspars. I. Acta Cryst. 4, 20—29.
DUPARC, L. et REINHARD, M. (1923): Les méthodes de Fédorof et leur application à la détermination des plagioclases. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 3, 1—74.
— (1924): La détermination des plagioclases dans les coupes minces. Mém. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève 40, fasc. 1, 149 S., 13 Taf.
DUPARC, L. et GYSIN, M. (1926): Sur les propriétés optiques de l'anorthite synthétique et sur les résultats comparés donnés par les différentes méthodes de détermination des plagioclases. Bull. Soc. Min. France 48, 1—14.
ENGELS, A. (1937): Chemismus und optische Orientierung kalihaltiger Plagioklase. Inaug. Diss. Univ. Bonn. Bielefeld, 44 S.
ERNST, E. (1926): Die optischen Eigenschaften des Andesins von Bodenmais. Sitz. Ber. Heidelberger Akad. Wiss. Math. Natw. Kl. 5. Abh.
ERNST, E. und NIELAND, H. (1934): Plagioklase von Linosa, ein Beitrag zur Anemousitfrage. Tscherm. Mitt. 46, 93—126.

EULER, L. (1748): Introductio in Analysin Infinitorum. 2 Vol. Lausanne.
FEDOROW, E. v. (1898): Universaldrehtischmethoden und Feldspatstudien. III. Die Feldspäte des Bogoslowskschen Bergreviers. Z. Krist. 29, 604—658.
FISCHER, H. (1925): Über die optischen Eigenschaften des Albites. Z. Krist. 61, 226—249.
GAY, P. (1954): The structures of the plagioclase feldspars. V. The heat-treatment of lime-rich plagioclases. Min. Mag. 30, 428—438.
GAY, P. and TAYLOR, W. H. (1953): The structures of the plagioclase feldspars. IV. Variations in the anorthite structure. Acta Cryst. 6, 647—650.
GROSSPIETSCH, O. (1908): Kristallform und optische Orientierung des Albites von Morro velho und Grönland. Tscherm. Mitt. 27, 353—376.
— (1915): Labradorit. Tscherm. Mitt. 33, 27—47.
— (1918): Andesin von Hohenstein im Kremstal. Sitz. Ber. Math. Natw. Kl. k. k. Akad. Wiss. Wien, 127, Abt. I., 439.
HOMMA, F. (1932): Über das Ergebnis von Messungen an zonaren Plagioklasen aus Andesiten mit Hilfe des Universaldrehtisches. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12, 345—352.
JÄGER, E. und HUTTENLOCHER, H. † (1955): Beobachtungen an basischen Plagioklasen der Ivreazone. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 35, 199—206.
KAADEN, VAN DER, G. (1951): Optical studies on natural plagioclase felspars with high- and low-temperature optics. Diss. Utrecht.
KARL, F. (1954): Über Hoch- und Tieftemperaturoptik von Plagioklasen und deren petrographische und geologische Auswertung am Beispiel einiger alpiner Ergussgesteine. (Die Existenz von Übergangslagen.) Tscherm. Mitt. (3) 4, (Festband Bruno Sander) 320—328.
KÖHLER, A. (1941): Die Abhängigkeit der Plagioklasoptik vom vorausgegangenen Wärmeverhalten. Tscherm. Mitt. 53, 24—49.
— (1941a): Drehtischmessungen an Plagioklaszwillingen von Tief- und Hochtemperaturoptik. Tscherm. Mitt. 53, 159—179.
KÔZU, S. (1914): Optical, chemical and thermal properties of anorthite from three localities in Japan. Sc. Rep. Tôhoku Imp. Univ. Sendai (2) 2, 7—33.
KRATZERT, J. (1921): Die kristallographischen und optischen Konstanten des Anorthits vom Vesuv. Z. Krist. 56, 465—488.
— (1923): Beiträge zur Kenntnis des Andesins von Bodenmais, Sitz. Ber. Heidelberger Akad. Wiss. (A) 5. Abh.
LAVES, F. (1950): The lattice and twinning of microcline and other potash feldspars. J. Geol. 58, 548—571.
— (1952): Phase relations of the alkali feldspars. I. Introductional remarks. J. Geol. 60, 436—450. II. The stable and pseudostable phase relations in the alkali feldspar system. J. Geol. 60, 449—474.
— (1954): The coexistence of two plagioclases in the oligoclase compositional range. J. Geol. 62, 409—411.
LAVES, F. and CHAISSON, U. (1950): An X-ray investigation of the high-low albite relations. J. Geol. 58, 584—592.
LAVES, F. and GOLDSMITH, J. R. (1951): Short-range order in anorthite. A. C. Meeting, Chicago (Abstract, 11).
— (1954): Long-range-short-range order in calcic plagioclase as a continous and reversible function of temperature. Acta Cryst. 7, 465—472.

LAVES, F. and GOLDSMITH, J. R. (1955): The effect of temperature and composition on the Al-Si distribution in anorthite. Z. Kristallogr. 106, 227—235.

— (1955a): Cation order in anorthite ($CaAl_2Si_2O_8$) as revealed by Gallium and Germanium substitution. Z. Kristallogr. 106, 213—226.

LAVES, F. und HAFNER, ST. (1956): Ordnung/Unordnung und Infrarotabsorption. I. (Al, Si)-Verteilung in Feldspäten. Z. Kristallogr. (i. Druck).

LARSEN, E. and IRVING, J. (1938): Petrologic results of a study of the minerals from the tertiary volcanic rocks of the San Juan region, Colorado. Am. Min. 23, 227—257.

LARSSON, W. (1940): Petrology of interglacial volcanics from the Andes of Northern Patagonia. Bull. Geol. Inst. Uppsala 28, 191—405.

LEISEN, E. (1934): Beitrag zur Kenntnis der Dispersion der Kalknatronfeldspäte. Z. Kristallogr. 89, 49—79.

LUCZIZKI. W. (1905): Optische Orientierung des Labradors. Tscherm. Mitt. 24, 191—198.

LUNDEGÅRDH, P. H. (1941): Bytownit aus Anorthosit von Bönskär im nördlichen Teil der Stockholmer Schären und seine Beziehungen zu verschiedenen Feldspatbestimmungskurven. Bull. Geol. Inst. Uppsala 18, 415—429.

MANOLESCU, G. (1934): Über die Lage der morphologischen Bezugsrichtungen bei Plagioklasen und ihre Verwendung zur Bestimmung des Anorthitgehaltes. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 14, 452—463.

MICHEL-LÉVY, A. (1894): Etude sur la détermination des feldspats dans les plaques minces au point de vue de la classification des roches. I. Paris.

MILLER, S. F. (1935): Anorthite from California. Am. Min. 20, 139—146.

MUIR, I. D. (1955): Transitional optics of some of the andesines and labradorites. Min. Mag. 30, 545—568.

NIKITIN, W. W. (1933): Korrekturen und Vervollständigungen der Diagramme zur Bestimmung der Feldspate nach Fedorows Methode. Min. Petr. Mitt. (Leipzig) 44, 117—167.

— (1936): Die Fedorow-Methode, Berlin, Bornträger. 109 S., 7 Taf.

OFTEDAHL, O. (1948): Studies on the igneous rock complex of the Oslo Region. IX. The feldspars. Skr. Norske Vidensk. Akad. Oslo, 1. Mat. Nat. Kl. No. 3.

PALIUC, G. (1932): Untersuchungen der Plagioklase einiger tertiärer Ergusssteine Siebenbürgens (Rumänien) mittelst der Universaldrehtischmethode. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12, 423—444.

PREUSS, E. (1951): Hochtemperatur-Plagioklas in Meteorit von Oldenburg. Heidelberger Beitr. Min. Petr. 2, 538—546.

REINHARD, M. (1931): Universaldrehtischmethoden. Basel, Wepf, 5 Tafeln.

SCHMIDT, ED. (1916): Die Winkel der kristallographischen Achsen der Plagioklase. Chem. d. Erde 1, 351—406.

SCHOLLER, H.: Versuche zur Temperaturabhängigkeit der Plagioklasoptik. Tscherm. Mitt. 53, 180—221.

SCHUMANN, H. (1931): Lagebestimmung der Optik eines norwegischen Labradors mittels der Drehtischmethode. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 11, 231—239.

SCHWARZMANN, S. (1956): Über die Lichtbrechung und die Achsenwinkel von Hochtemperaturplagioklasen und ihre Entstehungsbedingungen. Z. Kristallogr. 5, 105—112.

SMITH, CAMPBELL, W. (1928): The optical orientation of labradorite from County Down (Irland) determined by Fedorow method. Min. Mag. 21, 543—551.

SPAENHAUER, F. (1933): Über das Ergebnis von Messungen an synthetischen Plagioklasen mit Hilfe des Universaldrehtisches. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13, 356—365.

TERTSCH, H. (1942): Die optische Orientierung des Hochtemperatur-Anorthits. Tscherm. Mitt. 53, 50—66.

— (1942a): Zur Hochtemperaturoptik basischer Plagioklase. Tscherm. Mitt. 54, 193—217.

— (1942b): Zur Hochtemperaturoptik der Plagioklase, C. B. für Min. etc. (A) 137—144.

— (1944): Untersuchungen über die Hochtemperaturoptik saurer Plagioklase. Tscherm. Mitt. 55, 307—325.

— (1950): Untersuchungen über die Hochtemperaturoptik saurer Plagioklase. N. Jb. für Min. etc. Monatshefte (A) 121—138.

TUNNEL, G. (1952): The angle between the a-axis and the trace of the rhombic section on the (010)-pinacoid in the plagioclases. Am. J. Sc. (Bowen-vol.) 547—551.

TSUBOI, S. (1923): Optical dispersion of three intermediate plagioclases. Min. Mag. 20, 93—107.

TUTTLE, O. E. und BOWEN, N. L. (1950): High temperature albite and contigous feldspars. J. Geol. 58, 572—583.

USSOW, V. (1910): Fedorowsche oder universaloptische Methode der gesteinsbildenden Mineralien, insbesondere Feldspäte. Tomsk (russisch).

VENDL, M. (1922): Beiträge zur Kenntnis der optischen Daten der Albite, C. B. für Min. etc. (A) 137—144.

WENK, ED. (1933): Statistische Drehtischuntersuchungen an Plagioklasen rumänischer Ergussgesteine. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 13, 205—219.

— (1945): Kritischer Vergleich von simultan nach der Drehtisch- und Immersionsmethode ausgeführten Anorthitbestimmungen an Plagioklasen. Diskussion der beiden Methoden. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 25, 349—382.

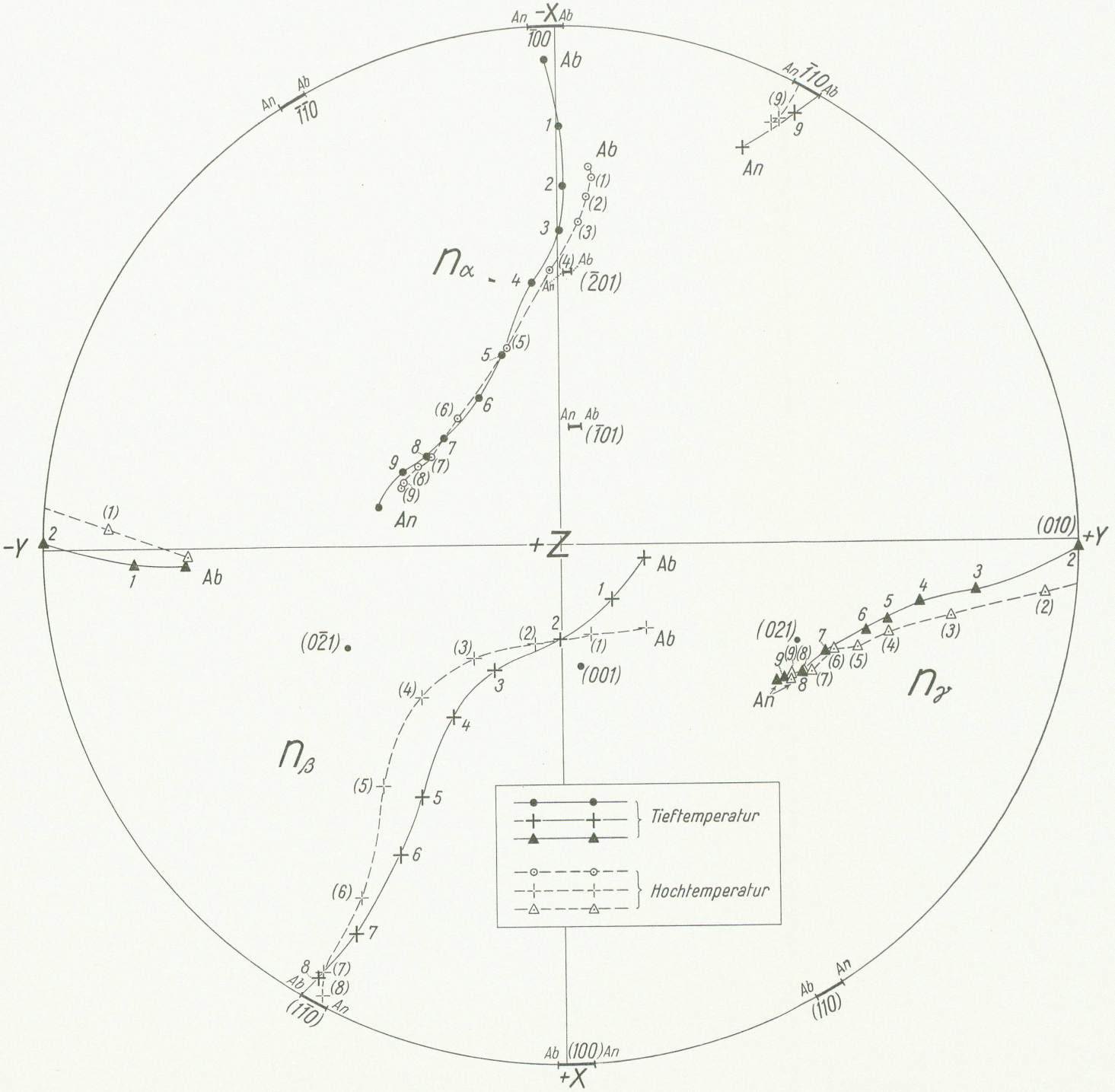
WRIGHT, F. E. (1913): Graphical methods in microscopical petrography. Am. J. Sc. (4) 36, 509—539.

WÜLFING, E. A. (1951): Lassen sich die kristallographischen Fundamentalwinkel der Plagioklase mit der Zusammensetzung in gesetzmässige Beziehung bringen? Sitz. Ber. Heidelberger Akad. Wiss. Math. Phys. Kl. (A) 13. Abh.

— (1921—1924): Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien, begründet von H. Rosenbusch, 4. Auflage von E. A. Wülfing, I. 1. Stuttgart, Schweizerbarth.

Mineralogisch-petrographisches Institut der Eidg. Technischen Hochschule.

Eingegangen: 21. August 1956.

Tafel I

Schweiz. Min. Petr. Mitt.
Band 36, Heft 2, 1956