

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

**Band:** 40 (1960)

**Heft:** 2

**Artikel:** Zum Adularproblem. I, Adular vom Val Casatscha : mimetischer  
Lamellenbau, Variation von Optik und Gitterkonstanten und ihre  
genetische Deutung

**Autor:** Bambauer, Hans Ulrich / Laves, Fritz

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-31145>

### **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:** 02.04.2026

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

## Zum Adularproblem

### I. Adular vom Val Casatscha: Mimetischer Lamellenbau, Variation von Optik und Gitterkonstanten und ihre genetische Deutung<sup>1)</sup>

Von *Hans Ulrich Bamberger* und *Fritz Laves* (Zürich)

Mit 15 Figuren im Text

A. Bisherige Untersuchungen über Adular . . . . .	178
B. Adular vom Val Casatscha . . . . .	179
a) Vorkommen und Paragenese . . . . .	179
b) Optische und röntgenographische Untersuchung . . . . .	179
1. Lamellierte Randpartien nach {110} . . . . .	180
2. Kernpartie mit Lamellen // [010] . . . . .	186
3. Kernpartien mit diffusen Lamellen // (hkl) und (h $\bar{k}$ l) . . . . .	191
C. Diskussion . . . . .	195
Literatur . . . . .	204

#### Zusammenfassung

Adulare vom Val Casatscha (Kanton Graubünden, Schweiz) erwiesen sich aus lamellenartigen Bereichen verschiedenen Phasenzustandes aufgebaut. In gleichen „Kristallen“ wurden optische Eigenschaften gefunden, welche nahe der Sanidinoptik (hoch) [ $AE \approx // (010)$  mit  $2V_x \approx 50^\circ$ ] und nahe einer Mikroklinoptik [ $AE \approx \perp (010)$  mit  $2V_x \approx 50^\circ$ ] liegen. Zwischen beiden Extremen wurde eine kontinuierlich variierende Reihe intermediärer optischer Orientierungen beobachtet. Eine Diskussion der Beziehungen zwischen morphologischer Orientierung der Lamellen, Optik und röntgenographisch gemessener Gitterkonstanten weist auf ursprüngliches Wachstum im Sanidin-Zustand mit anschliessenden Umwandlungen in Richtung des Mikroklin-Zustandes hin, wobei Zustände gebildet wurden, die bei keiner Temperatur unter Gleichgewichtsbedingungen stabil möglich sind.

#### Abstract

Adularia from Val Casatscha (Canton Grisons, Switzerland) proved to consist of domains with lamellar structure and possessing different phase conditions. In

<sup>1)</sup> Vorgetragen auf der Jahrestagung der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Sept. 1959 (BAMBAUER und LAVES, 1960).

one and the same „crystal“ optical properties were found which, on the one hand, approximate to (high) sanidine optics (axial plane  $\approx // (010)$ ,  $2V_x \approx 50^\circ$ ) and on the other lie close to microcline optics [axial plane  $\approx \perp (010)$ ,  $2V_x \approx 50^\circ$ ]. Between these extremes a continuous series of intermediate optical orientations was found. A discussion of the relations between the morphological orientation of the lamellae, the optical data, and the lattice constants as measured with X-rays, indicates that the material grew originally as sanidine and later underwent changes tending towards the microcline state. During this process states were realized that can never show stable equilibrium at any temperature.

### A. Bisherige Untersuchungen über Adular

Auf Grund morphologischer Messungen wurde der Adular bis in die heutige Zeit stets zu den *monoklinen* Kalifeldspäten (als Varietät des „Orthoklases“) gestellt. Abweichungen von monokliner Symmetrie sind goniometrisch bisher nicht beobachtet worden [HINTZE (1897), V. GOLDSCHMIDT (1916), NIGGLI (1923, 1926), RAMDOHR (1948)]. Dahingegen hat MALLARD (1876) schon früh gezeigt, dass vielen Adularen keineswegs auch ein *optisch* monokliner Aufbau zukommt. ALLING (1923), BARTH (1928, 1929) und KÖHLER (1948) bestätigen die Existenz von optisch triklinem Adular und beschreiben Zwillingslamellen nach dem Albit-, Periklin- und Aklin-B-Gesetz (BARTH), die alle mit monokliner Symmetrie nicht vereinbar sind.

Röntgenographische Untersuchungen [LAVES (1950, 1952)] ergaben, dass solchen optisch triklinen Adularen durchaus auch triklone Gitterkonstanten zukommen, fernerhin, dass die Abweichung von monokliner Symmetrie in der gleichen Richtung verläuft wie bei Mikroklin, der Betrag der Abweichung aber in der Regel nur bis zu einem Viertel derjenigen von Mikroklin beträgt. Adular (monoklin oder triklin) wurde als instabiler, intermediärer Zustand zwischen Sanidin (ungeordnete Al/Si-Verteilung) und Mikroklin (geordnete Al/Si-Verteilung) gedeutet. Von CHAISSON (1950) ausgeführte U-Tisch-Messungen an den gleichen Adularen, die von LAVES (1950) röntgenographisch untersucht wurden, lieferten eine erhebliche und zum Teil vom bisher bekannten merklich abweichende Variation von Indikatrixlagen und Achsenwinkeln. In der zuletzt genannten Arbeit werden auch die bisherigen optischen Untersuchungen ausführlich zitiert, so dass hier darauf verzichtet werden kann.

In Analogie zum Röntgenbefund zeigen die Adulare auch in ihrer Ultrarotabsorption ein intermediäres Verhalten zwischen Sanidin und Mikroklin [HAFNER und LAVES (1957)].

Weitere optische Daten sind in neuen Arbeiten von ANSILEWSKI (1958) und NOWAKOWSKI (1959) enthalten. Auf die zitierten Arbeiten wird im folgenden an geeigneter Stelle näher eingegangen werden.

## B. Adular vom Val Casatscha<sup>2)</sup>

### a) VORKOMMEN UND PARAGENESE

Im Zusammenhang mit einer systematischen röntgenographischen, optischen und chemischen Untersuchung der alpinen Adulare<sup>3)</sup> wurden auch Kristalle eines Kluftvorkommens vom Val Casatscha beim Lukmanierpass untersucht. Die Paragenese umfasst sauren Plagioklas, Adular, Titanit und Chlorit, wobei man beobachtet, dass der Adular den Plagioklas<sup>4)</sup> orientiert umwachsen und teilweise verdrängt hat. Das Nebengestein ist ein Aktinolit-Zoisit-Chlorit-Albit-Schiefer.

Untersuchungsobjekt war eine einzige grosse Stufe mit ca. 100—150 Adularen; davon wurden ca. 25 näher untersucht.

Die Paragenese lässt sich in die Mineralgesellschaft C<sub>1</sub> (auf der Stufe selbst war allerdings kein Quarz vorhanden) und die Fundortgruppe 7a nach PARKER (1954) einordnen.

Die Adulare gehören dem kurzprismatischen, pseudorhomboedrigen Typ an, mit vorwiegend {110}, {20 $\bar{1}$ } und {001} in der Reihenfolge ihrer Habitusbestimmung. Die grösseren Adulare (bis etwa 2—3 cm) sind auf {110} oberflächenparkettiert, etwa in der Weise wie bei Dolomit, die kleineren (etwa unter 1 cm) haben meist glatte {110}-Flächen.

### b) OPTISCHE UND RÖNTGENOGRAPHISCHE UNTERSUCHUNG

Unabhängig von ihrer äusseren Beschaffenheit erwiesen sich alle untersuchten Adulare als optisch inhomogen. Und zwar zeigen sie einen Aufbau aus vorwiegend triklinen Bereichen, wie er von den eingangs zitierten Autoren zum Teil bereits beobachtet wurde, in einer derart ausgeprägten Weise, dass hier eine nähere Untersuchung wünschenswert erschien.

Die morphologischen Einheiten — es handelt sich ja nicht mehr

<sup>2)</sup> Wir danken Herrn Strahler Petschen für die Überlassung der interessanten Stufe.

<sup>3)</sup> Die Untersuchung wird in dieser Reihe erscheinen.

<sup>4)</sup> Der Plagioklas zeigt Periklincharakter [LAVES und SCHNEIDER (1956)]. Nach optischen, röntgenographischen und chemischen Analysen schwankt die Zusammensetzung der Plagioklaskerne um An 10 ± 5.

um homogene Kristalle<sup>5)</sup> — erwiesen sich aufgebaut aus verschiedenartigen, überwiegend lamellaren Bereichen von triklinem Kalifeldspat. Nach ihren geometrischen und optischen Merkmalen lassen sich im wesentlichen drei grundsätzlich verschiedene Anordnungen solcher trikliner Bereiche erkennen:

1. Lamellierte Randpartien nach  $\{110\}$  (Fig. 2—5);
2. Kernpartie mit Lamellen //  $[010]$  (Fig. 2—4 und 8);
3. Kernpartie mit diffusen Lamellen //  $(hkl)$  und  $(\bar{h}kl)$  (Fig. 7, 8).

Sie werden im folgenden in der angegebenen Reihenfolge einzeln besprochen.

Die optischen Untersuchungen wurden an orientierten Dünnschliffen nach  $(001)$ ,  $\perp [001]$ ,  $(100)$ ,  $\perp [100]$  und  $(010)$  ausgeführt. Alle Messungen von Indikatrixlagen und Achsenwinkeln erfolgten drehkonoskopisch für  $\lambda \approx 590 \text{ m}\mu$ . Der zur Messung ausgeblendete Bereich betrug dabei etwa  $60 \mu$ . Die Fehlergrenze für  $2V$  liegt bei ca.  $\pm 30'$ , in einigen Fällen bei  $\pm 1^\circ$ . Optische Orientierungen wurden mit Einkristallaufnahmen nach der Buerger-Precession-Methode festgelegt. Röntgenaufnahme und optische Bestimmung wurden koordiniert, indem eine grosse Zahl optisch gemessener Bereiche aus dem Dünnschliff herauspräpariert und geröntgt wurden. Die Fehlergrenzen betragen für Gitterwinkel im Mittel  $\pm 5'$ , für die  $d$ -Werte  $\pm 0,01 \text{ \AA}$ . Alle chemischen Bestimmungen erfolgten spektralanalytisch; die mittlere Fehlergrenze beträgt  $\pm 5\%$  der angegebenen Werte.

#### 1. Lamellierte Randpartien nach $\{110\}$

Fig. 2 zeigt in einem Schnitt  $\perp [001]$  den bei Adular offenbar weitverbreiteten und bereits auch in mehreren der zitierten Arbeiten abgebildeten Aufbau aus vier Randpartien //  $\{110\}$  (1.) und dem davon umschlossenen Kern (2.). Diese Randpartien sind ihrerseits wiederum aus ebenfalls nach  $\{110\}$  orientierten Lamellen aufgebaut. Im Kontrast zu Beobachtungen von KÖHLER (1948) und ANSILEWSKI (1958), die beide ebenfalls eine, aber nur wenig ausgeprägte Streifung nach  $\{110\}$  erwähnen, sind die Lamellen in unserem Material zumeist scharf und gut unterscheidbar gegeneinander abgegrenzt (Fig. 2, 5); sie erinnern häufig (sind es aber nicht) an polysynthetische Zwillingslamellen trikliner Feldspäte. Zum Teil zeigen sie auch etwas diffusere Grenzen. NOWAKOWSKI (1959) beschreibt einen „Sektorenbau //  $(110)$ “; hierbei dürfte es sich um den gleichen Sachverhalt handeln.

<sup>5)</sup> Vgl. GOLDSMITH und LAVES (1954a), S. 104, Fussnote 5.

In Schnitten  $\perp [001]$  beobachtet man nun folgende Zusammenhänge bei den Auslöschungsrichtungen  $x' \wedge (010)$  der einzelnen triklinen Bereiche: die alternierenden Lamellen innerhalb einer der vier Randpartien zeigen stets einen zwar verschieden grossen Auslöschungswinkel, jedoch immer eine gleichsinnige, „positive“ oder „negative“ Abweichung von monokliner Optik (Auslöschungswinkel =  $0^\circ$ ). Einander zentrosymmetrisch gegenüberliegende Randpartien zeigen insgesamt ein gleiches Auslöschungsverhalten. Vom stumpfen Prismenwinkel eingeschlossene Randpartien löschen insgesamt symmetrischer zu  $(010)$  aus (Fig. 1, 2, 4), als die vom spitzen Winkel eingeschlossenen. Denn es lässt sich häufig beobachten, dass die Auslöschungsschiefe  $x' \wedge (010)$  auf  $(001)$  und damit die Triklinität, innerhalb einer Randpartie vom stumpfen in Richtung auf den spitzen Prismenwinkel (von  $0^\circ$  ausgehend), zunimmt. In unserem Fall wurden dabei Winkel von  $0-12^\circ$  gemessen [an anderem Material wurden auch solche bis  $17^\circ$ , demjenigen von Mikroklin (tief) entsprechend, gemessen]. Das heisst also, dass die „Nahtstellen“ an den (stumpfen und spitzen) Prismenwinkeln Kompositionsflächen von Albit-Verzwilligung darstellen. Oft ist die am stumpfen Prismenwinkel beobachtbare Triklinität derart gering, dass eine „Naht“ nicht beobachtbar ist und der „Naht-Bereich“ gesamthaft monoklin erscheint. Auch ist nicht selten ein Ansteigen der Auslöschungsschiefe von innen nach aussen festzustellen; stets war jedoch in solchen Fällen des hier beschriebenen Materials die Lamellenbreite für U-Tisch-Messungen zu gering.

Die Fig. 5 zeigt einen Ausschnitt aus einem Dünnschliff  $\perp [100]$ . Hier liessen sich die Indikatrixlagen und Achsenwinkel der einzelnen, von links oben nach rechts unten verlaufenden Lamellen  $\parallel \{110\}$  (vgl. Bildunterschrift) gut einmessen. Die im Bilde dunklen Lamellen haben

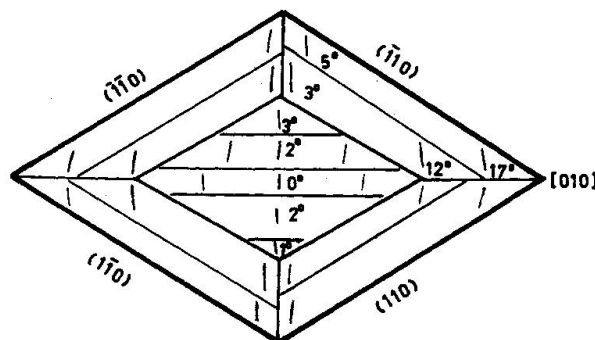


Fig. 1. Schematische Skizze eines Schnittes  $\perp [001]$  durch einen Adular vom Val Casatscha mit Lamellenbau  $\parallel \{110\}$  (1.) und  $\parallel [010]$  (2.). Eingezeichnet die Auslöschungsrichtungen  $x' \wedge (010)$ .

die Achsenebene  $\approx // (010)$ ,  $2V_x$  um  $30^\circ$ ,  $r < v$ , deutlich geneigte Lagendispersion. Dagegen besitzen die hellen Lamellen bei einer Lage der Achsenebene  $\approx \perp (010)$  ein  $2V_x$  um  $50^\circ$ ,  $r > v$  und schwache, angenähert horizontale Lagendispersion. Das heisst, die Achsenebenen benachbarter Lamellen stehen etwa senkrecht aufeinander. Wie aus dem Stereogramm der Fig. 9 zu ersehen ist, variieren die optischen Daten beider Lamellenarten etwas, doch überlappen sich die Variationsbereiche nicht.

Auch ANSILEWSKI (1957) und NOWAKOWSKI (1959) beobachteten an Adularen mit einer Streifung nach  $\{110\}$ , dass in einigen Fällen für benachbarte Streifen die Achsenebenen nahezu senkrecht aufeinander stehen. Ansilewski gibt für  $AE \approx // (010)$   $2V_x = 48-56^\circ$  und für  $AE \approx \perp (010)$   $2V_x = 16-80^\circ$ . Gerade in bezug auf die Grösse von  $2V_x$  in Abhängigkeit von der Lage der Achsenebene scheint dabei nicht die geringste Übereinstimmung mit den Messungen an unserem Material zu bestehen. Auch die Werte von CHAISSON (1950) für Randpartien  $// \{110\}$  (Lamellen oder Streifen erwähnt diese Autorin nicht) decken sich nicht mit den Messungen, die wir an unserem Material erhielten. Bemerkenswert ist ferner die Orientierung der Indikatrizen (Fig. 9—12) zu  $(010)$  (bei  $n_x$  besonders deutlich), die sich von den bisher bekannten triklinen Indikatrixlagen bei Adularen (mit mikroklinähnlicher Position von  $n_x$ ) grundsätzlich unterscheidet. Derartig grosse Abweichungen, die in diesem Ausmass keineswegs chemisch bedingt sein können [Adulare haben erfahrungsgemäss eine recht enge chemische Variationsbreite (WEIBEL u. MEYER 1957, WEIBEL 1957)], sind hingegen im Hinblick auf die möglichen strukturellen Zustände von Adular geradezu zu erwarten. Näheres auf S. 196 ff.

Einkristallaufnahmen mit der Precession-Methode an optisch untersuchten Partien ergaben folgendes: Benachbarte, optisch verschiedene Lamellen  $// \{110\}$  zeigen verschieden grosse, aber ebenfalls wiederum gleichsinnige Abweichung von monokliner Symmetrie. In Tabelle 1 sind einige Gitterkonstanten angeführt. Bei Aufnahmen von zwei oder mehreren Lamellen war eine genügende Auflösung der einzelnen Reflexe nicht möglich; die dabei angegebenen Winkel sind mittlere Werte der verbreiterten Reflexe. Besonders bemerkt sei, dass an direkt benachbarten Stellen der Winkel  $\gamma^*$  für eine Lamelle mit  $AE \approx // (010)$  (dunkel in Fig. 5) zu  $90^\circ 15'$ , für eine Lamelle mit  $AE \approx \perp (010)$  (hell in Fig. 5) zu  $90^\circ 31'$  gemessen wurde (Tab. 1). [Zum Vergleich: Maximal geordneter Mikroklin besitzt ein  $\gamma^* \approx 92^\circ 15'$ , LAVES (1952).] Weiterhin erwiesen sich beide Lamellenarten röntgenographisch als homogen, das heisst auch auf sehr lange belichteten Aufnahmen konnte eine innere



Fig. 2. Schnitt  $\perp[001]$ . Anordnung von vier Randpartien (1.) mit Lamellen //  $\{110\}$  und Kernpartie (2.) mit Lamellen //  $[010]$ . Vergrößerung von 4b. Das rechtwinklig umrandete Gebiet siehe vergrößert in Fig. 3.



Fig. 3. Eingerahmte Partie aus Fig. 2, vergrößert. Spitz auskeilende Lamellen //  $\{110\}$ . Rechts im Bild schwach zu erkennen eine Lamelle //  $[010]$ . Eingezeichnet die Lage der optischen Achsenebenen.

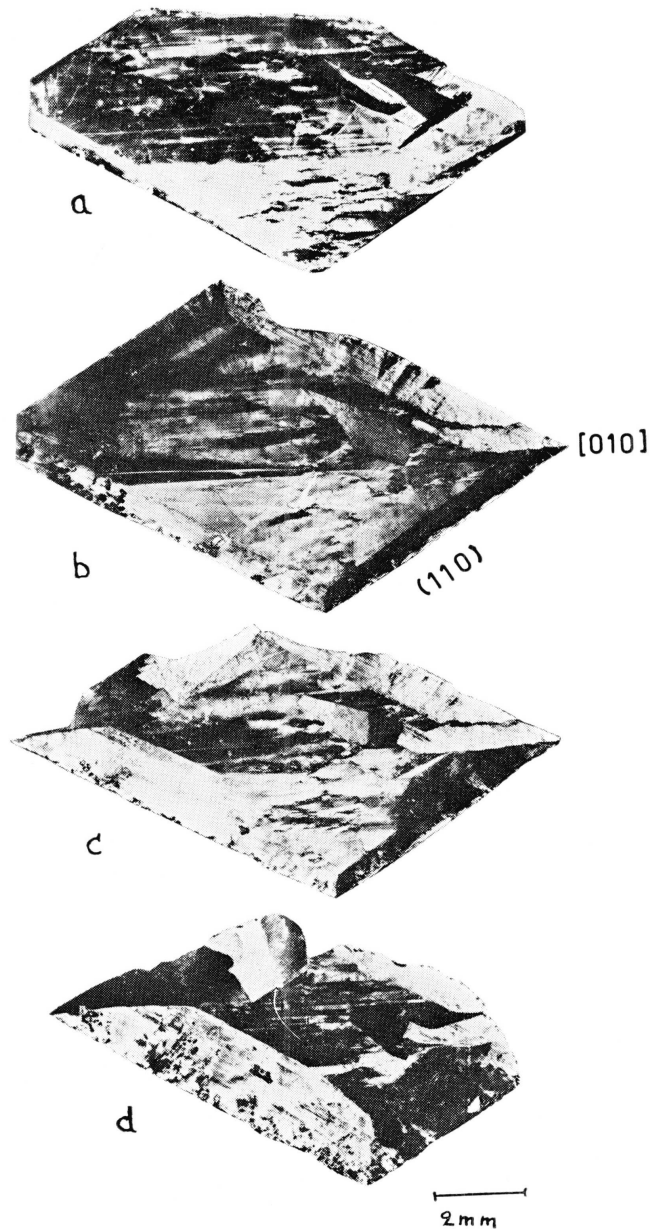


Fig. 4. Vier parallele Schnitte (Abstand ca. 1,5 mm) durch den gleichen Adular.  
Man bemerkt die Zunahme der Kernpartie (2.) von unten nach oben.

(„unausgeglichene“) Verzwilligung nicht festgestellt werden, wohl aber eine leichte diffuse Verbreiterung der Reflexe.

In Fig. 3 ist ein am spitzen Prismenwinkel von Fig. 2 (links unten) beobachtbarer Teil vergrößert wiedergegeben worden. Man erkennt links im Bild spitz auskeilende Lamellen  $// \{110\}$ , rechts (dunkel erscheinend), eine zum Kern (2.) gehörende Partie mit schwach erkennbarer Lamellierung  $// [010]$ . Zwischen beiden eine Art „Niemandland“. Wie auch hier zu erkennen, scheint die Bildung der Lamellen  $// \{110\}$

Tabelle 1. *Lamellen nach*  $\{110\}$

X-Nr.	S-Nr.	$d_{(100)}$	$d_{(010)}$	$d_{(001)}$	$\alpha^*$	$\gamma^*$	Bemerkungen
426	408/4	7,69	12,98	6,45	90° 00'	90° 31'	Einzelne Lam. AE $\approx \perp (010)$ $2V_x = 50^\circ$
431	408/4	7,69	13,01	6,44	90° 00'	90° 15'	Einzelne Lam. AE $\approx // (010)$ $2V_x = 34^\circ$
428	408/4	7,69	13,01	6,45	90° 05'	90° 15'	Lamellenschar, mittlere Winkelwerte
422	408/4	7,70	12,98	6,45	90° 08'	90° 27'	2 Lam., mittl. Winkelwerte
531	408/11	7,72	12,98	6,42	90° 02'	90° 11'	Lamellenschar, mittlere Winkelwerte

$$\alpha^* = \sphericalangle (010) \wedge (001); \quad \gamma^* = \sphericalangle (010) \wedge (100).$$

Messgenauigkeit für  $\alpha^*$  und  $\gamma^*$  sind etwa  $\pm 5'$ .

in der Regel vom spitzen in Richtung auf den stumpfen Prismenwinkel vonstatten gegangen zu sein. Im Foto eingetragen sind die verschiedenen Lagen der Achsenebenen. Die Auslöschung wandert kontinuierlich vom Kern (AE  $\approx \perp (010)$ ) in die hellen Lamellen [AE ebenfalls  $\approx \perp (010)$ ] hinein. Die dunklen Lamellen weisen neben der eingezeichneten Orientierung AE  $\approx // (010)$  auch ein wesentlich kleineres  $2V_x$  auf.

Die Verhältnisse am stumpfen Prismenwinkel lassen sich in Fig. 5 erkennen. Im linken oberen Bildteil treffen sich von beiden Seiten her (in der „Projektion“ hier nahezu rechtwinklig erscheinend) Lamellen  $// \{110\}$  in der Umgebung des stumpfen Prismenwinkels (siehe weisse Pfeile). Man erkennt, dass die hellen Lamellen [AE  $\approx \perp (010)$ ] auskeilen und das Übergangsgebiet von der Substanz der dunklen Lamellen [AE  $\approx // (010)$ ] gebildet wird. Auf dem U-Tisch lässt sich erkennen, dass die im Foto ( $\perp$  a-Achse) diffus erscheinenden Lamellen auch an ihren Enden scharf begrenzt sind, in ihrer äusseren Form sehr ähnlich Zwillingslamellen nach dem Albitgesetz in Plagioklasen. Zumeist ist das Übergangsgebiet nicht mehr vorhanden; die Lamellen stossen dann direkt aneinander.

Aus dem optischen, wie auch dem röntgenographischen Befund lässt sich übereinstimmend entnehmen, dass die vier Randpartien  $// \{110\}$ , wie sie etwa in Fig. 2 und 4 erkennbar sind — statistisch gesehen —, durch die Symmetrie  $C_{2h} - 2/m$  miteinander verknüpft sind (siehe Fig. 1). CHAISSON (1950) bemerkte bereits, dass die Randpartien am spitzen Prismenwinkel sich durch eine Digyre, die nach gleichzeitigen Röntgen-

untersuchungen von Laves der  $b^*$ -Achse entspricht, ineinander überführen lassen. Die Gesamtorientierung der vier Randpartien folgt also dem Albitgesetz mit zwei Kontaktebenen, die — nicht scharf — (100) am spitzen und (010) am stumpfen Prismenwinkel entsprechen.

Wie oben gezeigt wurde, handelt es sich hingegen bei den Lamellen // {110} *nicht* um polysynthetische Zwillingslamellen, obschon grosse Ähnlichkeiten in der äusseren Form bestehen, ebenfalls nicht um Anwachszonen von verschiedenem Chemismus, wenn man von eventuell grossen Relativ-Differenzen immer vorhandener „Verunreinigungen“ absieht (siehe S. 200), sondern vielmehr um in der Regel scharf begrenzte lamellare Domänen verschiedenen Phasenzustandes.

## 2. Kernpartie mit Lamellen // [010]

Wenn man von dem denkbaren Fall, dass die Randpartien mit Lamellierung nach {110} die ganze morphologische Einheit erfüllen, einmal absieht (in über 100 bisher untersuchten alpinen Adularen noch nicht festgestellt), beobachtet man im allgemeinen, dass sie eine im Schnitt senkrecht [001] rhombenförmige Kernpartie umgrenzen (Fig. 2, 4). Diese weist eine meist deutliche, verglichen mit derjenigen nach {110} aber meist weniger scharf ausgeprägte Lamellierung // [010] auf. Eine definierte Lage dieser Lamellen in der Zone [010] konnte nicht festgestellt werden. Bei Messungen an mehreren Adularen und selbst im gleichen Dünnschliff wurde eine Streuung von insgesamt etwa  $60^\circ$  um [010] gefunden. Daraus könnte man erwarten, dass beliebige Lagen in [010] möglich sind. Gelegentlich beobachtet man sogar, dass Lamellengrenzflächen bis zu  $20^\circ$  spiralg verdreht sind. Häufiger wiederkehrend wurde nur eine Lage nahe bei (201) gefunden. In Fig. 8 erkennt man derartige Lamellen in einem Schnitt // (100); auch die hellen, scheinbar einheitlichen Partien oben und unten in Fig. 7 sind in dieser Weise lamelliert. Ferner erkennt man gut eine sanduhrartige Umgrenzung dieser Kernpartien, wie sie sich auch in Fig. 4, parallelen Durchschnitten senkrecht [001] (Abstand etwa 1,5 mm) in der Zunahme der Kernpartie von unten nach oben bemerkbar macht.

Die Kernlamellen // [010] unterscheiden sich ebenfalls in Indikatrixlage und Achsenwinkel. Und zwar beobachtet man zumeist ein Abwechseln von grösseren ( $40\text{--}54^\circ$ ) und kleineren ( $25\text{--}30^\circ$ )  $2V_x$  bei ähnlicher Orientierung der Achsenebene  $\approx \perp (010)$ . Jedoch fanden sich auch Lamellen mit  $2V_x \approx 0^\circ$  sowie solche mit kleinem Achsenwinkel ( $15\text{--}20^\circ$ ) und AE nahe zu (010). Die Auslöschungsschiefen sind klein ( $0\text{--}3^\circ$ ) und

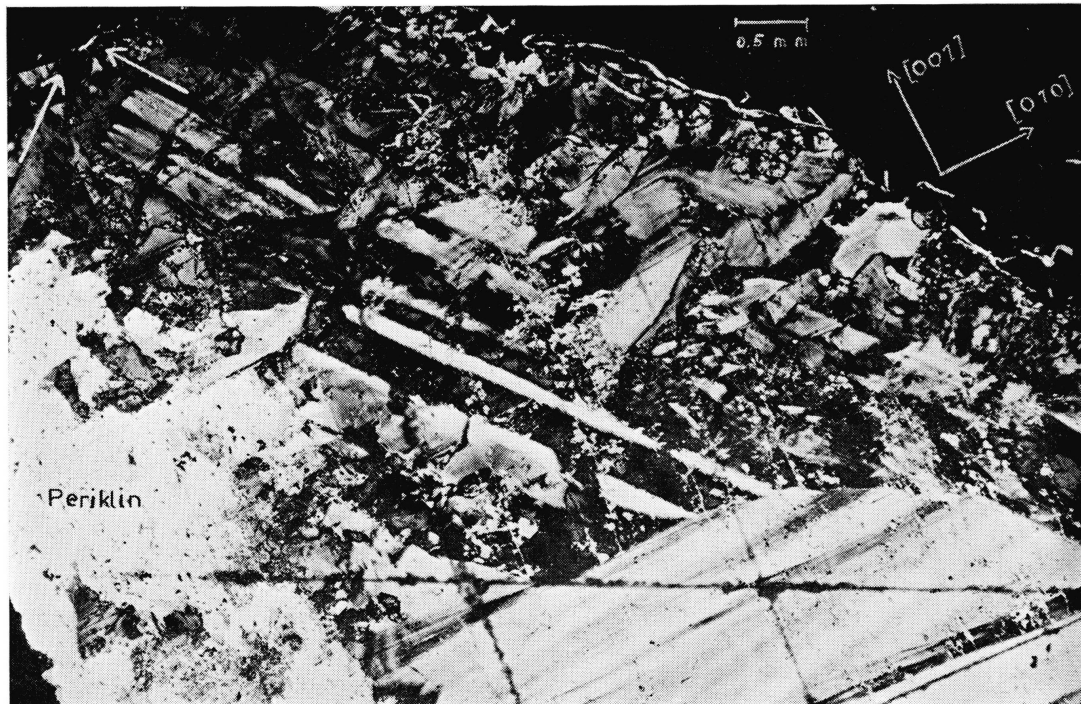


Fig. 5. Schnitt  $\perp[100]$ . Links reliktscher Periklin, recht unten ein Teil der Kernpartie (2.) mit Lamellen  $//[010]$ , von links oben nach rechts unten verlaufend Lamellen  $//\{110\}$ , wobei die dunklen Lamellen  $AE \approx // (010)$  und die hellen  $AE \approx \perp(010)$  haben. Im linken oberen Bildteil treffen sich von beiden Seiten her die Lamellen  $//\{110\}$  (in der „Projektion“ hier nahezu rechtwinklig erscheinend, siehe weisse Pfeile) in der Umgebung des stumpfen Prismenwinkels.

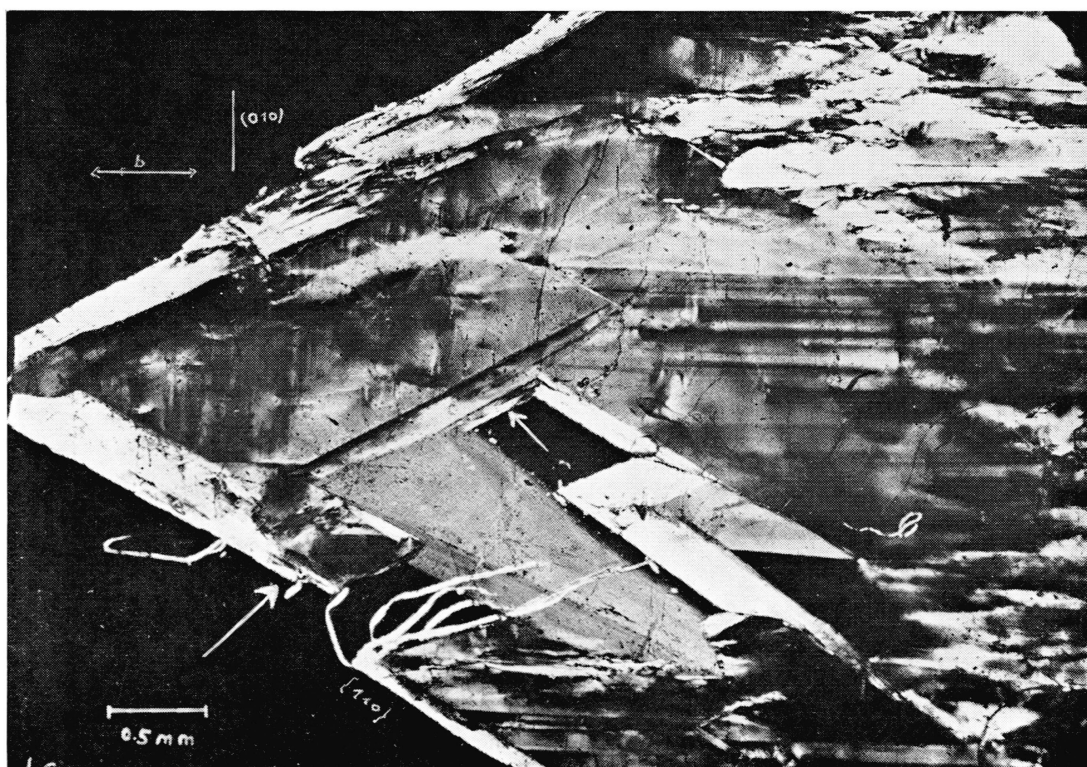


Fig. 6. Ausschnittvergrößerung von Fig. 4a. Links im Bild eine sonst seltene, äusserst diffuse Streifung  $\perp[010]$ . Pfeile zeigen auf selbständige kleine Anordnungen von Kern und Rändern (entsprechend 1. und 2.) und auf Lamellen  $//\{110\}$  innerhalb der Kernpartie.

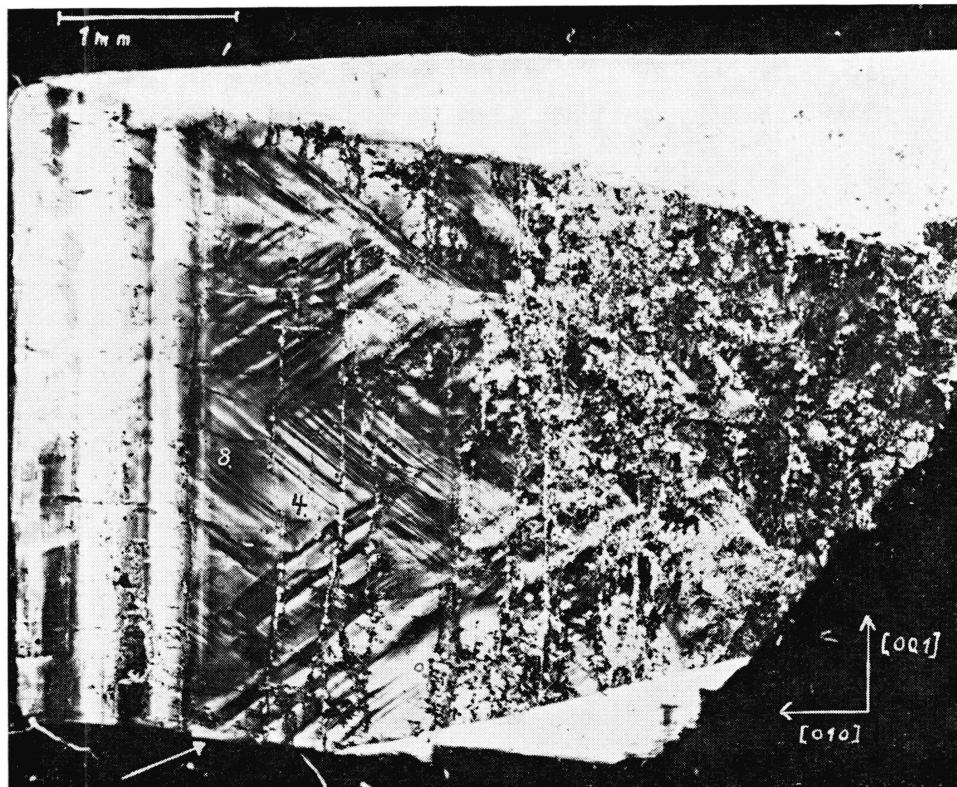


Fig. 7. Schliff // (100). Links Lamellen //  $\{110\}$ , oben und unten sanduhrartige Bereiche mit (hier nicht erkennbarer) Lamellierung // [010]. In der Mitte diffuse Lamellen // (hkl) und // ( $\bar{h}\bar{k}\bar{l}$ ) (Pfeil). Vgl. bei CHAISSON (1950) Fig. 4 B, S. 541; dort wurde auch „Sanduhr“-Struktur, aber keine  $\{hkl\}$ -Lamellierung gefunden.

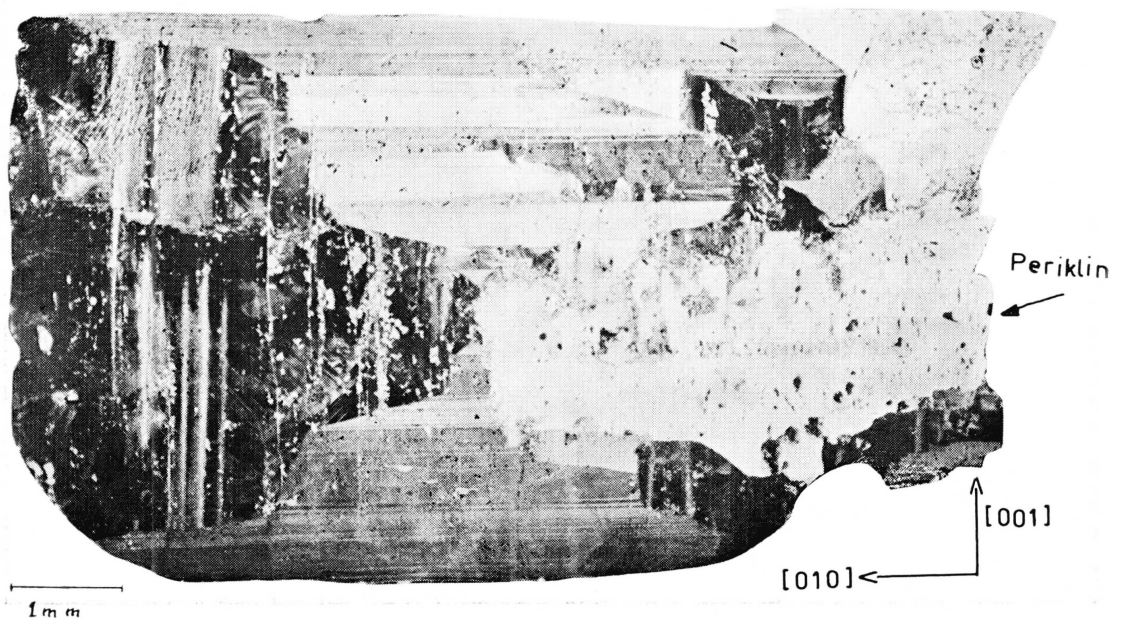


Fig. 8. Schliff // (100). Vorherrschen von sanduhrartigen Bereichen mit Lamellen // [010]. Links Lamellen //  $\{110\}$ , zwischen letzteren und dem Periklinkern (Pfeil) auch diffuse Lamellen // (hkl) und // ( $\bar{h}\bar{k}\bar{l}$ ).

ihr Vorzeichen ist unbestimmt, das heisst die Auslöschungsrichtungen können von Partie zu Partie von „links“ bis „rechts“ zur Null-Lage schwanken. Das ist deutlich in Fig. 2 zu erkennen, wo neben gut erkennbaren Lamellen auch völlig unregelmässig begrenzte Domänen auftreten. Im Stereogramm der Fig. 10 sind die Indikatrixlagen von je zwei benachbarten Lamellen eingetragen. Man erkennt, dass die Indikatrixen nur geringfügig verschiedene Lagen haben, das heisst in beiden Fällen liegt keine Zwillingsstellung, sondern nur leicht verschiedene Triklinität vor. Keinesfalls darf jedoch aus diesen Stichproben (wegen der gewöhnlich recht geringen Lamellenbreite waren systematische optische Messungen nicht möglich) etwa geschlossen werden, dass „Verzwilligung“ generell fehlt.

Auch die röntgenographisch gemessene Triklinität ist für die verschiedenen Domänen nicht konstant; der Winkel  $\gamma^*$  schwankt zwischen ungefähr  $90^\circ$  und  $90^\circ 14'$ , wie aus Tab. 2 zu ersehen ist. Die geometrischen Beziehungen zwischen benachbarten Lamellen liessen sich nicht eindeutig bestimmen, da bei Aufnahmen von zwei oder mehreren Lamellen (mit verschiedener Triklinität) das Auflösungsvermögen der Precessionskamera bei den vorhandenen geringen Winkelabweichungen nicht ausreichte, Reflexe verschiedener Lamellen zu trennen. Immerhin zeigt sich aus Tab. 2, dass sich die Winkelabweichungen der Reflexe verschie-

Tabelle 2. *Lamellen* // [010]

X-Nr.	S-Nr.	$d_{(100)}$	$d_{(010)}$	$d_{(001)}$	$\alpha^*$	$\gamma^*$	Bemerkungen
524	408/11	7,68	13,03	6,43	$90^\circ 00'$	$90^\circ 08'$	Einzelne Lam. // [010] AE $\approx \perp (010)$ , $2V_x = 25-30^\circ$
521	408/11	7,68	12,97	6,44	$90^\circ 00'$	$90^\circ 04'$	do.
520	408/11	7,70	12,96	6,45	$90^\circ 00'$	$90^\circ 14'$	Einzelne Lamelle, AE $\approx \perp (010)$ , $2V_x = 40-54^\circ$
526	408 11	7,70	12,98	6,45	$90^\circ 00'$	$90^\circ 00'$	2 Lamellen, mittlerer Winkelwert
512	408/11	7,70	12,98	6,45	$90^\circ 00'$	$90^\circ 00'$	Lamellenschar, mittlerer Winkelwert
443	408/4	7,69	12,98	6,45	$90^\circ 00'$	$90^\circ 03'$	do.
1095	408/17	7,69	12,96	6,44	$90^\circ 00'$	$90^\circ 00'$	do.
440	408/4	7,69	12,98	6,45	$90^\circ 00'$	$90^\circ 08'$	do.

$$\alpha^* = \sphericalangle (010) \wedge (001); \quad \gamma^* = \sphericalangle (010) \wedge (100).$$

Messgenauigkeit von  $\alpha^*$  und  $\gamma^*$  ist etwa  $\pm 5'$ .

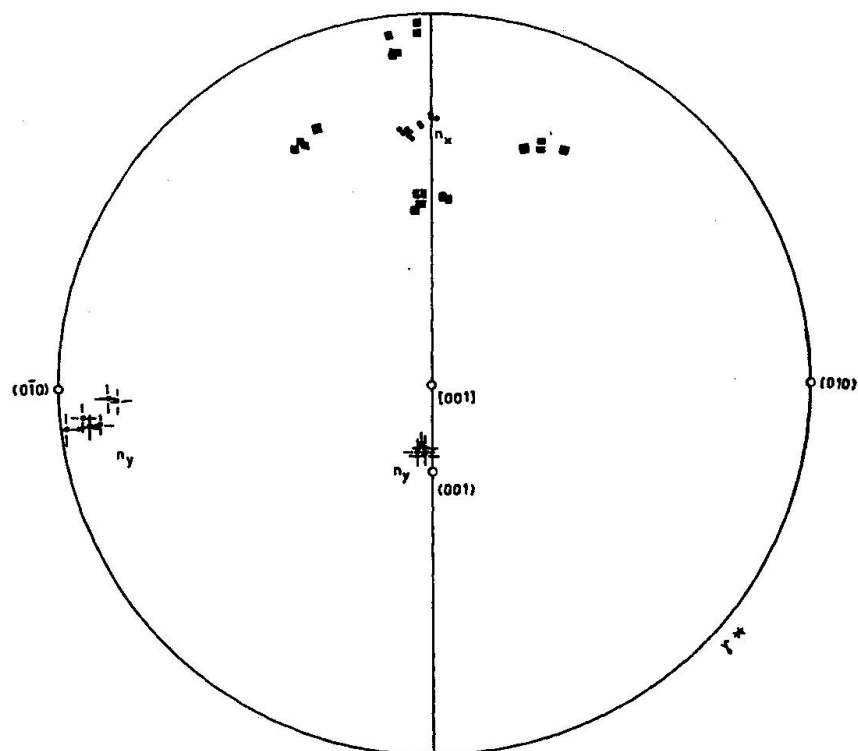


Fig. 9. Stereogramm der Indikatrixlagen alternierender Lamellen //  $\{110\}$  aus Randpartien (siehe Fig. 5).

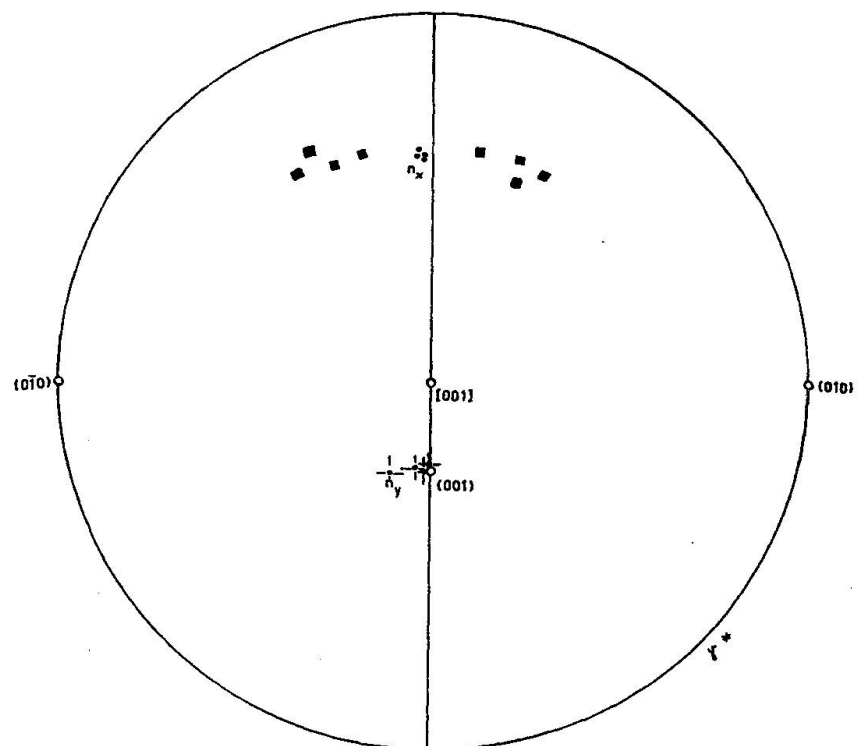


Fig. 10. Stereogramm der Indikatrixlagen von je zwei benachbarten Lamellen //  $[010]$  einer Kernpartie (2.).

dener Lamellen häufig kompensieren. Somit bleibt noch offen, ob es sich (obschon die Lamellen einen verschiedenen Phasenzustand aufweisen) nicht etwa doch um das Anfangsstadium einer „Mikrokin“-Verzwilligung [LAVES (1950)] oder aber um eine beliebige Anordnung handelt. Jedenfalls fügt sich — wiederum statistisch gesehen — auch die hier beschriebene Anordnung trikliner Bereiche zwanglos in die „monokline“ Gesamtsymmetrie der morphologischen Einheit, wie sie auch für die Randpartien gilt, ein.

### 3. Kernpartien mit diffusen Lamellen // (hkl) und ( $\bar{h}\bar{k}\bar{l}$ )

In einigen der untersuchten Adulare fand sich nun eine weitere, vom bisher beschriebenen prinzipiell verschiedene Anordnung von triklinen Bereichen. In Fig. 7 ist sie in einem Schnitt // (100) deutlich zu erkennen (siehe Bildunterschrift). Es handelt sich dabei um zwei Systeme von recht unvollkommen ausgebildeten, diffusen Lamellen, die insbesondere in optischer Hinsicht sehr bemerkenswert sind und bisher noch nicht an Feldspäten beobachtet wurden. Die Lage dieser Lamellen liess sich wegen der unregelmässigen Krümmung ihrer Grenzflächen nicht genau einmessen; sie befindet sich in einem breiten Streubereich in der Umgebung von (032) und (2 $\bar{5}$ 2).

Die in Fig. 7 dunkel erscheinenden Lamellen (3.) sind im Dünnschliff bei gekreuzten Nicols bläulich bis deutlich blau (an die anomalen Interferenzfarben bei Zoisit erinnernd); die hellen Teile sind gelblich. Beide Farben sind durch einen dünnen, nahezu schwarzen Saum getrennt. Die angrenzenden Bereiche mit Lamellen // {110} zeigen, obschon viel schwächer ausgeprägt, die gleiche Erscheinung. Konnten bei den bisher erwähnten Beispielen mit Sicherheit nur Indikatrixlagen  $\approx // (010)$  und  $\approx \perp (010)$  gemessen werden<sup>6)</sup>, so besitzen diese Lamellen nach (hkl) eine kontinuierliche Übergangsoptik zwischen den genannten beiden Extremen. Die blauen (dunklen) Partien haben die Achsenebene näher zu parallel, die gelblichen (hellen) näher zu senkrecht (010). Die Farben sind Dispersionsfarben der optischen Achsen. Sie entsprechen jeweils  $r < v$ , bzw.  $r > v$ . An zwei Adularen wurde die Änderung von Indikatrixlage, Achsenwinkel und Dispersionen in Richtung der im Bilde „sichtbaren“ Lamellenerstreckung (z. B. zwischen Punkt 4 und 8 in

<sup>6)</sup> Es ist notwendig, stets darauf zu achten, ob scheinbar homogene Randpartien nicht etwa doch sehr fein // {110} lamelliert sind. In solchen Fällen kann man leicht als Summenoptik Indikatrixlagen von etwa 45° zu beiden Extremlagen [// und  $\perp (010)$ ] erhalten.

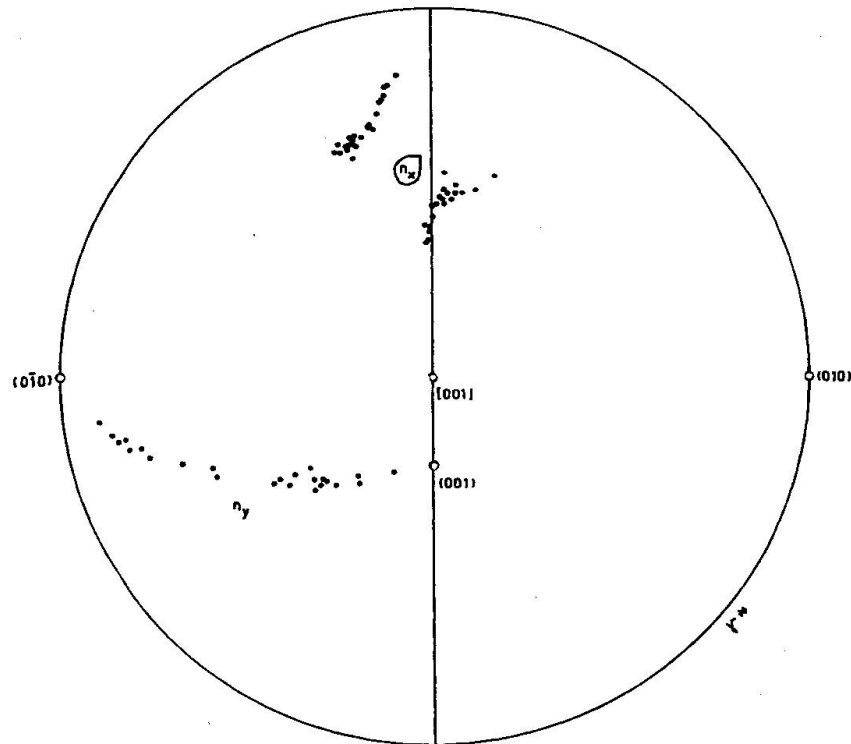


Fig. 11. Stereogramm der Indikatrixlagen diffuser Lamellen //  $(hkl)$  und //  $(h\bar{k}l)$  aus Kernpartien (3.). „Linker“ Kernteil (siehe Fig. 7).

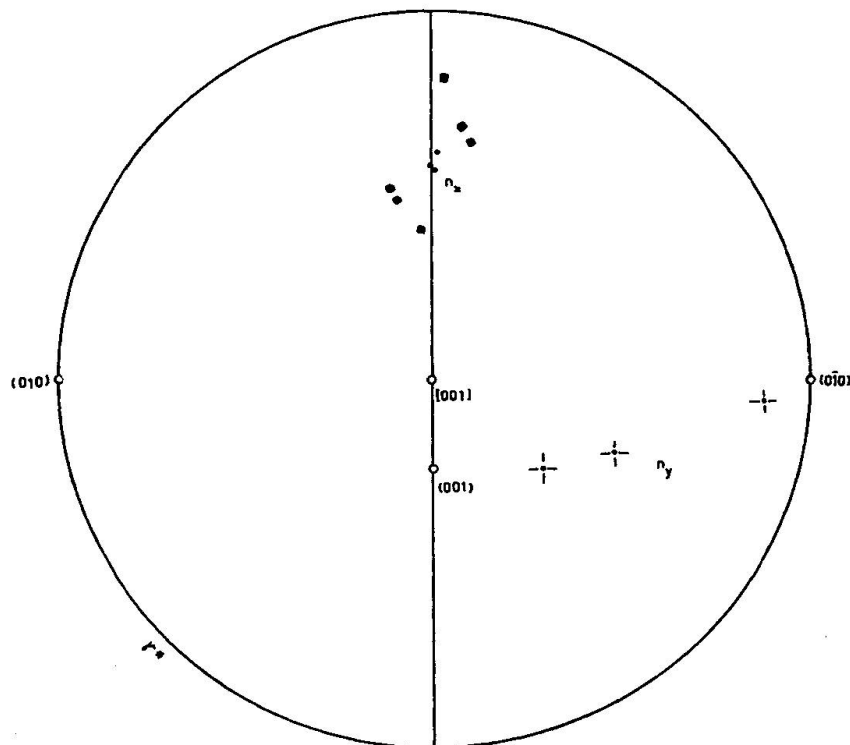


Fig. 12. Nach  $(010)$  spiegelbildliche Orientierung der Indikatrizen eines zu Fig. 7 gehörenden „rechten“ Kernteils. Siehe Text S. 193.

Fig. 7) gemessen. Fig. 11 zeigt die gefundenen Werte im Stereogramm. Man bemerkt, dass die Lage von  $n_x$  praktisch konstant ist und  $n_y$  sowie die Pole der optischen Achsen auf Migrationskurven liegen. Das heisst, es findet im wesentlichen nur eine Rotation der Indikatrix von etwa  $70-80^\circ$  um  $n_x$  statt.

Aus Fig. 13 lässt sich ein offener Zusammenhang zwischen Indikatrixdrehung, Achsenwinkel und Dispersion erkennen, in Form einer stetigen, konkaven Kurve mit deutlichem Minimum. Für Indikatrixlagen mit AE näher an  $//(010)$  ist die Achsendispersion  $r < v$  mit deutlich geneigter Lagendispersion (die Abweichung von monokliner Dispersion ist bei AE  $\approx // (010)$  nur gering); hingegen haben Indikatrixlagen mit AE näher an  $\perp(010)$   $r > v$  mit angenähert horizontaler Lagendispersion. Der dunkle Saum zwischen den blauen und gelblichen Dispersionsfarben entspricht dem Minimum von  $2V_x$ .

Diese diffusen Lamellen sind (statistisch) in Übereinstimmung mit der schon erwähnten monoklinen Gesamtsymmetrie (S. 185 und 191) orientiert. In einem Dünnschliff, der demjenigen von Fig. 7 entspricht und die hier fehlende „rechte“ Seite noch aufweist (die „Mitte“ liegt etwa auf der Bruchlinie rechts im Bild), liegen Indikatrix und Gitterrichtungen spiegelbildlich nach  $(010)$  zueinander. Man vergleiche hierzu Fig. 11 und 12.

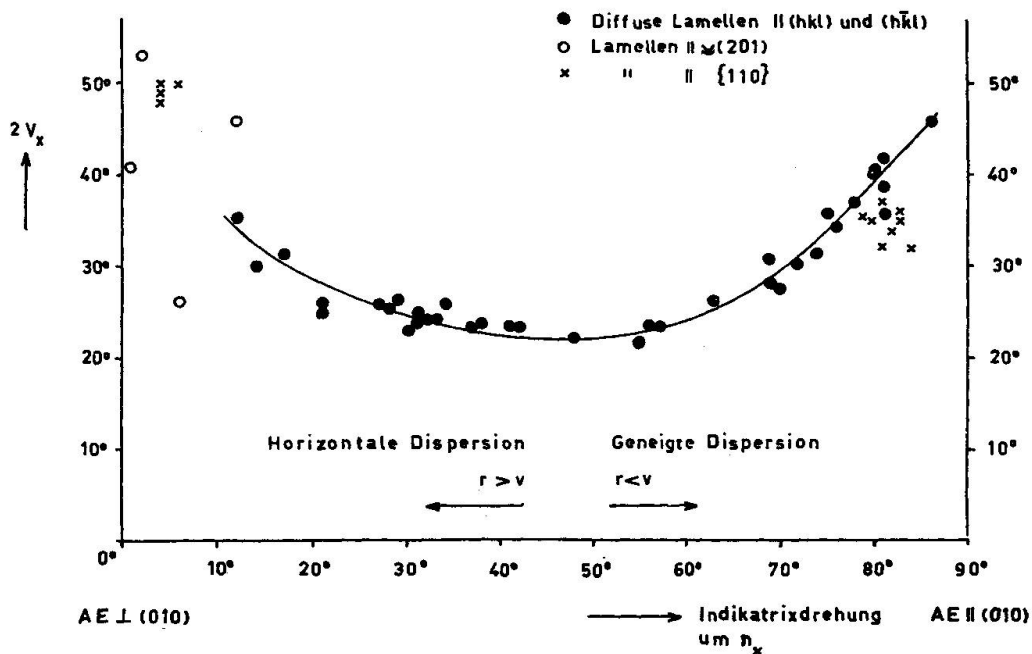


Fig. 13. Zusammenhang zwischen Indikatrixdrehung um  $n_x$  und Achsenwinkel  $2V_x$  für die drei Typen trikliner Lamellen.

Zwischen der optischen Variation der vorstehend beschriebenen triklinen Bereiche und derjenigen der strukturell monoklinen Zustände von K-Sanidinen besteht eine enge Analogie. Achsen- und Lagendispersion für AE nahe // bzw. // (010) und nahe  $\perp$  bzw.  $\perp$ (010) verhalten sich gleich; dem Durchgang durch  $2V_x = 0^\circ$  bei Sanidin entspricht hier ein Minimum mit  $2V_x = 22^\circ$ . Auf AE // (010) extrapoliert, würde die Kurve in Fig. 13 einen Wert von  $2V_x \approx 50-55^\circ$  liefern, was in guter Näherung mit K-Sanidin (hoch) übereinstimmt, für welchen  $2V_x = 60^\circ$  angegeben wird [TUTTLE (1952)].

Von vier Stellen aus diesen Lamellen mit Übergangsoptik wurden auch Precession-Aufnahmen gemacht (Tab. 3). In Fig. 14 sind die erhaltenen Werte für  $\gamma^*$  gegen die Indikatrixdrehung aufgetragen. Man erkennt, dass die Drehung der Indikatrix in Richtung auf AE  $\perp$  (010) und die Änderung von  $2V_x$  mit einem kontinuierlichen Ansteigen der Triklinität einhergehen. Die eingetragene Kurve für  $2V_x$  ist die gleiche wie in Fig. 14; zufälligerweise liegen alle vier Punkte nahezu exakt auf ihr.

ANSILEWSKI (1958) fand im Gegensatz zu unseren Ergebnissen, dass an seinem Material der Wert des optischen Achsenwinkels ( $2V_x$ ) nicht im Zusammenhang mit der optischen Orientierung steht; allerdings zeigte sein Material nur eine relativ geringe Abweichung von den beiden Extremlagen der Achsenebene. Auch die Messungen von CHAISSON er-

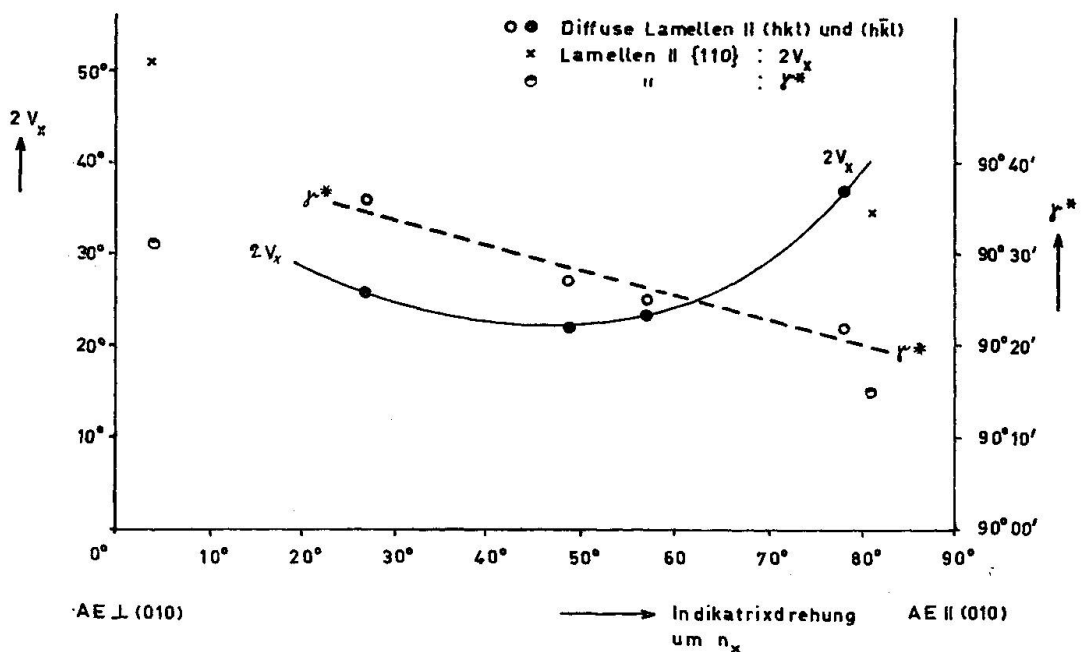


Fig. 14. Zusammenhang zwischen Indikatrixlage, Achsenwinkel und Gitterwinkel  $\gamma^*$  [(010)  $\wedge$  (100)].

Tabelle 3. Diffuse Lamellen nach  $(hkl)$  und  $(\bar{h}\bar{k}l)$ 

X-Nr.	S-Nr.	$d_{(100)}$	$d_{(010)}$	$d_{(001)}$	$\alpha^*$	$\gamma^*$	Bemerkungen
1086	408/17	7,69	12,99	6,44	90° 00'	90° 22'	AE nahe (010), $2V_x = 37^\circ$
1089	408/17	7,70	12,97	6,44	90° 00'	90° 25'	AE 33° gegen (010) $2V_x = 23\frac{1}{2}^\circ$
1109	408/21	7,70	12,98	6,45	90° 10'	90° 27'	AE 41° gegen (010) $2V_x = 23\frac{1}{2}^\circ$
1091	408/17	7,70	12,98	6,45	90° 09'	90° 36'	AE nahe $\perp$ (010) $2V_x = 26^\circ$

$$\alpha^* = \angle (010) \wedge (001); \quad \gamma^* = \angle (010) \wedge (100).$$

Messgenauigkeit für  $\alpha^*$  und  $\gamma^*$  etwa  $\pm 5'$ .

geben keine gesicherte Korrelation. An unseren Adularen lässt sich jedoch auch für die Lamellen //  $\{110\}$  und //  $[010]$  (also mit einer den beiden Extremlagen benachbarten optischen Orientierung) noch eine gewisse Korrelation von Indikatrixlage und  $2V_x$  im Zusammenhang mit der Übergangsoptik (Fig. 13) erkennen. Die Werte von  $\gamma^*$  (Fig. 14) für zwei benachbarte Lamellen //  $\{110\}$  sprechen ebenfalls für eine solche Korrelation.

### C. Diskussion

1950 wurde auf Grund optischer (CHAISSON) und röntgenographischer (LAVES) Untersuchung gleicher Adularproben, deren Spektralanalysen von Kern- und Randpartien keine (bzw. nur sehr geringe) Unterschiede des Na-Gehaltes ergaben, geschlossen, dass die an diesen Proben beobachtbare Triklinität der Randpartien nicht auf einem von Wachstumsvorgängen herrührenden chemischen Zonarbau beruht, sondern strukturell bedingt sein müsse.

Ein spezieller Vorschlag über die Al/Si-Verteilung „des triklinen Adulars“ [LAVES (1950), S. 563] wurde dann 1952 (S. 445 und 448) dahingehend korrigiert, dass Adular *nicht* als eine „distinct modification of  $KAlSi_3O_8$ “ aufzufassen sei, sondern dass es eine bezüglich Al/Si-Verteilung variierende, instabile Reihe von Adular geben müsse, welche vom weitgehend ungeordneten Sanidin bis zum weitgehend geordneten Mikroklin reiche. In dieser Hinsicht speziellere Vorstellungen wurden einerseits von GOLDSMITH und LAVES (1954a) entwickelt, um die natürliche Variabilität der „Orthoklase“ und „Mikrokline“ zu erklären,

andererseits von HAFNER und LAVES (1957), um das Ultrarot-Verhalten der K- und Na-Feldspäte zu deuten. In letztgenannter Arbeit wurde bereits auf die grosse Mannigfaltigkeit denkbarer, bei keiner Temperatur stabil möglicher, intermediärer Zustände aufmerksam gemacht, die dann durchlaufen werden müssen, wenn Mikroklin bei hoher Temperatur sanidinisiert wird oder wenn Sanidin sich im Stabilitätsfeld des Mikroklin während geologischer Perioden in Mikroklin umwandelt. Eine systematische Anwendung dieses Erkenntnis auf die Konstruktion *des* stabilen und *der* instabil denkbaren Zustandsdiagramme der Alkalifeldspäte wurde von LAVES (1960) mit dem Ziel gegeben, eine struktur- und phasentheoretisch vernünftig begründbare Basis für eine Nomenklatur der Feldspäte zu schaffen.

Es wurde dabei gezeigt, dass es zweckmässig ist, stabile und instabile Zustände zu unterscheiden. *Stabil* werden solche Zustände genannt, welche bei irgend einer Temperatur unter Gleichgewichtsbedingungen möglich sind; *instabil* werden solche Zustände genannt, die bei keiner Temperatur unter Gleichgewichtsbedingungen möglich sind. (Druckeinflüsse wurden nicht diskutiert, da angenommen wurde, dass deren Diskussion vom prinzipiellen Standpunkt aus nichts wesentlich Neues bringen würde und vom praktischen Standpunkt aus zur Zeit nur von akademischem Interesse wäre.)

Beschränken wir uns hier auf eine Diskussion der K-Seite des Alkalifeldspatsystems und lassen wir die bei „Orthoklasen“ und „Adularen“ beobachtbaren schwachen, diffusen Reflexe  $h+k = \text{ungerade}$  (was auf eine Störung der C-Zentrierung der Elementarzelle im Nahordnungsbereich von Domänen hinweist, LAVES [1950, S. 564]) unberücksichtigt (bzw. nehmen wir an, dass die stabilen Phasen C-zentriert sind), so lässt sich zeigen, dass es nur zwei stabil mögliche K-Feldspatphasen gibt: monoklinen Sanidin und triklinen Mikroklin. Sowohl in den Sanidinen wie in den Mikroklinen gibt es eine kontinuierliche Variabilität der Al/Si-Verteilung, wie in Fig. 15 [LAVES (1960), S. 273] dargestellt ist. Da die Al und Si in der monoklinen Zelle zwei Punktlagen A, B und in der triklinen Zelle vier Punktlagen  $A_1, A_2, B_1, B_2$  besitzen, muss eine genaue Strukturbeschreibung durch die Wahrscheinlichkeiten gegeben werden, mit welchen man auf den betreffenden Punktlagen Al — bzw. Si — antrifft. Diese Wahrscheinlichkeiten —  $Al/(Al+Si)$  — wurden  $a, b$  bzw.  $a_1, a_2, b_1, b_2$  genannt und müssen temperaturabhängig sein. Sie sind in Fig. 15 gezeichnet. (Der spezielle Verlauf der Kurven wurde nicht experimentell ermittelt, sondern unter Berücksichtigung heute vorliegender Kenntnisse abgeschätzt.)

Wie an Hand einer Strukturdiskussion der Feldspatzelle gezeigt wurde [HAFNER u. LAVES (1957); LAVES (1960)], besteht für die monoklinen Feldspäte die Relation  $a + b = 0,5$ . Es gibt also nur *eine einfach unendliche Mannigfaltigkeit* von a- (bzw. b-) Werten, durch welche die Sanidine eindeutig charakterisierbar sind. Dies ist anders bei triklinen Feldspäten. Für diese besteht die Relation  $a_1 + a_2 + b_1 + b_2 = 1$ . Das heisst, rein mathematisch ist eine *dreifach unendliche Mannigfaltigkeit* von Al/Si-Verteilungen denkbar. Für Gleichgewichtsbedingungen kommt aber nur *eine einfach unendliche Mannigfaltigkeit* in Frage. Sie wurde in Fig. 15 gezeichnet.

Das hat die folgenden Konsequenzen: Angenommen, ein bei hoher Temperatur stabil entstandener Sanidin mit  $a \approx b$  werde relativ schnell auf  $100^\circ\text{C}$  abgekühlt. Um den bei dieser Temperatur stabilen Mikroklin-Zustand zu erreichen, muss er sich durch diffusive Transformation „ordnen“. Es dürfte sehr unwahrscheinlich sein, dass dabei seine a, b,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ -Werte die Kurven der Fig. 15 durchlaufen. Der Vorgang

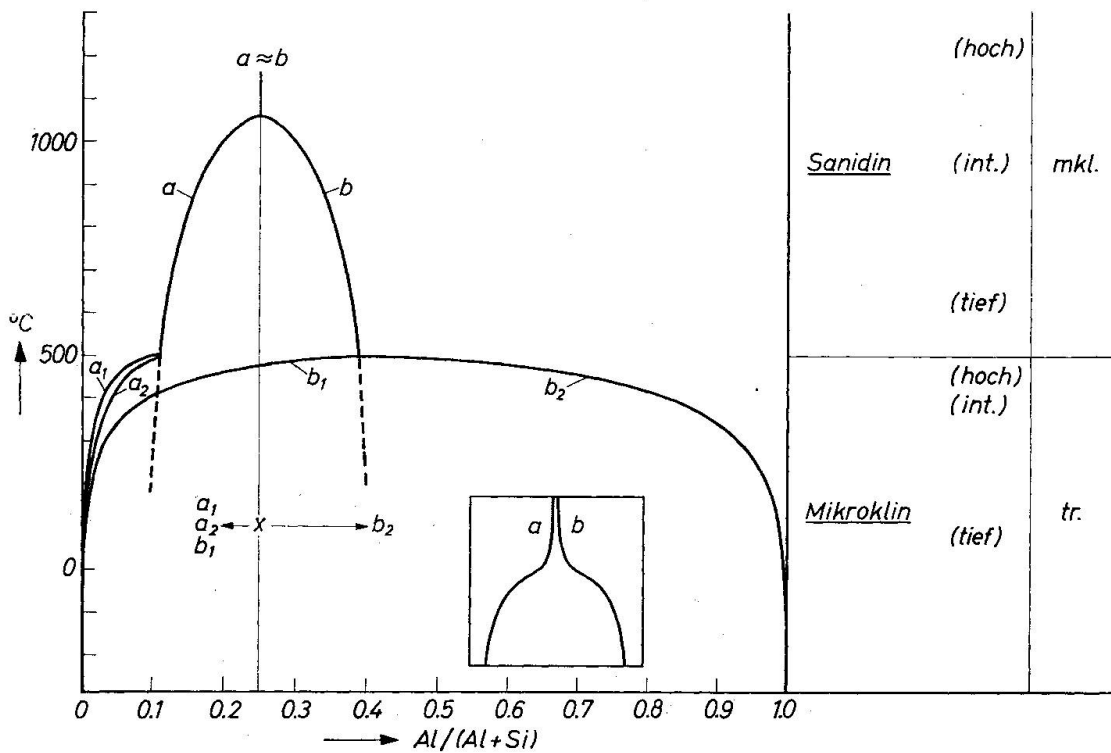


Fig. 15. Schematische Skizze der Al/Si-Verteilungen für  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$  unter Gleichgewichtsbedingungen als Funktion der Temperatur. Die Kurven a, b,  $a_1$  usw. repräsentieren die Wahrscheinlichkeiten, Al in den Punkten der Punktlagen A, B,  $A_1$  usw. anzutreffen. Die kleine eingesetzte Figur soll darauf aufmerksam machen, dass auch bei höchsten Temperaturen  $a \neq b$  sein muss. — Der rechte Teil der Abbildung gibt einen Benennungsvorschlag. Nach LAVES (1960).

wird eher in dem Sinne ablaufen, dass alles Al bevorzugt in die Punktlage  $B_2$  strebt, unter gleichzeitiger Verarmung der  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1$ -Punktlagen an Al. So könnten sich zum Beispiel Veränderungen in Richtung der von X ausgehenden Pfeile (Fig. 15) einstellen. Den Pfeilspitzen würde die Verteilung  $a_1 = a_2 = b_1 = 0,2$  und  $b_2 = 0,4$  entsprechen. Diese Verteilung genügt der Relation  $a_1 + a_2 + b_1 + b_2 = 1$ , ist also strukturell möglich, entspricht aber keiner derjenigen Verteilungen, die einem stabil möglichen intermediären Mikroklin zukommen würde.

Wenn sich also ein Sanidin im Stabilitätsfeld des Mikroklin in diesen umwandelt, wird eine kontinuierliche Folge von Zuständen durchlaufen, die bei keiner Temperatur stabil sind. Diese (mehr oder weniger triklinen) Zustände sind weder Sanidin noch Mikroklin im oben definierten Sinne, sondern Substanzen, die als „sanidiniger Mikroklin“ oder „mikrokligner Sanidin“ bezeichnet werden können [LAVES (1960), S. 276], je nachdem, ob mehr Mikroklin- oder Sanidin-Charakter vorliegt.

Man sieht leicht ein, dass die im speziellen Fall vorliegende Al/Si-Verteilung durch viele Faktoren beeinflusst wird. Einige seien aufgezählt: 1. Al/Si-Verteilung im ursprünglichen Sanidin; 2. Temperatur, bei welcher sich die Umwandlung zu Mikroklin vollzieht; 3. die für die Umwandlung zur Verfügung stehende Zeit, das heisst der Zeitraum, in der die Umwandlung bisher abgelaufen ist; 4. der die Kinetik des Umwandlungsvorganges beeinflussende Realbau, das heisst Gitterstörungen aller Art wie Dislokationen, Fehlstellen und Verunreinigungen, wobei besonders an den Einfluss von „Flussmitteln“ wie OH- bzw.  $H_2O$ -Gehalte zu denken ist [LAVES (1952, S. 445); SCHNEIDER (1957, S. 258 u. 268); DONNAY, WYART und SABATIER (1959)].

Genau die gleichen Überlegungen, welche für abgeschreckten Sanidin gelten, treffen auch für Sanidin zu, der unterhalb der Umwandlungstemperatur Sanidin/Mikroklin *gewachsen* ist. [Es brauchen hier nicht die Gründe wiederholt zu werden (LAVES, 1952), die dafür sprechen, dass die alpinen Adulare instabil monoklin im Zustandsfeld des triklinen Mikroklin gewachsen sein können.]

Im Laufe geologischer Zeiten sollte sich dann solcher Adular vom monoklinen Zustand in Mikroklin umwandeln. Dabei müssen die vorstehend diskutierten instabilen Zustände „mikrokligner Sanidin“ — „Sanidin/Mikroklin“ — „sanidiniger Mikroklin“ durchlaufen werden.

Das in den Abschnitten A und B eingehend beschriebene Material des Val Casaccia illustriert diesen Ablauf in schönster Weise:

Fig. 13 zeigt Ergebnisse der optischen Messungen. Betrachten wir nur die Punkte, also Messungen an dem Lamellensystem parallel (hkl)

bzw.  $(h\bar{k}l)$  — vgl. Fig. 11 —, so haben wir rechts sanidinartige Lagen und links mikroklinartige Lagen. Die Kurve geht nicht durch einen Punkt mit  $2V_x = 0$ . Bei natürlichen Sanidinen beobachtet man hingegen gelegentlich Achsenwinkel von  $2V_x = 0$ , was wir in dem Sinne deuten möchten, dass solche Sanidine genügend lang in einem Temperaturgebiet „natürlich getempert“ wurden, in welchem Sanidine mittleren Ordnungs- (bzw. Unordnungs-) Grades stabil möglich sind, mit Ordnungsgraden, denen optisch  $2V_x = 0$  entspricht. (Falls diese Temperaturen unterhalb etwa  $900^\circ\text{C}$  liegen würden, wäre es verständlich, dass es wegen der Trägheit einer Ordnungseinstellung bei derart niedrigen Temperaturen bisher im Laboratorium noch nicht gelungen ist, einen solchen Zustand als Gleichgewichtszustand nachzuweisen. Langdauernde Versuche, eventuell unter hohem  $\text{H}_2\text{O}$ -Druck, würden hier vielleicht weiter helfen.) Die in Fig. 13 wiedergegebene Kurve interpretieren wir daher als einen Übergang der Optik vom *stabilen Sanidin* über *unstabiles mikrokliniges Sanidin* und *sanidiniges Mikroklin* zum *stabilen Mikroklin*, wobei der Mikroklin-Zustand jedoch noch nicht erreicht ist. Eine Extrapolation der Kurve weist aber in die Richtung der Mikroklin-Optik. Zu dieser Interpretation passen gut die in Fig. 14 gegebenen Messungen von  $\gamma^*$ . Die Werte steigen deutlich von rechts nach links an in Richtung eines Mikroklins mit  $\gamma^* \approx 90^\circ 45'$ , also in Richtung eines intermediären Mikroklins (maximaler Mikroklin hat  $\gamma^* \approx 92^\circ 15'$ ).

Die Spektralanalysen unseres Materials ergaben für eine Kernpartie (2.) und die zugehörigen Ränder einen derart geringen Unterschied im Na-Gehalt, dass daraus eine Achsenwinkeldifferenz von höchstens  $2\text{--}3^\circ$  erwartet werden darf (Tab. 4). Die  $d_{(100)}$ -Werte aus Precessionsaufnahmen von isolierten Lamellen in Kern und Rändern variieren nur innerhalb der Fehlergrenzen von  $\pm 0,01 \text{ \AA}$ . Auch die Linien  $(20\bar{1})$  und  $(400)$  in Guinieraufnahmen von Kern- und Randpartien zeigen keine erkennbare Verbreiterung oder Aufspaltung, so dass man annehmen darf, dass benachbarte Lamellen keine messbar wesentlichen chemischen Unterschiede bezüglich des Na-Gehaltes aufweisen. Die nach BOWEN und TUTTLE (1950) aus  $d_{(20\bar{1})}$  bestimmten Ab-Gehalte liegen zwar wenig niedriger als die spektralanalytisch bestimmten, zeigen aber den gleichen Gang. (Ursache für die Differenzen kann sowohl eine geringe Albitausscheidung als auch die vorhandene Triklinität in unserem Material sein.) Die beträchtlichen optischen Unterschiede innerhalb der morphologischen Einheit sind also nicht chemisch erklärbar. Die hier beschriebenen triklinen, zumeist lamellaren Bereiche entsprechen verschiedenen Phasenzuständen, deren Unterschiede auf verschiedene Stadien des

Al/Si-Ordnungsvorganges zurückgeführt werden müssen. [Dass die Al/Si-Verteilung der dominierende Faktor für die Polymorphie der Feldspäte ist, wurde kürzlich durch Kernresonanz bewiesen (BRUN, HAFNER, HARTMANN, LAVES und STAUB, 1960)].

Es ist auffällig, dass gesteinsbildende K-Feldspäte und solche Drusen- bzw. Kluft-Kristalle, die morphologisch im säuligen Typ auftreten, beim Übergang vom monoklinen in den triklinen Zustand meist Mikroklin-Gitterung ausbilden, während der bei Adularen schon oft beschriebene „Zonarbau“, hier auch in Fig. 1, 2, 4 wiedergegeben, praktisch auf den „keilförmigen“ Typ [dadurch charakterisiert, dass (010) nicht oder nur sehr untergeordnet auftritt] beschränkt zu sein scheint. (Über einige Ausnahmen soll später berichtet werden.)

Rein phänomenologisch ist die Entstehung eines Aufbaues aus vier triklinen Randpartien // {110} und einer davon eingeschlossenen monoklinen Kernpartie auf zwei Wegen denkbar: erstens, wenn ein monokliner Kristall mit {110} als Hauptform von triklinem Material orientiert nach {110} umwachsen wird; zweitens, wenn ein ursprünglich einheitlich monokliner Kristall vom Rande aus nach innen fortschreitend in die triklone Symmetrie übergeht. Auch eine Kombination von Weg 1 und 2 ist in der Weise denkbar, dass eine mehr oder weniger dicke triklone Anwachsschicht keimwirkend eine nachfolgende Umwandlung auf Weg 2 beeinflusst. In Einzelfällen wird es oft schwierig sein, zu entscheiden, ob nun Weg 1 oder Weg 2, oder aber die Kombination der Wege 1 und 2 durchlaufen wurden.

Das hier beschriebene Material scheint vorwiegend nach Weg 2 entstanden zu sein. Zur Begründung dafür seien folgende Punkte angeführt:

Tabelle 4.

	Kern	Rand	
Na <sub>2</sub> O	0,58 Gew. %	0,44 Gew. %	Spektralanalytisch bestimmt (Analytiker M. WEIBEL)
Ab	5—6	4	
d <sub>(201)</sub>	4,227	4,228	Röntgenographisch nach BOWEN und TUTTLE (1950) bestimmt
Ab	4	3—4	
Δ*)	0,15	0,175	

\*) Triklinität  $\Delta = 12,5 (d_{(131)} - d_{(1\bar{3}1)})$ .  $\Delta = 0$  für (monoklinen) Sanidin;  $\Delta = 1$  für maximal triklinen Mikroklin (tief). GOLDSMITH and LAVES (1954b).  $\Delta$  hier aus der Aufspaltung von (130) bestimmt.

$\alpha$ ) Rand und Kern unterscheiden sich praktisch nicht bezüglich des Na-Gehaltes.

$\beta$ ) Einem Wachstum nach Weg 1 widerspricht die Tatsache, dass die Auslöschungsrichtung innerhalb einzelner Lamellen parallel  $\{110\}$  nicht konstant ist. Sie variiert systematisch in dem Sinne, dass sie am spitzen Prismenwinkel grösser ist als am stumpfen (siehe Fig. 1). Das oft beobachtbare Auskeilen von Lamellen (Fig. 3 und 5) weist auf sekundären Charakter hin (infolge „Transformation“) und spricht gegen einen primären Wachstumscharakter der jetzt sichtbaren Erscheinungen.

$\gamma$ ) Als Wachstumsvorgang ganz unverständlich sind die in Fig. 7 gezeigten, sich durchkreuzenden Lamellen nach  $(hkl)$  und  $(\bar{h}\bar{k}\bar{l})$ .

Wir sehen daher folgenden Ablauf des Geschehens als den plausibelsten an:

a) Ursprünglich ist ein monokliner Kristall gewachsen. Die Wachstumsgeschwindigkeit hat sich mehr oder weniger periodisch in dem Sinne geändert, dass sie im Mittel nach aussen zu geringer wurde. Als Folge davon hatten die Anwachszone verschiedene Ordnungsgrade in dem Sinne, dass die äusseren Zonen infolge langsameren Wachstums im Mittel bereits geordneter waren als die inneren Zonen.

b) Kein Kristall wächst ideal gebaut und ideal rein. Die Konzentration der Baufehler und Verunreinigungen ist von Druck, Temperatur, Lösungskonzentration und Lösungsgenossen abhängig. Diese Wachstumsbedingungen dürften genügend variabel gewesen sein, um Anwachszone verschiedener Transformations-, „Freudigkeit“ gebildet zu haben.

c) Die unter a genannte Verschiedenheit des Ordnungsgrades hat eine geringe Verschiedenheit der Gitterkonstanten zur Folge. Daraus ergeben sich lokale Spannungen<sup>7)</sup>, in deren Bereich die Transformation in den triklinen Zustand beginnen wird.

d) Umwandlungen beginnen gerne an Stellen erhöhter Oberflächenspannung. Das sind bei Adularen besonders die Kanten  $(110)/(\bar{1}\bar{1}0)$  bzw.  $(\bar{1}\bar{1}0)/(\bar{1}\bar{1}0)$ . Man kann daher erwarten, dass die Umwandlung bevorzugt an den spitzen Prismenkanten beginnt und von dort parallel zu den Prismenflächen (vgl. dazu Punkt b) fortschreitet, unter Bildung einheitlich orientierter Lamellensysteme<sup>8)</sup>.

<sup>7)</sup> Dass Triklinisierung gerne an kleinen Einschlüssen beginnt, wurde schon von KÖHLER (1948) gezeigt.

<sup>8)</sup> Bemerkenswert — aber durchaus verständlich — ist, dass man bei Adularen in den Randzonen immer die gleiche Orientierung der triklinen Domänen findet: Parallel  $(110)$  und  $(\bar{1}\bar{1}0)$  sind diese derart orientiert, dass  $\bar{b}^*$  (trkl.) =  $b^*$  (mkl) ist, während für die parallel  $(\bar{1}\bar{1}0)$  und  $(110)$  orientierten gilt, dass  $b^*$  (trkl.) =

e) Während es wegen der Unsymmetrie der Oberfläche —  $\{110\}$  des monoklinen Zustandes hat die Flächensymmetrie  $C_1$  — verständlich ist, dass der nach d ablaufende Prozess zu triklinen Randzonen einheitlicher Orientierung<sup>8)</sup> führen kann (mit in den vier Sektoren alternierender Orientierung), läuft die Umwandlung im Kern anders ab. Dort haben wir von Anfang an durch die äussere Begrenzung weniger in seiner Symmetrie gestörtes monoklines Gebiet, in welchem sich die Umwandlung anders abspielen kann. Mit gleicher Wahrscheinlichkeit werden „Rechts“- wie „Links“-Keime trikliner Domänen gebildet, so dass der Kern auch bei fortschreitender Umwandlung im Mittel „monoklin“ bleibt. Es bildet sich dort ein Zustand aus, der als für „gewöhnlichen Orthoklas“ charakteristisch angesehen wird [LAVES (1950, S. 563ff.), siehe dort auch Abbildungen von Röntgenaufnahmen mit den für diesen Zustand charakteristischen diffusen Reflexen und diffusen Schwänzen, welche von den normalen Reflexen ausgehen; LAVES (1952, S. 446ff.); GOLDSMITH und LAVES (1954b); J. V. SMITH und W. S. MACKENZIE (1959); LAVES (1960, S. 277)].

f) Die Prozesse c und d sowie e konkurrieren miteinander und können je nach den sich im Einzelfall einstellenden Spannungsverhältnissen zu von Kristall zu Kristall sehr variierenden Erscheinungsbildern führen. In diesem Zusammenhang sei nochmals auf Fig. 11 hingewiesen.

In den vorstehenden Punkten a bis f wurden Faktoren diskutiert, durch welche die Ausbildung der im ersten Teil der Arbeit beschriebenen Variabilität der optischen und strukturellen Eigenschaften und deren räumliche Koordinierung in einer morphologischen Einheit erklärt werden kann. Diese Erklärung gelang unter der Annahme, dass die beschriebenen Adulare ursprünglich monoklin gewachsen sind. Im Laufe ihres späteren Daseins machten sie eine diffuse Phasentransformation durch in Richtung zum Mikroklin, als deren Folge heute die mimetische, integriert monokline Anordnung trikliner Domänen verschiedenen Ordnungsgrades vorliegt.

Das hier (und deswegen auch) beschriebene Material zeigt in besonders schöner und messbar relativ leicht verfolgbare Weise Merkmale, die im Prinzip als charakteristisch für die meisten Adulare vom „keilförmigen“ Typ angesehen werden können. Andererseits muss betont werden, dass verschiedene Adulare verschiedener Fundpunkte, ja auch gleicher Fundpunkte, bezüglich der hier beschriebenen Merkmale qualitativ und quantitativ sehr verschieden ausgebildet zu sein pflegen, wie eine Durch-  
b\* (mkl) ist, bezogen auf die von LAVES (1951) — zwecks Koordination mit der Albitaufstellung — vorgeschlagene Aufstellung des Mikroklin.

musterung der hiesigen Sammlung (worüber in einer späteren Arbeit noch berichtet werden wird) erwartungsgemäss ergeben hat. Sowohl das Mengenverhältnis Kern/Hülle kann sehr verschieden sein, als auch die maximale Triklinität, welche erreicht wurde. Als Regel ergibt sich: Je milchiger ein Adular äusserlich erscheint, desto triklin ist er strukturell. Auch finden sich gelegentlich Adulare, bei denen man eher geneigt ist, anzunehmen, dass eine Kombination der oben (S. 200) erwähnten Wege 1 und 2 eine Rolle gespielt hat. Als ein solches Beispiel sei der von WEIBEL (1957, S. 550) beschriebene Adular vom Drun-Tobel erwähnt: Zwischen dem gerade auslöschenden „Kern“ mit 10% Ab-Gehalt und einem um  $9^\circ$  schief auslöschenden „Rand“ mit 3% Ab-Gehalt besteht eine scharfe Grenze.

ANSILEWSKI (1958) und NOWAKOWSKI (1959) (s. S. 182) haben interessante Adulare in Gesteinen beschrieben, welche als Tieftemperatur-Neubildungen, zum Teil als Pseudomorphosen auftretend, angesehen werden. Wie bereits erwähnt, weichen die Ergebnisse ihrer optischen Messungen zum Teil erheblich von den unsrigen ab. Dies ist im Lichte der obigen Ausführungen nicht verwunderlich, wenn man bedenkt (siehe Fig. 15 und Text auf S. 198), wie viele strukturell verschiedene instabile Zustände es geben kann in Abhängigkeit der Bildungs- und der sich zeitlich daran anschliessenden Existenzbedingungen. Ein Beweis dafür, dass die beobachtete Triklinität primärer Natur sei, wie diese Autoren glauben, scheint uns daher, trotz der angeführten Argumente, nicht erbracht zu sein. — Im Gegensatz zu LAVES (1950) und CHAISSON (1950) findet ANSILEWSKI (1959, Fig. 3, S. 278), dass die am spitzen Prismenwinkel längs etwa (100) zusammenkommenden triklinen Bereiche in Periklin-Zwillingsgesetz-Beziehung stehen. Leider fehlen hier diesbezügliche Röntgenuntersuchungen, mit denen LAVES (1950) in mehreren Fällen nachweisen konnte, dass diese Zwillings-Beziehung eher dem Albit-Gesetz folgt (was als weiterer Hinweis für den sekundären Charakter der Adular-Triklinität angesehen werden kann). Wegen der Variabilität der Adular-Optik von Stelle zu Stelle ist es nach unserer Erfahrung schwierig, auf optischem Wege allein zwischen Albit- oder Periklin-Gesetz-Orientierung unterscheiden zu können.

In diesem Zusammenhang ist es interessant zu bemerken, dass die optischen Übergangsstadien, wie sie in den Lamellen // (hkl) und ( $h\bar{k}l$ ) fixiert sind (Fig. 11—13), im Prinzip auch durch trockene Erhitzung von Mikroklin (tief) dargestellt werden können. Nach persönlicher Mitteilung von P. MAILLARD (unveröffentlichte Diplomarbeit, Zürich 1957) wanderte im Mikroklin von Crystal Peak während Erhitzung bei  $1050^\circ\text{C}$

im Verlaufe von 650 h die Indikatrix aus der Mikroklinlage (mit  $2 V_x = 80^\circ$ ) kontinuierlich zur Sanidinline (AE // (010) und  $2 V_x = 44^\circ$ ), wobei  $2 V_x$  ein Minimum von  $39^\circ$  durchlief.

Die Untersuchungen wurden mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Unterstützung der wissenschaftlichen Forschung durchgeführt. Wir danken Frau M. Scheel und Herrn R. Gubser für die Anfertigung und Auswertung von Röntgenaufnahmen, Herrn Dr. M. Weibel für die Ausführung der Spektralanalysen und Herrn E. Schärli für die Herstellung der orientierten Dünnschliffe.

### Literatur

- ALLING, H. L. (1923): The mineralogy of the feldspars. *J. Geol.* 21, 281—305.
- ANSILEWSKI, J. (1958): On microcline and triclinic adularia from Bialkie Góry gneisses (Polish Sudeten). *Bull. Akad. Pol. Sci., Serie Sci. Chim., Geol. et Geogr.* VII, 10, 275—282.
- BAMBAUER, H. U. und LAVES, F. (1960): Phasenzustände des Adulars und ihre genetische Deutung. *Fortschr. Min.* 38 (Vortragsreferat).
- BARTH, T. F. W. (1928): Ein neuer Zwilling bei triklinem Feldspat, *Aklin B. Z. Krist.* 68, 473—475.
- (1929): Die Symmetrie der Kalifeldspäte. *Fortschr. Min.* 13—14, 185—189.
- BOWEN, N. L. and TUTTLE, O. F. (1950): The system  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{H}_2\text{O}$ . *J. Geol.* 58, 484—511.
- BRUN, E., HAFNER, ST., HARTMANN, P., LAVES, F., STAUB, H. H. (1960): Magnetische Kernresonanz zur Beobachtung des Al, Si-Ordnungs-/Unordnungsgrades in einigen Feldspäten. *Z. Krist.* 113, Von-Laue-Festschrift II.
- CHAISSON, U. (1950): The optics of triclinic adularia. *J. Geol.* 58, 537—547.
- DONNAY, G., WYART, J., SABATIER, G. (1959): Structural mechanism of thermal and compositional transformations in silicates. *Z. Krist.* 112, 161—168.
- GOLDSCHMIDT, V. (1916): *Atlas der Krystallformen*. Heidelberg.
- GOLDSMITH, J. R. and LAVES, F. (1954a): Potassium feldspars structurally intermediate between microcline and sanidine. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 6, 100—118.
- (1954b): The microcline-sanidine stability relations. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 5, 1; 1—10.
- HAFNER, ST. und LAVES, F. (1957): Ordnung/Unordnung und Ultrarotabsorption. II Variation der Lage und Intensität einiger Absorptionen von Feldspäten. Zur Struktur von Orthoklas und Adular. *Z. Krist.* 103, 204—225.
- HINTZE, C. (1897): *Handbuch der Mineralogie*, Bd. II. Leipzig.
- KÖHLER, A. (1948): Zur Optik des Adulars. *N. Jb. Min. A*, 5—8, 49—55.
- LAVES, F. (1950): The lattice and twinning of microcline and other potash feldspars. *J. Geol.* 58, 548—571.
- (1951): A revised orientation of microcline and its geometrical relation to albite and cryptoperthites. *J. Geol.* 59, 510—511.

- LAVES, F. (1952): Phase relations of the alkali feldspars; I, Introductory remarks; II, The stable and pseudostable phase relations in the alkalifeldspar system. *J. Geol.* 60, 436—450, 549—574.
- (1960): Al/Si-Verteilungen, Phasentransformationen und Namen der Alkalifeldspäte. *Z. Krist.* 113, Von-Laue-Festschrift II.
- LAVES, F. und SCHNEIDER, T. (1956): Über den rhombischen Schnitt in sauren Plagioklasen (Vortragsreferat). *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 36, 622—623.
- MALLARD, F. (1876): Explications des phénomènes optiques anomaux, qui présentent un grand nombre de substances cristallisées. *Annales des mines* 10, 157ff.
- NIGGLI, P. (1923): *Lehrbuch der Mineralogie*. Berlin.
- (1926): *Lehrbuch der Mineralogie*. II. Spezielle Mineralogie. Berlin.
- NOWAKOWSKI, A. (1959): On the adularized dyke rock in the vicinity of Klimontów (Holy Cross Mts.). *Bull. Akad. Pol. Sci., Serie Sci. Chim., Geol., et Geogr.* —VI, 10; 751—757.
- PARKER, R. L. (1954): *Die Mineralfunde der Schweizer Alpen*. Basel.
- RAMDOHR, P. (1948): *Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*. Stuttgart.
- SCHNEIDER, T. (1957) Röntgenographische und optische Untersuchung der Umwandlung Albit—Analbit—Monalbit. *Z. Krist.* 109, 245—271.
- SMITH, J. V. and MACKENZIE, W. S. (1959): Alkali feldspars V. Orthoclase and microcline perthites. *Am. Min.* 44, 1169—1187.
- TUTTLE, O. F. (1952): Optical studies on alkali feldspars. *Am. J. Sci., Bowen Volume*, 553—567.
- WEIBEL, M. (1957): Zum Chemismus der alpinen Adulare (II). *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 37, 2; 545—553.
- WEIBEL, M. und MEYER, F. (1957): Zum Chemismus der alpinen Adulare (I). *Schweiz. Min. Petr. Mitt.* 37, 1; 153—158.

Institut für Kristallographie und Petrographie der Eidg. Technischen Hochschule, Zürich.

Eingegangen: 11. Juni 1960.