

Zeitschrift: Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie
Band: 47 (1967)
Heft: 1: Feldspäte

Artikel: Die Satellitenreflexe des Labradorits
Autor: Korekawa, M. / Jagodzinski, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-36951>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 26.04.2025

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

Die Satellitenreflexe des Labradorits

Von *M. Korekawa* und *H. Jagodzinski* (München)*)

Mit 7 Textfiguren und 1 Tabelle

Abstract

Besides already known a- and b-split-type satellites, supersatellites were observed in labradorites showing schiller effect by means of an arrangement with high resolution power of X-ray diffraction pattern. The superperiodicity is nearly parallel to b and corresponds to a length of $1800 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$ in the crystal with violet schiller and $1400 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$ in the one with ultraviolet schiller. No supersatellites were observed on crystals without schiller effect. Thus the origin of both, schiller effect and supersatellites, is probably the same. The superstructure which corresponds to already known a- and b-split-type satellites is most probably caused by exsolution, because the intensities of a- and b-split-type satellites can be qualitatively explained as a function of anorthite content.

Zusammenfassung

Mit Hilfe von einer Beugungsanordnung hoher Auflösung wurden Supersatellitenreflexe bei den schillernden Labradoriten beobachtet. Die Supersatellitenreflexe entsprechen den Überperioden in Richtung parallel zu $\approx b$ mit $d = 1800 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$ bei violett und $1400 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$ bei einem ultra-violett schillernden Labradorit. Beim Labradorit ohne Schillereffekt wurden keine Supersatelliten beobachtet. Es scheint daraus, dass der Schillereffekt der Labradorite und die Supersatelliten im Beugungsbild auf die gleiche Ursache zurückzuführen sind. Die Systeme der bekannten a- und b-split-Reflexe sind andererseits mit grosser Wahrscheinlichkeit einer Entmischungserscheinung zuzuordnen, da das Intensitätsverhalten als Funktion des Anorthit-Gehalts qualitativ erklärt werden kann.

*) Universitätsinstitut für Kristallographie und Mineralogie, Luisenstrasse 37/II, 8 München 2.

Neben den bekannten Satellitenreflexen (a-split- und b-split-Typ) (LAVES and GOLDSMITH 1954) wurden Supersatellitenreflexe an violett schillernden Labradoriten von uns (1965) mit einer Beugungsanordnung hoher Auflösung beobachtet. Die Prinzipskizze der Apparatur zur Herstellung dieser Einkristallaufnahmen wird in Fig. 1 gezeigt.

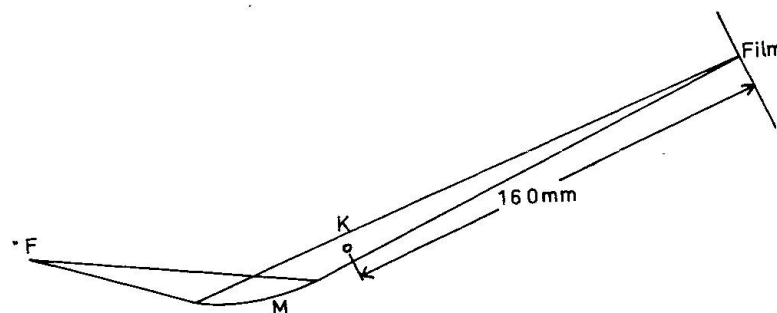


Fig. 1. Versuchsanordnung für Einkristallaufnahmen hoher Auflösung:

F = Strichfokus auf der Anode, Fokusbreite etwa $25\ \mu$

M = Johansson-Typ-Monochromator ($\text{Cu K}_{\alpha 1}$ meist Subtraktionsstellung)

K = Einkristall (geschwenkt)

Es wird nur einseitig entwickelter Film benutzt.

Auf dem einseitig entwickelten Film beobachtet man bei geeigneter Kristallorientierung im Abstand maximal $\approx 0,2\ \text{mm}$ von den Hauptreflexen Supersatellitenreflexe mit einer Messgenauigkeit der Anordnung von $0,03\ \text{mm}$ (erreicht durch optische Nachvergrößerung); das entspricht einem $\Delta \vartheta \approx 10^{-4}$. Der beobachtbare Maximalwinkel in dieser Anordnung betrug aus technischen Gründen ca. 25° für θ in der Subtraktionsstellung.

Es wurde bisher mindestens ein System paralleler Supersatellitenreflexe bei schillerndem Labradorit beobachtet: Viele Hauptreflexe haben etwa in Richtung $\pm b^*$ ein Paar von Supersatelliten. Die Überperiode ist also ungefähr parallel zur b-Richtung der Feldspatstruktur. Die genaue Bestimmung dieser Richtung ist nicht leicht, weil die Supersatellitenreflexe beim schillernden Labradorit sehr dicht an den Hauptreflexen liegen (Fig. 2).

Bei violett schillerndem Labradorit mit 52 Mol-% Anorthitgehalt beträgt die Überperiode $1800\ \text{\AA} \pm 200\ \text{\AA}$. Sie entspricht der Braggschen Gleichung ($\lambda \leq 3600\ \text{\AA}$) für den violetten Schiller. Bei Labradoriten mit vergleichbarem An-Gehalt ($2 V_c$ etwa 76°) ist ($\bar{2}.10.1$) von SCHRÖDER (1964) als einzige Schillerfläche festgestellt worden. Andererseits haben Laves, Nissen und Bollmann (1965) an einem Labradorit mit $\approx 53\ \text{Mol-\%}$

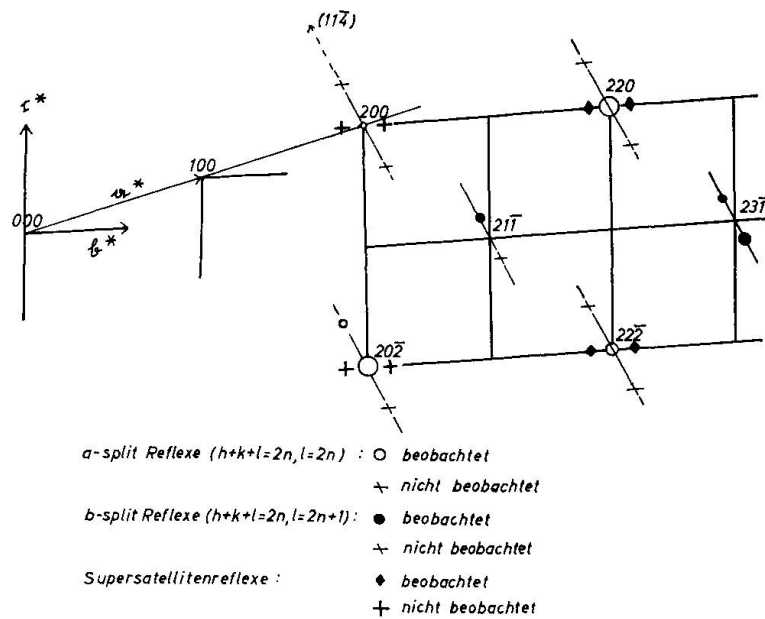


Fig. 2. Schematische Darstellung der Satellitenreflexe des Labradorits (52 Mol.-% An). Der Abstand der Supersatellitenreflexe zu den Hauptreflexen ist stark vergrössert.

Anorthitgehalt mit Hilfe von Elektronentransmissionsmikrographie eine Überperiode von ca. 1700 Å beobachtet. Unsere röntgenographische Bestimmung der Periodenlänge und -richtung stimmt mit diesen Arbeiten innerhalb der Fehlergrenze überein. Fig. 3 zeigt die Supersatelliten des Reflexes (220) dreier verschiedener Feldspäte.

Der Abstand zwischen Haupt- und Supersatellitenreflex beim UV-schillernden Kristall ist grösser als beim violett schillernden Kristall. Nach der genauen Messung beträgt die Überperiode des im ultravioletten schillernden Labradorits $1400 \text{ \AA} \pm 200 \text{ \AA}$ in Richtung $\approx b$. Diese Überperiode entspricht der Braggschen Gleichung ($\lambda \leq 2800 \text{ \AA}$) für den UV-Schiller. Dieser Unterschied im Abstand der Supersatellitenaufspaltung ist der einzige gegenüber dem violett schillernden Labradorit; Intensität und Orientierung zum Hauptreflex sind praktisch unverändert.

Beim Labradorit ohne Schiller (53 Mol-% An-Gehalt, 1,7 Mol-% Or-Gehalt) wurden nach den bisherigen Untersuchungen keine Supersatellitenreflexe beobachtet, vgl. die Gegenüberstellung des Reflexes (220) bei den drei genannten Labradoriten in Fig. 3. Es scheint daher gesichert zu sein, dass der Schillereffekt der Labradorite und die Supersatelliten im Beugungsbild auf die gleiche Ursache zurückzuführen sind.

Die Hauptreflexe des schillernden Labradorits (020), (040) und (060) haben nach unseren bisherigen Ergebnissen keine Supersatelliten (Tab. 1); ob daraus auf das gleiche Gesetz für (0k0) geschlossen werden darf,

Tabelle 1. *Die visuell geschätzten Intensitäten der Supersatellitenreflexe und Strukturamplituden mit den getrennten Beiträgen der verschiedenen Atomsorten an einem violett schillernden Labradorit mit 52 Mol-% An-Gehalt*

Indizes	Beiträge zur Strukturamplitude			Strukturamplitude	Intensität der Supersatellitenreflexe
	O	Si, Al	Ca, Na		
002	— 13	— 41	37	— 17	—
004	— 70	—117	— 5	—192	m
002	— 14	— 12	56	0	—
042	28	56	31	115	m
040	— 76	—118	46	—148	—
042	— 25	22	28	25	—
060	27	38	37	102	—
130	— 27	— 60	— 3	— 90	m
132	— 21	— 57	—35	—113	st
112	45	89	—41	93	m
132	13	35	30	78	s
130	— 22	— 64	— 7	— 93	s
132	1	— 64	—38	—101	st
242	2	— 88	—33	—119	s
240	44	32	—41	35	m
242	—101	17	—20	—104	m
220	— 32	— 63	—47	—142	st
204	— 65	—107	— 4	—176	m ¹⁾
202	64	118	—40	142	—
222	5	— 11	—39	— 45	m
220	— 27	— 45	—46	—118	st
222	— 12	— 23	—20	— 55	m
224	36	55	13	104	—
242	— 27	— 85	—34	—146	st
240	68	22	—39	51	m
242	— 36	20	—17	— 33	m

¹⁾ Nicht immer beobachtet, siehe Fig. 4.

halten wir noch für unsicher. Dieses Gesetz würde darauf hinweisen, dass die Überperiode in Richtung $\approx b^*$ für den Schiller durch einen Verschiebungseffekt in a - und c -Richtung verursacht wird. Die Verschiebungen müssten gross sein, dass schon bei kleinen Beugungswinkeln der Effekt sicher beobachtet wird und ausserdem eine Glanzwinkelabhängigkeit der Intensität nicht nachgewiesen werden konnte. Auch die Deutung als reiner Dichteeffekt bereitet Schwierigkeiten. Wir haben zu entscheiden versucht, ob das ganze Gitter oder nur ein Teilgitter am Effekt beteiligt ist, und daher sind die entsprechenden Strukturamplituden den beobachteten Intensitäten der Satelliten gegenübergestellt. Im grossen und ganzen scheinen die Intensitäten der Supersatelliten parallel zur Gesamtstrukturamplitude zu gehen. Gegen dieses Gesetz

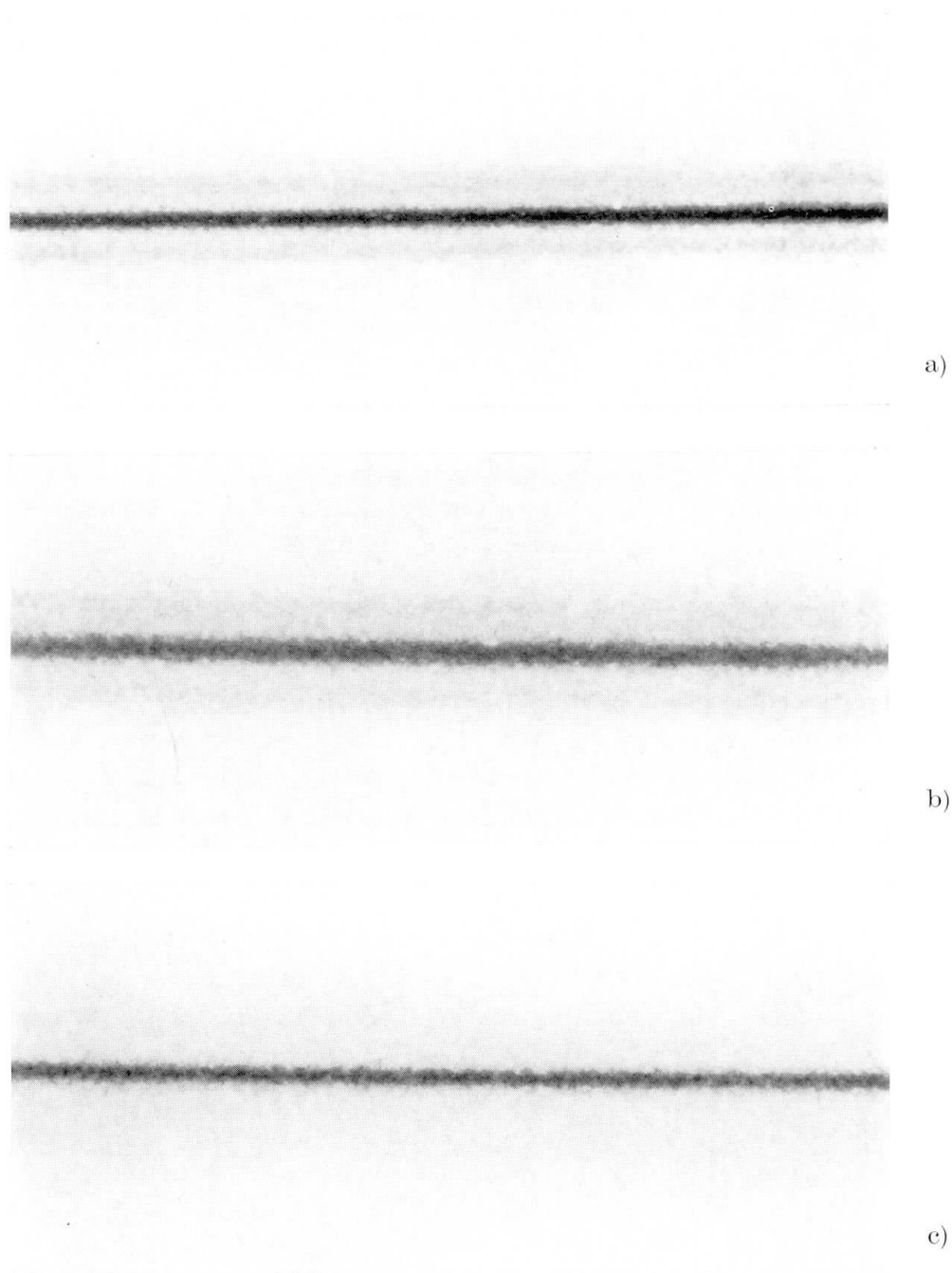


Fig. 3. Haupt- und Supersatellitenreflexe an (220) dreier verschiedener Labradorite: a) mit violetter Schiller An_{52} , b) mit UV-Schiller, c) ohne Schiller, An_{53} und $Or_{1,7}$. Optische Nachvergrößerung: 20fach.

spricht die nicht beobachtete bzw. die schwache Intensität der Supersatelliten (040), (060), $(20\bar{2})$, $(24\bar{2})$ und (224). Es lässt sich aber auch keine Gesetzmässigkeit für die Teilgitter ableiten.

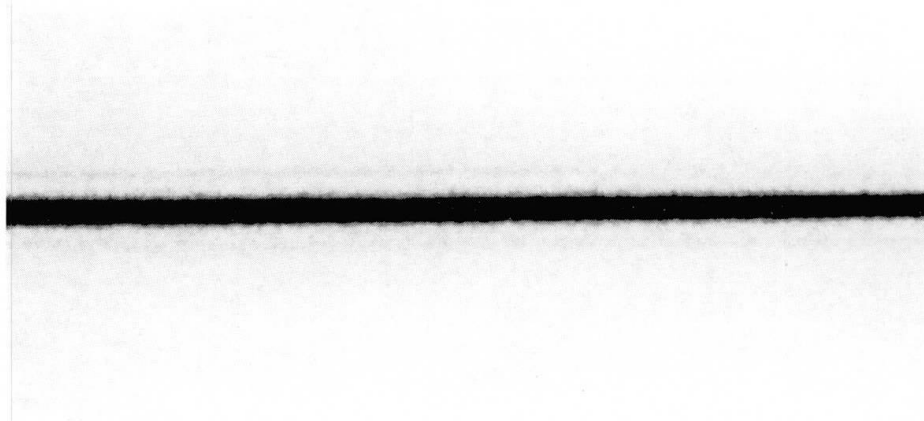


Fig. 4. Haupt- und Supersatellitenreflexe an $(20\bar{4})$ eines violett schillernden Labradorits mit 52 Mol-% An-Gehalt. Die Reflexe werden ungefähr an der Kompensationsstelle von α_1 und α_2 auf den a-Schwenkaufnahmen beobachtet. Optische Nachvergrößerung: 20fach.

Supersatellitenreflexe an $(20\bar{4})$, die vielleicht zu einem zweiten System der Supersatellitenreflexe gehören, wurden nicht immer beobachtet, obwohl die Einkristalle von der gleichen Probe stammen (Fig. 4). Bei den Reflexen $(h01)$ auf der Aufnahme mit a oder c als Schwenkachse wird die Aufspaltung der Haupt- und Supersatellitenreflexe in Richtung b^* mit minimaler Trennung (beinahe null) beobachtet. Es folgt daraus, dass die Anordnung des in Fig. 4 gezeigten Supersatellitenpaares nicht parallel zu b^* ist; es wird vermutet, dass sie ziemlich von der Richtung b^* abweicht. Ausserdem ist das Linienprofil dieses Satellitenpaares im Vergleich zum Paar parallel b^* wesentlich schärfer.

Diese Supersatellitenreflexe, die vielleicht zu einem zweiten System gehören, wurden nach den bisherigen Untersuchungen nur an $(20\bar{4})$ bei einigen violett schillernden Kristallen beobachtet. Da die Orientierung zum Hauptreflex nicht bestimmt werden konnte, kann die dazugehörige Länge der Überperiode nicht angegeben werden.

Das Profil der Haupt- und Supersatellitenreflexe ist sehr scharf, dagegen sind die Satellitenreflexe vom a- und b-split-Typ wesentlich diffuser und zeigen keine entsprechende Aufspaltung in Supersatellitenreflexe. Daraus folgt, dass beide Erscheinungen inkohärent sind und nicht unbedingt auf die gleiche Ursache zurückgeführt werden müssen. MEGAW (1960 a, b) nahm als Ursache der a- und b-split-Reflexe Stapelfehler der Struktur an. Die Systeme der a- und b-split-Reflexe sind aber mit grosser Wahrscheinlichkeit einer Entmischungserscheinung zuzuordnen, da ihr Intensitätsverhalten als Funktion des An-Gehaltes qualitativ erklärt werden kann. Mit Hilfe von Elektronenbeugung und -mikrographie haben

McCONNELL und FLEET (1963) an einem Plagioklas „antiphase domain“ beobachtet. Unser Modell der Überstruktur (Fig. 6) stimmt mit dieser Beobachtung qualitativ überein.

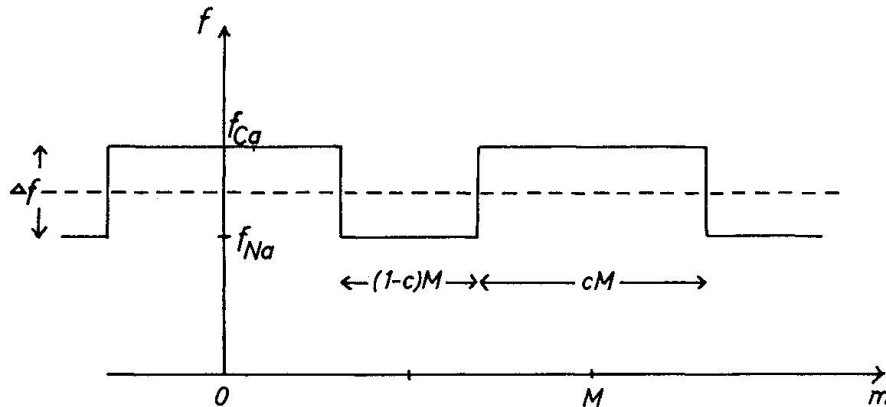


Fig. 5. Ein Modell der Dichte-Welle in der a- und b-split erzeugenden Überstruktur des Labradorits. $An_c Ab_{1-c}$.

Nach der allgemeinen Theorie der Satellitenreflexe (KOREKAWA und JAGODZINSKI) (in Vorbereitung) kann die formale Deutung von Satellitenreflexen durch Dichtewellen sowie Longitudinal- und Transversalwellen der Störung eines Grundgitters vorgenommen werden. Die Lösung unseres Problems der a- und b-split-Satelliten kann man aus dem folgenden experimentellen Sachverhalt ermitteln.

1. Die Intensität dieser Satellitenreflexe ist nur schwach vom Glanzwinkel abhängig; man kann daraus schliessen, dass in erster Linie durch Dichtewellen darzustellende Störungen in Betracht zu ziehen sind.
2. Bei den Hauptreflexen treten nur die geraden Ordnungen der Satellitenreflexe (a-split), bei den ausgelöschten Reflexen (b-split) erscheinen nur die ungeraden Ordnungen der Satelliten (1. und 3. Ordnung) (vgl. GAY, 1956). Dieser Sachverhalt lässt sich durch das folgende in Fig. 6 erläuterte Modell erklären: Die normale primitive Zelle des Anorthits geht bei albithaltigen Plagioklasen in das sogenannte innen-zentrierte Gitter über (Beibehaltung der Anorthitindizierung); es verschwinden also die Reflexe $h+k+l=2n+1$. Aber auch von den übrigen Reflexen $h+k+l=2n$ bleiben im strengen Sinne nur die mit $l=2n$ über (Hauptreflexe mit a-split-Satelliten); die Reflexe $h+k+l=2n$, $l=2n+1$ spalten in b-split-Reflexe auf, weil die geraden Ordnungen der Satelliten verschwinden. Ohne Überperiode ist die Zelle

streng kantenzentriert; die Einbeziehung der Überperiode stört aber diese Kantenzentrierung, weil sie „antiphase“ ist, vgl. Fig. 6. Die Überperiode bewirkt aber die Flächenzentrierung der grossen Zelle mit den Indizes $h'kl$ ($a' = M a$); das bedeutet aber die Auslöschung $h' + 1 = 2n + 1$ (mit $h' = \text{Satellitenindex}$), d. h. für $l = 2n$ nur gerade Ordnung und $l = 2n + 1$ nur ungerade Ordnungen der Satellitenreflexe. Die Intensität der Satellitenreflexe wird durch die Fourierkoeffizienten der Dichtefunktion gesteuert.

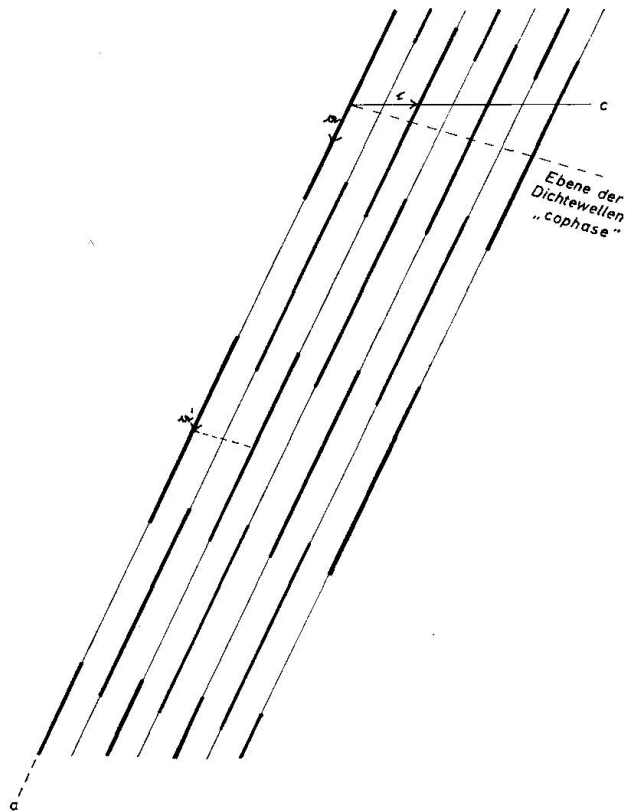


Fig. 6. Prinzipskizze der a- und b-split erzeugenden Überstruktur des Labradorits $An_c Ab_{1-c}$. a und c sind auf das primitive Anorthit-Gitter bezogen. $a' = M a$.

—: Bereich der Ca-Kette.

—: Bereich der Na-Kette (vgl. Fig. 5).

3. Die Änderung der Satellitenorientierung in bezug auf die Hauptreflexe ist durch gegenseitige Verschiebung der Kettenüberstruktur zu erklären, die eine Ebene des gleichen Ursprungs (0-Punkt) der Überperiode festlegt. Die Normale dieser Ebene fällt mit der Satellitenrichtung (Verbindungsline Hauptreflex-Satellit) zusammen (vgl. Fig. 6).

4. Die Intensität der Satelliten lässt sich mit der einfachen Annahme qualitativ deuten, dass Ca-Na sich auf den Kationenlagen trennen. Die Dichtefunktion wird dann eine einfache unsymmetrische Kastenfunktion (vgl. Fig. 5). Die Kastenfunktion wird symmetrisch für $An : Ab = 1 : 1$. Die Quadrate der Fourier-Koeffizienten als Funktion der Konzentration sind in Fig. 7 wiedergegeben. In Übereinstimmung mit der Erfahrung verschwindet der 2. Fourier-Koeffizient (a-split-Reflex) bei $Ab : An = 1 : 1$ und steigt mit steigendem Anorthit-Gehalt, während der erste Koeffizient (b-split-Reflex) bei $Ab : An = 1 : 1$ sein Maximum besitzt.

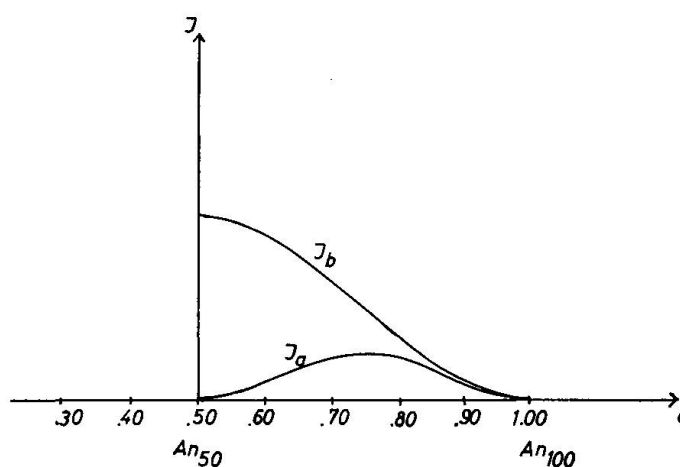


Fig. 7. Die theoretischen Intensitäten der a- und b-split-Reflexe der Plagioklasse $An_c Ab_{1-c}$ (vgl. Fig. 5 und 6).

J_a : Relative Intensität der a-split-Reflexe

J_b : Relative Intensität der b-split-Reflexe

J_a, J_b : Normiert durch $|F|^2$:

$$F(hkl) = [c f_{Ca} + (1-c) f_{Na}] \sum_j e^{2\pi i(hx_j + ky_j + lz_j)}.$$

5. Die Länge der Überperiode steigt mit dem An-Gehalt, wenn man die Arbeitshypothese zugrunde legt, dass bei $Ab : An = 1 : 1$ die minimale Besetzungszahl erreicht ist. Auch das steht im Einklang mit der Erfahrung.

Das hier Entworfenen entspricht auch durchaus der physikalischen Vorstellung. Mit einem solchen Entmischungsvorgang müssen notwendig Spannungen parallel laufen. Diese können nur transversaler Natur sein. Das steht in Übereinstimmung mit unserer Untersuchung, nach der senkrecht zur Satelliten-Orientierung im reziproken Raum ein langsamer

Anstieg der Satellitenintensität beobachtet wird. (Typisch für transversale Störungen.)

Die Störungen können bedingt sein

- a) durch verschiedene Grössen von Ca und Na bzw. Si und Al;
- b) durch elektrische Aufladung der Entmischungsgebiete falls Si, Al sich weniger entmischt, was so gut wie sicher ist. Es soll aber nicht vorausgesetzt werden, dass Si und Al zufällig verteilt sind.

Beide Störungen können auch für die „Flächenzentrierung“ der Überstrukturzelle verantwortlich sein.

Die Auslöschungsregel der Innenzentrierung der Anorthitzelle wird durch diese Überlegungen nicht berührt.

Diese Arbeit wird hinsichtlich der Deutung der Supersatelliten gemeinsam mit dem Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH weitergeführt. Herrn Prof. Dr. F. Laves und Herrn Dr. H. U. Nissen, Zürich, verdanken wir die Labradorit-Probe ohne Schillereffekt, Herrn Prof. Dr. A. Schröder, Hamburg, die im Violett schillernde Probe. Bei der Herstellung und Auswertung der zahlreichen Aufnahmen hoher Auflösung waren uns Frl. I. Oppermann und Frl. E. Neef behilflich. Ihnen allen gilt unser bester Dank.

LITERATUR

- GAY, P. (1956): The structures of the plagioclase feldspars: VI. Natural intermediate plagioclases. *Miner. Mag.*, 31, 21—40.
- JAGODZINSKI, H. und KOREKAWA, M. (1965): Supersatelliten im Beugungsbild des Labradorits (Ca, Na) (Si, Al)₂O₈. *Naturwissenschaften*, 52, 640.
- LAVES, F. and GOLDSMITH, J. R. (1954): Discussion on the anorthite superstructure. *Acta Cryst.*, 7, 131—132.
- LAVES, F., NISSEN, H.-U. und BOLLMANN, W. (1965): On schiller and submicroscopical lamellae of labradorite, (Na, Ca) (Si, Al)₃O₈. *Naturwissenschaften*, 52, 427—428.
- MCCONNELL, J. D. C. and FLEET, S. G. (1963): Direct electron-optical resolution of anti-phase domains in a silicate. *Nature* 199, 586.
- MEGAW, H. D. (1960a): Order and disorder. II. Theory of diffraction effects in the intermediate plagioclase feldspars. *Proc. Royal Soc., A*, 259, 159—183.
- (1960b): Order and disorder. III. The structure of the intermediate plagioclase feldspars. *Proc. Royal Soc., A*, 259, 184—202.
- SCHRÖDER, A. (1964): Die Schillerfläche am Labradorit. *Naturwissenschaften*, 51, 507.

Manuskript eingegangen am 10. Juli 1966.