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

Band: 59 (1979)

Heft: 1-2

Artikel: Gedanken zum stabilen Phasendiagramm der Plagioklase

Autor: Laves, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-46040

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: 18.07.2025

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

Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 59,19–23, 1979

Gedanken zum stabilen Phasendiagramm der Plagioklase

von *F. Laves* † (Zürich)[1])

Anmerkung des Redaktors: Kurz vor seinem Tode am 12. August 1978 erhielt ich von Herrn Prof. D. F. Laves ein revidiertes Manuskript seines letzten öffentlichen Vortrages anlässlich der gemeinsamen Tagung der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft und der Schweiz. Mineralogischen und Petrographischen Gesellschaft in Salzburg (5.–10. September 1977). Für die wertvolle Mithilfe bei der endgültigen Redigierung dieser Arbeit danke ich Herrn P. Möckli herzlich. Anstelle des sonst üblichen «Abstract» folgen die als Bleistift-Notizen vorhandenen Einführungsworte zum Vortrag von F. Laves:

> «Vieles von dem, was ich Ihnen vortragen werde, wird sich leider voraussichtlich niemals experimentell beweisen lassen.
> Und das liegt daran, dass die Reaktionsgeschwindigkeit der Plagioklase unterhalb etwa 800 °C derart gering ist, dass wir das Ende geplanter Versuche kaum erleben werden.
> Ich könnte daher meinen Vortrag unter das Motto eines leicht geänderten Songs aus der Dreigroschenoper stellen, der etwa folgendermassen lauten würde:
>
> Ja, mach nur einen Plan
> Erschein als kluger Wicht
> Und dann mach einen zweiten Plan
> Gehn tun sie beide nicht.
>
> Denn, für dieses Leben
> Ist der Feldspat viel zu klug
> Um sich preiszugeben
> Selbst im Heiz-Versuch»

Für den Versuch, ein stabiles Plagioklas-Diagramm zu entwerfen, benötigen wir zunächst die Kenntnis des stabilen Verhaltens der Endglieder.

1) Na-Feldspat hat bei Temperaturen unter 980 °C die Albit-Struktur mit der kristallstrukturellen c-Achse = 7 Å. Innerhalb dieser Struktur verändert sich die Al/Si-Verteilung kontinuierlich mit steigender Temperatur derart, dass sie bei 980 °C unordentlich genug wird, um monokline Symmetrie annehmen zu können. Oberhalb 980 °C ist daher der Monalbit stabil. Es gibt also zwei stabile

---

[1]) ehemaliger Direktor des Instituts für Kristallographie und Petrographie, ETH-Zentrum, CH-8092 Zürich

Na-Feldspatmodifikationen: Albit und Monalbit. Sie gehen durch eine langsam ablaufende reversible, diffusive Transformation kontinuierlich ineinander über. Bei schneller Abkühlung wandelt sich Monalbit aber nicht in Albit zurück, sondern es entsteht infolge displaziver Transformation der metastabile trikline Analbit.

2) Beim Ca-Feldspat ist es ähnlich, aber doch signifikant verschieden, denn dicht unter dem Schmelzpunkt (ca. 1540°) gibt es zwar auch eine diffusive Umwandlung von ungeordneter trikliner Albit-Struktur mit c=7 (wir wollen sie Hoch-Anorthit nennen) in eine geordnete Struktur, die aber aus elektrostatischen Gründen eine verdoppelte c-Achse, also c-14 Å hat. Diese bezüglich Al/Si geordnete Struktur ist bis etwa 230 °C herunter stabil. Da sie innenzentriert ist, wird sie kurz I-Anorthit genannt.

Die I-Modifikation ermöglicht aber entweder als Folge der Umwandlung bei etwa 1530 °C, oder infolge von «Zufälligkeiten» beim Wachstum - die Ausbildung morphologisch sehr variabler metastabiler Domänentexturen: variabel sowohl bezüglich «Grösse» wie auch «Form» der sich bildenden Domänen, die man wegen gewisser Orientierungsbeziehungen zueinander Anti-Phasen-Domänen nennt. Die Existenz solcher Texturen liess sich röntgenographisch «ermitteln», und lässt sich heutzutage elektronenmikroskopisch «sehen». Dass bei der Interpretation entsprechender Elektronenmikroskop-Bilder gelegentlich Schwierigkeiten auftreten können, sei am Rande erwähnt.

Diese Schwierigkeiten werden noch dadurch erhöht, dass bei etwa 230 °C eine momentan reversible, also nicht abschreck- oder überhitzbare, Umwandlung displaziver Natur eintritt. Hierbei gibt es keinen Al/Si-Platzwechsel, sondern nur eine kleine Veränderung der Gerüstbindungswinkel und eine kleine Veränderung der Ca-Positionen in der Grössenordnung der thermischen Schwingungen. Immerhin sind diese kleinen Änderungen mit einem Symmetrieverlust verbunden. Die Symmetrie ändert sich nämlich von Innenzentriert zu Primitiv, weshalb man die Modifikation unter 230° P-Anorthit nennt.

Als Konsequenz dieser Symmetrie-Verminderung ergibt sich eine zweite Sorte von metastabilen Anti-Phasen-Texturen, welche sich der zuerst diskutierten überlagert. Auch deren morphologische Erscheinungsformen sind von «Zufällen», und Abkühlungsgeschwindigkeit, abhängig - zusätzlich aber auch noch von den bereits besprochenen metastabilen Al/Si-Antiphasentexturen, die das sich abkühlende Material oberhalb 230° hatte, und welche durch die 230°-Umwandlung nicht verändert werden, da bei solch tiefer Temperatur Al/Si-Platzwechsel nicht mehr eintreten.

Immerhin lässt sich aus den Strukturen der metastabilen Texturen mit Gewissheit abschätzen, wie unter Gleichgewichtsbedingungen im Idealfall die stabilen Modifikationen des Ca-Feldspates aussehen sollten.

Analoges sollte man nun auch für die Plagioklas-Mischkristalle erwarten. Bloss sollte man damit rechnen, dass die temperaturabhängig verschiedenen

Umwandlungsverhalten des reinen Na- und des reinen Ca-Feldspates in der Plagioklas-Mischreihe miteinander konkurrieren. Und von dieser Konkurrenz dürfte das Entmischungsverhalten der Plagioklase wesentlich beeinflusst werden können.

Unvoreingenommen könnte man sich vorstellen, dass die Entmischungskurve ähnlich der «glatten» Kurve sein würde, wie man sie bei den Alkalifeldspäten gefunden hat, also etwa so (Fig. 1):

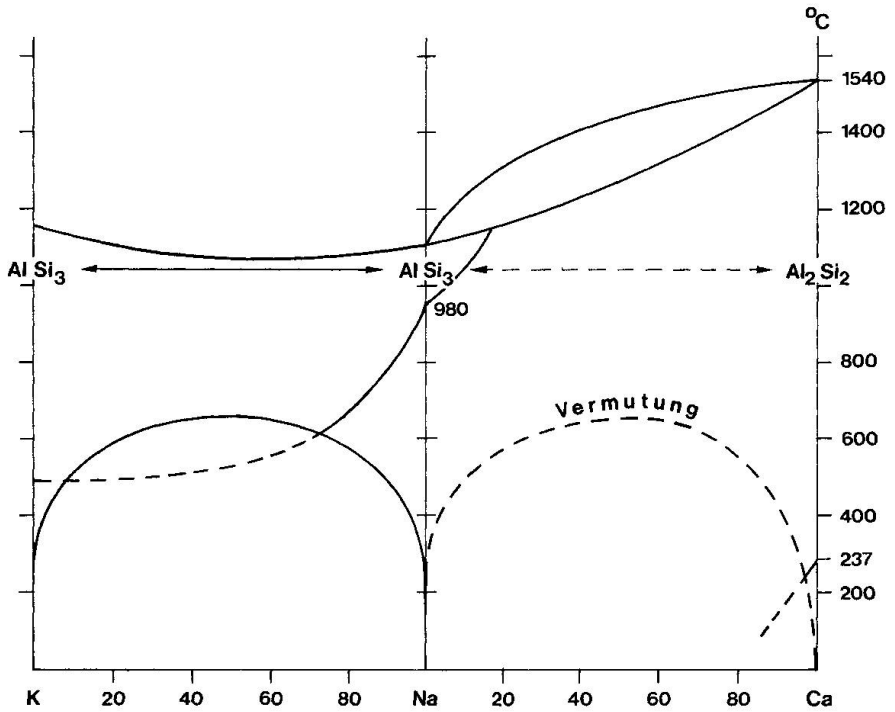

Fig. 1

Das ist aber wegen der erwähnten Konkurrenz nicht der Fall. Denn wir wissen heute, dass es mindestens drei Mischungslücken im Plagioklas-System gibt, nämlich die Peristerit-, Spektrolit- und Anzolit-Mischungslücken.

Die Plagioklase entmischen sich also nicht gleich in ihre Endkomponenten (wie die Alkalifeldspäte), sondern sie sind zunächst mit dem Erreichen chemisch intermediärer - wenn auch metastabiler - Zustände zufrieden.

Dies ist auch verständlich, wenn man Folgendes bedenkt:

Bei den Umwandlungen der Endglieder bleibt die chemische Zusammensetzung gleich. Die Al und Si brauchen daher nur relativ wenige oder gar keine Platzwechsel vorzunehmen. Bei den Entmischungen muss sich aber das Al/Si-Verhältnis des Mischkristalls in zwei verschiedene Al/Si-Verhältnisse der entstehenden beiden Entmischungsphasen ändern. Die Anzahl der für eine Entmi-

schung benötigten Platzwechsel ist also um ein Vielfaches grösser als die Platzwechselanzahl, die für die diffusiven Umwandlungen der Endglieder benötigt wird. Als Entmischungsetappen werden daher solche Ab/An-Verhältnisse gewählt, die zwar nicht dem Al/Si-Verhältnis der Endglieder entsprechen, die aber doch wenigstens bezüglich Nahordnungs-Konstellationen der Al/Si-Anordnungen irgendwie energetisch begünstigt zu sein scheinen.

Auf Grund verschiedener röntgenographischer, aber vorwiegend elektronen-mikroskopischer, Methoden ist es möglich, die chemische Zusammensetzung der in den drei erwähnten Entmischungsbereichen koexistierenden Entmischungsdomänen approximativ abzuschätzen. Da man sich aber darüber klar sein muss, dass diese Abschätzungen von metastabilen Entmischungsdomänen-Texturen gewonnen worden sein könnten, haben sie bezüglich stabiler Abschätzungen eher einen qualitativen als quantitativen Wert.

Immerhin scheint es im Augenblick plausibel zu sein, die drei erwähnten Mischungslücken (Peristerit, Spektrolit und Anzolit) - auch wenn ihre in der Natur auffindbaren Zeugen nur metastabil sein sollten (was wahrscheinlich ist) - approximativ als Vorläufer stabiler Entmischungen mit Chemismen ähnlicher Zusammensetzung koexistierender Komponenten anzusehen.

Diskutieren wir nun als spektakulärstes Beispiel die Domänen-Entmischung des Labradorites. Obwohl man sich seit über 100 Jahren darum bemühte, die Gründe für das gelegentliche Auftreten des so faszinierenden Schillerns aufzufinden, gelang es uns erst 1965 in Zürich erstmals herauszufinden und zu beweisen, dass der Schiller von der Interferenz von submikroskopisch mehr oder weniger parallel und periodisch angeordneter Plagioklaslamellen verschiedener chemischer Zusammensetzung herrührt. Durch sich daran anschliessende Untersuchungen schillernder Labradorite verschiedenster Herkunft ergaben sich als extreme Werte der chemischen Zusammensetzung koexistierender Lamellen etwa An_{40} und An_{60}. Dies legt unter Berücksichtigung der Tatsache, dass auch kleinere Differenzen im Chemismus gefunden wurden, nahe - analog den Entmischungskurven experimentell untersuchbarer anderer binärer Systeme - eine «glockenartige» Entmischungskurve für den Labradorit zu fordern, die etwa aussieht wie in Fig. 2.

Während die Labradorit-Entmischung röntgenographisch allein nicht nachgewiesen werden konnte, sondern die Elektronenmikroskopie zu Hilfe genommen werden musste, gelang es bereits 1954 mit nur röntgenographischen Mitteln eine analoge Entmischung im Oligoklas-Bereich nachzuweisen - die sogenannte Peristerit-Lücke -, die ich hier gestrichelt skizzieren möchte.

Aber bereits 1945 gelang es HUTTENLOCHER im Bytownit-Gebiet bei Feldspäten von Anzola eine Entmischung mikroskopisch festzustellen, die aber röntgenographisch - trotz der Bemühungen von EMMY JÄGER und auch von mir - nicht als Entmischung erkannt werden konnte. (Auf die Gründe dafür kann

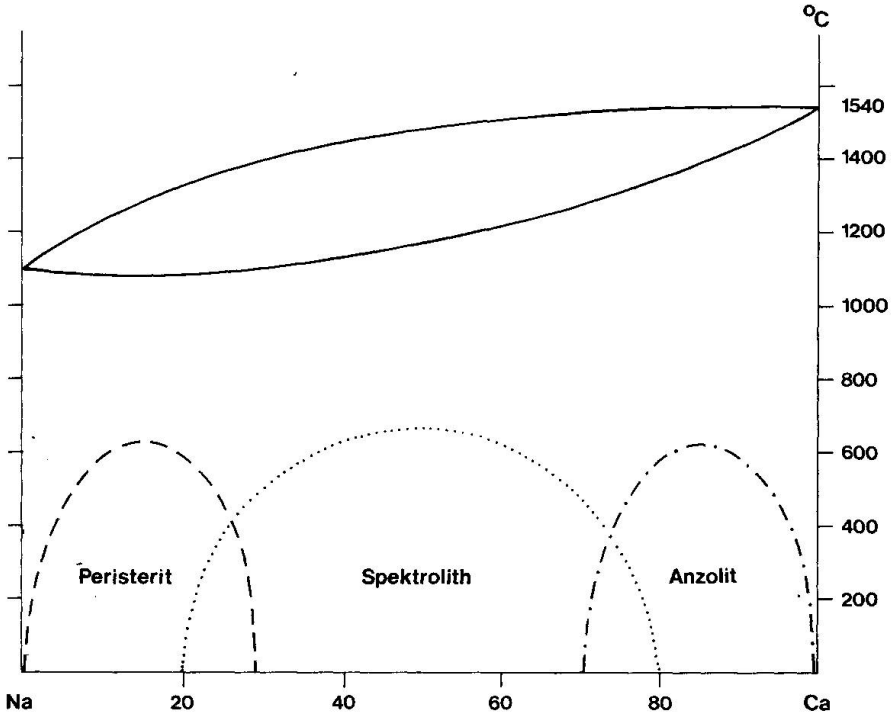

Fig. 2

ich aus Zeitmangel nicht eingehen). Immerhin, elektronenmikroskopisch konnte sie nachgewiesen werden, und ich kann sie daher als strichpunktierte Kurve in das Diagramm mit einzeichnen.

Verbindet man nun die obersten Teile dieser Entmischungsbögen, so erhält man die Form einer stabilen Entmischungskurve, welche einer «Arkadenkurve» gleicht. Sie dürfte «topologisch» gesehen stimmen, aber die absoluten Höhen der Maxima und Minima sind unbekannt. Sie lassen sich aber abschätzen, wenn man die so hoch interessanten Feld- und mikroskopischen Beobachtungen von Herrn Prof. E. WENK als Marksteine stabil gewachsener Plagioklase zu Hilfe nimmt. Solchen Beobachtungen Herrn Wenk's habe ich nun die detaillierte Lage meiner hypothetischen Arkaden-Kurve angepasst.

Und so kann ich also abschliessend erklären: Wenn es nicht die Alpen und Herrn EDUARD WENK gäbe, hätte ich diesen Vortrag nur mit sehr schlechtem Gewissen halten können.

Manuskript eingegangen im Juni 1978.