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

Band: 53 (1973)

Heft: 2

Artikel: Notiz über den Einfluss dünner, saurer Randzonen auf den Pauschalchemismus von Plagioklasen

Autor: Burri, Conrad

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-41377

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: 13.07.2025

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

Notiz über den Einfluss dünner, saurer Randzonen auf den Pauschalchemismus von Plagioklasen

Von *Conrad Burri* (Zürich)*)

Mit 2 Textfiguren und 3 Tabellen im Text

Zusammenfassung

An sich homogene Plagioklase zeigen oft dünne Randzonen abweichender Zusammensetzung, deren Einfluss auf den Pauschalchemismus untersucht wird. Zur Veranschaulichung der Volumenverhältnisse von Kern und Hülle wird ein einfaches Hexaeder-Modell für isometrische Kristalle, sowie ein erweitertes für nicht-isometrische entwickelt und diskutiert. Zur Abschätzung des Pauschalchemismus wird sowohl ein rechnerisches, wie ein graphisches Verfahren angegeben. Es zeigt sich, dass im allgemeinen, auch bei sehr dünnen Randzonen, deren Einfluss auf den Pauschalchemismus nicht vernachlässigt werden darf.

English Summary

Homogeneous plagioclases often show narrow rims differing in composition. Their effect on the global composition of the crystal is examined. A simple hexahedral model for isometric crystals, and an extended one for non-isometric crystals are developed and discussed. For the estimation of the global composition of the crystal, for a given volume-ratio of core and mantle, a numerical, as well as a graphical solution are proposed. It is shown, that even for very thin outer rims, their influence on the global composition is not to be neglected.

Inhalt

I. Einleitung 160
II. Modelle zur Veranschaulichung der Volumenverhältnisse von Kern und Hülle 161
1. Einfaches Hexaeder-Modell für isometrische Kristalle 161
2. Erweiterung des Hexaeder-Modells für nicht-isometrische Kristalle 164
III. Abschätzung des Einflusses von Randzonen abweichender Zusammensetzung auf den Pauschalchemismus 167
1. Volumprozente und Äquivalentprozente 167
2. Berechnung des Pauschalchemismus aus der Zusammensetzung von Kern und Hülle für gegebene Volumenverhältnisse 168
IV. Zitierte Literatur 172

*) Adresse des Autors: Prof. Dr. C. Burri, Institut für Kristallographie und Petrographie ETHZ, Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich.

I. EINLEITUNG

Zonarstruktur ist bei Plagioklasen sehr verbreitet. Bei ihrer Anwesenheit ist die Bestimmung der Zusammensetzung der einzelnen Zonen und damit der Variation des An-Gehaltes vom innersten Kern bis zum äussersten Rand mit optischen Methoden ohne weiteres möglich. Die Angabe des Pauschalchemismus stösst jedoch bekanntlich auf grosse Schwierigkeiten, da Unsicherheit darüber besteht, welches Gewicht man den einzelnen Zonen bei der Berechnung zuzuteilen hat. Diese Schwierigkeiten bestehen auch bei ganz normaler Zonenfolge, d. h. wenn von Rekurrenzen oder oszillierendem Bau abgesehen werden kann.

Ähnliche Probleme treten bei Plagioklasen auf, welche weitgehend oder völlig homogen gebaut sind, jedoch eine äusserste, oft nur sehr wenig mächtige Randzone von abweichender Zusammensetzung aufweisen. Darf eine solche Randzone, auf Grund ihrer geringen Mächtigkeit, welche oft nur wenige Prozente des Korndurchmessers beträgt, ignoriert werden, oder ist ihr Volumen wegen der relativ grossen Ausdehnung, wie sie ihr als äusserste Hülle des Kristalls zukommt, doch von einem nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Pauschalchemismus des betreffenden Individuums? Diese Frage, welche anscheinend noch nie systematisch untersucht wurde, stellt sich besonders bei der U-Tischuntersuchung derartig gebauter Plagioklase. Wie jeder Praktiker aus eigener Erfahrung weiss, ist man in solchen Fällen instinktiv geneigt, die Einmessung der Indikatrix auf den homogenen, die Hauptmasse des Kristalls ausmachenden Kern zu beschränken und die dünne Randzone zu vernachlässigen, dies um so mehr, als die Einmessung derselben oft erhebliche Schwierigkeiten bietet und zeitraubend ist. Die Frage der Zulässigkeit eines solchen Vorgehens stellt sich ganz besonders dann, wenn die untersuchten Plagioklase nachträglich auf irgend eine Weise, sei es unter Benutzung schwerer Lösungen, sei es mit dem Magnetscheider, oder durch Handauslese unter dem Binokular, separiert und chemisch analysiert werden, mit der Absicht, sie als Typenplagioklase zur Belegung der Abhängigkeit der optischen Orientierung vom Chemismus, und damit als Unterlage für die mikroskopische Plagioklasbestimmung in Dünnschliffen zu verwenden. In solchen Fällen ist eine möglichst genaue Korrelation von chemischer Zusammensetzung und optischen Eigenschaften unerlässlich und es waren gerade Beispiele dieser Art, welche zur Beschäftigung mit diesen Fragen Anlass boten.

W. W. Nikitin hatte (Nikitin 1933), in seinem Bemühen um eine Verbesserung des damals noch ziemlich unvollkommenen Stereogramms der optischen Orientierung der Plagioklase, u. a. zwei Labradore von Verch Isetsk (Ural) nach der U-Tischmethode untersucht und auch chemisch analysiert um sie als neue Fixpunkte für den Verlauf und die Kalibirierung der Migrationskurven zu verwenden. An Hand der zu diesem Zwecke besonders geeig-

neten Euler-Winkel, konnte jedoch in der Folge gezeigt werden (BURRI 1956), dass sich die neuen Daten Nikitins besser in den Rahmen unserer bisherigen Kenntnisse einordnen liessen wenn man den An-Gehalt um ca. 2% niedriger ansetzte als er sich aus der chemischen Analyse berechnete. Da kein Grund vorhanden war, weder die optischen, noch die chemischen Bestimmungen anzuzweifeln, blieb als einzige plausible Erklärung der Diskrepanz, dass die untersuchten Labradore wahrscheinlich eine sehr schmale albitreichere Randzone aufwiesen, welche bei der optischen Untersuchung vernachlässigt wurde, während sie jedoch die chemische Zusammensetzung im Sinne einer albitreicheren Mischung zu beeinflussen vermochte.

Es dürfte daher angezeigt erscheinen, einmal grundsätzlich zu untersuchen, ob derartige dünne, saurere Randzonen tatsächlich einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf den Pauschalchemismus von Plagioklasen auszuüben in der Lage sind, sowie, falls dies sich als zutreffend erweisen sollte, festzustellen, ob er das konstatierte Ausmass aufweist.

Die Frage ist vor allem von Bedeutung, wenn der Pauschalchemismus der betreffenden Plagioklase durch eine chemische Analyse des separierten Materials festgestellt wird. Sobald mit der Elektronen-Mikrosonde gearbeitet wird, wie dies heute vielfach der Fall ist, verliert das Problem an Bedeutung indem diese Methode gestattet, die chemische Zusammensetzung für den optisch untersuchten Kern allein zu bestimmen, unter Ausschaltung der saureren Aussenzone. Die Mikrosonde erweist sich hier somit der klassischen chemischen Analyse als eindeutig überlegen. Sie ermöglicht die Verwendung von Material, welches bis anhin nicht benützt werden konnte und trägt somit wesentlich dazu bei, dass die Unterlagen für die optische Plagioklasbestimmung in Dünnschliffen in einem Masse erweitert werden können, wie es früher nicht denkbar war.

Im folgenden soll zuerst an Hand einfacher Modellvorstellungen die gegenseitige Beziehung von Mächtigkeit der Randzonen und deren volumenmässigem Anteil am Gesamtkristall untersucht werden. Daran anschliessend wird die Berechnung des Pauschalchemismus für gegebene Volumenverhältnisse von Kern und Hülle aus deren Chemismus für eine Anzahl ausgewählter Fälle berechnet.

II. MODELLE ZUR VERANSCHAULICHUNG DER VOLUMENVERHÄLTNISSE VON KERN UND HÜLLE

1. Einfaches Hexaeder-Modell für isometrische Kristalle

Nimmt man einen würfelförmigen Kristall von der Kantenlänge a an, so beträgt sein Gesamtvolumen $V = a^3$. Nimmt man ferner an, dass der Kristall aus einem Kern K und einer Hülle H von der Dicke d aufgebaut sei, so berech-

net sich das Volumen V_K des Kerns zu

$$V_K = (a-2d)^3 = a^3 - 6a^2 d + 12 a d^2 - 8 d^3 \tag{1}$$

und für das Volumen der Hülle V_H erhält man somit

$$V_H = V - V_K = 8 d^3 - 12 a d^2 + 6 a^2 d. \tag{2}$$

Ferner wird das Volumenverhältnis der Hülle zum Gesamtkristall

$$\frac{V_H}{V} = \frac{8 d^3 - 12 a d^2 + 6 a^2 d}{a^3} = \lambda. \tag{3}$$

Interessiert an Stelle von V_H/V das Verhältnis V_K/H, so hat man, wegen $V_H/V = (V - V_K)/V = 1 - V_K/V$

$$\frac{V_K}{V} = 1 - \lambda. \tag{3a}$$

Ferner gilt:

$$\frac{V_H}{V_K} = \frac{\lambda}{1-\lambda} \tag{3b}$$

sowie

$$\begin{aligned} 100\lambda &= \text{Vol.-\% Hülle}, \\ 100(1-\lambda) &= \text{Vol.-\% Kern}. \end{aligned} \tag{3c}$$

Fasst man die Dicke der Hülle d, welche gemessen werden kann, als unabhängige Variable x auf, so folgt aus (3) die Gleichung

$$8x^3 - 12 a x^2 + 6 a^2 x - a^3 \lambda = 0, \tag{4}$$

welche für einen würfelförmigen Kristall mit der Kantenlänge a für ein gegebenes λ die Dicke x der Hülle zu berechnen gestattet, oder umgekehrt. Gleichung (4) ist von der Form der allgemeinen kubischen Gleichung

$$A x^3 + B x^2 + C x + D = 0.$$

Zu ihrer Lösung bringt man sie vorerst durch Division durch A auf die Normalform $x^3 + r x^2 + s x + t = 0$

$$x^3 - \frac{3}{2} a x^2 + \frac{3}{4} a^2 x - a^3 \frac{\lambda}{8}, \tag{4a}$$

wobei

$$r = -\frac{3}{2} a, \qquad s = \frac{3}{4} a^2, \qquad t = -\frac{\lambda}{8} a^3.$$

Vermittels der Substitution $x = y - \frac{r}{3}$ wird das Glied in x^2 beseitigt, wodurch man die kanonische Form der Gleichung dritten Grades erhält. Sie ist von der Form

$$y^3 + p y + q = 0 \tag{4b}$$

mit

$$p = s - \frac{r^2}{3} = 0 \quad \text{und} \quad q = \frac{2 r^3}{27} - \frac{r s}{3} + t = \frac{a^3}{8}(1-\lambda).$$

Da die kubische Determinante $\Delta = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2 > 0$, sowie auch $q > 0$ ist, sind für (4b) eine negative, reelle und zwei konjugiert-komplexe Wurzeln zu erwarten. Da $p = 0$ ist, fehlt in (4b) das lineare Glied in y und die reelle Wurzel, welche angesichts der Problemstellung einzig interessiert, kann sofort angegeben werden, ohne dass die Cardanosche Formel angewandt werden muss. Es wird:

$$y = \sqrt[3]{-q} = \sqrt[3]{-\frac{a^3}{8}(1-\lambda)} = -\frac{a}{2}\sqrt[3]{(1-\lambda)}.$$

Gemäss erfolgter Substitution ist jedoch $x = y - \frac{r}{3} = y + \frac{a}{2}$, so dass man erhält:

$$x = \frac{a}{2}(1 - \sqrt[3]{1-\lambda}), \tag{5}$$

bzw. für $a = 1$ gesetzt,

$$x = \frac{1}{2}(1 - \sqrt[3]{1-\lambda}). \tag{5a}$$

Berechnet man x, für $a = 1$ gesetzt, für eine Reihe von λ, so erhält man die Werte von Tabelle 1. Sie enthält auch die gemäss $V_K = (1-2x)^3$ und $V_H = V - V_K$ rückberechneten Volumina von Kern und Hülle, sowie die Angabe der Mächtigkeit der Hülle in % der Kantenlänge 1. Die Werte von x sind auf fünf Dezimalen angegeben, was zwar für die Praxis weder notwendig noch sinnvoll erscheint, sich jedoch als unumgänglich erweist, wenn bei der Rückberechnung gute Übereinstimmung mit den Sollwerten erzielt werden soll.

Tabelle 1

$\frac{V_H}{V} = \lambda$	Vol.-% Hülle	Vol.-% Kern	$x = d$	Rückberechnung $V_K = (1-2x)^3$	$V_H = V - V_K$	d in % von $a = 1$
0	0	100	0	1,0	0	0
1/20	5	95	0,00848	0,95	0,05	0,8
1/10	10	90	0,01725	0,90	0,10	1,7
1/5	20	80	0,03584	0,80	0,20	3,6
1/4	25	75	0,04572	0,75	0,25	4,6
1/3	33,3	66,7	0,06253	0,67	0,33	6,3
1/2	50	50	0,10310	0,50	0,50	10,3
2/3	66,7	33,3	0,15343	0,33	0,67	15,3
3/4	75	25	0,18502	0,25	0,75	18,5
4/5	80	20	0,20760	0,20	0,80	20,8
1	100	0	0,50000	0	1,0	50,0

Aus Tabelle 1 geht deutlich hervor, dass auch sehr dünne Randzonen ein nicht zu vernachlässigendes Volumen besitzen. So beträgt z. B. bei einem volumenmässigen Anteil des Randes von 10% die Dicke der Randzone nur 0,017 für einen Kristall von der Kantenlänge 1, entsprechend 1,7% derselben. Für einen Kristall von beispielsweise 5 mm Kantenlänge würde dies 0,085 mm, d. h. weniger als $^1/_{10}$ mm ausmachen. Bei einer Hülle von 0,25 mm Dicke würde deren Volumenanteil bereits über 25% des Gesamtvolumens betragen.

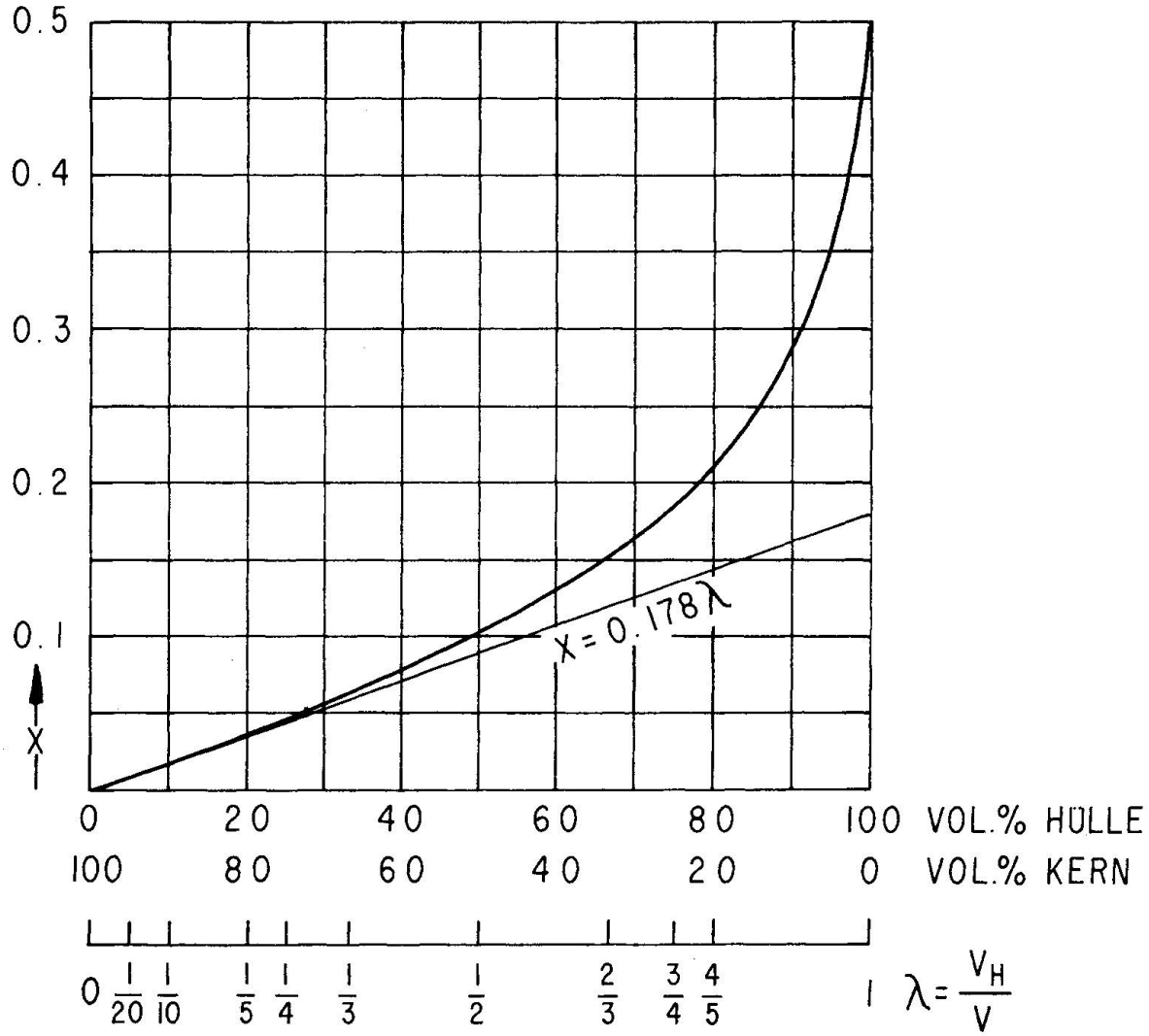

Fig. 1. Abhängigkeit von Hüllendicke x und Volumenanteil der Hülle am Gesamtkristall V_H/V für einen hexaedrischen Kristall mit Kantenlänge 1.

Die gegenseitige Abhängigkeit von $d = x$ und λ geht aus Fig. 1 hervor, wobei λ von 0 bis 1 variiert, entsprechend $0-100\%$ Hülle bzw. $100-0\%$ Kern. Die Dicke der Hülle x ändert sich von 0 bis 0,5, da $x \leqq a/2$ sein muss. Aus der Figur ist auch deutlich ersichtlich, dass x mit zunehmendem λ zuerst nur wenig ansteigt um dann für $\lambda > 0{,}5$ rascher zuzunehmen. In erster Annäherung steigt x zuerst linear an, so dass für $\lambda < 1/3$, entsprechend maximal 33,3 Vol.-% Hülle, d. h. für die weitaus meisten, praktisch interessierenden Fälle, in genügender Annäherung gilt, dass $x = 0{,}178\,\lambda$, wobei $0{,}178 = \mathrm{tg}\ 10{,}1°$.

2. Erweiterung des Hexaeder-Modells auf nicht-isometrische Kristalle

Da Plagioklase im allgemeinen, vielleicht abgesehen von gewissen Anorthiten, nicht isometrisch entwickelt sind, sondern vorwiegend dünn- bis dicktafeligen Habitus nach M (010) aufweisen, muss versucht werden, das soeben

entwickelte Hexaeder-Modell diesen Verhältnissen anzupassen. Plagioklase sind triklin, im speziellen pseudo-monoklin. Sie können für das hier interessierende Problem ohne weiteres als monoklin betrachtet werden, indem man $\alpha = \gamma = 90°$ setzt. Nimmt man ferner vereinfachend an, dass der Kristall von den drei Hauptpinakoiden begrenzt sei und in Richtung der X-, Y-, bzw. Z-Achse Kanten von der Länge a', b' bzw. c' aufweise, so ist eine weitere Vereinfachung durch Anwendung des Prinzips von Cavallieri möglich. Dieses besagt, dass Parallelepipeda von gleicher Grundfläche und Höhe inhaltsgleich sind. Nimmt man daher die Basis des erwähnten monoklinen Kristalls als Grundfläche, so kann man ihn durch einen inhaltsgleichen rechtwinkligen «orthorhombischen» mit den Kanten $a = a'$, $b = b'$ und $c = c' \sin \beta = c' \sin 116° = c' \cos 26°$ ersetzen. Ein solcher Kristall, dessen Volumen abc ist, wird den folgenden Betrachtungen zugrunde gelegt.

Versucht man dieses neue Modell gleich zu behandeln wie das Hexaeder-Modell, so stösst man bald auf eine prinzipielle Schwierigkeit. Nimmt man nämlich wiederum an, dass der Kristall aus einem Kern K und einer Hülle H von der Mächtigkeit $d = x$ bestehe, so zeigt sich sofort, dass $\lambda = V_H / V$ nicht, wie im Falle des Würfels von 0 bis 1 wachsen kann, wobei für $\lambda = 1$ der Kern verschwindet, sondern dass das Anwachsen von d nur soweit möglich ist, bis d gleich der Hälfte der kürzesten Kante wird. Ist dieser Wert erreicht, so verschwindet der Kern jedoch nicht völlig, sondern er entartet zu einem zweidimensionalen Gebilde, dessen Inhalt nicht Null ist und der Kristall besteht nur noch aus Hülle, trotzdem der Wert $\lambda = 1$ noch nicht erreicht ist.

Um diese Schwierigkeit zu vermeiden und den Ansatz so zu gestalten, dass er als Verallgemeinerung des Hexaeder-Modells erscheint, muss d für die drei Kantenrichtungen verschieden gross gewählt werden und zwar jeweils proportional zu der entsprechenden Kantenlänge, d. h.

$$\begin{aligned} d_a &= ax \text{ in Richtung der Kante } a \\ d_b &= bx \text{ in Richtung der Kante } b \\ d_c &= cx \text{ in Richtung der Kante } c \end{aligned}$$

Durch Addition folgt hieraus $d_a + d_b + d_c = x\,(a + b + c)$ und

$$x = \frac{d_a + d_b + d_c}{a + b + c}. \tag{6}$$

Der Gleichung (1) für das Hexaeder-Modell entsprechende Ausdruck für das Volumen des Kernes lautet nun:

$$V_K = (a - 2d_a)(b - 2d_b)(c - 2d_c) = (a - 2ax)(b - 2bx)(c - 2cx).$$

Ausmultipliziert und geordnet:

$$V_K = abc - 8abcx^3 + 12abcx^2 + 6abcx. \tag{7}$$

Das Volumen der Hülle wird zu

$$V_H = V - V_K = 8\,abcx^3 - 12\,abcx^2 - 6\,abcx \tag{8}$$

und, da $V = abc$ ist, wird weiter:

$$\frac{V_H}{V} = 8\,x^3 - 12\,x^2 - 6\,x = \lambda\,. \tag{9}$$

Auch hier gelten die Beziehungen $V_K/V = 1 - \lambda$ (3a) und $V_H/V_K = \lambda/(1-\lambda)$ (3b) sowie $100\,\lambda$ = Vol.-% Hülle und $100\,(1-\lambda)$ = Vol.-% Kern (3c).

Aus (9) folgt
$$8\,x^3 - 12\,x^2 - 6\,x - \lambda = 0\,, \tag{10}$$

woraus sich wiederum für ein gegebenes λ x berechnen lässt und umgekehrt. Da Gleichung (10) identisch ist mit (4), für $a = 1$ gesetzt, so gilt naturgemäss auch die Lösung (5a):

$$x = \frac{1}{2}\left(1 - \sqrt[3]{1-\lambda}\right).$$

Als Beispiel sei ein Plagioklas mit den Kanten $a = 4$ mm, $b = 2$ mm und $c = 8$ mm näher betrachtet, also von Abmessungen, wie sie für Einsprenglinge andesitisch-basaltischer Gesteine im Mittel nicht selten ungefähr realisiert sind. In Tabelle 2 sind die Mächtigkeiten der Hüllen in Richtung der drei Kanten a, b bzw. c für verschiedene λ angegeben, sowie auch die daraus rückberechneten Volumina für Kern und Hülle. Hinsichtlich der Anzahl der angeführten Dezimalstellen gilt auch hier das für Tabelle 1 Gesagte.

Tabelle 2

$a = 4$ mm, $b = 2$ mm, $c = 8$ mm, $V = abc = 64$ mm³

							Rückberechnung			
λ	Vol.-% Hülle	Vol.-% Kern	x	$d = ax$ in mm	$d = bx$ in mm	$d = cx$ in mm	V_H in mm³	V_K in mm³	V_H in Vol.-%	V_K in Vol.-%
0	0	100	0	0	0	0	0	64	0	100
1/20	5	95	0,00848	0,03392	0,01696	0,06784	3,2	60,8	5,0	95,0
1/10	10	90	0,01725	0,06900	0,03450	0,13800	6,4	57,6	10,0	90,0
1/5	20	80	0,03548	0,14336	0,07168	0,28672	12,8	51,2	20,0	80,0
1/4	25	75	0,04572	0,18288	0,09144	0,36576	16,0	48,0	25,0	75,0
1/3	33,3	66,7	0,06253	0,25052	0,12506	0,50024	21,3	42,7	33,3	66,7
1/2	50	50	0,10310	0,41240	0,20620	0,82480	32,0	32,0	50,0	50,0
2/3	66,7	33,3	0,15343	0,61372	0,30686	1,22744	42,7	21,3	66,7	33,3
3/4	75	25	0,18502	0,74008	0,37004	1,48016	48,0	16,0	75,0	25,0
4/5	80	20	0,20760	0,83040	0,41520	1,66080	51,2	12,8	80,0	20,0
1	100	0	0,50000	2,00000	1,00000	4,00000	64,0	0,0	100,0	0,0

Wie erwartet werden konnte, zeigt sich auch für das erweiterte Modell, dass auch Hüllen von nur relativ geringer Mächtigkeit ein Volumen aufweisen, welches gegenüber dem Gesamtvolumen nicht vernachlässigt werden darf.

Dieser Umstand muss sich bei unterschiedlicher Zusammensetzung von Hülle und Kern naturgemäss auf den Pauschalchemismus auswirken. Der Effekt wird um so stärker sein, je grösser der prozentuale Anteil der Hülle einerseits, und je bedeutender der Unterschied in der chemischen Zusammensetzung anderseits ist.

III. ABSCHÄTZUNG DES EINFLUSSES VON RANDZONEN ABWEICHENDER ZUSAMMENSETZUNG AUF DEN PAUSCHALCHEMISMUS

1. Volumenprozente und Äquivalentprozente

Vorgängig der Berechnung des Pauschalchemismus aus demjenigen von Kern und Hülle für ein gegebenes Volumenverhältnis derselben, muss noch eine Frage der Darstellung bzw. der zu wählenden Einheiten geklärt werden. Das Verhältnis von Hülle und Gesamtvolumen, $V_H/V = \lambda$, wie auch die daraus abgeleiteten Verhältnisse V_K/V oder V_H/V_K wurden in den vorhergehenden Ausführungen logischerweise in Vol.-% ausgedrückt. Zur Angabe des Anorthitgehaltes, mit welchem diese Volumenverhältnisse nun in Beziehung gebracht werden sollen, bedient man sich jedoch üblicherweise der Äquivalentprozente. Der an Stelle von Äquivalentprozenten vielfach gebrauchte Ausdruck «Molekularprozente» wird besser vermieden, da es ja in der Feldspatstruktur kein in sich abgeschlossenes «Molekül» Anorthit oder Albit gibt, etwa in Analogie zu den Verhältnissen bei den Molekülkristallen. Die Volumenprozente, mit denen bis jetzt ausschliesslich operiert wurde, sind demnach, zur Wahrung der Einheitlichkeit in bezug auf die gebrauchten Einheiten, in Äquivalentprozente umzurechnen. Dies geschieht durch Multiplikation mit dem Verhältnis Dichte/Äquivalentgewicht = D/A, wobei im allgemeinen eine erneute Rückführung auf die Summe 100 notwendig wird. Kein Unterschied zwischen Volumen- und Äquivalentprozenten besteht, wenn $D/A = 1$ oder allgemein 10^n ist, wobei n eine beliebige, positive oder negative ganze Zahl, inbegriffen Null, bedeutet. Für $n = 0$ sind die beiden Prozentzahlen ohne weiteres identisch, für $n \neq 0$ ist eine erneute Umrechnung auf die Summe 100 erforderlich.

Als Äquivalentgewichte für Albit und Anorthit können die auf 1 Na bzw. 1 Ca bezogenen Formelgewichte («Molekulargewichte») dieser Verbindungen verwendet werden. Man hat somit:

Albit	$A = 262{,}2$	$D = 2{,}62$	$D/A = 0{,}00999 = 0{,}999 \cdot 10^{-2}$
Anorthit	$A = 278{,}2$	$D = 2{,}76$	$D/A = 0{,}00992 = 0{,}992 \cdot 10^{-2}$

Das Verhältnis D/A ist somit mit grosser Annäherung in beiden Fällen gleich 10^{-2}, d. h. für die reinen Endglieder der Plagioklase sind Volumen- und Äquivalentprozente identisch. Dies gilt natürlich auch für die Zwischenglieder, da

sowohl für D, wie für A, linear interpoliert werden kann. Für zwei im folgenden benützte Mischglieder erhält man z. B.:

Bytownit $An_{80}Ab_{20}$	$A = 275{,}0$	$D = 2{,}73$	$D/A = 0{,}993 \cdot 10^{-2}$
Labrador $An_{50}Ab_{50}$	$A = 270{,}2$	$D = 2{,}69$	$D/A = 0{,}996 \cdot 10^{-2}$

2. Berechnung des Pauschalchemismus aus der Zusammensetzung von Kern und Hülle für gegebene Volumenverhältnisse

Für ein gegebenes λ berechnet sich die Pauschalzusammensetzung eines Plagioklases aus derjenigen von Kern und Hülle gemäss folgendem Beispiel:

Gegeben: Ein Plagioklas mit 95% Kern $An_{80}Ab_{20}$ und 5% Hülle $An_{50}Ab_{50}$, entsprechend $\lambda = 1/20$.

Gesucht: Pauschalchemismus des Plagioklases.

In 95% $An_{80}Ab_{20}$ sind enthalten:	$\frac{95 \times 80}{100}$	= 76,0% An	und	$\frac{95 \times 20}{100}$	= 19,0% Ab	76 + 19	= 95%
In 5% $An_{50}Ab_{50}$ sind enthalten:	$\frac{5 \times 50}{100}$	= 2,5% An	und	$\frac{5 \times 50}{100}$	= 2,5% Ab	2,5 + 2,5	= 5%
Gesuchte Pauschalzusammensetzung:		78,5% An			21,5% Ab		100%

Die Berechnung des Pauschalchemismus kann auch auf anschauliche Art graphisch erfolgen. Man nimmt hierzu (Fig. 2) das Verhältnis V_H/V oder V_K/H, ausgedrückt durch λ oder in Vol.-% als Abszisse. Zu beiden Enden dieser Konzentrationsachse errichtet man Ordinaten, auf welchen die Zusammensetzung von Kern und Hülle durch ihren An- bzw. Ab-Gehalt aufgetragen wird. Hierauf verbindet man die An-, wie die Ab-Gehalte auf den beiden Ordinaten durch Gerade. Deren Schnittpunkte mit einer im interessierenden λ-Wert auf der Abszisse errichteten Ordinate lassen die gesuchte Pauschalzusammensetzung ablesen.

Beispiel:

Gegeben: Ein Plagioklas mit Kern $An_{80}Ab_{20}$ und einer Hülle von $An_{50}Ab_{50}$, $\lambda = 1/20$, entsprechend 5 Vol.-% Hüllenanteil.

Gesucht: Pauschalzusammensetzung des Plagioklases.

Man trägt auf der linken Ordinate von Fig. 2 die Zusammensetzung des Kerns $An_{80}Ab_{20}$ auf und auf der rechten diejenige der Hülle $An_{50}Ab_{50}$ und zieht die beiden Verbindungslinien. Ihr Schnitt mit der im Punkte $\lambda = 1/20$ der Abszisse errichteten Ordinate liefert als Pauschalzusammensetzung $An_{78,5}Ab_{21,5}$, in Übereinstimmung mit der w. o. erfolgten Berechnung. Hätte die Hülle die Zusammensetzung $An_{60}Ab_{40}$ und würde ihr Anteil 20 Vol.-% betragen, entsprechend $\lambda = 1/5$, so ergäbe sich als Pauschalchemismus $An_{76}Ab_{24}$ (gestrichelte Linien in Fig. 2).

Die Methode erlaubt auch durch eine einfache Konstruktion aus dem gegebenen Pauschalchemismus, wie er z. B. durch die chemische Analyse von sepa-

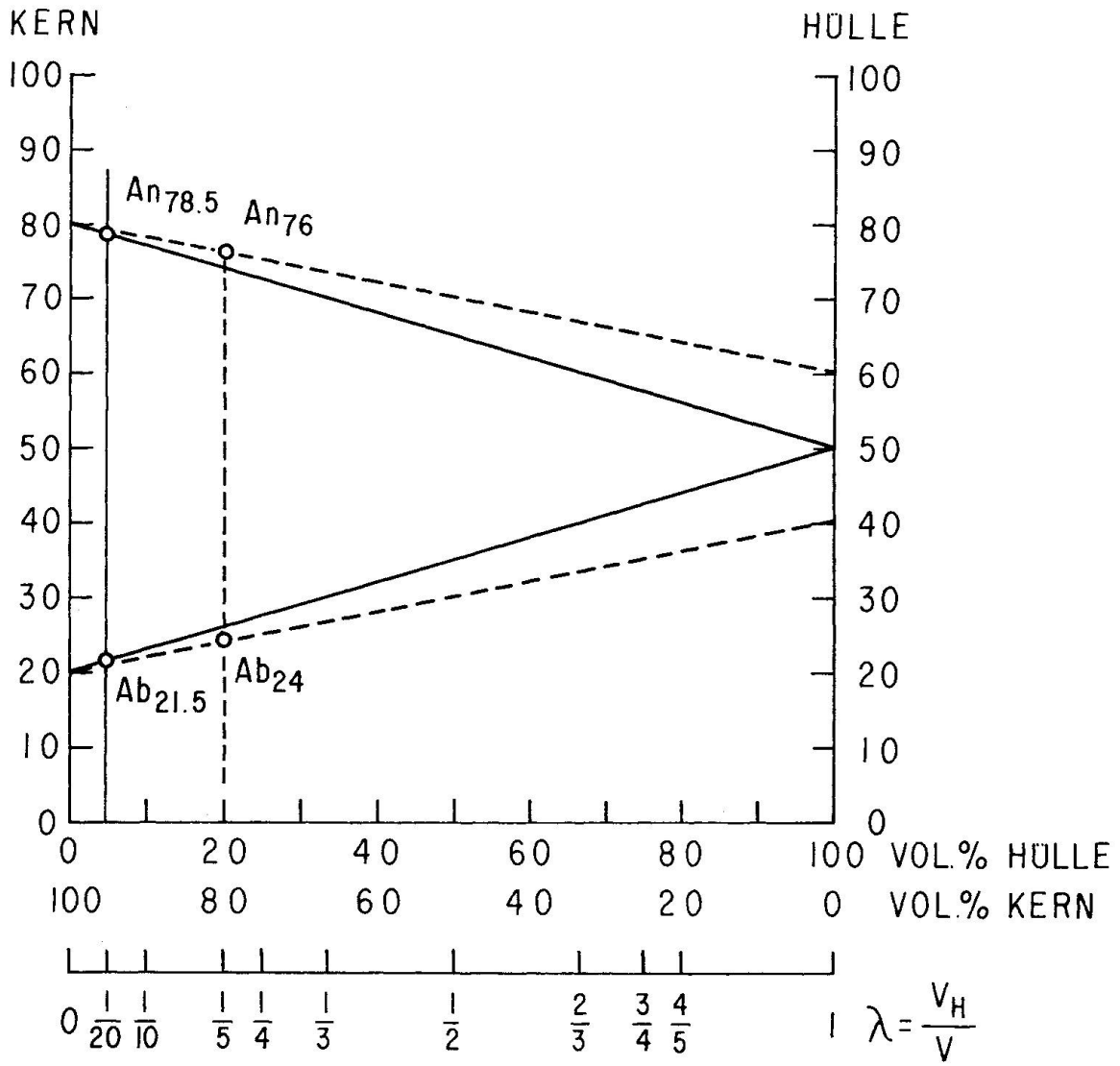

Fig. 2. Graphische Bestimmung des Pauschalchemismus aus der Zusammensetzung von Kern und Hülle für gegebene Volumenverhältnisse.

riertem Material festgestellt wurde, für ein beliebiges λ, wie es z. B. durch Messung der Hüllenmächtigkeit schätzungsweise erhalten wurde, die zu einer optisch ermittelten Kernzusammensetzung gehörende Hüllenzusammensetzung abzuschätzen, oder umgekehrt.

Ob eine Messung der Dicke der Hülle sich überhaupt bewerkstelligen lässt und ob sie mit genügender Genauigkeit erfolgen kann, so dass sich eine eigentliche Berechnung und nicht nur eine grobe Abschätzung des Pauschalchemismus oder desjenigen der Hülle durchführen lässt, hängt weitgehend von der Beschaffenheit der Grenzfläche zwischen Kern und Hülle ab, d. h. ob diese scharf oder nur flau ausgebildet ist. Auf alle Fälle muss auch darauf geachtet werden, dass die Messung nicht durch Schnitteffekte verfälscht wird. Steht die Grenzfläche nicht normal zur Schliffebene so erscheint die Hülle immer

zu breit. Es sind somit immer die kleinsten Messwerte für die Hülle in Rechnung zu setzen, oder es muss die Neigung der Grenzfläche zur Schliffebene mit dem U-Tisch ermittelt werden, worauf die gemessene Hüllendicke mit dem cos des Neigungswinkels zu multiplizieren ist.

Der Vollständigkeit halber sei zum Schlusse noch erwähnt, dass die angestellten Überlegungen über den Einfluss saurer Randzonen auf den Pauschalchemismus von Plagioklasen – mutatis mutandis – auch auf die invers-zonaren Plagioklase von Metamorphiten übertragbar sind.

In der folgenden Tabelle 3 sind für Kern-Zusammensetzungen von An_{100} bis An_0, bei Intervallen von 10% An-Gehalt, und zugehörigen Hüllen bis An_0, für λ-Werte von 1/20 bis 1/2, entsprechend 5–50% Hüllenanteil, die resultierenden Pauschalzusammensetzungen zusammengestellt. Aus typographischen Gründen sind diese vereinfacht angegeben: $An_xAb_y = x/y$.

Tabelle 3

Kern $An_{100}Ab_0$

			H		
λ	An_{90}	An_{80}	An_{70}	An_{60}	An_{50}
1/20	99,5/0,5	99/1	98,5/0,5	98/2	97,5/2,5
1/10	99/1	98/2	97/3	96/4	95/5
1/5	98/2	96/4	94/6	92/8	90/10
1/4	97,5/2,5	95/5	92,5/7,5	90/10	87,5/12,5
1/3	96,7/3,3	93,3/6,7	90/10	86,7/13,3	83,4/16,6
1/2	95/5	90/10	85/15	80/20	75/25

			H		
λ	An_{40}	An_{20}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	97/3	96,5/3,5	96/4	95,5/3,5	95/5
1/10	94/6	93/7	92/8	91/9	90/10
1/5	88/12	86/14	84/16	82/18	80/20
1/4	85/15	82,5/17,5	80/20	77,5/22,5	75/25
1/3	80/20	76,7/23,3	73,4/26,6	70/30	66,7/33,3
1/2	70/30	65/35	60/40	55/45	50/50

Kern $An_{90}Ab_{10}$

			H		
λ	An_{80}	An_{70}	An_{60}	An_{50}	An_{40}
1/20	89,5/10,5	89/11	88,5/11,5	88/12	87,5/12,5
1/10	89/11	88/12	87/13	86/14	85/15
1/5	88/12	86/14	84/16	82/18	80/20
1/4	87,5/12,5	85/15	82,5/17,5	80/20	77,5/22,5
1/3	86,6/13,4	83,3/16,7	80/20	76,7/23,3	73,3/26,7
1/2	85/15	80/20	75/25	70/30	65/35

			H	
λ	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	87/13	86,5/13,5	86/14	85,5/14,5
1/10	84/16	83/17	82/188	81/19
1/5	78/22	76/24	74/26	72/28
1/4	75/25	72,5/27,5	70/30	67,5/32,5
1/3	70/30	66,7/33,3	63,3/36,7	60/40
1/2	60/40	55/45	50/50	45/55

Kern $An_{80}Ab_{20}$

				H				
λ	An_{70}	An_{60}	An_{50}	An_{40}	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	79,5/20,5	79/21	78,5/21,5	78/22	77,5/22,5	77/23	76,5/23,5	76/24
1/10	79/21	78/22	77/23	76/24	75/25	74/26	73/27	72/28
1/5	78/22	76/24	74/26	72/28	70/30	68/32	66/34	64/36
1/4	77,5/22,5	75/25	72,5/27,5	70/30	67,5/32,5	65/35	62,5/37,5	60/40
1/3	76,7/23,3	73,4/26,6	70/30	66,7/33,3	63,4/36,6	60/40	56,7/33,3	53,4/46,6
1/2	75/25	70/30	65/35	60/40	55/45	50/50	45/55	40/60

Kern $An_{70}Ab_{30}$

				H			
λ	An_{60}	An_{50}	An_{40}	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	69,5/30,5	69/31	68,5/31,5	68/32	67,5/32,5	67/33	66,5/32,5
1/10	69/31	68/32	67/33	66/34	65/35	64/36	63/37
1/5	68/32	66,34	64/36	62/38	60/40	58/42	56/44
1/4	67,5/32,5	65/33	62,5/37,5	60/40	57,5/42,5	55/45	52,5/47,5
1/3	66,7/33,3	63,3/36,7	60/40	56,7/43,3	53,3/46,7	50/50	46,6/53,4
1/2	65/35	60/40	55/45	50/50	45/55	40/60	35/65

Kern $An_{60}Ab_{40}$

				H		
λ	An_{50}	An_{40}	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	59,5/40,5	59/41	58,5/41,5	58/42	57,5/42,5	57/43
1/10	59/41	58/42	57/43	56/44	55/46	54/46
1/5	58/42	56/44	54/46	52/48	50/50	48/52
1/4	57,5/42,5	55/45	52,5/47,5	50/50	47,5/42,5	45/55
1/3	56,7/43,3	53,6/46,4	50/50	46,7/53,3	43,3/56,7	40/60
1/2	55/45	50/50	45/55	40/60	35/65	30/70

Kern $An_{50}Ab_{50}$

			H		
λ	An_{40}	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	49,5/50,5	49/51	48,5/51,5	48/52	47,5/52,5
1/10	49/51	48/52	47/53	46/54	45/55
1/5	48/52	46/54	44/56	42/58	40/50
1/4	47,5/53,5	45/55	42,5/57,5	40/60	37,5/62,5
1/3	46,6/53,4	43,3/56,7	40/60	36,6/63,4	33,3/66,7
1/2	45/55	40/60	35/65	30/70	25/75

Kern $An_{40}Ab_{60}$

			H	
λ	An_{30}	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	39,5/60,5	39/61	38,5/61,5	38/62
1/10	39/61	38/62	37/63	36/64
1/5	38/62	36/64	34/66	32/68
1/4	37,5/62,5	35/65	32,5/67,5	30/70
1/3	36,7/63,3	33,3/66,7	30/70	26,7/73,3
1/2	35/65	30/70	25/75	20/80

Kern $An_{30}Ab_{70}$

		H	
λ	An_{20}	An_{10}	An_0
1/20	29,5/70,5	29/71	28,5/71,5
1/10	29/71	28/72	27/73
1/5	28/72	26/74	24/76
1/4	27,5/72,5	25/75	22,5/77,5
1/3	26,7/73,3	23,3/76,7	20/80
1/2	25/75	20/80	15/85

Kern $An_{20}Ab_{80}$

	H	
λ	An_{10}	An_0
1/20	19,5/80,5	19/81
1/10	19/81	18/82
1/5	18/82	16/84
1/4	17,5/82,5	15/85
1/3	16,6/83,4	13,3/86,7
1/2	15/85	10/90

Kern $An_{10}Ab_{90}$

	H
λ	An_0
1/20	9,5/90,5
1/10	9/91
1/5	8/92
1/4	7,5/92,5
1/3	6,7/93,3
1/2	5/95

IV. ZITIERTE LITERATUR

Burri, C. (1956): Charakterisierung der Plagioklasoptik durch drei Winkel und Neuentwurf des Stereogramms der optischen Orientierung für konstante Anorthit-Intervalle. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 36, 539–592.

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

Manuskript eingegangen am 9. April 1973.