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

Band: 9 (1929)

Heft: 1

Artikel: Die Zonenmethode : ein Beitrag zur Methodik der Plagioklasbestimmung mit Hilfe des Theodolithisches

Autor: Rittmann, A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-10741

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

Die Zonenmethode

Ein Beitrag zur Methodik der Plagioklasbestimmung mit Hilfe des Theodolithtisches

Von *A. Rittmann,*
Vulkaninstitut Immanuel Friedlaender, Neapel

Inhaltsübersicht

	Seite
Einleitung	2
Theoretischer Teil	4
Prinzip der Methode	4
Zonen senkrecht zu Zwillingsebenen	5
Die wichtigsten Zwillingsgesetze der Plagioklase	8
Die Zone ⊥ (010)	9
Die Zone ⊥ (001)	18
Unterscheidungsmerkmale der Zonen ⊥ (010) und ⊥ (001)	24
Praktischer Teil	26
Apparatur	26
Einstellung der Zonen	27
Bestimmung der Art der Hemitropie	28
Bestimmung des optischen Charakters der Zonenachse	28
Morphologische Beobachtungen	29
Bestimmung des Anorthitgehalts und der Zwillingsgesetze	29
I. Zone ⊥ (010)	29
1. Die Richtung [100]	30
2. Die Richtung P	31
3. Die Richtung M	31
4. Die Richtungen [001] und ⊥ [001]	32
II. Zone ⊥ (001)	33
1. Richtung [100]	34
2. Die Richtungen [010] und ⊥ [010]	34
3. Die Richtung M resp. M'	34
III. Die Zone senkrecht zur Periklinverwachsungsebene	35
Praktische Beispiele	35
1. Albit mit polysynthetischen Albitzwillingen	36
2. Labrador mit polysynthetischen Periklinzwillingen	37
3. Andesin-Labrador mit Karlsbad-, Albit- und Periklinzwillingen	38
4. Bytownit-Anorthit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen	40
5. Mikrolithen von Labrador-Bytownit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen	43
Schlußwort	45

Einleitung

Der praktisch arbeitende Petrograph legt bei der Bestimmung von Plagioklasen meist weniger Wert auf grosse Genauigkeit, als vielmehr auf Raschheit und Sicherheit der Methode. Deshalb erfreut sich die Methode von Fouqué und Michel-Lévy immer noch grosser Beliebtheit, trotzdem die damit gewonnenen Resultate oft zweideutig, hie und da sogar unrichtig sind. Das Prinzip dieser Methoden beruht bekanntermassen darauf, dass in bestimmt orientierten Schnitten die Auslöschungsschiefen zu Direktionslinien gemessen werden, die durch Zwillingsbildung gegeben sind. Die Grösse des Auslöschungswinkels ändert sich mit dem Anorthitgehalt und erlaubt daher eine Bestimmung desselben unter der Voraussetzung, dass die kristallographische Richtung der Direktionslinie bekannt ist. Ausser den Periklinzwillingen, die man zur Messung nicht heranzog, nahm man nur Zwillingsbildungen nach (010) an und glaubte daher den Charakter der Direktionslinie zu kennen. Nach den neueren Forschungen von Duparc, Reinhard, Gysin u. a. tritt aber auch die Fläche (001) relativ häufig als Zwillings- oder Verwachsungsebene auf, wodurch eine grosse Unsicherheit entsteht, ob die Direktionslinie die Spur von (010) oder von (001) ist. So mag es nur zu oft vorgekommen sein, dass man Periklin-, Aklin- und Manebachzwillinge mit Albit- und Karlsbadzwillingen verwechselte und die Auslöschungsschiefe auf die Spur von (010) bezog, anstatt auf die Spur von (001), die tatsächlich vorlag. Vergegenwärtigt man sich, dass die Kombination von Manebach- mit Aklingesetz dem Aussehen nach einem Albit-Karlsbad-Zwilling völlig gleichen kann, so ist die Unzulänglichkeit der Fouqué-Michel-Lévyschen Methode gekennzeichnet, ganz abgesehen von den zahlreichen Fällen, bei denen eine Bestimmung des Vorzeichens der Auslöschungsschiefe nicht möglich ist und Zweideutigkeit resultiert. Die Raschheit dieser Methode erleidet häufig Einbusse durch das lange Suchen nach orientierten Schnitten, sodass auch dieser Vorzug oft illusorisch wird.

Unzweifelhaft die vollkommenste Methode der Plagioklasbestimmung ist die von Fedorow und Nikitin, da sie nicht nur den Anorthitgehalt eines Plagioklases zu bestimmen erlaubt, sondern auch gleichzeitig über die vorhandenen Zwillingsgesetze Aufschluss gibt. In ihrer heutigen verbesserten und vereinfachten Form ist sie, an Hand der gründlichen und klaren Darstellung, die sie durch Duparc und Reinhard erfahren hat, jedem Petrographen zu-

gänglich.[1]) Wenn sie trotzdem nicht so allgemein zur Anwendung gelangt, wie es zu wünschen wäre, so mag das häufig daran liegen, dass der praktisch arbeitende Petrograph fürchtet, durch ihre Anwendung auf zahlreiche Dünnschliffe zu viel Zeit zu verlieren.

Jedem, der sich eingehend mit der Fedorow-Nikitin-Methode befasst, drängen sich Kombinationsmöglichkeiten mit anderen Methoden auf, die als Kontrolle oder zeitsparende Ergänzung zur Universal-Theodolithmethode dienen können. Seit Jahren haben wir solche verwendet und mit der Zeit in ein System gebracht, das ein für den praktischen Gebrauch geeignetes, selbständiges Verfahren darstellt, welches hier beschrieben werden soll.

Bevor wir näher auf diese Methode eingehen, sei jedoch betont, dass sie keinen Ersatz für die genauere und theoretisch besser fundierte Fedorow-Nikitin-Methode sein soll. Der Mineraloge kann allein mit dieser letzteren den höchstmöglichen Grad an Genauigkeit und Sicherheit der Interpretation erreichen. Für den praktisch arbeitenden Petrographen mag aber die hier beschriebene Neuerung erwünscht sein, da er sich mit der Bestimmung des Anorthitgehaltes auf etwa 5 bis 10 % Genauigkeit begnügen wird, und da andererseits die Feststellung der vorhandenen Zwillingsgesetze auch mit dieser Methode in den weitaus meisten Fällen möglich ist. Eine viel grössere Genauigkeit wird auch mit den anderen Methoden praktisch nicht erreicht. Bei der im Raum arbeitenden Fedorow-Nikitin-Methode fallen die gefundenen Pole häufig mehr oder weniger weit neben die entsprechenden Kurven der Diagramme, sodass von einer auf 1 % genauen Bestimmung des Anorthitgehalts nicht die Rede sein kann. Die Schuld an der gegenüber dem Diagramm veränderten optischen Orientierung der Plagioklase ist wohl meist im Kaligehalt zu suchen, dessen Einfluss auf die optischen Eigenschaften der Plagioklase noch nicht näher bekannt ist. Demgegenüber spielen die Messfehler eine untergeordnete Rolle.

In den zweidimensionalen Auslöschungskurven der Fouqué-Michel-Lévyschen Methode ist natürlich zu jeder Auslöschungsschiefe ein scheinbar genauer Anorthitgehalt ablesbar, aber richtig dürfte er nur in seltenen Fällen sein, da der Verlauf der Nomo-

---

[1]) L. DUPARC et M. REINHARD: La Détermination des Plagioclases dans les coupes minces. Mém. Soc. phys. et nat. Genève. 1924. Hierin ausführliche Literaturangaben auch der hier erwähnten Arbeiten von M. REINHARD, M. GYSIN, A. BORLOZ, M. BEREK, u. a.

grammkurven durchaus nicht feststeht und bei Kaligehalt der Plagioklase wahrscheinlich grössere Veränderungen erleidet.

Solange wir nicht über zahlreiche, genau bestimmte Plagioklastypen verfügen, welche die Aufstellung von den Kaligehalt berücksichtigenden Bezugskurvenbündeln ermöglichen, können wir mit keiner noch so guten Messmethode eine grössere Genauigkeit als 5 bis 10 % in der Bestimmung des Anorthitgehaltes erreichen.

Theoretischer Teil.

Prinzip der Methode

Der Universaltheodolithtisch erlaubt das Neigen eines Dünnschliffes nach allen Seiten innerhalb der Grenzen, die durch die Totalreflexion und den Bau des Apparates gezogen sind. Einem Plagioklasschnitt kann man bei Verwendung von Glashalbkugeln mit einem Brechungsindex von etwa 1,54 und Glyzerin als Zwischenlage eine nützliche Neigung von ca. 55° nach allen Seiten erteilen; etwa 57 % aller möglichen Richtungen im Kristall sind also der Beobachtung zugänglich.

Die auffälligsten Direktionslinien in Plagioklasen sind die Spuren der Zwillingsebenen, die ein Einstellen derselben senkrecht zur Kontrollachse J des Instrumentes ermöglichen (vgl. Duparc-Reinhard). Durch Neigen um J kann man nacheinander etwa $^2/_3$ aller zur Zwillingsebene parallelen Richtungen in die Beobachtungsrichtung bringen. Ganz allgemein kann man durch Messen der Auslöschungsschiefen in diesen Richtungen, z. B. von 10° zu 10°, und graphische Darstellung der gefundenen Werte die Zonenauslöschungskurve konstruieren, deren Verlauf für einen bestimmten Anorthitgehalt charakteristisch ist. Würde man so für alle Zwillingsindividuen des Schnittes diese Kurven bestimmen, so könnte man aus ihrer gegenseitigen Lage auch Rückschlüsse auf die vorhandenen Zwillingsgesetze ziehen. Dieses Vorgehen ist ausserordentlich instruktiv für das Studium der Zonen, aber als Bestimmungsmethode im allgemeinen zu zeitraubend.

Unter den zur Zwillingsebene parallelen Richtungen sind häufig einige durch besondere Eigenschaften ausgezeichnet und kristallographisch identifizierbar. Ihre relative Lage zueinander und die in ihnen gemessenen Auslöschungsschiefen genügen in den meisten Fällen, um den Anorthitgehalt und das Zwillingsgesetz zu bestimmen.

Die Möglichkeit, beliebige Schnitte zur Messung verwenden zu können und ihnen mit Hilfe des Theodolithtisches die ge-

wünschte Lage im Raum zu erteilen, hat diese Methode mit der Fedorow-Nikitinschen gemeinsam, während die Benützung der Auslöschungsschiefen als Bestimmungsfaktor der Fouqué-Michel-Lévyschen Methode entlehnt ist. Dieser letzteren gegenüber hat sie jedoch den Vorteil, in fast allen Fällen die Bestimmung des Vorzeichens der Auslöschung und die Erkennung der vorhandenen Zwillingsgesetze zu erlauben.

Zonen senkrecht zu Zwillingsebenen

In Figur 1 ist ein Beispiel einer Zone senkrecht zu einer Zwillingsebene dargestellt. Die Richtungen senkrecht zur Zonenachse sind als Ordinaten eingezeichnet und mit Graden versehen. Die Abszissen entsprechen den zugehörigen Auslöschungsschiefen. Die Auslöschungskurve 1 bezieht sich auf ein Plagioklasindividuum in Grundstellung, die Kurve 1' auf ein solches in Zwillingsstellung zu 1 nach dem Gesetz der normalen Hemitropie (Flächennormalen-Gesetz). Für alle Richtungen der Zone sind die Auslöschungsschiefen der beiden Individuen entgegengesetzt gleich. Bei normalhemitropen Zwillingen wird die Zone senkrecht zur Zwillingsebene zur «symmetrischen Zone».

Die Richtung A ist Zwillingsachse einer parallelen Hemitropie (Kanten-Gesetz). Die Auslöschungskurven der beiden durch parallele Hemitropie verbundenen Individuen 1 und 2 verlaufen zur Achse A symmetrisch. In der Richtung der Zwillingsachse A sind die Auslöschungsschiefen der beiden Individuen gleich gross und gleich gerichtet. In der von A 90° entfernten Richtung $\perp$ A sind sie ebenfalls gleich gross, aber entgegengesetzt gerichtet. In allen übrigen Richtungen sind sie dagegen verschieden gross und teils gleich, teils entgegengesetzt gerichtet.

Die Individuen 1' und 2 stehen zueinander im Verhältnis der komplexen Hemitropie (Kantennormalen-Gesetz), die durch Überlagerung der normalen und parallelen Hemitropie entsteht. Die Drehung von 180° um die Flächennormale und darauf um die in der Zwillingsebene liegende Achse der parallelen Hemitropie bringt den Kristall in eine Stellung, welche auch durch eine einmalige hemitrope Drehung um eine Achse erreicht wird, die senkrecht zu den Achsen der normalen und parallelen Hemitropie steht. Diese Richtung ist die Achse der komplexen Hemitropie. Der Vollständigkeit halber ist noch die Auslöschungskurve eines Individuums 2' eingezeichnet. 2' steht zu 1 in komplexer, zu 1' in paralleler und zu 2 in normaler Hemitropie. Das optische Verhalten der Zwil-

lingsindividuen in der Richtung der Achse der komplexen Hemitropie und der Richtung senkrecht zu dieser ist demjenigen der entsprechenden Richtungen der parallelen Hemitropie analog. Wie

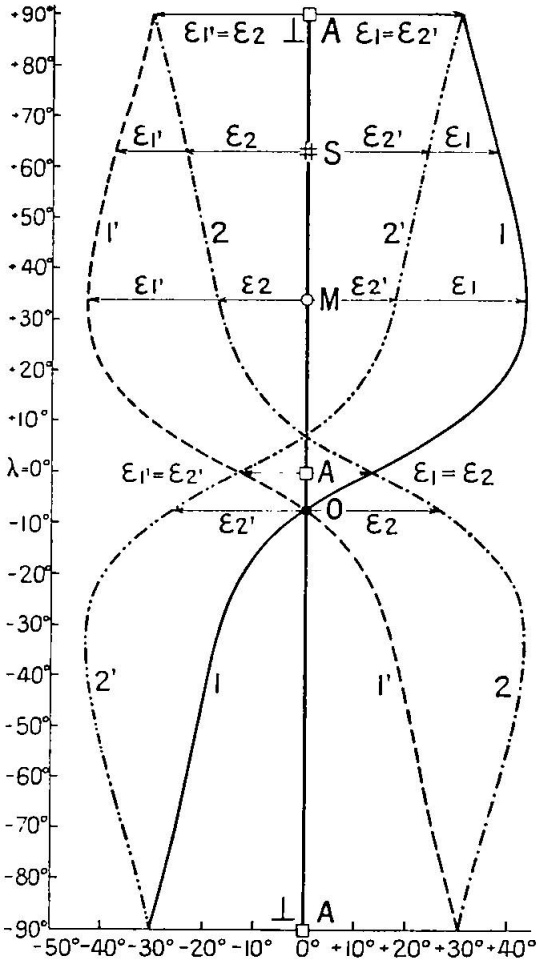


Fig. 1

Auslöschungskurven der Zone senkrecht zu einer Zwillingsebene. Ordinaten: Richtungen in der Zwillingsebene, Abszissen: Auslöschungsschiefen ε. 1 = Auslöschungskurve des Ausgangsindividuums in Grundstellung, 1' = des normal-hemitropen, 2 = des parallel-hemitropen, 2' = des komplex-hemitropen Zwillings zu 1. A = Achse der parallelen Hemitropie, ⊥ A = Achse der komplexen Hemitropie. M = Richtung der maximalen Auslöschungsschiefe. O = Richtung der geraden Auslöschung. S = Spur in der Zwillingsebene einer nicht tautozonalen Spalt- oder Verwachsungsfläche.

Das Beispiel ist die Zone ⊥ (010) eines Plagioklases von 73 % Anorthitgehalt.

dort sind die Auslöschungsschiefen in der Richtung der Zwillingsachse gleich gross und gleich gerichtet, während sie in der Richtung senkrecht dazu entgegengesetzt gleich sind. Eine Unter-

scheidung der Achsen der parallelen oder komplexen Hemitropie ist auf Grund der Auslöschungsschiefen nicht möglich, und es müssen noch andere Bestimmungselemente zugezogen werden.

In der Auslöschungskurve selbst sind zwei Punkte vor allen anderen ausgezeichnet: Für eine bestimmte Richtung wird die Auslöschungsschiefe null (d. h. gerade), für eine andere erreicht sie einen maximalen Wert. Diese beiden Richtungen seien im folgenden mit O und M bezeichnet. Bei anderem Verlauf der Auslöschungskurve, wie er z. B. beim Plagioklas von 97 % Anorthitgehalt in Figur 2 verwirklicht ist, gibt es ebenfalls eine Richtung O mit gerader Auslöschung, die aber durch die Auslöschungsschiefe von 90° bedingt ist. In diesem Falle entspricht der Richtung des Maximums M diejenige des Minimums M'.

Zu den Richtungen O und M des Individuums 1 gehören bestimmte Auslöschungswerte der Individuen 2 und 2', die theoretisch eine Bestimmung des Anorthitgehalts ermöglichen sollten. Im allgemeinen ist jedoch der Kurvenverlauf bei O und M so flach, dass diese Richtungen nur annähernd festgestellt werden können. Die korrespondierenden Werte der Kurven 2 und 2' werden dadurch unsicher, besonders wenn diese steil verlaufen. Wichtig ist jedoch der Sinn der Auslöschungsschiefe, denn, wie Figur 1 zeigt, kann man durch ihn sofort erkennen, ob das zweite Individuum zum ersten in paralleler oder komplexer Hemitropie steht, resp. ob die Richtung A oder die ⊥ A Zwillingsachse ist. Zur Entscheidung, welche von diesen beiden Richtungen Zwillingsachse ist, kann auch ihre relative Lage zu den Richtungen O oder M dienen, vorausgesetzt, dass die Abstände von diesen wesentlich von 45° verschieden sind. Im Beispiel von Figur 1 ist die Achse der parallelen Hemitropie durch die Nähe von O gekennzeichnet; ebenso liegt die Richtung M deutlich näher bei dieser Achse als bei derjenigen der komplexen Hemitropie.

Ausser den Richtungen A, ⊥ A, O und M, die durch das optische Verhalten der Zwillingslamellen gekennzeichnet sind, können auch morphologisch ausgezeichnete Richtungen vorhanden sein. Spaltrisse oder Zwillingsebenen, die nicht in der zur Untersuchung eingestellten Zone liegen, bestimmen durch ihre Spuren S genau einstellbare Richtungen, in denen die Auslöschungsschiefe einen für den Anorthitgehalt charakteristischen Wert besitzt. Die Lage von S in Bezug auf die übrigen Richtungen der Zone kann ebenfalls zur Feststellung der Zwillingsgesetze und auch zur Erkennung des Sinns der Auslöschung dienen. Nach diesen all-

gemeinen Betrachtungen soll nun auf die bei Plagioklasen verwirklichten Verhältnisse näher eingegangen werden.

Die wichtigsten Zwillingsgesetze der Plagioklase

Duparc und Reinhard führen als mögliche Zwillingsgesetze bei Plagioklasen 4 normale, 7 parallele und 4 komplexe Hemitropien auf. Nach dem heutigen Stande unserer Erfahrung scheinen zwei davon überhaupt nicht vorzukommen, zwei weitere sind so selten, dass wir sie einstweilen nicht berücksichtigen. Die übrigen elf sind folgende:

Name des Gesetzes	Zwillingsachse	Zwillings- oder Verwachsungsebene	Art der Hemitropie
Albit	⊥ (010)	(010)	normal
Karlsbad	[001]	(010)	parallel
Ala-B	[100]	(010)	parallel
Albit-Karlsbad	⊥ [001]	(010)	komplex
Albit-Ala-B	⊥ [100]	(010)	komplex
Manebach	⊥ (001)	(001)	normal
Aklin	[010]	(001)	parallel
Ala-A	[100]	(001)	parallel
Manebach-Aklin	⊥ [010]	(001)	komplex
Manebach-Ala-A	⊥ [100]	(001)	komplex
Periklin	[010]	in der Zone [010]	parallel

Sieht man vom Periklingesetz ab, so kommen für alle diese Zwillinge nur zwei Zwillings- resp. Verwachsungsebenen in Betracht: (010) und (001). Unsere Betrachtungen beziehen sich deshalb nur auf die Zonen senkrecht zu diesen Pinakoiden.

Unter den Zwillingen, die (010) als Verwachsungsebene aufweisen, sind die Albitzwillinge ungemein häufig, doch auch Karlsbader Zwillinge und Komplexe Albit-Karlsbad sind weit verbreitet, während Ala-B-Zwillinge und deren Komplexe mit Albit wahrscheinlich zu den Seltenheiten gehören. Diese letzteren werden daher nur anhangsweise kurz erwähnt werden. Sehr häufig finden sich auch Periklinzwillinge, besonders bei basischen Plagioklasen. Nach Reinhard sind Manebach- und Aklinzwillinge in Gabbros ziemlich weit verbreitet, was wir an Gesteinen des nördlichen Urals bestätigt fanden.

Die Zwillinge nach (001) sind viel seltener als die nach (010), aber doch so häufig, dass sie hier diskutiert werden müssen, um Verwechslungen mit denen nach (010) zu vermeiden. Solche Verwechslungen sind beim Arbeiten mit der Fouqué-Michel-Lévyschen

Methode nicht zu umgehen und müssen häufig vorgekommen sein, wodurch sich die scheinbare Seltenheit der Zwillinge nach (001) erklärt.

Was die Unterscheidung der Ala-A-, Aklin- und Periklinzwillinge anbelangt, so ist folgendes zu sagen: Die Zwillingsachsen des Aklingesetzes [010] und des Komplexzwillings Manebach-Ala-A ⊥ [100] (001) weichen ihrer Lage nach sehr wenig voneinander ab. Für einen Plagioklas von bestimmtem Anorthitgehalt fallen sie sogar genau zusammen, da der Winkel γ des kristallographischen Achsenkreuzes von 87° für Albit bis 91° 28' für Anorthit wächst und für ein intermediäres Glied 90° wird. Für Plagioklase von 10 bis 100 % Anorthitgehalt beträgt die Richtungsdifferenz der beiden Zwillingsachsen weniger als 1½°, und da für beide Gesetze (001) Verwachsungsebene ist, so ist praktisch eine Unterscheidung auch mit der Fedorowschen Methode nicht möglich. Dasselbe gilt natürlich auch für die senkrecht zu diesen Richtungen stehenden Zwillingsachsen des Ala-A-Gesetzes und des Komplexes Manebach-Aklin. Es soll daher vom Ala-A-Gesetz abgesehen und nur das Aklingesetz und sein Komplex mit Manebachzwillingen besprochen werden. Mit dem Periklingesetz hat dieses die Achse [010] gemeinsam. Die Verwachsungsfläche des Periklingesetzes ist eine Fläche der Zone [010], die ihre Lage mit der Zusammensetzung des Plagioklases ändert und bei etwa 45 % Anorthitgehalt mit (001) zusammenfällt. In diesem Spezialfall wird der Periklin- zum Aklinzwilling.

Nach dem heutigen Stande der Erfahrung scheint es, dass die Periklinzwillinge mit ihrer variabeln Verwachsungsfläche nicht gleichzeitig mit Manebachzwillingen auftreten, sondern, dass dann Aklinzwillinge an ihre Stelle treten, die mit den Manebachern die Verwachsungsebene (001) gemeinsam haben.

Durch das gemeinsame Auftreten von Manebach- und Aklinzwillingen entstehen Zwillingspakete, die analog den Albit-Karlsbad-Zwillingsstöcken gebaut sind. Allerdings mit dem Unterschiede, dass im ersten Fall die normalhemitropen Manebachzwillinge, im zweiten die parallelhemitropen Karlsbadzwillinge auf wenige, breitere Individuen beschränkt sind, während die Aklin- und Albitlamellen sich gerne polysynthetisch wiederholen.

Die Zone ⊥ (010)

Die Auslöschungskurven der Zone ⊥ (010) ändern sich stark mit dem Anorthitgehalt der Plagioklase. In Figur 2 sind die Zonen-

auslöschungskurven der acht Plagioklastypen dargestellt, die von Duparc und Reinhard als Unterlage ihrer Arbeit verwendet wurden. Die Maxima der Kurven wurden besonders markiert und auf die Spur der Zwillingsebene (010) projiziert. Die Auslöschungsschiefen beziehen sich auf n'α und die Spur von (010).

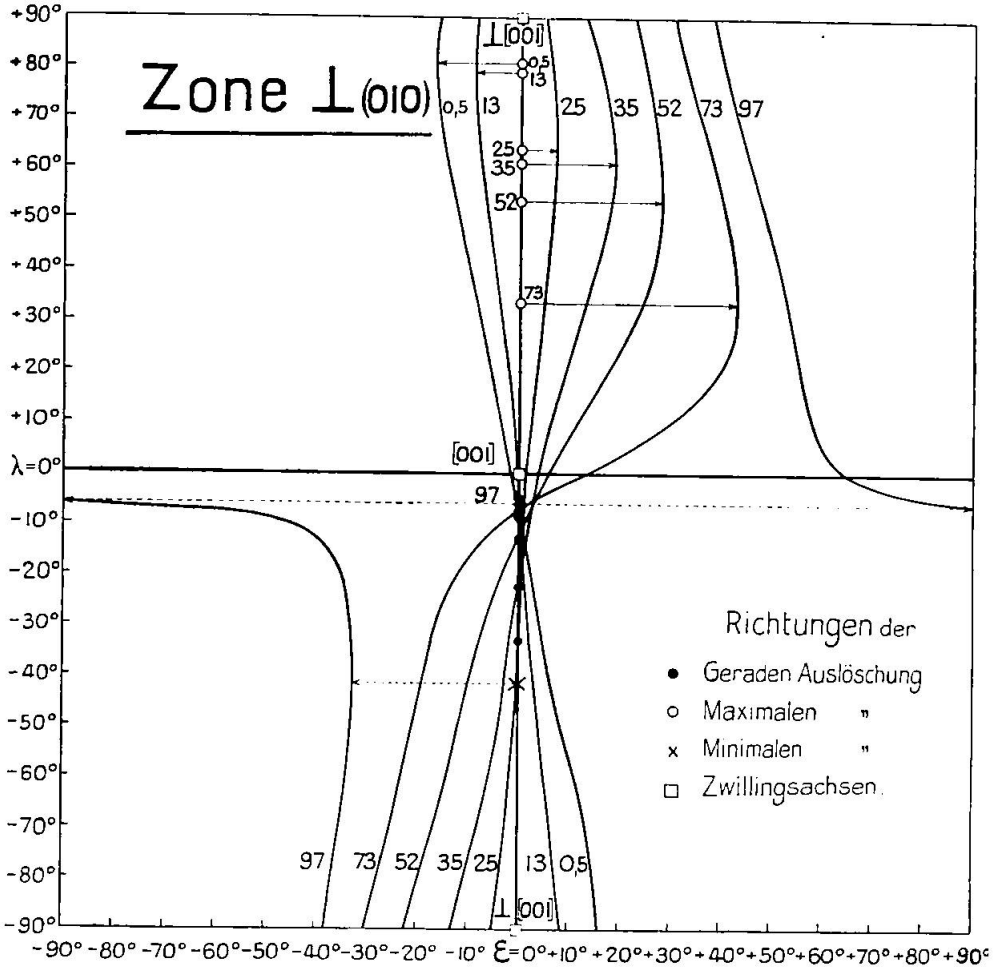


Fig. 2

Zone ⊥ (010). Zonenauslöschungskurven der acht Plagioklastypen. Ordinaten: Richtungen in (010), Abszissen: Auslöschungsschiefen ε von N'α zur Spur von (010). Die Zahlen 97, 73, 52 etc. bedeuten Anorthit %.

Gegenüber den gleichen Abbildungen bei Wülfing oder Duparc-Reinhard erscheint unsere Figur 2 spiegelbildlich und um 90° gedreht. Dies geschah, um, wie in den Diagrammen der Typenplagioklase der genannten Autoren, die Spur der Zwillingsebene (010) in die Nord-Südrichtung zu bringen und um den Vergleich mit unserer Figur 3 zu erleichtern. Die in Figur 2 auf der Spur von (010) eingetragenen Richtungen M und O erscheinen in Figur 3 wieder in analoger Stellung, aber entsprechend dem Anorthitgehalt horizontal auseinander gebreitet.

Als ausgezeichnete Richtungen der Zone ⊥ (010) kommen je nach den vorhandenen Zwillingen und der Sichtbarkeit der Spaltflächen folgende in Betracht:

[100]: Gekennzeichnet durch die Spaltbarkeit (001).

P: Gekennzeichnet durch die Verwachsungsfläche der Periklinzwillinge.

[001]: Gekennzeichnet als Zwillingsachse des Karlsbadergesetzes oder als Richtung senkrecht zur Achse des Albit-Karlsbad-Komplexes.

⊥ [001]: Gekennzeichnet als Zwillingsachse des Albit-Karlsbad-Komplexes oder als Richtung senkrecht zur Achse des Karlsbadergesetzes.

Ferner die beiden von morphologischen Eigenschaften unabhängigen Richtungen:

M der maximalen Auslöschungsschiefe und

O der geraden Auslöschung.

Von diesen sechs Richtungen sind [001] und ⊥ [001] unabhängig von der Zusammensetzung des Plagioklases und auch [100] ändert seine Lage vom Albit zum Anorthit nur um 0° 46', kann also praktisch ebenfalls als unveränderlich betrachtet werden. Starke Veränderungen der Lage mit dem Anorthitgehalt erfahren jedoch die Richtungen P, M und O. In Figur 3 sind diese Verhältnisse dargestellt.

Die Abszissen geben den Anorthitgehalt an, die Ordinaten die Richtungen dieser Zone, ausgedrückt in λ entsprechend der Gradeinteilung der Plagioklastypendiagramme. Die Angaben von Wülfing und Becke über die Lage der Periklinverwachsungsfläche gehen beim Albit und Oligoklas weit auseinander. Welche von den beiden Kurven die richtigere ist, lässt sich noch nicht entscheiden und ist für die hier gegebene Methode nebensächlich, da beide für die Auslöschungsschiefen in der Richtung P praktisch dieselben Werte ergeben.

Die Richtungen M und O lassen sich wegen der Flachheit der Kurven nicht genau feststellen. Aus diesem Grunde wurden ihre Örter als bandförmige Flächen dargestellt, die umso breiter erscheinen, je flacher die Maxima oder Nulldurchgänge der Kurven sind. Bei den Oligoklasen zwischen 18 und 23 % Anorthit umlaufen theoretisch die beiden Richtungen M und O fast die ganze symmetrische Zone. Da sich aber die Auslöschungsschiefen unter 2° bis 3° halten, ist eine Feststellung der Lage des Maximums und der geraden Auslöschung praktisch unmöglich. Oligoklase sind

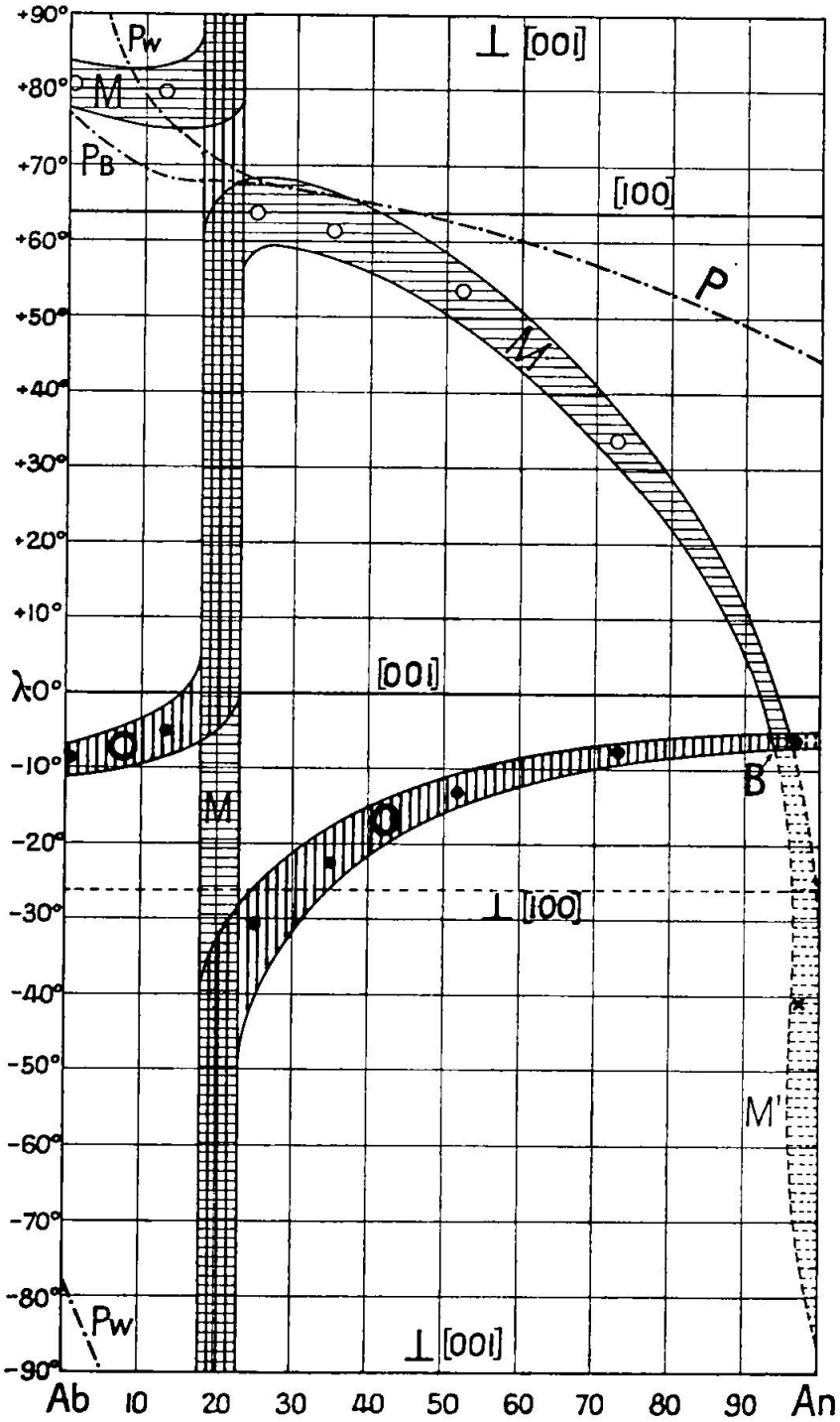


Fig. 3

Zone ⊥ (010). Relative Lage der ausgezeichneten Richtungen in (010).

Ordinaten: Richtungen in (010), Abszissen: Anorthitgehalt. [100] = Richtung der Spaltrisse nach (001), [001] = Achse des Karlsbader-Gesetzes. ⊥ [001] = Achse des Albit-Karlsbad-Komplexes. P = Richtung der Periklinverwachsungsebene, P_W nach WÜLFING, P_B nach BECKE, M = Richtung der maximalen Auslöschungsschiefe. O = Richtung der geraden Auslöschung. Die übrigen Signaturen wie in Fig. 2.

als solche gerade an den kleinen Auslöschungsschiefen in der ganzen Zone leicht zu erkennen. Die Bestimmung der Zwillingsgesetze ist bei ihnen nicht durchzuführen, da auch die Richtungen der Achsen paralleler oder komplexer Hemitropie mangels deutlicher Auslöschungsschiefe nicht als solche erkannt werden können. Mit der Fedorow-Nikitin-Methode ist in diesem besonderen Falle das Zwillingsgesetz auch nicht zu bestimmen, da die optische Orientierung in den Oligoklasen sehr nahe an die höhere monokline Symmetrie herankommt. Es gibt jedoch keinen Oligoklas von wirklich monokliner optischer Orientierung, da für keinen zugleich die Achsenebene senkrecht auf (010) steht und die Bissektrix in (010) liegt.

Die Auslöschungsschiefen in den durch besondere Merkmale ausgezeichneten Richtungen der Zone ⊥ (010) können teilweise zur Bestimmung des Anorthitgehaltes dienen. In Tabelle I sind diese Werte für alle in Betracht kommenden Richtungen für das Individuum 1 in Grundstellung und den Karlsbaderzwilling 2 angeführt. In den Richtungen der Zwillingsachsen [001] und ⊥ [001] löschen die Individuen 1 und 2 absolut gleich aus. Es soll noch in Erinnerung gebracht werden, dass in den Albit-Zwillingspaaren 1—1' und 2—2' symmetrisch gleiche Auslöschung herrscht, weshalb in der Tabelle die Auslöschungsschiefen von 1' und 2' nicht angeführt sind.

Tabelle I

Auslöschungsschiefen von n'_α zur Spur (010) für Ausgangsindividuum 1 und Karlsbaderzwilling 2 in den ausgezeichneten Richtungen der Zone ⊥ (010)

% An	[100]		P n. Wülfing		P n. Becke		[001]	⊥[001]	M		O
	1	2	1	2	1	2	1 = 2	1 = -2	1	2	2
0.5	-14½°	+12°	-15°	+16½°	-16°	+14°	- 1½°	+16°	-16½°	+15°	- 3°
13	- 8°	+ 5½°	- 8½°	+ 7°	- 8°	+ 6°	- 0½°	+ 8½°	- 8½°	+ 7½°	- 0½°
20	- 0½°	+ 1°	- 0½°	+ 1°	- 0½°	+ 1°	+ 1°	+ 1°	- 1°	+ 1°	+ 1°
25	+ 7°	- 2°	+ 7°	- 2°	+ 7°	- 2°	+ 2°	- 5°	+ 7°	- 2°	+ 5°
35	+18°	- 7°	+18½°	- 7°	+18½°	- 7°	+ 4°	-13°	+18½°	- 6°	+10°
52	+27½°	-15½°	+28°	-15°	+28°	-15°	+ 6½°	-22½°	+28°	-13°	+13½°
73	+38°	-23½°	+39½°	-22½°	+40°	-22°	+11½°	-30°	+43°	-18°	+26°
97	+45°	-34½°	+49°	-33°	+49°	-33°	+64°	-38½°	+90°	+61°	+61°

Auf Grund dieser Werte wurden die Kurven der Figuren 4 und 5 gezeichnet. Die Auslöschungsschiefen in der Richtung P in Wülfings oder Beckes Orientierung sind sehr wenig voneinander verschieden, sodass eine Mittelkurve dieser Werte benützt werden kann.

In Figur 4 sind die Auslöschungskurven der Richtungen [100], P und M dargestellt. Alle drei Kurven zeigen einen ähnlichen Verlauf und fallen sogar für intermediäre Plagioklase völlig zusammen. Der ziemlich gleichmässige Verlauf, besonders der ersten beiden Kurven, ist zur Bestimmung des Anorthitgehaltes sehr günstig. Da die Spaltbarkeit nach (001) oder die Periklinverwachsungsfläche mit (010) einen Winkel von ungefähr 86° bildet, kann man das Vorzeichen der Auslöschung bestimmen: Es ist positiv, wenn n'_α im spitzen Winkel zwischen den Pinakoiden, resp. Verwachsungsflächen liegt.

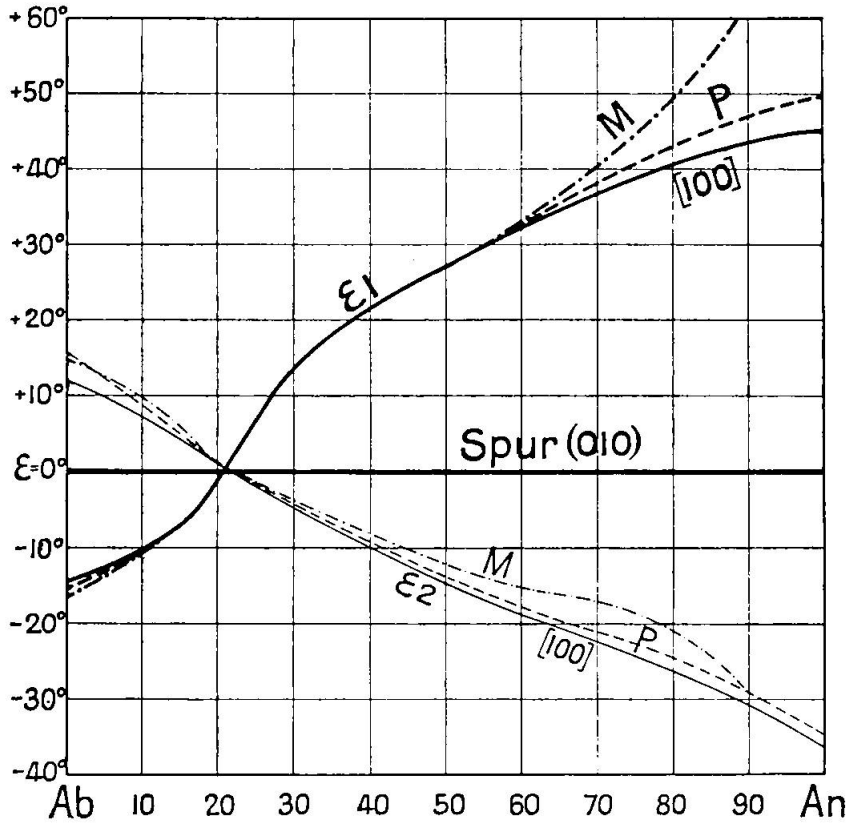


Fig. 4

Zone ⊥ (0 1 0). Auslöschungsschiefen ε von n'_α zur Spur von (010) in den Richtungen [100] = Spur der Spaltrisse nach (001) in (010), P = Spur der Periklinverwachsungsebene und M = maximalen Auslöschungsschiefe.

$[100]_2$, P_2, M_2 = konjugierte Werte im Karlsbadzwilling.

Ordinaten: Auslöschungsschiefe, Abszissen: Anorthitgehalt.

Feine Spaltrisse nach (001) sind sehr häufig wahrnehmbar und lassen sich leicht einstellen, sodass die Richtung [100] oft zur Bestimmung des Anorthitgehaltes verwendet werden kann.

Periklinlamellen, die die Richtung P charakterisieren, sind im allgemeinen bei sauren Plagioklasen selten. Ihre Häufigkeit nimmt aber mit zunehmendem Anorthitgehalt rasch zu, sodass die Richtung P bei intermediären und basischen Plagioklasen eine grosse Rolle spielt.

Die Lage der Richtung M, für die die Auslöschungsschiefe den Maximalwert erreicht, kann, wie schon erwähnt, nicht genau bestimmt werden. Da aber die Auslöschungskurven flache Maxima haben, so sind die Auslöschungsschiefen auch für M benachbarte Richtungen dem Maximalwerte praktisch gleich. Im Gegensatz zu den Richtungen [100] und P lässt sich das Vorzeichen der Auslöschungsschiefe in der Richtung M nicht ohne weiteres bestimmen. Bis 35 % Anorthit sind die Resultate doppelsinnig, wodurch die Verwendbarkeit dieser Kurve eine starke Einschränkung erleidet. Berücksichtigt man nicht nur die Grösse der maximalen Auslöschung, sondern auch die relative Lage der Richtung M in der Zone ⊥ (010), wie sie in Figur 3 ablesbar ist, so kann in den meisten Fällen das Vorzeichen der Auslöschungsschiefe bestimmt werden.

Für die Plagioklase von mehr als 90 % Anorthit wird die Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe unmöglich, da die Richtung M zu nahe an die optische Achse B herantritt, sodass die Doppelbrechung nicht mehr wahrzunehmen ist. Die Kurve wurde daher bei 90 % abgebrochen.

Allen drei Richtungen [100], P und M im Ausgangsindividuum sind charakteristische Auslöschungsschiefen der anderen Zwillingsindividuen zugeordnet, deren Messung zur Kontrolle des Anorthitgehalts dienen kann. Ausserdem erlauben sie eine Bestimmung des vorhandenen Zwillingsgesetzes. Erfolgt die Auslöschung im Zwillingsindividuum symmetrisch zu der des Ausgangsindividuums, so liegt ein Albitzwilling vor, ist sie kleiner und von entgegengesetztem Vorzeichen, so handelt es sich um einen Karlsbadzwilling, ist sie endlich kleiner und gleich gerichtet wie im Ausgangsindividuum, so ist ein Albit-Karlsbad-Komplex vorhanden.

Die Richtung O der geraden Auslöschung ist zur Bestimmung des Anorthitgehalts nicht geeignet, da der Kurvenverlauf der Auslöschungsschiefen im Karlsbader oder Komplexzwilling sehr unregelmässig ist. Die Lage dieser Richtung kann jedoch wichtig werden zur Unterscheidung von [001] und ⊥ [001].

Die Richtungen [001] und ⊥ [001] können beim Vorhandensein von Karlsbad- oder Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen als

Zwillingsachsen oder als Richtungen senkrecht zu solchen an ihrem optischen Verhalten erkannt werden, wie dies auf Seite 5 schon beschrieben wurde. Die Auslöschungskurven dieser Richtungen sind in Figur 5 dargestellt. Ihr Verlauf ist zur Bestimmung des Anorthitgehaltes nur teilweise günstig. Zur Erkennung des Vorzeichens der Auslöschungsschiefen kann man sich der relativen

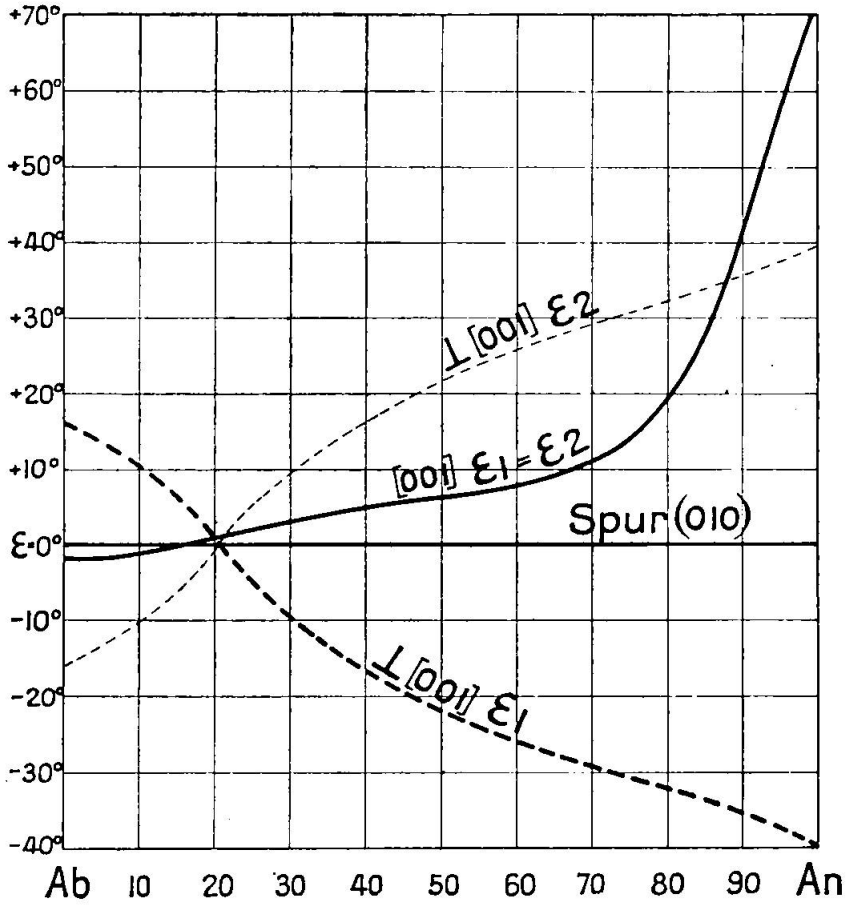


Fig. 5.

Zone ⊥ (0 1 0). Auslöschungsschiefen ε von n'_α zur Spur von (010) in den Richtungen [001] = Achse des Karlsbader Gesetzes und ⊥ [001] = Achse des Albit-Karlsbad-Komplexes.

⊥ $[001]_2$ = konjugierter Wert im Karlsbadzwilling.

Ordinaten: Auslöschungsschiefen, Abszissen: Anorthitgehalt.

Lagen der Richtungen O, M und P bedienen. Es ist darauf zu achten, dass in Bezug auf das Vorzeichen in der Richtung [001] die durch das Karlsbadergesetz verbundenen Individuen 1—2 und 1'—2' paarweise gleich sind, während in der Richtung ⊥ [001] die Paare 1—2' und 1'—2 gleiche und gleichsinnige Auslöschungsschiefen aufweisen. Da vorerst die Art des vorhandenen Zwillingsgesetzes nicht bekannt ist, kann man nicht wissen, ob die gefundene

Richtung der Zwillingsachse [001] oder ⊥ [001] entspricht. Zur Entscheidung dieser Frage müssen andere ausgezeichnete Richtungen der Zone ⊥ (010) aufgesucht werden. Aus Figur 3 ist zu entnehmen, dass [001] durch die Nähe der Richtung O der geraden Auslöschung gekennzeichnet ist. Die Richtung ⊥ [001] kann dagegen an der relativen Nähe der Spaltrisse nach (001) oder der Periklinlamellen erkannt werden. Bei sauren Plagioklasen kann auch die Lage der Richtung M zur Entscheidung herangezogen werden.

Zur Zone ⊥ (010) gehören auch die Ala-B-Zwillinge und deren Komplexe mit dem Albitgesetz. Im allgemeinen sind sie sehr selten, können aber in gewissen Gesteinen ausnahmsweise häufig werden, wie z. B. im „Taveyannaz-Sandstein".[1]) Sie sollen daher anhangsweise erwähnt werden.

Zwillingsachse ist [100], Verwachsungsfläche (010). Die Zwillingsachse kann an der parallel gerichteten Spaltbarkeit nach (001) leicht erkannt werden. Ist diese nicht sichtbar, so kann bei approximativer Kenntnis des Anorthitgehalts die relative Lage der Richtung M der maximalen Auslöschungsschiefe oder P bei eventuell vorhandenen Periklinlamellen den Ausschlag geben. Die Achse des Albit-Ala-B-Komplexes ⊥ [100] ist durch die Nähe der Richtung

Tabelle II

Auslöschungsschiefen von n'_α zur Spur (010) in den Richtungen [100] und ⊥ [100]

% An	[100]	⊥ [100]	% An	[100]	⊥ [100]
0.5	$-14\frac{1}{2}^0$	$+3^0$	35	$+18^0$	$-0\frac{1}{2}^0$
13	-8^0	$+1\frac{1}{2}^0$	52	$+27\frac{1}{2}^0$	$-4\frac{1}{2}^0$
20	$-0\frac{1}{2}^0$	$+1^0$	73	$+38^0$	-14^0
25	$+7^0$	$+0\frac{1}{2}^0$	97	$+45^0$	$-34\frac{1}{2}^0$

O der geraden Auslöschung gekennzeichnet, könnte aber mit der zu O ähnlich gelegenen Achse [001] der Karlsbaderzwillinge verwechselt werden. Eine Unterscheidung ist dadurch möglich, dass man im gleichen Abstand von O (nicht unter 25°) beiderseits die Auslöschungsschiefe bestimmt. Diese nimmt bei intermediären Plagioklasen gegen $\lambda = -90°$ hin langsamer zu als in der entgegengesetzten Richtung. ⊥ [100] liegt also in der Richtung der kleineren der beiden Auslöschungsschiefen. An Hand der Figur 3

[1]) F. DE QUERVAIN: Zur Petrographie und Geologie der Taveyannaz-Gesteine. Schweiz. min. petr. Mitt. VIII. 1. — 1928.

dürfte in den weitaus meisten Fällen das Ala-B-Gesetz an der relativen Lage der ausgezeichneten Richtungen erkannt werden, besonders wenn man die Auslöschungsschiefen berücksichtigt. Diese sind in Tabelle II für die Richtung ⊥ [100] angeführt. Die entsprechenden Werte für die Richtung [100] sind bereits in Tabelle I und Figur 4 gegeben worden.

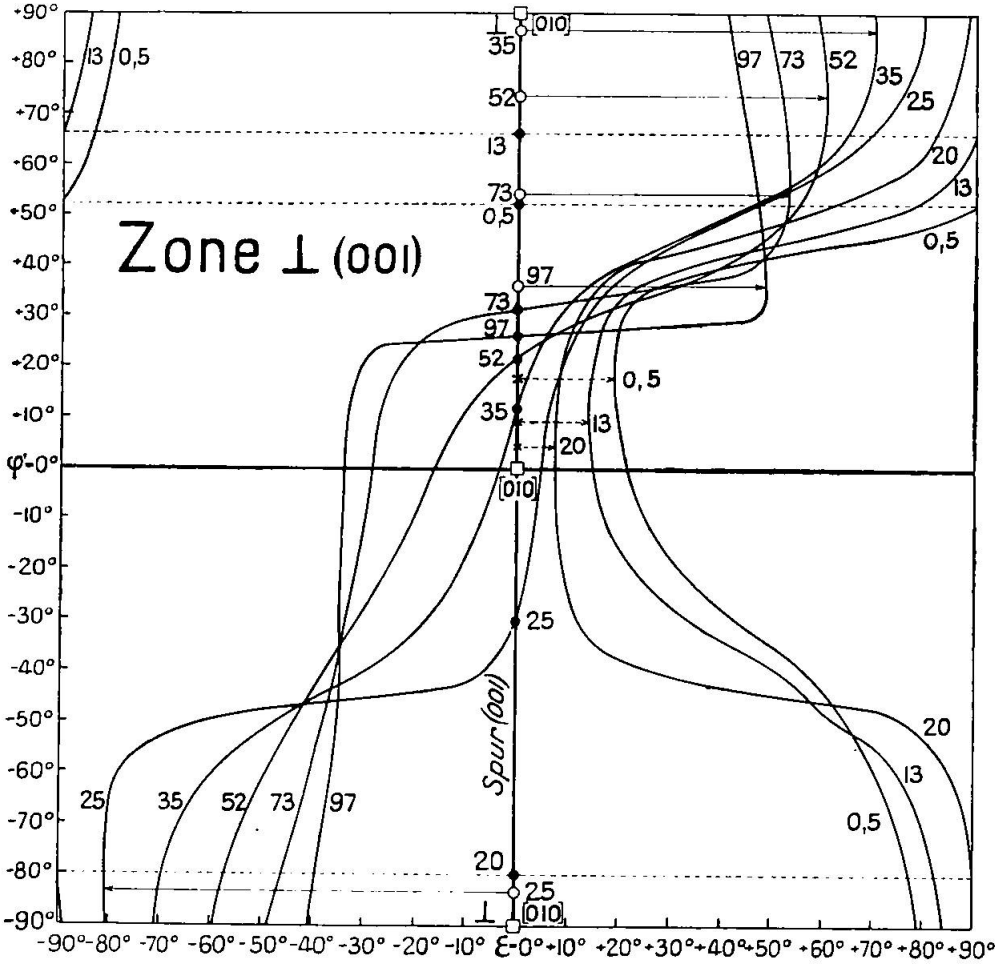


Fig. 6

Zone ⊥ (0 0 1). Zonenauslöschungskurven der acht Plagioklastypen. Ordinaten: Richtungen in (001), Abszissen: Auslöschungsschiefen ε von n'_α zur Spur von (001). Die Signaturen ● ○ × wie in Fig. 2.

Die Zone ⊥ (001)

Die optischen Eigenschaften dieser Zone kommen in Figur 6 in analoger Weise zur Darstellung, wie dies in Figur 2 für die Zone ⊥ (010) geschah. Die Zonenauslöschungskurven beziehen sich auf dieselben acht Plagioklastypen, die der Arbeit von Duparc und Reinhard zugrunde gelegt sind. Die Werte der Auslöschungsschiefen wurden mit Hilfe der Fresnelschen Konstruktion auf einem Wulff-

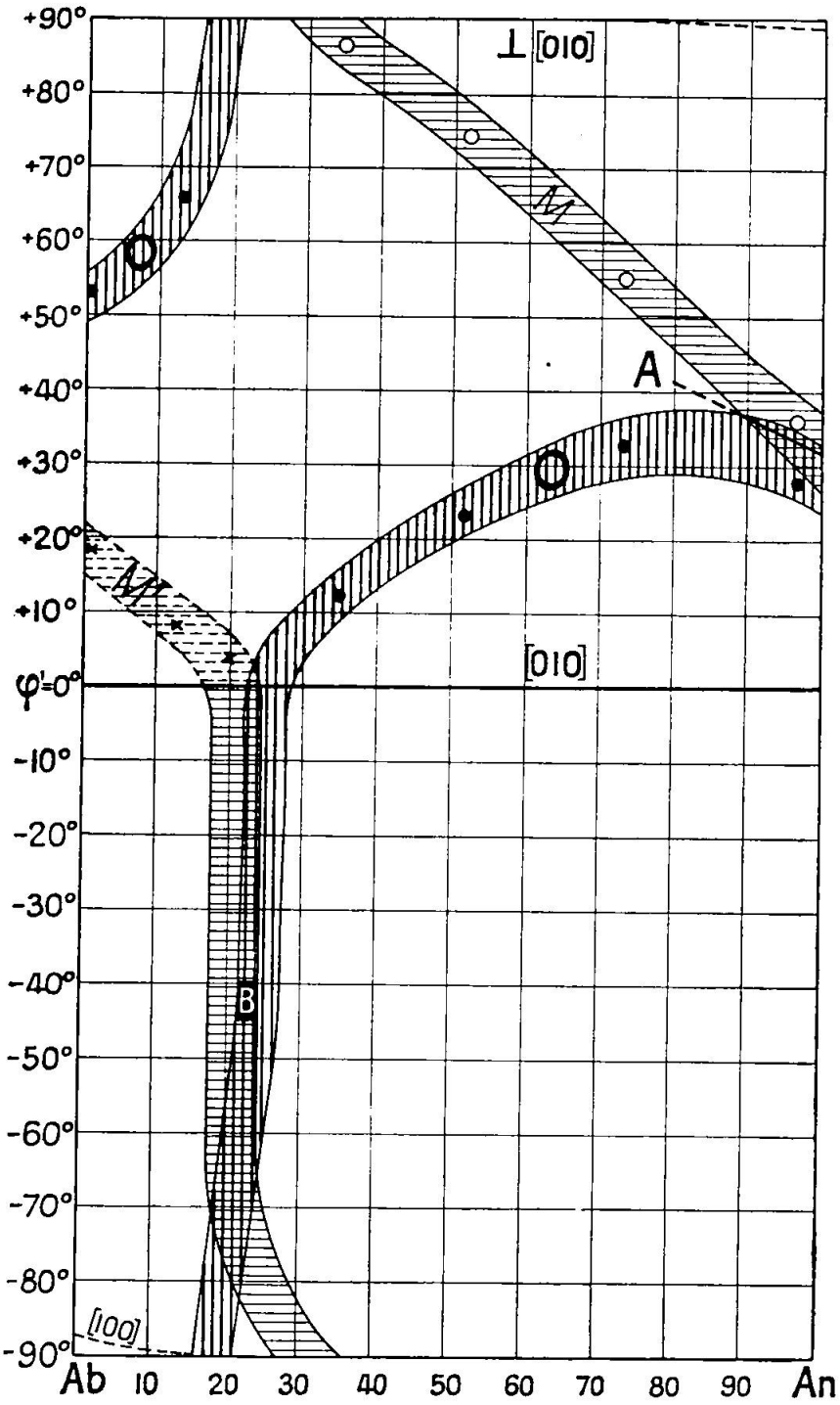


Fig. 7

Zone ⊥ (0 0 1). Relative Lage der ausgezeichneten Richtungen in (001).

Ordinaten: Richtungen in (001), Abszissen: Anorthitgehalt. [100] = Richtung der Spaltrisse nach (010), [010] = Achse des Aklingesetzes, ⊥ [010] = Achse des Manebach-Aklin-Komplexes. M = Richtung der maximalen, M' = der minimalen Auslöschungsschiefe. O = Richtung der geraden Auslöschung. A und B = optische Achsen. Die Signaturen wie in Fig. 2.

schen Netz ermittelt. Sie beziehen sich jetzt auf den Winkel n'_a zur Spur von (001) und nicht auf (010) wie in den Typendiagrammen und unseren Figuren 2 bis 5. Die Gradeinteilung φ' der Zone $\perp$ (001) wurde so gewählt, dass die Richtung [010] als Nullpunkt fungiert, von dem aus nach oben positives, nach unten negatives Vorzeichen angenommen wurde.

Die Abhängigkeit der Lage der ausgezeichneten Richtungen M und O vom Anorthitgehalt ist in Figur 7 dargestellt.

Auch hier ändern M und O zwischen 20 und 25 % Anorthit sehr rasch ihre Lage, und die Kurven der Auslöschungsschiefen verlaufen in der Nähe der Maxima und der Stellung gerader Auslöschung sehr flach. Trotzdem liegen hier die Verhältnisse viel günstiger als in der Zone $\perp$ (010), da die Auslöschungsschiefen in den verschiedenen Richtungen stark variieren und die Richtung $\varphi' = -43^0$ durch die unmittelbare Nähe der optischen Achse B gekennzeichnet ist, wonach die Zonen $\perp$ (010) und $\perp$ (001) bei Oligoklasen sofort unterschieden werden können. Bei den intermediären und basischen Plagioklasen sind die Beziehungen zwischen den Richtungen M und O sehr ähnlich in beiden Zonen.

Die Nähe der optischen Achse A macht sich in der Zone $\perp$ (001) bei fast allen Plagioklasen bemerkbar. Besonders stark tritt dies bei Bytownit-Anorthiten in der Richtung $\varphi' = +35^0$ in Erscheinung. Wie in der Zone $\perp$ (010) wird bei diesen basischen Plagioklasen auch hier die Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe durch die viel zu schwache Doppelbrechung verunmöglicht.

Die Zonenauslöschungskurven der Plagioklase unter 20 % Anorthit besitzen keine Maxima, sondern Minima der Auslöschungsschiefe (M') und die gerade Auslöschung der Richtung O wird durch den Auslöschungswinkel 90^0 bedingt und nicht durch einen Nulldurchgang der Kurve.

Ausser M und O können in der Zone $\perp$ (001) noch die Richtungen [100] und [010] durch besondere Eigenschaften ausgezeichnet sein.

[100]: Gekennzeichnet durch die Spaltbarkeit nach (010). Gegenüber der Zone $\perp$ (010) haben hier die Pinakoide (010) und (001) ihre Funktionen vertauscht. Natürlich kann (010) auch an eventuell vorhandenen Zwillingslamellen (z. B. Albitzwillingen) erkannt werden. In diesem Falle steht es im Belieben des Beobachters, die Zone $\perp$ (001) oder die $\perp$ (010) zur Messung zu verwenden.

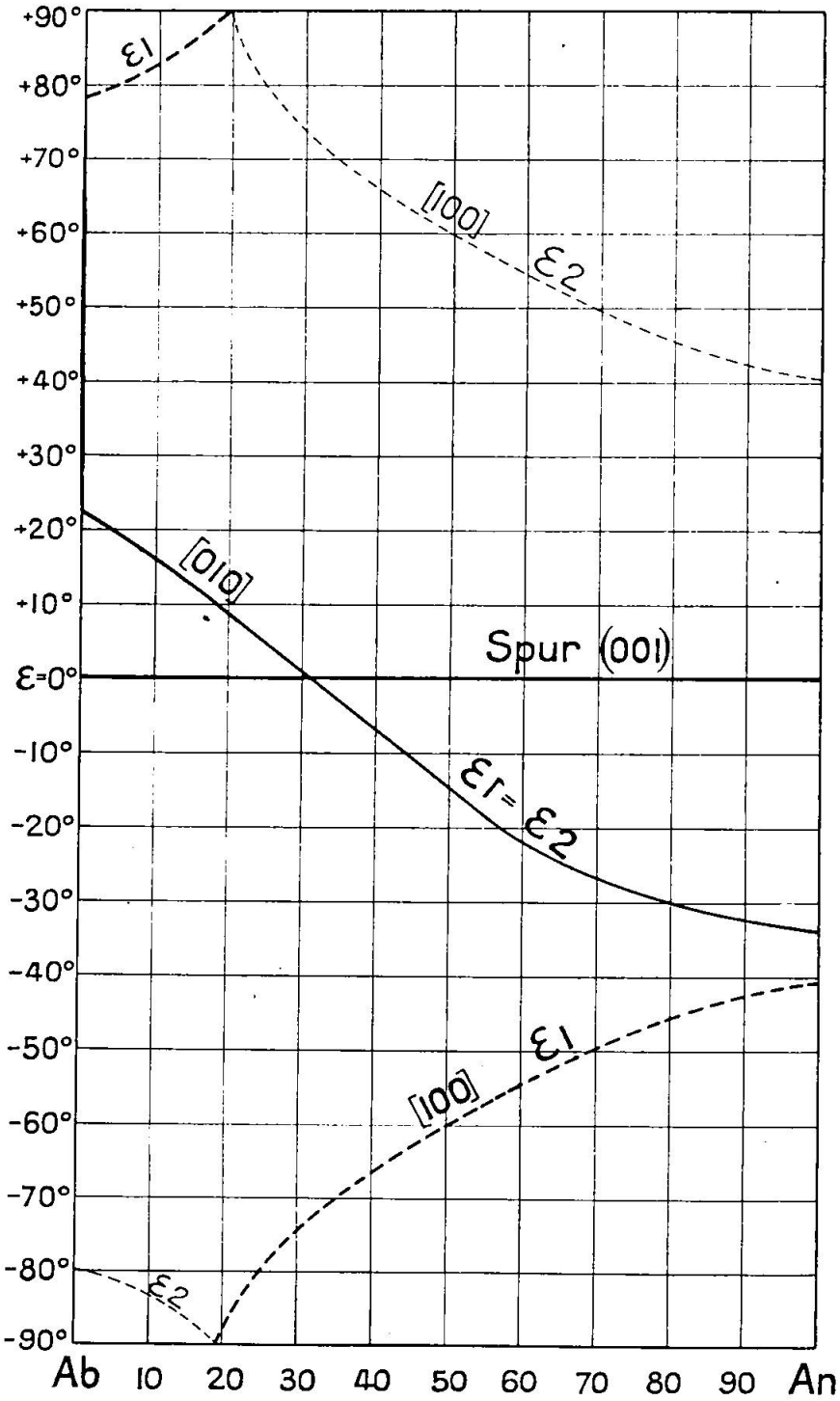


Fig. 8

Zone ⊥(001). Auslöschungsschiefen ε von n'_α zur Spur von (001) in den Richtungen [100] = Spur der Spaltrisse nach (010) oder der Albitlamellen, [010] = Achse des Aklingesetzes.

$[100]_2$ = konjugierter Wert im Aklinzwilling.

Ordinaten: Auslöschungsschiefen, Abzissen: Anorthitgehalt.

[010]: Gekennzeichnet als Achse des Aklin- und Periklingesetzes und als Richtung senkrecht zur Achse des Manebach-Aklin-Komplexes.

⊥ [010]: Gekennzeichnet als Achse des Manebach-Aklin-Komplexes und als Richtung senkrecht zur Achse des Aklingesetzes.

Wie wir schon auf Seite 9 ausgeführt haben, fällt die Richtung ⊥ [010] praktisch mit [100] zusammen und ist daher durch die Spaltrisse nach (010) vor [010] ausgezeichnet. Sind die Spaltrisse nicht zu erkennen, so kann die relative Lage von M oder O die Unterscheidung der beiden Achsen erlauben. Aus Figur 7 sind diese Beziehungen zu entnehmen. Bei den sauren Plagioklasen ist O näher an [100], bei den intermediären näher an [010] gelegen. Bei Bytownit-Anorthiten ist eine Unterscheidung auf Grund dieser Beziehungen nicht möglich, da sich M und O in der Nähe der optischen Achse A beinahe gleich weit von [100] wie von [010] entfernt befinden.

Tabelle III

Auslöschungsschiefen von n'_a zur Spur (001) für Ausgangsindividuum 1 und Aklinzwilling 2 in den Richtungen der Zone ⊥ (001)

% An	[100]		[010]	M		M'		O
	1	2	1 = 2	1	2	1	2	2
0.5	+78½°	-80°	+22°	—	—	-18½°	-31°	-60°
13	+84½°	-85°	+14°	—	—	-14°	-17½°	-78°
20	-88½°	+88½°	+ 8½°	—	—	- 7½°	- 8°	+87°
				nahe der optischen Achse B				
25	-80°	+80°	+ 5°	-80½°	+78½°	—	—	-18°
35	-70½°	+70½°	- 3°	-70½°	+70°	—	—	- 7°
52	-59°	+59°	-16°	-61°	+55°	—	—	-26°
73	-48½°	+48½°	-28°	-53°	+39°	—	—	-33°
97	-41°	+41°	-33½°	nahe A	+34°	—	—	-34°

Tabelle III gibt eine Zusammenstellung der Auslöschungsschiefen der ausgezeichneten Richtungen in der Zone ⊥ (001), bezogen auf n'_a und die Spur (001) als Direktionslinie. Nach diesen Werten sind die Auslöschungskurven der Figuren 8 und 9 konstruiert.

Die Auslöschungskurve der Richtung [010] verläuft günstig zur Bestimmung des Anorthitgehaltes. Der Sinn der Auslöschung im parallelhemitropen Zwillingsindividuum ist für die Art des Zwillingsgesetzes massgebend. Bei Aklinzwillingen sind die beiden Auslöschungsschiefen gleich gerichtet, für Komplexzwillinge Manebach-Aklin sind sie symmetrisch.

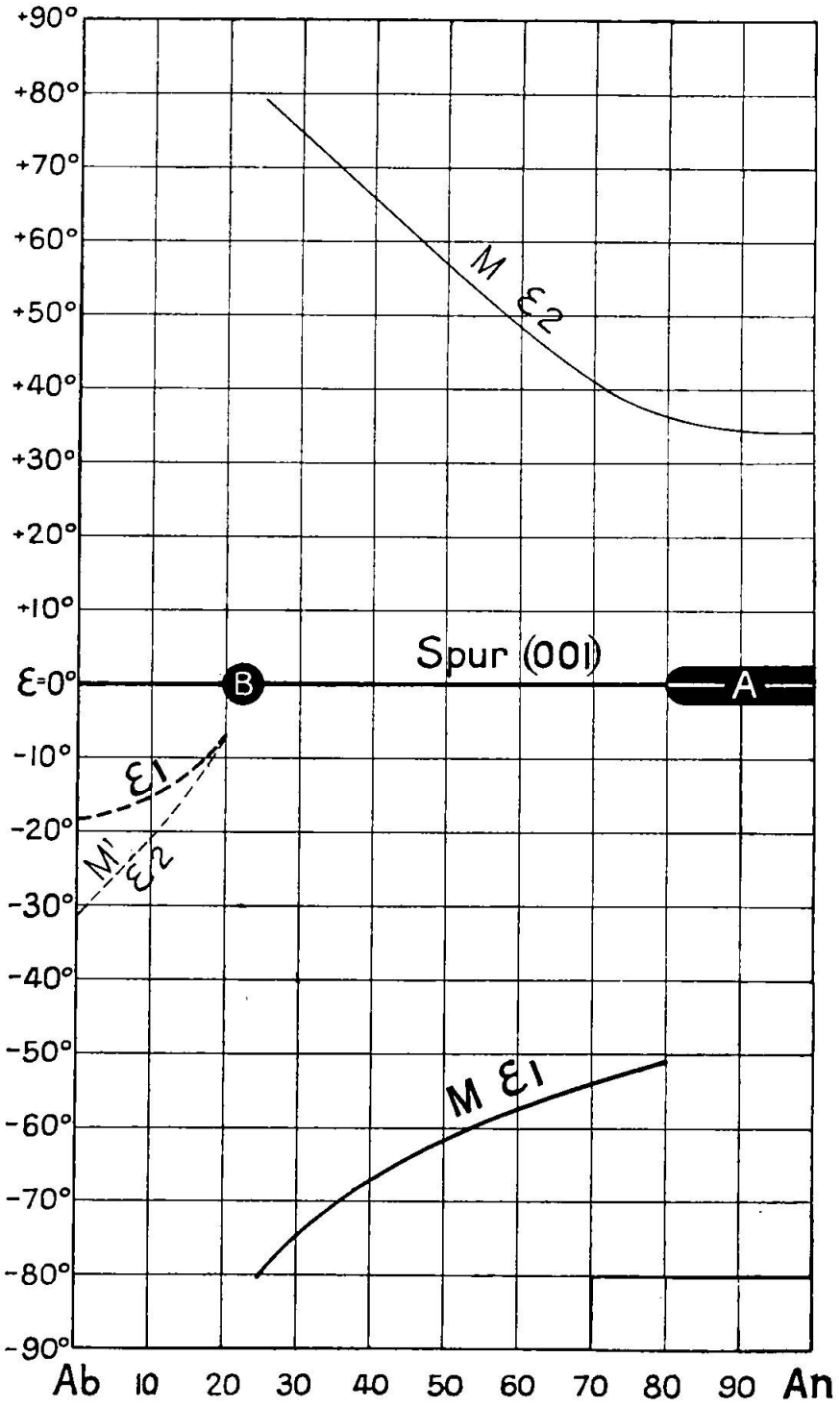


Fig. 9

Zone ⊥(001). Extreme Werte der Auslöschungsschiefen ε von n'_a zur Spur von (001). M = maximale, M' = minimale Auslöschungsschiefe. M_2 und M'_2 = konjugierte Werte im Aklinzwilling. A und B = optische Achsen. Ordinaten: Auslöschungsschiefe, Abszissen: Anorthitgehalt.

Die Auslöschungskurve der Richtung [100] hat zur Bestimmung des Anorthitgehaltes ebenfalls einen sehr günstigen Verlauf, da sie der Auslöschungskurve dieser Richtung, bezogen auf die Spur (010), fast genau in einem Abstand von 93° parallel geht. Der Wert der Auslöschungsschiefe im parallel hemitropen Zwilling kann zur Kontrolle des Anorthitgehaltes, ihr Sinn zur Feststellung des Zwillingsgesetzes dienen. Erfolgen die Auslöschungen in beiden Individuen symmetrisch, so liegt ein Aklinzwilling vor, sind sie gleich gerichtet, so handelt es sich um einen Komplex Manebach-Aklin.

Die Kurve der maximalen Auslöschung kann nur bei intermediären Plagioklasen zur Bestimmung benützt werden. Bei den Albiten und Oligoklasen erreicht sie immer 90°, hier kann jedoch das Minimum der Auslöschungsschiefen dieselben Dienste leisten wie sonst das Maximum. Die Figuren 6 und 9 geben darüber Aufschluss. Bei Oligoklasen von 20 bis 25 % Anorthit und bei Plagioklasen über 80 % verhindert die Nähe der optischen Achsen die Messung wegen der zu schwachen Doppelbrechung. Die Kurve wurde daher an diesen Stellen abgebrochen, obschon ihr Verlauf theoretisch festzustellen wäre. Bei Gegenwart von parallel hemitropen Zwillingen entscheidet der Sinn der Auslöschungsschiefe wiederum über das Zwillingsgesetz. Bei Aklinzwillingen löschen die beiden Individuen im entgegengesetzten Sinne aus, bei Komplexzwillingen im selben Sinne.

Die beiden Zonen senkrecht zu den Zwillingsebenen der Plagioklase wurden eingehend besprochen. Es käme noch eine Diskussion der Zone senkrecht der Verwachsungsfläche des Periklingesetzes in Frage, aber die Unsicherheit über die Lage derselben ist zu gross, um Schlüsse auf das optische Verhalten ihrer Richtungen zu ziehen. Einzig die Richtung senkrecht zur Zwillingsachse, d. h. ⊥ [010] erlaubt eine brauchbare Bestimmung der Auslöschungsschiefe. Bezieht man diese auf die Spur von (010), so können die entsprechenden Werte des Anorthitgehalts aus Figur 4, Kurve P entnommen werden.

Unterscheidungsmerkmale der Zonen ⊥ (010) und ⊥ (001)

Morphologische und optische Kennzeichen erlauben fast immer eine sichere Unterscheidung der beiden Zonen. Normalhemitrope Zwillinge sind an der symmetrischen Auslöschung der beiden Individuen in Bezug auf die Spur der Zwillingsebene leicht zu er-

kennen. Ihnen stehen die asymmetrisch auslöschenden parallel- oder komplexhemitropen Zwillinge gegenüber.

Eine allgemein gültige Regel über die Ausbildungsform der verschiedenen Zwillinge kann nicht gegeben werden, immerhin mögen folgende Angaben zu einer ersten Orientierung nützlich sein:

Normalhemitrope, mittelbreite bis sehr schmale Lamellen mit polysynthetischer Wiederholung sind Albitzwillinge: Zone ⊥ (010).

Normalhemitrope Zwillinge, die im allgemeinen auf zwei oder wenige, breitere Individuen reduziert sind, gehören höchstwahrscheinlich dem Manebachergesetz an. Sie enthalten hie und da parallelhemitrope Aklinlamellen: Zone ⊥ (001).

Parallelhemitrope, mittlere bis schmale, oft polysynthetisch wiederholte Lamellen sind Periklin- oder Aklinzwillinge. Von diesen sind die Periklinzwillinge weitaus die häufigsten. Sie treten allein oder zusammen mit Albitzwillingen auf, zu denen sie annähernd senkrecht stehen. Dagegen scheinen Aklinlamellen nicht allein, sondern immer kombiniert mit Manebachzwillingen aufzutreten: Zone ⊥ (001).

Parallelhemitrope Zwillinge, meist auf zwei oder wenige, breite Individuen reduziert, die fast immer schmale normalhemitrope Albitlamellen enthalten, gehören zum Karlsbader Gesetz oder dessen Komplex mit dem Albitgesetz. Morphologisch ähnlich sind die viel selteneren Ala-B-Zwillinge, die nur nach optischen Merkmalen von ihnen zu unterscheiden sind: Zone ⊥ (010).

Eines der wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der beiden Zonen ist der optische Charakter der Zonenachsen. Aus den Figuren 2 und 6 ist zu entnehmen, dass die Auslöschungsschiefen von n'_a, bezogen auf die Spuren der Zwillingsebenen, für die beiden Zonen innerhalb verschiedener Grenzen variieren. In der Zone ⊥ (010) ist der Winkel n'_a zur Spur von (010) für alle Plagioklase von 0 % bis 75 % Anorthit immer kleiner als 45°. Für Bytownite ist er für den grössten Teil der Zone nicht wesentlich von 45° verschieden, um dann in bestimmten Richtungen rasch zu 0° abzusinken. Bei Anorthiten hält er sich vorwiegend ebenfalls in der Nähe von 45°, um dann bei der optischen Achse B rasch zu 90° anzusteigen.

Die Auslöschungsschiefen in der Zone ⊥ (001) zeigen für alle Plagioklase eine viel grössere Variabilität, die immer mehr als 55° umfasst. Bytownit-Anorthit zeigt jedoch in beiden Zonen ein ähnliches Verhalten. Auch in der Zone ⊥ (001) ist der Winkel n'_a

zur Spur (001) bei den basischen Plagioklasen meist nahe an 45° und fällt in der Nähe der optischen Achse A rasch auf 0°.

Bei sauren und intermediären Plagioklasen ist der optische Charakter der Zonenachse ⊥ (010) positiv, derjenige der Zonenachse ⊥ (001) variabel. Bei Bytownit und Anorthit ist er in beiden Zonen variabel, aber in der Hauptsache schwach ausgeprägt.

Weitaus in den meisten Fällen genügen die morphologischen Merkmale und der optische Charakter der Zonenachse zur sicheren Erkennung der beiden möglichen Zwillingsebenen. Es sei noch bemerkt, dass die Zone senkrecht zur Verwachsungsebene des Periklingesetzes sich optisch ähnlich verhält wie die Zone ⊥ (001); morphologisch verhalten sich aber diese beiden Zonen verschieden.

Die Doppelbrechung erlaubt oft ebenfalls eine allerdings unsichere Charakterisierung der vorliegenden Zone. Für die sauren und intermediären Plagioklase variiert sie für die verschiedenen Richtungen in der Zwillingsebene (010) von 0.004 bis 0.009, während sie für die Richtungen in der Ebene (001) meist unter 0.004, immer aber unter 0.006 bleibt. Ihre niedrigsten Werte 0.0005 bis 0.0015 erreicht sie in der Nähe der optischen Achse A, die sich bei allen Plagioklasen nur wenig von der Ebene (001) entfernt. Bei Oligoklasen liegt auch die optische Achse B in der Ebene (001) oder sehr nahe derselben. Vom Albit bis zum basischen Labrador ist die Zone ⊥ (001) gegenüber der Zone ⊥ (010) durch die Nähe einer optischen Achse gekennzeichnet, die die niedrige Doppelbrechung bedingt. Die basischen Plagioklase zeigen jedoch für beide Zonen ähnliche Verhältnisse, da sich bei ihnen die optische Achse B der Ebene (010) und die optische Achse A der Ebene (001) nähert. In beiden Zonen variiert die Doppelbrechung von sehr niedrigen Werten bis 0.010 oder 0.012. Eine Unterscheidung der beiden Zonen ist bei Bytowniten und Anorthiten auf Grund der Doppelbrechung nicht möglich.

Weitere Möglichkeiten, die beiden Zonen voneinander zu unterscheiden, ergeben sich aus den Eigenschaften und Positionen der Zwillingsachsen der parallelen oder komplexen Hemitropien, wie wir in dem Abschnitt über die Erkennung der Zwillingsgesetze angedeutet haben.

Praktischer Teil.

Apparatur

Die Zonenmethode erfordert dieselbe Apparatur wie die Fedorow-Nikitinsche Methode: Theodolithmikroskop oder aufsetz-

barer Theodolithtisch. Da dieser letztere verbreiteter ist als die Spezialstative, so beziehen wir uns in den folgenden Beschreibungen ausschließlich auf ihn. Den Benützern eines Theodolithmikroskopes sei lediglich in Erinnerung gebracht, dass einer Drehung des Mikroskoptisches mit aufsetzbarem Theodolithtisch eine Drehung in umgekehrtem Sinne der Nicols des Spezialstativs entspricht, und dass an diesem die Lage der H- und J-Achse gegenüber dem Aufsatztisch um 90° gedreht erscheint. Für alles Nähere über Bezeichnung der Drehachsen, Prüfung und Justierung des Apparates verweisen wir auf die Arbeiten von Nikitin, Duparc-Reinhard und Berek.

Man wähle am besten Glashalbkugeln mit einem Brechungsindex von etwa 1.54, um Korrektionen der Neigungswinkel zu vermeiden. Die Glashalbkugeln und Objektive müssen frei von Spannungsdoppelbrechung sein.

Einstellung der Zonen

Der Dünnschliff wird wie bei der Fedorowschen Methode mit dem Deckglas nach oben und Glyzerin als Zwischenlage zwischen die Glashalbkugeln gebracht. Nachdem der zu messende Plagioklasschnitt durch Verschieben des Dünnschliffes in die Mitte des Fadenkreuzes gerückt wurde, schraube man die obere Glashalbkugel so leicht fest, dass der Dünnschliff nur eben in dieser Lage festgehalten wird. Starkes Anschrauben ist zu vermeiden, da sonst Spannungsdoppelbrechung auftreten kann, welche fehlerhafte Messungen zur Folge haben würde. Prinzipiell kann jeder verzwillingte Plagioklasschnitt zur Messung verwendet werden. Am besten eignen sich jedoch reich verzwillingte Schnitte mit scharfen Spuren der Zwillingsebenen, da sie mehrere Kontrollmöglichkeiten bieten und zur Orientierung der Zwillingsebene wenig geneigt werden müssen.

Die Einstellung der Zone senkrecht zur Zwillingsebene geschieht folgendermassen: Durch Drehen um die N-Achse des Theodolithtisches wird die Spur der Zwillingsebene parallel zum vertikalen Faden des Fadenkreuzes gestellt, wodurch sie senkrecht zur J-Achse und parallel zur H-Achse des Instrumentes zu liegen kommt. Bei möglichst starker Vergrösserung neigt man nun den Schliff um die H-Achse so, dass die Spur der Zwillingsebene in maximaler Schärfe erscheint. Um dies zu erleichtern, drehe man den Mikroskoptisch, bis die Zwillingslamellen eine günstige Aufhellung aufweisen, sodass die Spuren der Zwillings- oder Ver-

wachsungsflächen als scharfe, schwarze Linien von minimaler Breite erscheinen. Ist dies der Fall, so ist die Einstellung beendet. Die Zonenachse senkrecht zur Zwillingsebene fällt jetzt mit der J-Achse zusammen. Durch Neigen um die Kontrollachse J können die Richtungen parallel zur Zwillingsebene nacheinander in die Beobachtungsrichtung gebracht werden.

Bestimmung der Art der Hemitropie

Bei gekreuzten Nicols bringt man den Mikroskoptisch in die 0°-Stellung, sodass die J-Achse parallel dem horizontalen Nicolhauptschnitt zu liegen kommt und neige um die J-Achse so weit als möglich nach beiden Seiten. Grundsätzlich sind dabei im Verhalten der Zwillingslamellen zwei Fälle möglich:

1. Die Aufhellung zweier nebeneinander liegender Zwillinge ist in jeder beliebigen Richtung parallel zur Zwillingsebene gleich: Das Zwillingsgesetz ist eine normale Hemitropie.
2. Die Aufhellung zweier Zwillingsindividuen ist im allgemeinen verschieden und wird nur in bestimmten, 90° voneinander entfernten Richtungen einander gleich: Das Zwillingsgesetz ist eine parallele oder komplexe Hemitropie.

Bemerkung: Bei Oligoklasen ist die Aufhellung in allen Richtungen so schwach, dass eine Unterscheidung der beiden Fälle nicht möglich ist. Bei Bytownit-Anorthiten ist auch bei paralleler oder komplexer Hemitropie die Aufhellung beider Individuen für grössere Teile der Untersuchungszone fast gleich stark, ändert sich aber innerhalb des Beobachtungsgebietes doch merklich.

Bestimmung des optischen Charakters der Zonenachse

Man führe das Hilfsblättchen vom Rot I. Ordnung in den Tubusschlitz ein und bringe den Mikroskoptisch in die 45°-Stellung, so dass n_γ des Blättchens parallel zur J-Achse zu liegen kommt. Beim Neigen um J sind folgende Fälle möglich:

1. In allen Richtungen tritt intensive Blaufärbung ein, d. h. $J = n'_\gamma$. Der optische Charakter der Zonenachse ist positiv. Die Zone ist die $\perp$ (010) bei Plagioklasen von 0 % bis 75 % Anorthitgehalt.
2. Die Farbe wechselt in den verschiedenen Richtungen von blau über rot nach gelb: Der optische Charakter der Zonenachse ist variabel: Die Zone ist die $\perp$ (001) oder die senkrecht zur

Periklinverwachsungsfläche bei Plagioklasen von 0 % bis 75 % Anorthitgehalt.

3. Die Farbe wechselt ebenfalls in den verschiedenen Richtungen, jedoch ist rot bei weitem vorherrschend und die blauen und gelben Farbtöne bleiben stark mit rot untermischt. Der optische Charakter der Zonenachse ist variabel, aber die Auslöschungsschiefen weichen in den deutlich doppelbrechenden Richtungen nicht wesentlich von 45° ab. In diesem Falle liegen Bytownite oder Anorthite vor. Die Zone bleibt unbestimmt, sofern sie nicht an ihren morphologischen Eigenschaften erkannt werden kann (vgl. Seite 24 ff.).

Morphologische Beobachtungen

Durch die beiden vorhergehenden Operationen hat man einen Einblick in den Bau des Zwillingsstockes erhalten, der einem erlaubt, die Anordnung der Zwillingsindividuen in einer kleinen Skizze oder kurzen Beschreibung festzuhalten. Eine Zeichnung des Plagioklasschnittes ist bei komplizierteren Verhältnissen immer vorzuziehen. Man bezeichne die verschieden orientierten Zwillinge oder Lamellensysteme mit laufenden Nummern. Zwillingsindividuen, die bei der Bestimmung des optischen Charakters der Zonenachse Rot- oder Gelbfärbung gezeigt hatten, versehe man mit einem besonderen Zeichen, um bei späterer Messung der Auslöschungsschiefe daran gemahnt zu werden, dass man in ihnen nicht n'_α mit n'_γ verwechsle. In Lamellen, die nur Blaufärbung aufwiesen, entspricht n'_α dem Auslöschungswinkel, der kleiner als 45° ist.

Bestimmung des Anorthitgehalts und der Zwillingsgesetze

Nach den bisherigen Untersuchungen weiss man in den weitaus meisten Fällen, ob die eingestellte Zone die ⊥ (010) oder die ⊥ (001) ist. Wir können daher im folgenden diese beiden Zonen gesondert betrachten.

1. Zone ⊥ (010)

Unter den ausgezeichneten Richtungen dieser Zone sind [100], P, M und ⊥ [001] zur Bestimmung des Anorthitgehalts und der Zwillingsgesetze zu verwenden. [001] und O dienen nur diesem letzteren Zwecke. Im folgenden werden diese Richtungen in der Reihenfolge abnehmender Brauchbarkeit besprochen.

1. Die Richtung [100]

Durch Neigen um die J-Achse durchforsche man die Zone nach eventuell vorhandenen Spaltrissen, die annähernd senkrecht zur Spur der Zwillingsebene verlaufen. Sind solche vorhanden, so stelle man sie so ein, dass sie als möglichst schmale, scharfe Linien erscheinen. Ist dies geschehen, so steht die Richtung [100] parallel zur Beobachtungsrichtung. Man lese die Stellung der J-Achse am Teilkreise ab und notiere sie. Darauf bringe man durch Drehen des Mikroskoptisches dasjenige Plagioklasindividuum, welches die Spaltrisse enthält, in die nächste Stellung völliger Auslöschung und lese den Auslöschungswinkel auf dem Teilkreise des Mikroskoptisches ab. Man beachte, dass der auf n'_α bezogene Auslöschungswinkel für alle Plagioklase in der Richtung [100] kleiner als 45° ist. Bei einer Auslöschungsschiefe von weniger als 15° muss das Vorzeichen derselben bestimmt werden. Dieses ist positiv, wenn n'_α im spitzen Winkel zwischen den Spaltrissen und der Spur von (010) liegt. Aus dem Nomogramm Figur 4 kann der entsprechende Anorthitgehalt abgelesen werden.

Zur Kontrolle bringe man nacheinander die übrigen Zwillingsindividuen in die Dunkelstellung, notiere die gefundenen Auslöschungsschiefen und versehe sie je nach ihrem Sinne mit dem gleichen oder entgegengesetzten Vorzeichen wie das die Spaltrisse enthaltende Individuum. Die entsprechenden Anorthitgehalte sind ebenfalls aus Figur 4 abzulesen.

Die Ermittlung des Zwillingsgesetzes erfolgt nach nachfolgendem Schema. Der Übersichtlichkeit halber werden darin folgende Symbole eingeführt: ε_1 bedeutet die Auslöschungsschiefe des Ausgangsindividuums, ε_2 die des Zwillingsindividuums. Das Minuszeichen vor ε_2 bedeutet entgegengesetzten Sinn der beiden Auslöschungsschiefen. Die Art der Hemitropie wurde schon früher bestimmt (vgl. Seite 28) und darf als bekannt vorausgesetzt werden.

A. Das Zwillingsgesetz ist eine normale Hemitropie.

$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ Albitgesetz.

B. Das Zwillingsgesetz ist eine parallele oder komplexe Hemitropie.

$\varepsilon_1 > -\varepsilon_2$ Karlsbader Gesetz.
$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$ Albit-Karlsbad-Komplex.
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2$ Ala-B-Gesetz.
$\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$ Albit-Ala-B-Komplex.

In seltenen Fällen kann die Richtung [100] statt durch Spaltrisse nach (001) durch Manebachzwillinge gekennzeichnet sein.

Diese unterscheiden sich von den Periklinzwillingen an ihrer symmetrischen Auslöschung in Bezug auf die Spur von (001). Eine Verwechslung dieser beiden Gesetze hat für die Bestimmung des Anorthitgehalts nur bei den basischsten Plagioklasen einen ungünstigen Einfluss. Für die übrigen sind die Kurven [100] und P identisch.

2. Die Richtung P

Oft ist die Spaltbarkeit nach (001) nicht wahrzunehmen, dafür treten aber Zwillingslamellen nach dem Periklingesetz auf, die ebenfalls fast senkrecht auf der Spur von (010) stehen. Durch Neigen um J werden sie so eingestellt, dass sie scharf begrenzt und in minimaler Breite erscheinen. Die J-Achse wird arretiert und ihre Stellung abgelesen. Die Richtung P ist dann parallel zur Beobachtungsrichtung. Die Messung der Auslöschungsschiefe erfolgt genau so, wie sie für die Richtung [100] beschrieben wurde. Die Kurve zur Bestimmung des Anorthitgehalts ist ebenfalls auf Figur 4 eingezeichnet.

Die Interpretierung der Zwillingsgesetze geschieht nach dem für [100] gegebenen Schema. Bei den sauren und basischen Plagioklasen werden jedoch die konjugierten Auslöschungswinkel der seltenen Zwillinge nach dem Ala-B-Gesetz nicht genau gleichwertig sein, da die Achse dieses Gesetzes nur für die intermediären Plagioklase sehr nahe oder völlig parallel P ist.

3. Die Richtung M

Berek empfiehlt zur Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe die Konstruktion der Zonenauslöschungskurve. Dies geschieht, indem man bei verschiedenen Neigungen um J eine Reihe von Messungen der Auslöschungswinkel ausführt. Auf Millimeterpapier trägt man als Abszissen die auf dem Teilkreise von J abgelesenen Grade ein und als Ordinaten die zugehörigen Werte der Auslöschungsschiefen. Die so konstruierten Punkte verbindet man mit einer ausgleichenden Kurve, deren Maximum den gesuchten Wert ergibt. Im Falle weder Spaltrisse noch Periklinlamellen noch Achsen paralleler oder komplexer Hemitropien aufgefunden werden können, muss man diese Methode anwenden. Sie erlaubt eine genaue Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe. Für gewöhnlich kann ein genügend genaues Resultat auch ohne Konstruktion der Kurve durch direkte Messung gefunden werden. Man neige den Dünnschliff um die J-Achse 40° bis 50° nach hinten und

bringe durch Drehen des Mikroskoptisches das Plagioklasindividuum in die nächstliegende Stellung völliger Auslöschung. Darauf drehe man den Mikroskoptisch um 45° zurück und prüfe mit dem Hilfsblättchen vom Rot I. Ordnung, ob sich die Auslöschungsschiefe auch tatsächlich auf n'_{α} bezieht. Ist dies der Fall, so bringe man nach Entfernung des Hilfsblättchens den Tisch wieder in die vorige Stellung der völligen Auslöschung. Nun neige man um J etwa 20° weiter nach vorn. Im allgemeinen wird eine schwache Aufhellung eintreten. Durch Drehen des Mikroskoptisches wird die völlige Auslöschung wieder hergestellt. Dabei sind zwei Fälle möglich:

1. Der neue Auslöschungswinkel ist grösser als derjenige der ersten Stellung. In diesem Fall neige man um J weitere 15° bis 20° nach vorn und sehe, ob die Auslöschungsschiefe noch weiter wächst. Diese Operation wiederhole man in immer neuen Richtungen so oft, bis ein Gleichbleiben oder Abnehmen des Auslöschungswinkels sich bemerkbar macht. Das Maximum liegt bei der vorletzten oder zwischen dieser und der letzten Stellung von J. Eine Zwischenmessung gibt darüber Aufschluss. Der auf diese Weise gefundene Maximalwert der Auslöschungsschiefe entspricht an Genauigkeit durchaus den praktischen Anforderungen. Die Kurve M der Figur 4 gibt die entsprechenden Werte des Anorthitgehaltes an.

2. Der Auslöschungswinkel der zweiten Stellung von J ist kleiner als der der ersten. In diesem Falle neige man um J immer mehr nach vorn, bis die Stellung O der geraden Auslöschung erreicht ist, und neige darüber hinaus noch um weitere 30°. Von dieser Stellung an verfahre man so, wie es für den ersten Fall soeben beschrieben wurde. Die Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe ist auf diese Weise sehr rasch durchzuführen.

Ist die Richtung M eines Plagioklasindividuums eingestellt, so messe man auch die Auslöschungsschiefen in den Zwillingsindividuen. Ihre Grösse und ihr Sinn entscheidet über die Zwillingsgesetze nach demselben Schema, wie es für die Richtung [100] schon gegeben wurde.

4. Die Richtungen [001] und ⊥ [001]

Diese beiden Richtungen können nur in Gegenwart von parallelen oder komplexen Hemitropien festgestellt werden. In diesem Falle zeigen bei Nullage des Mikroskoptisches und bei beliebiger Neigung um die J-Achse die Zwillingsindividuen im allgemeinen verschiedene Aufhellung. Durch Neigen um J suche man diejenige

Stellung, in der die Aufhellung in allen Zwillingslamellen die gleiche ist. Hat man diese gefunden, so arretiere man die J-Achse und lese an ihrem Teilkreise die Stellung ab. Darauf drehe man den Mikroskoptisch bis zur Dunkelstellung des einen Individuums, die je nachdem mit der Dunkelstellung des Zwillingsindividuums zusammenfällt oder in Bezug auf die Spur der Zwillingsebene symmetrisch zu dieser liegt. In der Richtung der Zwillingsachse ist $\varepsilon_1 = \varepsilon_2$, in der Richtung senkrecht dazu ist $\varepsilon_1 = -\varepsilon_2$.

Nun gilt es zu entscheiden, ob die vorliegende Richtung [001] oder ⊥ [001] ist. Schon nach dem Grad der Aufhellung bei Nullage des Mikroskoptisches können die beiden Richtungen unterschieden werden. [001] ist stets wenig aufgehellt, da es der Richtung O der geraden Auslöschung benachbart ist. ⊥ [001] dagegen ist viel stärker aufgehellt, da in dieser Richtung relativ grosse Auslöschungsschiefe und Doppelbrechung vorhanden ist. Die auf Teilkreis J zu messenden Winkelabstände von den Richtungen [100], P und O sind ebenfalls kennzeichnend, wie Figur 3 und folgendes Schema zeigt:

Winkelabstand von	[001]	⊥ [001]
zu [100] (Spaltrisse)	64°	26°
zu P (Periklinlamellen)	45°—90°	0°—45°
zu O (gerade Auslöschung)	0°—30°	60°—90°

Zur Bestimmung des Anorthitgehaltes können die Auslöschungsschiefen in der Richtung ⊥ [001] gut verwendet werden. Die Kurve für [001] hat dagegen einen sehr ungünstigen Verlauf. Beide Kurven sind in Figur 5 dargestellt.

Für die Richtungen parallel oder senkrecht zur Achse des Ala-B-Gesetzes sei auf das Seite 17 und 18 Gesagte verwiesen.

Es kann vorkommen, dass keine der ausgezeichneten Richtungen zur Beobachtung gelangen kann, weil keine indizierenden Spaltrisse oder Zwillinge vorhanden sind und die Richtung M zu stark zur Schliffnormalen geneigt ist. Die einzige Möglichkeit, den Anorthitgehalt zu bestimmen, besteht dann in der Konstruktion des sichtbaren Teils der Zonenauslöschungskurve nach dem Berekschen Verfahren. Durch Vergleich mit den acht Kurven der Figur 2 kann durch Interpolieren der Anorthitgehalt ermittelt werden.

II. Zone ⊥ (001)

Alle ausgezeichneten Richtungen dieser Zone können zur Bestimmung des Anorthitgehalts und der Zwillingsgesetze verwendet werden.

1. Die Richtung [100]

Spaltrisse nach (010) oder Albitlamellen stehen annähernd senkrecht auf der eingestellten Zwillingsebene (001). Durch Neigen um J stelle man sie auf maximale Schärfe ein. Ist dies geschehen, so liegt [100] parallel zur Beobachtungsrichtung. Durch Drehen des Mikroskoptisches wird völlige Auslöschung herbeigeführt und die Auslöschungsschiefe in Bezug auf n'_α gemessen. Der entsprechende Anorthitgehalt kann aus dem Nomogramm Figur 8 abgelesen werden.

2. Die Richtungen [010] und ⊥ [010]

Bei Gegenwart von parallel-hemitropen Zwillingslamellen nach dem Aklingesetz oder von Manebach-Aklin-Komplexzwillingen sind die Richtungen [010] und ⊥ [010] an der gleichen oder symmetrischen Auslöschung der Zwillinge zu erkennen, wie wir dies schon für die Richtungen [001] und ⊥ [001] in (010) beschrieben haben. Die Auslöschungsschiefen werden gemessen und die entsprechenden Anorthitgehalte aus Figur 8 abgelesen. Für die Richtung ⊥ [010] benütze man die Kurve von [100], da praktisch diese beiden Richtungen zusammenfallen. Die Unterscheidung von [010] und ⊥ [010] erfolgt am sichersten nach der Grösse des Auslöschungswinkels, der für [010] kleiner als 30°, für ⊥ [010] jedoch immer grösser als 40° ist. Überdies ist ⊥ [010] durch die feinen Spaltrisse nach (010) gekennzeichnet.

3. Die Richtung M resp. M'

Sind weder Spaltrisse noch Achsen paralleler Hemitropien vorhanden, so kann man durch Bestimmung der maximalen Auslöschungsschiefe den Anorthitgehalt bei intermediären Plagioklasen bestimmen. Man verfahre genau so, wie wir es für die Zone ⊥ (010) angegeben haben und lese den entsprechenden Anorthitgehalt aus Figur 9 ab.

Bei den sauren Plagioklasen tritt an Stelle des Maximums ein Minimum der Auslöschungskurve. Das Verfahren zu seiner Bestimmung ist dem vorigen analog, nur dass man jetzt in der Richtung der abnehmenden Auslöschungsschiefe fortschreitend, in gewissen Abständen die völlige Auslöschung durch abwechselndes Neigen um J und Drehen des Mikroskoptisches einstellt, bis sich ein erneutes Anwachsen der Auslöschungsschiefe bemerkbar macht. Der Minimalwert der Kurve liegt bei der vorletzten Einstellung oder

nahe derselben. Der entsprechende Anorthitgehalt kann aus Figur 9 abgelesen werden.

Bei Gegenwart von Aklin- oder Manebach-Aklin-Komplexzwillingen ist der relative Sinn der Auslöschung im Zwillingsindividuum zur Erkennung des Zwillingsgesetzes zu verwenden. Es gelten die Beziehungen

$\varepsilon_1 \gtrless -\varepsilon_2$ für Aklinzwillinge und

$\varepsilon_1 \gtrless \varepsilon_2$ für Manebach-Aklin-Komplexzwillinge.

Ist weder ein extremer Wert der Auslöschungskurve noch sonst eine ausgezeichnete Richtung der Zone erreichbar, so kann man auch hier das sichtbare Teilstück der Kurve nach der Berekschen Methode konstruieren und mit den Kurven der Figur 6 vergleichen. Der Anorthitgehalt lässt sich danach ziemlich genau interpolieren.

III. Die Zone senkrecht zur Periklinverwachsungsebene

Diese Zone verhält sich ganz ähnlich der Zone $\perp$ (001). Der optische Charakter der Zonenachse ist wie dort variabel. Das vorhandene Zwillingsgesetz ist eine parallele Hemitropie, dessen Achse [010] ist und wie alle diese Achsen an der gleichen und gleichsinnigen Auslöschung der Zwillingslamellen erkannt werden kann. Die Verwachsungsebene ist eine Fläche der Zone [010], die mit dem Anorthitgehalt ihre Lage in noch nicht bekannter Weise ändert. Die Messung der Auslösungsschiefe ist zwecklos, da einstweilen eine feststehende Bezugsrichtung fehlt. Die zweite ausgezeichnete Richtung dieser Zone ist die durch Spaltrisse nach (010) oder Albitlamellen gekennzeichnete Richtung P. Durch Neigen um J stelle man diese Spaltrisse scharf ein und messe den Auslöschungswinkel in Bezug auf die Spaltrisse (010) und nicht in Bezug auf die Periklinebene. Der gefundene Auslöschungswinkel ist dann der für die Zone $\perp$ (010) charakteristische und erlaubt eine Bestimmung des Anorthitgehalts nach der Kurve P in Figur 4.

Praktische Beispiele

Die Zonenmethode soll zum Schluss an einigen Beispielen erläutert werden. Zur Kontrolle wurden alle angeführten Plagioklase mit der Fedorow-Nikitinschen Methode bestimmt und die Resultate zum Vergleich hier angeführt. Die Mikrolithen machen

davon eine Ausnahme, da ihre Kleinheit die Anwendung der Theodolithmethode nicht erlaubt.

Beispiel 1

Albit mit polysynthetischen Albitzwillingen, aus einem topasführenden Alkaligranit von Greifenstein

Morphologie: Unregelmässig begrenztes Kristallkorn, aus zwei Systemen polysynthetischer Zwillingslamellen aufgebaut (Fig. 10).

Art der Hemitropie: Nach sorgfältiger Einstellung der Zwillingsebene senkrecht zur J-Achse und darauffolgendem Neigen um diese zeigen die Zwillingslamellen in allen Stellungen gleiche Aufhellungen: Das Zwillingsgesetz ist eine normale Hemitropie.

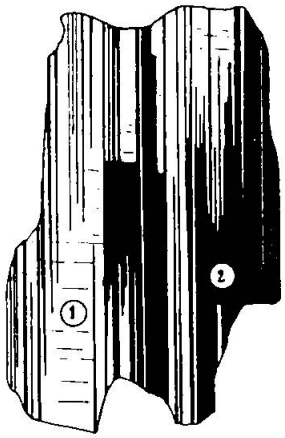


Fig. 10
Albit mit polysynthetischen Albitzwillingen. Vergr. 35 .

Optischer Charakter der Zonenachse: Bei 45°-Stellung des Mikroskoptisches steigt das Rot I. Ordnung des Hilfsblättchens für alle Neigungen um J in das leuchtende Blau und in noch höhere Farben der II. Ordnung. Die Zonenachse ist optisch positiv.

Aus den bisherigen Beobachtungen ergibt sich als Zwillingsgesetz die normale Hemitropie auf (010), d. h. das Albitgesetz.

Bestimmung des Anorthitgehalts: Beim Durchsuchen der eingestellten Zone nach besonderen Merkmalen finden sich deutliche Spaltrisse, die fast senkrecht zur Zwillingsebene stehen, und bei einer Neigung um J um 17° nach vorn am schmalsten erscheinen. In dieser Stellung liegt die Richtung [100] parallel zur Beobachtungsrichtung. Die Auslöschungsschiefe von n'_α zur Spur von (010) beträgt für das eine Lamellensystem 13½°, für das andere im entgegengesetzten Sinne 14°. Das Vorzeichen der Auslöschungsschiefe

ist negativ, da n'_α im stumpfen Winkel zwischen den Spuren der Zwillingsebene und der Spaltrisse liegt. Aus Figur 4, Kurve [100] ergibt sich ein Anorthitgehalt von 4 bis 5 Prozent.

Zusammenfassend ergibt sich folgende Aufstellung:

Richtung	J	ε_1	ε_2	An %	Zwillingsachse	Zwillingsebene	Zwillingsgesetz
[100]	+17°	−13½°	+14°	um 4–5%	⊥(010)	(010)	Albit

Die Messung nach der Fedorowschen Methode ergab Werte von 2 bis 6 % Anorthit und Albitgesetz.

Beispiel 2

Labrador mit polysynthetischen Periklinzwillingen, aus Anorthosit von New Glasgow, Canada

Morphologie: Rundliches Kristallkorn aus zwei polysynthetischen Zwillingssystemen aufgebaut. Einzelne Zwillingslamellen keilen stark aus (Figur 11).

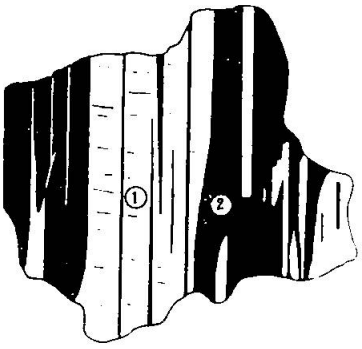


Fig. 11
Labrador mit polysynthetischen Periklinzwillingen. Vergr. 40×

Art der Hemitropie: Einige schmale geradlinige Lamellen erlauben die Einstellung der Verwachsungsebene senkrecht zur J-Achse. Bei Neigen um J hellen die zwei Lamellensysteme im allgemeinen verschieden auf: Parallele Hemitropie.

Optischer Charakter der Zonenachse: Das Rot I. Ordnung des Hilfsblättchens verändert sich je nach der Neigung der J-Achse in das Gelb I. oder das Blau II. Ordnung. Die Zonenachse ist optisch variabel. Die Zwillingsebene kann demnach (001) oder die Verwachsungsfläche des Periklingesetzes sein. Für diese letztere spricht die häufige Keilform und unregelmässige Begrenzung der Zwillingslamellen und das alleinige Auftreten der parallelen Hemitropie.

Bestimmung des Anorthitgehalts: Bei stärkerem Neigen um die J-Achse nach hinten sind kurze Spaltrisse zu bemerken, die bei einer

Neigung von 40° am schärfsten erscheinen. In dieser Stellung liegt die Richtung P parallel zur Beobachtungsrichtung. Der Auslöschungswinkel von n'_α zur Spur der Spaltrisse beträgt für das erste Lamellensystem 31°, für das zweite —33°. Dem entspricht nach Figur 4 ein Anorthitgehalt von 55 bis 60 %.

Zur Kontrolle kann die zu P senkrechte Richtung [010] durch Neigung um J um 50° nach vorn in die Beobachtungsrichtung gebracht werden. In dieser Lage erscheinen alle Zwillingslamellen bei Nullage des Mikroskoptisches gleich hell. Die Auslöschung erfolgt für alle im selben Sinne. Das Zwillingsgesetz ist das Periklingesetz mit der Achse [010].

Die Resultate seien wie folgt zusammengefasst:

Richtung	J	ε_1	ε_2	An %	Zwillingsachse	Zwillingsebene	Zwillingsgesetz
P	−40°	+31°	−33°	55–60 %	[010]	in Zone [010]	Periklin
[010]	+50°	−21°	−21°	55–60 %			

Das Resultat der Messungen mit der Theodolithmethode betrug 57 bis 59 % Anorthit. Das Zwillingsgesetz wurde ebenfalls als Periklingesetz erkannt.

Beispiel 3

Andesin-Labrador mit Karlsbad-, Albit- und Periklinzwillingen, aus monzonitischem Natronsanidinit von der Insel Procida

Morphologie: Dicktafeliger, in der Hauptsache allotriomorpher Kristall, zur Hälfte aus einem einheitlichen Individuum 1 bestehend, zur anderen Hälfte aus einem polysynthetischen, sehr feinen Lamellensystem von Individuen 2 und 3. Im Individuum 1 sind einige schmale Lamellen 4 enthalten, die nahezu senkrecht auf den Verwachsungsflächen der Individuen 1 bis 3 stehen (Figur 12).

Art der Hemitropie: Nachdem die unter sich parallelen Verwachsungsebenen der Individuen 1, 2 und 3 senkrecht zur J-Achse eingestellt wurden, konnte bei Neigen um J folgendes beobachtet werden: Die Lamellen 2 und 3 zeigen in allen Lagen gleiche Aufhellung. Zwischen diesen und dem dritten Individuum ist sie im allgemeinen verschieden. Danach ist zwischen 1 und 2 eine parallele oder komplexe Hemitropie, zwischen 2 und 3 eine normale.

Der optische Charakter der Zonenachse: Für alle Neigungen der J-Achse tritt eine Erhöhung der Interferenzfarbe des Hilfsblättchens ein. Die Zonenachse ist positiv und die eingestellte

Verwachsungsfläche entspricht (010). Die normale Hemitropie ist das Albitgesetz.

Bestimmung des Anorthitgehaltes und des noch unbekannten Zwillingsgesetzes: Durch Neigen um J werden die Zwillingslamellen 4 in die Stellung grösstmöglichster Schärfe bei minimalster Breite gebracht. Nach ihrem Aussehen handelt es sich mit grösster Wahrscheinlichkeit um Periklinlamellen. Es könnte höchstens eine Verwechslung mit Manebachzwillingen vorkommen. Zur Entscheidung dieser Frage kann nach Beendigung der übrigen Mes-

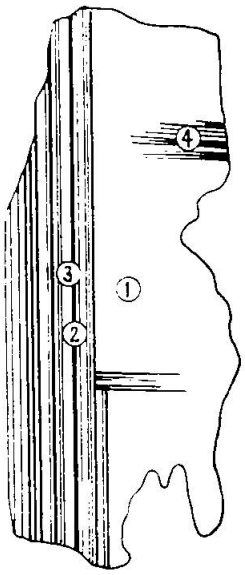


Fig. 12
Andesin-Labrador mit Karlsbad-, Albit- und Periklinzwillingen. Vergr. 50×

sungen die Verwachsungsfläche 1—4 in der üblichen Weise senkrecht zu J eingestellt werden. Die gleiche oder verschiedene Aufhellung der Zwillinge erlaubt die normale oder parallele Hemitropie zu erkennen. In unserem Beispiel ist die Aufhellung eine verschiedene, die Lamellen 4 sind Periklinzwillinge, die die Richtung P kennzeichnen. Die Auslöschungsschiefen in dieser Richtung, bezogen auf n'_α und die Spur von (010), sind im ersten Individuum + 26°, im zweiten — 11° und im dritten + 13°. Nach Figur 4 entspricht dies einem Anorthitgehalt von 45 bis 50 %. Nach der Grösse und dem Sinn der Auslöschungsschiefen sind folgende Zwillingsgesetze zu bestimmen:

1—2 ist ein Karlsbader Zwilling.

2—3 sind polysynthetische Albitzwillinge.

Damit ist dieser Plagioklas vollständig bestimmt. Zur Kontrolle

kann aber noch eine andere Richtung der Zone herangezogen werden.

Neigt man um J um 22° nach vorn, so zeigen sämtliche Individuen gleiche Aufhellung. Die Beobachtungsrichtung ist parallel oder senkrecht zur Zwillingsachse. Die Auslöschungsschiefen betragen für das erste und dritte Individuum 20°, für das zweite — 21°. Der Winkelabstand zwischen dieser Richtung und der Richtung P beträgt 28°, wonach es sich um die Richtung ⊥ [001] handelt. Sie steht nach dem Sinn der Auslöschungsschiefen senkrecht zur Achse der parallelen Hemitropie der Individuen 1 und 2. Der Anorthitgehalt ist nach Figur 5 45 bis 50 %. Die parallele Hemitropie ist das Karlsbadergesetz.

Zusammenfassung der Ergebnisse:

Richtung	J	ε_1	ε_2	ε_3	An %
P	− 6°	+26°	−11°	+13°	45–50 %
⊥[001]	+22°	+20°	−21°	+20°	45–50 %

Individuen	Zwillingsachse	Verwachsungsebene	Zwillingsgesetz
1—2	[001]	(010)	Karlsbad
2—3	⊥(010)	(010)	Albit
1—4	[010]	in Zone [010]	Periklin

Mit der Fedorow-Methode konnte die räumliche Lage der Indikatrix nur für das Individuum 1 bestimmt werden, da die übrigen Lamellen zu schmal sind und sich bei Neigungen, die nicht parallel zur Spur der Verwachsungsebene gerichtet sind, zu stark überlagern. Der Anorthitgehalt wurde ebenfalls zu 45 bis 50 % gefunden und die Zwillingsebenen als (010) und Periklinverwachsungsfläche erkannt. Die Zwillingsachsen und damit die Zwillingsgesetze konnten nicht erkannt werden, da die Orientierung von 2 und 3 nicht bestimmbar ist.

Beispiel 4

Bytownit-Anorthit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen, aus Plagioklasbasalt von der Insel Procida

Morphologie: Tafeliger, aus vier Individuen und Lamellensystemen bestehender Kristall. Die Einzelindividuen 1 und 2 stossen mit einer nur teilweise geradlinigen Grenze aneinander. 3 und 4 bilden ein ziemlich grobes, polysynthetisches Zwillingssystem. Das Individuum 2 ist das grösste und enthält deutlich sehr feine Spaltrisse (Figur 13).

Art der Hemitropien: Die Individuen 3 und 4 sind an ihrer für alle Stellungen von J gleichen Aufhellung als normal-hemitrope

Zwillinge zu erkennen. Zwischen 1 und 2 sowie zwischen 2 und 3 herrscht im allgemeinen ungleiche Aufhellung. Die Zwillingsgesetze dieser Paare sind parallele oder komplexe Hemitropien.

Optischer Charakter der Zonenachse: Bei den verschiedenen Neigungen um die J-Achse herrscht als Interferenzfarbe mit dem Hilfsblättchen das Rot I. Ordnung bei weitem vor, d. h. die Auslöschungsschiefen sind für grosse Teile der Zone nicht viel von 45° verschieden. Charakteristische Eigenschaft der Anorthite und Bytownite. Im übrigen treten auch blaue und gelbe Farbtöne auf, die aber stark mit rot untermischt sind. Der optische Charakter

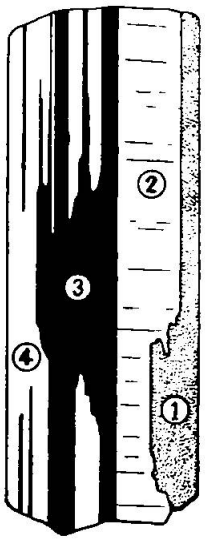


Fig. 13
Bytownit-Anorthit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen.
Vergr. 100 ×

der Zonenachse ist variabel, aber schwach ausgeprägt. Ob sie ⊥ (010) oder ⊥ (001) entspricht, kann noch nicht entschieden werden.

Anorthitgehalt und Zwillingsgesetze: Die scharfen Spaltrisse im Individuum 2 ermöglichen eine genaue Orientierung der Richtung [100] parallel zur Beobachtungsrichtung. Bei einer Neigung um J um 20° nach hinten erscheinen diese Spaltrisse am schärfsten. Die Aufhellung des Individuums 2 ist in dieser Stellung verschieden von der aller anderen Individuen, die aber unter sich gleich hell erscheinen. [100] ist daher weder parallel noch senkrecht zur Zwillingsachse zwischen 2 und den anderen Individuen. Das Aklin- und Periklingesetz kann also nicht vorliegen, und die Zonen

⊥ (001) oder senkrecht der Periklinebene scheiden aus. Die eingestellte Zone ist die ⊥ (010).

In der Richtung [100] ergeben sich folgende Auslöschungsschiefen: Das Ausgangsindividuum 2 löscht für n'_α bei 44° aus, das erste und vierte bei 31° im gleichen Sinne, und das dritte bei 30° im entgegengesetzten Sinne. Aus Figur 4 findet man den entsprechenden Anorthitgehalt zu 90 bis 95%. Die normale Hemitropie ist das Albitgesetz. 2—3 ist ein Karlsbaderzwilling und 1—2 ein Albit-Karlsbader-Komplex.

Zur Kontrolle neige man um J bis in die Stellungen, in denen alle Lamellen gleich hell erscheinen. Dies tritt zweimal ein bei Neigungen um J um etwa 45° nach vorn und nach hinten, entsprechend den Richtungen parallel und senkrecht zur Zwillingsachse der parallelen Hemitropie. Da [100] bei J = —20° gefunden wurde, so muss die Achse des Karlsbadergesetzes [001] genauer bei J = +44° und die Richtung ⊥ [001] bei J = —46° liegen. In dieser letzteren Stellung finden sich die Auslöschungen für n'_α der Individuen 1, 2 und 4 bei 38° und die des Individuums 3 bei 37° im entgegengesetzten Sinne, was nach Figur 5 wiederum 90 bis 95% Anorthit entspricht. Die Richtung ⊥ [001] ist Zwillingsachse der Individuen 1 und 2 und zugleich Richtung senkrecht zur Zwillingsachse von 2 und 3, entsprechend den bereits konstatierten Zwillingsgesetzen. In der Richtung [001], die durch Neigen um J um 44° nach vorn in die Beobachtungsrichtung gebracht wird, sind alle Lamellen fast völlig dunkel. Beim Drehen des Mikroskoptisches tritt so gut wie gar keine Aufhellung auf. In unmittelbarer Nähe der Beobachtungsrichtung liegt also in jedem der vier Individuen eine optische Achse. In Figur 3 sehen wir, dass bei Bytownit-Anorthiten die optische Achse B tatsächlich sehr nahe bei [001] liegt.

Zusammenstellung der Resultate:

Richtung	J	ε_1	ε_2	ε_3	ε_4	An %
[100]	−20°	+31°	+44°	−30°	+31°	90–95%
⊥ [001]	−46°	+38°	+38°	−37°	+38°	90–95%
[001]	+44°	unmessbar, da nahe optischer Achse				(um 95%)

Individuen	Zwillingsachse	Verwachsungsebene	Zwillingsgesetz
1—2	⊥ [001]	(010)	Albit-Karlsbad-Komplex
2—3	[001]	(010)	Karlsbad
3—4	⊥ (010)	(010)	Albit

Die Fedorowsche Methode ergab 90 bis 100% Anorthit und dieselben Zwillingsgesetze wie die Zonenmethode.

Beispiel 5

Mikrolithen von Labrador-Bytownit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen, aus Plagioklasbasalt von der Insel Procida

Morphologie: Sehr dünntafelige, einfach verzwillingte Kriställchen, die aus zwei oder drei Einzelindividuen bestehen. Die drei hier angeführten Beispiele wurden unter 21 gemessenen Mikrolithen ausgewählt, die alle analoge Daten lieferten.

a. Der nur aus zwei Zwillingsindividuen aufgebaute Mikrolith ist 180 μ lang und 16 μ breit. Seine Begrenzung ist nur teilweise scharf und geradlinig, mehrererorts dringen Augit- und Plagioklasmikrolithen in ihn hinein und verursachen Einbuchtungen (Figur 14).

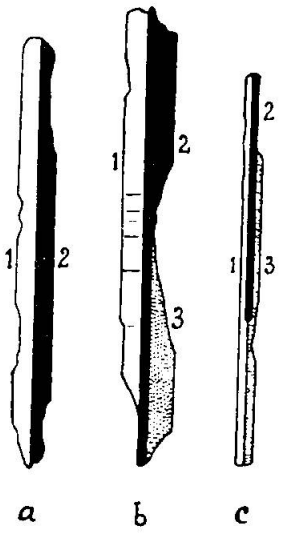


Fig. 14
Mikrolithen von Labrador-Bytownit mit Albit-, Karlsbad- und Albit-Karlsbad-Komplexzwillingen. Vergr. 250 ×

b. Der dreiteilige, etwas grössere Kristall ist 190 μ lang und 23 μ breit. Begrenzung wie beim vorigen. Im Individuum 1 sind feine Spaltrisse wahrnehmbar.

c. Trotz seiner Kleinheit ist auch dieser Mikrolith deutlich als dreiteiliger Kristall erkennbar. Er ist 165 μ lang und nur 8 μ breit.

Art der Hemitropien: Die Spuren der Verwachsungsebenen sind bei allen drei Mikrolithen geradlinig und scharf ausgebildet, sodass die Einstellung der Verwachsungsebenen senkrecht zur J-Achse sicher durchzuführen ist. Statt des Analysators benützt man zu diesem Zwecke nach dem Vorschlag von M. Reinhard besser den Aufsatznicol, durch dessen Drehen man eine günstige Aufhellung

der Individuen erzielen kann. Nach Einstellung der Verwachsungsfläche neigt man um J. Da diese Neigung in der Längsrichtung der Mikrolithen erfolgt, so kann eine Überlagerung der einzelnen Zwillingslamellen nicht stattfinden. Dies ist ein grosser Vorteil der Zonenmethode gegenüber der Fedorowschen Methode, welche Neigungen in allen Richtungen erfordert und deswegen auf sehr schmale Individuen nicht anzuwenden ist.

An der gleichen Aufhellung der Zwillingslamellen ist bei Nullage des Mikroskoptisches und Neigen um J normale Hemitropie zu erkennen bei den Individuen 2 und 3 des Mikrolithen b und bei 1 und 2 des Mikrolithen a. Alle übrigen Lamellen der drei Mikrolithen sind durch parallele oder komplexe Hemitropien miteinander verbunden.

Der optische Charakter der Zonenachse ist positiv, da die Interferenzfarbe des Hilfsblättchens ins Blau II. Ordnung steigt. Bei gewissen Neigungen um J ist ein deutlicher Stich ins Rot I. Ordnung zu erkennen. Die vorliegenden Zonen sind also $\perp$ (010), und der Plagioklas gehört zur Labradorreihe, bei der sich die maximalen Auslöschungsschiefen 40° nähern.

Anorthitgehalt und Zwillingsgesetze: Durch besondere Merkmale ausgezeichnete Richtungen konnten auch in diesen Mikrolithen aufgefunden werden.

a. Bei einer Neigung um J um etwa 15° nach vorn weist die eine Lamelle ihre grösste Auslöschungsschiefe von 36° auf. Diese wurde durch wiederholtes, abwechselndes Neigen um J und Drehen des Mikroskoptisches nach dem Seite 31 beschriebenen Verfahren gefunden. Der Auslöschungswinkel des Individuums 2 beträgt in dieser Stellung 14° im gleichen Sinne wie in 1. Nach Figur 4 ergibt sich danach ein Albit-Karlsbad-Komplex mit etwa 65 % Anorthitgehalt.

Neigt man um J um etwa 30° nach hinten, so zeigen beide Individuen gleiche Aufhellung bei gleichgerichteter Auslöschungsschiefe von 28°. Nach Figur 5 findet man als Richtung der Zwillingsachse $\perp$ [001] und einen Anorthitgehalt von etwa 65 % als Bestätigung der ersten Messung.

b. Bei einer Neigung um J um 8° nach vorn erscheinen die Spaltrisse im Individuum 1 am schmalsten. In der Beobachtungsrichtung liegt [100]. Die drei Lamellen löschen folgendermassen aus: 1 bei 37°, 2 bei 25° und 3 bei — 23°, was nach Figur 4 einem Anorthitgehalt von 70 bis 75 % entspricht. 1 und 2 bilden einen Albit-Karlsbad-Komplex, 2 und 3 einen Albitzwilling.

c. Spaltrisse sind in diesem sehr schmalen Kristall nicht zu erkennen, und auch die Stellungen gleicher Aufhellung der parallelhemitropen Lamellen sind wegen ihrer stark geneigten Lage nicht mit Sicherheit festzustellen. Dagegen konnte das Maximum der Auslöschungsschiefe bei einer Neigung um J um 2° nach hinten nach dem bereits beschriebenen Verfahren gefunden werden. Es beträgt 34° im Individuum 1. In dieser Stellung löscht 2 bei — 36° und 3 bei + 17° aus. Danach bilden 1 und 2 einen Albitzwilling, 2 und 3 einen Karlsbader Zwilling und 1 und 3 einen Albit-Karlsbad-Komplex. Der Anorthitgehalt beträgt 60 bis 65 %.

Zusammenfassung der Messresultate:

Mikrolith	Richtung	J	ε_1	ε_2	ε_3	An %
a.	M	+15°	+36°	+14°	—	um 65%
	⊥[001]	−30°	−28°	−28°	—	um 65%
b.	[100]	+ 8°	+37°	+25°	−23°	70–75%
c.	M	− 2°	+34°	−36°	+17°	60–65%

Mikrolith	Individuen	Zwillingsachse	Verwachsungsebene	Zwillingsgesetz
a.	1—2	⊥[001]	(010)	Albit-Karlsbad-Komplex
b.	1—2	⊥[001]	(010)	Albit-Karlsbad-Komplex
	2—3	⊥(010)	(010)	Albit
c.	1—2	⊥(010)	(010)	Albit
	2—3	[001]	(010)	Karlsbad
	1—3	⊥[001]	(010)	Albit-Karlsbad-Komplex

Wegen ihrer Kleinheit konnte bei den vorliegenden Mikrolithen die Fedorowsche Methode nicht angewendet werden, direkte Kontrollmessungen waren deshalb ausgeschlossen. Dagegen wurden zwei Einsprenglinge im selben Dünnschliffe mit dieser Methode bestimmt. Beide sind schwach zoniert. Der Anorthitgehalt der Kerne beträgt 80 bis 90 %, während für die äussersten Randzonen 65 bis 75 % festgestellt wurden. Die mit der Zonenmethode gefundene Zusammensetzung der Mikrolithen stimmt mit diesem Befund gut überein. Auffallend ist die Häufigkeit der Komplexzwillinge, welche bei 15 der untersuchten 21 Mikrolithen konstatiert wurden und auch bei den beiden Einsprenglingen vorhanden sind.

Schlusswort

Die Ausführung einer Messung mit Hilfe der Zonenmethode ist natürlich viel einfacher und rascher durchzuführen, als es nach der vorhergehenden Beschreibung den Anschein hat. Man kann eine

Bestimmung leicht in fünf bis zehn Minuten vollständig durchführen. Weitere Messungen im selben Dünnschliff erfordern noch weniger Zeit, da das Einlegen des Schliffes zwischen die Glashalbkugeln fortfällt. Es besteht also die Möglichkeit, in relativ kurzer Zeit eine grosse Anzahl von Plagioklasen desselben Gesteins zu untersuchen, wodurch die volle Variationsbreite der chemischen Zusammensetzung erfasst wird. Ebenso gewinnt man einen viel gründlicheren Einblick in die quantitative Verbreitung der Zwillingsgesetze, als es mit den anderen Methoden möglich war. Ein besonderer Vorteil der Zonenmethode ist ihre Anwendbarkeit auf sehr schmale Zwillingslamellen und Mikrolithe, welche mit der Fedorow-Nikitin-Methode nicht bestimmt werden können. Bei zonierten Plagioklasen können die extremsten Zonen selbst bei minimalster Entwicklung bestimmt werden.

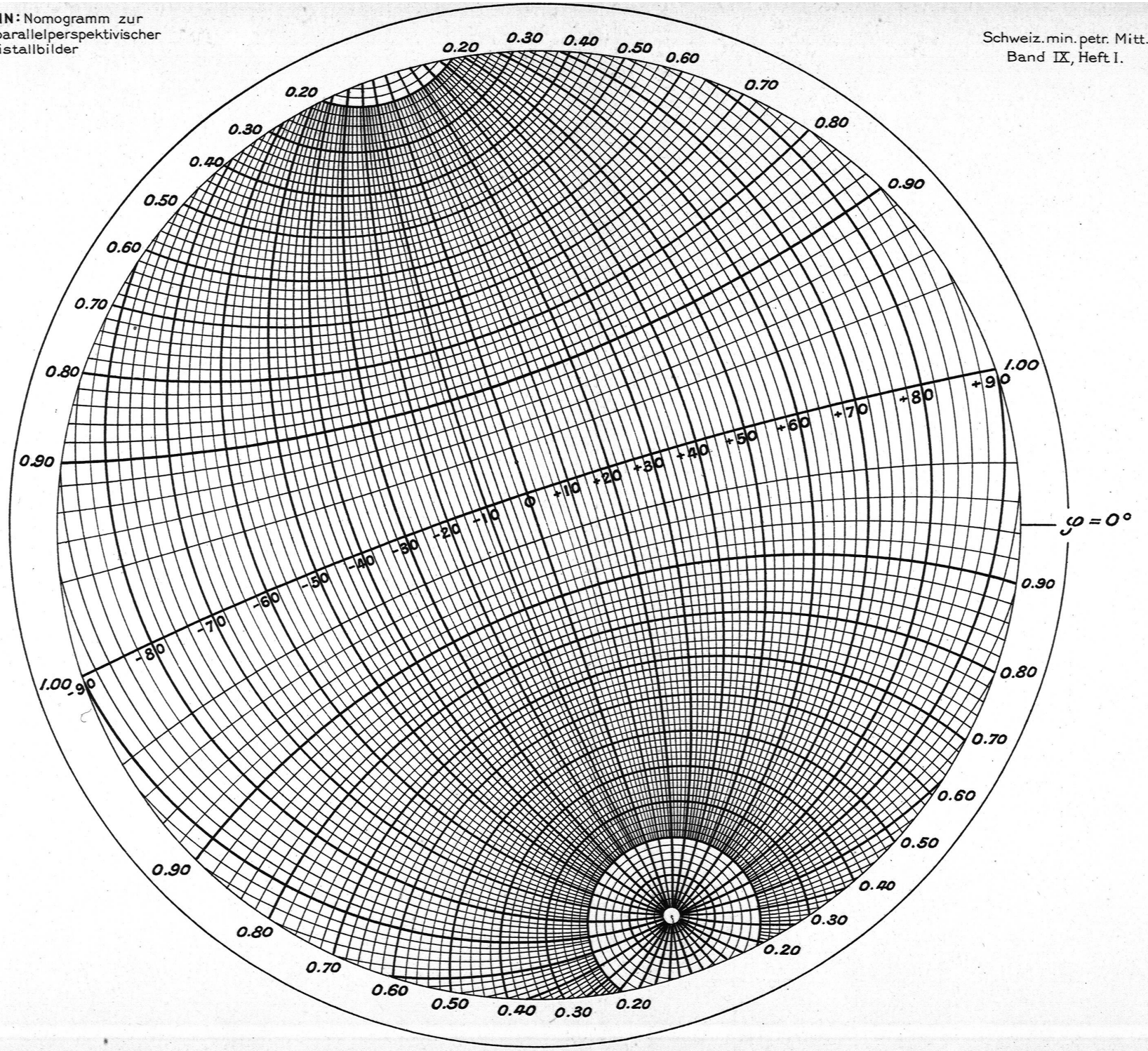
Bereits vor fünf Jahren wurden die ersten Versuche einer Anwendung der Zonenmethode unternommen. Im Laufe der Zeit wurde manches an ihr verbessert, trotzdem ist sie auch heute noch in einem ausbaubedürftigen Anfangsstadium. Wenn sie jetzt der Öffentlichkeit übergeben wird so geschieht es in der Hoffnung, Mitarbeiter an ihrer [illegible]vollkommnung zu finden. Aber auch in ihrer heutigen, unvollkommenen Fassung mag sie ein brauchbares Werkzeug für den praktisch arbeitenden Petrographen sein.

Von Herrn Professor M. Reinhard ermutigt und tatkräftig unterstützt, entschloss ich mich zur Veröffentlichung der vorliegenden Arbeit. Für seine wertvollen Ratschläge und Anregungen und für die Liebenswürdigkeit, mit der er mir während meines Aufenthaltes in Basel einen Arbeitsraum des mineralogischen Instituts der Universität zur Verfügung stellte, spreche ich ihm hier meinen besten Dank aus.

Manuskript eingegangen: 15. Dezember 1928.

A. RITTMANN: Nomogramm zur Herstellung parallelperspektivischer Kristallbilder

Schweiz. min. petr. Mitt.
Band IX, Heft I.



Copyright 1929 by A. Rittmann.

Leere Seite
Blank page
Page vide