Die Andalusit- und Disthenvorkommen der Silvretta

Autor(en): **Spaenhauer, Fritz**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **13 (1933)**

Heft 2

PDF erstellt am: **30.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-14077

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Andalusit- und Disthenvorkommen der Silvretta

von *Fritz Spaenhauer* in Basel [1])

INHALTSANGABE

Die vorliegende Arbeit soll eine zusammenfassende Darstellung der Andalusit- und Disthenvorkommen im schweizerischen Teile des Silvrettakristallins geben. Es werden beim Andalusit im besonderen die Kristalldeformationen, die Umwandlungserscheinungen und die genetischen Verhältnisse diskutiert, sowie die Paragenese Andalusit-Disthen.

EINLEITUNG

Die Kartierung und petrographische Untersuchung des schweizerischen Teiles der kristallinen Silvrettamasse ist im Sommer 1932 in der Hauptsache zum Abschluss gelangt. Sie wurde von A. STRECKEISEN (34), P. BEARTH (1), E. WENK und F. SPAENHAUER (33) im Verlaufe der letzten Jahre z. T. als Dissertationsarbeiten, z. T. im Auftrage der Schweizerischen Geologischen Kommission ausgeführt. Es rechtfertigt sich deshalb, eine kurze Zusammenfassung über die Andalusit- und Disthenfunde zu geben, die interessantesten Mineralvorkommen des Gebietes.

Im Gegensatze zu den anderen Teilen der Schweizer Alpen fällt bei der Silvretta ihre Mineralarmut auf; insbesondere fehlen die schönen alpinen Kluftmineralien, wie sie in den Zentralmassiven und den penninischen Decken gefunden wurden und von dort in alle Museen gelangt sind. Der Andalusit dagegen ist ein Mineral, das in der Silvretta regionale Bedeutung besitzt und als typisch bezeichnet werden kann. Die Vorkommen der Silvretta entsprechen genetisch denjenigen von der Lisens-Alpe (3, 19, 30), vom Pitztal (16) und vom Langtauferer- und Stubaiertal (13) in Tirol, von der Heimspitze (29), der Ferwallgruppe (7) und vom Montavon (14) im Vorarlberg, von der Koralpe (21) in den Muralpen und von Musso am Comersee (28). Sie gehören auch geologisch in dieselbe Einheit. In der Schweiz ist nur noch ein sicherer Fundort bekannt, nämlich bei Landarenca in der Val Calanca, Tessin (9). Die Mineralogische

[1]) Veröffentlicht mit Erlaubnis der Geologischen Kommission der S. N. G.

Sammlung der E. T. H. in Zürich besitzt ausserdem ein Stück mit der Fundortsangabe: Grosser St. Bernhard; doch ist etwas näheres darüber nicht bekannt.

Die ersten Angaben über Andalusite im Flüelagebiet geben A. ESCHER und B. STUDER im Jahre 1839 (10, S. 196). Die von ihnen gesammelten Stücke stammen aus der Bergsturzmasse des God Rusatsch an der Flüelastrasse oberhalb Süs und befinden sich jetzt im Berner Naturhistorischen Museum. Im Jahre 1852 erwähnt D. WISER Andalusite aus der Scalettagegend, die von COAZ gefunden wurden. Eine eingehende Beschreibung haben im Jahre 1899 die damals bekannten Funde durch A. GRAMANN erfahren (15), der sich speziell mit der Morphologie und der Färbung der alpinen Andalusite befasste.

VORKOMMEN

Andalusit tritt in der Silvretta als gelegentlicher mikroskopischer Gesteinsgemengteil auf; die charakteristischen Vorkommen von grösseren Individuen sind aber an Linsen und Knauern von Quarz gebunden; grössere Stücke, die ohne Quarz als Begleitmineral im Gestein eingelagert sind, werden selten gefunden. Diese andalusitführenden Quarzlinsen sind beschränkt auf Paragneise (Biotitschiefergneise und Tonerdesilikatgneise) und Mischgneise (Knoten-, Lagen- und Adergneise). Besonders reichlich finden sie sich in der Pischa- und der Scalettazone. Ihr Auftreten ist ziemlich unregelmässig; bei den Angaben von „Fundstellen" handelt es sich um grössere und kleinere Bereiche, in denen eine gewisse Häufung festzustellen ist. Ergiebiger als das anstehende Gestein und besser zum Sammeln geeignet sind im allgemeinen Moränen und Schutthalden, die aus andalusitführenden Gebieten herstammen. Die folgende Liste von Fundstellen erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit; es sind sicher viele der Beobachtung entgangen. Nach den Aufnahmen von STRECKEISEN, BEARTH, WENK und SPAENHAUER können folgende Häufungsstellen namhaft gemacht werden:

Pischazone: Pischa, Verborgen Pischa, Pischahorn, Flanken des Rosställispitz und W-Grat des Kirchlein, Grat vom Piz Valtorta zum Piz Chastè (angereichert in den Karmoränen der Val Gröss und in den Schutthalden der Alp Murtèra, auch verschwemmt bis ins Susascatal). Ein besonders schönes Stück stammt aus einem Sturzblock bei der Hütte von Fop Tiamarsch in der Val Saglains (siehe Fig. 1).

Scalettazone: Radünertäli (mit Disthen; Fundstelle von GRAMANN (15) beschrieben, jetzt aber nicht mehr ergiebig), Grat und

Wände vom Flüela-Schwarzhorn gegen Braunhorn, Hang des Schwarzhorns gegen Dürrboden, Bocktenhorn, Augstenberg, Scalettapasshöhe, Westgrat des Scalettahorns (mit Turmalin).

Sonstige Fundstellen: Parpaner Rothorn, W-Rand des Porchabellagletschers, Piz Puntota S-Grat, Gipfel des Piz d'Urezza, Gipfelpartie des Piz del Ras (in Tonerdesilikatgneisen im Amphibolit), Sassauta (SE-Grat des Piz Linard), in einer schmalen Zone von Tonerdesilikatgneis in Amphibolit, südlich vom Buchstaben *a* von „Sassaut*a*", Siegfried-Atlas Bl. 420, (zusammen mit Disthen und Turmalin). Furcletta (zwischen Val Tuoi und Val Tasna), 50 m w. des Sattels. Piz Giarsunom in der Nunagruppe (beim Gipfelsignal).

MORPHOLOGIE

Die Andalusitknauern können beträchtliche Dimensionen annehmen. So wurde bei der Furcletta ein Block von ca. 50 cm Durchmesser gefunden, der fast ausschliesslich aus Andalusit bestand. Im allgemeinen sind sie aber kleiner (5 bis 10 cm Durchmesser), oft auch ganz unscheinbar. In solchen Knauern finden sich selten gut individualisierte Kristalle. Kristallographische Umgrenzung zeigen meist nur in Quarz eingewachsene Einzelindividuen. Den grössten gut ausgebildeten Kristall fand ich in einem Block bei Fop Tiamarsch in der Val Saglains. Er ist stark verbogen und besitzt eine Länge von 19,5 cm und einen Querschnitt von $3{,}5 \times 4$ cm (siehe Fig. 1).

Die Farbe auf unzersetzten Flächen und im frischen Bruch ist rosarot bis fleischrot; im allgemeinen sind die Kristalle aber oberflächlich meist blaurot bis rotviolett gefärbt, oft auch blass grünlichgrau. Häufig ist ein Überzug von silberglänzendem Muskowit vorhanden. GRAMANN (15) führt die Färbung der alpinen Andalusite auf fein verteiltes Titan zurück. Sein Beweis ist aber nicht einwandfrei; er hat Titan nicht direkt nachgewiesen.

Der Habitus ist dicksäulig nach der c-Achse mit 110 als Begrenzung. An den Enden sind die Kristalle häufig abgebrochen, andernfalls tritt die Basis als einzige Endfläche auf. Ganz selten lassen sich die Formen 100, 010 und 011 (ev. 101) beobachten. Die Kanten sind meist gerundet. Messungen lassen sich nur mit dem Anlegegoniometer ausführen und sind sehr ungenau; sie ergeben grosse Inkonstanzen der Winkel. Das hat neben der unvollkommenen Flächenbeschaffenheit seinen Grund hauptsächlich darin, dass Deformationen der Kristalle sehr häufig sind, ja beinahe die Regel bilden. Solche Individuen sind entweder verbogen (siehe Fig. 1) oder plattgedrückt, d. h. der normalerweise fast quadratische Quer-

schnitt wird zu einem typisch rhombischen (siehe Fig. 2 und 3), wobei Winkelverzerrungen bis zu 10 und mehr Grad vorkommen können. Man könnte sich fragen, ob man in solchen Fällen nicht ein höher indiziertes Prisma vor sich hat. Das ist aber nicht wahrscheinlich, da die Winkelmessungen kontinuierliche Übergänge zeigen und keine Flächenlage ausgezeichnet ist. Die Angaben von GRAMANN, der an Scalettaandalusiten u. a. die Formen 054 und 890 (!) anführt, sind deswegen abzulehnen. Winkelmessungen auf Bogenminuten haben da keinen Wert mehr. Im Gegensatz zur Silvretta finden sich bei Lisens (19) und im Pitztal (16) weit flächenreichere Formen.

Über die Wirkungen der Deformationen geben Anschliffe und Dünnschliffe nach der Basis Auskunft. Es ist oft schon von blossem Auge deutlich zu erkennen, dass der ganze Kristall von Scherflächen parallel zur Richtung der deformierenden Kraft durchsetzt ist (Fig. 2). In andern Fällen sind die Risse feiner und erst mit dem Mikroskop genauer zu sehen. Diese Sprünge verlaufen meist unbekümmert um die vorhandenen Spaltrisse des Andalusites; hie und da werden aber auch einfach diese letzteren durch die Deformation verstärkt. Die Rissysteme zeigen oft die Tendenz, sich am Rande des Kristalles in ihrem Verlauf der äusseren Begrenzung desselben anzuschmiegen; auch sind sie hier dichter geschart (Fig. 3). Dadurch entsteht im Dünnschliff eine Parkettierung, indem polygonal umgrenzte Felder verschiedener Auslöschung aneinander stossen. Die Abweichung der gegenseitigen Lage erreicht aber höchstens 10° und ist ganz regellos. Die Auslöschung der einzelnen Felder ist vollständig homogen.

Die Deformation bewirkt also in der Hauptsache ein Zerbrechen des Kristalls in einzelne Bruchstücke, die z. T. durch den Druck etwas gegeneinander verschoben und verstellt worden sind, sonst aber intakt geblieben sind. Bei stärkerer Ausbildung der Sprünge sind dieselben mit Sericit und amorpher Substanz ausgefüllt (Fig. 2), und Andalusit ist nur noch in isolierten Fetzen vorhanden.

Ein ebenfalls untersuchter deformierter Kristall von Lisens aus dem Basler Museum zeigte ein etwas anderes Verhalten. Trotzdem es sich um ein kristallographisch gut ausgebildetes Einzelindividuum handelte, ergab das Dünnschliffbild ein scheinbar wirres Mosaik von einzelnen Andalusit- und Disthenkörnern, teilweise durch Sericit voneinander getrennt. Eine genauere Untersuchung erwies dann aber, dass doch noch ein Gerüst von Andalusit vorhanden war, dessen Orientierung im grossen und ganzen derjenigen des ursprünglichen Gesamtkristalls entsprach, obschon es in einzelne Körner aufgelöst

war. Die Disthenindividuen sind allerdings völlig ungeregelt. Wir haben es auch hier im Grunde mit einem Zerbrechen des Kristalls zu tun. Ob man die Entstehung des Disthens ebenfalls auf die Druckwirkung zurückzuführen hat, ist eine andere Frage, die später diskutiert werden soll. Auf alle Fälle ist die Annahme GRAMANNS (15) abzulehnen, der die Abweichungen in den Prismenwinkeln durch Zwillingsbildungen erklären wollte; es handelt sich nur um durch Druck bewirkte Verstellung einzelner Partien des Kristalls gegeneinander, die keinerlei Regelmässigkeit aufweist.

NEBENGESTEINE DER ANDALUSITVORKOMMEN

Die Quarz-Andalusit-Linsen sind weitaus in den meisten Fällen in Knoten- und Mischgneise eingelagert. Doch kommen sie auch in gewöhnlichen Paragneisen, insbesondere in den Tonerdesilikatgneisen, untergeordnet in Biotitschiefergneisen vor. Diese besitzen als wesentliche Gemengteile Quarz, Plagioklas, Biotit und Muskowit, die Tonerdesilikatgneise führen ausserdem noch reine Tonerdesilikate, Staurolith und Granat. Es gibt Fälle, wo Staurolith, Disthen, Andalusit und Sillimanit miteinander vorkommen. Die Tonerdesilikatgneise können in Paragneiskomplexen auftreten (Pischahorn), bilden aber häufiger schmale Einlagerungen in Amphiboliten (Scalettazone, Piz del Ras, Sassauta). Die Knotengneise unterscheiden sich von den normalen Paragneisen dadurch, dass sich unter magmatischem Einfluss Porphyroblasten von Albit gebildet haben, während die Lagen- und Adergneise durch Differentiationsvorgänge innerhalb des Gesteins eine inhomogene Textur angenommen haben. Diese Adergneise sind durch die Wirkungen einer nahen Orthogneisintrusion aus normalen Paragneisen hervorgegangen, indem sich die hellen Komponenten in Lagen und bizarr gefältelten Adern anreicherten, die dem Gestein ein äusserst unruhiges Aussehen verleihen. Dabei hat wahrscheinlich keine direkte magmatische Stoffzufuhr stattgefunden. (Eine eingehende petrographische Beschreibung dieser Gesteine findet sich in Lit. 33 und 34.)

Von diesen Gesteinen führen nur die Tonerdesilikatgneise Andalusit als Gemengteil; bei den anderen konnte weder von GRAMANN (15) noch von mir solcher beobachtet werden. STRECKEISEN (34) gibt zwar an, dass Andalusit auch häufig im Nebengestein zu treffen sei; er präzisiert aber nicht näher, so dass anzunehmen ist, dass auch hier vorwiegend Tonerdesilikatgneise in Betracht kommen.

Am Rande der Quarzlinsen erleidet das Gestein oft starke Veränderungen. So konnte z. B. an der Fundstelle von Sassauta beob-

achtet werden, dass die Randzone einen inhomogenen, pegmatitähnlichen Charakter annimmt. Grosse sericitisierte Feldspataggregate, neugebildeter Granat, Nester von Muskowit und Chlorit, Klumpen von Apatit und sekundärer Prehnit beherrschen das Dünnschliffbild. Staurolith ist nur noch in Skeletten und Relikten vorhanden; an seine Stelle tritt Sericit und Erz. Ausserdem scheint Cordierit aufzutreten; er konnte aber nicht sicher bestimmt werden. Biotitflatschen am Rande der Quarz-Andalusit-Linsen sind eine häufige Erscheinung.

Die Linsen sind erst nach der Kristallisation des Gesteins entstanden. Sie sind zwar im allgemeinen konkordant eingelagert; ein Beispiel vom Scalettapass zeigt aber, dass das ausgeschwänzte Ende einer Andalusitknauer sich in einen Riss diskordant zur Schieferung fortsetzt. Dieser Riss ist von langgestreckten Biotitblättchen, die von Quarz flankiert sind, ausgefüllt. Mit einer plötzlichen Erweiterung des Risses setzen zwei Andalusitporphyroblasten ein, ebenfalls diskordant zur Schieferung. Der Glimmerzug teilt sich und umhüllt die Andalusitknauer. In einzelnen Fällen scheint es, als ob das Nebengestein stärker mechanisch beansprucht worden sei als die Linsen, was ebenfalls für spätere Ausscheidung derselben sprechen würde. Wo Andalusit als Gesteinsgemengteil vorliegt, kann er meist deutlich als letzte Bildung erkannt werden.

PARAGENESE

Unter Paragenese wird diejenige Mineralgesellschaft verstanden, die die eigentlichen Quarz-Andalusit-Linsen bildet. Die Komponenten des Nebengesteins, die etwa mit dem Andalusit in Kontakt kommen, werden nicht berücksichtigt. Die Paragenese Andalusit-Disthen soll gesondert besprochen werden.

Der selten fehlende und meist an Masse überwiegende Begleiter des Andalusites ist Quarz in verzahntem Pflaster. Je nach dem Fundort ist er verschieden stark undulös. Einzelne Individuen zeigen schöne Druckstreifung. Der Quarz ist gleichzeitig mit dem Andalusit entstanden, vielleicht sogar auch älter. Bei den nachher genannten Mineralien stellt sich dann die Frage, ob sie als primär oder als spätere Umwandlungsprodukte anzusehen sind. Neben Quarz ist es hauptsächlich der Muskowit, der fast nie fehlt und die Andalusitkristalle als feiner Anflug oder in silberglänzenden Flatschen umkrustet. Neben diesen beiden hauptsächlichsten Begleitern treten die andern stark zurück und können meist erst im Mikroskop bemerkt werden. Es sind dies Epidot, Sillimanit, Klinochlor, der aus Glimmer entstanden ist, selten Apatit, Rutil, Prehnit, zweifelhafter Cordierit

und schliesslich Korund. GRAMANN (15) nennt noch Biotit und Feldspäte; diese Mineralien sind aber dem Nebengestein zuzuzählen. Die von ihm ebenfalls erwähnten makroskopisch sichtbaren Cordieritkristalle konnten von uns nicht gefunden werden; nur in einem Schliff trat ein Mineral auf, das Cordierit sein könnte, aber nicht sicher bestimmbar war.

In der Literatur werden aus Andalusitparagenesen noch folgende Mineralien erwähnt: Turmalin (24), Ilmenit (25), Buchholzit (14, 16), Rhätizit (16), Magnetit (14), Granat (14). Eine spezielle Paragenese beschrieb neuerdings KERR (20) aus Kalifornien; sie ist dort durch die Wirkung einer magmatischen Intrusion entstanden.

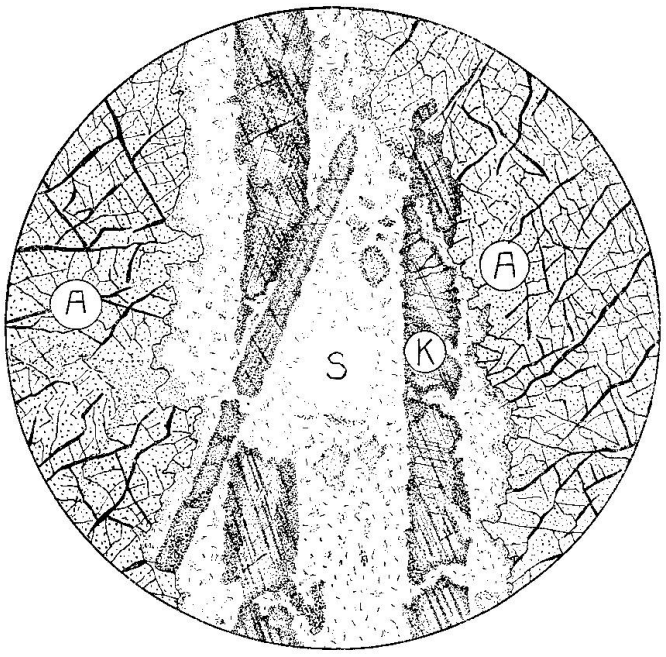

Fig. 4. Dünnschliff eines Andalusitkristalls mit eingelagertem Korund. A = Andalusit, K = Korund, S = Sericit. Vergr. 18 ×.

KERR nennt als Begleitmineralien: Korund, Quarz, Muskowit, Pyrophyllit, Diaspor, Alunit, Rutil, Lazulith; seltener Zirkon, Topas, Turmalin, Titanit, Ilmenit, Hämatit, Leukoxen, Calcit, Baryt, Pyrit, Jarosit, Limonit und Schwefel. Das sind z. T. für Andalusitparagenesen ungewöhnliche Mineralien; einige sind typisch für pneumatolytische und hydrothermale Einwirkungen. In der Tat können dort diese beiden Phasen konstatiert und auseinander gehalten werden.

Das interessanteste Begleitmineral der Silvrettaandalusite ist der Korund. Er wurde nur in wenigen Schliffen gefunden und bildet balkenartige Einlagerungen im Andalusit, durch einen sericitischen Brei von ihm getrennt (Fig. 4). Das Mineral besitzt drei Systeme

von scharfen Spaltrissen, hohes Relief und optisch negativen Charakter. Eine Untersuchung mit dem Fedorofftisch wies auf ein hexagonales Mineral hin. Um es genau bestimmen zu können, wurde die Andalusitsubstanz mit Soda und Borax aufgeschlossen, wobei Korundkörnchen zurückblieben, die an Hand der Achsenbilder und mit Hilfe der Einbettungsmethode einwandfrei bestimmt werden konnten. Der Aufschluss wurde von P. BEARTH ausgeführt. Der Korund gleicht im Dünnschliff vollständig demjenigen, den KERR (20) in seiner Arbeit abbildet. Er ist nicht etwa als Umwandlungsprodukt, sondern als primärer Einschluss anzusehen.

Einige der eben erwähnten Mineralien kommen auch als Einschlüsse im Andalusit vor. Es sind dies: Muskowit, Rutil und Sillimanit, der mit Hilfe der Fedoroffmethode bestimmt wurde und hie und da in kleinen Fetzchen sich findet, ausserdem kleine, nicht sicher bestimmbare Körnchen, die Disthen sein können. Korund kommt ebenfalls immer als Einschluss vor. GRAMANN (15) erwähnt noch Quarz, Magnetit, Pyrit; von anderen Lokalitäten wird Staurolith, Granat, Turmalin (LACROIX) und Magnetit (HAEFELE) erwähnt.

UMWANDLUNGEN DES ANDALUSITES

Andalusit ist die instabilste Phase des Systemes SiO_2-Al_2O_3 und fällt leicht einer Umwandlung anheim. So beschreiben sämtliche Autoren ausser HAEFELE (16), die sich mit der Frage befasst haben, eine Pseudomorphosierung des Andalusites durch Glimmer. Dies ist auch in der Silvretta überall zu konstatieren. Es kann kaum ein Andalusitkristall gefunden werden, der nicht irgendwo ein Glimmerhäutchen aufwiese. Es ist die Regel, dass der Andalusit mit Flatschen und Rosetten schuppigen Muskowites teilweise oder auch ganz bedeckt ist. Dieser Glimmer füllt auch die Risse aus und kann in Nestern inmitten des Andalusites selbst vorkommen. Dabei läßt sich feinschuppiger Sericit und grobblättriger Muskowit unterscheiden, die meist partienweise deutlich voneinander getrennt sind. Es besteht kein Zweifel, dass der Glimmer eine Pseudomorphose darstellt, zeigen doch die Aggregate oft noch die Umrisse des Andalusitkristalls. Das Endprodukt der Umwandlung sind Aggregate von Muskowit, oft durch Verwitterung goldgelb gefärbt, die im Inneren hie und da noch Relikte von Andalusit erkennen lassen. In den Glimmerbüscheln können auch Körnchen und Klumpen von Epidot beobachtet werden, ausserdem fraglicher Sillimanit.

Ausser diesem Glimmer kann auch noch ein anderes Umwandlungsprodukt festgestellt werden. Die Andalusite sind oft von einer

weichen, matt grünlich-grauen, aufgequollenen Rinde überzogen, die ihrerseits wieder mit Glimmer bedeckt sein kann (siehe Fig. 2 und 3). Die mikroskopische Untersuchung zeigt, dass es sich dabei um eine Pseudomorphose nach Andalusit handelt. Das Mineral besitzt die morphologischen Eigenschaften des Andalusites; die Spaltrisse des letzteren setzen sich unverändert darin fort, das Relief ist aber geringer als beim Andalusit (Fig. 5). Optisch ist das Mineral einachsig negativ oder zweiachsig mit sehr kleinem Achsenwinkel; Doppelbrechung ca. 0,012. An einem Pulverpräparat wurde bestimmt: $n_\gamma > 1{,}578 > n_\alpha$. Eine Dichtebestimmung nach der Schwebemethode

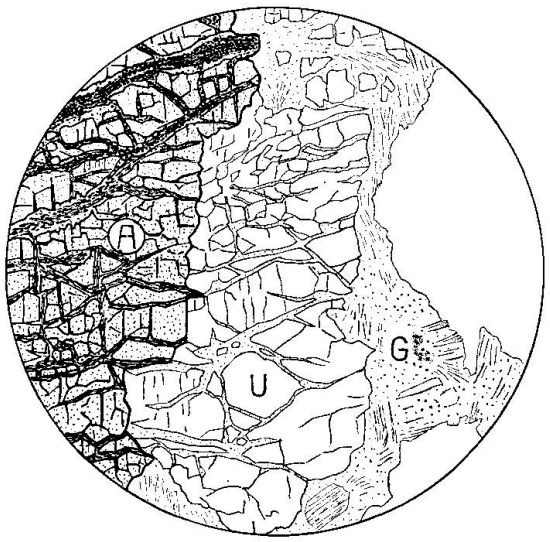

Fig. 5. Dünnschliff eines Andalusitkristalls mit Umwandlungskruste. A = Andalusit, U = krustenartiges Umwandlungsprodukt, G = Glimmer. — Vergr. 22 ×.

ergab d = 2,757. Das Mineral frisst sich zackig in den Andalusit hinein und geht selbst am Rande in Glimmer über.

Diese Rinde wird in der Literatur hie und da erwähnt und wegen ihres talkartigen Aussehens von den älteren Autoren als Speckstein oder Kaolin gedeutet oder auch für eine amorphe Substanz gehalten. Etwas nähere Angaben über diese Kruste des Andalusites macht Rompel (29). Er hat sie mit dem Lötrohr und auf mikrochemischem Weg untersucht und kommt zum Resultat, es sei Kaliglimmer. Er fand reichlich Tonerde, Kali, Spuren von Eisen, währenddem Kalk und Magnesia fehlten.

Eine ähnliche Umwandlung beschreibt Blum (3) von Lisens. Er schreibt: „Der Umwandlung des Andalusites zu Kaliglimmer scheint auch hier manchmal die Bildung einer amorphen Substanz, die vorzüglich aus kieselsaurem Tonerde-Hydrat besteht, vorauszu-

gehen, ja gleichsam dieselbe einzuleiten. Herr Prof. CARIUS hatte die Güte, einen so veränderten Andalusit-Kristall zu analysieren und mir das Resultat seiner Untersuchung mitzuteilen. Dieser Kristall war perlgrau oder grau, matt, weich, so dass er sich schneiden liess; hie und da schon mit einem Glimmerblättchen bedeckt, wie man diesen Zustand häufig bei den Andalusiten von Lisens aus Tirol findet. Chemische Zusammensetzung:

Kieselsäure	36,53
Thonerde	54,05
Eisenoxyd	1,04
Kalk	0,02
Magnesia	0,91
Natron	1,20
Kali	0,54
Wasser	6,92
	101,21".

Nach der Analyse wäre das Mineral also als Zwischenprodukt zwischen Andalusit und Muskowit aufzufassen.

Um einige Klarheit über die Natur des Umwandlungsproduktes zu bekommen, wurde dasselbe chemisch analysiert, ebenso der begleitende Glimmer. Die Analysen wurden von Herrn P. BEARTH ausgeführt. Zum Vergleich sei die Analyse eines Scaletta-Andalusites von GRAMANN (15) angeführt:

Muskowit		Krustenartiges Umwandlungsprodukt des Andalusites		Andalusit Scalettapass	
SiO_2	45,10	SiO_2	47,81	SiO_2	33,94
Al_2O_3	38,85	Al_2O_3	36,39	Al_2O_3	64,19
Fe_2O_3	—	$Fe_2O_3+TiO_2+FeO$	0,40	H_2O	1,78
FeO	0,31				99,91
MnO	—				
MgO	0,06	MgO	0,97		
CaO	—	CaO	—		
K_2O	8,78	K_2O	8,22		
Na_2O	2,01	Na_2O	0,94		
Li_2O	—				
H_2O+	4,72	H_2O+	5,10		
H_2O-	0,53	H_2O-	0,30		
TiO_2	Spur ($<0,01$)		100,13		
F	—				
	100,35				

Zu den Analysen ist folgendes zu bemerken: Der analysierte Glimmer besitzt optisch alle Eigenschaften eines Muskowites. Die optischen Daten und die Dichte wurden deshalb nicht genauer be-

stimmt. Es wurde vollkommen reines und frisches Material verwendet, das keine fremden Beimengungen enthielt. Das krustenartige Umwandlungsprodukt konnte dagegen nicht rein erhalten werden. Eine mikroskopische Untersuchung des Analysenpulvers zeigte, dass etwa 5 % Muskowit beigemengt war. Eine Abtrennung desselben ist aber wegen der innigen Verwachsungen ausgeschlossen und hätte auch mit Hilfe der Zentrifuge nicht durchgeführt werden können, da die spezifischen Gewichte zu nahe beieinander liegen. Das Material war dagegen vollständig frei von Andalusitsubstanz. Da ein einzelner Kristall zu wenig Substanz zum Analysieren lieferte, so musste sowohl vom Glimmer als auch von der Umwandlungskruste Material von verschiedenen Kristallen zum Analysieren verwendet werden. Trotz diesen Einschränkungen gibt auch die Analyse des letzteren ein genügendes Bild über die chemische Zusammensetzung.

Die Abweichungen der Analysen voneinander sind überraschenderweise recht gering, so dass die Rinde nicht als Zwischenprodukt zwischen Andalusit und Glimmer betrachtet werden kann. Es handelt sich hauptsächlich um kleine Schwankungen des Tonerde- und Alkaligehaltes, wobei der Glimmer sogar noch mehr Tonerde besitzt. Relativ beträchtlicher ist die Differenz bei der Magnesia. Beim Glimmer handelt es sich um einen calciumfreien und tonerdereichen Muskowit mit geringem Fe-Gehalt. Die Analyse zeigt bemerkenswerte Übereinstimmung mit derjenigen eines von JAKOB analysierten Pegmatit-Muskowites (18, Analyse 33, S. 404).

Herr Dr. BRANDENBERGER in Zürich hatte die Freundlichkeit, von den beiden analysierten Proben Röntgen(Pulver)diagramme herzustellen. Beide Aufnahmen zeigen dieselben Interferenzen wie die Muskowite und Sericite. Es unterliegt deshalb keinem Zweifel, dass das krustenartige Umwandlungsmineral trotz seiner abweichenden optischen und morphologischen Eigenschaften ein Glied der Muskowitfamilie ist.

Die starke Abweichung der von BLUM gegebenen Analyse erklärt sich wohl daraus, dass Andalusitsubstanz mitanalysiert wurde. Es zeigt sich nämlich, dass man bei der Abtrennung der Rinde äusserst vorsichtig zu Werke gehen muss, da sie zackig und buchtig gegen den Andalusit abgegrenzt ist. Auch stammt die Analyse aus dem Jahre 1863, ist also mit Vorsicht zu bewerten.

Zwei Analysen von Muskowit gibt GRAMANN (15); sie zeigen noch höheren Al_2O_3-Gehalt und weniger Alkalien. Ausserdem existiert noch eine aus dem Jahre 1855 stammende Analyse von ROTH

(30), die eine ähnliche chemische Zusammensetzung, aber einen grösseren Fe-Gehalt angibt.

Wir haben es also bei der Umwandlung des Andalusites in Glimmer im wesentlichen mit einer Zufuhr von Alkalien und Wasser zu tun. Es wird im letzten Abschnitt auseinandergesetzt werden, dass wir uns die Bildung der Quarz-Andalusit-Linsen wahrscheinlich durch Stoffwanderungsvorgänge im Gestein unter dem Einfluß hoher Temperatur zu erklären haben. Die Umwandlung des Andalusites fällt vermutlich in ein Endstadium dieser Mineralbildungsphase selbst. Nach Abschluss der Andalusitbildung mit dem Abnehmen der Temperatur waren im wesentlichen ausser SiO_2 noch Wasser und Alkalien in genügend mobilem Zustand vorhanden, um unter günstigen Bedingungen mit den anderen Gesteinskomponenten zu reagieren, wobei aus dem Andalusit der stabilere Glimmer entstand. Die Glimmerbildung wird von anderen Autoren auch etwa auf Verwitterung zurückgeführt. Es ist aber nicht wahrscheinlich, dass bei derart niedriger Temperatur noch Glimmer entstehen können, besonders solche mit so hohem Al_2O_3- und so niedrigem Wasser-Gehalt. Der genaue Zeitpunkt der Entstehung des Muskowites lässt sich natürlich nicht bestimmen, dazu haben wir zu wenig sichere Daten. Es ist aber anzunehmen, dass wir vom Abschluss der Andalusitbildung bis zur Umwandlung in Glimmer keine sehr grosse Zeitspanne anzusetzen haben.

Von anderen Autoren werden noch weitere Mineralien als Umwandlungsprodukte des Andalusites angegeben, so Disthen (Blum, Roth, Sauer), Sillimanit (Bergeat, Reinhold, Sauer), Biotit (Waterkamp), Korund (Brauns, Lacroix, Waterkamp), Spinell (Lacroix), Kaolin (Gemböck, Haefele), Speckstein (Stotter), Chlorit (Gemböck, Haefele), Pyrophyllit (Corin). Diese Mineralien konnten ausser Chlorit in der Silvretta nicht festgestellt werden. Es handelt sich ja bei diesen Arbeiten z. T. auch um genetisch andere Vorkommen als in der Silvretta, die nicht direkt verglichen werden können.

DIE PARAGENESE ANDALUSIT-DISTHEN

Im Gegensatze zu Andalusit ist Disthen in der Silvretta ein verbreiteter Gemengteil in den Tonerdesilikatgneisen, in den Quarzlinsen dagegen ein seltener Gast. Gramann (15) beschreibt solchen aus dem Radünertäli; ein neues Vorkommen fand ich am Ausläufer des mit Sassauta bezeichneten SE-Grates des Piz Linard in der Höhe der Baumgrenze (Koord. 183,9 und 802,7 SA, Blatt Ardez). Das sind die beiden einzigen bekannten Fundstellen; bei beiden ist der Disthen

vergesellschaftet mit Andalusit. Auf Sassauta finden sich Knauern mit Quarz und Andalusit, Linsen mit Quarz und Disthen und solche, in denen Andalusit und Disthen lamellar miteinander verwachsen sind. Hie und da führen die Quarzlinsen auch Nester von Turmalin.

Von den Rändern der Quarzlinsen aus strahlen Bündel stengeligen Disthens ins Innere und spitzen dort aus. Die einzelnen Kristalle sind gut individualisiert, langgestreckt nach der c-Achse und abgeplattet nach 100. Die Farbe ist lichtblau, oft mit einem dunkelblauen Streifen in der Mitte, gegen den Rand zu weisslich. Pleochroismus mit n_γ = blau, n_β = schwach violett lässt sich im Dünn-

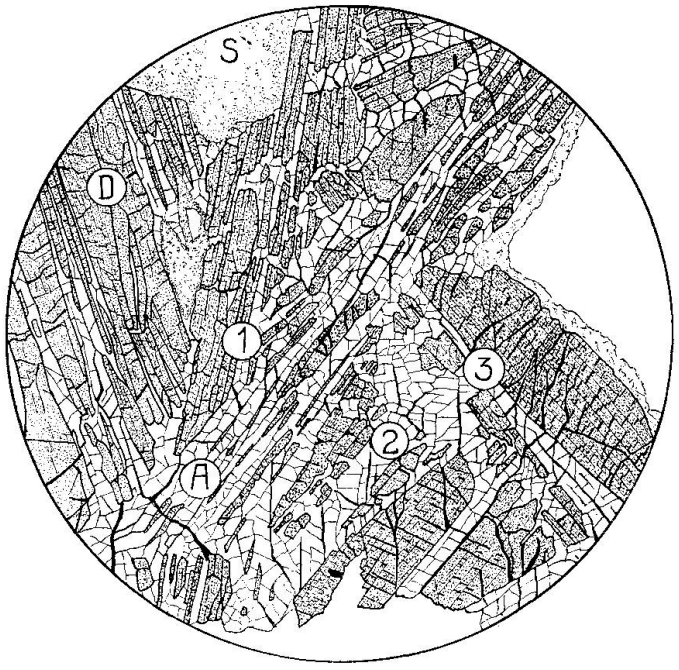

Fig. 6. Dünnschliff einer Verwachsung von Andalusit und Disthen. A = Andalusit, D = Disthen, S = Sericit. Die Lamellensysteme 1, 2 und 3 wurden mit dem Fedorofftisch untersucht (siehe Tabelle auf Seite 336). Vergr. 15 ×.

schliff gelegentlich fleckenweise beobachten. Reichlich sind Druckzwillinge nach 001. Wie Andalusit, so fällt auch Disthen einer Umwandlung anheim, aber lange nicht in dem Masse; sie beschränkt sich auf eine randliche Sericitisierung. Die meisten Individuen sind aber noch vollständig intakt; ganz umgewandelte sind selten.

Das interessanteste Phänomen sind die lamellaren Parallelverwachsungen von Disthen mit Andalusit (Fig. 6). Der Andalusit wird dabei meist erst im Mikroskop erkannt, im Handstück bemerkt man nur den Disthen. Da die Verwachsungen grosse Regelmässigkeit erkennen lassen, wurden sechs solcher Aggregate einer Drehtisch-

untersuchung unterworfen. Beim Andalusit wurde jeweils die Optik eingemessen, beim Disthen zwei Spaltrissysteme und die Optik. Das Einmessen der Optik begegnet etwelchen Schwierigkeiten, da der Andalusit meist stark parkettiert ist und der Disthen teilweise in leuchtenden Farben polarisiert, so dass die Auslöschungen oft schwer einzustellen sind. Die gegenseitige Lage der Individuen konnte aber immer einwandfrei festgestellt werden, und es zeigten sich in der Tat gewisse Gesetzmässigkeiten.

Verwachsungsfläche beim Disthen ist immer 100, bei Andalusit eine Fläche aus der aufrechten Zone, die aber irrational sein kann. Die beiden kristallographischen c-Achsen sind immer annähernd parallel, die maximale Abweichung beträgt 30°. Bei der Angabe der gegenseitigen Lage in der folgenden Tabelle wird der Disthen in der Normalaufstellung als feststehend angenommen mit der Verwachsungsfläche $\bar{1}00$. Die Angaben „Neigung der c-Achse des Andalusites gegen links oder rechts" beziehen sich auf diese Aufstellung.

	Verwachsungsfläche des Andalusites	Neigung c-Achse Andalusit gegen c-Achse Disthen
1)	100	0°
2)	100	30° gegen rechts (Fig. 6, Lamellensystem 1)
3)	$5\bar{2}0$	11° gegen rechts (Fig. 6, Lamellensystem 2)
4)	$1\bar{1}0$	15° gegen links (Fig. 6, Lamellensystem 3)
5)	$\bar{1}10$	10° gegen rechts
6)	$\bar{1}\bar{3}0$	0°

Als Verwachsungsfläche des Andalusites wurde diejenige rationale Fläche angegeben, die der beobachteten irrationalen am nächsten liegt. Nur das Querpinakoid 100 stimmt genau als Verwachsungsfläche. Die Tabelle zeigt, dass die gegenseitige Lage nicht ganz willkürlich, aber doch nicht vollständig festgelegt ist. Es kann auch an einzelnen Stellen beobachtet werden, dass ein und dasselbe Andalusitindividuum von verschieden gerichteten Disthenlamellen durchspiesst wird. ERDMANNSDÖRFFER (9) hat ebenfalls eine Parallelverwachsung von Andalusit und Disthen von Landarenca in der Val Calanca (Tessin) mit dem Fedorofftisch untersucht und dabei gefunden, dass die beiden c-Achsen senkrecht aufeinander stehen, also ein anderes Verwachsungsprinzip als bei den Silvretta-Vorkommen.

Eine solche Koexistenz von mehreren Phasen desselben Systems repräsentiert vom physikalisch-chemischen Standpunkt aus ein Ungleichgewicht. Doch ist das gerade bei den Tonerdesilikaten eine

verbreitete Erscheinung und wird von vielen Autoren beschrieben (SUZUKI, ERDMANNSDÖRFFER, HAEFELE, KIESLINGER, EISELE, KLEMM). In der Silvretta kommen sogar Gesteine vor, in denen Staurolith, Disthen, Andalusit und Sillimanit nebeneinander gefunden werden. Dieses Gleichgewicht ist also sehr unempfindlich, und Modifikationsänderungen verlaufen äusserst träge. Es stellt sich nun die Frage, wie eine solche Paragenese genetisch zu deuten ist. Konsultiert man die Literatur, so ergibt sich, dass die verschiedenen Autoren auch zu verschiedenen Schlüssen gelangt sind. Die meisten fassen den Disthen als eine Pseudomorphose nach Andalusit auf (KIELINGER, EISELE, GRAMANN, LIEBENER und HUBERT). KLEMM und HAEFELE nehmen gleichzeitige Entstehung an, ebenso ERDMANNSDÖRFFER beim Vorkommen von Landarenca wegen seiner „schriftgranitähnlichen" Verwachsung. Es ist natürlich auch anzunehmen, dass je nach der Lokalität die Entstehung eine verschiedene sein kann.

Im jetzigen Zustand hat man ein Nebeneinander von zwei Mineralien vor sich. Von einer Umwandlung kann mit Sicherheit nur gesprochen werden, wenn eine wirkliche Pseudomorphose vorliegt, die morphologisch deutlich als solche erkennbar ist. Das ist bei den Vorkommen der Silvretta nicht der Fall. In der Fundstelle von Sassauta kommen sowohl Disthen als auch Andalusit für sich allein vor; beide Mineralien besitzen den ihnen eigenen Kristallhabitus, der Disthen gestreckt nach c und abgeplattet nach 100, der Andalusit dicksäulig nach c. Es kann also keines als einfache Pseudomorphose aufgefasst werden. Sind sie verwachsen, so geschieht das lamellar, was wieder keine Anhaltspunkte gibt. Man ist also bei der Beurteilung auf andere Überlegungen angewiesen. Für die Vorkommen der Silvretta sind dabei folgende Tatsachen festzuhalten: Die Bildung des Andalusites und des begleitenden Quarzes ist gleichzeitig erfolgt. Andalusit ist in der ganzen Silvretta- und Oetztalermasse verbreitet und besitzt regionale Bedeutung, ist also unter physikalisch-chemischen Bedingungen entstanden, die zu einem gewissen Zeitpunkt für die ganze Silvretta Gültigkeit gehabt haben müssen. Der Disthen hingegen tritt nur sporadisch auf; seine Bildungsbedingungen können also nur lokal realisiert gewesen sein.

Über das System Al_2O_3—SiO_2 sind fast keine Daten bekannt. Einzig Sillimanit konnte auf experimentellem Wege erhalten werden; über die Entstehungsbedingungen von Andalusit und Disthen weiss man nichts sicheres. Die stabilste und bei höheren Temperaturen allein beständige Modifikation ist Sillimanit, der auch häufig als Umwandlungsprodukt des Andalusites festgestellt werden kann. Am

instabilsten scheint Andalusit zu sein, doch wandelt er sich im allgemeinen nicht einfach in eine andere Modifikation um, sondern geht unter Stoffaustausch in Muskowit über. Nach seinem Auftreten in Gesteinen gilt Andalusit als Thermokontaktmineral, Disthen dagegen als Stressmineral. Die Paragenese dieser beiden Mineralien wird deshalb oft auf das Nacheinander einer magmatischen und einer Stressphase zurückgeführt (EISELE, BEARTH). Es ist aber festzuhalten, dass Disthen auch aus typischen Pegmatiten bekannt ist (STUCKEY). Man hat deshalb doch wohl als wesentlichen Faktor der Entstehung einer gewissen Phase die Temperatur anzunehmen, wobei bei niedriger Temperatur Disthen, bei höherer Silimanit entsteht und Andalusit eine Mittelstellung einnimmt. Sicher spielen auch noch andere Faktoren, wie Lösungsgenossen und Konzentrationsverhältnisse, eine Rolle; wir besitzen aber keine Anhaltspunkte zur Beurteilung des Einflusses derselben.

Bei der Unempfindlichkeit des Systems Al_2O_3—SiO_2 ist es sehr wohl möglich, dass sich die Bildungsbereiche zweier verschiedener Phasen in einem gewissen Bezirk überdecken, dass also unter bestimmten Bedingungen zwei Modifikationen gleichzeitig entstehen können. Fasst man die eine Modifikation als Umwandlungsprodukt der andern auf, wie das die meisten Autoren tun, so ist das wahrscheinlichste, dass der instabilere Andalusit in Disthen übergegangen ist. Dabei kann aber nicht eine einfache Gitterumlagerung angenommen werden, etwa durch Translation nach einer Netzebene, die in beiden Modifikationen ähnlich besetzt ist. Dazu sind die Verwachsungen zu wenig geregelt und die Disthenkristalle zu gut individualisiert. Es müsste schon eine Umkristallisation in gelöstem Zustand vor sich gegangen sein.

Für die Silvretta scheint mir die folgende Interpretation am meisten für sich zu haben, auch aus geologischen Gründen. Zu einem gewissen Zeitpunkt herrschten in der ganzen Silvretta Bedingungen, die zur Bildung von Quarz-Andalusit-Linsen führten. In einem späteren Stadium desselben Zyklus traten dann lokal Verhältnisse ein, die die Auskristallisation von Disthen begünstigten, wobei Temperaturabnahme das wesentliche Moment ist. Dass es nur an wenigen Stellen zur Ausbildung von Disthen gekommen ist, mag vielleicht darauf zurückzuführen sein, dass nach Abschluss der Andalusitbildungsphase nur noch sporadisch die nötige Konzentration von Tonerdesubstanz zur Disthenbildung vorhanden war. Dabei wären in einem Übergangsstadium beide Phasen gleichzeitig entstanden. Dafür spricht, dass sowohl reiner Andalusit als auch reiner Disthen

und schliesslich Parallelverwachsungen dieser beiden Mineralien im gleichen Vorkommen nebeneinander auftreten. Die Disthenausscheidung in den Quarzlinsen kann kaum auf eine spätere Stressphase zurückgeführt werden. Die oft ausserordentlich starke Deformation der Andalusitkristalle zeigt, dass der Andalusit grosse Drucke aushalten kann, ohne sich umzuwandeln.

Die eben geschilderten Verhältnisse gelten nur für das Auftreten des Andalusites in den Quarzlinsen. Die Bildungsweise des Disthens in den Gesteinen ist scharf davon zu trennen. Als Gesteinsgemengteil tritt er hauptsächlich mit Staurolith zusammen in den Paragneisen auf. Dort ist er aber viel älter als in den Quarzlinsen und bei der Hauptmetamorphose des Gesteins selbst entstanden. Der Andalusit, der gelegentlich als Gesteinsgemengteil gefunden wird, ist immer jünger als Disthen und Staurolith und vermutlich gleichzeitig wie die Quarz-Andalusit-Linsen gebildet worden. Eine Disthen-Andalusit-Paragenese vom Munt Platta Naira in der Keschgruppe hat BEARTH (1) diskutiert und kommt zu einer etwas anderen Auffassung. Es handelt sich aber dort um einen speziellen Fall, da das Gestein in direktem Kontakt mit Orthogneis steht.

Wir haben also zwei grosse Mineralbildungszyklen zu unterscheiden:

1. Hauptmetamorphose des Gesteins mit Bildung von Staurolith und Disthen (eventuell in einem späteren Stadium als die übrigen Gemengteile),
2. Bildung der Quarzlinsen mit Andalusit in einem ersten und Disthen in einem zweiten Stadium.

Im Kapitel „Morphologie" wurde erwähnt, dass in einem deformierten Andalusitkristall von Lisens ebenfalls Disthen auftritt. Da kann man sich nun wirklich fragen, ob der Disthen nicht durch Druck aus dem Andalusit entstanden ist, denn es handelt sich um einen gut ausgebildeten Einkristall. Man muss aber auch hier die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass vielleicht schon vor der Andalusitbildungsphase Disthen auskristallisiert war, was hauptsächlich auf ein langsameres Ansteigen der Temperatur zurückzuführen wäre. Der Andalusit hätte dann die Disthenkörner später einfach umwachsen. Ein Entscheid zwischen diesen beiden Annahmen lässt sich allerdings nicht treffen. Es scheint immerhin, dass wir bei Lisens mit Modifikationen in den Entstehungsbedingungen gegenüber der Silvretta zu rechnen haben, denn hier treten solche Verhältnisse nicht auf.

DIE ENTSTEHUNG DER QUARZ-ANDALUSIT-LINSEN

Die Autoren, die sich mit Andalusitvorkommen vom Typus Lisens-Silvretta befasst haben, sind hinsichtlich der Entstehung derselben zu recht verschiedenen Auffassungen gelangt, welch letztere sich aber in zwei Gruppen zusammenfassen lassen. Die einen führen die Quarz-Andalusit-Linsen als ein Produkt der Regionalmetamorphose auf (GRAMANN, ESCHER, HAEFELE), die anderen führen sie auf die Wirkungen einer magmatischen Intrusion zurück, sei es als eine Art Kontakterscheinung (KIESLINGER, STRECKEISEN), oder als pneumatolytisch-hydrothermale Gangbildung (CORNELIUS, HAMMER).

Um sich ein Urteil über die Entstehung des Andalusites zu bilden, ist es nötig, die geologischen Verhältnisse des betreffenden Gebietes zu berücksichtigen. In der Silvretta handelt es sich um ein polymetamorphes Gebiet, das mehrere orogenetische Zyklen mitgemacht hat, so dass wir uns naturgemäss nur noch ein lückenhaftes Bild von der Entstehungsgeschichte machen können, haben doch die jüngeren Metamorphosen die Spuren der älteren weitgehend verwischt. Durch die neuen Aufnahmen in der Silvretta hat sich folgende Auffassung über den Werdegang und die gegenseitigen Beziehungen der verschiedenen Gesteine ergeben (siehe Lit. 33 und 34): Das älteste sind hochmetamorphe Paragneise und Paraamphibolite, die ihre Hauptmetamorphose während der kaledonischen oder einer noch früheren Gebirgsbildung erlitten haben. Dieses alte Grundgebirge wurde später von der hercynischen Faltung überwältigt und zu gleicher Zeit von empordringenden magmatischen Schmelzflüssen durchtränkt, unter Bildung von Ortho- und Mischgesteinen. Die Intrusion des Magmas hat am eigentlichen Kontakt zur Ausbildung von Injektionsgesteinen Anlass gegeben, im weiteren Kontakthof bewirkte sie Differentiationsvorgänge im Nebengestein, die einerseits gebänderte Gneise entstehen liessen, andererseits zur Neubildung von Albitporphyroblasten führten. Die Lagen- und Adergneise sind auf die Kontakthöfe der Orthogneise beschränkt, Knotenbildung findet sich aber auch in Paragneisen, die weit vom Kontakt entfernt sind. Durch die Orogenese in Verbindung mit einer magmatischen Intrusion müssen also Bedingungen geschaffen worden sein, die im ganzen Gneiskomplex zu Umkristallisationen Anlass gaben, wenn sich auch vom Kontakt weg ein Abklingen der Intensität feststellen lässt. Während der hercynischen Faltung hat die Silvretta die letzte umgestaltende Metamorphose erlitten. Die Wirkung der alpinen Faltung beschränkt sich auf passiven Transport der Masse und äussert sich nur in Kataklase und Mylonitisierung.

Die Quarz-Andalusit-Linsen der Silvretta sind sicher jünger als das umgebende Gestein. Die Entstehung durch Katametamorphose zugleich mit dem Gestein fällt also ausser Betracht. Die Verteilung der Andalusite ist zwar unregelmässig, doch sind sie mit Vorliebe in den Ader- und Knotengneisen zu finden und wahrscheinlich gleichzeitig mit den Albitporphyroblasten entstanden, sind also mit der magmatischen Intrusion in Beziehung zu bringen. Ich habe in meiner Arbeit über die Vadret-Gruppe (33) die Ansicht pneumatolytisch-hydrothermaler Entstehung vertreten, da an einer der Hauptfundstellen am Scalettahorn reichlich Turmalinkristalle auftreten. Die systematische Untersuchung auch der übrigen Teile der schweizerischen Silvretta hat aber gezeigt, dass dies nur eine lokale Erscheinung ist und dass die Andalusitlinsen auch in Paragneisen vorkommen, die keine Spuren pneumatolytischer Beeinflussung erkennen lassen. Ich bin deshalb zu der Auffassung gelangt, dass die magmatische Intrusion nur indirekt für die Ausscheidung des Andalusites verantwortlich zu machen ist, nämlich in dem Sinne, dass sie Temperatur- und Druckbedingungen geschaffen hat, durch welche Differentiationsvorgänge im Nebengestein ausgelöst wurden.

Es handelt sich bei der Entstehung der inhomogenen Texturen in den Lagen- und Adergneisen, bei der Sammelkristallisation von Albitsubstanz und bei der Ausscheidung der Quarz-Andalusit-Linsen immer um dasselbe Phänomen, nämlich um „metamorphe Differentiation", wie sie ESKOLA (12) beschrieben hat. Auch READ (26 a) vertritt in einer neuen Publikation über Quarz-Disthen-Gesteine von den Shetland-Inseln diese Auffassung. Infolge der Intrusion in Verbindung mit orogenetischen Vorgängen wurden gewisse Stoffe innerhalb des Gesteins mobilisiert und in Porphyroblasten, Lagen, Bändern oder Linsen konzentriert. Am beweglichsten sind dabei SiO_2 und Alkalien, wie die weite Verbreitung der Quarzlinsen und der Albitknotengneise auch weit vom Kontakt weg zeigt. Näher am Kontakt war die Wirkung noch intensiver; das ganze Gestein wurde in plastischen Zustand versetzt, die hellen Bänder sind „ptygmatisch" gefältet und bestehen aus Plagioklas, Quarz und etwas Biotit; sie nehmen oft am Rande pegmatitischen Charakter an mit grobkristalliner Ausbildung der Komponenten, Nestern von Biotit u. s. w. Das Material ist aber nicht aus dem Magma zugeführt, sondern stammt aus dem Nebengestein.

In den Andalusitknauern haben wir ebenfalls eine solche Sammelkristallisation aus dem Gestein vor uns. Ausser bestimmten physikalischen Bedingungen, die wir aber nicht kennen, ist wohl haupt-

sächlich ein gewisser Tonerdeüberschuss notwendig, der ja in den Paragneisen der Silvretta als Abkömmlingen von tonigen Sedimenten auch vorhanden ist. STRECKEISEN (34) ist der Ansicht, dass in den Knotengneisen vom Magma her Natron zugeführt worden sei und Andalusit sich nur da gebildet habe, wo das zugeführte Natron nicht mehr zur Bindung der Tonerde in Plagioklas ausreichte. Dem widerspricht aber das vorzugsweise Vorkommen des Andalusites in den Knotengneisen selbst. Ausserdem ist eine direkte magmatische Stoffzufuhr fraglich und eine Analyse (34, S. 133) spricht dagegen. Die Knotenfeldspäte sind allerdings saurer als die älteren Gesteinsplagioklase; das ist aber eher durch eine Entmischung zu erklären, da meist mit den Albitknoten auch neugebildeter Granat festgestellt werden kann.

Nach Beendigung der Andalusitbildungsphase, vermutlich mit dem Sinken der Temperatur, kam es an denjenigen Stellen, wo die nötige Konzentration an Al_2O_3 noch vorhanden war, zur Ausbildung von Disthen. Das zeigt auch die Art, wie der Disthen auftritt, indem er vom Rande her in die Quarz-Andalusit-Linsen hineinwächst.

Im Kapital Paragenese ist als Einschluss in Andalusit primärer Korund erwähnt worden. Die Bildung dieses Korundes ist wohl als erste Phase bei den höchsten hier erreichten Temperaturen zu deuten, die nur ganz lokal erreicht worden sind. Wir hätten dann folgende Reihenfolge der Ausscheidung: Korund-Andalusit-Disthen.

Die Entstehung der Andalusitlinsen kann weder der Intrusion noch der Dislokationsmetamorphose allein zugeschrieben werden; beide Faktoren wirkten bei der hercynischen Orogenese zusammen, wobei aber wahrscheinlich die Wirkung des Magmas höher einzuschätzen ist. Die Andalusite der Silvretta sind ein Analogon zu den alpinen Kluftmineralien unter katazonalen Verhältnissen.

SCHLUSSWORT

Während der Ausarbeitung hatte ich Gelegenheit, manche Frage mit meinem Lehrer, Herrn Prof. REINHARD, zu diskutieren; ich möchte ihm hier meinen herzlichen Dank aussprechen für das grosse Interesse, das er meiner Arbeit entgegengebracht hat, ebenso auch Herrn Prof. NIGGLI in Zürich, mit dem ich gewisse Punkte besprechen durfte. Herrn Dr. BRANDENBERGER in Zürich bin ich für die Aufnahme zweier Pulverdiagramme, Herrn Dr. BEARTH für die Ausführung zweier Mineralanalysen zu grossem Dank verpflichtet, für mündliche Mitteilungen den Herren Prof. PREISWERK, Prof. STRECKEISEN in Bukarest, Dr. CADISCH und E. WENK. Folgende Herren hatten

die Freundlichkeit, mir Vergleichsmaterial zu überlassen oder zu zeigen: Herr Prof. PARKER zeigte mir die Andalusitsammlung der E. T. H. in Zürich; Herr Prof. BURRI schickte mir die Schliffe von GRAMANN, Herr Dr. GRÜTTER überliess mir Material aus dem Basler Museum, Herr Dr. GERBER solches aus dem Museum in Bern und Herr Prof. HÄGLER sandte mir die Andalusite aus dem Museum in Chur. Ihnen allen sei bestens gedankt, ebenso auch dem Präparator des Basler Museums, Herrn HUBER, für die Ausführung von Photographien.

Die Untersuchung der Handstücke und Schliffe erfolgte im Mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Basel. Das Material befindet sich zum grössten Teil im Naturhistorischen Museum Basel. Andalusite aus der Silvretta besitzen auch die Museen in Bern und Chur und die Mineraliensammlung der E. T. H. in Zürich.

LITERATURVERZEICHNIS

1. P. BEARTH, Geologie und Petrographie der Keschgruppe. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12, 256. 1932.
2. A. BERGEAT, Der Cordieritandesit von Lipari, seine andalusitführenden Einschlüsse und die genetischen Beziehungen zwischen dem Andalusit, Sillimanit, Biotit, Cordierit, Orthoklas und Spinell und den letzteren. Neues Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. 30, 575. 1910.
3. R. BLUM, Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. 3. Nachtrag, S. 79. 1863.
4. N. L. BOWEN and J. W. GREIG, The System Al_2O_3-SiO_2. Journ. of the American Ceramic Society. 7, 238. 1924.
5. R. BRAUNS, Zwei Generationen von Andalusit in kristallinen Schiefern aus dem Laacher Seegebiet. Neues Jahrb. f. Min. Jahrg. 1911, Bd. II.
6. F. CORIN, Un nouveau filon d'Andalousite à Regné. Ann. Soc. Géol. de Belgique. 53, Bull.
7. H. P. CORNELIUS, Über ein neues Andalusitvorkommen in der Ferwallgruppe (Vorarlberg) und seine regionalgeologische Bedeutung. Centr. f. Min. Jahrg. 1921, S. 290.
8. H. EISELE, Das Übergangsgebirge bei Baden-Baden, Ebersteinburg, Gaggenau und Sulzbach und seine Kontaktmetamorphose durch das Nordschwarzwälder Granitmassiv. Z. d. Deutsch. Geol. Ges. 59, 131. 1907.
9. O. H. ERDMANNSDÖRFFER, Über Disthen-Andalusitparagenesen. Sitzber. d. Heidelberger Ak. d. Wiss. Math.-natw. Kl. Jahrg. 1928. 16. Abh.
10. A. ESCHER und B. STUDER, Geologische Beschreibung von Mittel-Bündten. Neue Denkschr. d. allg. Schweiz. Ges. f. d. gesammelten Naturwissenschaften. 3. 1839.
11. F. ESCHER, Petrographische Untersuchungen in den Bergen zwischen Davos und Piz Kesch. Jahresber. d. Naturf. Ges. Graubünden. 1921.
12. P. ESCOLA, On the Principles of Metamorphic Differentiation. C. r. Soc géol. de Finlande. No. 5. 1932.

13. F. Foetterle, Verzeichnis der an die k. k. Geologische Reichsanstalt gelangten Einsendungen von Mineralien, Petrefakten, Gebirgsarten etc. Jahrb. d. k. k. Geol. Reichsanstalt. 1, 350. 1850.
14. H. Gemböck, Über den Andalusit vom Montavon in Vorarlberg. Neues Jahrb. f. Min. Jahrg. 1898, Bd. II. S. 89.
15. A. Gramann, Über die Andalusitvorkommnisse im rhätischen Flüela- und Scalettagebiet und die Färbung der alpinen Andalusite. Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zürich. Jahrg. 44. 1899.
16. E. Haefele, Über Andalusit vom Pitzthale in Tirol. Z. f. Krist. 23. 551. 1894.
17. W. Hammer, Einige Ergebnisse der geologischen Landesaufnahme in den Westtiroler Zentralalpen. Geol. Rundschau. 16, 147. 1925.
18. J. Jakob, Beiträge zur chemischen Konstitution der Glimmer. V. Mitteilung: Die Muskowite der Pegmatite. II. Teil. Z. f. Krist. 69, 403. 1929.
19. A. Kenngott, Mineralogische Notizen. Sitzber. Ak. d. Wiss. Wien. Math.-natw. Kl. Bd. 14. II. Heft, S. 269. 1854.
20. P. F. Kerr, The Occurence of Andalusite and Related Minerals at White Mountain, California. Economic Geology 27, 614. 1932.
21. A. Kieslinger, Paramorphosen von Disthen nach Andalusit. Sitzber. Ak. d. Wiss. Wien. Math.-nat. Kl. Abt. I. Bd. 163, 71. 1927.
22. G. Klemm, Über die angebliche Umwandlung von Andalusit in Disthen in den Hornfelsen des Schürkopfes bei Gaggenau in Baden. Z. d. Deutsch. Geol. Ges. 68, 86. 1916.
23. A. Lacroix, Sur les relations existant entre la forme et la nature des gisements de l.andalousite de l'Ariège. C. r. des séances de l'Ac. des Sc. Paris 1892.
24. A. Lacroix, Minéralogie de la France. Bd. I. S. 25. 1893.
25. F. Machatschki, Mineralogische Notizen. 4. Andalusit von Rosenberg in Böhmen. Z. f. Krist. 63, 464. 1926.
26. A. B. Peck, Note on Andalusite from California: A New Use and Some Thermal Properties. American Mineralogist 9, 123. 1924.
26a. H. H. Read, On quartz-kyanite-rocks in Unst, Shetland Islands, and their bearing on metamorphic differentiation. Mineralogical Magazine 23, 317. 1933.
27. F. Reinhold, Eine Pseudomorphose von Sillimanit nach Andalusit aus dem niederösterreichischen Waldviertel. Tschermaks Mitt. N. F. 26, 247. 1907.
28. E. Repossi, L'andalusite di Musso (Lago di Como). Atti della r. Acc. dei Lincei, Roma. Rendiconti, ser. 5. Vol. 19, 1. sem. S. 291. 1910.
29. J. Rompel, Ein neuer Fundort für Andalusit auf der Heimspitze in Vorarlberg. Tschermaks Mitt. 14, 565. 1895.
30. J. Roth, Glimmer nach Andalusit. Z. d. Deutsch. Geol. Ges. 7, 15. 1855.
31. A. Sauer, Geologische Spezialkarte des Großherzogtums Baden, Erläuterungen zu Blatt 82, Gengenbach. S. 12.
32. E. S. Shepherd und G. A. Rankin, Die binären Systeme von Tonerde mit Kieselsäure, Kalk und Magnesia. Z. f. anorg. Chemie 68, 370. 1910.
33. F. Spaenhauer, Petrographie und Geologie der Grialetsch-Vadret-Sursura-Gruppe (Graubünden). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 12, 27. 1932.

34. A. Streckeisen, Geologie und Petrographie der Flüelagruppe (Graubünden). Schweiz. Min. Petr. Mitt. 8, 87. 1928.
35. M. Stotter, Die Oetzthaler Masse. Z. d. Ferdinandeums f. Tirol und Vorarlberg. III. Folge, 8. Heft. 1859.
36. J. L. Stuckey, Cyanite Deposits of North Carolina. Economic Geology 27, 661. 1932.
37. J. Suzuki, Über die Staurolith-Andalusit-Paragenesis im Glimmergneis von Piodina bei Brissago. Schweiz. Min. Petr. Mitt. 10, 117. 1930.
38. W. H. Taylor, The Structure of Andalusite, Al_2SiO_5. Z. f. Krist. 71, 205. 1929.
39. M. Waterkamp, Auswürflinge aus dem Trachyttuff von Königswinter am Rhein. Neues Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. 42, 499. 1919.

Mineralogisch-petrographisches Institut der Universität Basel.
Eingegangen: 10. April 1933.

Erläuterung zur Tafel

Fig. 1. Verbogener Andalusitkristall. Fop Tiamarsch, Val Saglains. Etwas reduziert. Nat. Länge des Kristalls 19.5 cm.

Fig. 2. Anschliff eines deformierten Andalusitkristalls. Sassauta, Piz Linard. Risse parallel der Druckrichtung, gefüllt mit Sericit und „amorpher" Substanz. An den Rändern des Kristalls das krustenartige Umwandlungsmineral. Vergr. 2×.

Fig. 3. Anschliff eines deformierten Andalusitkristalls. Furcletta. Netzwerk von feinen Rissen. Einschlüsse von Quarz (dunkel) und Muskowit (hell.) An den Rändern das krustenartige Umwandlungsmineral. Vergr. 2×.

Fig. 1

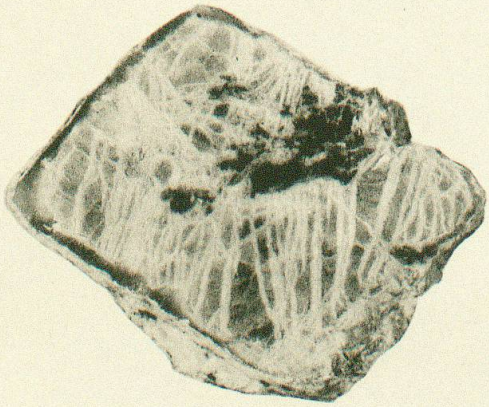

Fig. 2

Fig. 3

Leere Seite
Blank page
Page vide