

## Original-Mitteilungen an die Redaktion.

### Über Quarz als geologisches Thermometer und die Bedeutung der Zusammensetzungsfläche von Zwillingen.

Von O. Mügge in Göttingen.

Mit 3 Textfiguren.

Es ist früher<sup>1</sup> darauf aufmerksam gemacht, daß bei der Entstehung des trigonalen Quarzes ( $\alpha$ -Quarz<sup>2</sup>) aus hexagonalem<sup>3</sup> ( $\beta$ -Quarz) ein Zerfall in zwei Individuen stattfindet, die sich in Zwillingsstellung nach (10 $\bar{1}$ 0) befinden. Oberhalb 575° entstandener Quarz wird also diese Zwillingsbildung zeigen, und Quarz, der sie nicht zeigt, wird unterhalb 575° entstanden sein. Eine Anfrage von geologischer Seite, sowie die Wahrnehmung, daß von diesem „geologischen Thermometer“ zuweilen ein unzulässiger Gebrauch gemacht ist, haben die folgenden Bemerkungen und Untersuchungen veranlaßt.

Bei WRIGHT und LARSEN<sup>4</sup>, denen wir die sorgfältigste Bestimmung der Umwandlungstemperatur  $\alpha \rightarrow \beta$ , sowie die Feststellung verdanken, mit wie geringer Verzögerung auch die Rückumwandlung  $\beta \rightarrow \alpha$  vor sich geht, heißt es (p. 437), daß die nach Erhitzung eines regelmäßig (regularly<sup>5</sup>) verzwilligten Quarz-

<sup>1</sup> O. MÜGGE, N. Jahrb. f. Min. etc. Festbd. 1907. 181.

<sup>2</sup> Ich werde im folgenden wie früher unter  $\alpha$ -Quarz den trap.-tetart. verstehen, unter  $\beta$ -Quarz den trap.-hemiedr. Der Vorschlag von BOEKE, die bei höchster Temperatur entstehende Modifikation als  $\alpha$  zu bezeichnen (Grundlagen d. phys.-chem. Petrogr. p. 49. 1915). ist nicht ausführbar, da ja auch der Druck in Frage kommt, und also geeignet, Verwirrung hervorzurufen (bei Schwefel z. B. entsteht oberhalb 1320 Atm. aus Schmelzfluß der rhombische).

<sup>3</sup> Mit der trap. Hemiedrie des  $\beta$ -Quarzes sind alle bisherigen Beobachtungen verträglich: Ätzfiguren (nach FRIEDEL, MÜGGE, NACKEN), das Verschwinden der Piezoelektrizität oberhalb 575° (PERRIER), ebenso das Laue-Röntgenogramm (aufgenommen von RINNE u. GROSS) und der Zerfall in 2 Individuen unterhalb 575°.

<sup>4</sup> WRIGHT und LARSEN, Amer. Journ. of Sc. (4.) 27. 440. 1909. — Zeitschr. f. anorg. Chem. 68. 338. 1910.

<sup>5</sup> Ich nehme an, daß darunter ein Zwilling nach (10 $\bar{1}$ 0) (nicht Verwachsung von rechtem mit linkem) mit geradlinigen Grenzlinien verstanden ist.

kristalls über  $575^{\circ}$  und Wiederabkühlung desselben auftretenden Zwillingsgrenzen in der Regel nicht mehr gerade sondern unregelmäßig verlaufen. Dem kann ich nicht ganz beipflichten, denn nach meiner Erfahrung verlaufen auch bei den primär nach (1010) verzwillingten Quarzen die Zwillingsgrenzen vielfach, vielleicht sogar meist, krummlinig, so daß man aus unregelmäßigem Verlauf nicht auf eine Bildungstemperatur oberhalb  $575^{\circ}$  schließen kann. Der Irrtum gegenüber den eingangs hervorgehobenen Sätzen scheint dadurch hervorgerufen, daß die Verf. auch dem  $\beta$ -Quarz eine gewisse Neigung zur Bildung von Zwillingen nach (1010) zuerkennen („the tendency in the latter form [ $\beta$ ] to form twins therefore is much less strong than in the  $\alpha$ -form“), während in Wirklichkeit ja  $\beta$ -Quarz gar keine Zwillinge nach diesem Gesetz bilden kann.

Nach dem Vorgange von WRIGHT und LARSEN und z. T. unter Berufung auf die „Hypothese von WRIGHT“ haben dann eine Reihe skandinavischer Petrographen die Bildungstemperatur für einige Quarzvorkommen nach dem Vorhandensein oder Fehlen regelmäßiger und unregelmäßiger Zwillingsgrenzen beurteilt<sup>1</sup>. Vorausgesetzt, daß es sich in jenen Fällen, wo diese Autoren geradlinige Grenzen beobachtet haben, überhaupt um Zwillinge nach (1010), nicht um Verwachsungen von Rechts- mit Links-Quarz gehandelt hat, wäre doch folgendes dazu zu bemerken.

Beobachtungen an Bergkristallen. Nach meiner Erfahrung ist der Verlauf der Grenzen bei Zwillingen nach (1010) im allgemeinen ein ganz unregelmäßiger. Besonders festgestellt wurde dies jetzt noch an 14 Kristallen, an denen natürliche Ätzung sie genau verfolgen ließ, z. T. nur auf (1011) und (0111), z. T. auch auf (1010). Dasselbe gilt für 20 Kristalle aus dem Tavetsch, an denen die Grenze durch künstliche Ätzung mit HF sichtbar gemacht wurde. Hier und da verlaufen die Grenzen auch wohl eine kurze Strecke nahezu geradlinig, und zwar // (1010), meist aber sogar recht kompliziert unregelmäßig. An vier geätzten Kristallen vom Hollersbachtal im Ob. Pinzgau waren die Grenzen weniger kompliziert, öfter annähernd geradlinig, dabei herrschte meist das eine Individuum stark vor, vier andere waren sogar ganz einfach. Im ganzen ließ sich aber an ungefähr 300 Flächen von Bergkristallen ein so unregelmäßiger Verlauf der Grenzen feststellen, daß danach die Frage, ob die Zwillingsbildung primär oder sekundär sei, nicht hätte entschieden werden können. Nach den von WRIGHT und LARSEN angegebenen Merkmalen wäre

<sup>1</sup> MÄKINEN, Bull. Comm. géol. Finl. 35. 23. 1913; BORGSTRÖM, das. 41. 26. 1914; LAITAKARI, das. 54. 20. 1921. — LE CHATELIER (Kieselsäure und Silikate. 1920. 99) schließt, daß Quarz oberhalb  $575^{\circ}$  entstanden ist, wenn seine (natürlichen) Ätzfiguren auf allen Pyramidenflächen dieselben sind. Das kann natürlich sehr leicht irreführen!

die größere Wahrscheinlichkeit die für  $\beta$ -Quarz gewesen, auch für die vom Hollersbachtal, wenn nicht die vier ganz unverzwilligten Kristalle dieses Vorkommens dem sofort widersprochen hätten.

Daß aber auch die Kristalle vom Tavetsch unterhalb  $575^{\circ}$  entstanden sind, ergibt sich zweifellos aus der Lage ihrer Trapez- und Parallelogrammflächen zu den von Natur oder durch Ätzung sichtbar gemachten Zwillingsgrenzen<sup>1</sup>.

An 3 Kristallen der ersteren Art ließ sich mit größter Genauigkeit durch makro- und mikroskopische Untersuchung feststellen, daß die Zwillingsgrenzen niemals an die Kanten der Trapez- und Parallelogrammflächen (außer allenfalls an deren Endpunkten!) herantreten oder erstere gar überqueren, vielmehr gehört jede solche Trapez- oder Parallelogrammfläche stets nur dem einen oder nur dem andern der beiden Zwillingsindividuen an. Das wäre offenbar nicht zu erwarten, wenn die Zwillingsbildung erst bei der Umwandlung  $\beta \rightarrow \alpha$  vor sich gegangen wäre, der Verlauf der Grenzen würde dann von den genannten Flächen nicht so abhängen<sup>2</sup>. (Es wurden untersucht 12 Trapez- usw. Flächen in ihren Grenzen zu 27 Nachbarflächen; die Zwillingsgrenzen überqueren sie nie, was um so mehr auffällt, als sie ihnen auch bis auf mikroskopische Abstände nahekommen.)

Dasselbe trifft auch zu für die oben erwähnten 20 geätzten Kristalle vom Tavetsch, die nach der Verteilung der Trapez- und Parallelogrammflächen sämtlich Zwillinge waren. An 143 Trapez- und Parallelogrammflächen und auch steilen Rhomboedern und ihren Kanten zu 208 andern Flächen konnte dasselbe wie oben festgestellt werden. Die Zwillingsgrenzen sind somit trotz ihres ganz unregelmäßigen und vielfach sehr komplizierten Verlaufs ganz sicher primär, die Quarze unterhalb  $575^{\circ}$  entstanden.

Dasselbe Ergebnis hatte die Untersuchung der vier verzwilligten Rauchquarze aus dem Hollersbachtal mit 29 Trapez- usw. Flächen gegenüber 35 Nachbarflächen.

<sup>1</sup> Ob das Auftreten von trigonalen Trapezoedern und trigonalen Pyramiden charakteristisch für Bildung unter  $575^{\circ}$  ist, wie WRIGHT und LARSEN (p. 438) meinen, scheint immerhin zweifelhaft. Wenn auch solche Flächen an pyrogenen Quarzen bisher wohl niemals beobachtet sind, steht doch nichts im Wege anzunehmen, daß sie dort und namentlich auch an Bergkristallen oberhalb  $575^{\circ}$  gebildet werden könnten. Auch das Fehlen deutlicher Unterschiede in der Größe der abwechselnden Pyramidenflächen ist als Kennzeichen der Bildung als  $\beta$ -Quarz kaum zu verwerten, wie dort empfohlen wird, denn diese Regellosigkeit zeigt sich auch oft genug an zweifellos unter  $575^{\circ}$  entstandenen Kristallen.

<sup>2</sup> Auch auf dieses Kennzeichen gewachsener Zwillinge wurde von mir (l. c. p. 189, Anm. 5) hingewiesen; jeder Unterbrechung einer Parallelogrammfläche entspricht das Herantreten eines Zwillingsteiles an die von ihr abgestumpfte Kante wie Fig. 1.

Eine Entstehungstemperatur unter  $575^{\circ}$  kommt vermutlich allen Bergkristallen der Alpen zu, obwohl unter ihnen ja wirklich (d. h. nach Maßgabe der Ätzung) unverzwilligte recht selten sind (namentlich anscheinend unter den größeren); immerhin wäre eine Untersuchung zahlreicher Kristalle von mannigfaltigen alpinen Vorkommen daraufhin nützlich, um sich vor Täuschungen zu bewahren. Für die unten folgenden Erörterungen sei noch bemerkt, daß unter allen diesen alpinen Kristallen keiner angetroffen wurde, der nach der Ätzung Streifen parallel den Rhomboederflächen gezeigt hätte.

Von besonderem Interesse schien es mir, auch die kleinen Bergkristalle zu untersuchen, die in den Drusenräumen des roten Granits von Baveno aus schriftgranit-ähnlichen Massen gleichsam herauswachsen, zumal sie auch Trapez- und Parallelogrammflächen

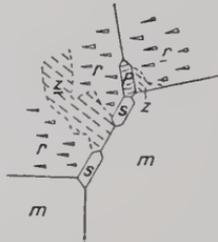


Fig. 1.



Fig. 2.

tragen. An 22 Kristallbruchstücken wurden 40 Ecken durch solche, allerdings meist nur sehr kleine Flächen abgestumpft. Die mikroskopische Prüfung nach der Ätzung ergab, daß sämtliche Kristalle nach  $(10\bar{1}0)$  verzwilligte Teile enthielten, während Verwachsungen von Rechts- mit Links-Kristallen ganz fehlten. Die Zusammensetzungsflächen verliefen im allgemeinen auch hier ganz unregelmäßig, nur hier und da annähernd  $\parallel (10\bar{1}0)$ , indessen waren sie wenig kompliziert. Ferner zeigte sich, daß auch hier die Parallelogramm- und Trapezflächen<sup>1</sup> der von den Schweizer Kristallen her bekannten Regel durchaus folgten: sie liegen stets unterhalb dem positiven Rhomboeder, bei rechten Kristallen rechts usw. Zugleich bleiben die Zwillingsgrenzen ausnahmslos den Parallelogramm- und Trapezflächen fern, sie treten mit erstaunlicher Genauigkeit nur da an diese heran, wo diese verschwinden, d. h. an ihren Ecken; das ist namentlich da sehr auffallend, wo diese die Kante zwischen  $(10\bar{1}1)$  und  $(01\bar{1}0)$  nicht überall, sondern nur mit Unterbrechungen abstumpfen, bei jedem Wiederauftreten der

<sup>1</sup> obwohl diese Trapezoeder hier stumpfe sind, d. h. über  $(11\bar{2}1)$  usw. liegen (t der Fig. 2).

Abstumpfung tritt eine Zwillingsgrenze an die Kante heran (z. B. Fig. 1 u. 2), ( $P$  ist sog. Praerosionsfläche)<sup>1</sup>.

Daraus ist mit Sicherheit zu schließen, daß auch diese Kristalle, obwohl alle Zwillinge mit unregelmäßigen Zusammensetzungsflächen und obwohl mit schriftgranitischen Bildungen innig verknüpft, doch schon unterhalb  $575^{\circ}$  entstanden sind.

Das gilt anscheinend auch für die großen (bis 20 cm) Quarzkristalle von Zinnwald mit ihren komplizierten, allerdings vielfach auch // den Spuren von  $(h\ 0\ \bar{1}\ 1)$  auf  $(0001)$  verlaufenden Zwillingsgrenzen. Regelmäßigkeit in der Verteilung der großen und kleinen Rhomboederflächen fehlt durchaus, manche zeigen Trapezflächen (dor gewöhnlichen Lage). Nur an zwei solchen konnte festgestellt werden, daß sie von Zwillingsgrenzen nicht durchquert werden; die Beobachtungen sind auch dadurch kompliziert, daß die natürlichen Flächen  $(10\bar{1}\ 1)$  und  $(01\bar{1}\ 1)$  und  $(10\bar{1}\ 0)$  zur Ätzung nicht geeignet sind; man muß die oberste Schicht abschleifen, da diese anscheinend einen komplizierten und sehr lückenhaften Bau hat. Außerdem enthalten diese Kristalle anscheinend viele Lamellen entgegengesetzter Drehung.

Unter den in Drusen aufgewachsenen, also wohl aus stark gewässerten Lösungen kristallisierten Quarzen ist mir kein Vorkommen bekannt geworden, für das eine Bildungstemperatur über  $575^{\circ}$  anzunehmen wäre; wohl aber gibt es Vorkommen mit Anzeichen einer noch niedrigeren Bildungstemperatur als die alpinen.

Von einer Stufe von Schemnitz<sup>2</sup> wurden 70 Kristalle geätzt und 32 davon eingehend mikroskopisch untersucht, und zwar nur auf den Flächen  $(10\bar{1}\ 1)$  und  $(01\bar{1}\ 1)$ , da die Ätzfiguren nach kurzer Ätzung (4—7 St.) auf  $(10\bar{1}\ 0)$  noch nicht deutlich waren, nach längerer aber die Säure sich unter den Säulenflächen einfräß, was die Kristalle trübte und unbrauchbar machte. Zur Erkennung von Teilen in Zwillingstellung wurden auch hier sog. Praerosionsflächen mitbenutzt. Die Kristalle (etwa 5—15 mm lang, 1—5 mm dick, ohne Trapez- usw. Flächen) erscheinen fast alle insofern einfach, als am Ende große und kleine Rhomboederflächen regelmäßig abwechseln oder nur die drei des positiven Rhomboeders vorhanden sind. An 7 Kristallen wurden auch nach der Ätzung keine Teile in Zwillingstellung entdeckt (was nicht ausschließt, daß kleine solche Teile dennoch, durch die oberflächlichen verdeckt, vorhanden

<sup>1</sup> Sehr auffallend ist, daß die Grenze auf  $(10\bar{1}\ 1)$  und  $(01\bar{1}\ 1)$  nach der Ätzung meist durch einen flachen Ätzgraben bezeichnet wird, der um so deutlicher ist, je mehr die Grenze sich der Lage parallel zu einer der beiden Polkanten nähert, dagegen verschwindet, wenn sie der Randkante der Fläche parallel wird. Die Ursache könnte in der unten besprochenen unvollständigen Raumerfüllung längs gewisser Grenzflächen liegen.

<sup>2</sup> ohne nähere Angabe der Fundstelle; Begleiter ein wenig hellbrauner Breunnerit in kleinen, hohlen, wurmförmigen, aber einheitlich spaltenden Gebilden.

waren); immerhin wird es schon daraus, wie aus der Form, wahrscheinlich, daß sie unterhalb  $575^{\circ}$  gebildet sind. Auch bei den übrigen nach dem Habitus einfach erscheinenden Kristallen verrät die Ätzung durchweg nur ganz kleine Teile in Zwillingstellung, und zwar liegen diese stets in unmittelbarer Nähe der von den 3 Flächen  $(10\bar{1}1)$ ,  $(\bar{1}101)$ ,  $(01\bar{1}0)$  (oder analogen) gebildeten Ecke, und treten auch nur dann dort auf, wenn diese durch eine kleine Fläche der Lage  $(01\bar{1}1)$  abgestumpft wird, niemals, wenn eine solche fehlt. Wohl aber stellen sich solche Abstumpfungen ein, auch ohne daß die Ätzung dort Teile in Zwillinglage offenbart (was ihr Vorhandensein unter der Oberfläche nicht ausschließt!). Innerhalb der großen Rhomboederflächen, losgelöst von den Kanten zu den kleinen, wurden niemals Teile in Zwillingstellung bemerkt.

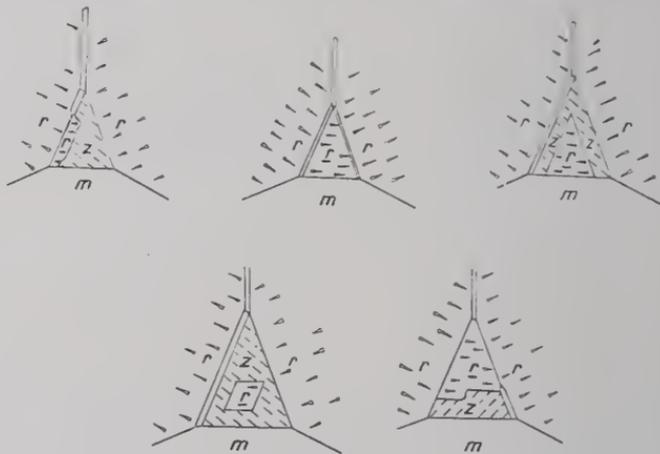


Fig. 3.

Sehr charakteristisch ist ferner, daß Teile in Zwillingstellung, wo solche auftreten, entweder die ganze Fläche der Lage  $(01\bar{1}1)$  einnehmen (selten), oder nur einen mikroskopischen, schmalen Streifen längs der einen oder beiden Kanten der kleinen abstumpfenden Fläche der Lage  $(01\bar{1}1)$  zu den anliegenden großen von  $\{10\bar{1}1\}$  (Fig. 3). Die Grenzfläche der verzwilligten Teile geht also entweder durch die Polkanten der Art  $(10\bar{1}1): (01\bar{1}1)$  oder diesen in kleinem Abstand parallel, kann also in beiden Fällen Säulenflächen  $(10\bar{1}0)$  entsprechen. Die Kleinheit der so eingelagerten Teile mag aus der Angabe erhellen, daß die Kante der Lage  $(01\bar{1}1): (01\bar{1}0)$  meist nur 0,1–0,2 mm lang war und die verzwilligten Streifen meist nur  $\frac{1}{4}$  dieser Breite einnahmen, und zwar auch an dickeren Kristallen, bei denen die entsprechende Breite von  $(1011)$  mehrere Millimeter betrug.

Von den äußerlich einfach erscheinenden Kristallen zeigten nur drei kein regelmäßiges Abwechseln großer und kleiner Rhomboederflächen, und hier ergab die Ätzung bei dem einen, daß alle

fünf vorhandenen Endflächen solche des positiven Rhomboeders waren, auch bei den andern gehen die Grenzen genau oder fast genau durch die Polkanten der scheinbaren hexagonalen Pyramide, so daß jede Fläche derselben hinsichtlich ihres Charakters fast einheitlich, nämlich als eine solche des positiven Rhomboeders erscheint.

Von Interesse ist ferner, daß unter den untersuchten Kristallen im Verhältnis zu den schweizerischen auffallend viele (5) Juxtapositionszwillinge nach (1010) waren und auch bei ihnen die Zusammensetzungsfläche, z. T. modellartig genau, (10 $\bar{1}$ 0) ist.

Ein weiterer Unterschied gegenüber den schweizerischen ist, daß nahezu auf allen Kristallen, z. T. auf den Endflächen, namentlich aber auf den Säulenflächen, feine Streifen parallel den positiven Rhomboederflächen sichtbar wurden: sie mögen z. T. nur Lücken im Kristallbau verraten, z. T. gehören sie nach Prüfung auf Schnittflächen (1120) Lamellen // (1011) in Zwillingstellung nach (10 $\bar{1}$ 0) an und sind anscheinend in den älteren Teilen der Kristalle reichlicher als in den jüngeren, nahe ihrer Spitze; in einem Falle entsprechen sie Lamellen entgegengesetzter Drehung. Auch wurde ein Juxtapositionszwilling von rechtem mit linkem beobachtet.

Obwohl also diese Kristalle von Schemnitz nicht, wie man nach der Form meinen könnte, einfache Kristalle sind, läßt sich daraus, daß der Verlauf der Zwillingsgrenzen eng mit der Formausbildung zusammenhängt, doch mit Sicherheit schließen, daß sie unterhalb 575° entstanden sind.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich folgender Schlüssel zur Bestimmung der Entstehungstemperatur.

I. Ohne Zwillingsteile:  $t < 575^{\circ}$ .

II. Mit Zwillingsteilen

a) mit Trapez- oder Parallelogrammflächen.

$\alpha$ ) Verteilung und Verlauf der Trapez- usw. Flächen konform den Zwillingsgrenzen:  $t < 575^{\circ}$ .

$\beta$ ) Verteilung und Verlauf nicht konform:  $t > 575^{\circ}$  (bisher nicht beobachtet).

b) ohne Trapez- usw. Flächen.

$\alpha$ ) Endflächen regelmäßige Kombination von positivem und negativem Rhomboeder bildend ( $\pm R$ ).

1. Grenzen regelmäßig, ihr Verlauf mit der Formentwicklung zusammenhängend:  $t < 575^{\circ}$ .

2. Grenzen unregelmäßig: sehr wahrscheinl.  $t < 575^{\circ}$ .

$\beta$ ) Endflächen hexagonale Pyramide (P) oder unregelmäßig in der Größe.

1. Grenzen unregelmäßig:  $t \geq 575^{\circ}$ .

2. Grenzen regelmäßig: wahrscheinlich  $t < 575^{\circ}$ .

Die benutzten Charaktere reichen also nicht in jedem Falle zur sicheren Bestimmung der Temperatur aus. (Schluß folgt.)

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1921

Band/Volume: [1921](#)

Autor(en)/Author(s): Mügge Johannes Otto Conrad

Artikel/Article: [Über Quarz als geologisches Thermometer und die Bedeutung der Zusammensetzungsfläche von Zwillingen. 609-615](#)