

no card, no #
Engl - VW 65 -
Verr

APR 7 1970

cleavage surfaces in quartz as an indication of high impact of meteor

Spaltflächen im Quarz als Anzeichen für Einschläge großer Meteoriten

Von WOLF V. ENGELHARDT und DIETER STÖFFLER, Tübingen

In Quarzen tektonisch beanspruchter Gesteine beobachtet man neben unregelmäßigen Bruchflächen undulöse Auslöschung, Deformationslamellen (Böhmsche Lamellen) und Deformationsbänder, die durch Gleitung vor allem nach (0001) zustande kommen. Unregelmäßige Bruchflächen, die man auch künstlich durch Zertrümmern bei normalem Druck erzeugen kann, verlaufen zwar bevorzugt in der Nähe von (10 $\bar{1}$ 1) und anderen kristallographischen Flächen, haben aber niemals den Charakter glatter und ebener Spaltflächen¹⁾.

Neuerdings haben BUNCH und COHEN^{2a)} nach ebenen und glatten Spaltflächensystemen zerbrochene Quarze in Gesteinen aus den beiden Meteoritenkratern von Arizona und von Wabar (Arabien) beschrieben. Die Quarze des zertrümmerten Coconino-Sandsteins vom Arizona-Krater zeigen Spaltflächen nach (10 $\bar{1}$ 1) oder (01 $\bar{1}$ 1), (0001), (10 $\bar{1}$ 0) oder (11 $\bar{2}$ 0) und (11 $\bar{2}$ 2). Im Sandstein des Wabar-Kraters wurden gefunden: (10 $\bar{1}$ 1), (10 $\bar{1}$ 0), (0001), (11 $\bar{2}$ 2) und vielleicht (11 $\bar{2}$ 1).

In einer Breccie vom Holleford-Krater, Canada, der nach dem Vorkommen von Coesit ein Meteoritenkrater sein dürfte, fanden BUNCH und COHEN^{2b)} Quarzspaltbarkeiten nach (10 $\bar{1}$ 1), (10 $\bar{1}$ 0) und (0001). ENGLUND und ROEN³⁾ fanden in Sandsteinen des von ihnen als Meteoritenkrater angesehenen Middlesboro-Beckens, Kentucky, eine parallele Anordnung ebener Bruchflächen in Quarz nach mehreren Richtungen.

Eigene Untersuchungen an Gesteinen der vermutlichen Meteoritenkrater des Nördlinger Ries in Süddeutschland und des Mien-Sees in Småland, Schweden, erbrachten die im folgenden beschriebenen ähnlichen Befunde.

In vielen verschiedenen Grundgebirgeinschlüssen der Suevit-Breccie des Ries sind die Quarze nach Spaltflächen verschiedener kristallographischer Orientierung zerbrochen, die glatt, eben und oft haarscharf ausgebildet sind und bei bestimmten Flächenlagen in dichten, streng parallelen Folgen stehen, deren Abstände zwischen 5 und 30 μ betragen (Fig. 1). Meist ist ein Korn von vielen (bis zu neun) Spaltflächenscharen durchsetzt, so daß diese nach den gegenseitigen Winkelbeziehungen und nicht nur nach dem Winkel zur optischen Achse kristallographisch identifiziert werden können. So ist es



Fig. 1. Verschiedene Spaltflächensysteme in Quarz aus einem Graniteinschluß im Suevit von Zipplingen (Nördlinger Ries). A Fläche (10 $\bar{1}$ 3) oder (01 $\bar{1}$ 3); B Fläche (10 $\bar{1}$ 1) oder (01 $\bar{1}$ 1). Aufnahme in polarisiertem Licht; gekreuzte Nicols

möglich, korrele Formen wie $(10\bar{1}1)$ und $(01\bar{1}1)$ nebeneinander nachzuweisen.

In einem Graniteinschluß von Zipplingen, der aus Quarz, teilweise bis völlig isotropisiertem Feldspat (Oligoklas und Orthoklas), Biotit und Chlorit besteht, wurden bei einer ersten Überprüfung durch Einmessung auf dem Drehtisch folgende Spaltflächen in der Reihenfolge abnehmender Häufigkeit (unter Berücksichtigung der Flächenhäufigkeitszahl) festgestellt (225 Messungen an 40 Körnern): (0001); $(10\bar{1}3)$ und $(01\bar{1}3)$; $(10\bar{1}1)$ und $(01\bar{1}1)$; $(10\bar{1}2)$ und $(01\bar{1}2)$; $(10\bar{1}0)$ und $(11\bar{2}0)$; $(21\bar{3}1)$ und $(12\bar{3}1)$; $(51\bar{6}1)$; wahrscheinlich kommen ferner vor: $(11\bar{2}2)$ und $(2\bar{1}12)$; $(11\bar{2}1)$ und $(2\bar{1}11)$. Auffallend ist das häufige Auftreten der flachen Rhomboeder $(10\bar{1}3)$ und $(01\bar{1}3)$, die bisher als Spaltflächen nicht beobachtet wurden. Sie sind besonders vollkommen und eben ausgebildet.

Für den Coconino-Sandstein vom Arizonakrater^{2a)} ergibt sich dagegen unter Berücksichtigung der Flächenhäufigkeitszahl die folgende Reihe abnehmender Häufigkeit: (0001); $(10\bar{1}1)$ oder $(01\bar{1}1)$; $(11\bar{2}2)$; $(10\bar{1}0)$ oder $(11\bar{2}0)$; $(11\bar{2}1)$.

In einer aus Glas, Gesteins- und Mineralfragmenten bestehenden Breccie vom Mien-See in Småland, welcher nach dem Nachweis von Coesit durch SVENSSON und WICKMAN⁴⁾ ein Meteoritenkrater sein dürfte, fanden wir alle Quarze von haar-scharfen, streng parallelen Spaltflächenscharen durchsetzt. Dieselben verlaufen vornehmlich nach $(10\bar{1}3)$ und $(01\bar{1}3)$ sowie weniger häufig nach $(10\bar{1}2)$ und $(01\bar{1}2)$. Daneben kommen noch einige andere Rhomboeder- und Pyramidenflächen vor. Basis und Prisma scheinen zu fehlen.

Unsere Beobachtungen an den Quarzen vom Ries und vom Mien-See lassen erkennen, daß die Spaltflächensysteme nicht durch Scherspannungen, sondern durch Zugspannungen erzeugt wurden, da die Lamellen so gut wie nie gegeneinander verschoben sind. Dasselbe dürfte für die Quarze vom Arizona- und vom Wabarkrater gelten. Wir möchten deshalb annehmen, daß die in Meteoritenkratern beobachtete Aufspaltung der Quarzkörner in Lamellensysteme dadurch zustande kam, daß der in der durch den Meteoriten erzeugten Druckwelle im wesentlichen allseitig und sehr stark komprimierte Quarz so schnell entlastet wurde, daß die Zunahme der Zugspannung nicht durch plastisches Fließen abgebaut werden konnte. Die Neigung einer Kristallart, ebene Spaltflächen zu bilden, hängt, wie anderwärts gezeigt⁵⁾, nicht nur von Geometrie und Dynamik des Gitters, sondern auch von äußeren Bedingungen ab. Es ergibt sich insbesondere, daß bei Kristallarten von der Art des Quarzes eine Verringerung der Plastizität die Spaltbarkeit

begünstigen muß. Die hierzu nötige sehr schnelle Zunahme der wirksamen Zugspannung wird auf der Erde offenbar nur bei Einschlägen von Meteoriten erreicht. Daher scheint Spaltbarkeit von Quarz der beschriebenen Art neben kristallinen und glasigen Hochdruckphasen ein Indikator für Meteoriteneinschläge zu sein.

Hochdruckexperimente über die Deformation von Quarz haben bisher keine durch Zugspannung ausgelöste Spaltbarkeit ergeben. CARTER, CHRISTIE und GRIGGS⁶⁾ erhielten bei hohen Drucken und höheren Temperaturen die aus Tektoniten bekannten, hauptsächlich durch Gleitung nach (0001) erzeugten Arten der bruchlosen Deformation (Deformationslamellen und -bänder, undulöse Auslöschung). Bei hohen Drucken und niederen Temperaturen entstanden nach CHRISTIE, HEARD und LA MORI⁷⁾ Scherbrüche nach (0001), $(10\bar{1}1)$, $(01\bar{1}1)$ sowie seltener nach $(10\bar{1}0)$ und $(11\bar{2}0)$. Spaltbarkeit durch Zugspannungen wird man experimentell wohl am ehesten bei der Einwirkung von Stoßwellen auf Quarzkristalle erzeugen können. Dafür spricht auch, daß nach MILTON u. Mitarb.⁸⁾ bei energiereichen unterirdischen Explosionen Spaltbarkeit von Quarz beobachtet wurde.

Im Vergleich zu den unter normalen Bedingungen „spaltbaren“ Kristallen sind einerseits die große Anzahl der Spaltflächen des Quarzes und andererseits die Unterschiede im Auftreten der verschiedenen Spaltsysteme in den bisher untersuchten Vorkommen bemerkenswert. Bei genauerer Kenntnis der Zusammenhänge sollte es möglich sein, aus diesen Unterschieden auf die näheren Bedingungen beim Meteoriteneinschlag zu schließen.

Die Untersuchungen werden fortgesetzt. Die Arbeiten werden vom Bundesverteidigungsministerium unterstützt.

Tübingen, Mineralogisches Institut der Universität

Eingegangen am 30. April 1965

¹⁾ ENGELHARDT, W. v.: Die Anisotropie der Teilbarkeit des Quarzes. Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-physik. Kl. 1942. — BLOSS, F. D.: Am. J. Sci. 255, 214 (1957). — ²⁾ BUNCH, T. E., u. A. J. COHEN: a) Bull. Geol. Soc. Am. 75, 1263 (1964); — b) Science 142, 379 (1963). — ³⁾ ENGLUND, K. J., u. J. B. ROEN: U.S. Geol. Survey Prof. Pap. 450-E, 20 (1962). — ⁴⁾ SVENSSON, N. B., u. F. E. WICKMAN: Nature 205, 1202 (1965). — ⁵⁾ ENGELHARDT, W. v., u. S. HAUSSÜHL: Fortschr. Mineral. 42, 5 (1965). — ⁶⁾ CARTER, N. L., J. M. CHRISTIE u. D. T. GRIGGS: J. Geol. 72, 687 (1964). — ⁷⁾ CHRISTIE, J. M., H. C. HEARD u. P. N. LA MORI: Am. J. Sci. 262, 26 (1964). — ⁸⁾ MILTON, D. J., et al.: Astrogeologic Studies. Semiannual Prog. Rep. (1962) [nach BUNCH und COHEN (1964)].