

Ein Schock für die Gesteine

Was sind Schockwellen, was ist Schockmetamorphose, und warum sind sie so bedeutsam für den Impaktprozess?



Ein Flugzeug durchbricht die Schallmauer. Foto: Boeing.

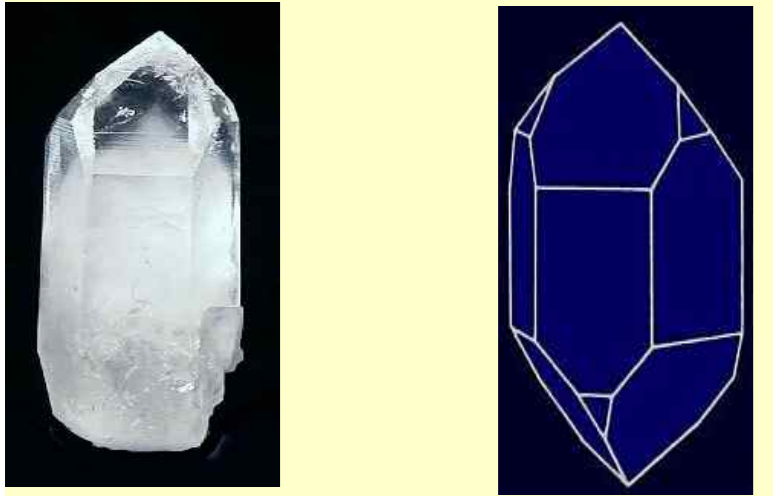
Schockwellen sind gut bekannt vom Knall und von den klirrenden Fenstern, wenn ein Flugzeug die sogenannte Schallmauer durchbricht. Genau in diesem Moment übersteigt die Geschwindigkeit des Flugzeugs die des Luftschalls (~ 330 m/s) und erzeugt eine Überschalldeformation der Luft. Diese Deformation breitet sich als eine Schockwelle oder Schockfront aus. Das ist ein allgemeines physikalisches Prinzip: Wenn ein Material mit einer Geschwindigkeit deformiert wird, die die Schallgeschwindigkeit des Materials übersteigt, entsteht eine Schockwelle, die sich im Material mit Überschallgeschwindigkeit ausbreitet. Die Schallgeschwindigkeit in festen Stoffen bewegt sich im allgemeinen zwischen einigen 100 m/s und einigen 1000 m/s. In festen Gesteinen erreichen Schallgeschwindigkeiten zwischen grob 1000 und 6000 m/s. Wird also ein Gestein mit größeren Geschwindigkeiten beaufschlagt, entsteht eine Schockdeformation, die sich in Form einer Schockfront in das Gestein hinein ausbreitet. In der Schockfront treten sprunghaft extreme Drücke auf, die nach dem Passieren der Schockfront einen Teil der Deformationsenergie in Form thermischer Energie im Gestein hinterlassen. Das führt zu einem plötzlichen und enormen Temperaturanstieg.

Große kosmische Projektile (Asteroiden, Kometenkerne), die mit der Erdoberfläche kollidieren, besitzen Geschwindigkeiten zwischen grob 10 und 70 km/s. Beim Kontakt zwischen beiden werden also Schockwellen erzeugt, die in den Untergrund, aber auch in den Meteoriten eindringen. Im ersten Moment werden dabei die Drücke in den Schockfronten mehrere Megabar (das sind mehrere Millionen Atmosphären) erreichen, und die Temperaturen die hinter der Schockfront im Material verbleiben, können auf einige 10 000 Grad ansteigen. Das hat zur

Folge, dass das Projektil (der Impaktor) verdampft, und dasselbe geschieht mit einem vergleichbar großen Volumen des Untergrundgesteins um den Einschlagpunkt herum. Beim Fortschreiten der Schockfront nach außen und in die Tiefe nimmt die Energie ab, was sich in einer Abnahme der Drücke und Temperaturen ausdrückt. In der der Verdampfung folgenden Zone reichen die Temperaturen noch aus, das Gestein zu schmelzen, aber in der anschließenden Zone wird den Gesteinen nur noch mechanisch zunächst mit hohen, dann schwächer werdenden Drücken zugesetzt.

Beides, die sehr hohen Drücke und die enormen Temperaturen, die durch den Schock eingebracht werden, hinterlassen in den Gesteinen und Mineralen charakteristische Veränderungen, und diese für Schockdeformation typischen Veränderungen werden Schockmetamorphose (oder Schockeffekte) genannt. Gemäß dem gegenwärtigen Stand der Wissenschaft können viele dieser Veränderungen nicht in „normalen“ endogenen geologischen Prozessen entstehen, das heißt man kann sie nicht in Gesteinen beobachten, die bei Prozessen im Erdinnern entstanden sind (z.B. Vulkanismus, Tektonik). Deshalb werden ganz spezifische Schockeffekte in Gesteinen als Beweis für einen meteoritischen Einschlag angesehen, die auf Impaktkrater oder alte Impaktstrukturen hinweisen.

Das Mineral Quarz – ein besonderer Schockindikator

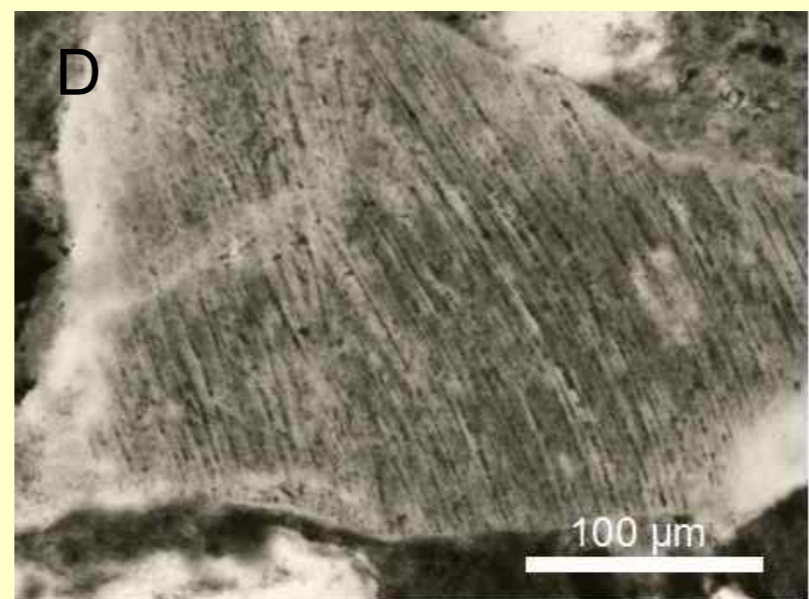
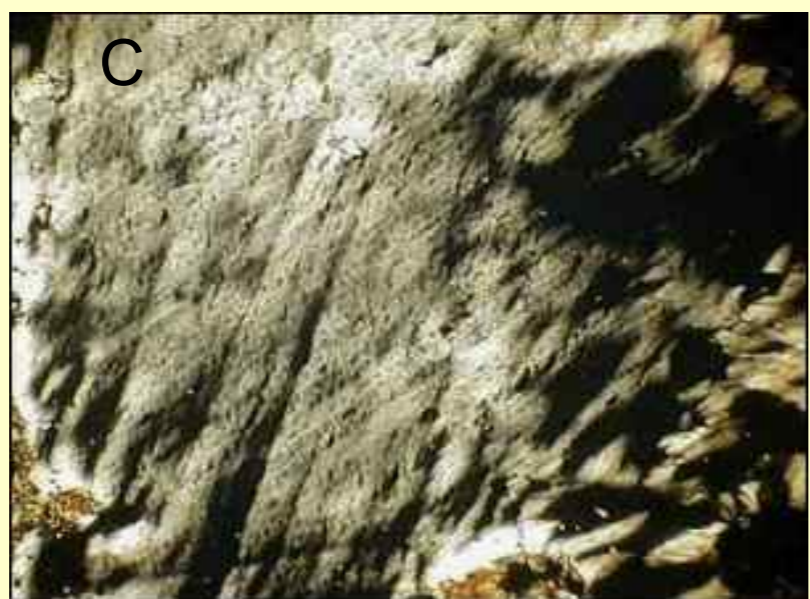
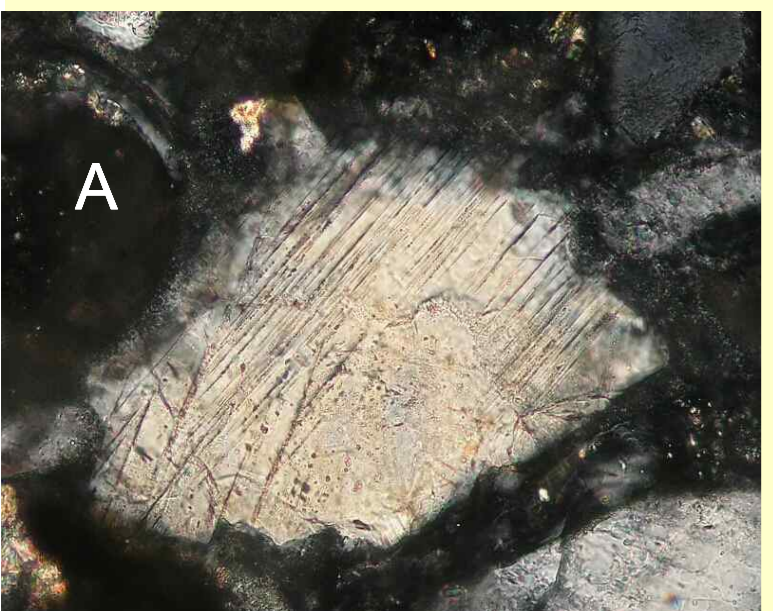


Quarzkristall und Kristallflächen im Quarz

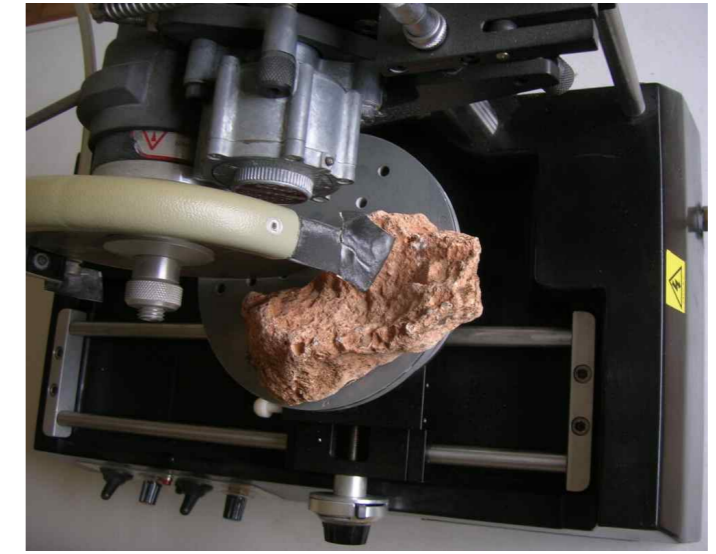
Ein typischer Schockindikator sind die sogenannten planaren Deformationsstrukturen (englisch: planar deformation features, PDFs); sie sind besonders signifikant in Quarz. PDFs sind parallele, extrem dünne (< 1-3 µm) und gering abständige (1 – 10 µm) Lamellen, die exakt die Orientierung der Kristallflächen besitzen. Die Flächen sind unter dem Polarisationsmikroskop isotrop, das heißt sie haben die Eigenschaften eines Glases bekommen, was der Schock bewirkt hat.

Durchschneidet man den Kristall mit einem Dünnschliff, so erscheinen die Flächen unter dem Mikroskop als extrem eng ständige parallele Linien.

Für die Entstehung der PDFs werden Schockdrücke der Größenordnung 100 Kilobar (100 000 bar = 10 Gigapascal) benötigt. Der Gebirgsdruck in 1000 m Tiefe beträgt etwa 300 bar.



Wie erkennt man Schockeffekte in den Mineralen der Gesteine?



Aus dem Gestein wird ein Riegel heraus gesägt, der auf einem Glasträger so dünn geschliffen wird, dass er durchsichtig wird.

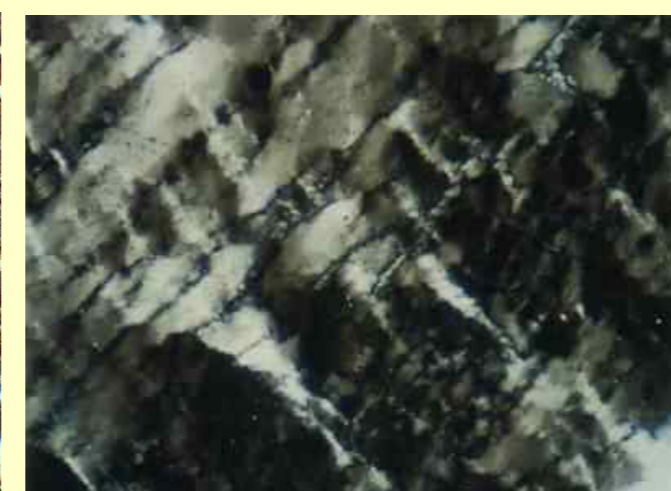


Ein solcher Dünnschliff misst nur noch 30 µm (= 30/1000 mm; ein Menschenhaar ist ca. 50 µm dick). Unter dem Polarisationsmikroskop wird der Dünnschliff durchleuchtet, und man erkennt die besonderen Strukturen der Minerale.

Dünnschliff-Fotografien von geschockten Quarzen am Mikroskop: A = Nördlinger Ries-Krater; B = Impaktstruktur Rochechouart (Frankreich); C = Impaktstruktur Rubielos de la Cérda (Spanien). In diesem Dünnschliff sieht man neben den PDFs einen weiteren wichtigen Schockeffekt. Werden die Schockdrücke noch höher als die, die zur Entstehung der PDFs nötig sind, verstärkt sich auch der Isotropisierungseffekt im Quarzkristall. Das Kristallgitter bricht mehr und mehr zusammen, und der Quarz verändert sich optisch zu einem Glas, was man im Mikroskop bei gekreuzten Polarisatoren als schwarze Flecken in C sieht. Dieses nicht durch einen Schmelzprozess entstandene Glas nennt man ein diaplektisches Glas. D = Impaktstruktur Popigai (Russland). Die gebogenen PDFs widersprechen nicht einer kristallographischen Orientierung der PDFs. Sind der Quarzkristall und damit sein Gitter plastisch verformt, so folgen auch die PDFs dieser Verformung. Die Quarze in B und D nennt man wegen der fleckigen Erscheinung „getoastet“. Auch das ist ein Schockeffekt und auf winzigste Flüssigkeitseinschlüsse zurückzuführen.

PDFs und diaplektisches Glas sind nach dem gegenwärtigen Wissensstand ein untrügliches Kennzeichen für Schock und Meteoriteneinschlag. Auch in Feldspäten treten PDFs und diaplektisches Glas mit vergleichbaren Eigenschaften auf. Der hohe Schockwellendruck kann auch zu vollständigen Mineralneubildungen führen. Quarz z.B. kann sich in die Hochdruckmodifikationen Coesit und Stishovit umwandeln.

Andere Minerale zeigen andere Schockeffekte



Typische Schockeffekte in Mineralen sind sogenannte Knickbänder. Durch den enormen Druckanstieg der Schockwellen werden die Kristallgitter wie eine Ziehharmonika zusammengepresst, was im Dünnschliff durch charakteristische Streifenmuster zu erkennen ist.

Knickbänder können auch durch sehr hohe tektonische Drücke entstehen (Bild rechts).



Knickbänder in Glimmer (Biotit), Impaktstrukturen Azuara (Spanien)

Feldspat Silljan (Schweden)

Quarz Rubielos de la Cérda (Spanien)

Biotit Sudbury (Kanada)

Die Aufnahmefelder sind zwischen 0,1 und 2 mm groß.

Glimmer, tektonisch Bragança (Portugal)

Shatter cones (Schmetterkegel) – ein makroskopischer Schockeffekt



In festen, massiven Gesteinen führt der hohe Schockdruck zu internen kegelförmigen Brüchen mit typischen, pferdeschwanzähnlichen Bruchflächenmarkierungen, die ebenfalls als ein untrügliches Kennzeichen von Impakten gelten. Impaktstrukturen - von links nach rechts: Steinheimer Becken, Nördlinger Ries, Sudbury, Kentland, Rochechouart, Beaverhead, Crooked Creek. Im Chiemgau-Kraterstreufeld wird man diese typischen Gesteinsveränderungen wegen der lockeren Gesteinspackungen nicht antreffen. Unkenntnis führt häufig zu Verwechslungen mit anderen, grob ähnlichen Bruchflächenmarkierungen.

