

# Biegsame Gesteine!? Itacolumite aus der petrographischen Sammlung des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe

DANIEL FALK & KATRIN TREPTOW

## Kurzfassung

Itacolumite sind Sandsteine, die durch eine schwache metamorphe Überprägung eine für Gesteine untypische reversible Beweglichkeit aufweisen. Sie sind auch unter dem Namen Gelenkquarzit bekannt und stellen seit der ersten wissenschaftlichen Bearbeitung im 19. Jh. ein Kuriosum der Natur dar. Die Flexibilität wird mit einem Puzzle-artigen Gefüge erklärt. Das ineinandergreifen von sehr kantigen Quarzkörnern (Verzahnung) sowie konkav/konvexen Quarzkörnern (Gelenke) ermöglicht Stabilität und Flexibilität zugleich. Die Quarzkörner unterlagen im Vorfeld einer chemischen Lösung, die mehrere Mikrometer breite Intergranularräume zurückließ. Dieser „erschaffene“ Intergranularraum bedingt die Flexibilität des Gesteins. Vereinzelt tragen weitere länglich-plattige Minerale (u.a. Glimmer) zur Unterstützung des Kornverbunds bei.

Vier der fünf Sammlungsobjekte im Staatlichen Museum für Naturkunde Karlsruhe stammen den Recherchen nach aus Brasilien (südlich Ouro Preto, Itacolomi Berge). Es erfolgten mikroskopische Untersuchungen sowie Analysen am REM. Das fünfte Objekt kam für nähere Analysen zustandsbedingt nicht in Frage.

## Abstract

The Itacolumite is a kind of low-metamorphic sandstone, which shows in contrast to other rocks an indicative reversible flexibility. Itacolumites are also named "Gelenkquarzit". These rocks are in scientific interest since the 19<sup>th</sup> century. Their solidity and flexibility can be explained by a puzzle-like structure, which is made up of interlocked very angular quartz grains and also articulated concave/convex quartz grains. Intergranular voids of a few of micrometers are relicts of partial chemical dissolution of quartz grains. These voids allow flexibility. Elongated and platy minerals (e.g. mica) may support the compound structure.

Four out of a total of five objects from the collection of the State Museum of Natural History Karlsruhe were studied. Investigation shows a Brazilian origin (south of Ouro Preto, Itacolomi Mountains). Microscopic and SEM analysis has been performed. Due to bad preservation of the fifth object, no investigation has been done on it.

## Autoren

DANIEL FALK, Staatliches Museum für Naturkunde Karlsruhe, Erbprinzenstraße 13, D-76133 Karlsruhe, Tel.: +49 721/175 28 05; E-Mail: daniel.falk.email@gmail.com

KATRIN TREPTOW, TU Bergakademie Freiberg, Geowissenschaftliche Sammlungen, Brennhausgasse 14, D-09599 Freiberg, Tel.: +49 3731/39 28 39; E-Mail: Katrin.Treptow@geosamm.tu-freiberg.de

## Einleitung

Gelenkquarzite (Itacolumite) sind den sedimentären Festgesteinen zuzuordnen. Die schwach metamorphen Sandsteine zeichnen sich durch ihre erstaunliche, für alle anderen Gesteine unübliche, zweidimensionale, reversible Beweglichkeit aus (Abb. 1). Die Erklärung dieser Eigenschaft ist wissenschaftlich recht widersprüchlich. Wenn auch der Sandstein selbst nicht genügend Baustabilität bietet (SUZUKI et al. 1993), so werden dennoch Möglichkeiten in der bionisch-technischen Anwendung von stabilen, aber gleichzeitig beweglichen Konstruktionselementen im Bauwesen (YAMAGUCHI et al. 2007), bei Keramik (IMAI et al. 2009, PICU et al. 2016) oder Feuerfestmaterialien (TELLE & OTA 2015) erforscht. Itacolumit-Aufschlüsse treten weltweit in Regionen Brasiliens, Indiens, der USA, Frankreichs, Madagaskars, Gabons und Chinas auf (u.a. KLAPROTH 1801, DERBY 1884, LIEBER 1858, CHOUBERT 1946, GINSBURG & LUCAS 1949, STUCKEY 1958, SUZUKI & SHIMIZU 1993, 2003, BESTE 2005, SUZUKI et al. 2011, vgl. Übersicht in KERBEY 2011).

Eine Unterscheidung erfolgt anhand verschiedener Parameter (Kornform, Sortierung, Matrix, Mineralbestand u.a.) in zwei Kategorien (SUZUKI & SHIMIZU 1993): glimmerführend-schieferiger Quarzit („Micaeous Schistose Quartzite“: Brasilien, USA, Madagaskar u.a.) und reifer, quarziger Sandstein („Mature Quartzose Sandstone“: Indien, China u.a.).

Bei den Inventarisierungsarbeiten in der Petrographischen Sammlung des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe (SMNK) traten diverse Sammlungsobjekte auf, die den Itacolumiten Brasiliens zugeordnet werden konnten (Abb. 2). Aufgrund des trotz ihrer faszinierenden Eigenschaften geringen öffentlichen Bekannt-



Abbildung 1. Die Biegsamkeit der Itacolumite (flexible Sandsteine); Sammlungsobjekt SMNK\_Pet.6413A; Maßstab = 1 cm pro Segment. – Foto: D. FALK.



Abbildung 2. Itacolumite aus der petrographischen Sammlung des Staatlichen Museums für Naturkunde Karlsruhe (SMNK) nach Anfertigung von Trennschliffen, SMNK\_Pet.6413A-F, SMNK\_Pet.6815. – Foto: D. FALK.

heitsgrads stellen Itacolumite eine Besonderheit im geowissenschaftlichen Museumsbestand dar.

### Historie

Die Bezeichnung Itacolumit wurde 1822 von WILHELM LUDWIG VON ESCHWEGE eingeführt und galt zunächst als eine allgemeine Gesteinsklassifizierung sowohl flexibler und als auch starrer Quarzite in den Gebirgszügen um den brasilianischen Bundesstaat Minas Gerais. Das Wort Itacolumit entstammt dabei dem Namen der Fundregion Serra do Itacolomi (heute Itacolomi), nahe Villa Rica (heute Ouro Preto). Redundante Bezeichnungen sind u.a. Itacolumbit, Itacolumnit, Itacolumnyt oder lokale Benennungen wie Articulit, Gelenkquarz oder Gelenquarz (KERBEY 2011).

Nach DERBY (1882) sollte die Bezeichnung Itacolumit nur noch für eine geologische Einheit in Brasilien – jene, in der flexible Probestücke vorkommen – genutzt werden. Das Verständnis wandelte sich im 19. Jh. allerdings zur allgemeinen Bezeichnung eines metamorphen Sandsteins, bis schließlich CAYEUX (1929) (nach umfassender Vorarbeit von DERBY 1882, vgl. KERBEY 2011) den Itacolumit als Synonym für ein flexibles, quarzitisches Gestein verwendete. KERBEY (2011) stellt die Nutzung des Begriffs für flexible Sandsteine und flexible Quarzite mit der deutlichen Unterscheidung von „Micaceous Schistose Quartzite“ und „Mature Quartzose Sandstone“ nach SUZUKI & SHIMIZU (1993) klar.

KLAPROTH (1801) beschrieb in einer ersten Publikation die Eigenschaften des „elastischen Quarzes“ aus Brasilien. Er führte auch eine chemische Analyse an dem von ihm als „Fossil“ bezeichneten Gestein durch. Weitere Autoren beschäftigten sich später mit der mineralogischen Zusammensetzung und Begrifflichkeit (DERBY 1882, VON COTTA 1866, LIEBER 1858). Als Bestandteile werden Quarz (hauptsächlich), Glimmer, Talk und Chlorit erwähnt. Seltener treten antransportierte Diamanten auf (Brasilien, Indien, ESCHWEGE 1822, DERBY 1882). Während ESCHWEGE (1822) irrtümlicherweise von einer vollständig metamorphen Genese ausging (Diamanten), vermutete LIEBER (1858) eine klastische Genese anhand des graduellen Überganges von Itacolumit zu Sandstein in einem geologischen Profil von South Carolina.

Im Rahmen materialwissenschaftlicher und petrologischer Untersuchungen zum Ende des 20. Jahrhunderts wurden für die Itacolumite Brasi-

liens zusätzlich die Minerale Sillimanit und Kyanit nachgewiesen (SUZUKI & SHIMIZU 1993). Diese Minerale unterstrichen einen stärker metamorphen Charakter jener flexiblen Siliziklastika im Vergleich zu jenen aus Indien. Wissenschaftliche Grundlage bildeten/bilden Aufnahmen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM). Weitere wichtige Arbeiten zur Flexibilität und Genese des Gesteines erfolgten durch SIEGSMUND et al. (2002), YAMAGUCHI (2007), SUZUKI et al. (1993, 2011) und KERBEY (2011).

### Sammlungsobjekte des SMNK

#### Fundort

Im Sammlungsbestand der Petrographischen Sammlung des SMNK wurden bis zur Erscheinung dieser Abhandlung fünf vermeintliche Objekte ausgemacht (Abb. 2). Mit Hilfe eines einzelnen Sammlungsetikettes (Bezeichnung und Herkunft) und der offensichtlichen Eigenschaften des Gesteins konnte eine vorläufige Zuordnung vorgenommen werden. Der Fundort „Brasilien“ wurde mit Literaturangaben abgeglichen (vgl. KERBEY 2011). Nachfolgende Analysen an Trennschliffen und REM-Aufnahmen bekräftigten den vermuteten Fundort. Mit einiger Unsicherheit kann als Fundort auf den Pico do Itacolomi (südlich Ouro Preto) geschlossen werden, der auch rezent noch als Abbaugelände dient (näheres siehe Diskussion).

Probenstücke aus dem Großraum Ouro Preto werden stratigraphisch zur Moeda Formation der Caraça Gruppe gezählt (KERBEY 2011). Jene bildet die Basis der präkambrischen Minas Supergruppe (rund 2,6 Ga, BEKKER et al. 2003).

#### Beschreibung

Die ursprünglich fünf je etwa 1 cm dicken und plattigen Objekte erscheinen kompakt und makroskopisch homogen. Objekt SMNK\_Pet.6413A liegt als Gesteinsstreifen mit den ungefähren Maßen 40,5 cm x 7,5 cm vor (Abb. 1, Abb. 2). Objekt SMNK\_Pet.6413B weist die Maße 17,5 cm x 6,0 cm und Objekt SMNK\_Pet.6413C stellt eine Gesteinsplatte mit den Maßen 31,0 cm x 18,5 cm dar (Abb. 2). Letzterer fehlen zwei Ecken, die im Sammlungsbestand nicht auffindbar waren. Bei allen drei Itacolumiten sind jegliche Kanten abgerundet, was insbesondere mit dem Herauslösen einzelner randnaher Quarzkörner („Bröseln“) im Laufe der Zeit und Lagerung zu erklären ist. Die Objekte zerfallen dennoch nicht großmaßstäblich von allein. Zu Analysezwecken wurden zwei





Abbildung 3. Fraglicher Itacolumit mit sehr starkem Zerfall aus der petrographischen Sammlung des SMNK, SMNK\_Pet.6414. – Foto: D. FALK.

1 bis 2 cm breite Streifen vom Objekt SMNK\_Pet.6413A abgesägt und teils weiter zerteilt. Diese Trennschliffe sind mit SMNK\_Pet.6413D, E und F gekennzeichnet (Abb. 2). Objekt SMNK\_Pet.6815 besitzt die Maße 4,0 cm x 4,5 cm. Es stellt vermutlich ein Teilstück von SMNK\_Pet.6413B dar und ist aufgrund der vollständigen Tränkung in Epoxidharz für Analysen nicht verwendbar.

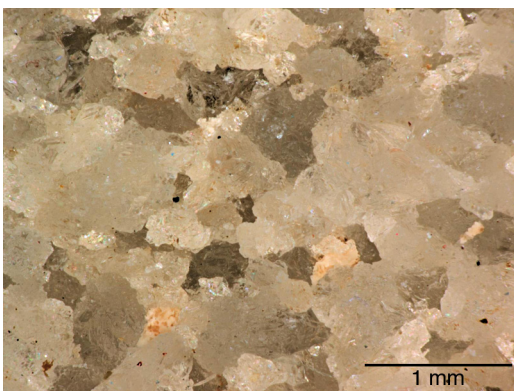


Abbildung 4. Mikroskopische Aufnahme des Anschliffs von SMNK\_Pet.6413D (Trennschliff von SMNK\_Pet.6413A). Die unregelmäßigen Korngrenzen sind gut erkennbar, HDR-Aufnahme, 100-fache Vergrößerung. – Foto: D. FALK.

Das fünfte Objekt (SMNK\_Pet.6414) mit den Maßen 11,0 cm x 7,0 cm x 3,0 cm liegt als Handstück mit vermeintlicher Schichtung vor (ca. 3-mm-Bereich, Abb. 3). Besonders auffällig ist das starke Bröckeln und Bröseln des Objektes bei Berührung. Es wirkt insgesamt sehr instabil. Eine Analyse konnte durch die stetige Gefahr der Zerstörung des Objekts in keiner Form durchgeführt werden.

Als besondere Eigenschaft ist die zweidimensionale Flexibilität aller Objekte zu nennen, die die Bezeichnung als Itacolumite rechtfertigt (Abb. 1). Bei Objekt SMNK\_Pet.6414 (Abb. 3) könnte die im Vergleich recht geringe Flexibilität auch mit der geringen Verfestigung des Gesteins zu erklären sein. Die Bezeichnung Itacolumit kann hier nur mit Fragezeichen verwendet werden. Die Farbe ist bei allen Objekten einheitlich grau. Bei den plattigen Objekten, insbesondere bei Objekt SMNK\_Pet.6413C (Abb. 2), treten äußerliche schwarz-bräunliche Verfärbungen durch Mangan- und/oder Eisenoxidverbindungen auf.

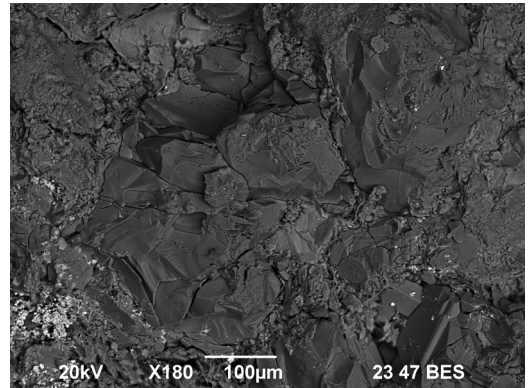
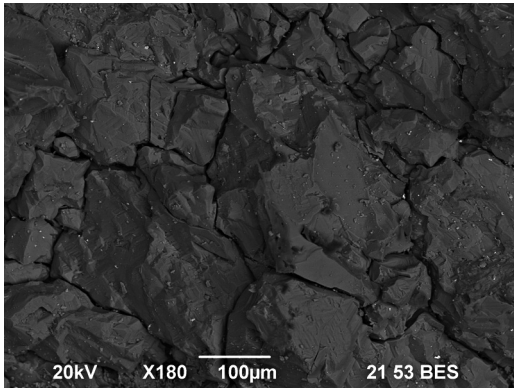
Als Kornbestand in den Objekten SMNK\_Pet.6413A (+ D, E, F) ist unter dem Binokular fast ausschließlich Quarz mit geringen Anteilen einzelner Aggregate als Zwickelfüllung zu erkennen (< 5 %). Die Quarzkörner sind zwischen 0,05 mm und 0,9 mm groß (meist ca. 0,3 mm), eckig, aber auch partiell gerundet und weisen im Auflicht einen unregelmäßigen, „angefressen“ wirkenden Rand auf (Abb. 4). Besonders auffällig sind konisch zulaufende Spitzen („Nasen“/Zacken) an dem überwiegenden Teil der Quarzkörner, die in den REM-Aufnahmen sichtbar werden. Einige Quarzkörner weisen auch einen konkav-konvexen (gelenkartigen) Kornverbund auf (Abb. 5 + 6, Abb. 8 + 9).

Sehr seltene, aus dem Quarzverbund herausstechende Minerale setzen sich aus den Elementen Sauerstoff (68 %), Silizium (16 %) und Aluminium (16 %) zusammen (halbquantitative Elementanalyse durch „Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy“ [EDX], Abb. 7). Bei 1300-facher Vergrößerung sind Schichtpakete deutlich erkennbar (Phyllosilikat). Ein triklinisches Kristallsystem deutet sich an. Intergranularräume (Porenraum) sind im Allgemeinen 3-9 µm breit.

## Diskussion

### Zum Fundort

Die Aufnahmen des Objekts SMNK\_Pet.6413F mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigen im Vergleich mit Aufnahmen von KERBEY 2011 eine



Abbildungen 5, 6. Vergleich der Intergranularräume (Porenraum) von Itacolumit und Sandstein.

5. REM-Aufnahme des Anschliffs von SMNK\_Pet.6413F (Trennschliff von SMNK\_Pet.6413A). Auffällig sind konisch zulaufende Spitzen („Nasen“/Zacken) an den Quarzkörnern und konkave/konvexe Kornränder. Deutliche Intergranularräume trennen die Körner voneinander ab.

6. REM-Aufnahme eines „normalen“ Sandsteins SMNK\_Pet.6749C (Trennschliff von SMNK\_Pet.6749A). Es sind kleinere Intergranularräume und deren Ausfüllung mit Matrix/Zement zu erkennen. – Fotos: K. TREPTOW.

starke Ähnlichkeit zu den Proben aus Brasilien (Ouro Preto) sowie North Carolina. Ausschlaggebend sind hierfür der fehlende Zement zwischen den Körnern und deutliche Intergranularräume. Mit Hilfe der Orientierung der plattigen Glimmerminerale und unterschiedlichen Korngrößen sind Proben aus Brasilien und North Carolina zu unterscheiden (KERBEY 2011).

Im Objekt SMNK\_Pet.6413F fanden sich nur sehr selten Anteile eines fremden Minerals, welches vermutlich ein Tonmineral der Kaolinit-Gruppe darstellt (?Alterationsprodukte von Glimmern oder Feldspat, Abb. 7). Weder die für die brasilianische Herkunft sprechenden Minerale Sillimanit oder Kyanit noch clusterartig konzentrierte Glimmer treten auf. Dies und das Fehlen

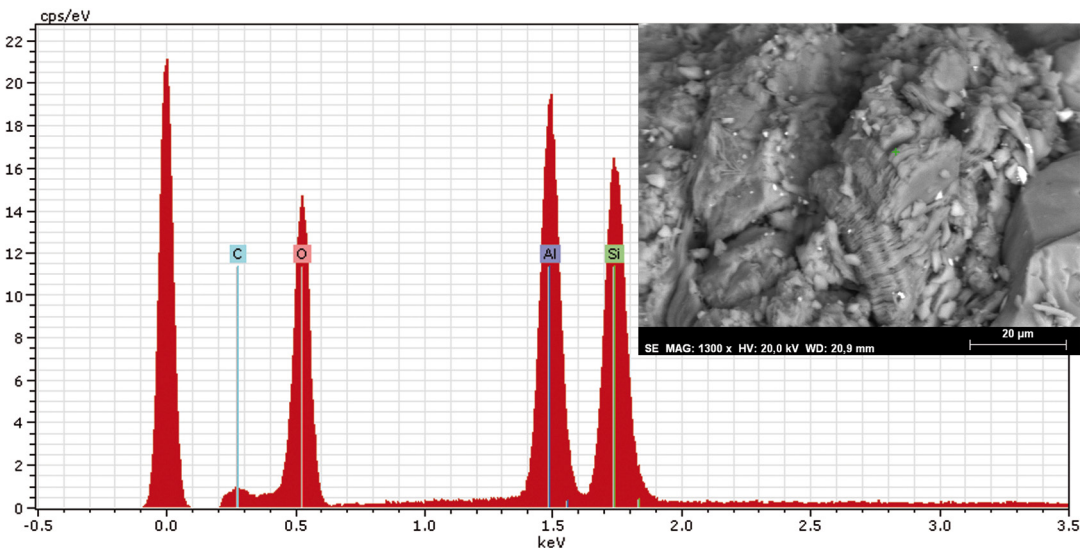


Abbildung 7. EDX-Spektrum zum Elementgehalt des Schichtpakets eines plattigen Minerals im Itacolumit SMNK\_Pet.6413F, Sauerstoff (O), Aluminium (Al), Silizium (Si), C (Kohlenstoff) als Kontamination vernachlässigbar, halb-quantitative EDX-Analyse.– Foto: K. TREPTOW.

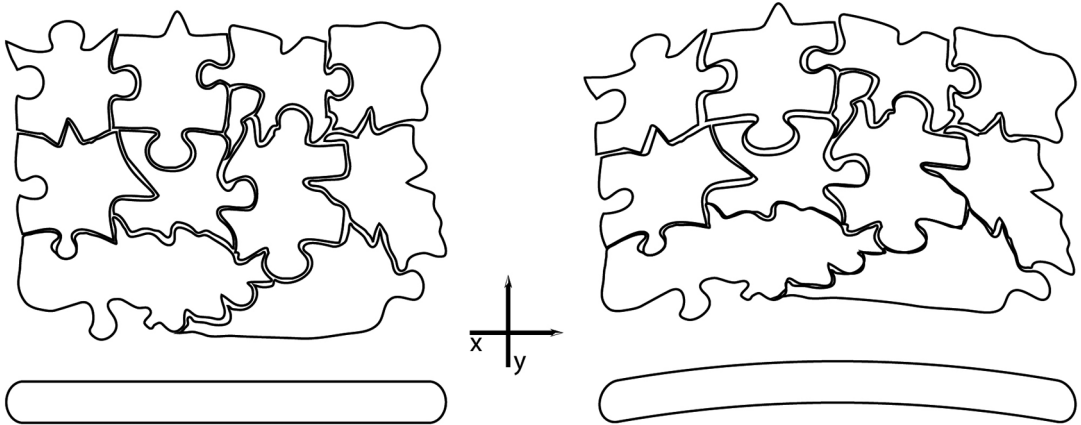


Abbildung 8. Schematische Darstellung der Mikrostruktur bei Normallage und Biegezustand (in Anlehnung an SUZUKI et al. 1993). – Grafik: D. FALK.

weiterer Minerale machen eine Unterscheidung schwierig. Die gleiche Problematik wurde bereits von KERBEY 2011 für eine brasilianische Probe angemerkt. Ihre Abhandlung bezeichnet den Itacolomit aus North Carolina als feinkörniger als sein brasilianisches Pendant, was auf den von ihr publizierten REM-Aufnahmen deutlich erkennbar ist (vgl. dazu KERBEY 2011). Im hiesigen Untersuchungsobjekt sind die Korngrößen vergleichbar mit denen der brasilianischen Probe, lokal aber auch deutlich größer (bis zu 0,9 mm). Weiterhin treffen die Beschreibungen von SUZUKI & SHIMIZU (1993) zu dem glimmerführend-schiefe-

rigem Quarzit Brasiliens („Micaceous Schistose Quartzite“) weitestgehend zu. Ungeachtet natürlicher Schwankungen ist demnach am ehesten von einer brasilianischen Herkunft auszugehen. Die Itacolomi Bergregion südlich von Ouro Preto wird aufgrund von aktuellen stratigraphischen Kartierungsarbeiten durch BEKKER et al. 2003 als Fundregion angenommen.

#### Zur Flexibilität

SUZUKI & SHIMIZU (2003) stellten in einem Gesteinsvergleich folgende Eigenschaften an brasilianischen Proben eines zusammenhängenden geologischen Profiles fest:

1. Abfall des Quarz- und Glimmergehaltes und zunehmende Flexibilität des Gesteins,
2. Abnahme der Quarzkorngröße und zunehmende Flexibilität des Gesteins,
3. deutliche Zunahme der Porosität und zunehmende Flexibilität des Gesteins,
4. eine ungleichmäßigere/stärkere Zackung der Kornränder und zunehmende Flexibilität, sowie
5. größere Intergranularräume und zunehmende Flexibilität.

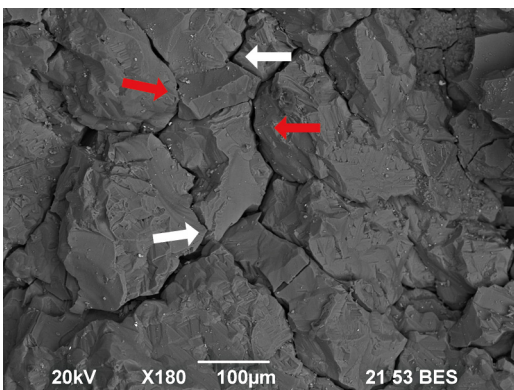


Abbildung 9. REM-Aufnahme von SMNK\_Pet.6413F mit Verzahnungs- und Gelenkstruktur. Verzahnung (spitze Kanten, weiße Pfeile) und Ineinandergreifen (konkav-konvexe Gelenkstruktur, rote Pfeile) der Quarzkörner im Detail; vgl. Abb. 8. – Foto: K. TREPTOW.

KLAPROTH (1801) beschrieb insbesondere die Umrisse der gleichkörnigen Quarzkörner und erklärte eine stabilisierende Wirkung der eingeregelt, länglichen Lamellen (= Glimmer). Neuere Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Glimmerführung weltweit nicht bei allen flexiblen Itacolomiten gegeben ist. Auch die Minerale Sillimanit und Kyanit, welche zusammen mit Glimmern

ein „verfilztes“ Gewebe erzeugen könnten, treten nicht in allen Proben auf. Es ist davon auszugehen, dass jene Minerale zwar das Korngefüge und die interne Struktur stabilisierend unterstützen, jedoch nicht für die Flexibilität zwingend notwendig sind (KERBEY 2011).

In der untersuchten Probe des SMNK wurde vereinzelt ein Phyllosilikat mit vermutlich triklinem Kristallsystem erkannt, das die Elemente Sauerstoff (O), Silizium (Si) und Aluminium (Al) enthält. Unter Annahme, dass das Element Wasserstoff (H) bei der EDX-Analyse nicht erkannt werden kann, wird es sich bei dem Mineral um ein Tonmineral der Kaolinit-Gruppe handeln, möglicherweise als Alterationsprodukt von Feldspäten und/oder Glimmern. Sillimanit und Kyanit konnten nicht nachgewiesen werden.

Der Einfluss von Tonmineralen oder deren Ausgangsminerale auf die Flexibilität wird hier als untergeordnet angesehen, da jene Gehalte sehr gering sind (< 5 %). Weiterhin treten weder Tonminerale noch Feldspäte, Glimmer oder Sillimanit/Kyanit mit erkennbaren Verteilungsmustern im Objekt auf. Eine geringfügig das Gefüge stabilisierende und gleichzeitig die Biegsamkeit unterstützende Wirkung, wie häufig vermutet, ist denkbar – insbesondere bei höheren Anteilen.

Die Flexibilität des Gesteins wird stattdessen mit dreidimensional vernetzten, intergranularen Zwischenräumen von wenigen Mikrometern Breite erklärt. Sie umspannen die einzelnen Körner einheitlich und sind mehrfach nachgewiesen (Abb. 5 + 6, Abb. 8 + 9, DUSSEAULT 1980, SUZUKI et al. 1990, KERBEY 2011, SUZUKI et al. 2011). Zementfüllungen dieser Poren treten, wenn überhaupt nur in sehr geringem Umfang in indischen Proben auf (Tonmineral Dickit, SUZUKI & SHIMIZU 1993). Die damit „beweglichen“, vielkantigen Quarzkörner können deshalb ineinander greifen. TELLE & OTA (2015) sprechen hier insbesondere von ineinandergreifenden konkaven und konvexen Bereichen der komplexen Kornform („jigsaw puzzle“, SUZUKI et al. 2011, YAMAGUCHI et al. 2007). In vorliegender Publikation wird diese Auffassung spezifiziert. Neben konkav-konvexen (gelenkartigen) Mikrostrukturen sind zackig-spitze Bereiche der Quarzkörner ebenso wichtig für die Verzahnung des Verbunds (Abb. 8 + 9). Letztlich erzeugen beide Mikrostrukturen jene Puzzle-Struktur („jigsaw puzzle“). Eine Schlüsselrolle spielen die deutlichen „Nasen/Zacken“ der kantigen Körner, welche ineinander greifen und die beweglichen, gelenkartigen, konkav-konvexen Kornverbände stabilisieren. Damit entsteht ein

teilmobiler Kornverbund. Die vernetzten Kornzwischenräume (3-9 µm) dienen hierbei als minimale Pufferzonen, die eine geringe Bewegung des einzelnen Korns zulassen. Von Korn zu Korn summiert sich diese geringe Beweglichkeit lateral zur Flexibilität des Itacolumits auf. Konkav-konvexe Kornverbände unterstützen in Anlehnung eines Gelenks diese Beweglichkeit.

Hierin liegt die Erklärung für die auf S.10 angeführten Punkte 2, 3, 4 und 5 von SUZUKI & SHIMIZU (2003): Eine stärkere Zackung von größeren Körnern erhöht gleichsam das Volumen von potentiell „Bewegungsraum“ und ermöglicht somit eine bessere Flexibilität und Stabilität. Die Zunahme der Zackung bei kleineren Körnern (Punkt 2) ist vermutlich auf eine länger andauernde chemische Quarzlösung zurückzuführen. Angelöste Quarzränder und gelöste Glimmerplättchen geben wiederum möglichen Raum für erhöhte Flexibilität frei (Punkt 1). Die unregelmäßigen Lösungserscheinungen gelten grundsätzlich als Relikt der wenn auch schwachen Metamorphose (KERBEY 2011).

Es ist nun denkbar, dass der Kornzusammenhang und die daran anknüpfende Beweglichkeit unter einer bestimmten Mindest-Korngröße und ab einer bestimmten Maximal-Korngröße stark beeinträchtigt sein können. Der Verbund droht in jenen Fällen zu versagen und das Gestein zu einem Lockersediment – wie Quarzsand – zu zerfallen (SUZUKI et al. 2011). Dieses Beispiel kann an der „bröseligen“ Probe SMNK\_Pet.6414 beobachtet werden (Abb. 3). Aber grundsätzlich ist die Entstehung eines Itacolumits überwiegend unabhängig von der Korngröße des ursprünglichen Sandsteins (KERBEY 2011).

### Zusammenfassung

Die brasilianische Herkunft (Itacolomi Berg, südlich Ouro Preto) der Untersuchungsobjekte SMNK\_Pet.6413A bis 6413F konnte ausreichend bestätigt werden. Es handelt sich in der Klassifikation von SUZUKI & SHIMIZU (1993) um „Micaceous Schistose Quartzite“.

Die „Puzzle-artige“ Mikrostruktur von gelenkartigen und spitzen Kornformen der Quarzkörner sorgt für eine stabile Verzahnung des Kornverbunds und bewirkt durch die untereinander vernetzten, dreidimensionalen Intergranularräume dessen Flexibilität. Quarzkörner bis zu einer bestimmten Korngröße erhöhen dabei die Flexibilität, darüber jedoch zerstören sie den Verbund. Gängig sind Quarzkörner von 0,3 mm Größe mit teils sehr kantigen und/oder konkav/konvexen



Rändern. Phyllosilikate (Schichtminerale) treten in der aus der petrographischen Sammlung des SMNK analysierten Probe auf, haben aber aufgrund der geringen Anteile keinen erkennbaren Einfluss auf die Biegsamkeit. Eine positive Unterstützung zur Biegsamkeit ist denkbar.

Die Entstehung der Intergranularräume wurde nicht abschließend geklärt. Diverse Szenarien werden in KERBEY (2011) diskutiert. Am wahrscheinlichsten ist hierbei die Lösung von Quarz an den Korngrenzen. Ausgefranzte, unregelmäßige Kornränder unterstützen diese Theorie genauso wie eine deutlich höhere Porosität (frei gewordener Raum durch Lösung) gegenüber nicht flexibler Quarzite innerhalb des gleichen geologischen Profils. Die genannten Eigenschaften sind auch an den untersuchten Objekten nachvollziehbar.

Die faszinierenden Eigenschaften des Itacolumits bleiben auch weiterhin im Interesse von Wissenschaft und Industrie. Für zukünftige Bearbeitungen sollten Sammlungsobjekte zugänglich verwahrt und neuartige Aufschlüsse international publiziert werden, um dem Informationsmangel vorzubeugen. Es ist bei weitem nicht ausgeschlossen, dass dadurch noch weitere Lagerstätten weltweit erkundet werden und eine technische Nutzung stärker in den Vordergrund treten kann.

#### Dank

Wir bedanken uns beim Geschäftsführer der Geowissenschaftlichen Sammlungen und Kustos der Mineralogischen Sammlungen an der TU Bergakademie Freiberg Dipl.-Min. A. MASSANEK für die unkomplizierte technische Unterstützung.

#### Literatur

- BEKKER, A., SIAL, A. N., KARHU, J. A., FERREIRA, V. P., NOCE, C. M., KAUFMAN, A. J., ROMANO, A. W. & PIMENTEL, M. M. (2003): Chemostratigraphy of carbonates from the Minas Supergroup, quadrilatero ferrifero (iron quadrangle). Brazil: a stratigraphic record of early proterozoic atmospheric, biogeochemical and climatic change. – *American Journal of Science* **303**: 865-904.
- BESTE, R. C. (Ed.) (2005): A Location Guide for Rock Hounds in the US. – 3rd ed., 155 pp., Missouri (Hobbit Press).
- CHOUBERT, M. B. (1946): Sur les terrains métamorphiques du Gabon occidental. – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* **222** D, 329-331.
- DERBY, O. A. (1882): Modes of occurrence of the diamond in Brazil. – *American Journal of Science* XXIV (139-144), Art. III: 34-42.
- DERBY, O. A. (1884): On the flexibility of itacolumite. – *American Journal of Science* XXVIII, Art. XXVI: 203-205.
- DUSSEAULT, M. B. (1980): Itacolumites: the flexible sandstones. – *Quarterly Journal of Engineering Geology*, London **13**: 119-128.
- ESCHWEGE, W. L. (1822): Geognostisches Gemälde von Brasilien, und wahrscheinliches Muttergestein der Diamanten. – 45 S., Weimar.
- GINSBURG, L. & LUCAS, G. (1949): Presence de quartzites élastiques dans les gres armoricains de Berrien (Finistère). – *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* **228** D: 1657-1658.
- IMAI, T., ADACHI, N., OTA, T., DONCIEUX, A., STAGNOL, D., BABELOT, C., GUIGNARD, A., HUGER, M. & GAULT, C. (2009): Preparation of flexible ceramics by mimicking Itacolumite. – *Refractories (Tokyo)* **61**(3): 116 pp.
- KERBEY, H. C. (2011): Itacolumite, flexible sandstone and flexible quartzite – a review. – *Proceedings of the Geologists' Association* **122**(1): 16-24.
- KLAPROTH, M. H. (1801): Analytical Essays Towards Promoting the Chemical Knowledge of Mineral Substances. – 592 pp., London (Cadell and Davies), translated from the German.
- LIEBER, O. M. (1858): Report of the Survey of South Carolina. – 2nd ed. R. W., 145 pp., Columbia, South Carolina (Gibbes, State Printer).
- PICU, R. C., PAL, A., & LUPULESCU, M. V. (2016): Interlocking-induced stiffness in stochastically microcracked materials beyond the transport percolation threshold. – *Physical Review E* **93**(4), 043005 [doi: 10.1103/physRevE.93043005].
- SIEGEMUND, S., VOLBRECHT, A. & HULKA, C. (2002): The Anisotropy of Itacolumite Flexibility. – *Geological Society London, special reports* **205**: 137-147.
- STUCKEY, J. L. (1958): Itacolumite in North Carolina. – *Rocks & Minerals* **33**(7-8): 324-325.
- SUZUKI, H. & SHIMIZU, D. (1993): Petrography of Indian, Brazilian and Appalachian itacolumites. – *Journal of the Geological Society of Japan* **99**: 391-401.
- SUZUKI, H., KANIE, Y., KANIE, Y., RAMBELOSON, R. A. & RAMASRIANORO, V. (2011): Discovery of itacolumites in the central highlands of Madagascar. – *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences* **106**(6): 299-305.
- SUZUKI, H. & SHIMIZU, D. (2003): Occurrence and porosity measurement of Itacolumite newly found from Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. – *Science and Engineering Reviews*, Doshisha University **44**: 1-12.
- SUZUKI, H., YOKOYAMA, T. & NISHIHARA, M. (1990): Itacolumite: Diagenetic and weathering product of quartzose sandstone. – 13<sup>th</sup> International Sedimentology Congress, Nottingham, pp. 533-534.
- SUZUKI, H., YOKOYAMA, T. & NISHIHARA, M. (1993): Scanning electron microscope and acoustic emission studies of itacolumites. – *Journal of the Geological Society of Japan* **99**: 443-456.



- TELLE, R. & OTA, T. (2015): Properties of Natural and Synthetic Itacolumitic Microstructures – Rules for Generating Geomimetic Flexible Refractories. – Unitecr 2015. Proc. 14<sup>th</sup> Biennial Worldwide Congress on Refractories, Ceramic Abstracts/World Ceramics Abstracts (WC), pp. 5.
- VON COTTA, B. (1866): Rocks classified and described. – In: LAWRENCE, P. H. (english ed.): A Treatise on Lithology. – 471p., London (Longmans, Green & Co.).
- YAMAGUCHI, K., MATSUFUJI, Y. & KOYAMA, T. (2007): A new structural system: friction-resistant dry-masonry. – Building Research & Information **35**(6): 616-628.