

## Methodische Untersuchungen am Kreta-Detachment (Kreta, Griechenland): Anzeichen für eine alpidische Metamorphose der Hangendscholle

Vortrag

Thomas Klein<sup>1</sup> Gernold Zulauf<sup>1</sup> John Craddock<sup>2</sup> Johannes Glodny<sup>3</sup>

### Einführung

Die Insel Kreta bildet den südlichen Rand der externen Helleniden, welche üblicherweise in zwei Deckenstapel untergliedert werden: Die unteren Decken (Plattenkalk und Phyllit-Quarzit-Einheit) sind durch eine alpidische HP-Metamorphose (Oligozän/Miozän) gekennzeichnet (Seidel et al. 1982, Jolivet et al. 1996), welche im Hangenden bislang nicht nachgewiesen wurde. Die Oberen Decken (i.w. Tripolitza- und Pindos-Einheit) bestehen aus karbonatischen Gesteinen und sind für eine petrologische PT-Abschätzung ungeeignet. Aufgrund des Gesteinshabitus wurden sie als unmetamorph eingestuft. Schlußfolgernd wird der Kontakt der beiden Stapel seit etwa zwanzig Jahren als krustales Megadetachment („Kreta-Detachment“) aufgefaßt (Jolivet et al. 1996, Fassoulas et al. 1994, Kiliyas et al. 1994), wobei Versatzbeträge von über 100 km angenommen werden (Ring et al. 2001, 2001).

Ziel dieser Arbeit ist es Gemeinsamkeiten und Unterschiede der unmittelbar an das Detachment angrenzenden Einheiten herauszuarbeiten, um Rück-

schlüsse auf die tatsächliche Signifikanz der Störungszone zu ziehen.

### Methoden

Es wurden neben der röntgenographischen Bestimmung der Illitkristallinität (IK) zusätzlich Kalzitwillinge zur Temperaturabschätzung herangezogen. Die IK wurde an luftgetrockneten Texturpräparaten mit standardisierter Belegungsdichte ermittelt. Die Umrechnung der gemessenen Halbhöhenbreiten erfolgte mittels CIS-Standardisierung (Warr und Rice 1994). Kalzitwillings-Thermometrie (Burkhard 1993, Ferrill et al 2004) erfaßt im Gegensatz zur IK eher das Temperaturregime während einer Deformation.

Die Verformung der Gesteine ließ sich im Falle der Phyllit-Quarzit-Einheit E-Kretas mit der  $R_f/\phi$  - und der (normalisieren) Fry-Methode quantifizieren.

Um die Raumlage der prinzipiellen Verformungsachsen in Tripolitza- und Phyllit-Quarzit-Einheit zu rekonstruieren, wurde die statistische Orientierung der Kalzitwillinge im geographischen Referenzrahmen probenweise erfaßt (n. Grohng 1972). Streß- und Strainellipsoid sind in bei fehlender Vorzugsorientierung der Kalzite kongruent (Burkhard 1993). Streßmagnituden wurden mit dem Kalzitwillingsintensitäts-Paläopiezometer nach Rowe und Rutter (1990) bestimmt. Die erzielten Absolutwerte für den differentiellen Stress erscheinen zwar zu hoch, sollten jedoch untereinander vergleichbar sein.

### Ergebnisse

Die Geländebefunde zeigen für E-Kreta, dass in beiden Einheiten bruchhafte Verformung stattfand. Die basalen Anteile der Tripolitza-Einheit sind dabei vollständig brekziiert. Auf Klasten

<sup>1</sup> Johann Wolfgang Goethe-Universität, Senckenberganlage 32-34, 60325 Frankfurt am Main <sup>2</sup> Macalaster College, Geol. Dept., St. Paul, 1600 Grand Ave., Mn 55105 <sup>3</sup> GeoForschungsZentrum Postdam, Telegrafenberg C2, 14473 Potsdam

der kataklastisch überprägten Phyllit-Quarzit-Einheit treten spröde Strömungen und Kalzitfaserminerale mit Top-SW Kinematik auf. Während die Tripolitza-Einheit in der Regel steile Abschiebungen, teilweise aber auch horizontale Bruchflächen mit assoziierten Riedel-Scherflächen aufweist, treten in den darunterliegenden triassischen Rotsedimenten zudem E-W streichende Dehnungsrisse, Abschiebungen (z.T. listrisch), Knickbänder, und N-S verlaufende Streckungslineare auf.

In W-Kreta konnten in den basalen Anteilen der Tripolitza-Einheit Top-WNW-Bewegungen nachgewiesen werden, womit die Streckungsfaser parallel zur den dortigen Faltenachsen verläuft. Die Brekzierung ist deutlich schwächer, das Gestein meist homogranular mikroparitisch. An der Probenlokalität Falasarna (W-Küste) kam es zum metamorphen Wachstum von Hellglimmern. Da dies eine Ausnahme ist, ist der Metamorphosegrad der Tripolitza-Einheit am einfachsten mit den klassischen Methoden zur Intensitätsabschätzung einer niedergradigen Metamorphose bestimmbar.

Deren Anwendung zeigt ebenfalls, dass eine schwachmetamorphe Überprägung der Tripolitza-Einheit vorliegt. Selbst die Kalzitverzwillingung fand in beiden Einheiten etwa unter gleichen Bedingungen statt, wobei jedoch für einen Großteil der kretischen Gesteine gilt, dass nur dünne Zwillinge auftreten, wie sie für Temperaturen weit unter 200°C charakteristisch sind.

Speziell in E-Kreta erscheint die Phyllit-Quarzit-Einheit zudem auch diagenetische Anteile zu beinhalten, wobei die Tripolitza-Einheit hier anchizonale Bedingungen erfuhr, was eine inverse Metamorphose impliziert. Die fehlende me-

tamorphe Überprägung im Liegenden der Tripolitza-Einheit ist durch die sehr niedrige Illitkristallinitäten, niedrigen Partikel- und Matrixstrain, durch Kalzit- und Quarz-Mikrogefügen und relativ hohe Differentialspannungen belegt (vgl. Zulauf et al. 2002). Von einer retrograden Überprägung der Phyllit-Quarzit-Einheit im Zuge der Störungsaktivität ist laut Jolivet et al. (1996) abzusehen.

Deswegen sind Deckenbewegungen in E-Kreta die wahrscheinlichste Ursache. Das Vorhandensein einer jungen kompressiven Tektonik mit Deckenbewegungen wird aber vor allem durch die Tatsache gestützt, dass dort unmittelbar im Liegenden der Tripolitza-Einheit Neogene Anteile vorkommen, was mit keinem Detachment-Modell erklärbar ist (s.a. Fortuin 1977).

In W-Kreta ist eine inverse Metamorphose zwar nicht nachweisbar, doch auch hier erscheint der in der Literatur postulierte Metamorphosesprung überzogen, da sowohl in der Tripolitza-Einheit als auch in der Phyllit-Quarzit-Einheit anchi- bis epizonale Illitkristallinitäten gemessen wurden.

Die metamorphen Hellglimmer in W-Kreta zeigen zudem ähnliche Phengit-Gehalte, wie Gesteine der Phyllit-Quarzit-Einheit. Trotz des Fehlens einer kritischen Paragenese ist dieses ein Hinweis auf unterschätzte Druckbedingungen. U.a. aufgrund sehr geringer Korngrößen gelang es nicht ein robustes Rb/Sr-Alter zu gewinnen. Die ermittelte vier-Punkt Isochrone liefert mit  $19 \pm 2,5$  Ma (MSWD = 9,8) jedoch ein Isotopen-Alter, welches den Ar-Ar Altern der Phyllit-Quarzit-Einheit W-Kretas entspricht.

Die Kalzitstrainanalysen zeigen, dass in Tripolitza-Einheit und Phyllit-Quarzit-

Einheit im wesentlichen schichtparallele (subhorizontale) Einengung stattfand, wobei vertikale Einengung ebenfalls vorkommt. Die statistischen Mittelwerte der Einheiten sind dabei nahezu identisch. Trotzdem deutet eine starke Streuung der Straintensoren auf eine polyphase Deformation unter einem sich änderenden Streßfeld hin.

### ***Zusammenfassung und Schlußfolgerungen***

Kreta wurde in den zurückliegenden beiden Dekaden als ein, im Rahmen der durch roll-back der ozeanischen Kruste Gondwanas induzierten Ägäischen Extension exhumierte, ‚kalte‘ metamorphe Kern-Komplex interpretiert. Dabei wurde als wesentlicher Mechanismus der Exhumierung der kretischen HP-Gesteine ein Megadetachment unmittelbar oberhalb der Phyllit-Quarzit-Einheit erwägt. Die vorliegenden Daten belegen jedoch einen wesentlich geringeren Metamorphose-Sprung, was sich auch mit jüngsten Literaturdaten deckt. In E-Kreta liegt sogar eine inverse Metamorphose vor. Dabei ist festzustellen, dass der Zeitpunkt der thermischen Überprägung in der Tripolitza-Einheit mit den Abkühlaltem der Phyllit-Quarzit-Einheit identisch ist. Auch zeigen die Geländebefunde nicht selten eine von den Literaturdaten abweichende Kinematik unmittelbar am Störungskontakt.

Die rezente Geländesituation ist damit wesentlich besser durch eine Tektonik zu erklären in der Kompression und Extension einander abwechselten, es zwar zur Exhumierung von HP Gesteinen kam, aber auch Krustenstapelung in kleinerem Maßstab stattfand. Dabei sind weder Magnituden noch die Raumlagen der Hauptnormalspannungen in einem

hohen Krustenstockwerk für alle Lokalitäten auf Kreta identisch gewesen. Ein ‚Kreta-Detachment‘ kann damit weder Ursache noch alleiniger Mechanismus der Exhumierung der HP-Gesteine Kretas sein. Offenbar ist die gesamte Extension entgegen bisheriger Vermutungen viel stärker delokalisiert und verteilt sich über ein Netz von Störungen innerhalb der Phyllit-Quarzit-Einheit. Die kataklastische Störungszone unmittelbar zwischen Tripolitza- und Phyllit-Quarzit-Einheit ist zumindest in E-Kreta durch Kompression entstanden.

### **Literatur**

- Burkhard M (1993) Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime - a review. *Journal of Structural Geology*, 15(3-5): 351-368
- Fassoulas C, Kiliass A & Mountrakis D (1994) Postnappe stacking, extension and exhumation of high-pressure, low-temperature rocks in the island of Crete, Greece. *Tectonics* 13(1): 127-138
- Ferrill DA, Morris AP, Evans MA, Burkhard M, Groshong RH & Onasch CM (2004) Calcite twin morphology: a low-temperature deformation geothermometer. *Journal of Structural Geology*, 26(8): 1521-1529
- Fortuin A R (1977) Stratigraphy and sedimentology of the Neogene deposits in the Ierapetra Region, Eastern Crete. GUA Papers of Geology (PhD thesis, Univ. of Utrecht), 8, pp 164
- Groshong R H (1972) Strain calculated from twinning in calcite. *Geol Soc Am Bull*, 83(7): 2025-2038
- Jolivet L, Goffe B, Monie P, Truffert LC, Patriat M & Bonneau M (1996) Miocene detachment in Crete and exhumation P-T-t paths of high-pressure metamorphic rocks. *Tectonics*, 15(6): 1129-1153
- Kiliass A, Fassoulas C & Mountrakis D (1994) Tertiary extension of continental crust and uplift of Psiloritis metamorphic core complex in the central part of the Hellenic Arc (Crete, Greece). *Geologische Rundschau*, 83: 417-430

- Ring U & Reischmann T (2002) The weak and superfast Cretan detachment, Greece: exhumation at subduction rates in extruding wedges. *Journal of the Geological Society*, 159: 225–228
- Ring U, Lawyer PW & Reischmann T (2001) Miocene high-pressure metamorphism in the Cyclades and Crete, Aegean Sea, Greece: Evidence for large-magnitude displacement on the Cretan detachment. *Geology*, 29(5): 395–398
- Rowe KJ & Rutter EH (1990) Paleostress estimation using Calcite twinning — experimental calibration and application to nature. *Journal of Structural Geology*, 12(1): 1–17
- Seidel E, Kreuzer H & Harre W (1982). A late Oligocene/early Miocene high pressure belt in the external Hellenides. *Geologisches Jahrbuch*, E23: 165–206
- Warr LN & Rice AHN (1994) Interlaboratory standardization and calibration of clay mineral crystallinity and crystallite size data. *Journal of Metamorphic Geology*, 12(2): 141–152
- Zulauf G, Kowalczyk G, Krahl J, Petschick R & Schwanz S (2002) The tectonometamorphic evolution of high-pressure low-temperature metamorphic rocks of eastern Crete, Greece: constraints from microfabrics, strain, illite crystallinity and paleodifferential stress. *Journal of Structural Geology*, 24(11): 1805–1828

## Deformation of the Onaping Formation in the NE-lobe of the Sudbury Igneous Complex, Canada: Evidence for fold adjustment flow in the core of a km-scale fold

Christian Klimczak<sup>1</sup> Ulrich Riller<sup>2</sup>

The synformal geometry of the 1.85 Ga Sudbury Igneous Complex (SIC), an impact melt sheet resulting from large-magnitude meteorite impact, attests to post-impact deformation. However, in contrast to the overlying Onaping Formation, a heterolithic impact melt breccia, the SIC shows little evidence for pervasive ductile strain. This pertains in particular to its NE-lobe characterized by a curvature of about 100° in plain view. This curvature has been interpreted either as a fold or as a primary feature. In order to test these scenarios, a detailed structural analysis was conducted in the core of the NE-lobe, which consists of rocks of the Onaping Formation.

Structural measurements and lithological observations made at a total of 700 stations collectively led to the construction of a detailed structural map of the Onaping Formation in the NE-lobe. The map displays a non-systematic fold pattern evident by individual units of the Onaping Formation, which from bottom to top are known as the Basal, the Grey, the Green and the Black Members. The fold pattern of these units is characterized by elongate domes and basins, the axes of which trend approximately NE–SW. These axes are

<sup>1</sup> Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften, Malteser Strasse 74-100, D-12249 Berlin <sup>2</sup> Humboldt-Universität Berlin, Institut für Mineralogie, Invalidenstrasse 43, 10115 Berlin