

LOW TEMPERATURE  
THERMOCHRONOLOGY OF THE  
NORTHERN AEGEAN RHODOPE MASSIF

A dissertation submitted to the

SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZÜRICH

for the degree of  
Doctor of Sciences

presented by  
**Eliane Denise Wüthrich**  
Dipl. Natw. ETH Zürich  
born 07.06.1978  
from Eggiwil BE

accepted on the recommendation of:

Prof. Dr. Jean-Pierre Burg, examiner  
Dr. Diane Seward, co-examiner  
Dr. Alexandre Kounov, co-examiner  
Prof. Dr. Jean-Pierre Brun, co-examiner

# Abstract

The Rhodope Massif, situated mainly in southern Bulgaria and northern Greece, evolved from Cretaceous shortening and thrusting to Cenozoic extension and the development of metamorphic core complexes. This work uses the fission-track method on apatite, zircon and titanite and the (U-Th)/He method on apatite to document the low-temperature evolution of three Rhodope core complexes: (i) the South Rhodope Core Complex (SRCC) of northern Greece, (ii) the Central Rhodope Metamorphic Complex (CRMC) of southern Bulgaria and (iii) the Kesebir–Kardamos Dome (KKD) straddling the Bulgarian–Greek border. Combining the new data with published, higher-temperature chronometer ages and structural and sedimentary information, has allowed constraints to be made on the timing of activity of the main detachments and shear zones.

The Rhodope Massif underwent extension since the Maastrichtian/Palaeocene. Early cooling and related extension was, however, moderate and restricted to the north-eastern part of the massif, i.e. the KKD and the CRMC. Cooling/exhumation reached a climax at about 40 Ma. This is indicated by (i) rapid cooling/exhumation controlled by the Tokachka Detachment of the KKD between at least 42 Ma and  $\sim$ 35 Ma, (ii) very rapid cooling/exhumation in the CRMC between about 40 and 33 Ma, presumably mostly caused by movement along the Kardzhali shear zone and secondarily along the Smilian and Middle Rhodope shear zones, and (iii) the onset of cooling/extension in the SRCC at  $\sim$ 40 Ma, controlled by the Kerdilion Detachment.

Each region studied underwent a change in the thermo-mechanical conditions leading to a second phase of cooling/exhumation. In the KKD, movements on the Tokachka Detachment possibly ceased after 35 Ma, certainly after 33 Ma, and further minor extension was accommodated only by high-angle normal faults. In the CRMC cooling/extension along the Kardzhali, Smilian and Middle Rhodope shear zones ceased at 33 Ma, and further cooling/extension after  $\sim$ 30 Ma was localised in the south-central part of the metamorphic complex, controlled by the Madan shear zone. In the SRCC, the thermo-mechanical change was slightly later; the Kerdilion Detachment stopped functioning at about 26 Ma and by at least 20 Ma cooling/exhumation was localised in the central part of the core complex and controlled by the Strymon Valley Detachment. Detachment-controlled cooling/extension lasted in the CRMC until about 15 Ma while in the SRCC it continued until about 8 Ma.

The two extension phases may be related to a switch from syn-orogenic/thickening collapse to post-orogenic, slab-roll-back driven extension. The two extensional phases may also indicate two successive “push-pull” cycles caused by the accretion/subduction of continental and oceanic lithosphere fragments within the Aegean subduction zone.

In any case, peak-cooling/exhumation after around 40 Ma is related to magmatic activity in the Rhodope Massif. Convective removal of the lithospheric mantle and subsequent upwelling of the asthenosphere may have provided the necessary heat to cause, on the one hand, melt generation and volcanism and, on the other hand, weakening of the thickened crust and core complex formation.

Since about 8 Ma, detachment faulting in the Rhodope Massif has probably stopped with the cessation of the Strymon Valley Detachment and only high-angle normal faults such as the Xanthi Fault or the faults bounding the offshore Orfanos Basin continued to be active.

# Zusammenfassung

Die Rhodopen sind ein Gebirge, welches sich hauptsächlich über Südbulgarien und Nordgriechenland erstreckt. Es wurde während der Kreide durch Kollision eines kontinentalen Fragmentes mit dem europäischen Kontinent gebildet. Auf diese, durch Kompression und Aufschiebungen geprägte Phase, folgte im Kenozoikum eine langgezogene Extensionsphase, während welcher mehrere metamorphe Kernkomplexe gebildet wurden.

Im Rahmen dieser Dissertation sind Gesteine aus drei metamorphen Kernkomplexen der Rhodopen mit der Spaltspurmethode an Apatiten, Zirkonen und Titaniten sowie mit der (U-Th)/He-Methode an Apatiten datiert worden. Anhand der erhobenen Daten wird die Abkühlungsgeschichte im Temperaturebereich von etwa 300 bis 60°C rekonstruiert.

Die drei untersuchten Kernkomplexe sind der Kernkomplex der Südrhodopen (SRCC, Southern Rhodope Core Complex), welcher sich in Griechenland befindet, der Kernkomplex der Zentralrhodopen (CRMC, Central Rhodope Metamorphic Complex) im südlichen Bulgarien und der Kesebir–Kardamos Dome (KKD), welcher sich je zur Hälfte über Bulgarien und Griechenland erstreckt.

Die neu erhobenen Daten werden unter Einbezug von bereits publizierten geochronologischen Altern sowie strukturellen und sedimentologischen Erkenntnissen interpretiert und geben Aufschluss darüber, wann die wichtigsten flachen Abschiebungen (detachments) der verschiedenen Kernkomplexe aktive gewesen sein müssten.

Erste Anzeichen für Extension in den Rhodopen gibt es im Maastrichtium/Paläozän. Die frühe Extension, welche zur Exhumierung und somit Abkühlung der Gesteine führte, ist allerdings relative moderat und örtlich beschränkt auf die nord-östlichen Rhodopen, d.h. den KKD und den CRMC. Erst etwa vor 40 Ma ist ein Höhepunkt in der Abkühlungs-/Exhumierungsgeschichte der Rhodopen zu beobachten. Dies ist ersichtlich aus (i) der schnellen Abkühlung der Gesteine des KKD zwischen mindestens 42 Ma und etwa 35 Ma, ausgelöst durch Exhumierung des Liegenden entlang der Tokachka Abschiebung, (ii) sehr schneller Abkühlung der Gesteine des CRMC zwischen etwa 40 und 33 Ma, verursacht hauptsächlich durch Exhumierung entlang der Kardzhali Abschiebung, aber daneben auch entlang der Smilian und Mittelrhodopen Abschiebungen, und (iii) der Aktivierung der Kerdilion Abschiebung, welche Abkühlung/Exhumierung im SRCC bedingt. Nach dieser ersten Phase der Abkühlung, welche in allen drei Kernkomplexen auftritt, führt eine Än-

derung in den thermischen und mechanischen Bedingungen der Kernkomplexe zu einer zweiten Abkühlungs-/Exhumierungsphase. Im KKD hört die Tokatchka Abschiebung wahrscheinlich vor 35 Ma auf aktiv zu sein; die darauf folgende, schwächer ausgeprägte Extensionsphase verursacht nur noch die Bildung von lokalen steilen Abschiebungen. Die Kardzhali, Smilian und Mittelrhodopen Abschiebungen im CRMC werden etwa vor 33 Ma inaktiv. Darauf folgend, etwa vor 30 Ma, wird die flache Madan Abschiebung aktiv, welche Abkühlung/Exhumierung von Gesteinen im südlich-zentralen Teil des CRMC verursacht. Im SRCC findet der Wechsel von einer Abkühlungsphase zur zweiten etwas später statt. Dort hört die Kerdilion Abschiebung etwa vor 26 Ma auf, Gesteinsmaterial an die Oberfläche zu befördern und abzukühlen. Spätestens seit 20 Ma ist eine zweite flache Abschiebung, die Strymon Valley Abschiebung im Zentrum des SRCC aktiv, welche dort weiterhin Gesteine exhumiert.

Abkühlung/Exhumierung welche durch flache Abschiebungen kontrolliert wird, ist im CRMC bis etwa vor 15 Ma beobachtbar und endet mit der Deaktivierung der Madan Abschiebung. Im SRCC ist schnelle Abkühlung bis etwa vor 8 Ma beobachtbar und endet damit, dass die Strymon Valley Abschiebung inaktiv wird.

Die zwei beobachteten Abkühlungsphasen könnten durch aufeinander folgende syn- und post-orogene Extensionphasen erklärt werden. Dabei ist syn-orogene Extension stark mit gravitativem Kollaps des Gebirges verknüpft, während post-orogene Extension durch das zurückrollen der subduzierten Lithosphärenplatte verursacht wird. Andererseits könnten die zwei Abkühlungsphasen auch mit so genannten "push-pull"-Zyklen zusammenhängen, welche durch alternierendes Anlagern von kontinentalen Fragmenten und Subduzieren von ozeanischen Fragmenten in der ägäischen Subduktionszone entstehen.

Der Höhepunkt in Abkühlung/Exhumierung vor etwa 40 Ma ist in jedem Fall eng verbunden mit vulkanischer Aktivität in den Rhodopen. Konvektive Strömungen sind wahrscheinlich verantwortlich für die Trennung des lithosphärischen Mantels von der Kruste, wobei der lithosphärische Mantel durch Asthenospärenmaterial ersetzt wird. Die heiße Asthenosphäre verursacht einerseits die Bildung von Schmelze und damit Vulkanismus, und andererseits schwächt sie die Kruste was zu erleichterter Kernkomplexbildung führen kann.

Seit etwa 8 Ma, als die Strymon Valley Abschiebung aufhört aktiv zu sein, findet man vermutlich keine flachen Abschiebungen mehr im Gebiet der Rhodopen. Nur steile Abschiebungen, wie die Xanthi Abschiebung oder die Brüche, welche das submarine Orfanos Becken begrenzen, sind länger aktiv.