

Diss. ETH Nr. 9161

**PALEOMAGNETISM AND TECTONICS IN THE
GIBRALTAR ARC**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
for the degree of Doctor of Natural Science

Presented by:
Ellen Platzman
Master of Arts in Geology
University of California, Santa Barbara

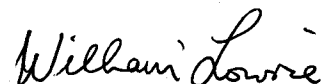
Born: 1 June, 1961
in New Jersey (USA)

Accepted on the recommendation of:

Professor William Lowrie
Referee

Professor John Ramsay
Co-Referee

Professor Walter Wildi
Co-Referee



Zürich 1990

PALEOMAGNETISM AND TECTONICS IN THE GIBRALTAR ARC

The Betic / Rif orogenic belt is at the western end of the Alpine Mediterranean collisional system. The present geologic configuration of this region can be broadly divided into an internal and external realm which appear to curve symmetrically around the Gibraltar Arc. The Internal zones are composed of an extensive Triassic and locally younger cover sequence resting on Paleozoic basement. These rocks were deformed and metamorphosed during the early stages (pre Burdigalian) of the Alpine orogeny. In contrast, the External zones are exclusively of Mesozoic and Tertiary age. They represent the passive continental margin sequences of Iberia and Africa that were deformed prior to the Tortonian. This zone is structurally linked across the Straits of Gibraltar by a thick sequence of Cretaceous to Miocene flysch. In the center of the orogenic belt is the Alboran sea. This basin was superimposed on the Paleogene nappe pile during a Miocene extensional phase that was coeval with compression in the external zones.

Paleomagnetic and structural investigations of a Mesozoic and Tertiary limestone sequence around the Gibraltar Arc were undertaken with the ultimate objective of testing various models that attempt to explain the kinematic and geologic development of the arcuate structure. Samples were cored at 85 locations in the Upper Jurassic and Upper Cretaceous limestones and post-Alpine Upper Miocene deposits which crop out intermittently from Al Hoseima, Morocco to the island of Ibiza in Spain. Results of rock magnetic experiments done in conjunction with thermal and AF demagnetizations demonstrated that post-Alpine Miocene lithologies sampled are unusable for paleomagnetic studies. The Mesozoic limestones, however, have a stable remanent magnetization. The characteristic remanence vector has an inclination which is statistically coincident with the expected inclinations for stable Iberia or Africa. The declinations recorded at the same sites, however, vary significantly from the predicted Mesozoic declinations. These variations indicate that: 1) the rotations in Southern Spain are generally in a clockwise sense with the exception of the Sierra Gorda (West of Granada) ; 2) the Cretaceous sites are generally rotated more than Jurassic sites at the same location, an observation which is consistent with the mid-Cretaceous counterclockwise rotation of the Iberian peninsula; 3) the Jurassic sites in Morocco are rotated generally anticlockwise except in the area around Tetuan.

Kinematic analysis and structural mapping was done at selected localities around the Gibraltar arc. In the Sierra Gorda in southern Spain, anomalous westward thrusting directions were detected where anomalous declinations were also observed. Mapping in this region reveals three thrust sheets. The most important thrust contact places Lower Jurassic on top of Upper Cretaceous to Eocene sediments in a foot wall syncline striking NNW/SSE through the center of the Sierra Gorda. Unrotated directions obtained in the Sierra indicate either that the Sierra has never rotated or that it has rotated in a clockwise sense in

concordance with the rest of the External zones and then backrotated. Late anticlockwise rotation could be explained either by left lateral shear along the margins of the block, rotation along a deeper level detachment surface, or rotation during the Late Neogene extension that produced the adjacent Granada Basin.

Models which propose that the Gibraltar Arc is a paleogeographic arc or that it formed as a consequence of gravity tectonics, oroclinal bending, indentation of a rigid plastic microplate or a strike slip zone, are insufficient to explain the data obtained in this thesis. A new model which invokes a pattern of oblique compression around the perimeter of the Alboran Domain has been proposed as an alternative to explain the post-Mesozoic, tectonic history of this region. This hypothesis combines the north-south convergence of Africa and Europe with radial extensional collapse in the Alboran Sea to generate the northwest to south directed thrusting, documented around the Gibraltar Arc. In addition, this relative motion should lead to a right lateral transpressive zone and hence clockwise rotation in the external Betic Cordillera and left lateral transpression and hence anticlockwise rotations in the Rif Mountains.

PALÄOMAGNETISMUS UND TEKTONIK DES GIBALTARBOGENS

Die Gibrigskette des Gibraltarbogen, aus der betischen Kordillere Südspaniens und dem marokkanischen Rif-Gebirge aufgebaut ist, entstand während der alpinen Orogenese am westlichen Rand der mediterranen Tethys. Der Gibraltarbogen lässt sich geologisch-tektonisch in eine interne und eine externe Zone unterteilen. In der internen Zone überlagern vorwiegend triassische, lokal auch jüngere Sedimente das paläozoische Grundgebirge. Während der frühen alpinen Tektonik (prä-Burdigal) wurde die interne Zone deformiert und metamorph überprägt. Die externe Zone, die den passiven Kontinentalrand Iberiens und Afrikas repräsentiert, enthält unmetamorphe vulkanische und sedimentäre Serien mesozoischen und tertiären Alters. Sie wurden im späteren Miozän (prä-Torton) deformiert. Im Innern des Gibraltarbogens liegt das Alboran-Becken, welches sich auf paläogenen Kompressionsstrukturen durch Extensionstektonik im Miozän bildete.

Um bestehende kinematische Modelle zur Entstehung des Gibraltarbogens zu testen, wurden paläomagnetische und strukturgeologische Untersuchungen an mesozoischen (oberer Jura und obere Kreide) und tertiären (oberes Miozän) Kalken in Südspanien und Marokko durchgeführt. Orientierte Proben von 85 Lokalitäten entlang des Orogenbogens von Al Hoseima (Marokko) bis nach Ibiza (Spanien) wurden untersucht. Während in den post-tektonischen jungtertiären Sedimenten keine stabilen Magnetisierungsrichtungen beobachtet wurden, enthalten die mesozoischen Kalke nach thermischer und Wechselfeldabmagnetisierung gut definierte, stabile Komponenten der natürlichen remanenten Magnetisierung (NRM). Der mittlere charakteristische Magnetisierungsvektor (ChRM) besitzt eine Inklination, wie sie für Iberien und Afrika erwartet wird. Die Deklination hingegen weicht signifikant von den erwarteten Werten ab.. Die daraus postulierten Rotationbewegungen lassen sich wie folgt zusammenfassen: 1) Die jurassischen und kretazischen Kalke in Südspanien sind mit Ausnahme der Sierra Gorda (westlich von Granada) relativ zum Hauptteil der iberischen Halbinsel Uhrzeigersinn rotiert. 2) Die lokalen ChRM-Richtungen in den kretazischen Kalken sind generell um 20-30 Grad stärker rotiert als diejenigen der jurassischen Kalke. Dieser Unterschied kann mit der mittel-bis oberkretazischen Rotation der iberischen Halbinsel im Gegenuhrzeigersinn erklärt werden. 3).Die jurassischen Kalke Marokkos sind relativ zum stabilen Kraton im Gegenuhrzeigersinn gedreht mit Ausnahme der Lokalitäten bei Tetouan.

Aus den kinematischen Untersuchungen und der strukturellen Kartierung an ausgewählten Lokalitäten wurden in der Sierra Gorda anormale, westwärts verlaufende Ueberschiebungsrichtungen erkannt. Zusätzlich konnten in diesem Gebiet drei unterschiedliche Ueberschiebungsdecken auskartiert werden. An der am deutlichsten ausgebildeten Ueberschiebung liegen unterjurassische Karbonate auf oberkretazischen bis

eozänen Sedimenten, die eine NNW-SSE streichende Footwall-Synklinale bilden. Die paläomagnetischen Daten für dieses Gebiet stimmen mit den für die iberische Halbinsel erwarteten Richtungen überein, d. h. die Sierra Gorda wurde nicht rotiert oder unterlag sich aufhebenden Rotationen. Letztere können dadurch zustande gekommen sein, dass die in Südspanien beobachtete Rotation im Uhrzeigersinn lokal durch linkssinnige Scherung entlang den Rändern der Sierra Gorda, durch Rotation an einem tiefliegenden Abscherhorizont oder durch Rotation während der spätneogenen Extensionsphase wieder rückgängig gemacht wurde.

Zur Erklärung der post-mesozoischen Geschichte der Region wird eine neue tektonische Hypothese vorgeschlagen. Sie vereinigt die N-S-Konvergenz von Afrika und Europa mit dem radialen Extensionskollaps in der Alboran See, so dass NW bis S gerichtete Überschiebungen charakteristisch sind für die Tektonik des Gibraltarbogens. Die erforderliche Relativbewegung sollte rechtshändige Transpression und Rotation im Uhrzeigersinn im Bereich der betischen Kordillere und linkshändige Transpression und deshalb Gegenuhrzeigerrotation im Rif-Gebirge verursachen.