

# **Mantle deformation beneath the Alps and the physics of the subduction polarity switch - Constraints from thermomechanical modelling, seismic anisotropy and waveform modelling**

Georg Rümpker & Harro Schmeling

Goethe-University Frankfurt

## **Abstract**

The enormous amount of high-quality seismological data that is becoming available from the densely-spaced AlpArray network in combination with new geodynamic modelling capabilities opens up unique opportunities to test current hypotheses about the deep dynamics of continental collision. A major outstanding goal is an understanding of the causes and dynamics responsible for the proposed temporal switch of subduction polarity beneath the Eastern Alps. We pose the hypothesis that in general such a switch is not a coincidental result of long-term plate tectonic history, but the direct result of specific physical conditions at a converging plate boundary. This hypothesis will be tested by studying the physics of such a prescribed or self-consistently evolving polarity switch and by combining thermomechanical modelling with seismological constraints on mantle deformation from observations and modelling of waveform effects due to seismic anisotropy.

From a seismological perspective, constraining the current state of mantle deformation beneath the Alps poses a number of difficulties related to the possible influence of the crust on teleseismic waveforms and also due to depth variations of anisotropic structures in the mantle. We propose to tackle these problems by combining analyses of shear-wave splitting from (1) teleseismic XKS phases and (2) converted  $P_{s_x}$  phases from the Moho and upper-mantle discontinuities to provide a detailed image of mantle and crustal deformation patterns beneath the entire Alpine collision zone. Crustal thicknesses and anisotropies will be determined on the way.

Regarding the geodynamical modelling of an orogenic lithosphere-asthenosphere system, the complexity of our time-dependent thermochemical Finite Element and Finite Difference models will be increased stepwise (from 2D to 3D) and include visco-plastic-non-Newtonian rheology, a free surface, erosion and sedimentation, dissipational heating, etc. Consistent tools to determine the evolving lattice-preferred orientations will be applied. From this, different models of seismic anisotropy will be predicted and serve as test models for the comparison with seismological observations and waveform modelling. Additionally, the output of the thermomechanical models will include the evolving topography, uplift-, subsidence and exhumation rates, stresses etc. and will be exchanged with cooperating projects within the SPP MB-4D.

---- German-version ----

**Die Deformation des Erdmantels unter den Alpen und die Physik der Subduktions-Polaritätsumkehr: Rückschlüsse aus thermomechanischen Modellierungen, seismischer Anisotropie und Wellenform-Modellierungen**

## Zusammenfassung

Die enorme Menge hochwertiger seismologischer Daten, die gegenwärtig durch das dicht-aufgestellte AlpArray Netzwerk verfügbar wird, in Kombination mit neuen geodynamischen Modellierungsansätzen eröffnet einmalige Möglichkeiten zum Testen von aktuellen Hypothesen zur tiefreichenden Dynamik kontinentaler Kollisionsvorgänge. Eine wesentliche ungeklärte Frage betrifft das Verständnis der Ursachen und Prozesse, die für eine mögliche Umkehr der Subduktionspolarität unter den Ostalpen verantwortlich sind. Wir stellen die Hypothese auf, dass sich eine solche Umkehr nicht zufällig im Laufe der Plattentektonik ereignet, sondern sich direkt aus spezifischen physikalischen Bedingungen im Konvergenzbereich der tektonischen Platten ergibt. Diese Hypothese soll anhand von Untersuchungen zur Physik einer vorgegebenen oder sich selbstkonsistent entwickelnden Polaritätsumkehr und durch die Kombination von thermomechanischen Modellierungen mit seismologischen Ergebnissen zur Deformation des Erdmantels aus Beobachtungen und Modellierungen von Welleneffekten seismischer Anisotropie getestet werden.

Aus seismologischer Perspektive ist die Bestimmung der Manteldefomation unter den Alpen mit Schwierigkeiten verknüpft, die sich aus dem möglichen Einfluss der Kruste auf die teleseismischen Wellenformen und durch die Tiefenabhängigkeit der anisotropen Strukturen im Erdmantel ergeben. Wir schlagen deshalb vor, diese Probleme durch eine Kombination verschiedener Verfahren zur Analyse des Scherwellensplittings zu lösen. Dabei sollen sowohl teleseismische XKS Phasen als auch konvertierte Ps Phasen von der Moho und anderen Diskontinuitäten des oberen Erdmantels ein detailliertes Abbild der Deformationsmuster des Erdmantels und der Kruste unterhalb der gesamten Alpenen Kollisionszone liefern. Krustenmächtigkeiten und Anisotropien innerhalb der Kruste werden dabei ebenfalls bestimmt.

Im Hinblick auf die geodynamische Modellierung eines orogenen Lithosphären-Asthenosphären-Systems soll die Komplexität der zeitabhängigen thermochemischen Finite-Elemente und Finite-Differenzen-Modelle schrittweise erhöht werden (von 2D auf 3D) und visko-plastische nicht-Newtonsche Rheologien, eine freie Oberfläche, Erosion und Sedimentation, sowie Erwärmung durch Dissipation etc. beinhalten. Dabei sollen auch konsistente Verfahren zur Bestimmung der Entwicklung einer bevorzugten Kristallausrichtung angewendet werden. Davon ausgehend sollen verschiedene Modelle für die seismische Anisotropie berechnet werden und als Testmodelle für den Vergleich mit seismologischen Beobachtungen und Modellierungen dienen. Zusätzlich liefern die thermomechanischen Modelle Ergebnisse bezüglich Topographie, Hebung und Absenkung, Hebungsraten und Spannungen, etc., die mit den Kooperationspartnern innerhalb des SPP MB-4D ausgetauscht werden sollen.