

DISS. ETH NO. 18425

**Small-scale sublithospheric convection –  
an alternative mechanism for oceanic intraplate volcanism**

A dissertation submitted to

ETH ZÜRICH

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

MAXIM DIONYS BALLMER

Dipl. Geol., Ruhr-Universität Bochum

*born on:* November 5th, 1979

citizen of Basel BS and Lausen BL

*accepted by the recommendation of:*

Prof. Dr. Paul Tackley	ETH Zürich	examiner
Dr. Jeroen van Hunen	Univ. of Durham	co-examiner
Prof. Dr. Harro Schmeling	Goethe Univ. Frankfurt	co-examiner
Dr. Taras Gerya	ETH Zürich	co-examiner

2009

# Abstract

Many volcano chains on the Pacific plate do not display a systematic age progression. Consequently, they may neither be attributed to primary mantle plumes nor to secondary plumelets rising from the top of a broad thermochemical anomaly (i.e., a 'Superplume'). We show in 3D numerical models that magma generation from small-scale sublithospheric convection (SSC, with a wavelength of ~250 km) may rather be a viable explanation. As soon as SSC initiates, it removes the base of the lithosphere replacing refractory harzburgites with fertile and hotter peridotites from below. In the case that SSC initiates sufficiently early, partial melting emerges along the upwelling limbs of SSC supporting 'hot lines' of volcanism. The age range of the seafloor over which SSC-volcanism occurs increases with increasing mantle temperature, because higher mantle temperatures fuel melting and dehydration at the mid-ocean ridge with a stabilizing effect on the rheological lithosphere. In contrast, the amounts of volcanism are most sensitive to mantle viscosity. Since coeval volcanism may occur along a 'hot line' of length ~1500 km, age-distance relationships of associated volcano chains are predicted to be complex. Furthermore, we predict systematic trends between the geochemical end-members EMI and HIMU along a 'hot line', assuming that the mantle source consists of uniformly distributed blobs and veins of enriched peridotite and of pyroxenite embedded in a matrix of depleted peridotite. These trends arise from systematic variation of pyroxenite-derived melts vs. peridotite-derived melts, and are shifted towards EMI and towards older seafloor for increasing mantle temperature. Geochronological model predictions for SSC reconcile observations at the Wakes, Marshalls, Gilberts, Line Islands, Cook-Austral and Pukapuka ridges better than hotspot theory. Radiogenic isotope predictions further explain the observed geochemical variability by simple temporal variations in mantle temperature instead of invoking strong large-scale source heterogeneity as in the framework of the secondary plumelet hypothesis.

# Zusammenfassung

Viele Vulkanketten auf der pazifischen Platte zeigen keine systematische Altersverteilung. Somit können sie weder primären Mantelplumes, noch sekundären Plumelets zugeordnet werden. In numerischen 3D-Simulationen zeigen wir, dass Magmenbildung durch kleinskalige sublithosphärische Konvektion (SSC, mit einer typischen Wellenlänge von ~250 km) hingegen eine gültige Erklärung darstellt. Sobald SSC ausgelöst wird, erodiert es die Lithosphärenbasis, so dass refraktäre Harzburgite durch fertile und heissere Mantelgesteine ersetzt werden. Falls SSC früh genug ausgelöst wird, entstehen in den Aufströmen partielle Schmelzen, die „hot line“-Vulkanismus speisen. Die Ozeanbodenalter, über die sich der SSC-Vulkanismus erstreckt, steigen mit der Manteltemperatur, weil höhere Manteltemperaturen stärkere Schmelzbildung und Entwässerung an den mittelozeanischen Rücken begünstigen, und damit die Lithosphäre stabilisieren. Das Volumen der geförderten Schmelzen hängt dagegen vorrangig von der Mantelviskosität ab. Da Vulkanismus über die gesamte Länge der „hot line“ von etwa 1500 km gleichzeitig auftritt, ergeben sich komplizierte Altersverteilungen entlang der betreffenden Vulkanketten. Unsere Modelle sagen zudem systematische Trends zwischen den geochemischen Endgliedern EMI und HIMU entlang einer „hot line“ voraus; dies unter der Annahme dass der Mantel aus gleichmässig verteilten Adern aus Pyroxenit und fertilem Peridotit in einer Matrix aus verarmtem Peridotit besteht. Diese Trends werden durch systematische Variationen des lithologischen Ursprungs (Peridotit vs. Pyroxenit) der Magmen hervorgerufen und bei höheren Manteltemperaturen in Richtung EMI und in Richtung älteren Ozeanbodens verschoben. Geochronologische Modellvorhersagen für SSC erklären Beobachtungen an den Wake-, Marshall-, Line-, und Cook-Austral Inseln, sowie an den Gilbert- und Pukapuka-Rücken besser als die Hotspottheorie. Darüber hinaus erklären Modellvorhersagen in Bezug auf radiogene Isotope die beobachtete geochemische Variabilität durch einfache Veränderungen der Manteltemperatur, während im Rahmen der sekundären Plumelet-Hypothese starke, langwellige Heterogenität vorausgesetzt werden muss.