

DISS. ETH No. 20994

**Active deformation and landscape evolution of the
Makran Accretionary Wedge (SE-Iran)
New constraints from surface exposure dating of fluvial terraces**

A dissertation submitted to
ETH Zurich

For the degree of
Doctor of Sciences

Presented by

Negar HAGHIPOUR

M.Sc. in Geology. Azad University, Tehran-North branch (Iran)

born 17.05.1977

citizen of

Iran

Accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Jean-Pierre Burg
PD Dr. Susan Ivy-Ochs
Dr. Florian Kober
Prof. Dr. Mark T. Brandon

ETH Zurich
ETH Zurich
ETH Zurich
Yale University

Examiner
Co-examiner
Co-examiner
Co-examiner

2013

Abstract

The topographic evolution of mountain belts results from complex coupling between tectonics, climate and surface processes. However, our ability to infer tectonic information from surface observations is hampered by a lack of quantification of the causal links between tectonic activity and topography. Therefore, a set of methodological tools quantifying landscape evolution has been recently developed to constrain forcing processes over temporal (10^3 - 10^6 a) and spatial (1-100 km) scales characteristic of orogenic systems. For this thesis the first systematic assessment of the landscape response to deformation of the onshore Makran Accretionary Wedge (MAW), in SE Iran, was carried out.

First, we give a general introduction to the scientific problem, to the tectonic setting of the field area, and to the methodology employed in the thesis.

Then, we present the quantitative assessment of the river pattern and link the characteristics of drainage basins and channel length profiles with fluvial incision as a marker of surface uplift. Surface uplift is essentially caused by recent crustal deformation of the wedge. The variations in channel steepness and concavity allow determining a background, regional picture and identifying focused incision where active folds and thrusts are growing. It also indicates a difference in behavior between western and eastern Makran.

The first absolute ages of fluvial terraces over a large part of onshore MAW were obtained using ^{10}Be exposure dating. The 13-379 ka spread of ages offers the chance to clarify whether the formation and abandonments of the studied terraces are associated with climatic cycles or/and tectonic forces. The most widespread levels (at ca 20 and 100 ka) are linked to Marine Isotopes Stages MIS 2-5. The new ages further permit calculating rates of both the regional background and the localized incisions. The regional 'background' incision rate, used as a proxy of surface uplift, is relatively moderate and homogeneous (0.3 mm/a). It fits previous estimates from uplifted marine terraces. This general uplift rate is confirmed by ages we obtained with ^{14}C (radiocarbon) and ^{10}Be methods on newly dated marine terraces. Local incision/uplift rates reach up to 0.8-1 mm/a.

The regional, uniformly distributed incision rate is attributed to the steady growth of the MAW. The locally high incision rates indicate that, however, perfect steady-state is unlikely on short-length scales, local instabilities depict localized deformation.

Folded fluvial terraces taken as passive markers on growing folds and fold trains help constraining the dynamics of both distributed and localized deformation due to shortening/convergence across the onshore MAW. The results are compared to interseismic deformation documented by published GPS data. The calculated average shortening rate due to folding on the millennial time scale accounts for 10-15% of the shortening rate given by kinematic GPS measurements across the Iranian part of the MAW. Active folding depicted in this work shows that the generally accepted concept of 'Coulomb' accretionary wedges is

an excellent, long-term approximation that requires refinements in terms of bulk rheology to account for shortening mechanisms additional to discrete fault movements. The noticeable spatial variation in recent deformation, denoting increasingly stronger impact of Quaternary deformation towards the east, is attributed to eastward increasing convergence, hence subduction rates.

Our results emphasize the link between surficial and deeper crustal processes in active orogenic systems.

Zusammenfassung

Die topographische Entwicklung eines Gebirges erfolgt aus dem komplexen Zusammenspiel zwischen Tektonik, Klima und Oberflächenprozessen. Die Möglichkeit aus Beobachtungen der Erdoberfläche, Informationen über tektonische Prozesse zu erhalten, wird aufgrund fehlender Quantifizierung der Zusammenhänge zwischen tektonischer Aktivität und Topographie geschmälert. Daher wurde kürzlich eine Anzahl methodologischer Werkzeuge, die die Landschaftsentwicklung quantifizieren, entwickelt, um die, für ein Gebirgssystem zeitlich (10^3 - 10^6 a) und räumlich (1-100 km) charakteristischen, treibenden Kräfte einzugrenzen. Im Zuge dieser Arbeit wurde die erste systematische Erfassung der Landschaftsentwicklung aufgrund der Verformung des landwärtigen Makran Akkretionskeils (MAK), im Südosten des Irans, durchgeführt.

Zuerst wird eine allgemeine Einleitung zur wissenschaftlichen Fragestellung, zur tektonischen Situation des Feldgebiets und zur, in der Arbeit angewandten, Methodik präsentiert.

Daraufhin wird die quantitative Bewertung des Flussmusters vorgestellt und die Eigenschaften von Einzugsgebieten und Profilen der Kanallängen werden mit dem Einschneiden von Flüssen, das als Marker für Oberflächenhebung dient, in Zusammenhang gebracht. Oberflächenhebung wird hauptsächlich durch rezente krustale Verformung des Keils verursacht. Die Unterschiede in der Steilheit und Wölbung der Kanäle erlauben es, ein regionales Hintergrundbild zu beschreiben und fokussiertes Einschneiden zu ermitteln, wo Falten und Aufschiebungen entstehen. Dies zeigt auch einen Unterschied im Verhalten zwischen West- und Ost-Makran auf.

Die ersten absoluten Alter der Flussterrassen eines grossen Teils des landwärtigen MAK wurden mit Hilfe der Bestimmung des ^{10}Be Bestrahlungsalters gewonnen. Die Verteilung der Alterswerte zwischen 13-379 ka bietet die Möglichkeit, besser zu verstehen, ob die Bildung und die Stilllegung der untersuchten Terrassen in Zusammenhang mit klimatischen Zyklen und/oder tektonischen Kräften stehen. Die am weitesten verbreiteten Niveaus (um ca. 20 und 100 ka) stehen in Verbindung mit den marinen Isotopen Stadien MIS 2-5. Die neuen Alter erlauben ausserdem, sowohl regionale, Hintergrund- als auch lokale Einschnittraten zu berechnen. Die regionale, Hintergrund-Einschnittrate, die stellvertretend für die Oberflächenhebung steht, ist relativ gemässigt und homogen (0.3 mm/a). Diese stimmt mit früheren Schätzungen von erhobenen marinen Terrassen überein. Diese allgemeine Hebungsrate wird durch ^{14}C und ^{10}Be Alter von neu datierten marinen Terrassen bestätigt. Lokale Hebungs- und Einschnittraten erreichen Werte bis zu 0.8-1 mm/a.

Die regionale, gleichmässig verteilte Einschnittrate wird dem ständig wachsenden MAK zugeordnet. Die lokal hohen Einschnittraten deuten an, dass, obwohl ein perfekter

stationärer Zustand unwahrscheinlich ist auf einer kleinen Skala, lokale Instabilitäten lokalisierte Verformung anzeigen.

Gefaltete Flussterrassen, die man als passive Marker auf wachsenden Falten und Faltenzügen benutzt, helfen, die Dynamik sowohl von verteilter als auch lokalisierter Verformung einzugrenzen, die ausgelöst wird durch Verkürzung/Konvergenz im landwärtigen MAK. Die Resultate werden mit veröffentlichten GPS Daten verglichen, die interseismische Verformung dokumentieren. Die, aufgrund von Verfaltung, in einem Zeitraum von Millionen Jahren, berechnete Verkürzungsrate, erklärt 10-15% der auf kinematischen GPS Messungen, verteilt über den iranischen Teil des MAK, basierenden Verkürzungsrate. Die aktive Verfaltung, die in dieser Arbeit vorgestellt wird, zeigt, dass das allgemein akzeptierte Konzept des „Coulomb“-Akkretionskeils eine hervorragende, langfristige Annäherung ist, die Verfeinerungen in Bezug auf die Gesamtrheologie benötigt, um auch zusätzliche Verkürzungsmechanismen, nebst der diskreten Bewegung auf Störungen, miteinzubeziehen. Die erkennbare räumliche Variation in der neuzeitlichen Verformung, zeigt einen zunehmend grösseren Einfluss von Quartärer Verformung Richtung Osten, und wird der ostwärts zunehmenden Konvergenz, d.h. Subduktionsrate, zugeschrieben.

Unsere Resultate betonen den Zusammenhang zwischen Prozessen an der Oberfläche und in der tieferen Kruste in einem aktiven Gebirgssystem.