



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

DISS. ETH NO. 20811

Sedimentary record of arc-continent collision in Taiwan

Basin Analysis and 3D stratigraphic modeling

A dissertation submitted to

ETH Zurich

for the degree of

Doctor of Sciences

presented by

Stefan Nagel
Dipl. Natw. ETH,
ETH Zürich

30/03/1979

citizen of

Mosnang SG

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. S. D. WILLETT
Prof. Dr. S. CASTELLTORT
Prof. Dr. A. T. LIN
Prof. Dr. P. ALLEN

2012

Abstract

In the foreland basin of Taiwan, Neogene sedimentary rocks record the evolution of a doubly vergent orogenic wedge during oblique arc-continent collision between the Luzon volcanic arc and the Asian passive margin. The oblique collision is considered to propagate southward closing the South China Sea. The idea of southward propagation had a great impact on the innovation of two fundamental concepts in geology: steady state orogenic wedges as a mechanical model of mountain building, and foreland basin sequences reflecting the maturity of the adjacent orogen. However, beyond the initial geometrical models of oblique collision in Taiwan, only few studies have investigated the signature of this southward propagation in the sedimentary record of the western foreland, and its effect on the sediment flux and stratigraphic architecture in the basin.

Based on this study, the spatial and temporal evolution of the foreland basin can be divided into two main active phases. During the passive margin stage the distribution of facies is maintained from the Asian continental shelf with low subsidence and sedimentation rates. During the foreland basin stage the facies belts reveal a southward propagation, driven by large sediment fluxes from the Taiwan mountains coupled with oblique arc-continent collision. This causes an export of sediment longitudinally to deep water depocenters, and prevents the foredeep from becoming overfilled or even fully terrestrial with marine facies persisting throughout the foreland basin stage. The paleogeographic maps constructed in this study are snapshots that document a collision moving southwards through time. The southward migration of the collision is not only indicated in the sedimentary record, but also evidenced by a continuous southward shift of the flexural depocenter since 2 Ma (Early Pleistocene).

Provenance analysis accomplished in this study suggests that the growth of the orogenic wedge is directly recorded in the sediments by the fact that compositional trends evolve differently on the pro-side and retro-side of the orogen. Hence, different and in some cases opposite compositional trends should be expected in

pro-foreland and retro-foreland basin sequences. In Taiwan, the pro-side essentially receives sedimentary detritus from the fold-and-thrust belt of the Western Foothills, whereas metamorphic detritus has been overwhelmingly deposited along the retro-side of the orogen confirming predictions arising from asymmetrical orogenic wedge theories. Two major provenance signals characterize the sedimentary record of the Western foreland basin in Taiwan: (i) The first signal is recorded in Middle to Late Pliocene sandstones, showing an increase of sedimentary lithic fragments and simultaneous decrease of metamorphic grains. (ii) The second is an increasing influx of higher crystalline material (e.g. illite crystallinity) recorded since Late Pliocene.

Finally, mass flux calculations and stratigraphic simulations of sediment fluxes indicate a mismatch between sediment volume currently preserved in the basin and the amount of material eroded from the orogen since the onset of collision. This strongly supports the predictions that longitudinal sediment transport through the paleo-Taiwan Strait served as a bypass zone important for the establishment of a steady state orogen.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Vorlandbecken in Taiwan, wo Neogene Sedimentgesteine die Entwicklung eines doppelt-konvergenten Gebirgskeiles aufzeichnen. Diese Gebirgsbildung, ausgelöst durch die Kollision zwischen dem Luzon Vulkanbogen und dem kontinentalen Schelf der Eurasischen Platte, propagiert entlang der Nordost-Südwest ausgerichteten Schelfkante in Richtung Süden, wo sich der nördliche Teil des Südchinesischen Meeres zu schliessen beginnt. Die Idee der sich nach Süden ausbreitenden Kollision hatte einen grossen Einfluss auf die Entwicklung von zwei grundlegenden Konzepten in der Geologie: (1) der Gleichgewichtszustand eines Gebirgskeils, welcher als mechanisches Modell der Gebirgsbildung Verwendung findet, und (2) Vorlandbecken-Sequenzen, welche Aussagen betreffend der Reife des angrenzenden Gebirges zulassen. Bis heute haben sich jedoch nur wenige sedimentologische Studien mit der Bedeutung der sich nach Süden ausbreitenden Kollision im Sedimentarchiv, sowie deren Einfluss auf die Sedimentströme und die stratigraphische Architektur im Vorlandbecken befasst.

Basierend auf der vorliegenden Studie kann die räumliche und zeitliche Entwicklung des Sedimentbeckens in zwei Hauptphasen unterteilt werden. Die erste Phase wurde hauptsächlich kontrolliert durch Sedimentzufuhr vom asiatischen Kontinent, in welcher geringe Absenkungs- und Sedimentationsraten auf dem Schelf dominierten. In einer zweiten Phase, in welcher sich das Vorlandbecken bildete, weisen die Faziesgürtel eine südwärts gerichtete Verschiebung auf. Diese Migration wurde hauptsächlich ausgelöst durch enorme Sedimentströme vom sich aus dem Meer hebenden Paläo-Taiwan. Diese riesige Sedimentzufuhr wurde durch verstärkten longitudinalen Sedimenttransport Richtung Südchinesisches Meer aufgefangen. Dieser bewirkte, dass das Becken nie vollständig aufgefüllt werden konnte und bis heute flachmarine Bedingungen vorherrschen. Die im Rahmen dieser Studie entwickelten paläogeographischen Karten dokumentieren die nach Süden schreitende Kollision im Detail. Letztere wurde nicht nur durch die Sedimente im Becken selber aufgezeichnet, sondern ist auch durch das Ablagerungszentrum der Sedimente charakterisiert, welches sich seit dem frühen Pleistozän südwärts bewegt.

Die Analyse der Liefergebietsprovinzen in dieser Studie deutet darauf hin, dass die Entwicklung des Gebirgskeils auf der Pro- und Retro-Seite direkt in den Sedimenten aufgezeichnet wird, kompositionell jedoch völlig unterschiedlich. Daher muss in ähnlichen tektonischen Situationen, in denen Pro- und Retro Vorlandsequenzen vorliegen, mit unterschiedlichen, ja sogar mit völlig entgegengesetzten Tendenzen gerechnet werden. Das Vorlandbecken auf der West-Seite von Taiwan (Pro-Seite) hat überwiegend sedimentären Gesteinsschutt empfangen, welcher vom Falten- und Überschiebungsgürtel erodiert worden ist. Im Gegensatz dazu ist das Retro-Becken auf der Ostseite durch metamorphen Detritus charakterisiert. In petrographischer Hinsicht bestätigt die vorliegende Studie daher Vorhersagen, welche mit Theorien über asymmetrische Gebirgskeile gemacht worden sind.

Die Analyse der Liefergebietsprovinzen liefert zwei Hauptsignale, welche den sedimentären Eintrag charakterisieren. (1) Das erste Signal ist im mittleren bis späten Pliozän entstanden, und zeigt einen Anstieg der sedimentären Gesteinsbruchstücke bei gleichzeitiger Abnahme der metamorphen Gesteinstrümmer. (2) Das zweite Signal ist eine Zufuhr von metamorphem Material seit dem späten Pliozän, welches durch einen Anstieg in der Illit-Kristallinität gemessen wird.

Schlussendlich zeigen Masse- und Balance-Berechnungen, kombiniert mit stratigraphischen Computermodellen, dass dem Becken während der gesamten Gebirgsbildung bis heute mehr Material zugeführt worden ist, als wir dort heute vorfinden. Dies bekräftigt Theorien, dass axialer Sedimenttransport in der ursprünglichen Taiwan-Strasse enorm wichtig ist für die Erstellung und Beibehaltung eines Gleichgewichtszustandes.