

Improvement of the kinematic model of Switzerland (Swiss 4D II)

Doctoral Thesis

Author(s):

Villiger, Arturo

Publication date:

2014

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010163325>

Rights / license:

In Copyright - Non-Commercial Use Permitted

DISS. ETH NO. 21866

Improvement of the Kinematic Model of Switzerland (Swiss 4D II)

A dissertation submitted to
ETH ZURICH
for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
ARTURO VILLIGER
MSc. ETH
born October 18, 1980
citizen of Sins (AG)

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. A. Geiger, examiner
Prof. Dr. B. Heck, co-examiner
Prof. Dr. M. Rothacher, co-examiner

2014

Abstract

Switzerland is a region with relatively low seismicity compared to other lithospheric subduction zones. However, from historic earthquakes it is known that events with large magnitudes, above 6, have occurred. A major task was to extract the tectonic pattern of the velocity field based on Global Navigation Satellite Systems (GNSS) campaign type data (CHTRF 2010 solution) given the fact that the noise level and local influences are within the same order of magnitude as the deformation occurring.

The introduction of the adaptive least-squares collocation (ALSC) and its enhancement to determine the tectonically driven deformation field allowed to extract a reliable kinematic model for Switzerland. The final solution consists of the velocity field and its derivative, the strain rate field. Due to the relatively high density of measurement points, re-measured three or more times, the field could be retrieved from the data set. The horizontal velocities are mostly below 1 mm/yr and the uplift rates, determined from precise levelling, between 0 and 1.5 mm/yr. The deformation rates deduced amount to 25 nstrain/yr.

The thin plate model allowed to estimate also the vertical strain rate which was not possible to retrieve by the collocation technique alone. This is due to the lack of missing measurements within the crust since all levelling and GNSS measurements are performed on the surface.

The comparison of the strain rate field with seismological data showed a good accordance. The horizontal strain field confirms a compression of 15 nstrain/yr perpendicular to the Alpine chain. In the canton Valais seismic recordings observed extensional stress regimes. The collocation technique could reproduce the extension and retrieved a strain rate of 20 nstrain/yr. At the boundary of the study area uncertainties exist because of missing data outside Switzerland. This is a particular problem in the city of Basel, which lies at the southern end of the Upper Rheingraben. The 3-D strain rate tensor, using the thin plate model, has shown mostly similar fault plane solutions as the one obtained from earthquake analysis. The same is valid for the strain rate energy compared with the seismic energy released by earthquakes. The highest strain energy density is found in the eastern and western part of the Swiss Alps.

This project has been funded by swisstopo and the Geodesy and Geodynamics Lab, ETH Zurich. The work which was carried out for the project COGEAR was financed by the Competence Center Environment and Sustainability of the ETH Domain (CCES).

Zusammenfassung

Die seismische Gefährdung in der Schweiz ist verglichen mit aktiven Regionen wie Griechenland klein. Grössere Erdbeben können jedoch nicht ausgeschlossen werden. Die Regionen Wallis und Basel weisen eine erhöhte Erdbebengefährdung innerhalb der Schweiz auf. In der Vergangenheit konnten verschiedene Erdbeben in diesen Gebieten, mit einer Magnitude über sechs, gemessen oder aus historischen Aufzeichnungen rekonstruiert werden. Um die tektonischen Vorgänge, welche zu Spannungsaufbau und Erdbeben führen können, zu eruieren, wurden GNSS-Kampagnenmessungen von der swisstopo durchgeführt und ausgewertet. Die dabei zu detektierenden Deformationswerte liegen bei 25 nanostrain (25 mm pro 1000 km) und die tektonisch verursachten Verschiebungen weisen eine ähnliche Grössenordnung wie die lokalen Bewegungen (z.B. Hangrutschung) oder das Messrauschen auf. Daher ist es eine grosse Herausforderung, den tektonischen Anteil in der CHTRF-2010-Lösung, welche GPS-Kampagnen von 1988 bis 2010 beinhaltet, zu identifizieren.

Für die Bestimmung des tektonischen Bewegungsfeldes wurde die Adaptive Least-Square Collocation (ALSC) Methode erweitert, um anschliessend GPS- (Lage) und Nivellement-Daten (Hebung) gemeinsam auszuwerten. Das daraus resultierende tektonische Geschwindigkeitsfeld sowie dessen räumliche Ableitung, das Deformationsfeld, konnte aus dem dichten Messnetz trotz der lokalen Einflüsse und des Messrauschens extrahiert werden. Da die Messungen auf der Erdoberfläche stattfinden, können aus der Kollokation heraus keine sinnvollen Strain-Werte für die vertikale Achse bestimmt werden. Um dennoch einen 3-D-Tensor zu bestimmen braucht es Modelle welche das Verhalten des Untergrundes beschreiben. Das dafür verwendete Modell besteht aus der Annahme einer dünnen Platte (Kirchhoff), welche gebogen wird. Aus der Biegung sowie der Volumenänderung kann ein 3-D-Tensor berechnet werden.

Die erzielten Deformationsfelder haben eine gute Übereinstimmung mit Erkenntnissen aus der Seismologie. Entlang der Alpenfront wies das Deformationsfeld Kompression senkrecht zur Front aus. Die Kompressionsrichtungen weisen ebenfalls gute Übereinstimmung mit den p-Achsen aus seismologisch bestimmten Herdlösungen auf. Im Wallis zeigen sich jedoch gewisse Divergenzen zwischen den beiden Achsen. Die Extension nördlich der Rhone wird jedoch von beiden Messarten bestätigt.

Diese Projekt wurde von der swisstopo und dem Geodesy and Geodynamics Lab, ETH Zurich, finanziert. Die Arbeiten welche im Zusammenhang mit dem Projekt COGEAR durchgeführt wurden sind vom Competence Center Environment and Sustainability des ETH Bereichs (CCES) finanziert worden.