

Struktur des tieferen Untergrundes entlang der Schweizer Geotraverse

Autor(en): **Müller, St. / Egloff, R. / Ansorge, J.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **56 (1976)**

Heft 3

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-43715>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Struktur des tieferen Untergrundes entlang der Schweizer Geotranverse *)

Von *St. Müller, R. Egloff* und *J. Ansorge* (Zürich)**)

Abstract

New seismic refraction and reflection results indicate that the crustal structure along the Swiss geotranverse from Basel to Chiasso is made up of five segments:

1. The northernmost part of the geotranverse between the southern Rhinegraben and the southern limit of the Jura Mountains is characterized by the influence of a pronounced mantle upwarp in that region.
2. Under the Molasse Basin the thickness of the southward dipping crustal slab bounded by the top of the crystalline basement and the crust-mantle boundary is remarkably constant (~ 32 km).
3. Between the northern margin of the Alps and the southern border of the Aar Massif the crustal structure is rather complex. There are indications that the Aar Massif must be considered as a "flake" of the upper crust which has been sheared off at the level of a first zone of velocity inversion, and then has been bent upward.
4. The adjacent segment to the south comprising the Gotthard Massif and the Lepontine Alps is associated with the largest crustal thickness and the highest rate of recent uplift. There supposedly two crustal slabs – once overthrust – are still superimposed. Towards the south this segment is bounded by the "Insubric Line", which seems to be a deep-reaching fault zone cutting through the entire crust.
5. In the Southern Alps not much is known about the crustal structure. It is suggested that a flake-type structure prevails in that region, where the whole crust has been sheared off just above the crust-mantle boundary and then has been pushed upward, analogous to the structure of the Ivrea body.

The present-day stress field in the upper part of the crust along the geotranverse is characterized by a considerable horizontal pressure, which reaches its maximum where the measured crustal uplift is also greatest. Under these circumstances concave structures will be dominant as is actually observed.

*) Mitteilung Nr. 165 aus dem Institut für Geophysik der ETH Zürich.

***) Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich.

Auf Anregung und unter der Schirmherrschaft der Europäischen Seismologischen Kommission werden seit zwanzig Jahren refraktions- und reflexionsseismische Messungen in den Alpen ausgeführt (siehe zum Beispiel GIESE et al., 1973). In der Schweiz wurde erst 1972 damit begonnen, refraktionsseismische Profile zur Ermittlung der detaillierten Krustenstruktur zu vermessen. Seit kurzem liegen erste Ergebnisse für den südlichen Randbereich des Oberrheingrabens, für den Kettenjura sowie für den Zentralteil der Schweizer Alpen vor. Leider fehlen vorläufig noch genauere Daten für die Molasse des Mittellandes, die nördlichen Voralpen, das Aar-Massiv und insbesondere für die Südalpen.

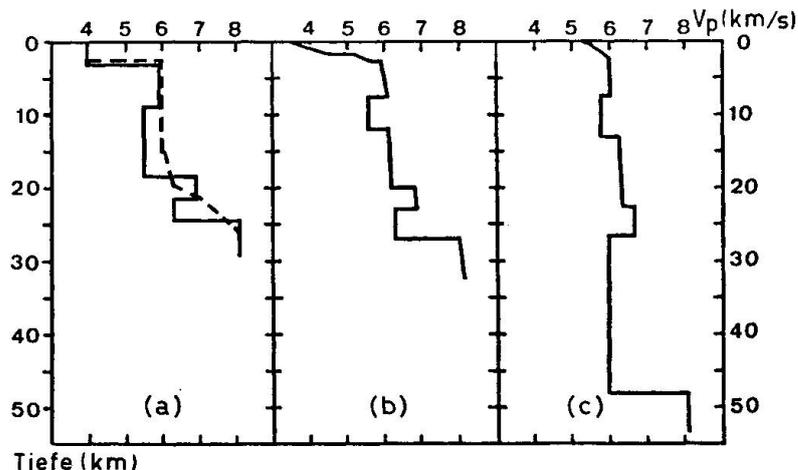


Fig. 1. Geschwindigkeitstiefen-Profile für Kompressions-(P)-Wellen in der Erdkruste.

- (a) Oberrheingraben { ——— MUELLER et al., 1969, 1973
 - - - EDEL et al., 1975
 (b) Kettenjura (EGLOFF und ANSORGE, 1976)
 (c) Zentralalpen/Penninikum (OTTINGER, 1976)

In Fig. 1 sind drei ausgewählte Geschwindigkeitstiefen-Funktionen für P- (Kompressions-) Wellen entlang der Schweizer Geotraverse gezeigt. Alle drei Geschwindigkeitstiefen-Profile zeigen qualitativ denselben Charakter, nämlich unter einem oberflächennahen Tiefenbereich mit zunehmender P-Geschwindigkeit (V_p) folgt das kristalline Grundgebirge mit Geschwindigkeiten um 6 km/s. Es ist abgesetzt von der mittleren Kruste durch eine Zone deutlich erniedrigter Geschwindigkeit (Abnahme 3 bis 10%). Darunter folgt ein Tiefenbereich mit Geschwindigkeiten von etwa 6–7 km/s, der von einer relativ wenig mächtigen Zone höherer Geschwindigkeit (~ 7 km/s) unterbrochen wird. Gegenüber den klassischen Krustenmodellen ergibt sich so ein zweiter «low-velocity channel» oberhalb der Krusten-Mantel-Grenze, der sogenannten «Mohorovičić»-(M)-Diskontinuität. Dieser für die kontinentale Erdkruste offenbar typische Geschwindigkeitstiefen-Verlauf ist kürzlich von MUELLER (1977) ausführlich beschrieben und diskutiert worden.

Ein Vergleich der drei Geschwindigkeitstiefen-Funktionen in Fig. 1 zeigt eine systematische Zunahme der Krustenmächtigkeit von 25 auf fast 50 km bei Annäherung an den zentralen Teil der Alpen. Wie KAHLE et al. (1976 a + b) festgestellt haben, ist der Verlauf der Krusten-Mantel-Grenze asymmetrisch bezüglich der Alpenachse, wobei die grösste Tiefe mit 58 km unter dem Lepontin erreicht wird. Eine starke Zunahme der Lithosphären-Mächtigkeit von Nordwest nach Südost wurde für dieses Gebiet von SPRECHER (1976) aus Dispersionsmessungen an Rayleigh-Wellen ermittelt. Markante Unterschiede ergeben sich beim Übergang von der für den Oberrheingraben ermittelten Feinstruktur eines kontinentalen Riftsystems (MUELLER et al., 1969, 1973), deren Details in der Arbeit von EDEL et al. (1975) nicht wiedergegeben wurden, zur detaillierten Krustenstruktur unter dem Kettenjura (EGLOFF und ANSORGE, 1976). Über eine relativ kurze Distanz beobachtet man eine Zunahme der Krustenmächtigkeit und eine ausgeprägte Abnahme der Mächtigkeit der ersten Zone erniedrigter Geschwindigkeit in der oberen und mittleren Kruste. Nimmt man die Zone höherer Geschwindigkeit (~ 7 km/s) im unteren Krustenbereich als «Leithorizont», dann würde man unter dem zentralen Teil der Schweizer Alpen eine Krustenmächtigkeit von wenig mehr als 30 km erwarten. Tatsächlich aber wird die M-Diskontinuität dort in einer Tiefe von 48 km beobachtet (OTTINGER, 1976). Dies deutet auf erhebliche Komplikationen im Krustenbau unter diesem Segment der Geotraverse hin. Mit Hilfe der refraktionsseismischen Messungen konnten dort bisher keine Feinstrukturen in der unteren Kruste aufgelöst werden (siehe Fig. 1 c, Tiefenbereich 27–48 km). Dagegen gibt es aus reflexionsseismischen Untersuchungen (WEHEBRINK, 1968) Anhaltspunkte für eine Gliederung auch in diesem Tiefenbereich.

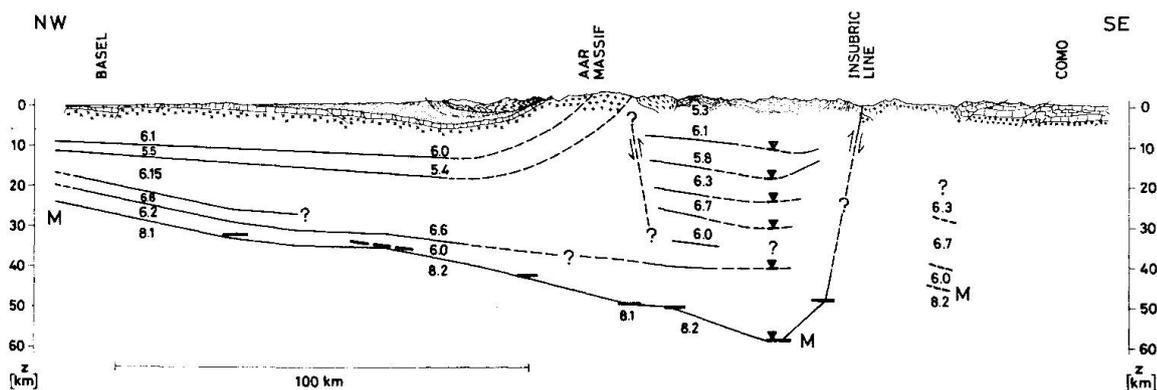


Fig. 2. Postulierter Krustenschnitt entlang der Schweizer Geotraverse unter Berücksichtigung geologischer und geophysikalischer Daten. Geologie nach TRÜMPY (1975).

- z = Tiefe in km;
- M = Krusten-Mantel-Grenze;
- = M-Tiefen nach KAHLE et al. (1976 a + b);
- ▼ = Tiefenreflexionen nach WEHEBRINK (1968).

In Fig. 2 ist der Versuch unternommen worden, einen synoptischen Krustenschnitt zu konstruieren, in dem alle bis jetzt vorliegenden sprengseismischen Daten für die Schweizer Geotraverse verwendet worden sind. Obwohl dieses Bild vorläufigen Charakter hat, können daraus einige wesentliche Merkmale des Krustenaufbaus entnommen werden. Von Nordwesten nach Südosten fortschreitend erkennt man in Fig. 2 ein klares Einfallen des gesamten Krustenpakets vom Südrand des Oberrheingrabens zum Nordrand der Schweizer Alpen hin. Die Hochlage der Krusten-Mantel-Grenze (M) am nördlichen Ende der Geotraverse rührt von der anomalen Struktur des oberen Erdmantels unter dem Riftsystem des Rheingrabens her. Etwa vom Südfuss des Kettenjuras an beträgt die Mächtigkeit der ungestörten Kruste rund 34 km. Es ist bemerkenswert, dass die M-Diskontinuität zwischen Olten und Luzern parallel zur Grenze zwischen Mesozoikum und kristallinem Grundgebirge verläuft. Unter den Voralpen wird offenbar das nördliche Krustenpaket von einem «südlichen Keil» aufgespalten, was vermutlich dazu geführt hat, dass das Aar-Massiv wie ein Span oder «Flake» (LAUBSCHER, 1970; OXBURGH, 1972) unterhalb der Zone erniedrigter Geschwindigkeit im Bereich der mittleren Kruste abgehoben und nach oben gebogen wurde. Auch wenn diese Vorstellung durch die geologischen Oberflächenbefunde am Nord- und Südrand des Aar-Massivs gestützt wird, bedarf sie doch einer gründlichen experimentellen Überprüfung. Relativ detaillierte Geschwindigkeitstiefen-Profile liegen für den Untergrund des Gotthard-Massivs und das sich südlich anschliessende Penninikum vor (OTTINGER, 1976). Der Krustenaufbau ähnelt – zumindest in seinem oberen Teil – stark dem eingangs (siehe Fig. 1) beschriebenen Krustentyp. Nach den Ergebnissen von OTTINGER (1976) weist der untere Teil der Erdkruste eine geringere Durchschnittsgeschwindigkeit auf, als man aufgrund von Geschwindigkeits-Dichte-Relationen aus der Interpretation der Bouguer-Schwereanomalien annehmen müsste (KAHLE et al., 1976 a + b). Diese Zone ausgeprägter Geschwindigkeitsinversion, die mit dem Bereich der grössten Krustenmächtigkeit – der sogenannten «Alpenwurzel» – zusammenfällt, ist offenbar erstaunlich gering strukturiert. Tiefenreflexionsergebnisse (WEHEBRINK, 1968) deuten dort vage eine gewisse Schichtung der unteren Kruste an. Das abrupte Ansteigen der M-Diskontinuität unter dem südlichen Lepontin legt nahe, dass hier eine direkte Verbindung zu dem Störungssystem der «Insubrischen Linie» an der Oberfläche besteht. Die Vermutung von GANSSER (1968) und LAUBSCHER (1970), dass es sich bei dieser Störung um ein tiefreichendes Strukturelement, ähnlich den vorwiegend in der Sowjetunion (siehe zum Beispiel SOLLOGUB et al., 1973) gefundenen, die gesamte Kruste durchschneidenden Tiefenbrüchen handelt, scheint sich damit zu bestätigen. Bedauerlicherweise gibt es im Südalpen-Teil der Geotraverse bis heute keine seismischen Untersuchungen, die genauen Aufschluss über die Krustenstruktur geben würden. Die angedeutete Geschwindigkeitsabfolge

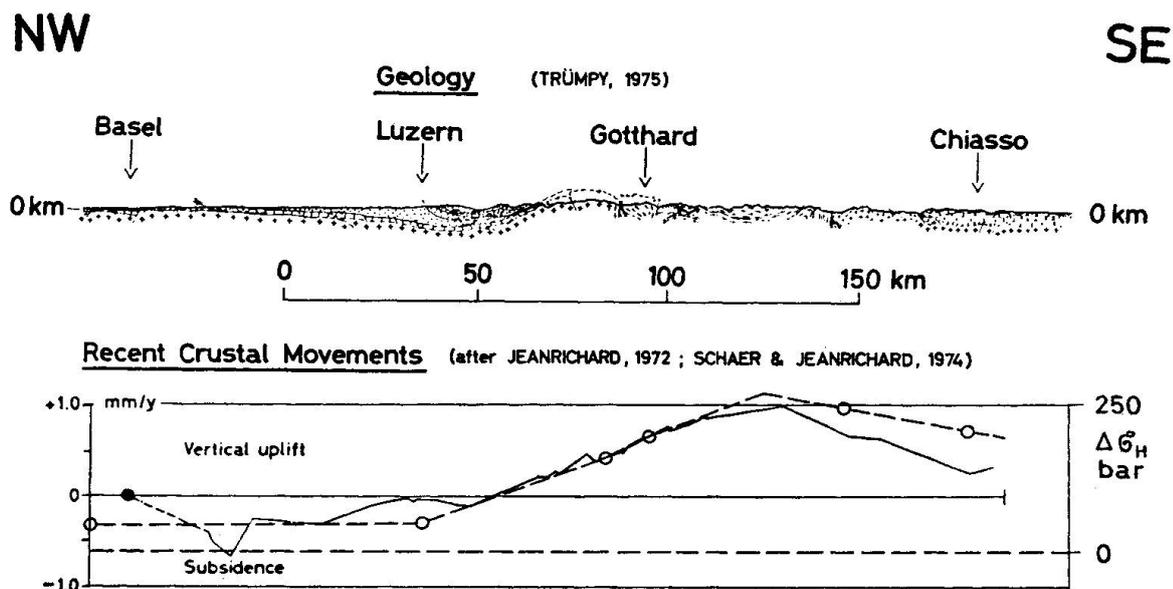


Fig. 3. Geologie (nach TRÜMPY, 1975), vertikale Krustenbewegungen (ausgezogene Kurve [mm/y], nach JEANRICHARD, 1972; SCHAER und JEANRICHARD, 1974) und horizontale Druckspannungen (gestrichelte Kurve $\Delta\sigma_H$ [bar], nach ILLIES und GREINER, 1976).

mit einer Tiefe von rund 45 km für die Krusten-Mantel-Grenze gehört zu einem Refraktionsprofil, das vom Lago Bianco (Tessin) aus in südöstlicher Richtung nach Verona verläuft und die verschiedenartigsten Strukturen unter schrägem Winkel schneidet. Es sollte deshalb nicht als repräsentativ angesehen werden. Ob für das Südalpen-Segment der Schweizer Geotraverse eine kompliziertere Krustenstruktur angenommen werden muss, so wie sie für den westlich benachbarten Ivrea-Körper gefunden (German Research Group for Explosion Seismology, 1968) und für den östlichen Teil der Südalpen postuliert wurde (MUELLER und TALWANI, 1971), ist vorläufig noch offen. Die Existenz einer «Flake»-Struktur, die von der Oberfläche bis in das Niveau der Krusten-Mantel-Grenze reicht, liegt durchaus im Bereich des Möglichen.

Zum Schluss soll auf einen Zusammenhang zwischen den beobachteten rezenten Vertikalbewegungen der Erdkruste, den isostatischen Schwereanomalien und dem gemessenen Überschuss an horizontalen Druckspannungen entlang der Geotraverse hingewiesen werden (Fig. 3). Bei der ersten Zusammenstellung aller verfügbaren geologischen, geodätischen und geophysikalischen Daten (RYBACH et al., 1977) war bereits versucht worden, mögliche Korrelationen zwischen den verschiedenen Beobachtungen aufzuzeigen. KAHLE et al. (1976 a + b) haben insbesondere die räumliche Koinzidenz zwischen den beobachteten negativen isostatischen Anomalien und den rezenten Krustenhebungen (JEANRICHARD, 1972; SCHAER und JEANRICHARD, 1974) entlang der Schweizer Geotraverse diskutiert. Zahlreiche «in-situ»-Spannungsmessungen, die von ILLIES und GREINER (1976) kürzlich publiziert wur-

den, erlauben es, einen Vergleich zwischen den beobachteten Hebungsbewegungen und den gemessenen Spannungen in der Erdkruste zu ziehen. Als wesentliches Ergebnis zeigt sich, dass die Vertikalspannungen dem erwarteten Überlagerungsdruck entsprechen, dass aber die Horizontalspannungen – selbst wenn sie um den Auflasteffekt korrigiert werden – ganz beträchtliche Beträge erreichen. Es handelt sich dabei durchweg um horizontale Druckspannungen, die im Mittel in die Richtung N 160° E weisen. Aus den Daten in Fig. 3 kann man abschätzen, dass der Überschuss an horizontaler Druckspannung ($\Delta \sigma_H$) im Bereich des Lepontins Werte bis 270 bar erreichen kann. Man wird deshalb erwarten dürfen, dass unter dieser Beanspruchung hauptsächlich konkave oder girlandenförmige Strukturen in der Kruste, so wie sie in Fig. 2 erkennbar sind, dominieren werden. Offen bleibt vorläufig die Frage, wie dieser Befund mit dem Hebungsmaximum in Einklang gebracht werden kann.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Krustenstruktur entlang der Schweizer Geotraverse offenbar in fünf Segmente eingeteilt werden kann:

1. Vom Südenende des Oberrheingrabens bis zum Jura-Südfuss wirkt sich bis in den mittleren Krustenbereich deutlich eine Aufwölbung des obersten Mantels unter dem Rheingraben aus.
2. Daran schliesst sich bis zum nördlichen Alpenrand ein nach Süden einfallendes Krustenpaket an, dessen Mächtigkeit zwischen der Grundgebirgsoberfläche und der Krusten-Mantel-Grenze praktisch konstant (~ 32 km) ist und demnach nur in geringem Masse tektonisch beansprucht wurde.
3. Der Abschnitt vom nördlichen Alpenrand bis zum Südrand des Aar-Massivs ist relativ kompliziert. Es gibt Anzeichen dafür, dass das Aar-Massiv wie ein Span («Upper Crustal Flake») im Tiefenbereich einer ersten Zone erniedrigter Geschwindigkeit von der darunterliegenden Kruste abgeschert und nach oben gebogen worden ist.
4. Das anschliessende Segment, welches das Gotthard-Massiv und das Lepontin umfasst, weist die grösste Krustenmächtigkeit und die höchste rezente Hebungsrate auf. Dort liegen vermutlich die Überreste von zwei überschobenen Krustenblöcken heute noch übereinander. Nach Süden wird dieses Segment durch die «Insubrische Linie» begrenzt, die eine bis in den obersten Mantel hinunterreichende Störungszone zu sein scheint.
5. Im Südalpen-Teil der Geotraverse fehlen bisher seismische Untersuchungen, die genauen Aufschluss über die Krustenstruktur geben würden. Nahe liegend ist dort eine «Flake»-Struktur, bei der das gesamte Krustenpaket im Bereich der Krusten-Mantel-Grenze abgehoben und – ähnlich wie bei der «Vogelkopf»-Struktur des Ivrea-Körpers – nach oben gebogen ist.

Das gegenwärtige Spannungsfeld in der obersten Kruste entlang der Geotraverse zeichnet sich durch beträchtliche horizontale Druckspannungen aus, die im Bereich des Lepontins an der Stelle der grössten gemessenen Krustenhebung ein Maximum erreichen. Unter dieser Beanspruchung werden konkave («Girlanden») Strukturen dominieren, so wie sie auch beobachtet werden.

Literaturverzeichnis

SMPM = Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen
PAGEOPH = Pure and Applied Geophysics

- EDEL, J. B., FUCHS, K., GELBKE, C. and PRODEHL, C. (1975): Deep Structure of the Southern Rhinegraben Area from Seismic Refraction Investigations. *J. Geophys.* **41**, 333–356.
- EGLOFF, R. und ANSORGE, J. (1976): Krustenstruktur unter dem Faltenjura (Zusammenfassung). Programm der 36. Tagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, Bochum.
- GANSSER, A. (1968): The Insubric Line, a Major Geotectonic Problem. *SMPM* **48**, 123–143.
- German Research Group for Explosion Seismology (1968), vorgelegt durch H. BERCKHEMER: Topographie des «Ivrea-Körpers», abgeleitet aus seismischen und gravimetrischen Daten. *SMPM* **48**, 235–246.
- GIESE, P., MORELLI, C. and STEINMETZ, L. (1973): Main Features of Crustal Structure in Western and Southern Europe Based on Data of Explosion Seismology. *Tectonophysics* **20**, 367–379.
- ILLIES, H. und GREINER, G. (1976): Regionales Stress-Feld und Neotektonik in Mitteleuropa. *Oberrhein. Geol. Abh.* **25**, 1–40.
- JEANRICHARD, F. (1972): Contribution à l'étude du mouvement vertical des Alpes. *Boll. Geodesia e Sci. Aff.* **31**, 17–40.
- KAHLE, H.-G., KLINGELÉ, E., MUELLER, ST. and EGLOFF, R. (1976a): The Variation of Crustal Thickness Across the Swiss Alps Based on Gravity and Explosion Seismic Data. *PAGEOPH* **114**, 479–494.
- KAHLE, H.-G., KLINGELÉ, E., MUELLER, ST. und EGLOFF, R. (1976b): Gravimetrie, Sprengseismik und Krustenmächtigkeit entlang der Schweizer Geotraverse. *SMPM* (in diesem Heft).
- LAUBSCHER, H.-P. (1970): Bewegung und Wärme in der alpinen Orogenese. *SMPM* **50**, 565–596.
- MUELLER, ST., PETERSCHMITT, E., FUCHS, K. and ANSORGE, J. (1969): Crustal Structure Beneath the Rhinegraben from Seismic Refraction and Reflection Measurements. *Tectonophysics* **8**, 529–542.
- MUELLER, ST. and TALWANI, M. (1971): A Crustal Section Across the Eastern Alps Based on Gravity and Seismic Refraction Data. *PAGEOPH* **85**, 226–239.
- MUELLER, ST., PETERSCHMITT, E., FUCHS, K., EMTER, D. and ANSORGE, J. (1973): Crustal Structure of the Rhinegraben Area. *Tectonophysics* **20**, 381–391.
- MUELLER, ST. (1977): A New Model of the Continental Crust. *Amer. Geophys. Union Monograph No. 20* (in press).
- OTTINGER, T. (1976): Der Aufbau der Erdkruste unter dem schweizerischen Teil des refraktionsseismischen Alpenlängsprofils. Diplomarbeit ETH Zürich, 166 S.
- OXBURGH, E. R. (1972): Flake Tectonics and Continental Collision. *Nature* **239**, 202–204.

- RYBACH, L., WERNER, D., MUELLER, St. and BERSET, G. (1977): Heat Flow, Heat Production and Crustal Dynamics in the Central Alps, Switzerland. *Tectonophysics* (in press).
- SCHAER, J.-P. et JEANRICHARD, F. (1974): Mouvements verticaux anciens et actuels dans les Alpes Suisses. *Eclogae geol. Helv.* 67, 101–119.
- SOLLOGUB, V. B., PROSEN, D. and Co-Workers (1973): Crustal Structure of Central and Southeastern Europe by Data of Explosion Seismology. *Tectonophysics* 20, 1–33.
- SPRECHER, C. (1976): Die Struktur des oberen Erdmantels in Zentraleuropa aus Dispersionsmessungen an Rayleigh-Wellen. Diss. ETH Zürich Nr. 5864, 156 S.
- TRUEMPY, R. (1975): Geologisches Profil der Schweizer Geotraverse 1 : 100 000 (unveröffentlicht).
- WEHEBRINK, F. (1968): Auswertung der reflexionsseismischen Messungen Lago Bianco 1964. Diplomarbeit Universität Hamburg, 48 S.