

Mitt. österr. geol. Ges.	73 1980	S. 15—38 7 Abb.	Wien, Dezember 1980
--------------------------	------------	--------------------	---------------------

Geophysikalische Arbeiten im Rahmen des Internationalen Geodynamischen Projektes in Österreich 1972—1978

Von R. GUTDEUTSCH *

Mit 7 Abbildungen

Zusammenfassung

Die Arbeiten des Österreichischen Nationalkomitees des IGP lassen sich in zwei Schwerpunkte einteilen. Der erste Schwerpunkt betrifft die rezente tektonische Aktivität im Bereich der Alpen, wobei hier die Erdbebenforschung und in situ Spannungsmessungen genannt seien. Die zweite Untersuchungsrichtung betrifft die heutige Struktur und physikalische Eigenschaften der Kruste im Alpenraum. Seismische, geothermische, gravimetrische und magnetische Untersuchungsmethoden kamen hier zum Einsatz. Zusammen mit den Ergebnissen geologischer Forschung führen die beiden Untersuchungsrichtungen zu einer verbesserten Einsicht in die Geschichte der Ostalpen.

Im Rahmen des IGP konnte das Netz der Seismographenstationen in den Ostalpen weiter ausgebaut werden. Geophysikalische und geodätische Institute in Österreich konnten mit modernen Geräten für gravimetrische, magnetische und seismische Untersuchungen ausgerüstet werden. Damit war die Basis für einen modernen Standard der geodynamischen Untersuchungen geschaffen und österreichische Wissenschaftler konnten an internationalen Projekten wie dem Alpenlängsprofil und anderen mitarbeiten.

Abstract

There are two geophysical activities of the Austrian National Committee of the IGP. First of them directly concerns the recent tectonic activity in the Alpine area. Earthquake studies and in situ stress and strain measurements are involved. The second part of the investigations concerns the present structure and physical properties of the Alps. Methods of field seismic, geothermic, gravity and magnetic measurements are used here. Both activities together with results of geological investigations will give a adequate and reasonable model of the history of the Alps.

The National Committee of the IGP has supported the construction of the east alpine seismograph station network. It has supplied Austrian geophysical and geodetical institutes with modern magnetic, gravimetric and fieldseismic instruments. Therefore it has provided the basis of geodynamic research on a modern

* Adresse des Verfassers: Prof. Dr. Rudolf GUTDEUTSCH,
Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien,
Währingerstraße 17, A-1090 Wien.

standard and Austrian scientists were enabled to contribute to international geophysical projects as the Alpine Longitudinal Profile and others.

Inhalt

1. Ziele der geophysikalischen Arbeiten im IGP und beteiligte Arbeitsgruppen	16
2. Das gegenwärtige tektonische Spannungs- und Deformationsfeld	17
2.1. Großräumige Spannungsfelder und ihre Folgen	17
2.1.1. Die Erdbebenforschung	17
2.1.2. Hebungsraten und ihre geophysikalische Deutung	20
2.1.3. Gezeiten der festen Erde	21
2.2. Kleinräumige Spannungsfelder und Dynamik der Landschaftsformen	21
2.2.1. Spannungs- und Kluftmessungen	21
2.2.2. Bewegungen an Störungen und als Folge der Geländegestalt	23
3. Tektonische Verschiebungen in der geologischen Vergangenheit	24
3.1. Die Bedeutung des Gesteinsmagnetismus	24
3.2. Paläomagnetismus	25
4. Die physikalischen Eigenschaften der Lithosphäre	25
4.1. Geophysikalische Detailarbeiten und Gesteinsphysik	26
4.1.1. Geophysikalische Erforschung von Einzelstrukturen	26
4.1.2. Geophysikalische Erforschung von Störungslinien	26
4.1.3. Gravimetrische Detailfragen	27
4.1.4. Voruntersuchungen zur Bestimmung der terrestrischen Wärmestromdichte	28
4.1.5. Magnetotellurische Messungen	28
4.1.6. Gesteinsphysik	28
4.2.1. Teilnahme Österreichs an internationalen Großprojekten	29
4.2.2. Erforschung der Lithosphäre durch internationale Großprojekte	30
4.3. Geotraversen	32
4.4. Schwere- und Magnetfeld im Ostalpenraum	34
5. Zusammenfassung	35
6. Literatur	35

1. Ziele der geophysikalischen Arbeiten im IGP und beteiligte Arbeitsgruppen

Die geophysikalischen Arbeiten des österreichischen Nationalkomitees des Internationalen Geodynamischen Projektes (IGP) lassen sich in zwei Schwerpunkte einteilen. Von diesen betrifft der erste die Bewegungsvorgänge tektonischer Art unmittelbar. Der zweite hat die Beschreibung der heutigen Gestalt und der physikalischen Struktur der Lithosphäre im Alpenraum zum Gegenstand. Beide Schwerpunkte ergänzen sich insofern als erst die Synthese beider zusammen mit Ergebnissen der Geologie zu einem physikalisch begründeten Modell der Gebirgsbildung führen kann.

An den Arbeiten des ersten Schwerpunktes sind 7 Institute mit unterschiedlichen Methoden beteiligt.

Während die ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (ZA) und das INSTITUT FÜR METEOROLOGIE UND GEOPHYSIK der Universität Wien (IMG) rezente tektonische Bewegungsformen an Erdbeben studieren, führt das INSTITUT FÜR GEOPHYSIK der Technischen Universität Wien (IG) direkte Spannungsmessungen und vergleichbare Untersuchungen an Gesteinen aus. Beiträge zur Beobachtung rezenter tektonischer Aktivität liefern auch geodätische Wiederholungsmessungen an einem festen Stationsnetz, wie sie das INSTITUT FÜR LANDESVERMESSUNG der Technischen Universität Wien (ILV) und das BUNDESAMT FÜR EICH- UND VERMESSUNGSWESEN (BAEV) durchführt. Solche Untersuchungen verlangen einen Beobachtungszeitraum von vielen Jahren, ehe sie zu deutbaren Resultaten führen. Das IGP hat aber die Voraussetzungen für solche Messungen gelegt und einige wichtige Wiederholungsmessungen ermöglicht. Diesen Arbeiten stehen jene gegenüber, die indirekt über die Gezeitenbewegungen der festen Erde Rückschlüsse auf ihre elastischen und dynamischen Parameter zulassen. Auch diese Arbeiten benötigen große Beobachtungszeiträume. Deswegen kann an dieser Stelle noch nicht über Ergebnisse berichtet werden. Im Rahmen des IGP nehmen das INSTITUT FÜR LANDESVERMESSUNG UND PHOTOGRAMMETRIE Graz (ILP) und das IMG diese Arbeiten wahr.

Ein weiteres wichtiges Teilgebiet, das vor allem die Erforschung großräumiger Bewegungen in der geologischen Vergangenheit zum Ziele hat, ist der Gesteinsmagnetismus. Die speziellen magnetischen Eigenschaften alpiner Gesteine können in vielen Fällen für paläomagnetische Aussagen ausgenutzt werden. Dieses wichtige Arbeitsgebiet wird von dem INSTITUT FÜR GEOPHYSIK der Montanuniversität Leoben MIG und vom IMG betrieben.

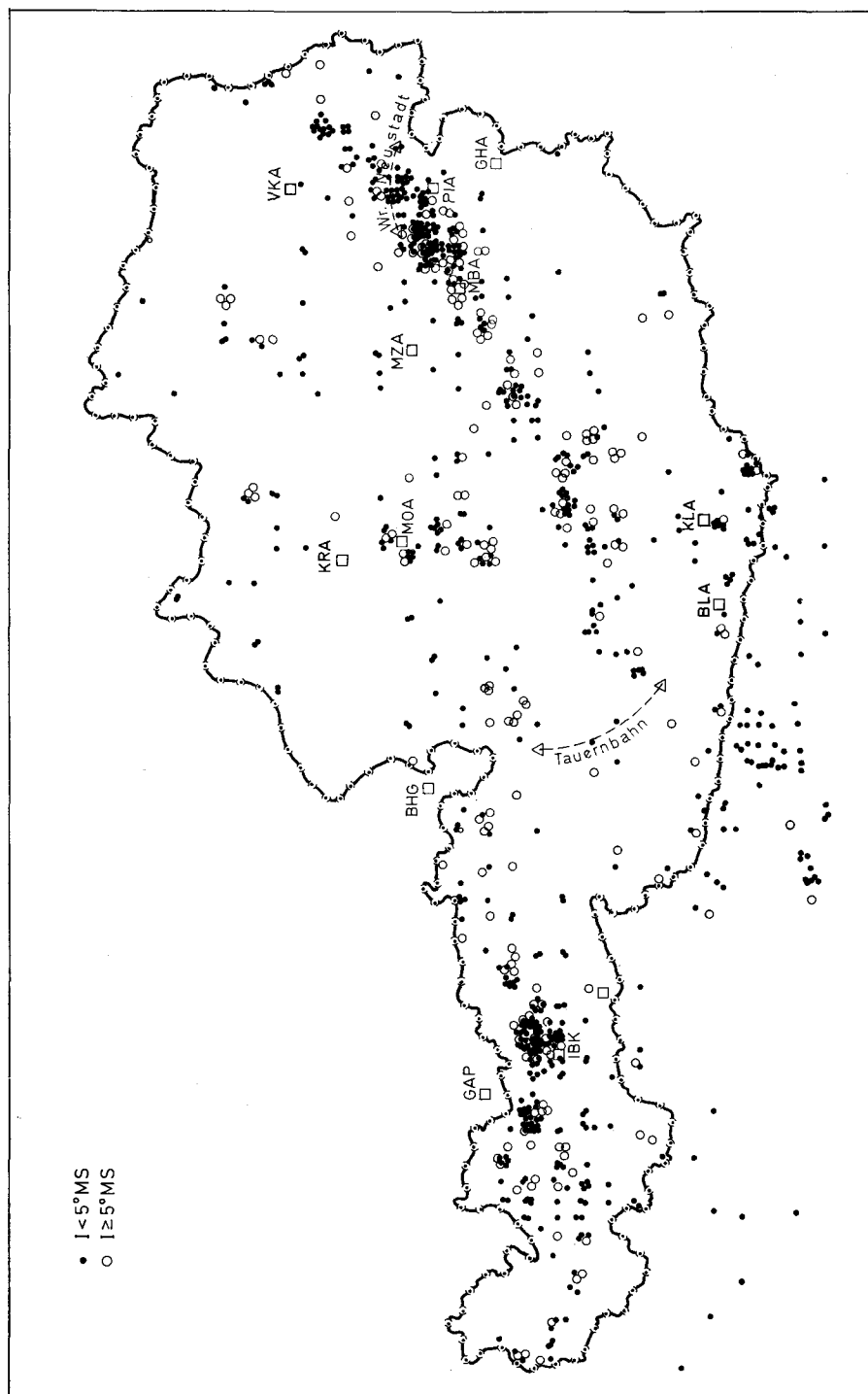
Der zweite Schwerpunkt, der die physikalischen Parameter des heutigen Zustandes der Erdkruste betrifft, wird mit den spezifisch geophysikalischen Methoden Sprengseismik, Gravimetrie, Geomagnetismus, Magnetotellurik, Geoelektrik und Geothermik betrieben. Das Ziel besteht, daraus die Verteilung der elastischen Parameter, der Dichte, der magnetischen Suszeptibilität, der elektrischen Leitfähigkeit und der Wärmequellen im Ostalpenraum kennenzulernen. Das MIG, IG und das IMG beteiligen sich an diesen Arbeiten.

2. Das gegenwärtige tektonische Spannungs- und Deformationsfeld im Alpenraum

2.1. Großräumige Spannungsfelder und ihre Folgen

2.1.1. Die Erdbebenforschung

Die wichtigsten Folgen tektonischer Aktivität sind die Erdbeben. Wenn Österreich auch ein Land mit nur geringer seismischer Aktivität ist, so kommen doch kleinere Beben so häufig vor, daß man sie für tektonische Untersuchungen sinnvoll verwerten kann. Im Rahmen des IGP betreiben ZA und IMG gemeinsam als Forschungsschwerpunkt das Studium der Erdbeben im Alpenraum. Seit 1973 wurden in den Ostalpen von beiden Instituten 7 neue Erdbebenstationen eingerichtet, die mit den 3 vorher vorhandenen ein leistungsfähiges Beobachtungsnetz darstellen. Die Stationen wurden in den Orten Wien-Kobenzl, Pitten, Mariazell,



Glashütten, Kremsmünster aufgestellt. Nach dem Erdbeben in Friaul 1976 wurde dieses Netz um die Stationen Klagenfurt und Bleiberg erweitert. Die Stationen registrieren Großbeben aus aller Welt, können aber darüber hinaus in einem Umkreis von 120 km die Mikroerdbebenaktivität mit Magnituden bis $M = 2$ (nach RICHTER) aufnehmen. Abbildung 1 zeigt das Stationsnetz sowie die Epizentren der Beben 1903–1973.

Ein so dichtes Stationsnetz ermöglicht eine viel genauere Bestimmung der Epizentren, Herdtiefen und Herdflächen der ostalpinen Beben als es früher möglich war. Das zeigten bereits erste Auswertungen von 7 österreichischen Beben seit 1973 mit Hilfe einer speziell dafür entwickelten Auswertungsmethode, die neben den Herdkoordinaten auch die Wellengeschwindigkeiten der P_g - und P_n -Wellen sowie die Tiefe der M-Diskontinuität bestimmt (K. ARIC und R. GUTDEUTSCH 1974, R. GUTDEUTSCH und K. ARIC 1977). Es wurden weitere Ergebnisse bearbeitet, wobei sich das interessante Ergebnis abzeichnete, daß die Beben am Alpennord- und Alpenostrand in der Oberkruste (5–18 km) und die in den Hohen und Niederen Tauern in der Unterkruste (25–41 km) vorkommen (J. DRIMMEL und E. TRAPP, 1975). Die Epizentren liegen oft in Tälern, korrelieren aber nur bedingt mit sichtbaren geologischen Störungszonen; in Kreuzungszonen großer Störungen jedoch kommt es aber oft zu Häufungen. Der Semmering und die Hohen Tauern sind Bebengebiete ohne sichtbare Verbindung mit geologischen Störungen (R. GUTDEUTSCH und K. ARIC 1976). Die Herdlösungen der Beben beweisen, daß das Wiener Becken ein EW-gerichtetes Zerrungsgebiet – möglicherweise im Zusammenhang mit dem absinkenden Pannonischen Becken – darstellt, welches sich bis in den Raum des Semmering fortsetzt (R. GUTDEUTSCH und K. ARIC 1978). Die Friauler Bebenkatastrophe am 6. Mai 1976 und die unerwartet lang anhaltende Nachbebenaktivität lieferte neues reichliches Datenmaterial. Diese Daten wurden für alle Forschungsgebiete, die sich direkt oder indirekt mit der Frage der Erdbebensicherheit befassen, also auch für die des IGP hochaktuell und bedeutungsvoll. In diesem Zusammenhang muß man sich vergegenwärtigen, daß die Erdbebenforschung weitgehend empirisch arbeitet und Aussagen nur mit einer beschränkten, statistisch bestimmten Sicherheit machen kann.

Die statistische Sicherheit seismologischer Schlüsse ist in Österreich durch die Tatsache festgelegt, daß normalerweise nur 10–15 Erdbeben des Alpengebietes jährlich durch das o. g. Stationsnetz aufgezeichnet werden. Die Friauler Bebenserie dagegen lieferte bis heute über 2000 auswertbare Einzelergebnisse mit unterschiedlichen Magnituden! Zusammen mit älteren Daten gelang es nunmehr, eine statistisch sehr gut gesicherte Beziehung zwischen den Magnituden, Maximalintensitäten und den Herdtiefen aufzustellen (K. ARIC, G. DUMA und R. GUTDEUTSCH, 1976). Auch der Frequenzinhalt der Friaul-Nachbeben gibt Aufschluß über Magnituden und Herdausdehnung (G. DUMA, 1977). Laufzeitdiffe-

Abb. 1: Erdbeben in Österreich 1903–1975, entnommen aus den Jahresberichten der ZA bis 1975 und R. GUTDEUTSCH et al. (1976).

- Erdbebenstationen: VKA = Wien Kobenzl, PIA = Pitten, MZA = Mariazell, KRA = Kremsmünster, MOA = Molln, IBK = Innsbruck, BLA = Bleiberg, KLA = Klagenfurt, GAP = Garmisch-Partenkirchen, BHG = Bad Reichenhall.

renzen zwischen den am Herd abgestrahlten P- und S-Wellen geben ein klares Bild des vom Hauptstoß zerscherten Gebirgsvolumens, welches beim Hauptbeben in EW-Richtung etwa 30 km ausgedehnt war (G. DUMA, 1978). Die Friauler Haupt- und Nachbeben ermöglichten aber noch einen weiteren, besonders für den Kärntner Bergbau wichtigen Beweis. Entgegen vielfach geäußerter Vermutungen gibt es keinen Zusammenhang zwischen den Bergschlägen im Bleiburger Bergbau einerseits und den Erdbeben, insbesondere den Friauler Beben andererseits (K. ARIC, 1977). Der logarithmische Zusammenhang zwischen der Bebenhäufigkeit und der seit dem Hauptbeben verflossenen Zeit gibt den Spannungsauf- und Abbau im Gebirge wieder (K. ARIC, G. DUMA und R. GUTDEUTSCH, 1976). Die Friauler Beben haben darüber hinaus zu einer genaueren Kenntnis des Krustenaufbaus der Südalpen geführt (K. ARIC und R. GUTDEUTSCH, 1976). Schließlich sei auch der Fortschritt der makroseismischen Arbeitsmethoden aufgrund der großen Datenmenge des Friauler Hauptbebens erwähnt. Nach Verarbeiten aus älteren Daten über den Zusammenhang zwischen Herdtiefe und Isoseisten (A. FRANKE und R. GUTDEUTSCH 1974, 1975) fand das makroseismische Datenmaterial des Friauler Hauptbebens eine umfassende Bearbeitung und kartenmäßige Darstellung des Isoseistenplanes durch eine internationale Arbeitsgruppe der auch die ZA angehört (K. KARNIK et al, 1977). Die „relative Intensität“, definiert als eine vom Ort und der Entfernung des Bebens unabhängige Größe, gibt die relative Erschütterbarkeit eines Gebietes an, die von den Untergrundverhältnissen abhängt. Die von R. GUTDEUTSCH (1978) vorgelegte Kartendarstellung der relativen Intensität in Österreich ist für Fragen der Erdbebensicherheit von Bedeutung.

Es sei hervorgehoben, daß das besondere Zusammentreffen zweier Faktoren die Erdbebenforschung Österreichs in den letzten Jahren wesentlich vorangetrieben hat: Durch das IGP wurden zunächst die instrumentellen Voraussetzungen durch das Stationsnetz geschaffen. Ein Ereignis wie die Friauler-Bebenserie lieferte dann Daten, die entscheidende Resultate ermöglichten.

2.1.2. Hebungsraten und ihre geophysikalische Deutung

Wie oben schon gesagt wurde, kann man die Bewegungsraten nur durch Wiederholungsmessungen auf einem stabil angelegten geodätischen Vermessungsnetz erhalten. Darum kann man nur dort Ergebnisse erwarten, wo bereits seit langer Zeit ein sehr gutes Vermessungsnetz besteht. Das BAEV besitzt in Österreich seit langem ein solches Netz, auf welchem insbesondere in bestimmten Zeitabständen Präzisionsnivellements durchgeführt werden. So zeigen die Höhenmessungen auf einem Profil zwischen der Hohen Wand (NÖ) und Wiener Neustadt, daß die Absenkung des Wiener Beckens gegen die Ostalpen heute noch anhält (G. GANGL, 1974). Die Hebung der Tauern gegenüber dem Innthal konnte aufgrund eines Präzisionsnivellements im Mittel mit ca. 1 mm/Jahr bestimmt werden. Man kann zeigen, daß diese Hebungsraten wohl mit der Geländehöhe korreliert, nicht aber mit dem Massendefizit der unter dem Meßpunkt liegenden Gebirgskörper (P. STEINHAUSER und R. GUTDEUTSCH, 1975). Hieraus ist zu schließen, daß die Hebung der Tauern kein reiner isostatischer Ausgleichsprozess ist.

2.1.3. Gezeiten der festen Erde

Das ILP führt Registrierungen der Erdgezeiten mit einem Gravimeter GEO-DYNAMICS 151 in den Feststationen Peggau, Graz-Schloßberg und im Gleinalmtunnel aus. In Peggau befindet sich außerdem ein Satz Horizontalpendel VM 44, 45, 142, 143 MELCHIOR (H. LICHTENEGGER, 1973). Die Arbeiten werden teilweise im Zusammenhang mit dem Geodätischen Institut in Sopron durchgeführt. Das IMG betreibt eine Gezeitenstation mit einem La COSTE ROMBERG-Gravimeter im Keller der ZA (MEURERS, 1978). Es liegt eine Abschätzung der Deformationskoeffizienten aus diesen Messungen vor.

2.2. Kleinräumige Spannungsfelder und Dynamik der Landschaftsformen

2.2.1. Spannungs- und Kluftmessungen

Die Messung der tektonischen Spannungsverteilung im Gebirge gehört zu den wichtigsten Aufgaben des IGP. Wegen der hoch spezialisierten Technologie der gebräuchlichen Verfahren gibt es nur wenige Institutionen in Europa, die sich mit diesem schwierigen Problem befassen. Das IG ist das einzige, welches diese Arbeitsrichtung im österreichischen Geodynamischen Projekt vertritt.

Man wendet zur Spannungsmessung die door-stopper-Methode, bei der Dehnungs-Meßelemente auf den Grund der Bohrung aufgeklebt und dann überbohrt werden, an. Der Kern wird dann gezogen. Die durch die Druckentlastung auftretende Dehnung gibt Auskunft über den initialen Spannungszustand, sofern die elastischen Konstanten des Materials bekannt sind. Zur vollständigen Erfassung des Spannungstensors müssen drei Bohrungen verschiedener Richtung verwendet werden. Nachdem die technischen und physikalischen Grundlagen der Methode erforscht wurden (K. H. ROCH 1974, E. BRÜCKL und A. SCHEIDEGGER 1974) konnten eine Reihe von wichtigen Ergebnissen für den Alpenraum gewonnen werden. Diese wurden von den Bearbeitern oft gemeinsam mit den Resultaten anderer geophysikalischer Verfahren und gleicherorts durchgeführten Kluftmessungen interpretiert. So zeigen die Messungen in einer 750 m tiefen Strecke des Kupferbergwerkes Mühlbach, daß die Orientierung des Spannungsellipsoides völlig durch die Belastung des Deckgebirges bestimmt wird. Hierbei spielen auch die Topographie, die durch die unmittelbare Nähe zum Gebirgsstock des Hochkönigs beeinflußt wird, eine wichtige Rolle. Ähnlich liegen die Verhältnisse in einer 75 m tiefen Strecke des Scheelit-Bergwerkes an der Westflanke des Felbertales (P. CARNIEL, E. K. HAUSWIRTH, K. H. ROCH und A. SCHEIDEGGER, 1975). Hier verläuft die mittlere Hauptachse des Spannungstensors etwa senkrecht zur Geländeneigung, dagegen die große Hauptachse in Einfallrichtung. Diese Resultate zeigen, daß topographische Effekte beim Spannungsfeld sich noch bis zu Tiefen in der Größenordnung der topographischen Unterschiede bemerkbar machen. Um die großtektonisch bedingten Spannungen vom kleinräumigen Spannungsfeld zu trennen, müßte man dieses vom Meßergebnis rechnerisch entfernen. Für das Arbeitsgebiet Mühlbach wurde die Berechnung des gravitationsbedingten Spannungsfeldes durch die Methode der „finiten Elemente“

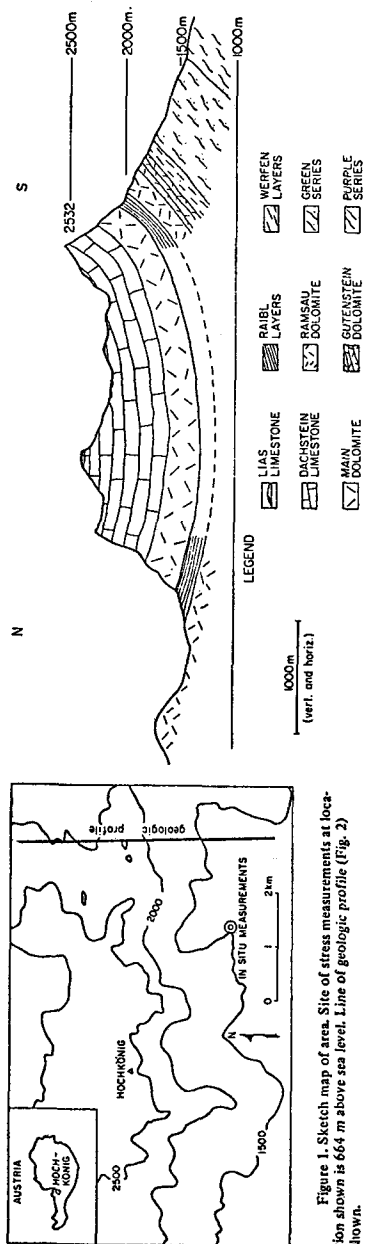


Figure 1. Sketch map of area. Site of stress measurements at location shown is 664 m above sea level. Line of geologic profile (Fig. 2) shown.

Figure 2. Geologic section along line shown in Figure 1.

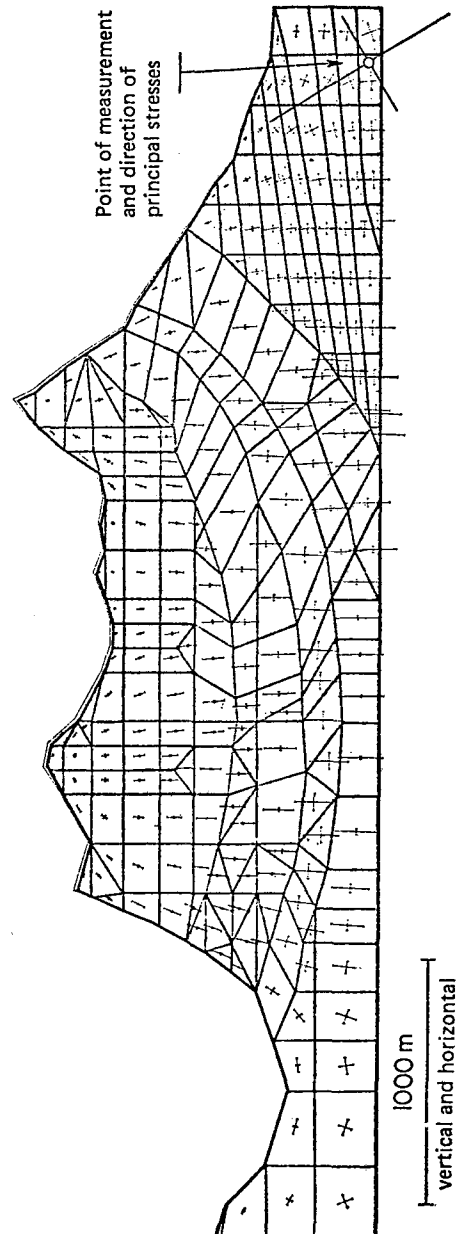


Figure 3. Finite-element grid used for calculations is shown in color. Relative magnitudes and orientation of the principal stresses corresponding to the calculations. Tensional stresses indicated by shaded areas; compressional stresses by white areas. Measured stresses at measurement point (projected onto cross section) shown in lower right-hand corner.

durchgeführt (J. R. STRUGUL, A. E. SCHEIDEGGER und Z. GRINSHPAN, 1976). Das Ergebnis besteht in einer Darstellung des Spannungsfeldes (s. Abb. 2) unter Zugrundelegung eines 2-dimensionalen Modelles, welches nach unterschiedlichen geologischen Formationen unterteilt ist. Das Meßergebnis stimmt etwa mit dem erwarteten Wert überein.

Gleichzeitig erhellt das Modell den Zusammenhang zwischen Geländeform und Spannungsfeld in analoger Weise auch für die Messung im Felbertal.

Das Gebiet um die Periadriatische Naht ist besonders interessant. Es kann nämlich erwartet werden, daß die Kräfte, welche zur Bewegung dieser großen Störungsfläche führten, durchaus noch Spannungen in den nahe gelegenen Gesteinspartien zurückgelassen haben oder neue Spannungen erzeugen. In diesem Raum, und zwar in der Ebriachklamm bei Eisenkappel, wurden in situ Spannungsmessungen durchgeführt (F. KOLBECK, K. H. ROCH und A. E. SCHEIDEGGER, 1978). Die horizontalen Spannungen überwogen die vertikalen bei weitem. Unter den Horizontalspannungen war die E-W-Komponente aber die signifikantere. Hinweise auf Abweichungen, die als Folge eines großtektonischen Spannungsfeldes zu interpretieren wären, gab es nicht. Die Autoren leiten aus ihren Klufttrichtungsmessungen ein Spannungsfeld ab, das mit demjenigen übereinstimmt, welches aus der Herdlösung des Friauler Erdbebens im Mai 1976 erhalten wurde. Hieraus würde folgen, daß die Nahtzone z. Zt., wenigstens im Meßgebiet, Spannungen aufbaut.

Kluftmessungen im Gebiet des Pauliberger, Burgenland, ergaben zwei verschiedene nebeneinanderstehende Kluftsysteme, die entweder als regionale Anomalie des Spannungsfeldes oder durch nacheinander wirksame Spannungszustände erklärt werden (F. KOHLBECK und A. E. SCHEIDEGGER, 1976, 1977).

Die Diendorfer Störung hat durch ihre Bewegung das Gestein der Umgebung beansprucht. Aufgrund von Kluftmessungen beidseitig der Störung wurde eine Vorstellung über den Beanspruchungsplan entwickelt (A. E. SCHEIDEGGER, 1976). Hiernach ist die Störung heute noch aktiv. Im Gegensatz zu den Klüften auf der Nordseite, wo ein deutlicher Zusammenhang mit der Störung nachweisbar ist, zeigen die auf der Südseite kein konsistentes Bild. Das ist auf eine differentielle Bewegung „abgeschnittener Blöcke“ zurückzuführen.

2.2.2. Bewegungsformen an Störungen und infolge der Geländegestalt

Rezente Bewegungen im Bereich der Diendorfer Störung wurden durch Aufnahme von Setzungserscheinungen und indirekt durch eine geophysikalische Vermessung untersucht (H. FIGDOR und A. E. SCHEIDEGGER, 1977). Das kleinräumige Spannungsfeld eines Hanges wurde auch bei Hallstatt durch Kluftmessungen und geodätische Wiederholungsmessungen bestimmt. Die Mechanik der Bewegung kann erklärt werden, wenn man annimmt, daß der Hang sich wie ein plastischer Strom abwärts bewegt und dabei von den Felsbegrenzungen teilweise abgelenkt wird (E. K. HAUSWIRTH und A. E. SCHEIDEGGER,

1976). Neben diesen Untersuchungen wurden Beobachtungen der Wanderwege von Geröllen an den Hängen des Hochkönig-Massivs angestellt (P. CARNIEL und A. E. SCHEIDEGGER, 1976). Es ergab sich dabei eine Korrelation zwischen Wanderungsgeschwindigkeit und Gerölldurchmesser.

Die hier aufgeführten direkten und indirekten Verfahren zur Rekonstruktion von Bewegungsformen und tektonischen Spannungen zeigen eines klar: Man ist durchaus in der Lage das kleinräumige Spannungsfeld in den Alpen experimentell zu erfassen und kann es auch mit theoretischen Modellen plausibel erklären. Daraus folgen bereits wichtige Anhaltspunkte für ingenieurgeologische Fragestellungen. Gleichzeitig vermitteln diese Untersuchungen aber auch die nötigen Erfahrungsgrundlagen für die Bearbeitung großtektonischer Spannungsfelder (siehe auch A. E. SCHEIDEGGER, 1978).

3. Tektonische Verschiebungen in der geologischen Vergangenheit

3.1. Die Bedeutung des Gesteinsmagnetismus

Grundlage aller paläomagnetischen Untersuchungen ist eine genaue Kenntnis der magnetischen Eigenschaften der Gesteine. Man muß wissen, ob die Magnetisierung des Gesteins stark und stabil genug ist, damit eine Messung überhaupt sinnvoll ist. Der Forschungszweig des Gesteinsmagnetismus wird auch stark durch seine Verbindung zur Lagerstättenkunde belebt. Diese hat aber ihren selbstverständlichen Platz im IGP durch die Frage nach der Genese und Geschichte der Lagerstätten.

Das gesteinsmagnetische Labor des MIG wurde schon vor Beginn des IGP aufgebaut (H. MAURITSCH, 1972) und hernach weiter verbessert. Die ersten Arbeiten beziehen sich auf relativ stark magnetisierte Erstarrungsgesteine. In den folgenden Jahren bestand das Ziel darin, auch schwach magnetisierte Gesteinsarten, wie die Sedimente, auf ihre magnetischen Eigenschaften hin zu prüfen, um entscheiden zu können, ob sie als Informationsträger für den Paläomagnetismus in Betracht kommen. H. MAURITSCH (1977) stellte daher Untersuchungen an Sandsteinen und Schiefern der Prebichlschichten sowie an devonischen Kalken an. Es zeigte sich, daß chemische Umwandlungen bei den hohen Temperaturen der Abmagnetisierungsprozedur besonders zu beachten sind. Die für Interpretationen wichtige Angabe des Magnetitgehaltes in einem Gestein kann man durch das Aufsuchen eines Umwandlungspunktes durch Tieftemperaturmessungen erhalten. Es wurde nachgewiesen, daß ein Gehalt von $10^{-4}\%$ Fe_3O_4 noch erkannt werden kann und somit die Chance aufgezeigt, daß auch gewisse Kalke im Alpenraum durchaus als Probenmaterial in Frage kommen (H. MAURITSCH und P. TURNER, 1974). Die Magnetisierung der Magnesite im Tagbau Veitsch wird vorwiegend durch Pyrrhotin und im geringeren Maße durch Magnetite hervorgerufen (H. MAURITSCH, 1974). Das thermische Verhalten des Trägers konnte geklärt werden. Diese Arbeit ist insofern bedeutungsvoll, als Magnetite als Träger fossiler Magnetisierung in vielen geologischen Stockwerken der Ostalpen vorkommen.

Das IMG begann die Einrichtung des gesteinsmagnetischen Labors aus Mitteln

des IGP 1973. Sedimentäre Gesteinsproben aus den Weyrer Bögen und aus dem Gebiet der Periadriatischen Naht werden untersucht.

3.2. Paläomagnetismus

H. MAURITSCH (1972) hat drei Vulkanite auf ihre paläomagnetischen Eigenschaften untersucht, den Shoshonit von Weitendorf, den Basalt vom Mühlberg bei Feldbach und den Nephelinbasalt von Hochstraden. Er zeigte, daß nur der letztgenannte Vulkanit eine so ungestörte Lagerung aufweist, daß eine direkte Bestimmung der Paläopollage möglich ist. Die erhaltene Richtung stimmt gut mit solchen aus Deutschland und Frankreich überein. Der Umstand, daß die meisten Vorkommen in der Orientierung gestört sind, zeigt die Notwendigkeit, die ursprüngliche Lage möglichst durch unabhängige Verfahren zu rekonstruieren. Dieser Versuch wurde speziell am Shoshonit von Weitendorf unternommen (H. MAURITSCH, 1975). Hiernach drang dieser ursprünglich in Richtung der Dipolachse unter einem Neigungswinkel von ca. 30° bis zur Oberfläche auf und erkaltete. Nach Einwirkungen der Erosion kam er dann durch Abbrechen und Drehung in die heutige Lage. Zur genaueren Bestimmung des Entstehungsalters müßte die Richtung des damaligen Erdmagnetfeldes präziser bestimmt sein.

Das Umklappen der Dipolachse in verschiedenen Erdzeitaltern ist nicht ein spontaner Vorgang, sondern kann eine stetige Änderung des Dipolfeldes bei gleichzeitiger Änderung der Feldstärke darstellen. Das Feld behält aber seinen Dipolcharakter bei. Dieses zeigen Untersuchungen von P. STEINHAUSER und S. A. VINCENZ (1973) an mesozoischen Gesteinen.

Der Mechanismus der Feldumkehr ist auch Gegenstand einer weiteren Studie (S. A. VINCENZ, P. STEINHAUSER und S. N. DASGUPTA, 1973) an Ignimbriten aus der Oberkreide Jamaikas (P. STEINHAUSER und S. A. VINCENZ, 1973; S. A. VINCENZ und P. STEINHAUSER, 1973). Es stellte sich nämlich heraus, daß die Paläopollagen nur für einige Proben mit den theoretischen übereinstimmen und damit das plattentektonische Modell der Karibischen See stützen. Andere Proben jedoch zeigen Abweichungen, die durch eine allmähliche Feldumkehr gedeutet werden können.

4. Die physikalischen Eigenschaften der Lithosphäre

Zu diesem Thema tragen spezielle Detailarbeiten und solche mit regionaler geodynamischer Fragestellung bei. Die Detailarbeiten sind durchgeführt worden, teilweise um durch zusätzliche Informationen die geodynamische Deutung einer anderen Arbeit zu ermöglichen, teilweise aber nur, um festzustellen, ob eine bestimmte geophysikalische Methode anwendbar ist. Die Detailarbeiten beziehen sich im allgemeinen nur auf engbegrenzte Gebiete und haben einen nur indirekten Bezug auf geodynamische Fragen. Sie sind als Vorarbeiten oder Interpretationshilfen gemeint. Ihnen gegenüber stehen Arbeiten mit originaler geodynamischer Fragestellung. Bei ihnen handelt es sich um die refraktionsseismischen Großprojekte mit internationaler Zusammenarbeit, die Geotraversen-Vermessung und den Paläomagnetismus.

4.1. Geophysikalische Detailarbeiten und Gesteinsphysik

4.1.1. Geophysikalische Erforschung von Einzelstrukturen

Eine wichtige Detailfrage ist die der möglichen Fortsetzung der Tauernzentralgneise nach Osten, wo sie unter dem Altkristallin und der Schieferhülle abtauchen. Refraktionsseismische Messungen am Ostrand des Tauernfensters zeigten, daß das Altkristallin und die Schieferhülle eine höhere P-Wellengeschwindigkeit aufweisen als die Tauernzentralgneise. Damit scheidet die Möglichkeit aus, die Fortsetzung der abtauchenden Tauernzentralgneise östlich des Tauernfensters mit den klassischen Verfahren der Refraktionsseismik zu erfassen (K. ARIC, 1974).

Um eine Paläomagnetische Deutung des Weitendorfer Shoshonits zu ermöglichen, wurde zunächst eine flächenhafte magnetische Vermessung des Gebietes durchgeführt, später wurden zusätzliche seismische und gravimetrische Messungen vorgenommen (H. MAURITSCH, 1975; siehe auch Kapitel 3.2. Paläomagnetismus). Die Untersuchungen hatten das Ziel, Lage, Abgrenzung und Gestalt des Störkörpers und benachbarte geologische Einheiten zu bestimmen, um die paläomagnetische Deutung zu ermöglichen.

Ein modellseismisches Experiment, in dem ein NS-Profil durch die Nördlichen Kalkalpen und das Alpenvorland nachgebildet wurde, sollte die anormale Ausdehnung der Schütterflächen ostalpiner Erdbeben nach Norden klären helfen (J. DRIMMEL, G. GANGL, R. GUTDEUTSCH, M. KOENIG und E. TRAPP, 1973). Hiernach „unterlaufen“ die Erdbebenwellen das harte Gesteinspaket der Kalkalpen von Süden nach Norden und führen erst wieder in der Molasse und im weiteren Alpenvorland zu stärkeren Wirkungen. Abbildung 3 zeigt das modellseismische Ergebnis.

Über die lokale Struktur der Erdkruste geben auch die Beobachtungen von Fernbeben Auskunft. Die an der Station Wien-Kobenzl aufgezeichneten Fernbebenwellen erfahren durch den örtlichen Krustenaufbau eine spezifische Zerlegung in Einzelsignale. W. OSTERODE (1977 hat eine Analyse von Fernbebeneseismogrammen durchgeführt und gefunden, daß die Erdkruste im Raum Wien näherungsweise in vier Schichten unterteilt werden kann und eine Mächtigkeit von 31 km besitzt.

In Südkärnten wurde refraktionsseismisch die Mächtigkeit des Sattnitz-Konglomerates sowie der Hallenburger Nagelfluh bestimmt und das Abtauchen des Kristallins bis 300 m Tiefe nach Süden verfolgt (G. GANGL, 1974).

Eine flächenhafte gravimetrische und magnetische Vermessung des Pauliberges (Burgenland) läßt den Schluß zu, daß der Basalt an einer Spalte aufgedrungen ist (W. SEIBERL, 1978).

4.1.2. Geophysikalische Erforschung von Störungslinien

Geophysikalische Verfahren sind auch angewendet worden, um den Verlauf größerer Störungssysteme genauer zu erfassen. So gab ein seismisches und ein

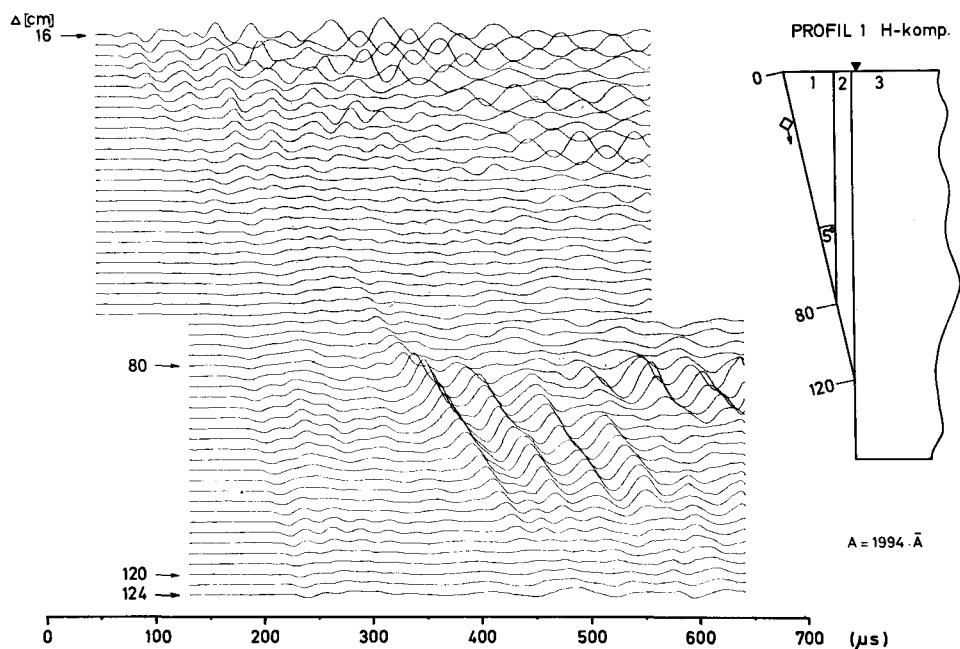


Abb. 3: Modellseismogramm aus J. DRIMMEL et al. (1973). Das Modell rechts im Bild stellt schematisch die Nördlichen Kalkalpen (Messing-Keil 1), darunter das Schichtpaket Molasse — Flysch (Plexiglas-Schicht 2, zwischen 80 und 120 cm keilförmig abgeschnitten) und das Böhmische Kristallin (Aluminium — „Halbraum“ 3) dar. Der nachgebildete Bebenherd befindet sich im Aluminium (Böhmische Kristallin). Die seismische Energie wird vorwiegend in der Schicht 2 geführt und tritt ab 80 cm Entfernung zutage. Das ist an den großen Amplituden der Schwingungszüge auf den Seismogrammen ab 80 cm Entfernung erkenntlich.

gravimetrisches Querprofil über das Inntal bei Thaur nicht nur Auskunft über die Möglichkeit glazialer Sedimente, sondern zeigte auch eine EW-streichende Störung an, die die Nördlichen Kalkalpen vom kristallinen Grundgebirge trennt (K. ARIC und P. STEINHAUSER, 1976). Die bereits unter Kapitel 2.2.2. (Bewegungen an Störungen und als Folge der Geländegestalt) erwähnte Arbeit über die Diendorfer Störung von H. FIGDOR und A. E. SCHEIDEGGER (1977) stellt eine ähnliche Detailstudie dar wie auch die gravimetrische seismische Arbeit von G. GANGL, F. MAKOVEC und P. STEINHAUSER (1978), welche ebenfalls die Diendorfer Störung und jene von G. WALACH (1977), die das Murtal bei Fohnsdorf betreffen. Die refraktionsseismische Untersuchung von F. WEBER (1977 über die Mächtigkeit des Tertiärs im Murtal zwischen St. Stephan und Kraubath liefert insofern einen Beitrag zum IGP, als sie den Verlauf der seismisch aktiven Störungszone entlang dem Murtal aufzeigt. Der Versatz der Verwerfung, deren horizontale Verschiebungskomponenten durch Erdbebendaten nachgewiesen wurden, besitzt hiernach auch eine ausgeprägte vertikale Komponente.

4.1.3. Gravimetrische Detailfragen

Die besondere Schwierigkeit gravimetrischer Arbeiten im Hochgebirge besteht in der Notwendigkeit die extrem komplizierten Geländeformen und stark veränder-

liche Dichte der oberflächennahen Gesteine richtig zu erfassen. Mit dieser Problematik befassen sich eine Reihe von Arbeiten. Detailstudien in den Hohen Tauern (H. GÖTZE, W. LEPPICH, O. LETTAU, O. ROSENBACH, W. SCHÖLER und P. STEINHAUSER, 1976) zeigen, daß man die Reliefmassen mit unterschiedlicher Dichte berücksichtigen muß, um eine Anomalie richtig deuten zu können. Die sehr enge Vermessung einiger Täler der Hohen Tauern, darunter das Obersulzbachtal und das Krimmler Ache-Tal ergibt sogar, daß das in älteren Arbeiten publizierte Regionalfeld nicht einmal im Mittel die östliche Anomalie der Schwere richtig wiedergibt (W. EHRISMANN, W. LEPPICH, O. ROSENBACH und P. STEINHAUSER, 1973). Es wird damit deutlich, daß man im Hochgebirge auf gravimetrische Detailmessungen keinesfalls verzichten kann, auch dann nicht, wenn bereits eine Karte der Regionalanomalien existiert.

4.1.4. Voruntersuchungen zur Bestimmung der terrestrischen Wärmestromdichte

Die Frage nach dem terrestrischen Wärmestrom konnte ungeachtet seiner Bedeutung für die alpine Gebirgsbildung im Rahmen des IGP nur durch Einzelbeobachtungen berührt werden. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, daß einerseits wegen der Notwendigkeit von verhältnismäßig tiefen Bohrungen die Kosten extrem hoch sind und andererseits die terrestrische Wärmestromdichte erst dann aus einem Temperaturgradienten bestimmt werden kann, wenn man die Effekte des Wärmetransportes durch konvektive Wässer eliminiert. Dies allerdings setzt eine genaue Kenntnis nicht nur der physikalischen Eigenschaften des Gesteins sondern auch der gesamten geologischen Situation voraus. Dennoch konnten Daten aus industriellen Bohrungen in der Oststeiermark benutzt werden, die H. JANSCHKE (1975) ausgewertet hat. Nach seinen Ergebnissen liegt für die Meßpunkte ein schwach überdurchschnittlicher Temperaturgradient vor, der etwa dem des westlichen Pannonischen Beckens vergleichbar ist. Zur Erstellung einer Wärmestromdichte-Karte Europas führt die ZA gemeinsam mit dem Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung, Hannover, Temperaturmessungen in alpinen Seen aus. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen, es liegt aber ein Bericht vor (R. HÄNEL, G. ZOTH und P. MELICHAR, 1978).

4.1.5. Magnetotellurische Messungen

Um die Struktur der Lithosphäre im Übergangsbereich zwischen Ostalpen und Pannonikum zu erkunden, wurden 1978 magnetotellurische Tiefsondierungen in diesem Bereich vorgenommen. Die Messungen werden in den nächsten Jahren fortgesetzt. Die Meßpunkte wurden entlang des Abschnittes 05 des „Alpenlängsprofils (ALP 1975) angeordnet. Dadurch kann das gewonnene elektrische Strukturmodell mit dem seismischen Krustenmodell verglichen werden und es lassen sich Schlüsse über den Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit, Wellengeschwindigkeit und Zustand des Krustenmaterials ziehen.

4.1.6. Gesteinsphysik

Wie schon die gravimetrischen Teiluntersuchungen gezeigt haben, ist eine richtige Deutung der Meßergebnisse erst bei genauer Kenntnis der physikalischen

Gesteinsparameter möglich. Aus diesem Grunde haben die Institute MIG und IMG Geräte zur labormäßigen Bestimmung der Gesteinsparameter insbesondere der magnetischen Suszeptibilität, der Dichte und der Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen angeschafft. Das IG besitzt eine Radialpresse zur statischen Messung der elastischen Eigenschaften von Gesteinen. Labormessungen zeigen generell, daß die Werte für gleichartige Gesteine in weiten Grenzen streuen. Das zeigen W. SEIBERL (1976, 1977) für die Suszeptibilitätswerte von vulkanischen Gesteinen aus dem Nockgebiet und der periadriatischen Naht und G. WALACH (1977) für magnetische und akustische Parameter jener Gesteine, die die im Kapitel 4.3. diskutierten Geotraversen betreffen. Seiner Arbeit ist eine Diskussion der Möglichkeiten für seismische und magnetische Methoden angeschlossen. Er findet z. B., daß sich die Gesteine der Grobgneis- und Wechseleinheiten akustisch wenig oder überhaupt nicht unterscheiden. Diese Labormessungen setzen demnach Richtlinien für die Anwendbarkeit seismischer Verfahren. Die Vulkanite aus Tiefbohrungen bei Walkersdorf besitzen eine so kleine magnetische Suszeptibilität, daß sie keinesfalls die im gleichen Raum beobachteten magnetischen Anomalien erklären können (G. WALACH, 1976).

4.2.1. Die Teilnahme Österreichs an internationalen Großprojekten

Schon nach den ersten Versuchen, den Aufbau des Alpenkörpers physikalisch zu erforschen, hat sich in der Geophysik die Einsicht durchgesetzt, daß für das Verständnis der Gebirgsbildung kleinräumige Detailvermessungen in den meisten Fällen nur Informationen aus den obersten Stockwerken, und dazu nur ganz eng begrenzt, liefern. Fragen nach der Alpenwurzel oder nach möglichen Subduktionen der Kruste in den Erdmantel sind nur aufgrund großräumig angelegter Messungen zu beantworten. Solche Messungen sind aber nicht nur mit hohen Kosten verbunden, sie bedürfen als Grundlage einer ausreichend starken Gruppe von Wissenschaftlern und Technikern, die mit Planung, Durchführung und Auswertung solcher Projekte vertraut sind. Die 25-jährige Geschichte der Explosions-Seismik in den Alpen zeigt, wie diese Notwendigkeit zum allmählichen Etablieren internationaler Arbeitsgruppen führte, an denen vor allem die BRD, die Schweiz, Italien und Frankreich und oft auch andere Länder teilnahmen. Diese Arbeitsgruppen organisieren gemeinsame Großprojekte. Im Rahmen dieser Projekte wurden die Westalpen, die Südalpen und der westliche Teil der Ostalpen refraktionsseismisch vermessen, allerdings ohne Beteiligung österreichischer Geowissenschaftler. Zum Verständnis dessen muß man sich klarmachen, daß ein refraktionsseismisches Großprojekt 7 Millionen öS und mehr kostet, und daß ca. 200 Personen daran teilnehmen. Es ist das Verdienst des IGP, daß seit 1976 auch Österreich an diesen Arbeiten teilnimmt. Bereits 1972 begann das Nationalkomitee des IGP mit der notwendigen Aufstockung des wissenschaftlichen Personals. Es schaffte die nötigen Geräte an und finanzierte wichtige Vorarbeiten und Detailstudien. Diese legten die wissenschaftlichen Voraussetzungen für eine effektive Teilnahme österreichischer Institute an internationalen Großprojekten. Neben der Finanzierung ist es dieser Vorbereitungszeit zu danken, daß das erste internationale Großprojekt, das ALPENLÄNGSPROFIL, unter Beteiligung österreichischer Geowissenschaftler

1975 erfolgreich abgeschlossen wurde. Das ALPENLÄNGSPROFIL füllt den „weißen Fleck“ zwischen dem westlichen Teil der Ostalpen und Ungarn. 1978 folgte eine Verdichtung der Informationen durch das SÜDALPENPROFIL, auch unter österreichischer Beteiligung. Angeregt durch diese Erfolge kam es zur Durchführung des Projektes SNEALP (1977), das Erdbebenbeobachtungen zur Strukturbestimmung der Ostalpen auf einem NS-Profil ausnutzte und das von österreichischen, britischen und deutschen Arbeitsgruppen getragen wurde. Vorläufige Ergebnisse des Projektes SNEALP werden bei R. LIDSTER, K. ARIC und R. KING (1977) beschrieben.

4.2.2. Erforschung der Lithosphäre durch internationale Großprojekte

Viele der im Kapitel 4.1. genannten Detailuntersuchungen sind als notwendige Vorarbeiten für die eigentlichen sprengseismischen Aufgaben des IGP anzusehen, die darin bestehen, aus dem Istzustand des Alpenkörpers auf den Prozeß der Gebirgsbildung im Großen in Vergangenheit und Gegenwart zu schließen. Das in Kapitel 4.2.1. genannte internationale Alpenlängsprofil (Länge 800 km) wurde im September 1975 unter Beteiligung von ca. 200 Wissenschaftlern und Registriern aus 20 Instituten der BRD, der Schweiz, Ungarn, Österreich, Frankreich, Italien, Großbritannien, Jugoslawien und Tschechoslowakei vermessen. Der längste Teil dieses Profiles verläuft durch Österreich und enthält 4 Punkte, an denen Großsprengungen abgetan wurden. Zwei dieser Schußpunkte wurden in Gebirgsseen verlegt (SP E und F in Abbildung 4). Hier wurden die Ladungen flächenhaft

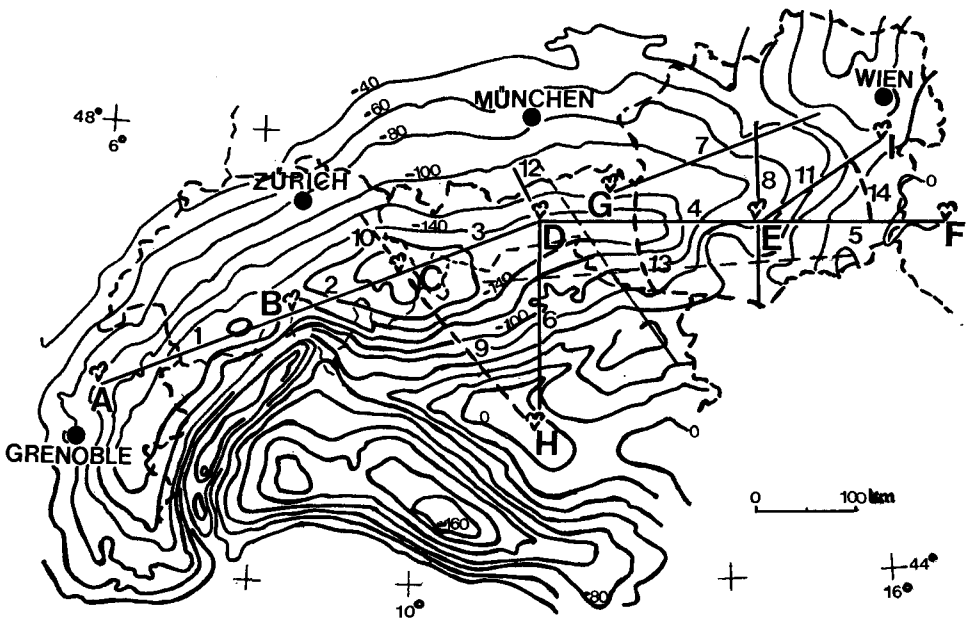


Abb. 4: Im Rahmen des IGP vermessene seismische Profile ALP 75 und ALP 78. Die eingezeichneten Isolinien stellen die BOUGUER-Anomalie in mgal dar.

verteilt zur Detonation gebracht. Die erzeugten P-Wellen erreichten in Umgebung der Seen mit 4–40 cps Schwingungsgeschwindigkeiten von 4 cm/s und konnten von den aufgestellten Registrierstationen bis zu Entfernungen von 500 km aufgezeichnet werden (K. ARIC, 1975). Im folgenden Jahr erschien die erste Gemeinschaftsarbeit (THE ALPINE EXPLOSION SEISMOLOGY GROUP, 21 Autoren 1976), die folgenden Befund darstellen: Unter den Zentral-Alpen existiert eine wannenförmige Verdickung der Erdkruste auf ca. 50 km, die sich nach Osten hin stufenförmig verdünnt und unter Westungarn nur noch die Mächtigkeit von 27 km besitzt. In 20 km Tiefe gibt es eine durchgehende „Inversionszone“, d. h. eine Zone verringerter Wellengeschwindigkeit, die man sich entweder als ein Gebiet verringerter Scherfestigkeit oder anormalen Temperaturverhaltens denken könnte. Eine weitere Inversionszone in der Oberkruste zwischen 8 und 12 km Tiefe scheint unter dem Alpenkörper zu existieren, nicht aber unter dem Pannonischen Becken (H. MILLER, J. ANSORGE, K. ARIC, PERRIER, 1978). Das Indiz für das Verschwinden dieser oberen Inversionszone und die speziellen Details der Ergebnisse des östlichen Teiles des Alpenlängsprofils im Gebiet des Alpenostrandes deuten auf einen komplizierten Aufbau dieses Übergangsbereiches (K. ARIC, ALBU, R. GUTDEUTSCH, M. MITUCH, K. POSGAY, 1979). Diese Inversionszone ist noch 40 km östlich Judenburgs nachweisbar; ein Zusammenhang mit bekannten Störungszonen und geologischen Strukturen – es handelt sich um das nach E abtauchende Kristallin und auflagernde Sedimente – besteht offenbar nicht.

Der komplizierte Aufbau des Alpenostrandes erfordert die Benutzung von Auswertprogrammen für zweidimensionale Geschwindigkeitsmodelle, d. h. Geschwindigkeitsverteilungen, die nicht nur von der Tiefe, sondern auch von der horizontalen Entfernung abhängen (R. GUTDEUTSCH und A. SAILER, 1979).

Mit Hilfe solcher Auswertprogramme war es möglich, zweidimensionale Modelle des Alpenostrandes zu erstellen, deren Verträglichkeit mit den Schwerdaten allerdings noch zu prüfen wäre (K. ARIC, R. GUTDEUTSCH und A. SAILER, 1980). Der Entwurf eines solchen Modelles wird in Abbildung 5 wiedergegeben. Es stellt räumlich die Verteilung der Wellengeschwindigkeit zwischen den Schußpunkten E und F in 6 Vertikalschnitten dar, wobei Schußpunkt E (Judenburg) auf Profil 1, Schußpunkt F (Ungarn) auf Profil 6 liegt.

In diesem Zusammenhang sei die Beobachtung von Steilwinkelreflexionen erwähnt, die anlässlich der drei Großsprengungen am Schußpunkt E während des Meßprogrammes ALP 75 (Alpenlängsprofil) von MIG und IMG durchgeführt wurden. Beide Institute hatten die refraktionsseismischen Meßlinien in einem gemeinsamen Profil von ca. 1,5 km Länge in unmittelbarer Nähe des Schußpunktes aufgestellt. Obgleich das Gebiet geologisch kompliziert ist und außerdem durch Störungen so stark zerlegt ist, daß die erzeugten seismischen Wellen vielfach gebrochen und reflektiert werden müssen, konnte doch ein erstaunlich klares Bild von Tiefenreflexionen gewonnen werden. Abbildung 6 gibt eine Seismogrammmontage der Apparatur des MIG aus dem Laufzeitbereich 10.3 bis 11.8 Sekunden wieder. Die mit Pfeilen versehenen Schwingungsgruppen rühren von Reflexionen aus einer Tiefe von ca. 28 km. Eine Deutung der Einsätze wird von

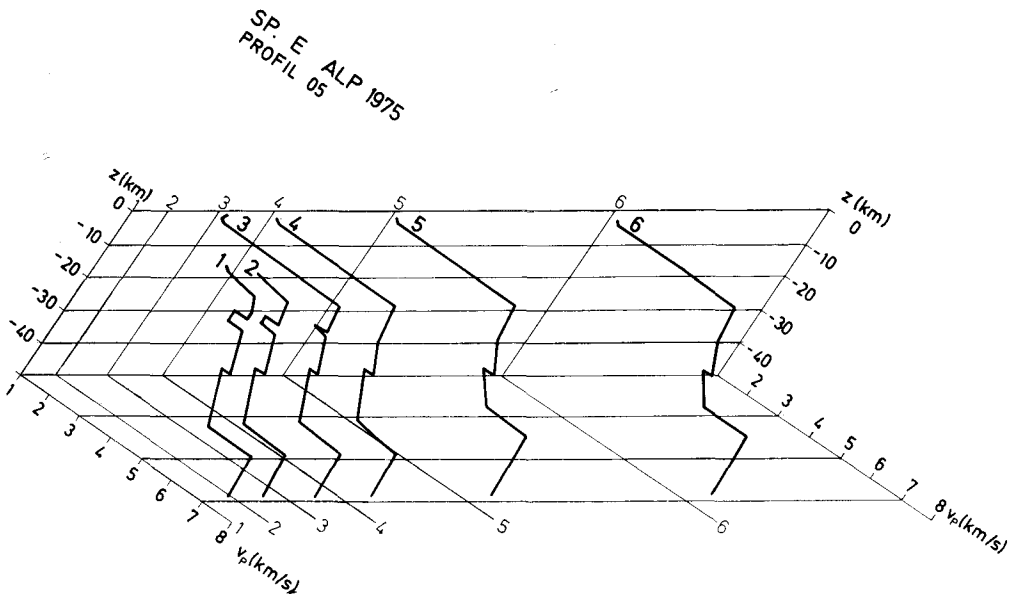


Abb. 5: Vorläufiges zweidimensionales Modell der Geschwindigkeitsverteilung am Alpenostrand nach K. ARIC et al. (1978). Das Profil reicht vom SP E (Judenburg) (links im Bild) bis an die ungarische Grenze (etwa bei Profilschnitt 5). Die Zonen verringerter Wellengeschwindigkeit (eine bei 6–10 km Tiefe, eine weitere bei 20–32 km Tiefe) sind als Folge verringerter Dichte, verringerter Scherfestigkeit oder/und anormal erhöhter Temperatur zu deuten.

R. SCHMÖLLER (1977) gegeben. Das im Sommer 1978 durchgeführte Projekt in den Südalpen (Südalpenprofil s. Abb. 4) enthielt einen Schußpunkt auf österreichischem Boden (Obersee/Osttirol). Hierüber liegen zur Zeit noch keine Ergebnisse vor.

4.3. Geotraversen

Die Vermessung auf Geotraversen hat sich auch in der Geophysik bewährt, besonders bei den Potentialverfahren Gravimetrie und Magnetik. Der größte Meßaufwand lohnt sich besonders in Gebieten, wo die Oberflächengeologie eine große Wechselhaftigkeit anzeigt, denn man bekommt ein viel vollständigeres Bild was eine gefundene Anomalie räumlich überhaupt bedeutet, als bei einer bloßen Profilmessung. Das MIG hat mehrere Geotraversen im Rahmen des IGP-Arbeitsprogrammes vermessen. F. WEBER (1975) und G. WALACH (1977) berichten über die magnetisch vermessenen Geotraversen 1 und 2 mit jeweils NS- bzw. EW-Erstreckung. Die erste verläuft zwischen dem Südrand des Wiener Beckens und dem steirischen Becken, die zweite entlang der Wechsel-Südseite. Auf beiden wurde die Vertikalintensität auf einem 4 bis 8 km breiten Streifen vermessen. Die Anomalien zeigen einige wichtige oberflächlich aufgeschlossene Grenzen an, wie z. B. den Verlauf der Südgrenze des Wechselfensters. Sie geben jedoch darüber hinaus einen Hinweis auf das Abtauchen des Penninikums der Rechnitzseinheit nach Westen. In diesem befinden sich nämlich hochmagnetische ultrabasische Körper,

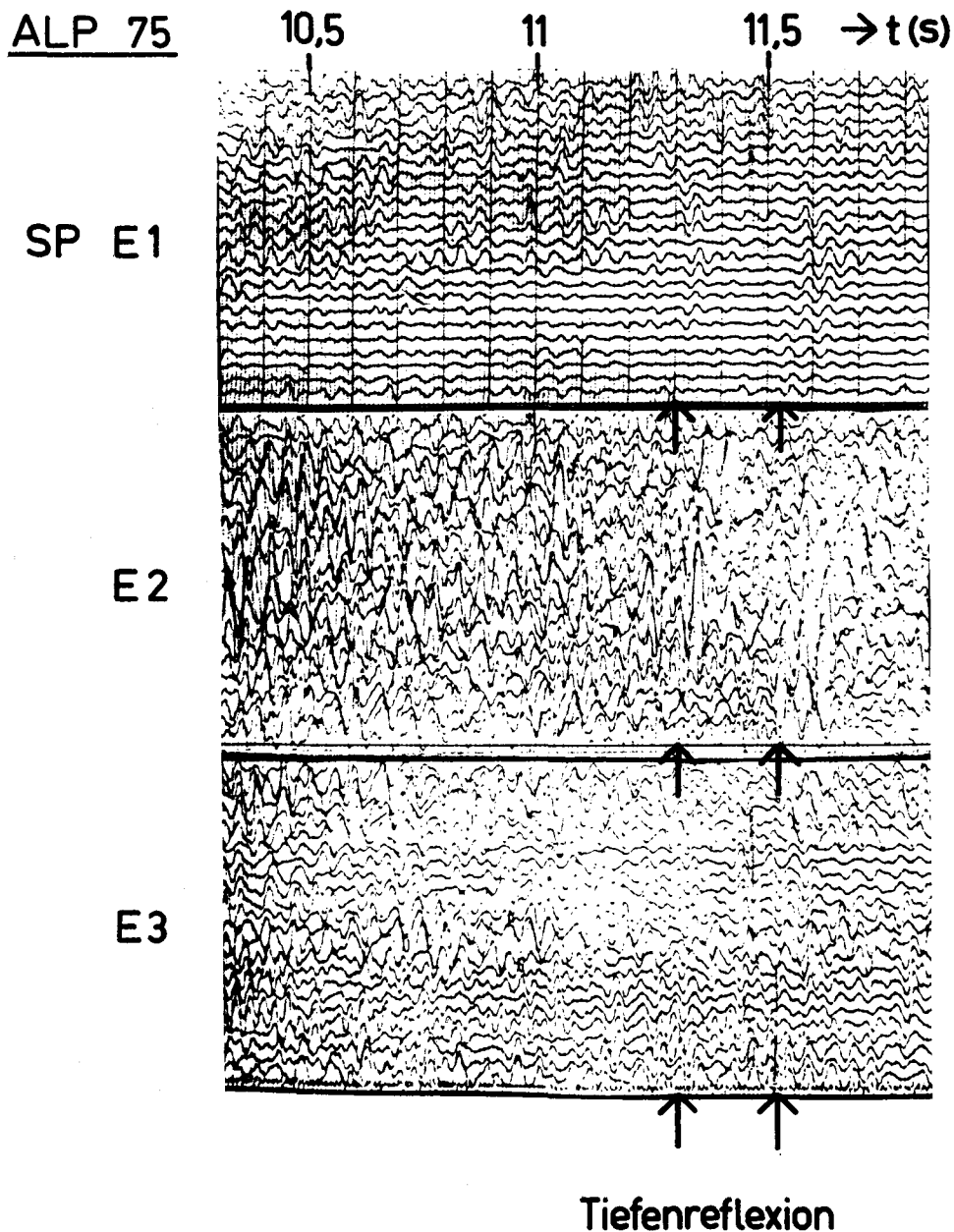


Abb. 6: Seismogrammausschnitte einer Langaufstellung in unmittelbarer Nähe von SP E, aufgenommen von der Apparatur des MIG. Die Signale bei 11.5 s und 11.3 s rühren von Reflexionen aus Tiefen um 28 km (Unterkruste). E1, E2 und E3 bedeuten Wiederholungsschüsse unterschiedlicher Ladung im Lavantsee.

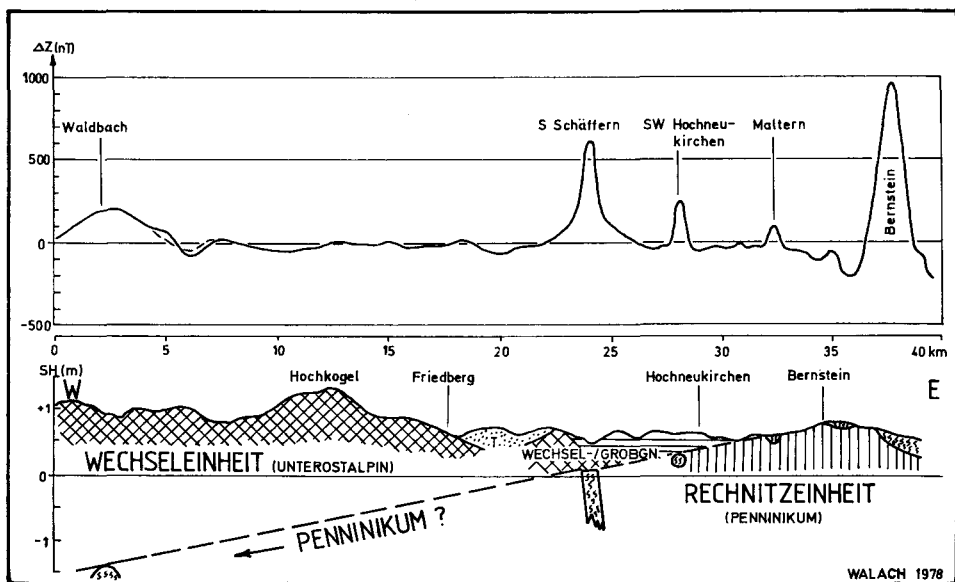


Abb. 7: Isanomalenprofil der magnetischen Vertikalintensität Waldbach — Bernstein aus G. WALACH (1977). Nimmt man an, daß die Anomalien durch Serpentine vom Typ Bernstein verursacht werden, so ergibt sich ein Abtauchen des Rechnitzer Penninikums mit 3—4° unter die unterostalpine Wechseleinheit, das bis in den Raum Waldbach verfolgbare ist.

die magnetische Anomalien mit umso größerer Halbwertsbreite hervorrufen, je tiefer sie liegen. Abbildung 7 zeigt einen Profilschnitt durch die Geotransverse 2. Nach diesem Modell könnte die Grenze des Penninikums mit höchstens 3 bis 4° nach Westen abtauchen. Die von F. WEBER (1977) angelegte Geotransverse der Vertikalintensität in den Niederen Tauern durchkreuzt das Wölzer Kristallin und die Rannachserie. Sie reicht von Judenburg bis etwa Mautern. Es trifft auch hier zu, daß die magnetischen Anomalien sich im Streichen etwa den geologischen Strukturen angleichen.

4.4. Schwere- und Magnetfeld im Ostalpenraum

Da Schwere- und Magnetfelddaten über den Raum der Ostalpen in einer Vermessung vorliegen, ist eine regionale Interpretation im Rahmen des Auflösungsvermögens der Verfahren möglich. Das Auflösungsvermögen ist durch den mittleren Meßpunktabstand festgelegt, der für die magnetische und gravimetrische Landesaufnahme ca. 18 km beträgt, jedoch von Ort zu Ort sehr verschieden sein kann. W. SEIBERL (1978) hat die genannten Daten unter Einschluß aller verfügbaren Unterlagen aus der BRD, Italien und der Tschechoslowakei für eine synoptische Bearbeitung verwendet. Die Fortsetzung des Schwerfeldes nach unten zeigt, daß die Störungsursachen ihren Sitz zu 96% in der Unterkruste haben. Die „Reduktion des Magnetfeldes auf den Pol“ sollte, wenn Magnetfeld- und Schweranomalie auf die gleichen Störkörper zurückzuführen sind, eine Feldverteilung ergeben, die der Vertikalableitung der Bougueranomalie proportional ist. Dieser Zusammenhang

kann für einige Gebiete in Österreich nachgewiesen werden, womit gleichzeitig aufgezeigt ist, daß die Methode der „Reduktion auf den Pol“ der direkten Methode, die nur die Vertikalintensität verwendet, überlegen ist (W. SEIBERL, A. FRANKE, R. GUTDEUTSCH und P. STEINHAUSER, 1978). Der Fortschritt besteht darin, daß man hierbei aus Feldmessungen unmittelbar die Größe der Magnetisierung bei bekannter Dichte für die Störungsursache erschließen kann.

Diese Untersuchungen beziehen sich auf verhältnismäßig großräumige Anomalien und Störkörper, wie z. B. die Alpenwurzel unter den Hohen Tauern und die „Berchtesgadner-Anomalie“, für die es bis heute keine allgemein anerkannte Erklärung gibt. Die Aussagen können erst genauer spezifiziert werden, wenn das Meßpunktnetz durch Detailmessungen entsprechend verdichtet ist.

5. Zusammenfassung

Das Nationalkomitee des IGP hat in einer Zeit, in der in Österreich ein großer Nachholbedarf auf instrumentellem Sektor bestand, die Grundvoraussetzungen für eine aktive Forschung auf geodynamischem Gebiet gelegt. Es hat für die Beschaffung der gesteinsmagnetischen Geräte des IMG, des neuen Erdbebenstationsnetzes sowie der gravimetrischen und magnetischen Instrumente gesorgt.

Das IGP hat weiters österreichischen Geowissenschaftlern zum ersten Mal die Möglichkeit zur aktiven Teilnahme an internationalen geophysikalischen Großprojekten gegeben. Österreichische Institute können nunmehr an der damit verbundenen Forschung partizipieren. Damit wird ein wichtiger Fortschritt im Wissenschaftsverständnis deutlich und zwar in zweierlei Hinsicht. Erstens lassen sich größere geophysikalische Aufgaben nur durch eine gut organisierte Kooperation mit anderen Instituten lösen. Diese Aufgaben führen notwendigerweise über die Landesgrenzen hinaus und es kommt zur internationalen Zusammenarbeit. Zweitens führt aber auch die Aufgabe des IGP über die Enge der eigenen Fachdisziplin hinaus. In der Geophysik hat sich die Einsicht durchgesetzt, daß die Zusammenarbeit mit Geologen und Mineralogen unerlässlich ist, wenn die betriebene Forschung sinnvoll sein soll.

6. Literatur

- ALPINE EXPLOSION SEISMOLOGY GROUP: G. ANGENHEISTER, J. ANSORGE, K. ARIC, D. BAMFORD, R. CASSINIS, H. GEBRANDE, I. GUERRA, R. GUTDEUTSCH, W. KAMINISKI, R. KING, H. MILLER, C. MORELLI, ST. MÜLLER, R. NICOLICH, G. PERRIER, K. POSGAY, C. PRODEHL, S. SCARASCIA, E. SCHMEDES, P. STEINHAUSER, F. THOUVENOT, Reporter H. MILLER: A Lithospheric Seismic Profile along the Axis of the Alps, 1975; I: First results. — PAGEOPH., **114** (1976).
- ARIC, K.: Seismische Großsprengungen im Lavant- und Torssee zur Vermessung des Alpenkörpers. — Informationstag der Sprengtechnik, Linz 1975.
- ARIC, K., ALBU, R. GUTDEUTSCH, M. MITUCH & K. POSGAY: Deutung der refraktionsseismischen Messungen auf dem östlichen Abschnitt des Alpenlängsprofils (ALP 1975). — Acta Geodaet., Geophys. et Montanist. Acad. Sci. Hung. Tomus **14** (1—2), S. 237—245, 1979.
- ARIC, K., G. DUMA & R. GUTDEUTSCH: Remarks about Magnitudes and Maximum Intensities of Earthquakes in Friuli 1976. — PAGEOPH., **114** (1976).

- ARIC, K., R. GUTDEUTSCH & A. SAILER: Computation of Travel Times and Rays in a Medium of Two-dimensional Velocity Distribution. — *PAGEOPH*, Vol. 118, S. 796—806, 1980.
- ARIC, K. & R. GUTDEUTSCH: Aftershock of the North-Italian earthquake (Friuli) of May 6, 1976 observed in Austria. — *EOS Transact. Geoph. Union*, **57**, No 9, 1976.
- ARIC, K. & R. GUTDEUTSCH: Remarks about the structure of the earth's crust near the Friuli area. — *Boll. Geofis.*, **XIX**, 72, Parte 1, 1976.
- ARIC, K. & R. GUTDEUTSCH: Bemerkungen über die Krustenstruktur erschlossen aus einigen Nachbeben der Friauler Erdbebenserie 1976. — *Geodynamics and Geotraverses around the Alps*, Salzburg und München 1977.
- ARIC, K. & P. STEINHAUSER: Geophysikalische Untersuchungen des Inntaluntergrundes bei Thaur, östlich von Innsbruck. — *Z. Gletscherkd. Glazialgeol.*, **12**, H. 1, S. 37—54, 1976.
- BEHLE, A., W. EHRISMANN, J. MAKRIS, M. MENZEL, O. ROSENBACH & P. STEINHAUSER: Gravimetrische Untersuchungen in den Ostalpen II (Meßgebiet Salzburg-Kärnten-Tirol). — *Z. f. Geophys.*, **38**, H. 2, S. 221—242, 1972.
- BRUCKL, E. & A. E. SCHEIDEGGER: In situ stress measurements in the Copper Mine at Mitterberg, Austria. — *Rock Mech.*, **6**, S. 129—139 (1974).
- CARNIEL, P., E. K. HAUSWIRTH, K. H. ROCH & A. E. SCHEIDEGGER: Geomechanische Untersuchungen in einem Rutschungsgebiet im Felbertal in Österreich. — *Verh. geol. B.-A.*, **1975**, H. 4, S. 305—330, Wien 1975.
- CARNIEL, P. & K. H. ROCH: In situ Gebirgsspannungsmessungen im Felbertal, Österreich. — *Riv. ital. Geofis. Scie. Aff.*, **3** (5/6), S. 233—240, 1976.
- CARNIEL, P. & A. E. SCHEIDEGGER: Mass transport on an Alpine scree cone. — *Riv. ital. Geofis. Scie. Aff.*, **2** (1976) Nr. 1/2, S. 82—84.
- DRIMMEL, J., G. GANGL, R. GUTDEUTSCH, M. KOENIG & E. TRAPP: Modellseismische Experimente zur Interpretation makroseismischer Daten aus dem Bereich der Ostalpen. — *Z. f. Geophys.*, **39**, S. 21—39.
- DRIMMEL, J. & E. TRAPP: Starkbeben am 29. Januar 1967 in Molln, Oberösterreich. — *Mitt. d. Erdbeben-Kommission*, N. F. **76**, Wien 1975.
- DUMA, G.: Die Bebenmagnituden für die Stationen im ostalpinen Raum. — *Diss. Univ. Wien* 1977.
- DUMA, G.: Information about Earthquake Volume and Crustal Structure by Observations of Travel Time Differences $T_s - T_p$ in the Eastern Alps. — Meeting of ESC, Straßburg 1978.
- FIGDOR, H. & A. E. SCHEIDEGGER: Geophysikalische Untersuchungen an der Diendorfer Störung. — *Verh. geol. B.-A.*, **1977**, H. 3, S. 243—270.
- FRANKE, A. & R. GUTDEUTSCH: Eine makroseismische Auswertung des Nordtiroler Bebens bei Namos am 8. Oktober 1930. — *Österr. Akad. Wiss. Mitt. Erdbeben-Kommission*, N. F. **73**, 1973.
- FRANKE, A. & R. GUTDEUTSCH: Makroseismische Abschätzungen von Herdparameter österreichischer Erdbeben aus den Jahren 1905—1973. — *J. Geophys.*, **1974**, S. 173—188.
- EHRISMANN, W., H. J. GOTZE, W. LEPPICH, O. LETTAU, O. ROSENBACH, W. SCHOLLER & P. STEINHAUSER: Gravimetrische Feldmessungen und Modellberechnungen im Gebiet des Krimmler Ache-Tales und Obersulzbachtales (Großvenediger Gebiet, Österreich). — *Geol. Rdsch.*, **65**, S. 767—778, 1976.
- EHRISMANN, W., W. LEPPICH, O. LETTAU, O. ROSENBACH & P. STEINHAUSER: Gravimetrische Detail-Untersuchungen in den westl. Tauern. — *Z. f. Geophys.*, **39**, H. 1, S. 115—130, 1973.
- GANGL, G.: Seismotektonische Untersuchungen am Alpenostrand. — *Mitt. geol. Ges. Wien*, **66—67** (1973/74), S. 33—48.
- GANGL, G.: Bericht über die refraktionsseismischen Messungen (Plöschenberg-Drautal, Südkärnten) im Jahre 1973. — *Der Karinthin*, **70**, S. 68—99, 1974.
- GANGL, G., F. MAKOVEC & P. STEINHAUSER: Die Anwendung geophysikalischer Verfahren zur Baugrunduntersuchung an der österr. Donau bei Melk (Diendorfer Störung). — *Rock-Mechanics*, 1978 zum Druck eingelegt.
- GOTZE, H. J., W. LEPPICH, O. LETTAU, O. ROSENBERG, W. SCHOLLER & P. STEINHAUSER: Gravimetrische Feldmessungen und Modellberechnungen im Felbertauerngebiet (Mittlere Hohe Tauern). — *Geol. Rdsch.*, **65**, S. 779—790, 1976.

- GUTDEUTSCH, R.: Macroseismic Observations of the Friuli Earthquake May, 1976. — Proceedings of Specialist Meeting on the 1976 Friule Earthquake and the Antiseismic Design of Nuclear Installations, Rome 1977, 1, May 1978.
- GUTDEUTSCH, R. & K. ARIC: Erdbeben im ostalpinen Raum. — Arb. ZA f. Met. u. Geodyn., **19**, Wien 1976.
- GUTDEUTSCH, R. & K. ARIC: Determination of Focal Coordinates of Near Earthquakes in an Area of Unknown Crustal Parameters. — PAGEPH., **115**, S. 667—673, 1977.
- GUTDEUTSCH, R. & K. ARIC: Eine Diskussion geophysikalischer Modelle des Grenzbereiches zwischen Ostalpen und Pannonischem Becken. — Acta Geol. Acad. Sci. Hung. Tomus 21 (4), S. 287—296, 1977.
- GUTDEUTSCH, R. & A. SAILER: Über die Nachbildung geologischer Strukturen durch Modelle mit zweidimensionaler Verteilung der Geschwindigkeiten seismischer Wellen. — Österr. Akad. Wiss. Mitt. Erdbeben-Kommission, natwiss. Kl., 1979 (zum Druck eingereicht).
- HÄNEL, R., G. ZOTH & P. MELICHAR: Wärmestromdichtebestimmungen in flachen Seen im Bereich der Geotraverse München — Salzburg — Verona — Triest. — Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung, Abschlußbericht der DFG-Vorhaben Ha 934/1, 1978.
- HAUSWIRTH, E. K. & A. E. SCHEIDEGGER: Geomechanische Untersuchungen der Großhangbewegung Hallstatt-Plassen (Österreich). — Ric. Ital. Geofis. Scie. Aff., **3** (1976), H. 1/2, S. 85—90.
- JANSCHKE, H.: Geothermische Messungen an Bohrungen und artesischen Brunnen in der Oststeiermark. — Ber. wasserwirtschaftl. Raumplanung, **33**/1975.
- KARNIK, K., D. PROCHAZKOVA, L. RUPRECHTOVA, Z. SCHENKOVA, A. DUDEK, J. DRIMMEL, E. SCHMEDES, G. LEYDECKER, J. P. ROTHE, B. GUTERCH, H. LEWANDOWSKA, D. MEYER-ROSA & D. CVIJANOVIĆ: Macroseismic Effects of the Friuli Earthquake of May 6, 1976 in Austria, Czechoslovakia, F.R.G. France, Poland und Yugoslavia. — Boll. Geofis., **XIX**, 72, Parte 1, 1976.
- KOHLBECK, F., K. H. ROCH & A. E. SCHEIDEGGER: In situ Spannungsmessungen in der Ebriachklamm bei Eisenkappel. — Verh. geol. B.-A., 1978 zum Druck eingereicht.
- KOHLBECK, F. & A. E. SCHEIDEGGER: Klüfte in der Umgebung des Pauliberger, Burgenland. — Verh. geol. B.-A., **1976**, H. 3, S. 303—311, Wien 1977.
- LICHTENEGGER, H.: Vorläufiger Bericht über Erdbebenregistrierungen in Sopron, Ungarn. — 7. Intern. Symp. über Erdbeben, Sopron 1973.
- LIDSTER, R., ARIC, K. & KING, R.: Preliminary results from a seismic network in the Eastern Alps. — Vortrag, gehalten bei der ESC-EGS-Tagung Straßburg Sept. 1977, CSY2.
- MAURITSCH, H.: Paläomagnetische Messungen an West- und Oststeirischen Vulkaniten. — Arch. Lagerstättenforsch. Ostalpen, **13**, 1972, S. 35—57.
- MAURITSCH, H.: Gesteinsmagnetische Untersuchungen an Magnesitproben aus der Veitsch. — Arch. Lagerstättenforsch. Ostalpen, Sdb. **2**, S. 167—180, Leoben 1974.
- MAURITSCH, H.: Geophysikalische Untersuchungen an den Vulkaniten im Raum Weitendorf-Wundschuh, Steiermark. — Joanneum, Mineralogisches Mitteilungsblatt, **42** (1975).
- MAURITSCH, H.: Gesteins- und paläomagnetische Untersuchungen an Gesteinen der Ostalpen. — Habil. Montanuniv. Leoben 1977.
- MAURITSCH, H. J. & P. TURNER: The Identification of Magnetite in Limestones using the Low-Temperature Transition. — Earth and Planetary Science Letters, **24** (1975), S. 414—418.
- MEURERS, B.: Zur Bestimmung des Deformationskoeffizienten in Wien. Alpengeravimetrie Kolloquium Wien, 1977. — Arb. ZA. Meteorol. Geodyn., zum Druck eingereicht.
- MILLER, H., J. ANSORGE, K. ARIC & PERRIER: The lithospheric seismic alpine longitudinal profile 1975. — Alps Appenines Helenides, Schweizerbart, Stuttgart 1978.
- OSTERODE, W.: Die Krustenstruktur im Raume Wien, abgeleitet aus kurz- und langperiodischen Raumwellen. — Diss. Univ. Wien 1977.
- ROCH, K. H.: Untersuchungen zur in situ-Bestimmung der Gebirgsspannungen in Alpinregionen Österreichs. — Diss. Techn. Univ. Wien, 1976.
- SCHEIDEGGER, A. E.: Untersuchungen des Beanspruchungsplanes im Einflußgebiet der Dindorfer Störung. — Jb. geol. B.-A., **119**, S. 83—95, 1976.
- SCHMOLLER, R.: Reflexionsseismische Untersuchungen zum Tiefbau der Ostalpen. — Geodynamics and Geotraverses around the Alps, Salzburg und München 1977.

- SEIBERL, W.: Die Werte der Gesteinssuszeptibilität im Bereich des Nockgebietes (Ostalpen). — Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-natwiss. Kl., Abt. I, **185**, S. 277—282, Wien 1976.
- SEIBERL, W.: Die Transformation des Schwere- und Magnetfeldes im Bereich der Ostalpen. — Habil. Univ. Wien, 1978.
- SEIBERL, W.: Magnetische Modellrechenergebnisse an einem Basaltvorkommen (Pauliberg) im Burgenland. Berg- u. Hüttenmänn. Mh., **123**, H. 12, 1978.
- SEIBERL, W., A. FRANKE, R. GUTDEUTSCH & P. STEINHAUSER: Zur Korrelation zwischen der Vertikalintensität des erdmagnetischen Feldes und dem Schwerefeld im ost-alpinen Raum. — J. Geoph., **44**, S. 639—650, 1978.
- SEIBERL, W.: Die Transformationen des Schwere- und Magnetfeldes im Bereich der Ostalpen. — Sitzber. österr. Akad. Wiss., math.-natwiss. Kl., Abt. II, **187**, S. 69—138, Wien, 1979.
- STEINHAUSER, P. & R. GUTDEUTSCH: Rezente Krustenbewegungen und Isostasie in den Hohen Tauern. — Arch. Mt. Geoph. Biokl., Ser. A, **1976**, S. 141—149.
- STEINHAUSER, P. & S. A. VINCENZ: Equatorial Palepoles and Behaviour of the Dipole Field during Polarity Transitions. — Earth and Plan. Scie. Let., **19** (1973), S. 113—119.
- STEINHAUSER, P. & S. A. VINCENZ: Paleomagnetism of Lower Cretaceous Lavas on Jamaica. — Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. A, S. 325—336 (1973).
- STURGUL, J. R., A. E. SCHEIDEGGER & Z. GRINSHPAN: Finite-element model of a mountain massif. — Geology, **4**, S. 439—442.
- VINCENZ, S. A. & P. STEINHAUSER: Paleomagnetic investigations of Hispaniola. — EOS Transact. Geophys. Union, **54**, S. 251, 1973.
- VINCENZ, S. A., P. STEINHAUSER & S. N. DASGUPTA: Paleomagnetism of Upper Cretaceous Ignimbrites on Jamaica. Paläomagnetische Untersuchungen von Ignimbriten der Oberkreide auf Jamaika. — Z. f. Geophys., **39**, S. 727—737, 1973.
- WALACH, G.: Magnetische Messungen im Gebiet des NE-Sporns der Zentralalpen. — Geodynamics and Geotraverses around the Alps, Salzburg und München 1977.
- WALACH, G.: Geotraversen im Gebiet des NE-Sporns der Zentralalpen. — Referat geol. Wandertagung „Penninische Fenster am Alpenostrand“, Bernstein (Burgenland) 30. 4. — I. 5. 1977.
- WALACH, G.: Geophysikalische Arbeiten im Gebiet des Nordostsporns der Zentralalpen I: Magnetische Traverse 1 (Neunkirchen — Hochwechsel — Pöllauer Bucht). — Geol. Tiefb. d. Ostalpen, ZA. Meteorol. Geodyn., **215**, Wien 1977.
- WALACH, G.: Gesteinsphysikalische Untersuchungen an Vulkaniten der Tiefbohrungen Mitterlabill, Walkersdorf und Paldau. — Anz. österr. Akad. Wiss., math.-natwiss. Kl., Nr. 6, S. 52—61, Wien 1976.
- WEBER, F.: Report of Austria on National Activities in the International Geodynamics Project. — S. 52—63, Wien 1975.
- WEBER, F.: Ein Beitrag zum Bau des Tertiärvorkommens von Kraubath — St. Stefan (Murtal) aufgrund refraktionsseismischer Messungen. — Verh. geol. B.-A., **1977**, H. 2, S. 189—199, Wien 1977.
- WEBER, F.: Die Geotraversen am Ostsporn der Ostalpen. — Geodynamics and Geotraverses around the Alps, Salzburg und München 1977.