

# Aktive Horizontalverschiebungszonen der Erdkruste

Autor(en): **Pavoni, N.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Vereinigung Schweiz. Petroleum-Geologen und -Ingenieure**

Band (Jahr): **31 (1964-1965)**

Heft 80

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-193334>

## **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.

## **Aktive Horizontalverschiebungszonen der Erdkruste**

mit 12 Abbildungen im Text

VON N. PAVONI, Zürich\*)

### **Abstract**

*Active wrench-fault zones of the earth's crust:* Active wrench-faults, i. e. wrench-faults which show movement during the Holocene, are found to exist in New Zealand (Figs. 2, 3, 4), Chile (Fig. 5), Venezuela-Trinidad (Fig. 6), Cuba, California-Mexico (Fig. 5), Alaska, Japan, Taiwan (Fig. 7), Philippines (Fig. 5), Sumatra, China, Mongolia, Turkestan (Figs. 8, 9), Baluchistan, Iran, Israel (Fig. 10), Turkey (Fig. 11) and Malta. Observed length, direction and sense of displacement in major wrench-fault systems can be estimated to one or a few meters per century. It can be shown by structural analysis (Fig. 1) that in principle the recent and Quaternary displacements are in agreement with the Cenozoic tectonic deformations. Evidently the sense and partly also the rate of displacement remained the same during hundred-thousands or most likely millions of years. The big extent of wrench-fault systems indicates that big parts of the earth's crust of the order of  $5 \times 10^6$  km<sup>2</sup> are under uniform strain and that conditions of strain vary only gradually. In Fig. 12 it was tried to connect the actual wrench-fault zones with the aid of tectonic analysis of Cenozoic deformations to a worldwide net of slip lines. Three centers are indicated from where the two systems of sliplines seem to proceed outwards: The central Pacific, Southeast Africa-Madagascar and the northern polar region.

### **I. Einleitung**

Den rezenten tektonischen Vorgängen wird vielfach nicht die Bedeutung beigemessen, die sie in Wirklichkeit verdienen. Die Gründe dafür sind klar: Es handelt sich um unscheinbare, sehr langsame Veränderungen des Untergrundes. Die Angaben über solche beobachtete Veränderungen sind zudem weit zerstreut in geodätischen, geophysikalischen und geologischen Publikationen. Während die vertikalen Bewegungen sich zum Beispiel an der Meeresküste auffällig bemerkbar machen oder durch wiederholt durchgeführte Nivellements erkannt werden, sind die horizontalen Verschiebungen, mit denen wir uns im folgenden befassen wollen, nur mit viel mehr Aufwand und Mühe durch wiederholte detaillierte geodätische Vermessung nachzuweisen. Es wäre von grossem Interesse, wenn auch im Gebiet der Schweiz zur Erfassung der sicher vorhandenen Erdkrustenbewegungen solche Vermessungen durchgeführt würden.

Unter den aktiven Bruchzonen der Erdkruste seien diejenigen tektonischen Störungszonen verstanden, entlang denen durch historische Berichte oder durch archäologische und geologische Beobachtungen eindeutig belegt während des Holozäns Verschiebungen oder Verstellungen tektonischer Natur stattgefunden haben. Das Studium der rezenten tektonischen Vorgänge zeigt, trotz der grossen Lückenhaftigkeit unserer Kenntnisse, dass heute offenbar Horizontalverschiebungen (Seitenverschiebungen, Transversalverschiebungen) ebenso häufig auftreten wie Auf- und Abschiebungen. Da die Erdkruste sich prinzipiell im Schwimmgleichgewicht befindet, sind auch vom physikali-

\*) Institut für Geophysik der ETH, Leonhardstrasse 33, 8006 Zürich.

schen Standpunkt aus Horizontalverschiebungen eher häufiger als Ab- und Aufschiebungen zu erwarten. Sehr bedeutsam erscheint mir der Umstand, dass in den Horizontalverschiebungszonen, da die Massenverlagerung parallel zu den Niveauflächen erfolgt, sich der Bewegungsvorgang über sehr grosse Strecken hinweg, sozusagen unbekümmert um die Schwerkraft und damit auch gleichsinnig durch sehr grosse Zeiträume hindurch abspielen kann, während den Auf- und Abschiebungsvorgängen durch die Schwerkraft relativ enge Grenzen gesetzt sind. Geologisch sind Horizontalverschiebungen schwieriger zu erkennen und vor allem schwieriger nachzuweisen als Auf- oder Abschiebungen. Unter den aktiven Horizontalverschiebungszonen seien diejenigen aktiven Bruchzonen der Erdkruste zusammengefasst, bei denen die horizontale Komponente der Verschiebung im allgemeinen grösser ist als die vertikale Komponente. Es wurden in dieser Arbeit auch rezente Verschiebungen berücksichtigt bei denen die Vertikalkomponente grösser ist als die Horizontalkomponente (Mongolei, Israel), wenn letztere neben der vertikalen Komponente deutlich zum Ausdruck kommt.

Aktive Horizontalverschiebungen sind dem Verfasser aus folgenden Gebieten der Erde bekannt geworden: Malta, Israel, Türkei, Iran, Baluchistan, Turkestan, Mongolei, China, Sumatra, Philippinen, Taiwan, Japan, Alaska, Kalifornien, Mexiko, Kuba, Venezuela, Trinidad, Chile, Neuseeland. Im Prinzip haben wir uns bei jeder Zone folgende Fragen vorgelegt, die notgedrungen vielfach nur unvollständig, nur unsicher oder überhaupt nicht beantwortet werden konnten:

1. Wie ist der Verlauf und die Ausdehnung der Bruchzone oder des ganzen Bruchsystems? Wie gross ist dabei die eindeutig nachweisbare Erstreckung, wie gross ist die, zum Beispiel durch die Erdbebenstätigkeit oder die Geomorphologie, vermutete Erstreckung der Verschiebungszone?
2. Welcher Art sind die Verschiebungen? Welches ist der Verschiebungssinn? Traten die Verschiebungen sprungartig in Verbindung mit Erdbeben auf? Sind kontinuierliche Veränderungen, Kriechvorgänge festgestellt worden?
3. Wie gross ist der Betrag der rezenten Verschiebungen?
4. Wie ist die Geomorphologie des Gebietes beschaffen, gibt es Flussablenkungen, Versetzung oder Zerschneidung junger Formen, wie Schuttkegel, Terrassen, Moränen?
5. Welches sind die geologisch nachweisbaren Verschiebungsbeträge?
6. Wie verhält sich die känozoische Tektonik zur rezenten Verschiebung?
7. Welches ist das geologische Alter der Verschiebungszone?
8. Was für Geschwindigkeiten des Verschiebungsvorganges lassen sich errechnen, (a) auf Grund der rezenten Bewegungen, (b) auf Grund geologischer Anhaltspunkte?

Bevor auf die Beschreibung der einzelnen Verschiebungszonen eingegangen wird, seien noch einige Erläuterungen zu den oben aufgeführten Fragen und Gesichtspunkten hinzugefügt. Die Verschiebungen sind als Linien dargestellt. Es versteht sich, dass sich der Verschiebungsvorgang nicht allein auf der dargestellten Linie abspielt, sondern das Krustenstück beidseits der Linie erfasst. Charakteristisch ist die Ausbildung einer sehr grossen Zahl von Scherflächen bis in den mikroskopischen Bereich hinein, die Entstehung von Gesteinslinsen und keilförmigen Gesteinsspänen. Nur in ganz wenigen Fällen wurde versucht mit Hilfe der Lage der Erdbebenherde die Zone weiter zu verfolgen oder anhand bereits durchgeführter Untersuchungen über Herdmechanismen den Verschiebungssinn abzuleiten, doch waren die Daten über Erdbeben als zusätzliche Information stets sehr willkommen. Rechtshändig ist gleichbedeutend mit «im Uhrzeigersinn», linkshändig mit «im Gegenuhrzeigersinn». Erscheint zum Beispiel einem Beobachter, der auf der einen Seite einer Verschiebungszone steht und zur gegenüberliegenden Seite blickt, der gegenüberliegende Flügel horizontal nach rechts verschoben, so handelt es sich um eine rechtshändige Horizontalverschiebungszone.

Der Verschiebungsvorgang führt, wenn er sich über lange Zeiträume hindurch abspielt, zu charakteristischen Verformungsbildern der Kruste (N. PAVONI, 1961 a, 1961 b, 1962). Im idealen Fall würde das Verformungsbild beispielsweise wie in Abbildung 1 dargestellt aussehen. Wenn über der tiefreichenden Verschiebungszone Sedimentserien mit Wechsel von kompetenten und inkompetenten Schichten vorhanden sind, kommt es in der Sedimenthaut zur Ausbildung charakteristischer, en échelon angeordneter Falten mit horizontal geschleppter Faltenachse. Es ist nun nicht zu erwarten, dass das tatsächliche Verformungsbild sich genau dem Modellfall mit seinen einfachen Voraussetzungen entsprechend entwickle. Der Vergleich eines zeitlich einheitlichen tektonischen Verformungsbildes in Wirklichkeit mit dem idealisierten Bild horizontaler Verschiebungsmechanik und die aus diesem Vergleich ableitbaren Aussagen über die Bewegungsvorgänge möchte ich als tektonische Strukturanalyse nach dem Prinzip der Horizontalverschiebung (HV-Prinzip) bezeichnen. Da bei geologischen Aufnahmen in gefalteten Gebieten die Faltenstrukturen im allgemeinen viel vollständiger erfasst werden als die Bruchstrukturen, die vielfach nur ungenügend in Erscheinung treten oder erfasst werden, wird sich die tektonische Strukturanalyse nach dem HV-Prinzip vielfach auf eine Faltenanalyse nach dem HV-Prinzip (HV-Faltenanalyse) beschränken müssen (N. PAVONI, 1961 a), doch wird auch sie allein oft wertvolle Aussagen über die Bewegungsvorgänge erlauben. Zeigten das känozoische Verformungsbild, Verlauf und Verschiebungssinn der aktiven Bruchzone übereinstimmende Merkmale oder Widersprüche zum idealisierten Bild, so war dem Verfasser dieser Vergleich ein weiterer wertvoller Hinweis über das Alter und die Art der aktiven Verschiebungszone.

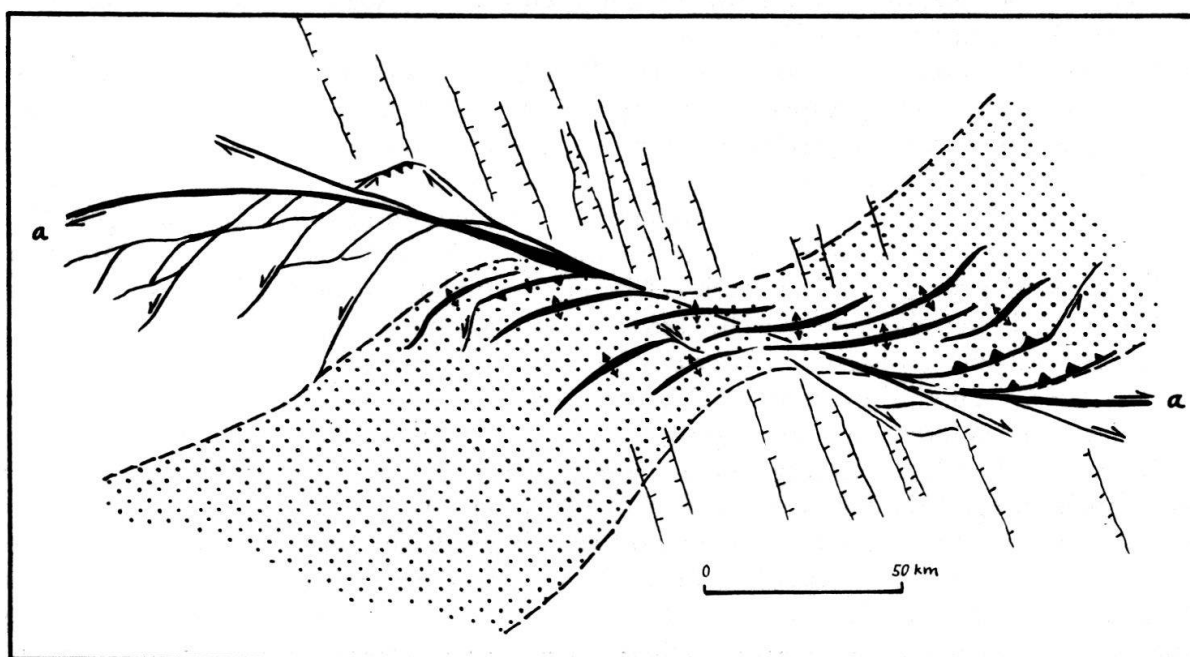


Abb. 1 – Idealisiertes Verformungsbild im Bereich einer rechtshändigen Verschiebungszone (a – a). Die Verschiebungszone verläuft leicht bogenförmig. Spitzwinklig splittert von ihr rechtshändige, mit einem Winkel von 60–90° linkshändige Horizontalverschiebungsbrüche ab. Linien mit kurzen Querstrichen bedeuten normale Verwerfungen. Sie treten vor allem in kompetenten Gesteinsverbänden auf. Gezähnte Linien bedeuten Aufschiebungen und Überschiebungen. Dort wo eine Gesteinsserie, bestehend aus einer Wechsellagerung von kompetenten und inkompetenten Schichten (punktiertes Gebiet), die Verschiebungszone überlagert, kommt es in dieser Gesteinsserie über einem inkompetenten Horizont zur Entstehung von Falten (schwarz mit Querpfeilen), die in charakteristischer Weise en échelon angeordnet sind. Das Bild diente als Grundlage bei der tektonischen Strukturanalyse nach dem HV-Prinzip (s. Text). Im Falle einer linkshändigen Verschiebungszone erscheint das Verformungsbild spiegelbildlich zum dargestellten Fall.

## II. Aktive Horizontalverschiebungszonen

### NEUSEELAND

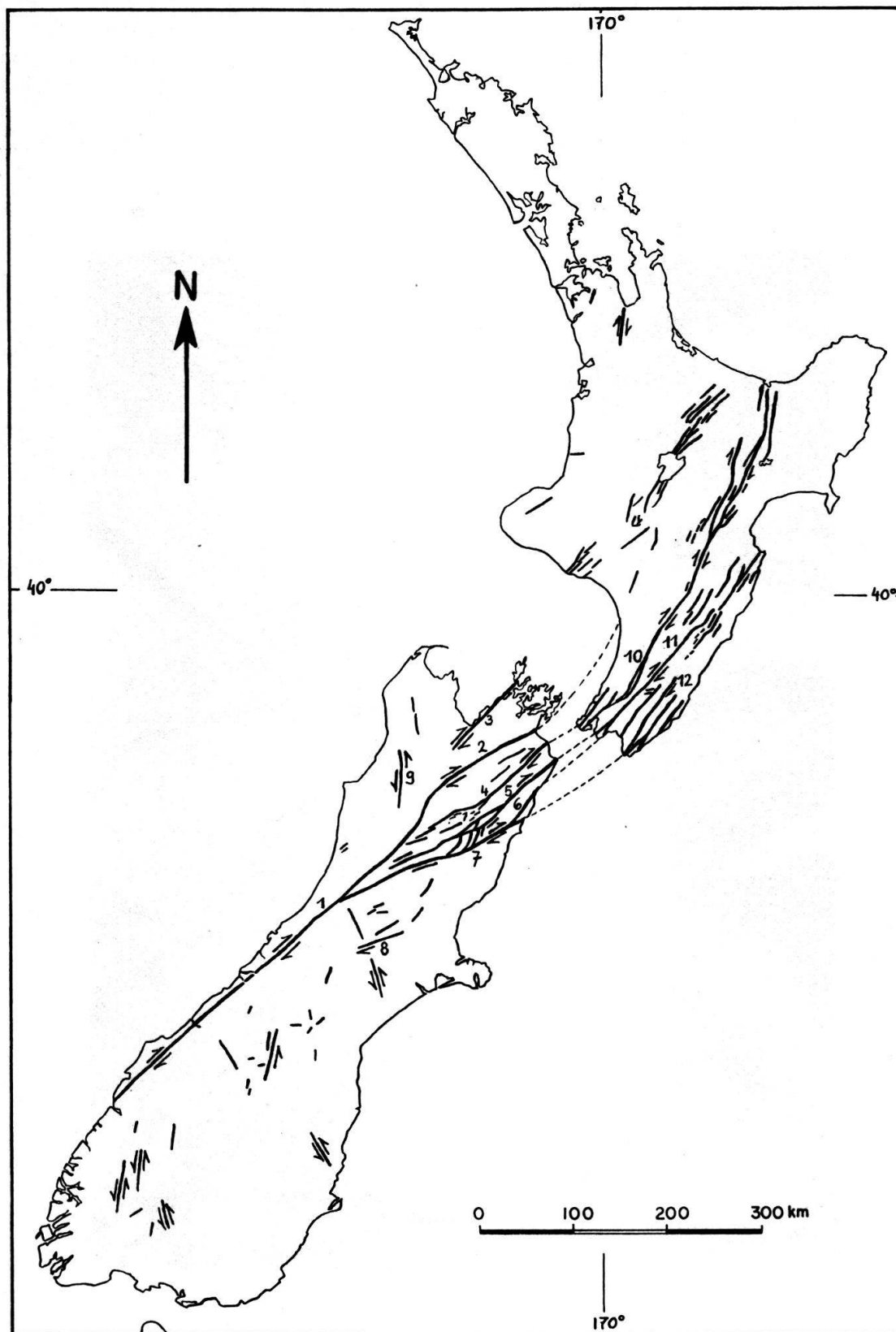


Abb. 2 - Brüche auf Neuseeland, die in den letzten 20 000 Jahren aktiv waren. Umgezeichnet und ergänzt nach Unterlagen, die in freundlicher Weise von Dr. G. J. LENSEN, Lower Hutt, NZ, zur Verfügung gestellt wurden. 1 - Alpine Fault, 2 - Wairau Fault, 3 - Whangoma Fault, 4 - Awatere Fault, 5 - Clarence Fault, 6 - Kerengu Fault, 7 - Hope-Kaikoura Fault, 8 - Porter-Pass Fault, 9 - White Creek Fault, 10 - Wellington Fault, 11 - West-Wairarapa Fault, 12 - Ost-Wairarapa Fault.

Die aktive Horizontalverschiebungszone erstreckt sich als Gürtel von 200 km Breite und 1200 km Länge vom W- und N-teil der Süd-Insel über die Cook Strait zum SE-teil der Nord-Insel (Abb. 2). In diesem Verschiebungsgürtel ist eine grosse Zahl von aktiven Brüchen enthalten, die grossenteils der Längserstreckung des Gürtels parallel verlaufen und rechtshändigen Verschiebungssinn besitzen. Mit einem Winkel von 45–60° zur Längsachse der Verschiebungszone, d. h. NW–SE bis N–S streichend treten besonders auf der Süd-Insel untergeordnet aktive linkshändige Horizontalverschie-



Abb. 3 – Luftaufnahme tektonisch rechtshändig versetzter Flussterrassen am Waiohine River, Neuseeland, Nord-Insel. Norden oben. Der Horizontalverschiebungsbruch ist als SW–NE verlaufende Linie deutlich zu erkennen. Eingewinkelt ist der Ausschnitt von Abb. 4. Photo mitgeteilt von Dr. G. J. LENSEN, Lower Hutt, NZ.

bungsbrüche auf. Die dominierenden sind die SW-NE streichenden Brüche. Der grösste ist der Alpine Bruch. Er verläuft auf der NW-Seite der Southern Alps in fast gerader Linie auf 480 km Länge (H. W. WELLMANN, 1955: 249) und splittert im N der Süd-Insel in eine ganze Schar von Brüchen auf, die sich mit Hilfe der Verteilung der Erdbebenepizentren über die Cook Strait nach der Nord-Insel verfolgen lassen (G. J. LENSEN, 1958 b). Von Bedeutung erscheint die Tatsache, dass der Verschiebungsgürtel parallel zum allgemeinen Verlauf der Pazifikumrandung verläuft. Untersuchungen über den Herdmechanismus bei Erdbeben in der Tonga-Kermadec-Region liefern als eine

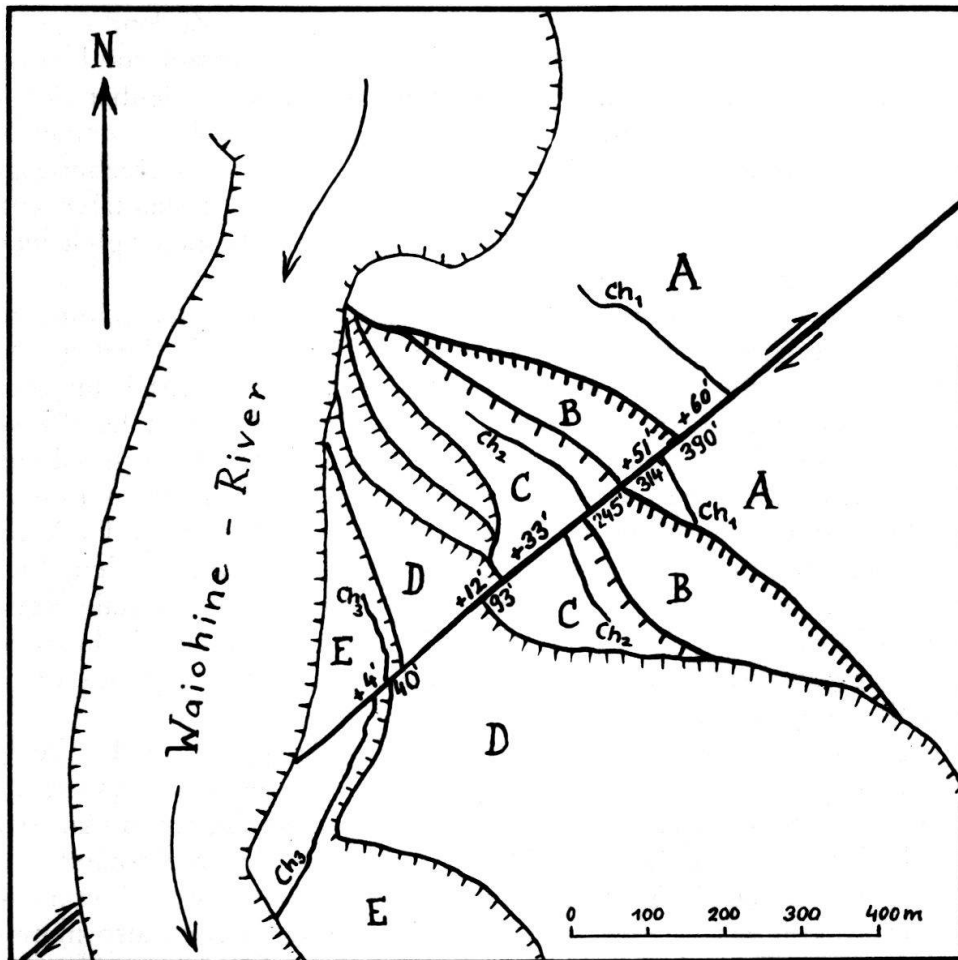


Abb. 4 - Horizontale und vertikale Versetzungen der Flussterrassen am Waiohine River, Neuseeland, Nord-Insel (vgl. Abb. 3). Umgezeichnet nach Dr. G. J. LENSEN, Lower Hutt, NZ. Zahlen auf der SE-Seite der Bruchlinie: horizontale Verschiebung rechtshändig in feet. Zahlen auf der NW-Seite der Bruchlinie: vertikale relative Hebung des NW-Flügels in feet. Linien mit kurzen Querstrichen: Terrassenränder. A, B, C, D, E: Terrassenflächen. A älteste, E jüngste Fläche. Ch: Rinne.

der beiden Lösungen rechtshändige Verschiebungen an Brüchen parallel dem Tonga-Kermadec-Graben. Diese Lösungen stehen in bester Übereinstimmung mit der beobachteten rezenten Tektonik auf Neuseeland. Es ist darum die Vermutung nicht von der Hand zu weisen, dass die Tonga-Neuseeland-Zone eine einheitliche, gewaltige Scherzone von 3800 km Länge mit rechtshändiger Seitenverschiebung darstellt.

Die auf Neuseeland im Zusammenhang mit Erdbeben beobachteten Verschiebungen erreichen folgende Beträge:

Hope Bruchzone bei Glenwye (Abb. 2), 1888	2,55 m rechtshändig
White Creek Bruchzone bei Buller River, 1929	2,1 m linkshändig
Wairarapa Bruchzone 48 km S Napier, 1931	1,8 m rechtshändig

Geomorphologische Indizien für die rezente Aktivität der auf Abbildung 2 ausgedehnten Verschiebungsbrüche sind sehr zahlreich (H. W. WELLMANN 1953, 1955; G. J. LENSEN 1958 a, 1960). Als prachtvolles Beispiel sei die geologische Situation am Waiohine River auf der Nord-Insel geschildert, wo die NW-SE streichende Verschiebungszone den Fluss und dessen verschieden alte Terrassen schneidet (vgl. Abb. 3 und 4). Geologische Angaben und Unterlagen verdanke ich der freundlichen Vermittlung durch Dr. G. J. LENSEN vom Geological Survey of New Zealand.

Das Alter der Akkumulationsterrasse A in Abbildung 4 beträgt rund 11 000 Jahre. Die Zerschneidung der jüngeren Terrassensysteme zeigt, dass offenbar der Verschiebungsvorgang geologisch betrachtet ein kontinuierlicher war. Wir kommen somit für die letzten 11 000 Jahre auf eine durchschnittliche horizontale Verschiebungsgeschwindigkeit von 1,09 cm pro Jahr. G. J. LENSEN (1958 a) hat 56 Lokalitäten entlang der Wellington Bruchzone untersucht und kommt zu Versetzungsbeträgen gleicher Grössenordnung entlang der ganzen Bruchzone.

H. W. WELLMANN (1955) erwähnt als Ergebnisse seiner Untersuchungen auf der Süd-Insel, dass die grösseren Täler der Südalpen, die während des letzten Interglazials angelegt wurden oder älter sind, entlang der Alpine Fault im Mittel um 1600 m versetzt sind. Dieser Betrag entspricht dem Totalbetrag der horizontalen Verschiebung seit ihrer Entstehung. Die 400 ft. Terrasse ist seit dem letzten Interglazial entlang der Wairau Fault (Abb. 2) um 740 m rechtshändig horizontal versetzt worden. Glaziale topographische Formen aus der letzten Eiszeit sind durch die Alpine Fault am Martyr River um 330 m, am Blue River um 215 m horizontal versetzt worden. Es bestehen somit eindeutige Anzeichen dafür, dass auf Neuseeland die horizontale Verschiebungen mindestens in den letzten 150 000 Jahren in gleichem Sinne wie heute aktiv waren. Die Verschiebungsgeschwindigkeit betrug an einer Verschiebungszone grössenordnungsmässig 1 cm pro Jahr.

Die Geologie Neuseelands steht keineswegs im Widerspruch zu den heutigen Bewegungen. Im Gegenteil sprechen die Tektonik im grossen wie auch in unzähligen Details, die Faziesverteilung, die ganze Form der beiden Inseln, wenn man sich diesem Verformungsbild nicht verschliessen will, für eine gewaltige rechtshändige Zerschneidung entlang dem Verschiebungsgürtel. H. W. WELLMANN (1955) kommt auf einen Versetzungsbetrag von 485 km seit dem Ende der Juraformation, also in einem Zeitraum von zirka 130 Mio. Jahren. Dies ergäbe eine Verschiebung von 0,375 cm pro Jahr bei kontinuierlicher Verformung.

Wiederholte geodätische Vermessungen über die Wairau Fault und das Awatere Valley hinweg zeigen leichte Winkelveränderungen, aus denen auf je zirka 2,5 cm Verschiebung pro Jahr geschlossen werden kann. Für den ganzen Verschiebungsgürtel rechnet WELLMANN mit 15 cm Verschiebung pro Jahr.

#### CHILE

Aus dem Gebiet der Atacama-Wüste berichten P. ST. AMAND & C. R. ALLEN (1960) und C. R. ALLEN (1962, 1963) über eine sehr grosse generell N-S verlaufende Bruchzone, die Atacama Bruchzone. Wie die San Andreas Bruchzone in Californien verläuft die Atacama Zone parallel zum Rand des Pazifik (vgl. Abb. 5). Die Atacama Bruchzone



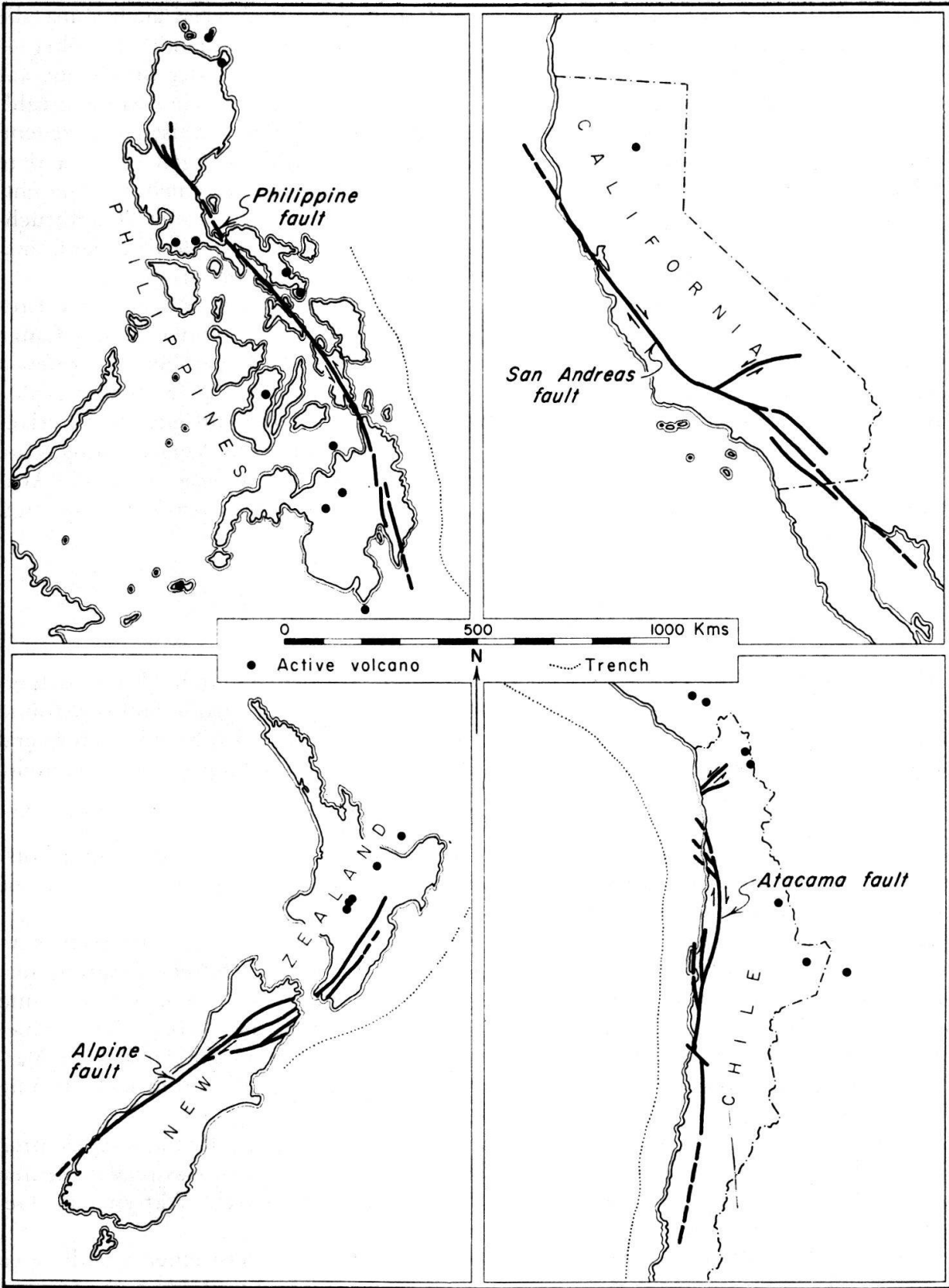


Abb. 5 – Grosse Horizontalverschiebungszonen im zirkum-pazifischen Bereich (nach C. R. ALLEN, 1962).

ist auf hunderte von Kilometern bemerkenswert geradlinig und weist auch sonst alle Merkmale horizontaler Verschiebung auf. Keine der beiden Seiten ist eindeutig höher als die andere, doch deutet die Verschiedenheit der Gesteine beidseits der Bruchzone auf bedeutende Verschiebungen. Rutschharnische auf den Bruchflächen, wie sie in den zahlreichen Minen entlang der Bruchzone beobachtet werden können, weisen vorwiegend horizontale Striemung auf. Versetzte Flussbette und Flussablenkungen sowie andere geologische Kriterien deuten unzweifelhaft auf rechtshändigen Verschiebungssinn entlang der Atacama Bruchzone. Zusätzliche Brüche, die mit 60–90° von der Hauptbruchzone abzweigen, zeigen linkshändigen Verschiebungssinn – wie zum Beispiel der Camarones Bruch – wie dies von mechanischen Überlegungen aus zu erwarten ist.

Die Verteilung der Epizentren der zahlreichen Nachstöße des grossen Chile-Erdbebens vom 22. Mai 1960 auf einen der Küste parallelen Streifen von 1200 km Länge von Conception an nach S, sowie die Analyse der durch dieses Beben hervorgerufenen langperiodischen Oberflächenwellen durch H. BENIOFF, F. PRESS & S. SMITH (1961) und F. PRESS, A. BEN-MENACHEM & M. N. TOKSÖZ (1961) weisen auf eine N–S verlaufende, rund 1000 km lange Bruchzone hin mit rechtshändigem Verschiebungssinn, wenn man die Untersuchungen von 15 Nachstößen durch K. AKI (1960) und die Analysen früherer Erdbeben in diesem Gebiet durch J. H. HODGSON (1957) berücksichtigt.

## VENEZUELA

Die Tektonik im nördlichen Venezuela ist im wesentlichen durch Horizontalverschiebungen bestimmt. «The right-lateral displacements of the major faults is found everywhere in northern Venezuela as the dominant movement. Faults with left-lateral displacement are subordinate and closely related to the major faults as their complementary set of shears» (E. ROD, 1956 a: 459).

Aktiv sind folgende Verschiebungszonen (vgl. Abb. 6):

1. *Die Ocoa Bruchzone* (= Paez Bruchzone). Länge 180 km, Verschiebungssinn rechtshändig. Nach freundlicher Mitteilung von Dr. W. MOHLER sind an dieser Bruchzone zirka 45 km NW Maracaibo junge Strandlinien verschoben worden.

2. *Die Bocono Bruchzone*. Sie ist mehr als 470 km lang, Verschiebungssinn rechtshändig. Die Bruchzone ist durch eine auffallende Häufung von Erdbebenepizentren ausgezeichnet. Man vergleiche dazu die Karte in der Arbeit von G. FIEDLER (1961) und Abbildung 6. E. ROD (1956 a) erwähnt in seiner sehr interessanten Arbeit, der wir hier vorwiegend folgen, im oberen Santo Domingo Tal Seitenmoränen der letzten Vergletscherung, die durch die Bocono Bruchzone horizontal um 80–100 m rechtshändig versetzt wurden.

3. *Die Avila Bruchzone*. Sie ist ebenfalls durch eine Häufung der Erdbebenepizentren ausgezeichnet. Flussversetzungen, Antezedenzen und junge Erosionsstrecken deuten nach R. J. SMITH (1953) auf die bis heute fortdauernde tektonische Aktivität im Gebiet der Avila Bruchzone.

4. *Die El Pilar Bruchzone*. Länge nach E. ROD 350 km. Sie weist einen geradlinigen Verlauf in W–E-Richtung auf. Sie ist durch Erdbebenepizentren und das Auftreten von heissen Quellen ausgezeichnet. Südlich von den W–E verlaufenden Hauptbruchzonen treten NW–SE streichende rechtshändige Horizontalverschiebungsbrüche auf, die zweifellos, zum Teil modellartig schön, in Zusammenhang mit den Faltenstrukturen und Überschiebungen des südlichen Vorlandes stehen. Dazu gehören zum Beispiel die *Urica*-, die *San Francisco*- und auf Trinidad die *Los Bajos* Bruchzone. Die *Urica* Ver-

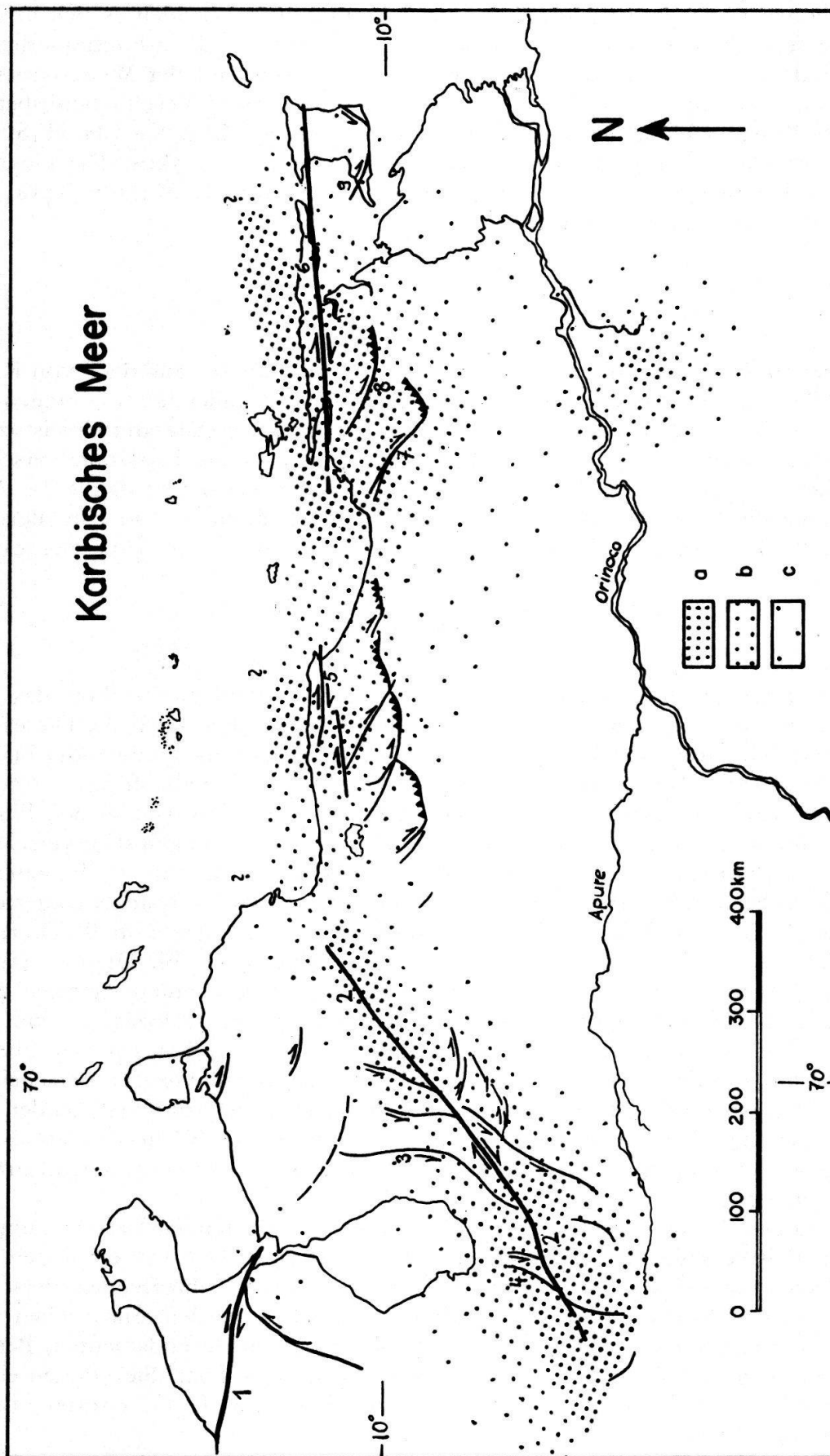


Abb. 6 - Horizontalverschiebungszonen und Erdbebenintensitäten in Venezuela und Trinidad (umgezeichnet nach E. ROD, 1956 a, b, und G. FIEDLER, 1961). 1 - Ocoa Bruchzone, 2 - Bocono B., 3 - Valera B., 4 - Avispa B., 5 - Avila B., 6 - El Pilar B., 7 - Urica B., 8 - San Francisco B., 9 - Los Bajos B. Aufgetretene grösste Erdbebenintensitäten MS: a  $\geq$  9; b = 7 + 8; c = 5 + 6; ohne Punkte < 5.

schiebungszone ist auch heute noch aktiv. Nach E. ROD (1959) handelt es sich bei der Entstehung der Faltenstrukturen und der Überschiebungen um einen kontinuierlichen bis heute andauernden Vorgang in engstem Zusammenhang mit der Weiterentwicklung der Verschiebung entlang dem Urica Bruch. Der maximale Verschiebungsbetrag an der Urica Bruchzone dürfte nach E. ROD gegen 40 km erreichen. Nach H. H. SUTER (1955) ist auch die Los Bajos Bruchzone auf Trinidad heute noch aktiv. Der Gesamtverschiebungsbetrag entlang der Los Bajos Zone wird von C. C. WILSON (1958) auf 10–13 km seit dem Obermiozän geschätzt.

#### KUBA

Nach einer freundlichen Mitteilung von D. RIGASSI sind an der Südküste von Kuba viele Anzeichen, wie horizontale oder wenige Grade gegen E fallende Strömungen auf steilstehenden, W–E streichenden Rutschharnischen und versetzte mittelpleistozäne Terrassen vorhanden, die eindeutig für eine aktive linkshändige Horizontalverschiebung parallel der Küste in W–E-Richtung sprechen. Man vergleiche damit die Auffassungen über die Krustenverschiebungen im karibischen Raum wie sie zum Beispiel von W. H. BUCHER (1952) und von H. H. HESS & J. C. MAXWELL (1953) dargestellt wurden.

#### KALIFORNIEN

Seit dem grossen Erdbeben von San Francisco am 18. April 1906 gehört das San Andreas Bruchsystem zu den bekanntesten und best erforschten der Erde. Dieses gewaltige Verschiebungssystem erstreckt sich in NW–SE-Richtung spitzwinklig bis parallel zur Pazifikküste. Seine Länge beträgt 1200 km. Durch die reihenförmige Anordnung der Erdbebenepizentren ist das Bruchsystem noch 600 km weit in den Pazifik hinaus verfolgbar. Der Verschiebungssinn ist rechtshändig, die Pazifikseite verschiebt sich relativ zum nordamerikanischen Kontinent gegen NW (vgl. Abb. 5). Es kann an dieser Stelle nicht auf eine nähere Beschreibung des San Andreas Systems eingetreten werden. Es sei diesbezüglich auf die zusammenfassenden Arbeiten von R. D. REED (1933), R. D. REED & J. S. HOLLISTER (1936), M. L. HILL & T. W. DIBBLEE (1953) und J. C. CROWELL (1962) hingewiesen. In den beiden letztgenannten Arbeiten werden folgende Verschiebungsbeträge genannt: 300–900 m im Holozän, 16 km seit Beginn des Pleistozäns, 32 km seit Beginn des Pliozäns, 104 km seit dem oberen Miozän, 260 km seit Ende Oligozän, 510 km seit der Oberkreide. Gesichert erscheinen die Verschiebungsbeträge seit dem Pliozän, während die weiter zurückreichenden auf Grund geologischer Zusammenhänge vermutet werden, jedoch bis heute nicht zwingend nachgewiesen sind. Immerhin deutet das tektonische Verformungsbild auf grosse Verschiebungsbeträge.

Von besonderem Interesse sind neben den sprunghaft auftretenden Verschiebungen, welche zum Beispiel anlässlich des San Franciscobebens 1906 bis 6,3 m erreichten, die in Kalifornien festgestellten kontinuierlichen, sehr gleichmässig ablaufenden Verschiebungen, die sich vollziehen, ohne dass Erdbeben ausgelöst werden. Sie machen sich in einem fortschreitenden Zerreißen oder Aufwölben von Betonfundamenten, Betonkanälen, Leitungen und Verrohrungen von Bohrungen bemerkbar. Sie können einen bis wenige Zentimeter im Jahr erreichen (K. STEINBRUGGE & E. G. ZACHER, 1960; D. TOCHER, 1960 b; E. B. BROWN & C. A. WHITTEN, 1961).

## ALASKA

Untersuchungen über die tektonischen Erscheinungen im Zusammenhang mit dem grossen Erdbeben in Alaska vom 10. Juli 1958 durch D. TOCHER (1960 a) zeigen horizontale, rechtshändige Verschiebungen von bis 6,45 m entlang der Fairweather Fault. Diese streicht auffällig geradlinig N 40° W und schneidet spitzwinklig die pazifische Küste im SW-Zipfel Alaskas (vgl. Abb. 12).

## JAPAN

Die japanischen Inseln weisen eine sehr hohe Seismizität auf. Infolge der grossen Bevölkerungsdichte und den zahlreichen Städten als aktiven Kulturzentren hat man dem Phänomen der Erdbeben und damit auch den rezenten Veränderungen des Erdbodens schon seit langer Zeit grosse Aufmerksamkeit geschenkt. Allein über die rezenten tektonischen Bewegungen besteht ein sehr umfangreiches Schrifttum, das kürzlich von S. MIYAMURA (1962) und E. NISHIMURA (1962) in verdienstvoller Weise zusammengestellt wurde.

Eine dominierende Horizontalverschiebungszone scheint hier nicht in dem Masse ausgezeichnet wie zum Beispiel in Neuseeland, Kalifornien oder der Türkei. Die rezenten Bewegungen erscheinen als vielfältiger Ausdruck von ausgesprochenen Blockbewegungen im Rahmen der Gesamtdeformation des Inselbogens und aus diesem Grund wiederum in gesetzmässigem Zusammenhang. Im folgenden seien die dem Verfasser bekannten Daten, vorwiegend nach CH. F. RICHTER (1958) und C. TSUBOI (1939), über rezente Verschiebungen kurz dargestellt:

*Mino-Owari Erdbeben 1891*: 112 km lange Bruchzone, Streichen NW–SE, quer zum Inselbogen. 0,6–6,0 m vertikale Absenkung, nicht einheitlich. 1,5–4,0 m linkshändige Horizontalverschiebung.

*Kwanto Erdbeben 1923*: Geodätisch festgestellte Bewegungen: Horizontale Bewegung des gesamten Gebietes SE Tokyo um bis 4 m gegen SE, im Vergleich zu seiner Umgebung.

*Tango Erdbeben 1927*: Gomura Bruchzone: 18 km lang, Verlauf N 30° W, horizontale Verschiebung linkshändig 281 cm, Absenkung nach E maximal 79 cm.

*Yamada Bruch*: 7,5 km lang, Verlauf N 55° E, horizontale Verschiebung rechteckig 0,8 m, Absenkung 0,7 m nach SE.

*Idu Erdbeben 1930*: Tanna Bruchzone, N–S streichend, 17 km lang, 0,7–2,4 m linkshändige horizontale Verschiebung. Geodätisch wurde eine Verschiebung von 3,8 m festgestellt. W–E streichender Bruch im S der Tanna Zone zeigte unbedeutende rechteckig Verschiebung.

*Tottori Beben 1943*: Zwei Brüche in WSW–ENE-Richtung streichend, 3 km auseinander liegend. Der nördliche Bruch wies eine Länge von 4 km auf und zeigte eine rechteckig Verschiebung von 1–2 m. Der südliche Bruch war 8 km lang und zeigte eine rechteckig Verschiebung von 1–2 m.

*Fukui Erdbeben 1948*: Spalten und Pressungsrücken, geodätische Vermessungen und seismographische Aufzeichnungen weisen auf eine linkshändige Horizontalverschiebung entlang einem N 20° W streichenden Bruch E Fukui hin. Fukui liegt in der nördlichen Fortsetzung der Störungslinie des Mino-Owari-Bebens 1891.

Verlauf und Verschiebungssinn der wichtigsten Erdbebenspalten auf Honshu und geodätische Messungen, sowie die Verteilung von Dilatation und Kompression bei den zahlreichen untersuchten Erdbeben deuten übereinstimmend auf WNW–ESE-Kompression hin. Wir haben es also auch hier mit einem grossen Gebiet einheitlichen Span-

nungszustandes zu tun. N-S streichende, linkshändige, känozoische Verschiebungszonen hat T. KIMURA (1959, 1961) nachgewiesen.

#### TAIWAN

Rezente Verschiebungen wurden im Längstal von E-Taiwan und im W-Teil der Insel beobachtet (Abb. 7). Das Längstal von E-Taiwan verläuft parallel der Hauptachse der Insel zwischen den zentralen Gebirgsketten im W und dem Küstengebirge im E, von Hualien im N nach Taitung im S. Es ist 2-7 km breit und 150 km lang.

Aktive Brüche im Längstal von E-Taiwan (nach T. L. Hsu, 1962):

1. *Der Meilun Bruch*: Streichen NE-SW, Länge zirka 7 km, Verschiebung 2 m linkshändig anlässlich des Hualien Erdbebens vom 22. Oktober 1951. Frühere linkshändige Verschiebungen sind sehr wahrscheinlich. Die SE-Seite wurde während des Bebens zugleich relativ zur NW-Seite gehoben.

2. *Der Yüli Bruch*: Streichen NNE-SSW. Lineare Erstreckung 40 km, von Shuishui im N bis S Yüli, entlang dem W-Fuss des Küstengebirges. Horizontale linkshändige Verschiebung anlässlich des Erdbebens vom 25. November 1951 163 cm, Hebung der W-Seite vertikal um 130 cm. Störungen von Flussterrassen und andere Anzeichen deuten auf frühere Tätigkeit und ältere Anlage des Bruches. Der Verschiebungssinn ist der gleiche wie beim Meilun Bruch. Das Beben erfolgte nur 33 Tage nach dem Hualien Erdbeben. Dieser Umstand sowie der Verlauf und der gleichartige Verschiebungssinn beider Brüche deuten darauf hin, dass es sich dabei um Äusserungen ein und desselben tieferliegenden Vorganges handelt.

3. *Der Chihshang Bruch*: Es handelt sich um eine junge NNE-SSW verlaufende, geradlinige tektonische Stufe N und S Fuli, welche junge Flussterrassen versetzt. Sie liegt in der S-Fortsetzung des Yüli Bruches.

Nach CH. BIQ (1960) und T. L. HSU (1962) gehören die drei Brüche zu einer grossen linkshändigen Verschiebungs- und Aufschiebungszone, die in engster Verbindung mit der Tektonik des Küstengebirges steht und mindestens seit Beginn des Pleistozäns aktiv ist. Darauf hin deuten auch die Geomorphologie und der Verlauf des Längstales.

Neben diesen aktiven Brüchen im Längstal sind im W-Teil der Insel aktive Brüche mit rechtshändigem Verschiebungssinn bekannt geworden:

4. *Der Dabya Bruch N Chia-i*: Im Zusammenhang mit dem Chia-i-Erdbeben vom 17. März 1906 wurde zwischen Dabya und Hsiamei eine W-E verlaufende Bruchlinie beobachtet. Ihre Länge betrug 13 km, die horizontale Verschiebung 1,8-2,4 m rechtshändig, die vertikale Versetzung bis 1,2 m, wobei der N-Flügel abgesenkt wurde.

5. *Die Tonshikyaku Bruchzone*: Anlässlich des Bebens vom 21. April 1935, lokales Datum 20. April 1935, traten in einem Streifen von 70 km Länge ausgedehnte Brucherscheinungen auf, eng benachbart zu schon bekannten Brüchen. In der Hauptsache waren es zwei Brüche, die 30 km in SW-NE-Richtung auseinander lagen: Im SW auf 16 km Länge, N 60° E verlaufend, die Tonshikyaku Bruchlinie (zirka 17 km N Taitung). Die horizontale Verschiebung betrug 1,0-1,5 m rechtshändig, im W wurde der N-Flügel, im E der S-Flügel abgesetzt.

Im NE bildete sich der Siko Bruch, 15 km lang, N 30° E streichend, mit nur geringfügigen horizontalen Verschiebungen, dafür mit bis zu 3 m vertikalen Versetzungen. Die E-Seite erschien abgesetzt. Die Bruchfläche fiel mit 70-80° nach Westen (CH. F. RICHTER, 1958: 583). Es handelt sich offenbar um eine widersinnige Verwerfung. Diese steht in bester Übereinstimmung mit dem Bild über die horizontale Spannungsverteilung, welches sich aus der Anordnung und aus dem Verschiebungssinn der aktiven Horizontalverschiebungsbrüche auf Taiwan ableiten lässt.

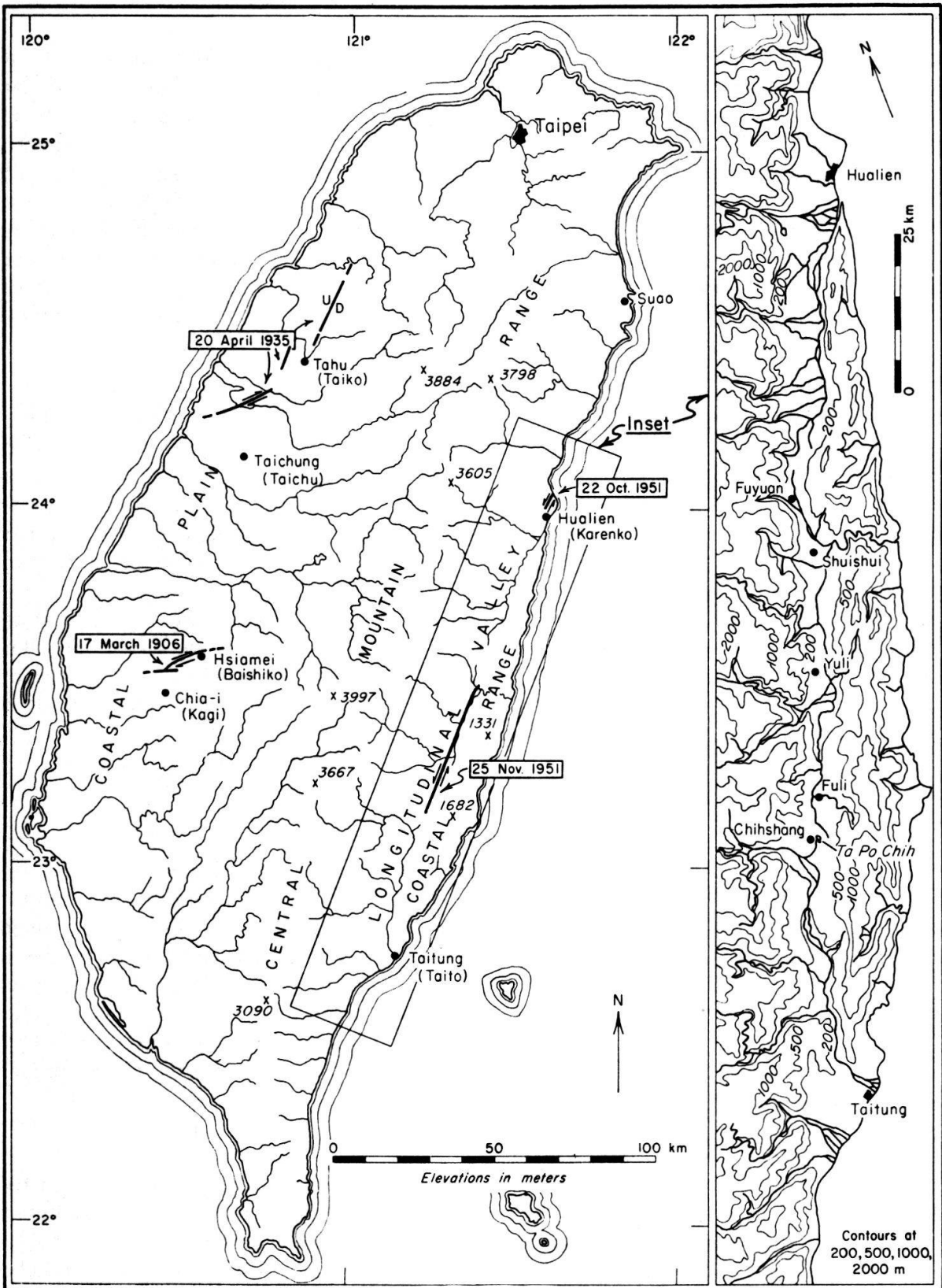


Abb. 7 – Rezente Bruchbildung auf Taiwan (nach C. R. ALLEN, 1962).

## PHILIPPINEN

Wie durch die Arbeiten von T. S. M. RANNEFT et al. (1960) für Mindanao und C. R. ALLEN (1962) für die ganze Inselgruppe neuerdings überzeugend begründet und dargelegt, zieht ein gewaltiges Horizontalverschiebungssystem durch die gesamte Inselgruppe der Philippinen (vgl. Abb. 5). Die Philippinen Verschiebungszone ist 1200 km lang und heute noch aktiv. Der Verschiebungssinn ist eindeutig linkshändig. Für alle Details sei auf die zusammenfassenden Darstellungen von C. R. ALLEN (1962) verwiesen.

Vor der E-Küste von Zentral-Luzon scheint die Verschiebungszone eine Ablenkung im Sinne einer komplementären rechtshändigen Zerschering zu erfahren. Eine Verbindung der Philippinen Bruchzone mit der Bruchzone im Längstal von E-Taiwan erscheint nicht ausgeschlossen. Die Verschiebungszone erhielt damit eine Ausdehnung von mehr als 1700 km.

## SUMATRA

Eine sehr bemerkenswerte, grosse Bruchzone, die Oeloe Aer Bruchzone (J. W. DURHAM, 1940), zieht in NNW-SSE-Richtung durch das Bergland von Nord- und Zentralsumatra. Sie besitzt eine Längserstreckung von mindestens 550 km. Möglicherweise setzt sie sich parallel der Achse der Insel bis nach S-Sumatra fort. Horizontale Verschiebung von Flussläufen, Schleppungserscheinungen, zahlreiche heisse Quellen weisen nach DURHAM darauf hin, dass die Bruchzone auch heute noch aktiv ist mit rechtshändigem Verschiebungssinn.

Spalten und rechtshändige Verschiebungen wurden im Bereich dieser Bruchzone anlässlich des Bebens vom 17. Mai 1892 festgestellt (vgl. CH F. RICHTER, 1958: 606). Triangulationsvermessungen in einem Gebiet von 60 auf 60 km ergaben eine rechtshändige horizontale Verschiebung von 3,5–4 m. Die Sumatra Bruchzone gehört somit zu den grossen, aktiven Horizontalverschiebungszonen der Erdkruste.

## MONGOLEI

Am 4. Dezember 1957 ereignete sich in der SW-Mongolei auf  $45^{\circ}$  NB und  $99-103^{\circ}$  EL ein sehr kräftiges Erdbeben mit Magnitude 7,7–8. Im N des Ikhe-Bogdo und des Baga-Bogdo, den E Ausläufern des Gobi Altai, zeigten sich ausgedehnte Bruchbildungen (V. P. SOLONENKO, 1959; A. BEN-MENAHAM & M. N. TOKSÖZ, 1962). Eine ausgeprägte Bruchzone von 270 km Länge erstreckte sich am N-Fuss des Gebirgszuges in Richtung N  $100^{\circ}$  E. Der S-Flügel wurde entlang der vertikalen Bruchfläche um 0,8 bis 12 m vertikal gehoben und um 3,0–3,5 m linkshändig horizontal gegen E verschoben. Diese linkshändige Verschiebung führte im E Epizentralgebiet S des Bogdo Bruches zur Entstehung einer 30 km langen, N-S verlaufenden Bruchzone, wobei die W-Seite um 2–10 m gehoben wurde.

## CHINA

Primäre Brucherscheinungen mit horizontalen Verschiebungen wurden bei den folgenden drei Erdbeben, die dem Verfasser bekannt wurden (LI, S., 1954), beobachtet:

1. *Kulang Erdbeben 1927*: Primäre Spaltenbildung wurde bei Kulang ( $37^{\circ} 30'$  NB,  $103^{\circ}$  EL) auf 14 km Länge beobachtet. Verlauf der Bruchzone N  $60-70^{\circ}$  W. En échelon Spalten mit Richtung N  $40^{\circ}$  W und klaffende, bis 5 m breite Spalten und Keilgräben in Richtung N  $10-25^{\circ}$  W wurden festgestellt. Der Verschiebungssinn war rechtshändig.

2. *Shantan Erdbeben 1954*: Im Februar 1954 ereignete sich im Gebiet NE von Shantan ( $38^{\circ} 50'$  NB,  $101^{\circ} 08'$  EL), Provinz Kansu, ein Erdbeben, bei welchem ebenfalls



Brucherscheinungen festgestellt wurden. Die Streichrichtung der Bruchzone bei Tashia-ho war  $N 50^{\circ} W$ . Ihre Länge betrug zirka 13 km. Fiederspalten mit Richtung  $N 10-20^{\circ} W$  deuteten auf rechtshändigen Verschiebungssinn. Shantan liegt 200 km NW von Kulang. Beide Beben scheinen zur selben tektonischen Zone am N-Fuss des Tashueh Shan zu gehören.

3. *Kuo-hsien Erdbeben 1952*: Das Beben ereignete sich am 8. Oktober 1952 im Gebiet von Kuo-hsien ( $38^{\circ} 52' NB$ ,  $112^{\circ} 45' EL$ ) im N-Teil der Provinz Shansi. Die Bruchzone verlief zirka  $N 10^{\circ} W$ . Fiederspalten traten hauptsächlich in Richtung  $N 60^{\circ} E$  auf und liessen auf rechtshändigen Verschiebungssinn schliessen. Inwieweit der primäre Charakter der beobachteten Spalten tatsächlich gesichert ist, konnte aus den vorhandenen Angaben nicht ermittelt werden.

#### TURKESTAN

Auf der geologischen Karte der Sowjetunion 1:2 500 000, 1956, sind im Gebiet von Zentral-Turkestan mehrere auffällig geradlinig verlaufende Störungszonen von grosser Ausdehnung zu erkennen, die auf Grund von Schleppungserscheinungen und der Faltenanordnung als Horizontalverschiebungsbrüche zu deuten sind. So zieht eine solche Zone dem Karatau entlang nach SE, zerschneidet das W-Ende des Tien-shan, begrenzt das Ferghana Becken im E und zieht zum W-Rand des Tarim Beckens. Es handelt sich hier wohl um einen Ausläufer der Hauptverschiebungszone, entlang welcher Hindukusch und Pamir relativ zum Hochland von Tibet und Himalaya nach N verschoben wurden (V. S. BURTMAN, A. V. PEIVE & S. V. RUZHENTZEV, 1963; N. PAVONI, 1961 b, Abb. 6). Weitere rechtshändige Horizontalverschiebungszonen sind W-E verlaufend

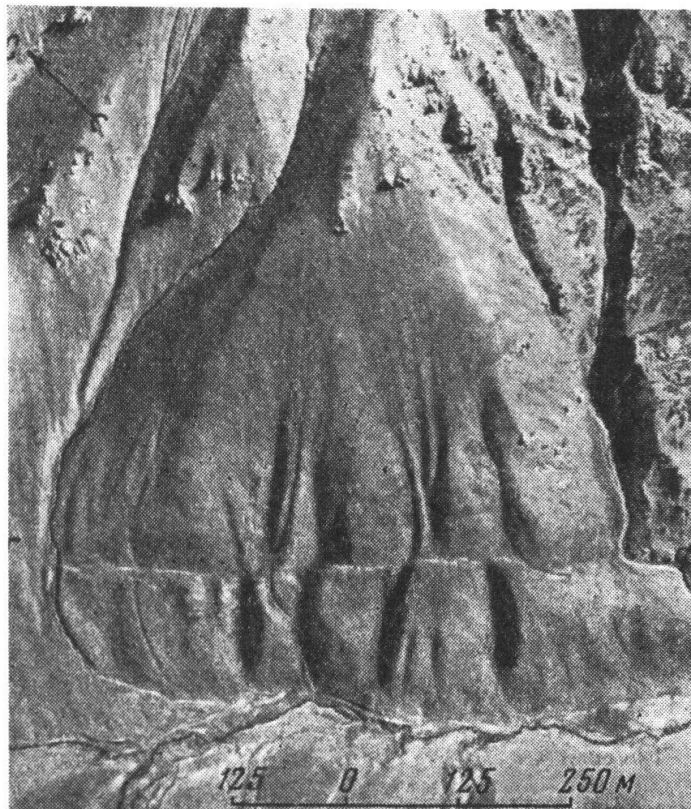


Abb. 8 – Rezente horizontale Verschiebung von Bachrinnen entlang der Talaso-Ferghana Bruchzone. Horizontale rechtshändige Verschiebung um 30–40 m (aus V. S. BURTMAN, 1963).

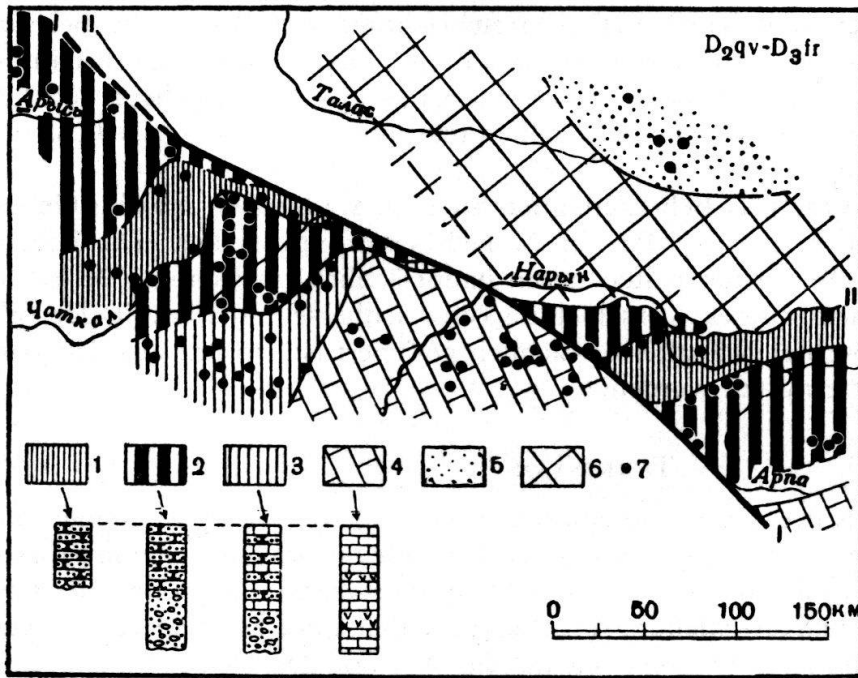


Abb. 9 – Verschiebung paläozoischer Faziesgebiete entlang der Talaso-Ferghana Bruchzone (nach V. S. BURTMAN, 1963). Unteres Oberdevon (Frasnian) – oberes Mitteldevon (Givetian). Damit vollständig übereinstimmende Verschiebungsbilder ergeben sich für das Famennian und die Stufen des Unterkarbons.

in der Zentralachse des Alai Gebirges und WSW–ENE verlaufend im zentralen Hindu-kusch und seinen W-Ausläufern angedeutet. Dieses Verformungsbild möchte ich mit dem fächerartigen System von rechtshändigen Gleitlinien (R-Fächer, N. PAVONI 1961 a: 527), welches bei plastischer Verformung entsteht, vergleichen. Die Horizontalverschiebungszonen Zentral-Turkestans und im N Afghanistans stehen in engstem Zusammenhang mit dem Vorstoss der Kruste im Pamir nach N relativ zur Kruste weiter im E.

Die neueren Untersuchungen russischer Geologen (vgl. G. D. ASHGIREI, 1963; V. S. BURTMAN, 1961, 1963; V. S. BURTMAN, A. V. PEIVE & S. V. RUZHENTZEV, 1963) haben erwiesen, dass die Talaso-Ferghana Bruchzone heute noch aktiv ist (vgl. Abb. 8) und dass sie den sehr gut begründeten, beträchtlichen Verschiebungsbetrag von 180 km erreicht (Abb. 9).

#### BALUCHISTAN

Während des Bebens vom 20. Dezember 1892 wurde bei Chaman ( $30^{\circ} 55' \text{ NB}$ ,  $66^{\circ} 33' \text{ EL}$ ) 50 km NNW Quetta die Eisenbahnlinie zerstört. Es konnte eine linkshändige horizontale Verschiebung von mindestens einem Meter beobachtet werden (CH. F. RICHTER, 1958: 609). Die Verschiebung erfolgte nach den Angaben von MACMAHON entlang einer NNE–SSW verlaufenden bedeutenden Bruchzone im E-Teil des Gebirgsbogens von Baluchistan. Die Verschiebung steht möglicherweise in engem Zusammenhang mit den Faltenstrukturen (vgl. Abb. 1).

#### IRAN

Vor zwei Jahren, am 1. September 1962, ereignete sich im Gebiet Ab-i-Garm – Buyin, 80–170 km W Teheran ein kräftiges Erdbeben, dem über 12 000 Menschen zum Opfer fielen. Durch die Untersuchungen, welche N. N. AMBRASEYS (1963) im Auftrag der UNO im Schüttergebiet durchgeführt hat, sind wir über die tektonischen Vorgänge, wie sie sich an der Erdoberfläche abspielten, recht gut im Bild. Verschiebungen und Spalten wurden auf 100 km Länge festgestellt: Eine Bruchzone erstreckte sich in W–E-Richtung von Ipak ( $35^{\circ} 39' \text{ NB}$ ,  $50^{\circ} 18' \text{ EL}$ ) im E über Chenars ( $35^{\circ} 40' \text{ NB}$ ,  $49^{\circ} 45' \text{ EL}$ ) bis Indrejin ( $35^{\circ} 42' \text{ NB}$ ,  $49^{\circ} 23' \text{ EL}$ ). Bei Chenars wie bei Indrejin wurden die W–E verlaufenden Brüche von WNW–ESE bis NW–SE verlaufenden Brü-

chen abgelöst. Die Brüche des W-E-Systems zeigten linkshändigen, die Brüche am NW-SE-System rechtshändigen Verschiebungssinn. Die aktuotektonischen Erscheinungen passen sich gut in die Tektonik des Gebirgsbogens des Elburz ein (A. GANSSER & H. HUBER, 1962). In der eben erschienenen Arbeit von J. STÖCKLIN, A. RUTTNER & M. H. NABA VI (1964: 5), in welcher u. a. auch die Geologie der South Zenjan mountain range, die in der unmittelbaren NW-Fortsetzung des Erdbebengebietes von 1962 liegt, behandelt wird, lesen wir folgendes: «The South Zenjan range appears, within this basin extension, as an isolated, narrow, northwest-southeast-trending uplift of Mesozoic, Paleozoic and pre-Cambrian rocks. Strong longitudinal faulting rather than folding has produced the uplift and seems to be a part of an extensive northwest-southeast-striking fault zone. The uplift existed as early as pre-Eocene time. . . Faulting has continued to the present time. The destructive earthquake that struck the area in the immediate southeast continuation of the Zenjan range in 1962 is a tragic but unmistakable proof that the movements are still active.»

#### ISRAEL

Durch die geologischen Untersuchungen, insbesondere seit dem 2. Weltkrieg, ist der tektonische Aufbau Israels gut bekannt geworden (vgl. z. B. L. PICARD, 1959; A. VROMAN, 1957). Eine eingehende Analyse der Anordnung der Faltenstrukturen, der Brüche und horizontalen Verschiebungen weist eindeutig – das Strukturbild Israels erscheint fast modellmässig schön – auf NW-SE-Kompression hin; dies in bester Übereinstimmung mit den aktiven Verschiebungen in der Türkei. Auf Grund einer solchen Strukturanalyse darf im Bereich der Jordan Bruchzone eine linkshändige Horizontalverschiebung erwartet werden. Tatsächlich sprechen auch die faziellen Vergleiche nicht gegen eine solche Annahme. Im Gegenteil deuten sie übereinstimmend auf eine horizontale linkshändige Verschiebung von rund 100 km seit der Oberkreide (R. FREUND, 1961). A. M. QUENNEL (1958) kommt auf einen Verschiebungsbetrag von 107 km. Auf Grund der Faziesausbildung der Trias- und Jurasedimente, marin im NNW und kontinental im SSE (vgl. Abb. 10) könnte möglicherweise auf einen noch grösseren Verschiebungsbetrag von 150–160 km geschlossen werden (mündliche Mitteilung von Dr. L. WYSSLING). In einer neuesten Arbeit, welche eine übersichtliche Zusammenfassung und Darstellung der lithologischen und faziellen Zusammenhänge gibt, kommt R. FREUND (1964) unter Berücksichtigung der schon ursprünglich generell SW-NE verlaufenden Isofazieslinien auf einen effektiven Verschiebungsbetrag von 70–80 km.

Die Jordan Bruchzone ist auch heute noch aktiv. Eine eindruckliche Photographie, mitgeteilt von F. E. ZEUNER (1955), zeigt tektonisch versetzte Treppenstufen zu einer Zisterne des Essener Klosters Khirbet Kumran auf der W-Seite des Toten Meeres. Das Kloster wurde im Jahr 31 vor Christus durch ein Erdbeben zerstört. Wahrscheinlich datiert die Versetzung der Treppenstufen aus dieser Zeit. Entlang einer N-S verlaufenden steilen Bruchfläche wurde die E-Seite um zirka 30 cm relativ abgesenkt und zugleich um einen geringeren Betrag relativ nach N verschoben.

Nach einer freundlichen Mitteilung von Dr. G. WIENER, Zürich, konnten auf Luftaufnahmen des Gebietes zirka 15 km S Sedom am Süden des Toten Meeres von N nach S folgend mehrere Wadis beobachtet werden, die alle an ein und derselben N-S verlaufenden Linie linkshändig versetzt erschienen. Die Wadis liegen in den pleistozänen Lisans beds. Ihr Lauf, generell W-E, schien um mehrere Zehner von Metern linkshändig versetzt. Eine rezente tektonische Versetzung erscheint nach Dr. G. WIENER wahrscheinlich, ist jedoch nicht gesichert, da das Gebiet in bezug auf diese Frage nicht näher untersucht wurde.

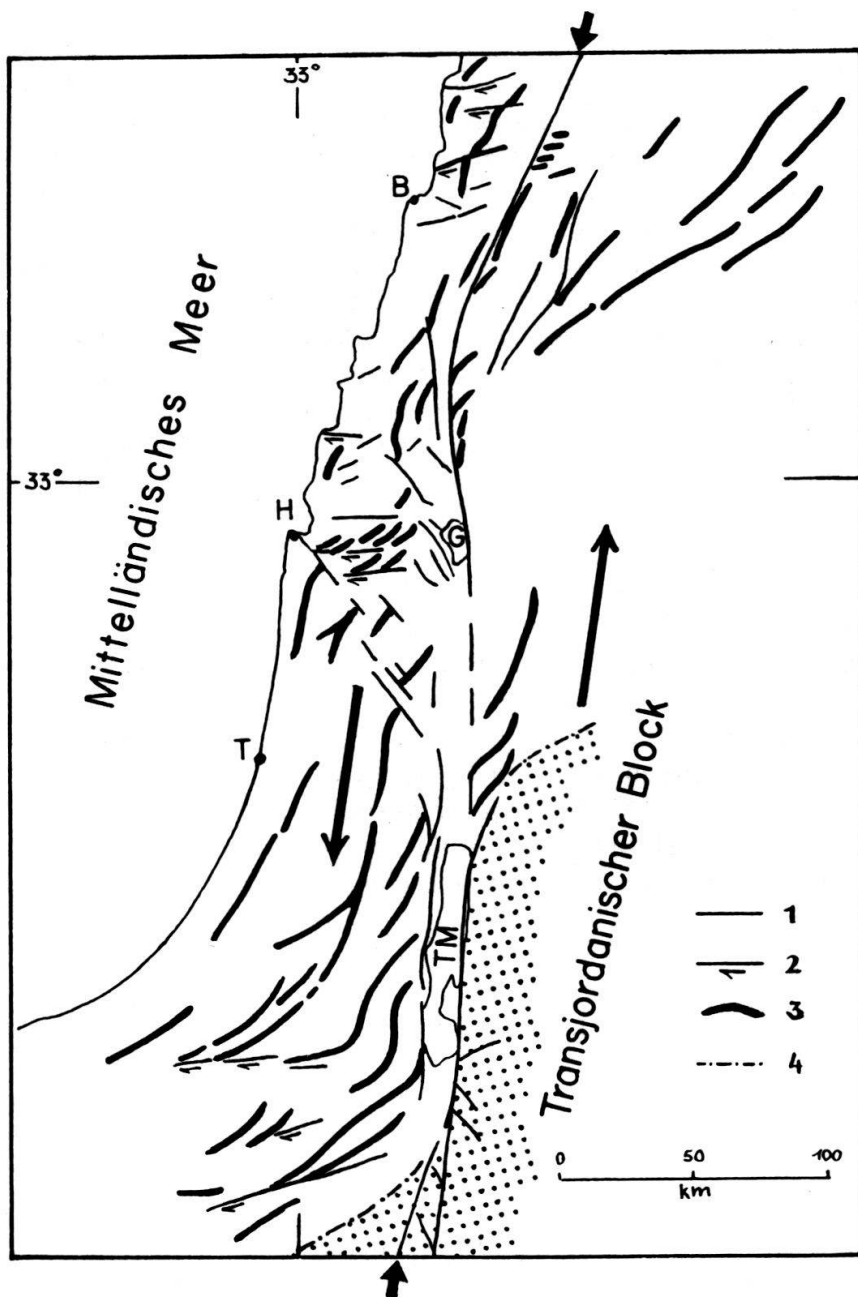


Abb. 10 - Schematische Darstellung der tektonischen Grundzüge Israels und seiner Umgebung (umgezeichnet nach A. J. VROMAN, 1957). 1 - Normale Verwerfungen; 2 - rechtshändige Horizontalverschiebungen; 3 - Faltenstrukturen; 4 - Grenze zwischen mariner und kontinentaler Ausbildung der Trias und des Jura. Marin im NW, kontinental (punktiert) im SE. Kurze, dicke Pfeile am Rand: Verlauf der Jordan Bruchzone. Die beiden grossen Pfeile sollen den Verschiebungssinn andeuten. B: Beirut; G: See Genezareth; H: Haifa; T: Tel-Aviv; TM: Totes Meer.

A. J. VROMAN (1963) ist der Auffassung, dass lediglich der Verlauf der Jordanzone durch N-S gerichtete Scherungslinien geschaffen wurde, die aktiv waren bevor der Graben einzusinken begann.

#### TÜRKEI

Eine Bruchzone erster Ordnung zieht sich in leicht bogenförmigem Verlauf in E-W-Richtung durch das nördliche Kleinasien. An ihr vollzog sich in den letzten 25 Jahren ein grossartiger Verschiebungsvorgang, wie er in seiner Eindrücklichkeit kaum zu übertreffen sein dürfte. Der Vorgang begann mit dem Beben von Erzincan am 27./28. Dezember 1939 (vgl. Abb. 11). Von Erzincan aus bildete sich während dieses Bebens eine Bruchlinie an der Erdoberfläche in WNW-Richtung von zirka 340 km Länge. Dabei verschob sich die Südseite, also das Hochland Anatoliens, relativ zum Pontischen Gebirge rechtshändig gegen W und wurde zugleich um zirka 1 m relativ gehoben. 1942, 1943 und 1944 setzte sich der Verschiebungsvorgang sukzessive um 35 km, 280 km

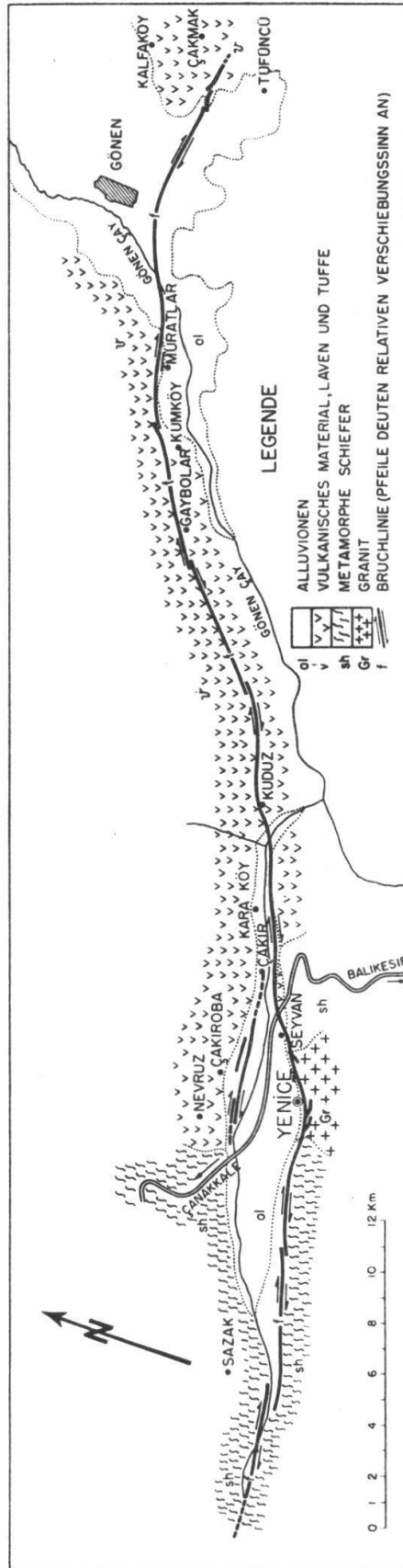
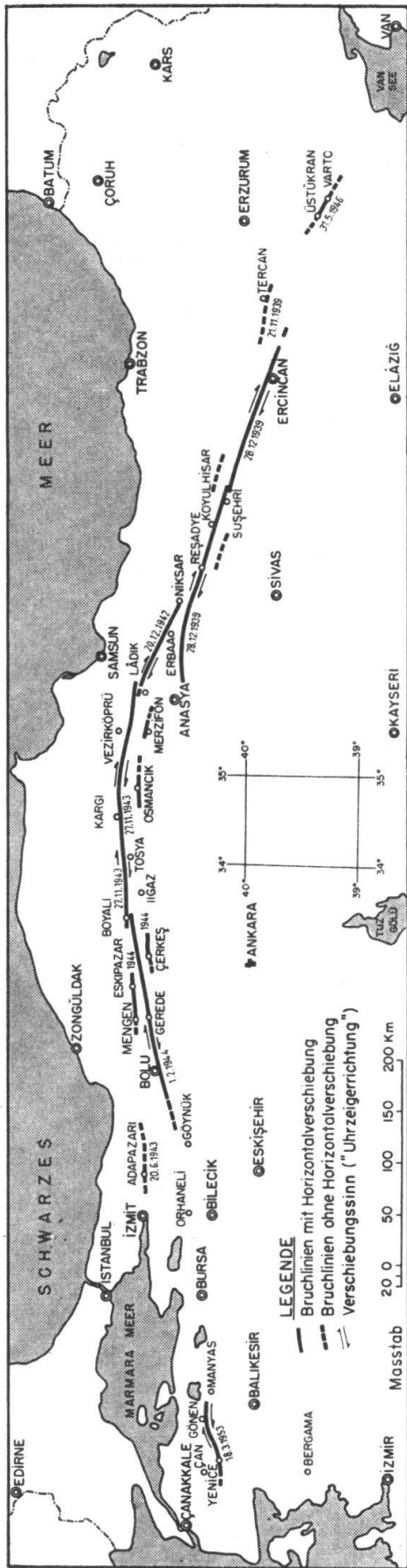


Abb. 11 – Oben: Karte der 1939 bis 1953 aktiven Brüche Nordanatoliens. Unten: Karte des Bruches von Gönen-Yenice, Erdbeben vom 18. März 1953. Beide Karten nach I. KETIN & F. RÖSLI, 1954.

und 180 km weiter nach W fort mit rechtshändigen Verschiebungsbeträgen von 1–3,5 m und unter Absenkung der N-Seite um 0,4–1 m.

Am 18. März 1953 erfolgte in NW-Anatolien das Beben von Yenice-Gönen. Die Länge der Bruchlinie, die in WSW–ENE-Richtung verlief, betrug 50 km. Versetzungsbeträge, durchwegs rechtshändig, von 1,5–4,3 m wurden festgestellt (I. KETIN & F. RÖSLI, 1954). Am 26. Mai 1957 ereignete sich E Adapazari ein weiteres Beben, begleitet von Brüchen mit rechtshändigem Verschiebungssinn. Ohne Zweifel ist diese ganze Bebenserie bedingt durch einen gewaltigen Bewegungsvorgang, der sich im Erdmantel unter Kleinasien abspielt.

Die Nordanatolische Horizontalverschiebungszone besitzt eine Länge von 1400 km. Sie ist geomorphologisch sehr ausgeprägt. Verlauf und Bewegungssinn der Zone stehen in guter Übereinstimmung mit dem tektonischen Verformungsbild der Türkei. Tektonisches Verformungsbild und Faziesverteilung lassen auf einen Verschiebungsbetrag von 270 km schliessen. Diesbezüglich sei auf die frühere Arbeit des Verfassers (1961 b) hingewiesen.

#### MALTA

Nach einer freundlichen Mitteilung von Herrn D. RIGASSI, Genève, sind auf Malta neolithische Wagenradspuren, die durch die Steinräder in die miozänen Kalkflächen eingeschnitten wurden, durch rezente WSW–ENE verlaufende Brüche versetzt. Das Alter dieser Wagenradspuren wird auf 2700 Jahre vor Christus geschätzt. Die vertikalen Versetzungen erreichen Beträge von 2–3 m, NW-Seite abgesenkt, die horizontalen Verschiebungen linkshändig 0,5–1 m.

### III. Ergebnisse

1. Horizontalverschiebungen entlang steilstehenden, tiefreichenden Brüchen spielen im heutigen tektonischen Geschehen eine sehr bedeutsame Rolle.

2. Es bestehen in der Erdkruste langgestreckte, geradlinig bis leicht bogenförmig verlaufende Horizontalverschiebungszonen, die nachgewiesene Längserstreckungen von 1000–2000 km erreichen (Türkei, Turkestan, Philippinen, Kalifornien, Chile, Neuseeland).

3. Der Verschiebungsvorgang in einer Verschiebungszone ist einheitlich und für die bis jetzt bekannten Fälle mindestens seit dem Jung-Quartär derselben wie heute. Auf Grund eindeutig nachweisbarer rezenter und pleistozäner Verschiebungen kann in den genannten Horizontalverschiebungszonen heute und für das Quartär mit einer horizontalen Verschiebungsgeschwindigkeit von einem bis wenigen Metern pro Jahrhundert gerechnet werden ( $3 \cdot 10^{-8}$  bis  $1 \cdot 10^{-7}$  cm sec<sup>-1</sup>).

4. Aus Verschiebungssinn, Ausdehnung und Verlauf der Horizontalverschiebungszonen geht hervor, dass heute grosse Abschnitte der Erdkruste, von der Grössenordnung  $5 \cdot 10^6$  km<sup>2</sup>, unter einheitlichem Verformungszustand stehen. Die Änderung des Verformungszustandes erfolgt graduell.

5. Die tektonische Strukturanalyse (vgl. Abb. 1) des känozoischen Verformungsbildes zeigt in allen Fällen, in denen eine solche überhaupt möglich war, prinzipielle Übereinstimmung mit dem heutigen Verschiebungsvorgang, dies ganz besonders eindrücklich in Kalifornien, Venezuela, Trinidad, Neuseeland, Turkestan und der Türkei. Aus dieser Tatsache folgt, dass der Verschiebungsvorgang wenigstens in diesen Gebieten offenbar seit mehreren Millionen Jahren in prinzipiell gleichem Sinn wie heute andauert.

6. Es erscheint von den heutigen Bewegungen aus gesehen durchaus verständlich, wenn in gewissen Zonen seit Beginn des Tertiärs horizontale Verschiebungsbeiträge von mehreren hundert Kilometern gefunden werden sollten.

7. Die Verschiebungen in den grossen Horizontalverschiebungszonen sind Ausdruck

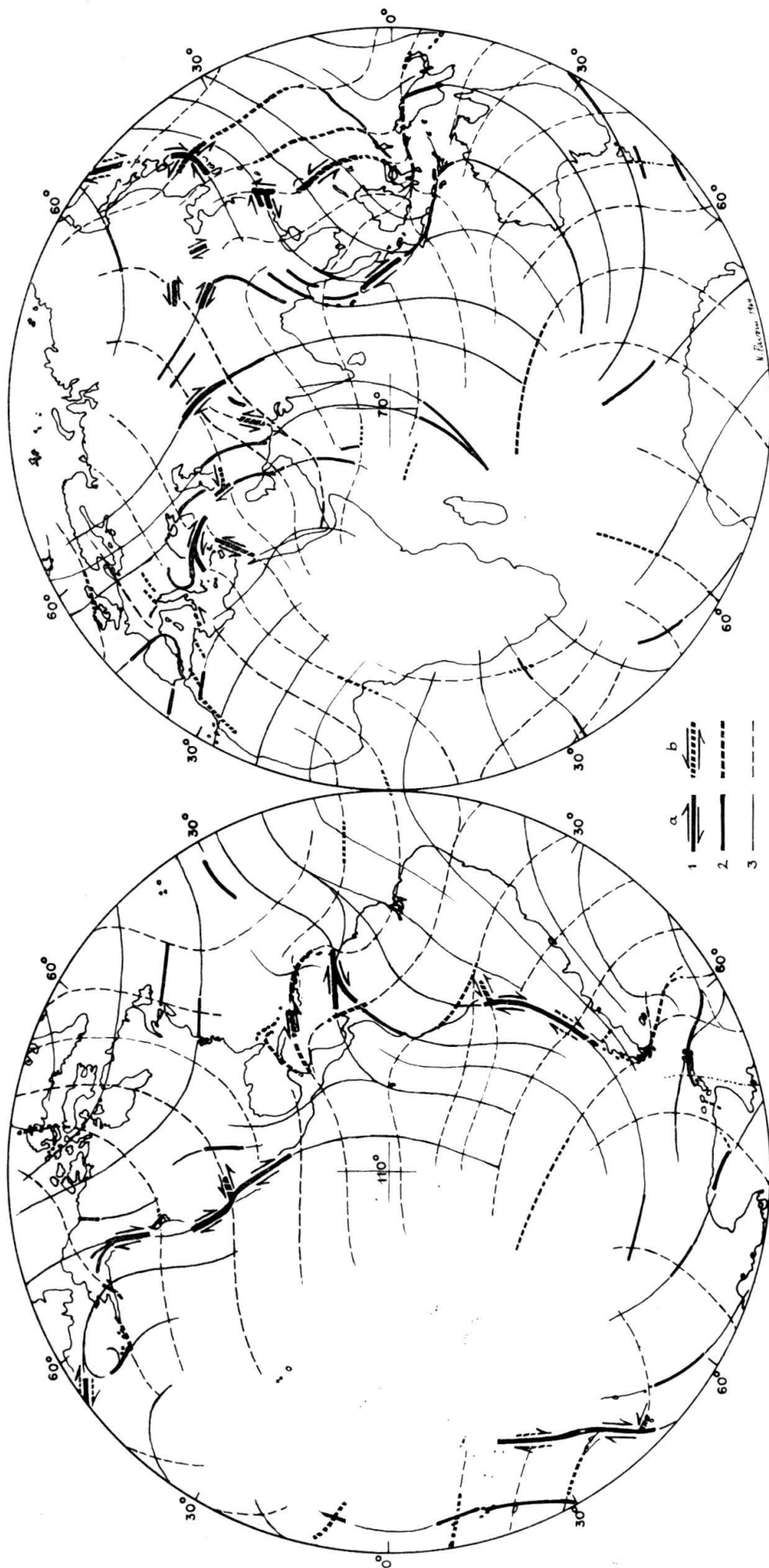


Abb. 12 - Versuch einer Verbindung der aktiven Horizontalverschiebungszonen unter Berücksichtigung des känozoischen Verformungsbildes zu einem erdumfassenden Gleitliniennetz. 1 - aktive Horizontalverschiebungszonen; Pfeile gestrichelt: Verlauf und Verschiebungssinn ermittelt auf Grund seismologischer Untersuchungen; 2 - Verschiebungsrichtung ermittelt auf Grund tektonischer Strukturanalyse und Interpretation untermeerischer Topographie; 3 - hypothetische Verbindungslinien; a - Verschiebungssinn rechtshändig; b - Verschiebungssinn linkshändig.

von Bewegungsvorgängen, die grosse Teile der Erdkruste und auch den Erdmantel erfassen. Grosse Massen sind daran beteiligt. Es ist aus diesem Grunde anzunehmen, dass der Bewegungssinn nicht so ohne weiteres geändert wird.

#### IV. Die Anordnung der Horizontalverschiebungszonen auf der Erdoberfläche

In Abbildung 12 wurden die dem Verfasser bekannt gewordenen, aktiven Horizontalverschiebungszonen mit dicken Strichen eingetragen, ausgezogen die rechtshändigen, unterbrochen die linkshändigen. Es stellte sich die Frage, ob es möglich sein würde, nach dem derzeitigen Stand der Kenntnisse diese Verschiebungen in ein System einzuordnen. Dass es sich nicht um eine beliebige, willkürliche Anordnung handeln würde, stand nach den in Kapitel III erhaltenen Ergebnissen fest. Ermutigt durch die in Kapitel III unter Punkt 5 genannte Tatsache, wurde versucht, die känozoischen Verformungsbilder nach dem HV-Prinzip (s. S. 56) zu analysieren und die so erhaltenen Verschiebungsrichtungen und Gleitlinien in das Bild einzutragen. Die Abschnitte, die auf Grund der tektonischen Strukturanalysen und der Interpretation der untermeerischen Topographie gewonnen wurden, sind im Gleitliniennetz durch kräftigere Strichführung besonders hervorgehoben. Eine weitere Hilfe bildete der Umstand, dass offenbar (vgl. Kapitel III, Punkt 4) der Krümmungsradius nicht beliebig kleine Werte erreichen kann. Er scheint, abgesehen von gewissen Abschnitten in den stark mobilisierten Scherzonen im alpidischen Gebirgsgürtel, wo er ausnahmsweise auf zirka 100 km absinkt, kaum weniger als 2000 km zu betragen.

Das Gleitlinienbild zeigt bemerkenswerte Züge. Die beiden Gleitliniensysteme, deutlicher das rechtshändige System, scheinen von drei Zentren auszugehen: von einem Zentrum im zentralen Pazifik, von einem Zentrum im Gebiet SE-Afrika-Madagaskar und von einem Zentrum im nördlichen Polargebiet. Bei den rechtshändigen Verschiebungslinien scheint prinzipiell die Tendenz zu bestehen, dass sie von den genannten Zentren aus betrachtet nach links abgebogen erscheinen. Zahlreiche Vergleiche gleichartiger Situationen drängen sich bei näherer Betrachtung auf. Eine eingehende Betrachtung und Analyse des Bildes wird an anderer Stelle erfolgen.

\*

Zum Abschluss dieser Arbeit möchte ich auch an dieser Stelle Herrn Prof. Dr. F. Gassmann, Leiter des Instituts für Geophysik der ETH, für anregende Diskussionen und sein stetes Interesse, Herrn Dr. G. J. Lensen vom New Zealand Geological Survey, Lower Hutt, für die so freundliche Überlassung von wertvollen Unterlagen und Daten über Horizontalverschiebungen in Neuseeland, den Herren Dr. L. Kehrer, Olten, Dr. H. G. Kugler, Basel, und Dr. W. A. Mohler, Gelterkinden BL, für die vielen Hinweise und Erläuterungen, sowie für die Hilfe bei der Beschaffung schwer zugänglicher Literatur über aktive Horizontalverschiebungszonen in Venezuela, Trinidad und Kalifornien, Herrn D. Rigassi, Trelex VD, für die sehr interessanten Angaben und Unterlagen über Horizontalverschiebungen auf Malta und Kuba, Herrn Dr. A. Sacchi von der Hauptbibliothek der ETH, Zürich, für seine unermüdliche Hilfe bei der Übersetzung zahlreicher russischer Textstellen, und den Herren Dr. G. Wiener, Zürich, und Dr. L. Wyssling, Pfaffhausen ZH, für Darlegung und Diskussion der geologischen Verhältnisse in Israel herzlich danken.



## Literaturverzeichnis

- AKI, K. (1960): Further study of the mechanism of circum-Pacific earthquakes from Rayleigh waves' Journ. Geophys. Res. 65: 4165-4172.
- ALLEN, C. R. (1962): Circum-Pacific faulting in the Philippines-Taiwan region. Journ. Geophys. Res. 67/12: 4795-4812.
- (1963): Earthquakes and mountains around the Pacific. Eng. and Sc. Mag., Calif. Inst. Techn., 5 p.
- AMBRASEYS, N. N. (1963): The Buyin - Zara (Iran) earthquake of September, 1962, a field report. Bull. Seism. Soc. Am., 53/4: 705-740.
- ASHGIREI, G. D. (1963): Strukturgeologie. XVI + 472 S., Verlag der Wiss., Berlin.
- BENIOFF, H. (1957): Circum-Pacific tectonics. Publ. of the Dominion Observatory Ottawa, XX, No. 2, p. 395-402 (publ. 1959).
- BENIOFF, H., PRESS, F. & SMITH, S. (1961): Excitation of the Free Oscillations of the Earth by Earthquakes. Journ. Geophys. Res. 66/2: 605-629.
- BEN-MENACHEM, A. & TOKSÖZ, M. N. (1962): Source-mechanism from spectra of longperiod seismic surface-waves. I. The Mongolian Earthquake of December 4, 1957. Journ. Geophys. Res., 67/5: 1943-1955.
- BIQ, CH. (1960): Circumpacific tectonics in Taiwan. XXI. Internat. Geol. Congr. Copenhagen, Part XVIII: 203-214.
- BROWN, E. B. & WHITTEN, CH. A. (1961): Horizontal crustal movements in California. Rep. U. S. Coast and Geodetic Surv., Washington, 15 p.
- BUCHER, W. H. (1952): Geologic Structure and orogenic history of Venezuela. Geol. Soc. Am., Mem. 49.
- BURTMAN, V. S. (1961): About the Talaso-Ferghana wrench fault. Akad. Nauk USSR, Ser. geol., 12: 37-48.
- (1963): Talaso-Ferghana and San Andreas wrench faults. Akad. Nauk USSR, Geol. Inst., Heft 80: 128-150.
- BURTMAN, V. S., PEIVE, A. V. & RUZHENTZEV, S. V. (1963): Main wrench faults in Tien-Shan and Pamir. Akad. Nauk USSR, Geol. Inst., Heft 80: 152-172.
- CROWELL, J. C. (1962): Displacement along the San Andreas Fault, California. Geol. Soc. Am., Spec. Paper 71, 63 p.
- DURHAM, J. W. (1940): Oeloe Aer Fault Zone, Sumatra. Bull. Am. Ass. Petroleum Geol., 24: 359-362.
- FIEDLER, G. (1961): Areas afectadas por terremotos en Venezuela. Mem. III. Congr. Geol. Venezolano, IV: 1791-1814.
- FREUND, R. (1961): Distribution of Lower Turonian ammonites in Israel and the neighbouring countries. Bull. Res. Council. Israel, 10 G/1-2: 79-100.
- (1964): Structural development of Israel and adjacent areas since Upper Cretaceous times. Ver- vielf. Manuskript: 14 S.
- GANSSER, A. & HUBER, H. (1962): Geological observations in the Central Elburz, Iran. Schweiz. Min. Petogr. Mitt., 42/2: 593-630.
- HAMILTON, W. (1961): Origin of the Gulf of California. Bull. Geol. Soc. Am., 72: 1307-1318.
- HESS, H. H. & MAXWELL, J. C. (1953): Caribbean research project. Bull. Geol. Soc. Am., 64: 1-6.
- HILL, M. L. & DIBBLEE, T. W. Jr. (1953): San Andreas, Garlock and Big Pine Faults, California. Bull. Geol. Soc. Am., 64: 443-458.
- HODGSON, J. H. (1957): Nature of faulting in large earthquakes. Bull. Geol. Soc. Am., 68: 611-643.
- Hsu, T. L. (1962): Recent faulting in the Longitudinal Valley of eastern Taiwan. Mem. Geol. Soc. China, No. 1: 95-102.
- KETIN, I. & ROESLI, F. (1954): Makroseismische Untersuchungen über das nordwestanatolische Beben vom 18. März 1953. Eclogae geol. Helv. 46/2: 187-208.
- KIMURA, T. (1959): A sharp bent of the Median tectonic line and its relation to the Akaishi tectonic line. - Tectonic significances yielded by lateral faults. Jap. Journ. Geol. Geogr., 30: 215-232.
- (1961): The Akaishi tectonic line, in the eastern part of southwest Japan. Jap. Journ. Geol. Geogr. 32/1: 119-136.
- LENSEN, G. J. (1958 a): The Wellington Fault from Cook Strait to Manawatu Gorge. New Zealand Journ. Geol. Geophys., 1/1: 178-196.
- (1958 b): Note on fault correlation across Cook Strait. New Zealand Journ. Geol. Geophys. 1/2: 263-268.
- (1960): Principal horizontal stress directions as an aid to the study of crustal deformation. Publ. Dominion Obs. Ottawa, XXIV/10: 389-397.
- LI, S. (1954): Vortex structure and other problems relating to the development of geotectonic systems of northwestern China (I + II). Intern. Geol. Rev. 6: 953-978 und 1177-1216.
- MIYAMURA, S. (1962 a): Types of crustal movements accompanied with earthquakes. UGGI: I. Intern. Symp. über rezente Erdkrustenbewegungen, Leipzig 1962. Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin 1962/2: 235-251.

- (1962 b): Bibliography of Japanese contributions to the study of recent movements of the earth's crust, excluding investigations based on the continuous observations by tiltmeters, extensometers, etc. Sc. Council Jap., Tokyo, 23 p.
- MONTESUS DE BALLORE, F. de (1906): Les tremblements de Terre, Géographie séismologique. Paris, 1906, V + 475 p.
- NISHIMURA, E. (1962): Anomalous tilting movement of the ground observed before destructive earthquakes. UGGI: I. Intern. Symp. über rezente Erdkrustenbewegungen, Leipzig 1962, Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin, 1962/2: 214-234.
- PAVONI, N. (1961 a): Faltung durch Horizontalverschiebung. Eclogae geol. Helv., 54/2: 515-534.
- (1961 b): Die nordanatolische Horizontalverschiebung. Geol. Rundschau, 51: 122-139.
- (1962): Rotierende Felder in der Erdkruste. UGGI: I. Intern. Symp. über rezente Erdkrustenbewegungen, Leipzig 1962. Abh. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin, 1962/2: 257-270.
- PICARD, L. (1959): Geology and oil exploration of Israel (with Geol. Map. of Israel 1:500 000). Bull. Res. Council Israel, 8 G/1: 1-42.
- PRESS, F., BEN-MENACHEM, A. & TOKSÖZ, M. N. (1961): Experimental determination of earthquake fault length and rupture velocity. Journ. Geophys. Res., 66/10, 3471-3485.
- QUENNEL, A. M. (1958): The structural and geomorphic. evolution of the Dead Sea rift. Quart. Journ. Geol. Soc. London, CXIV: 1-24.
- RANNEFT, T. S. M., HOPKINS, R. M. Jr., FROELICH, A. J. & GWINN, J. W. (1960): Reconnaissance geology and oil possibilities of Mindanao. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 44/5: 529-568.
- REED, R. D. (1933): Geology of California. Am. Ass. Petr. Geol., Tulsa.
- REED, R. D. & HOLLISTER, J. S. (1936): Structural evolution of Southern California. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 20, 1529-1721.
- RICHTER, C. F. (1958): Elementary seismology. W. H. Freeman, San Francisco, 767 p.
- ROD, E. (1956 a): Strike-slip faults of northern Venezuela. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 40/3: 457-476.
- (1956 b): Earthquakes of Venezuela related to strike-slip faults? Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 40/10: 2509-2512.
- (1958): Application of principles of wrench-fault tectonics of Moody and Hill to northern South America. Bull. Geol. Soc. Am., 69: 933-936.
- (1959): West end of Serrania de Interior, eastern Venezuela. Bull. Am. Ass. Petr. Geol., 43/4: 772-789.
- RUNCORN, S. K., ed. (1962): Continental drift. XII + 338 p. Intern. Geophys. Ser., 3. Academic Press, New York.
- ST. AMAND, P. & ALLEN, C. R. (1960): Strike-slip faulting in northern Chile (abstract). Bull. Geol. Soc. Am., 71: 1965.
- SCHEIDEGGER, A. E. (1963): Principles of Geodynamics. 2nd ed. XII + 362 p., Springer Verlag, Berlin.
- SMITH, R. J. (1953): Geology of the Los Teques-Cua region, Venezuela. Bull. Geol. Soc. Am., 64/1: 41-64.
- SOLONENKO, V. P. (1959): The Gobi Altai earthquake of December 4, 1957. Izvestia Akad. Nauk USSR, Geol. ser. 1959/7 (Engl. transl. Am. Geol. Inst. Washington 1961: 26-32).
- STEINBRUGGE, K. & ZACHER, E. G. (1960): Fault creep and property damage. Bull. Seism. Soc. Am., 50/3: 389-415.
- STÖCKLIN, J., RUTTNER, A. & NABAVI, M. (1964): New data on the Lower Paleozoic and Pre-Cambrian of north Iran. Geol. Survey of Iran, Rep. No. 1, 29 p.
- SUTER, H. H. (1955): Present tectonic activity in Trinidad, B. W. I. Geol. Rdsch., 43/1: 264-265.
- TOCHER, D. (1960 a): The Alaska earthquake of July 10, 1958: Movement on the Fairweather Fault. a. Field investigation of southern epicentral region. Bull. Seism. Soc. Am., 50/2: 267-392.
- (1960 b): Creep rate and related measurements at Vineyard, California. Bull. Seism. Soc. Am., 50, No. 3: 389-415.
- TSUBOI, CH. (1939): Deformations of the earth's crust as disclosed by geodetic measurements. Ergebnisse Kosm. Phys., IV: 106-168.
- VROMAN, A. J. (1957): Strike-slip movements, their associated features and their occurrence in Israel. XX. Congr. Geol. Intern., Mexico, Sec. V/2: 399-408.
- (1961): On the Red Sea rift problem. Bull. Res. Council Israel, 10 G/1-2: 321-338.
- (1963): The Ramon fold in its Levantine setting. Israel Journ. Earth-Sc., 12/2: 1 p.
- WELLMANN, H. W. (1952): The Alpine Fault in detail: River terrace displacement at Marnia River. N. Z. Journ. Science & Techn., B 33: 409-414.
- (1953): Data for the study of recent and Late Pleistocene Faulting in the South-Island of New Zealand. N. Z. Journ. Sc. Techn., B 34 (4): 270-288.
- (1955): New Zealand Quaternary tectonics. Geol. Rdsch., 43/1: 248-257.
- WILSON, C. C. (1958): The Los Bajos Fault and its relation to Trinidad's oil field structures. Journ. Inst. Petrol., 44: 124-136.
- ZEUNER, F. E. (1955): Recent movement on the western fault of the Dead Sea rift. Geol. Rdsch. 43/1: 3.