

Erdbeben im Gebiet der Schweiz

Autor(en): **Pavoni, Nazario**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **70 (1977)**

Heft 2

PDF erstellt am: **25.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164625>

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.

Erdbeben im Gebiet der Schweiz¹⁾

Von NAZARIO PAVONI

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Karte der historischen Seismizität der Schweiz (Tafel) im Maßstab 1:1000000 wird vorgelegt. Sie basiert auf makroseismischen Beobachtungen aus einem Zeitraum von annähernd 700 Jahren. Die Erdbeben werden nach ihrer Epizentral-Intensität in vier Kategorien gegliedert. Die Karte bringt Beben aus zwei verschieden langen Zeitspannen zur Darstellung. Für die starken Beben (Kategorien *A* und *B*) umfasst der Zeitraum der Beobachtung die Jahre von 1295 bis 1971, für die schwachen und lokalen Beben (Kategorien *C* und *D*) die Jahre von 1855 bis 1971. Eine N-S verlaufende Zone geringer Seismizität umfasst das zentrale Mittelland, das Aar-Massiv und das Gebiet des Kantons Tessin (Fig. 1, Zone I, Regionen 9-12). Sie entspricht einer Kulminations- und Schwellenzone. N-S verlaufende Zonen stärkerer seismischer Aktivität liegen im Gebiet der Westschweiz (Fig. 1, Zone II, Regionen 1-4) und in der östlichen Schweiz (Fig. 1, Zone III, Regionen 5-7). Eine weitere Zone relativ starker Seismizität streicht dem Nordabfall der autochthonen Massive (Aiguilles-Rouges-Massiv-Aar-Massiv) entlang und verbindet sich weiter gegen E mit der seismisch aktiven Zone von Vorarlberg-Innsbruck (Fig. 1, schraffierte Zone). Die in der Schweiz im Zeitraum von 800 bis 1971 beobachteten maximalen Erdbeben-Intensitäten sind in Figur 2 dargestellt.

Die Herde schweizerischer Beben liegen in 1-30 km Tiefe, die meisten in Tiefen bis 15 km. Aufgrund von herdmekanischen Untersuchungen lässt sich nachweisen, dass eine gewisse seismische Aktivität mit Bewegungen an bestimmten Bruchsystemen, wie zum Beispiel mit den Horizontalverschiebungen im Jura (Fig. 3, 4) und dem WNW-ESE-Bruchsystem des Bodenseegebietes (Fig. 5), in Verbindung zu bringen ist. *P*-Achsen, abgeleitet aus Herdlösungen von 15 Erdbeben (Fig. 6), deuten auf eine NNW-SSE- bis NW-SE-Orientierung der maximalen horizontalen Druckspannung in der oberen Kruste.

ABSTRACT

Earthquakes in Switzerland. A map of historical seismicity of Switzerland, scale 1:1000000, is presented (Plate). It is based on macroseismic observations and covers a time span of nearly 700 years. The earthquakes shown on the map belong to two different periods of time: In the case of strong earthquakes (Cat. *A* and *B*) the period of observation is from 1295 to 1971, and for the weak and local earthquakes (Cat. *C* and *D*) the period of observation is from 1855 to 1971. Regions and zones of differing seismic activity can be recognized. It is of interest to note that a similar distribution of seismically active and less active regions shows up both in the distribution of stronger earthquakes (Cat. *A* and *B*) and in the distribution of weak and local events (Cat. *C* and *D*). A zone of relatively low seismicity trends N-S from the Schwarzwald to the Tessin area (Fig. 1, Zone I, Regions 9-12). N-S trending zones of higher seismic activity are indicated in western Switzerland (Fig. 1, Zone II, Regions 1-4) and in eastern Switzerland (Fig. 1, Zone III, Regions 5-7). A zone of relatively high seismicity extends along the strike of the Alps on the northern border of the autochthonous massifs (Aiguilles Rouges Massif-Aar Massif) into the Vorarlberg seismic zone (Fig. 1, hatched area). This is probably related to the important Cenozoic hinge zone between Alps and Molasse foredeep. A generalized map of maximum intensities, observed in the time-period from 800 to 1971, is reproduced in Figure 2.

¹⁾ Mitteilung Nr. 161 aus dem Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, CH-8093 Zürich (Schweiz).

Most of the earthquakes have their origin in the upper crust in a depth range of 1–30 km. In a few kilometers depth the conventional tectonic picture as derived from surface geology is often considerably modified, e.g. 3 km below the actual surface the folds of the Jura Mountains have disappeared. Also there are good reasons to assume that there is a more intensive, small-scale fracturing of the rocks than shown on geological maps. It is very difficult to attribute a single seismic event to a distinct mapped fault. Nevertheless, there are indications from focal mechanism studies and epicenter locations that seismic activity is associated with certain fault systems, such as the strike-slip faults in the Jura Mountains (Fig. 3, 4), faults of the eastern Rhine Graben and Dinkelberg areas and the WNW-ESE fault system in the Lake of Konstanz area (Fig. 5). The *P*-axes from focal mechanisms of 15 earthquakes from in and around Switzerland (Fig. 6) reveal a NNW-SSE to NW-SE orientation of maximum horizontal compressive stress in the upper crust.

I. Einführung

Die Karte «Erdbebenzentren im Gebiet der Schweiz» 1:1000000 (s. Tafel) vermittelt ein Bild der Seismizität der Schweiz seit Ende des 13. Jahrhunderts bis und mit dem Jahr 1971. Sie umfasst somit, was die stärkeren Beben betrifft, einen Zeitraum von rund 700 Jahren.

Als Quellen dienten in erster Linie die Arbeiten und Beobachtungen über Erdbeben, die in den Berichten der Schweizerischen Erdbebenkommission (1878–1912) und in den Jahresberichten und im Archiv des Schweizerischen Erdbebendienstes (seit 1913) enthalten sind, sowie ältere Berichte und Chroniken. Besonders erwähnt seien an dieser Stelle die Arbeiten von VOLGER (1858), CANDREIA (1906), MONTANDON (1943) und WANNER (1932*a*, 1945), in denen eine grosse Zahl von Literaturhinweisen enthalten ist. Einen Überblick über die Geschichte der Erdbebenforschung in der Schweiz gibt PAVONI (1964). Die hier reproduzierte Karte stellt im Prinzip eine Weiterführung der im «Atlas der Schweiz», Blatt 10, Geophysik, enthaltenen «Karte der Erdbebenzentren» 1:1250000 dar.

Die vorliegende Karte beruht im wesentlichen auf makroseismischen Daten. Daher die Bezeichnung Erdbebenzentren – nicht Epizentren –, um die Abhängigkeit von der Besiedlungsdichte anzudeuten. Das Jahr 1971 als abschliessendes Jahr wurde nicht zufällig gewählt. Ab 1972 wurde mit dem raschen systematischen Aufbau eines modernen Stationsnetzes des Schweizerischen Erdbebendienstes und mit der Beschaffung mobiler Mikroerdbeben-Stationen eine neue Phase der Erdbebenbeobachtung und -erforschung eingeleitet. Die vermehrte Zahl von Stationen erlaubt es, zahlreichere und wesentlich schwächere Beben zu registrieren und zu lokalisieren. Sämtliche Epizentren werden von nun an instrumentell bestimmt (vgl. Jahresberichte 1972, 1973, 1974 des Schweizerischen Erdbebendienstes).

Leider konnten die an die Schweiz angrenzenden Gebiete nicht in die Darstellung mit einbezogen werden.

II. Darstellung der Erdbeben

Für die Darstellung der Erdbeben wurden als Signaturen Punkte, Kreise und Kreisflächen verwendet. Ihre Lage wurde aufgrund der Verteilung der beobachteten grössten Intensitäten eines Bebens ermittelt und dürfte in den meisten Fällen nur

angenähert den Epizentren der Beben entsprechen. Da es aufgrund der überlieferten Angaben oft nicht möglich ist, einem Ereignis eine ganz bestimmte Epizentral-Intensität zuzuordnen, wurde für die Darstellung der Beben eine vereinfachte Gliederung vorgenommen. Die Beben wurden nach ihrer Stärke im Epizentralgebiet in vier Kategorien eingestuft:

- Kat.A: *Beben mit schweren Bauschäden* (unbewohnbare Häuser): grosse, schwarze Kreisflächen. Epizentral-Intensität I_0 (nach MSK-Skala, vgl. SPONHEUER 1965): $VIII \leq I_0 < X$. In der Karte sind sieben solche Beben mit Jahreszahl aufgeführt. Zeitraum der Beobachtung: 1295–1971.
- Kat.B: *Beben mit leichten Bauschäden* (Abwurf von Kaminen, leichtere Mauerrisse): kleine, schwarze Kreisflächen. Epizentral-Intensität I_0 : $VI \leq I_0 < VIII$. Zeitraum der Beobachtung: 1295–1971.
- Kat.C: *Beben ohne Bauschäden* (Schüttergebiet grösser als 100 km², oft mehrere tausend km²): schwarze Kreise. Epizentral-Intensität I_0 : $IV \leq I_0 < VI$. Zeitraum der Beobachtung: 1855–1971.
- Kat.D: *Lokalstösse* (nur lokal und schwach verspürt): schwarze Punkte, graue Kreisflächen. Zeitraum der Beobachtung: 1855–1971. Bei grösserer Anzahl wurden die Lokalstösse einer Lokalität in grauen Kreisflächen zusammengefasst.

Die den Kategorien zugeschriebenen Intensitätsbereiche sind generelle Abschätzungen. Es ist zu beachten, dass die Karte Beben aus zwei verschiedenen langen Zeitspannen zur Darstellung bringt: Für die starken Beben, Kategorien *A* und *B*, umfasst der Zeitraum die Jahre von 1295 bis und mit 1971, somit annähernd 700 Jahre. Für diesen Zeitraum dürfte ein guter Teil aller stärkeren Beben, Kategorien *A* und *B*, die sich im Gebiet der Schweiz ereigneten, erfasst sein. Die in der Karte dargestellten schwächeren Beben, Kategorien *C* und *D*, fallen in den Zeitraum von 1855 bis und mit 1971, somit in eine wesentlich kürzere Zeitspanne. Sie dürften aber für diesen Zeitraum annähernd vollständig erfasst sein.

III. Versuch einer seismischen Regionalisierung

Wie bereits erwähnt, beruht die Karte im wesentlichen auf makroseismischen Beobachtungen. Die Position der Signaturen entspricht nur angenähert der Lage der Epizentren. Auffallend ist die starke Streuung der Bebenzentren. Der Einfluss der Bevölkerungsdichte auf die Zentrenverteilung ist unverkennbar. Er kommt besonders im Gebiet der Alpen deutlich zum Ausdruck, wo sich die Bebenzentren in den grossen Alpentälern auffallend häufen. Die Besiedlungsdichte dürfte vor allem im lokalen Bereich, d.h. 10–20 km in der Umgebung dichter besiedelter Gebiete, das Verteilungsbild der Zentren beeinflussen. Regionale Unterschiede in der Seismizität, welche in der Karte zum Ausdruck kommen, dürften dagegen nur unwesentlich durch Unterschiede in der Bevölkerungsdichte beeinflusst sein, da die Schweiz seit vielen Jahrhunderten durchgehend und relativ stark besiedelt ist. Die auffallend geringe Zahl von Erdbebenzentren und das Fehlen von Beben der Kategorien *A* und *B* im zentralen schweizerischen Mittelland zwischen der Reuss im

Osten und der Grossen Emme im Westen, zum Beispiel, ist als Ausdruck tatsächlich geringerer seismischer Aktivität dieses Gebietes während der genannten Beobachtungsperioden zu interpretieren, da die Besiedlungsdichte dieses Gebietes sich in den vergangenen Jahrhunderten kaum wesentlich von derjenigen des westlichen und östlichen schweizerischen Mittellandes unterschieden haben dürfte.

Im Zusammenhang mit dem Versuch einer seismischen Regionalisierung und ganz besonders im Hinblick auf eine Abschätzung des Erdbebenrisikos stellt sich die Frage, inwieweit eine Beobachtungsperiode von 700 oder 1000 Jahren genügt, um ein charakteristisches Bild der Seismizität eines grösseren Gebietes zu erhalten. Am Beispiel der vorliegenden Seismizitätskarte der Schweiz, die ein relativ weit zurückreichendes, homogenes Datenmaterial beinhaltet, erscheint folgende Tatsache bemerkenswert: Diejenigen Gebiete, in welchen stärkere Beben (Kategorien *A* und *B*; 1295–1971) auftreten, zeichnen sich auch durch ein häufigeres Vorkommen von schwächeren Beben (Kategorien *C* und *D*; 1855–1971) aus. Daraus liesse sich folgende Regel und Arbeitshypothese ableiten: 1. Gebiete, in welchen in historischer Zeit stärkere Beben ($I_0 \geq VI$) beobachtet wurden, zeichnen sich gegenüber ihrer Umgebung auch durch ein häufigeres Auftreten von schwächeren Beben aus. In logischer Weiterführung würde das heissen: 2. Gebiete, welche sich über mehrere Jahre und Jahrzehnte gegenüber ihrer Umgebung durch ein häufigeres Auftreten von schwachen Beben auszeichnen, sind zugleich Gebiete erhöhter Erwartung stärkerer Beben. Ein solcher gebietsweiser Zusammenhang zwischen habituell erhöhter Frequenz schwacher Beben und dem Auftreten starker Beben lässt sich am Beispiel der Schweiz nachweisen und erlaubt es, den Versuch einer generellen Unterteilung in seismisch verschieden aktive Regionen zu unternehmen (s. Fig. 1).

Abgrenzung und Numerierung der einzelnen Regionen wurden so gewählt, dass damit das Gesamtgebiet der Schweiz vollständig erfasst wurde und zugleich die später (Kap. V, S. 357ff.) zu erläuternden regionaltektonischen Zusammenhänge nach Möglichkeit mit berücksichtigt sind. Folgende Regionen der Schweiz sind durch relativ starke Seismizität ausgezeichnet:

- Region 1:* Mittelwallis
- Region 2:* Unterwallis, Waadtländer Alpen, westliches Berner Oberland
- Region 3:* Westliches Mittelland und innere Juraketten, westlich einer Linie Gantrisch–Bern–Solothurn
- Region 4:* Gebiet von Basel und Umgebung
- Region 5:* Zentraler und östlicher Kanton Graubünden
- Region 6:* Gebiet nördlich des Vorderrheins, Glarner Alpen, St. Galler Oberland, Gebiet von Sargans, Alpstein, St. Gallisches Rheintal
- Region 7:* Ostschweizerisches Mittelland östlich der Reuss, Kanton Schaffhausen, Bodenseegebiet
- Region 8:* Unteres Simmental, Thunerseegebiet, Unterwalden, Urnersee, Altdorf und Umgebung

Innerhalb jeder dieser Regionen lassen sich gewisse Schwerpunkte seismischer Aktivität erkennen, ebenso auch Teilgebiete mit einer geringen Zahl von Bebenentzungen.

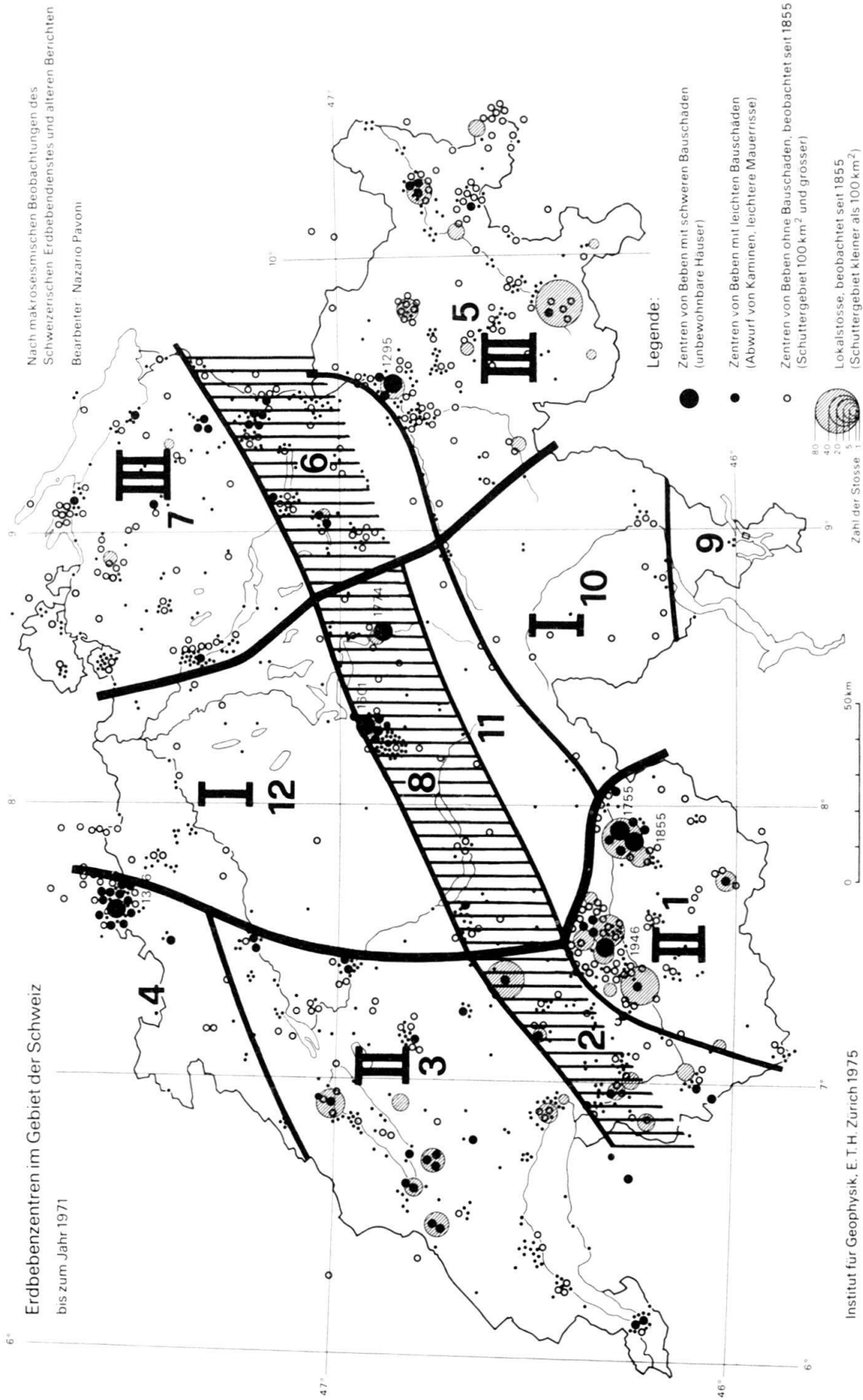


Fig. 1. Seismische Regionen und Zonen im Gebiet der Schweiz.

- I = Seismisch relativ starke Zentralzone
 - II = Seismisch aktive Zone der westlichen Schweiz
 - III = Seismisch aktive Zone der östlichen Schweiz
- 1-8 = Regionen relativ starker Seismizität
 9-12 = Regionen relativ schwacher Seismizität
 Schraffiert = Seismisch aktive Längszone am Nordabfall der autochthonen Massive.

Regionen mit auffallend schwacher seismischer Aktivität sind:

Region 9: Südtessin

Region 10: Mittlerer und nördlicher Kanton Tessin, Oberalp-Gebiet, westliche Adula-Alpen

Region 11: Oberwallis, südliches Berner Oberland, südliche Urner Alpen

Region 12: Zentrales schweizerisches Mittelland, östlicher Faltenjura und aargauischer Tafeljura

Es ist von Interesse festzuhalten, dass die Verteilung der Epizentren der in den Jahren 1972–1975 durch den Schweizerischen Erdbebendienst im Gebiet der Schweiz instrumentell beobachteten und lokalisierten, vielfach sehr schwachen, nicht verspürten Beben (MAYER-ROSA et al. 1974, 1975) ein ähnliches Bild der Verteilung seismischer Aktivität erkennen lässt, wie es aus der vorliegenden Karte abgeleitet wurde.

IV. Maximale Erdbeben-Intensitäten

In diesem Zusammenhang und in Ergänzung der Ausführungen über die Seismizität der Schweiz sei an dieser Stelle auch die Frage der in der Schweiz beobachteten und zu erwartenden maximalen Erdbeben-Intensitäten kurz diskutiert. Die in Figur 2 dargestellte «Karte der maximalen Erdbeben-Intensitäten im Gebiet der Schweiz» erfasst im wesentlichen die seit dem 9. Jahrhundert bekannt gewordenen stärksten und starken Erdbeben ($I_0 \geq VI$) im Gebiet der Schweiz sowie

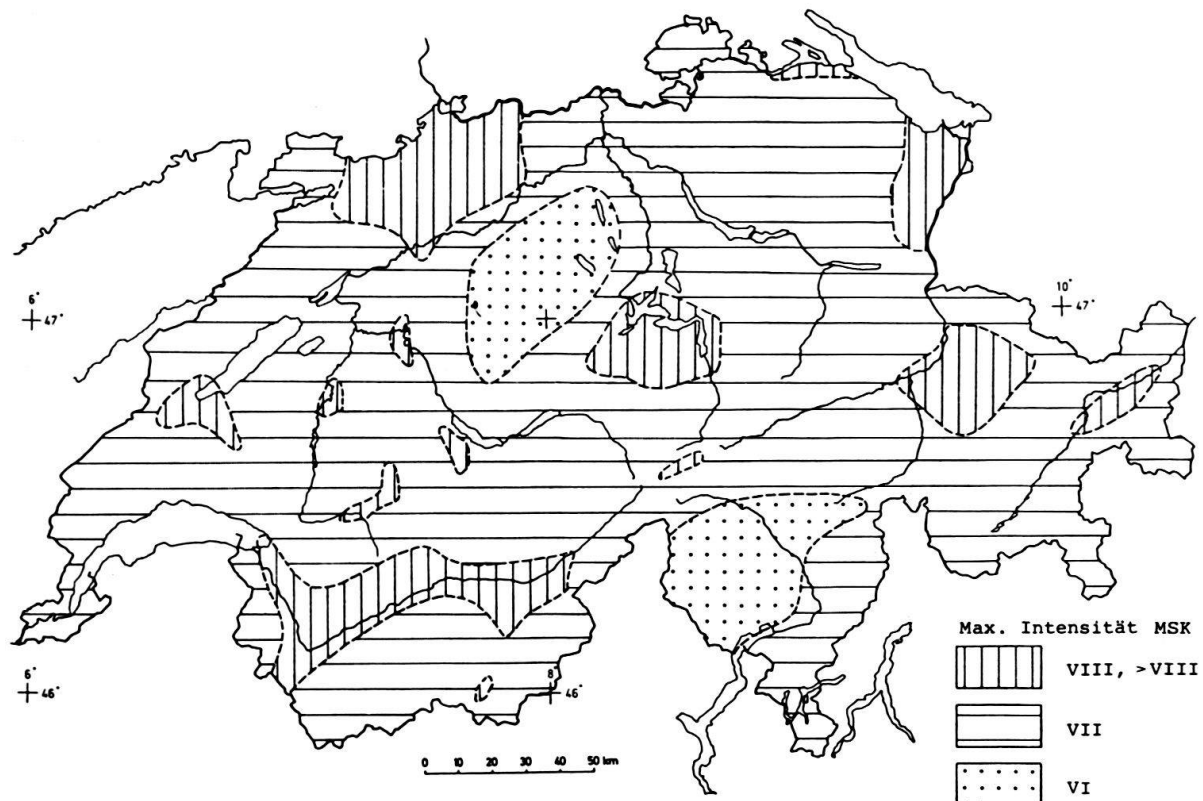


Fig. 2. Maximale Erdbeben-Intensitäten im Gebiet der Schweiz im Zeitraum 800–1972.

die Bebenwirkungen von starken Beben der Nachbarländer aufgrund der einleitend genannten Quellen. Sie erfasst somit die starken Beben während eines Zeitraumes von annähernd zwölf Jahrhunderten. Die Intensitätswerte basieren auf der im Auftrag der Europäischen Seismologischen Kommission (ESC) neu bearbeiteten zwölfteiligen Intensitäts-Skala (MSK-Skala, SPONHEUER 1965). Diese ist praktisch identisch mit der Modified-Mercalli-Intensitäts-Skala (MM-Skala, WOOD & NEUMANN 1931) und der Mercalli-Sieberg-Skala (SIEBERG 1923).

Die Wahl der Signaturen zu den entsprechenden Intensitäten folgt im Prinzip den Vorschlägen der Arbeitsgruppe für seismische Zonierung der ESC. Das vertikal schraffierte Gebiet umfasst diejenigen Gebiete, in welchen die maximale Intensität den Grad VIII oder >VIII erreichte. Ein Gebiet der Intensität IX liess sich nicht ausscheiden. Das horizontal schraffierte Gebiet, maximale Intensität VII, erfasst annähernd die ganze Schweiz. Im Napfgebiet und seiner Umgebung sowie im nördlichen Kanton Tessin wurde offenbar die Intensität VII im Laufe der letzten tausend Jahre nicht erreicht. Beides sind Gebiete mit geringer Seismizität (s. oben, Regionen 10 und 12). Die Beurteilung der Intensitäten aufgrund historischer Berichte und die flächenhafte Ausscheidung und Abgrenzung von Gebieten unterschiedlicher maximaler Intensität sind mit etlicher Problematik und Unsicherheit verbunden (PAVONI 1974). Die Beurteilung erfolgte im Sinne einer eher vorsichtigen Abschätzung, d.h. in Zweifelsfällen und Grenzfällen wurde eher für die höhere Intensität entschieden oder das Gebiet höherer Intensität eher grösser gezeichnet. Die Karte vermittelt im wesentlichen ein vereinfachtes und verallgemeinertes Bild der seit dem 9. Jahrhundert in der Schweiz beobachteten maximalen Erdbeben-Intensitäten.

V. Erdbeben und Tektonik

Obwohl die Beben im Gebiet der Schweiz ohne jeden Zweifel fast ausschliesslich tektonischen Ursprungs sind, ist es ausserordentlich schwierig, aufgrund der Seismizitätskarte (Tafel) im Einzelfall, lokal oder regional, die direkten Beziehungen zur Tektonik wirklich nachzuweisen. Die Verteilung der Erdbebenzentren erscheint stark gestreut und ist, wie schon erwähnt, im lokalen Bereich durch die Bevölkerungsdichte und das Platzangebot auf der Karte beeinflusst.

Die tektonische Hauptgliederung der Schweiz in Alpen, Molassebecken, Falten- und Tafeljura, mit ihren ausgeprägten WSW-ENE orientierten Zügen kommt in der Seismizitätskarte nicht zum Ausdruck. Auffällig lineare Anordnungen von Bebenzentren sind stellenweise im lokalen 10-20-km-Bereich zu erkennen, zum Beispiel am E-Rand der Dinkelberg-Scholle, sind aber aus den oben genannten Gründen mit grosser Vorsicht zu interpretieren.

Ausgeprägte seismisch aktive Linien, eigentliche Erdbebenlinien (ROTHÉ 1941; SCHNEIDER 1975), sind im regionalen und überregionalen Bereich aus der Karte kaum ersichtlich. Aufgrund tektonischer Überlegungen ist anzunehmen, dass die schraffierten Gebiete der Regionen 2, 8 und 6 zusammen eine langgestreckte, seismisch aktive Zone bilden, welche in Streichrichtung der Nordflanke der autochthonen Massivschwelle entlang zieht und sich gegen E über Vorarlberg bis Innsbruck erstreckt.

Die Seismizität im Gebiet der Schweiz ist der eindrucklichste Nachweis dafür, dass in unserem Land die tektonischen Bewegungen bis heute andauern. Die breite Streuung der Erdbebenzentren zeigt, dass die rezenten tektonischen Bewegungen im Untergrund tatsächlich weit verbreitet auftreten, dass offenbar die tektonische Deformation den Untergrund mehr oder weniger gesamthaft erfasst. Es müssten sich in allererster Linie Zusammenhänge zu den jungen und jüngsten tektonischen Strukturen nachweisen lassen. Jüngste, quartäre und holozäne Bruchstrukturen sind im Gebiet der Schweiz geologisch bekanntlich nur sehr schwierig nachzuweisen (JÄCKLI 1951, 1958; ECKARDT 1958, 1974; STRECKEISEN 1965). Eine systematische Untersuchung rezenter, holozäner Erdkrustenbewegungen ist im Rahmen des Geodynamischen Projektes in die Wege geleitet worden (PAVONI 1975*a*). Von allergrösstem Interesse sind die Ergebnisse geodätischer Untersuchungen über vertikale Bewegungen im Gebiet der Schweiz (JEANRICHARD 1973, 1975; SCHAER & JEANRICHARD 1974; GUBLER 1977). Mikroerdbeben-Untersuchungen und herdmekanische Untersuchungen erlauben wesentlich vertiefte Einsichten über die Lage aktiver Bruchzonen im Gebiet der Schweiz sowie Aussagen über die sich abspielenden Verschiebungsvorgänge (PAVONI & PETERSCHMITT 1974; MAYER-ROSA & PAVONI 1977; PAVONI 1977; PAVONI et al. 1977).

Welches sind die Gründe, die eine tektonische Interpretation der Seismizität so schwierig gestalten? Zunächst ist festzuhalten, dass die aufgrund der Oberflächengeologie abgeleitete, konventionelle Abgrenzung tektonischer Einheiten im Gebiet der Schweiz tatsächlich ein oberflächennahes Bild darstellt. Ich denke zum Beispiel an den Verlauf des Alpennordrandes, sei es nun die Grenze zwischen aufgeschobener Molasse und mittelländischer Molasse oder sei es die Grenze zwischen Helvetikum und aufgeschobener Molasse. Ein Horizontalschnitt in wenigen Kilometern Tiefe würde einen wesentlich anderen, gegenüber dem heutigen um viele Kilometer nach Süden verlegten, Verlauf des Alpennordrandes ergeben. Die konventionelle Grenze zwischen Faltenjura und mittelländischer Molasse ist in ihrem Verlauf hauptsächlich durch morphologische Faktoren festgelegt und überhaupt geologisch nicht genau zu definieren. Tatsächlich sind in zwei bis drei Kilometern Tiefe unter der heutigen Oberfläche des Faltenjuras sämtliche Falten verschwunden! Diese Hinweise mögen klarstellen, dass eine direkte Beziehung der Seismizität zur konventionellen tektonischen Gliederung der Schweiz und zur bekannten Oberflächentektonik nur bedingt zu erwarten ist.

Nach unseren heutigen Kenntnissen zu schliessen, dürften die Herde der meisten Beben im Gebiet der Schweiz innerhalb der Erdkruste in 2–30 km Tiefe liegen, wobei der Hauptteil der Beben in den obersten 15 km ihren Ursprung haben dürfte (AHORNER et al. 1972; GRAF 1976). Über die Tektonik in 10–15 km Tiefe wird der Geologe dem Seismologen lediglich generelle Angaben zu liefern vermögen. Er wird mit allergrösstem Interesse die Ergebnisse detaillierter seismologischer Untersuchungen über die Lage der Herde und die Verschiebungsvorgänge im Erdbebenherd zur Kenntnis nehmen und in ein tektonisches Gesamtbild einzubauen versuchen.

Einige Beobachtungen und Gesichtspunkte, die auf Zusammenhänge zwischen Seismizität und Tektonik im lokalen und regionalen Rahmen einschliesslich der engeren Nachbarschaft der Schweiz hinweisen, seien an dieser Stelle kurz diskutiert.

A. Seismizität und lokale Tektonik

1. Wehratal–Mumpf

Eine Reihe von Bebenzentren scheint sich am E-Rand der Dinkelberg-Scholle im Bereich der Wehratal-Verwerfung und ihrer Fortsetzung südlich des Rheins zu konzentrieren.

2. Basel

Die ausgesprochene seismische Aktivität im Gebiet von Basel und im unteren Birstal dürfte ohne Zweifel mit Bewegungen im Bereich der Flexurzone am Ostrand des Oberrheingrabens zusammenhängen.

3. Solothurn

Die Beben dürften mit N–S verlaufenden Brüchen in der südlichen Fortsetzung des Bruchsystems am Ostrand des Oberrheingrabens in Verbindung stehen.

4. Boudry–Val de Ruz, Neuchâtel

Die Seismizität dürfte mit dem N–S verlaufenden Bruchsystem der Vue des Alpes und seiner südlichen Fortsetzung im Zusammenhang stehen; die Beben bei Neuchâtel mit parallelen, östlich benachbarten Brüchen. Am 22. März 1976 ereignete sich bei Neuchâtel ein Beben, dessen Epizentrum aufgrund makroseismischer Angaben und der Registrierung in Neuchâtel etwa 4–5 km ENE von Neuchâtel im Gebiet von Marin/St-Blaise lag. In Neuchâtel wurde deutlich Kompression registriert. Zusammen mit den auswertbaren Ersteinsätzen weiterer Schweizer Stationen ergibt sich ein Bild, das mit einer NNE–SSW verlaufenden, steilstehenden Horizontalverschiebung mit sinistraler Verschiebungssinn (oder einer NNW–ESE streichenden dextralen Horizontalverschiebung) in Übereinstimmung steht (Fig. 3). Dieser Befund passt sehr gut in das beobachtete lokale Deformationsbild.

5. Yverdon–Grandson

Die auffallende seismische Aktivität dieses Gebietes dürfte mit N–S und W–E verlaufenden Brüchen (vgl. SPICHER 1972: Tektonische Karte der Schweiz 1:500 000) in Verbindung zu bringen sein.

Flächentreue Projektion der unteren Halbkugel. C = Kompression, D = Dilatation, P = P-Achse, T = T-Achse. Schraffiert = Kompressionsquadrant.

Die Lösung ergibt zwei mögliche Verschiebungsebenen:

- eine $N 13^{\circ} \pm 7^{\circ} E$ streichende sinistrale Horizontalverschiebung,
- eine $N 103^{\circ} \pm 7^{\circ} E$ streichende dextrale Horizontalverschiebung.

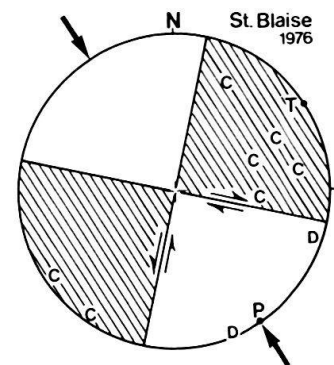


Fig. 3. Herdlösung des Bebens von St-Blaise bei Neuchâtel vom 22. März 1976, 14^h 44^{min} (Tabelle, Nr. 14).

6. *Vallorbe - Pontarlier, Rolle*

Die makroseismischen Beobachtungen weisen darauf hin, dass die seismische Aktivität im Gebiet von Vallorbe mit grosser Wahrscheinlichkeit mit der Horizontalverschiebungs-Zone von Pontarlier in Zusammenhang steht. Besonders bemerkenswert sind in dieser Hinsicht das französisch-schweizerische Beben vom 1. März 1916 sowie die Bebenserie vom 19. November 1924 bis zum 17. Juli 1925, mit dem Hauptstoss am 8. Januar 1925. Die Verteilung der Intensitäten V und V-VII (nach De Rossi-Forel) der Hauptstösse zeigt eine auffallende N-S-Erstreckung. Die Isoleisten der Intensität V umschliessen sehr genau das Gebiet dieser bedeutenden Verschiebungszone. Eine gewisse tektonische Aktivität scheint im Bereich dieser Bruchzone vorhanden zu sein. Von besonderem Interesse ist die Tatsache zu werten, dass bei beiden Beben der Herd, wie auch bei verschiedenen anderen Jura-Beben (PAVONI 1967), ohne Zweifel unter der gefalteten Sedimentdecke im ungefalteten Sockel liegt. Der Schluss liegt nahe, anzunehmen, dass das Bruchsystem von Vallorbe-Pontarlier in den kristallinen Sockel hineinreicht und diesen in N-S-Richtung zerschneidet. Der Nachweis heutiger tektonischer Aktivität im Sockel unter dem Faltenjura liefert meiner Meinung nach ein gewichtiges Argument zugunsten derjenigen Hypothesen der Jurafaltung, welche eine Mitbeteiligung und Mitbewegung des Sockels bei der Faltung des Gebirges annehmen.

Die Intensitätsverteilung der oben genannten Beben und ihrer Nachstösse lässt vermuten, dass auch die Bebenzentren im Gebiet von Rolle mit der Aktivität im Bereich der Verschiebungszone von Pontarlier und ihrer südlichen Fortsetzung in Verbindung zu bringen sind.

7. *Nyon*

Ein Zusammenhang der Seismizität im Gebiet von Nyon mit dem WNW-ESE verlaufenden Bruchsystem Col de la Grivine - Nyon erscheint angedeutet.

Im Zusammenhang mit der Frage Jurabeben-lokale Tektonik sei an dieser Stelle auf drei weitere Beben im benachbarten französischen Faltenjura und deren Beziehung zur lokalen Tektonik hingewiesen.

8. *Montagne du Vuache*

Am 17. April 1936 erfolgte bei Frangy am S-Ende des Vuache ein heftiges lokales Erdbeben (ROTHÉ 1941). Das Epizentrum des Bebens lag aufgrund des Isoleisten-Bildes genau auf dem «*décrochement de Sillingy*», so dass eine Bewegung im Zusammenhang mit dieser bedeutenden Bruchzone angenommen werden darf (PAVONI 1967). Der Herd des Bebens lag sehr oberflächennah, noch innerhalb der Sedimentdecke.

9. *Jeurre, Clairvaux*

Die herdmekanische Untersuchung der Erdbeben von Jeurre und Clairvaux im französischen Faltenjura 30-40 km NW von Genf (PAVONI & PETERSCHMITT 1974) ergab ebenfalls interessante Beziehungen zur lokalen Tektonik. Die Herdlösung des

Bebens von Jeurre vom 21. Juni 1971 liefert als mögliche Bruchflächen eine steilstehende, N-S streichende Verschiebungsebene mit schiefer, lateraler sinistraler Verschiebung und eine mit 56° S-fallende Verschiebungsebene mit dextraler horizontaler Seitenverschiebung (Fig. 4). Aus der Intensitätsverteilung kann auf eine Herdtiefe von 2–3 km geschlossen werden. Die Horizontalkomponente der grössten Hauptspannung ist NW–SE, in einem Winkel von 75 bis 80° zu den lokalen Antikli-

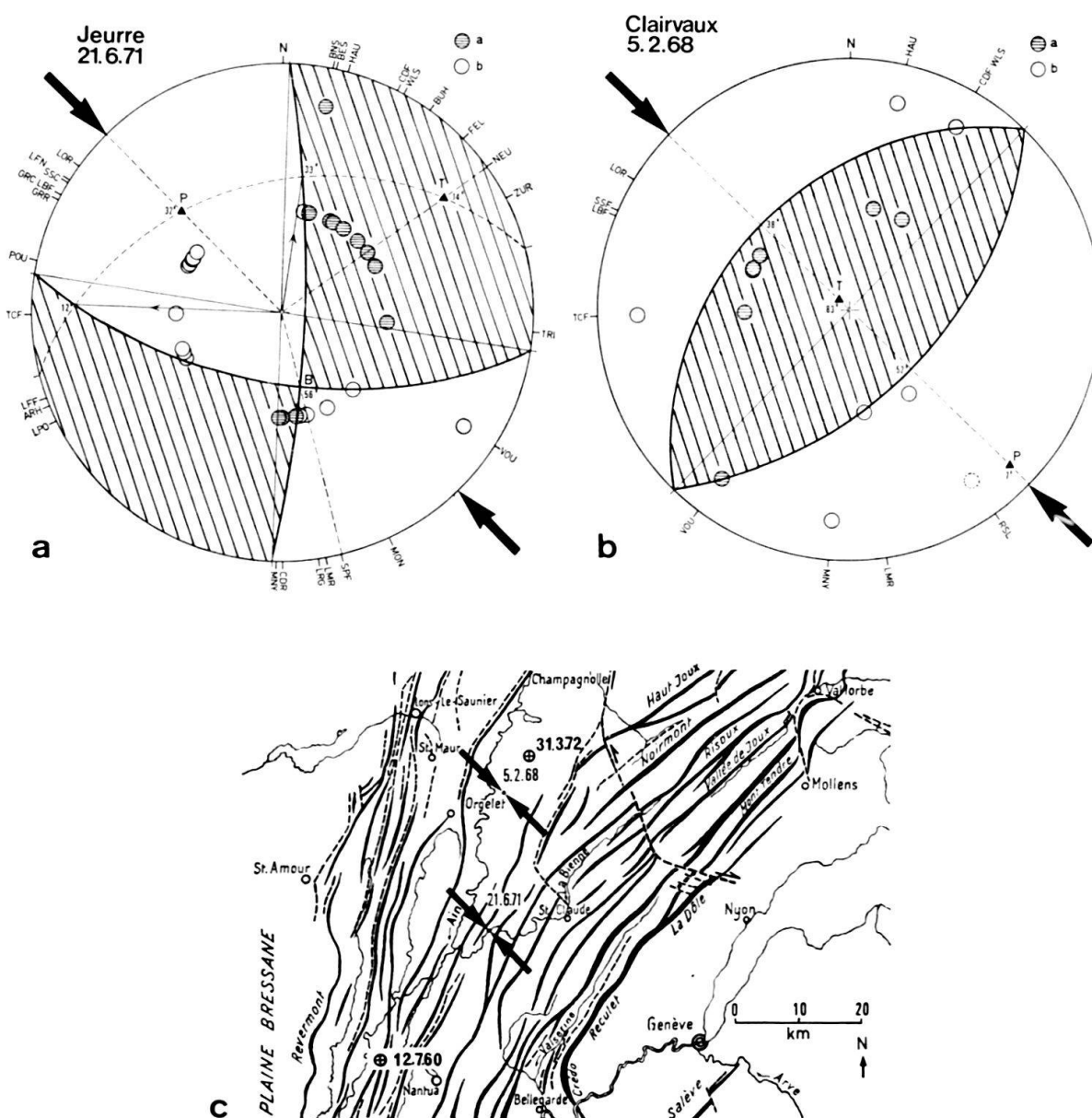


Fig. 4. Herdlösungen und Lage der Epizentren der Beben von a) Jeurre 1971 und von b) Clairvaux 1968 im französischen Faltenjura (ergänzt nach PAVONI & PETERSCHMITT 1974). Untere Halbkugel, winkeltreue Projektion.

a = Kompression, b = Dilatation. *Schraffierte Flächen* = Kompressionsquadranten. *Pfeilpaare* = Orientierung der P -Achsen (vgl. Tabelle, Nr. 3 und Nr. 4).

c) Situation: Ausschnitt aus der tektonischen Karte des Jura von BERSIER (1934).

nal- und Synkinalachsen orientiert. Sie stimmt somit in ihrer Orientierung gut mit der Einengungsrichtung des Faltenjuras in jenem Gebiet überein.

Die herdmekanische Lösung des Bebens von Clairvaux vom 5. Februar 1968 ergibt einen Aufschiebungsmechanismus mit zwei möglichen Aufschiebungsflächen, die erste mit 38° gegen NW (Az. 314°), die zweite Ebene mit 52° gegen SE (Az. 134°) fallend. Die grösste Hauptspannung liegt genau horizontal und ist NW-SE orientiert. Sie stimmt sehr gut mit der aus dem Faltenbild abgeleiteten Einengungsrichtung überein. Der Herd des Bebens lag in 5-6 km Tiefe, somit im kristallinen Untergrund unter dem Faltenjura.

10. Bodensee

Am 2. März 1976 ereignete sich im Gebiet des Bodensees ein Beben ($M_L = 3,7$), dessen Epizentrum (Landes-Koord. 750/272) ausserhalb Romanshorn im Bereich der auffälligen WNW-ESE verlaufenden Steilzone des Seegrundes liegt. Am 26. März 1976 erfolgte ein zweites Beben ($M_L = 4,1$), dessen Epizentrum wenige Kilometer weiter östlich lokalisiert wurde. Die Herdlösungen beider Beben sind gut belegt und nahezu identisch (MAYER-ROSA & PAVONI 1977; PAVONI et al. 1977). Als Verschiebungsebenen ergeben sich zwei vertikalstehende Horizontalverschiebungen. Im Falle des Bebens vom 2. März 1976 streicht die eine Ebene mit dextraler horizontaler Verschiebung $N121^\circ E$, die zweite Ebene mit sinistraler Verschiebungssinn $N31^\circ E$ (Fig. 5). Die aus den Verschiebungen abgeleitete *P*-Achse (Achse der grössten Hauptspannung) liegt horizontal in NNW-SSE-Richtung (Azimut $N346^\circ E$). Aufgrund der Intensitätsverteilung im Gebiet der Schweiz dürfte die Herdtiefe bei 10 km gelegen haben (R. Graf, mündliche Mitteilung). Die Streichrichtung der ersten Verschiebungsfläche stimmt sehr genau mit der WNW-ESE verlaufenden Trogachse des Bodensees überein. Die herdmekanische Untersuchung beider Beben bestätigt die von geologischer Seite seit langer Zeit vermutete bruchtektonische Anlage des Bodensees. Sie lässt weiter den Schluss zu, dass es sich bei den WNW-ESE verlaufenden Brüchen nicht um reine Abschiebungen handelt, sondern dass im WNW-ESE-Bruchsystem eine dextrale horizontale Verschiebung

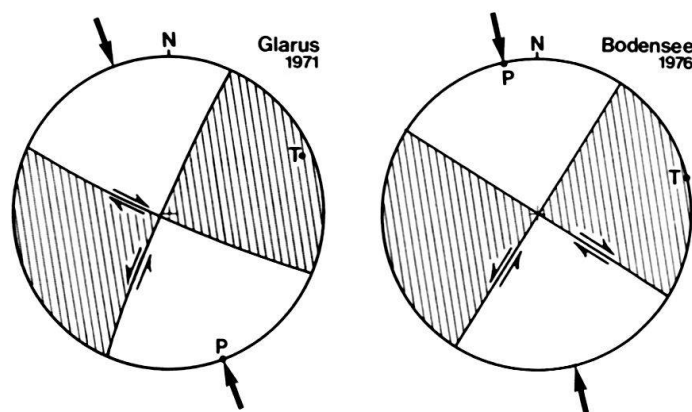


Fig. 5. Schematische Darstellung der Herdlösungen der Beben von Glarus 1971 und Bodensee 1976. Untere Halbkugel, flächentreue Projektion.

Schraffiert = Kompressionsquadrant. Pfeilpaar = Orientierung der *P*-Achse. *P* = *P*-Achse, *T* = *T*-Achse (vgl. Tabelle, Nr. 5 und Nr. 13).

mit im Spiel ist. Zum Vergleich wurde die Herdlösung des Bebens von Glarus 1971 beigelegt.

Figur 6 zeigt die Orientierungen der Horizontalkomponenten der *P*-Achsen für 15 bisher untersuchte Beben in der Schweiz und den angrenzenden Gebieten (vgl. Tabelle).

B. Seismizität und regionale Tektonik

1. Regionen mit relativ schwacher Seismizität

- a) *Region 9*: Sie gehört regionaltektonisch gesehen zu den Südalpen (siehe Fig. 1).
- b) *Region 10*: Diese Region liegt in einer ausgesprochenen Kulminationszone der Alpen. Sie umfasst im Norden das Gotthard-Massiv, im mittleren Tessin die mächtigen Gneismassen der tiefpenninischen lepontinischen Decken sowie in West-Graubünden die Adula-Decke. Eine leichte Häufung von Zentren schwacher Beben (Kategorien *C* und *D*) liegt bei Bellinzona und im Gebiet von Locarno. Ob damit eine schwache Seismizität im Bereich der Insubrischen Linie angedeutet ist, bleibt eine offene Frage. Rezente oder jungquartäre Bewegungen entlang dieser bedeutenden Verschiebungszone konnten bis jetzt nicht nachgewiesen werden (GANSSE 1968; FUMASOLI 1974). Sehr bemerkenswert ist die Tatsache, dass gerade in dieser Region – als einziger bekannter Fall dieser Art in den Schweizer Alpen – 1965/66 durch den Aufstau des Stausees von Vogorno im unteren Verzascatal eine Serie von Erdbeben ausgelöst wurde. Damit im Zusammenhang konnten an zwei W–E verlaufenden lokalen Brüchen vertikale Bewegungen mit relativer Hebung des Nordflügels nachgewiesen werden (SÜSTRUNK 1969). Durch wiederholte Präzisionsnivellements-Messungen ist der Nachweis erbracht, dass die Region 10 ein Hebungsgebiet darstellt mit stärksten gegenwärtigen Hebungen im Gebiet der oberen Leventina (JEANRICHARD 1973, 1975). Bezogen auf eine Basislinie Aarburg–Aarau–Schaffhausen, ergeben sich maximale Hebungsgeschwindigkeiten von 1,4 mm/Jahr (PAVONI 1975a). Um so bemerkenswerter erscheint die schwache historische Seismizität dieser Region. Man erhält den Eindruck, dass das mächtige, kompakte, flach gelagerte Paket der tiefpenninischen Gneiskerne im Bereich der Toce und der Tessiner Kulmination als stabiles Element im Gebirgsbau wirkt und möglicherweise gegenüber seiner östlichen und westlichen Umgebung vermehrte Spannung zu akkumulieren vermag.
- c) *Region 11*: Sie liegt in der Kulminationszone des autochthonen Aar-Massivs.
- d) *Region 12*: Sie umfasst als zentralen Teil das mächtige und starre Molassepaket des Napfgebietes. Im W wird diese seismisch ruhige Region durch eine N–S verlaufende Linie Solothurn–Bern–Gantrisch gegen das seismisch aktivere westschweizerische Plateau abgetrennt. Die Ostbegrenzung folgt etwa einer Linie Dielsdorf–Albis–Ägeri. Regionaltektonisch betrachtet entspricht das Gebiet einer «Hochzone» als Verbindung zwischen der Kulmination des Aar-Massivs im S und dem Schwarzwald-Hoch im N. Dieser Zusammenhang wird untermauert durch die flache, prätertiäre Aufwölbung des Mesozoikums im Bereich der

Tabelle: Liste der Erdbeben

NO	DATUM (GMT)	h	m	s	LAT. /LONG.	MAG	REGION	P	T	AUTOREN
1	28 APR 1961	20:48:49	47.7N/7.9E	4.9	Schopfheim	134/18	38/18	AHORNER & SCHNEIDER 1974		
2	14 MAR 1964	20:44:44	46.9N/8.3E	5.2	Sarnen	139/11	37/44	AHORNER et al. 1972		
3	5 FEB 1968	02:28:49	46.6N/5.8E	3.5	Clairvaux	134/7	314/83	PAVONI & PETERSCHMITT 1974		
4	21 JUN 1971	07:25:29	46.4N/5.8E	4.4	Jeurre	315/32	54/14	PAVONI & PETERSCHMITT 1974		
5	29 SEP 1971	07:18:52	47.1N/9.0E	4.8	Glarus	158/0	68/6	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
6	8 MAI 1973	19:08:24	45.6N/9.7E	3.7	Bergamo	297/22	43/35	PAVONI et al. 1977		
7	9 JUL 1973	00:27:06	46.8N/9.7E	3.8	Arosa	156/3	66/3	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
8	19 JAN 1974	02:49:52	46.7N/7.5E	3.8	Berner Alpen	124/5	214/5	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
9	26 APR 1974	07:21:07	47.2N/7.9E	3.0	Berner Mittelland	354/18	240/51	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
10	21 MAI 1975	04:10:47	45.8N/8.9E	4.0	Varese	351/4	82/19	PAVONI et al. 1977		
11	29 DEZ 1975	05:25:17	47.1N/9.2E	3.1	Glarus	311/14	41/1	PAVONI et al. 1977		
12	29 JAN 1976	11:39:08	46.3N/7.5E	3.6	Valais	111/58	8/10	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
13	2 MAR 1976	08:27:57	47.6N/9.4E	3.7	Bodensee I	346/0	76/0	MAYER-ROSA & PAVONI 1977		
14	22 MAR 1976	14:44:23	47.0N/7.0E	2.7	St. Blaise	148/0	58/0			
15	26 MAR 1976	22:28:31	47.6N/9.5E	4.1	Bodensee II	348/0	78/0			

NO = Nummer des Bebens , GMT = Greenwich-Mean-Time , h = Stunde , m = Minute , s = Sekunde der Herzzeit ,
LAT. = geographische Breite , LONG. = geographische Länge , MAG = Nahbeben-Magnitude ,
P = P-achse Azimut/Fallen , T = T-achse Azimut/Fallen .

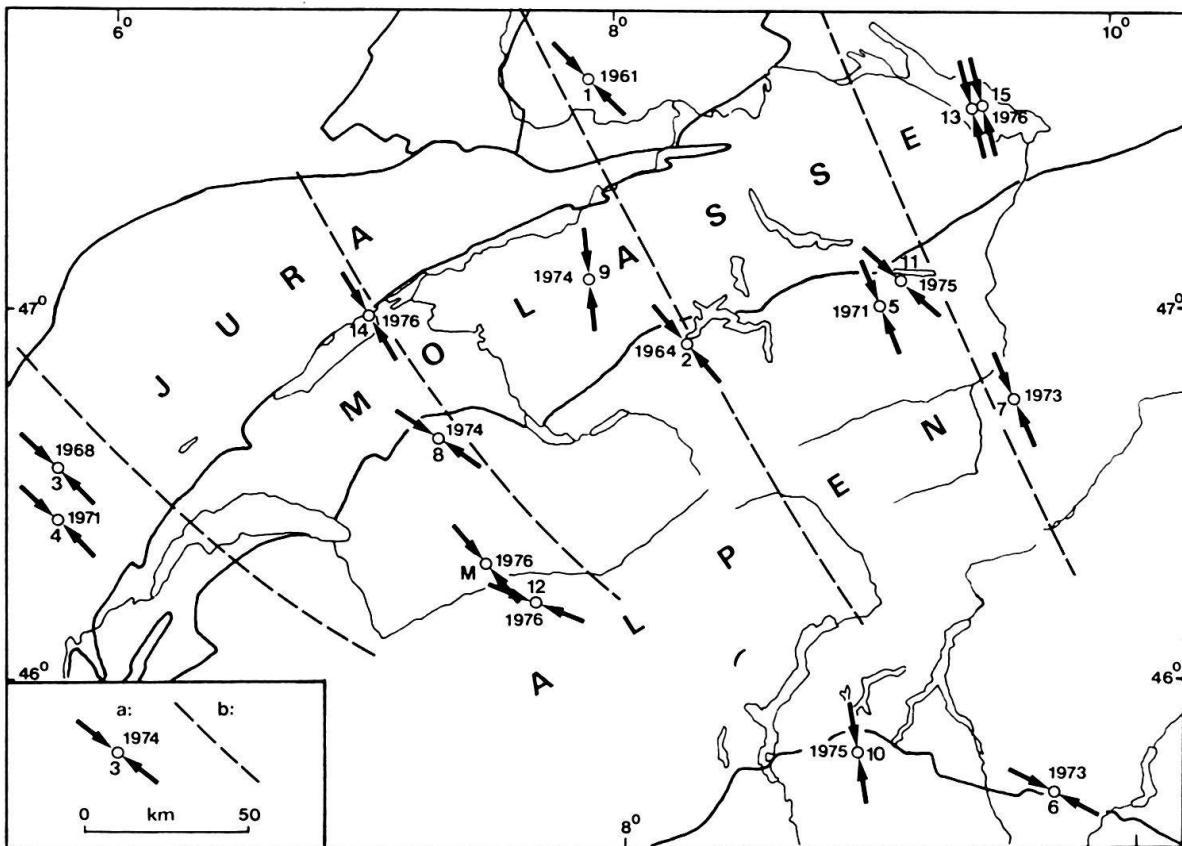


Fig. 6. Orientierung der P -Achsen, abgeleitet aus den Herdlösungen von 15 Erdbeben in der Schweiz und den angrenzenden Gebieten. Die untersuchten Beben sind in der Tabelle aufgeführt.

a = P -Achse, Nummer und Jahr des Bebens, b = Linien maximaler horizontaler Kompression in der oberen Kruste, M = Mikroerdbeben-Untersuchungen.

Region 12, wie sie durch die erdölgeologischen Untersuchungen im schweizerischen Mittelland nachgewiesen werden konnte (BÜCHI et al. 1965).

Als gemeinsames Merkmal der Regionen 10 bis 12 kann festgestellt werden, dass diese Regionen Kulminationszonen oder Hochzonen entsprechen (vgl. auch WANNER 1932b, 1933). Sie bilden zusammen eine N-S verlaufende, seismisch eher ruhige Hochzone, die sich vom südlichen Schwarzwald quer durch das Mittelland und die zentralen Schweizer Alpen bis zum Südtessin erstreckt. Sie wird im Bereich des Alpennordrandes durch die seismisch aktivere Region 8 in WSW-ENE-Richtung zerschnitten.

2. Regionen mit relativ starker Seismizität

a) *Region 1* (Mittelwallis): Diese Region liegt in der axialen Depressionszone zwischen dem Aar-Massiv und der Toce-Kulmination im E und dem Mont-Blanc-Massiv, dem Aiguilles-Rouges-Massiv und Arpille-Massiv im SW. In diesem Abschnitt vollzieht sich zudem eine Änderung der generellen Streichrichtung von WSW-ENE im Aar-Massiv nach SW-NE und SSW-NNE in den französischen Westalpen. Eine direkte Beziehung der Lage der Erdbebenzentren

im Mittelwallis zur Wurzelzone der Helvetischen Decken oder zur Hauptaufschiebung der Penninischen Decken (ROTHÉ 1941; MONTANDON 1946) erscheint nicht nachgewiesen. Die Bebenstätigkeit im Gebiet Visp-Brig könnte eventuell mit Bewegungen im Bereich der Simplon-Centovalli-Linie in Beziehung stehen.

- b) *Region 2*: Der südliche Teil dieser Region liegt im Bereich der nach SW aufsteigenden autochthonen Massive (Montblanc-Massiv, Aiguilles-Rouges- und Arpille-Massiv). Infolge der Unsicherheit in der Lage der Bebenzentren kann nicht entschieden werden, ob – wie im Falle des Aar-Massivs – die autochthonen Massive sich ebenfalls seismisch ruhig verhalten (vgl. auch ROTHÉ 1941). Der nördliche Teil von Region 2 liegt in der Scharnierzone Alpen-Molassetrog (schraffierte Zone in Fig. 1, vgl. S. 355).
- c) *Region 3*: Sie umfasst das Gebiet des Molassetroges der Westschweiz W der Linie Solothurn-Bern-Gantrisch mitsamt dem Hauptteil der darüberliegenden Deckenmassen der Préalpes und schliesst im N den Bereich der inneren Hauptketten des Faltenjuras mit ein. Die Linie Solothurn-Bern-Gantrisch entspricht der Ostbegrenzung der Querzone von Fribourg (SCHUPPLI 1950). Ihre Verlängerung nach N zieht genau zum Ostrand des Oberrheingrabens. Die Region 3 war während des ganzen Mesozoikums ein ausgeprägtes Senkungsgebiet (BÜCHI et al. 1965; LEMCKE 1975). Gegenüber dem östlich anschliessenden Gebiet der Aar-Massiv-Schwarzwald-Schwelle (Region 12) erscheint der Untergrund intensiver deformiert. Im Zusammenhang mit der Jurafaltung erfuhr das Gebiet der Region 3 eine besonders starke Hebung (PAVONI 1967; LEMCKE 1973).
- d) *Region 4*: Sie umfasst das Gebiet des südlichen Oberrheingrabens und dessen Fortsetzung in den nördlichen Faltenjura hinein. Die Abgrenzung gegen Region 3 ist schwierig festzulegen. Die seismische Aktivität ist unregelmässig verteilt. Eine Häufung von Bebenzentren liegt bei Basel (s. S. 359). Die Seismizität dürfte in erster Linie mit Bewegungen an N-S-Brüchen im Zusammenhang stehen.

Den Regionen 1–4 ist gemeinsam, dass sie ursprünglichen Senkungsgebieten oder, im eigentlichen alpinen Bereich, axialen Depressionszonen entsprechen. Die Regionen 1–4 bilden zusammen eine N-S verlaufende Quersenke, die vom südlichen Rheingraben bis ins Mittelwallis reicht.

- e) *Region 5*: Sie liegt im Bereich der komplex gebauten axialen Depressionszone der penninischen, unter- und oberostalpinen Decken Graubündens. Sie wird im W begrenzt durch das nach E abtauchende Gotthard-Massiv und den axialen Ostabfall der Tessiner Kulmination.
- f) *Region 6*: Sie umfasst das Gebiet der Helvetischen Decken der Kantone Glarus, St. Gallen und Appenzell. Der seismisch relativ ruhige Südteil der Region 6 liegt im Gebiet des nach E abtauchenden Aar-Massivs. Seismisch aktive Gebiete liegen bei Glarus und im hinteren Linthtal, am Walensee, bei Wildhaus-Grabs, im südlichen Alpstein und im St. Gallischen Rheintal. Aufgrund der vorliegenden seismologischen Untersuchungen (PAVONI et al. 1977) dürfte die Seismizität in erster Linie mit Bewegungen entlang einem NNE-SSW-Bruchsystem mit

sinistraler horizontaler Verschiebungstendenz und eventuell einem W-E-System dextraler Verschiebungstendenz in Verbindung zu bringen sein (vgl. Fig. 5). N-S bis NNE-SSW streichende Brüche mit sinistraler Verschiebungstendenz und NNW-SSE streichende, normale Verwerfungen sind als junge Störungssysteme im Glarnerland, im Alpstein und im St. Gallischen Rheintal bekannt (STAUB 1954; SCHINDLER 1959).

- g) *Region 7*: Sie umfasst die Bodensee-Senke mit ihren jungen Brüchen (vgl. S. 362) und deren Fortsetzung in Richtung Hegau sowie das Gebiet des NE-schweizerischen Molassebeckens mit Einschluss der gegen den Schwarzwald ansteigenden Juratafel.

Den Regionen 5 bis 7 ist wiederum gemeinsam, dass sie Senkungs- oder Flexur- und Depressionszonen entsprechen. Sie gehören zur grossen Quersenke, die vom Bodensee-Gebiet bis ins Veltlin reicht (STAUB 1954).

- h) *Region 8*: Die bemerkenswerte Häufung von Bebenzentren, z. T. von starken Beben (Kategorien *A* und *B*), im Gebiet von Unterwalden-Alt- und Urnersee liegt entlang der Nordflanke des Aar-Massivs. Ich möchte diese Seismizität in Verbindung bringen mit Bewegungen entlang der Scharnierzone, die während des ganzen Miozäns als bedeutende tektonische Bewegungszone zwischen absinkender Molassevertiefe und dem sich einengenden, aufsteigenden Alpenkörper wirksam war. Diese Scharnierzone ist in Figur 1 als schraffiertes Gebiet angedeutet. Ihre Nordbegrenzung entspricht ungefähr dem Verlauf der Trogachse der Unteren Süsswassermolasse. Sie verbindet als WSE-ENE streichende Zone eine ganze Reihe bedeutender Erdbebenzentren der Region 2 im W über das Gebiet Simmental-Thunersee-Unterwalden-Urnersee mit den Zentren starker Beben der Region 6.

C. Schlussfolgerungen

Die Karte der Erdbebenzentren lässt bei eingehender Betrachtung der regionalen Zusammenhänge im Gebiet der Schweiz folgende vier Zonen seismischer Aktivität erkennen:

- I. Eine zentrale, N-S verlaufende tektonische Hochzone mit relativ geringer Seismizität, die sich vom Schwarzwald im N bis zum Südtessin erstreckt (Regionen 9-12).
- II. Eine N-S verlaufende Quersenke im Gebiet der Westschweiz mit relativ starker Seismizität, die sich vom Oberrheingraben ins Mittelwallis erstreckt (Regionen 1-4).
- III. Eine NNW-SSE verlaufende Quersenke im Gebiet der Ostschweiz mit relativ starker Seismizität, die sich vom Bodenseegebiet bis ins Veltlin erstreckt (Regionen 5-7).
- IV. Eine WSW-ENE streichende Zone mit relativ starker Seismizität, die sich der Nordflanke der autochthonen Schwelle (Aiguilles-Rouges-Massiv - Aar-Massiv) entlang zieht (Regionen 2, 8 und 6). Diese Zone ist meines Erachtens mit der während des ganzen Miozäns aktiven bedeutenden tektonischen Scharnier- und

Einengungszone zwischen absinkender Molassevertiefe und aufsteigendem Alpenkörper in Verbindung zu bringen. Gegen E setzt sie sich in der Bebenzone von Vorarlberg bis Innsbruck fort.

Im lokalen Bereich ist es bis jetzt nicht möglich gewesen, bestimmte Erdbebenherde mit Sicherheit einer bekannten lokalen Bruchzone zuzuordnen, obwohl zum Beispiel im Gebiet des Juras und im Bodenseegebiet Hinweise für direkte Zusammenhänge bestehen (vgl. S. 359 ff.). Von besonderem Interesse sind in dieser Hinsicht die mehrfach erwähnten herdmechanischen Untersuchungen, da sie uns Aussagen über die Bewegungsvorgänge im Erdbebenherd und über den Spannungszustand im Erdinnern zu liefern vermögen. Ebenso werden die in die Wege geleiteten Mikroerdbeben-Untersuchungen, d. h. die Untersuchungen lokaler schwacher Erdbeben mit Hilfe von transportablen Stationen, zur Abklärung der Zusammenhänge zwischen Seismizität und lokaler Tektonik wesentlich beitragen. Die (S. 359 ff.) erwähnten Beispiele zeigen, dass in bestimmten Gebieten tatsächlich erstaunlich gute Übereinstimmungen zwischen den seismologisch ermittelten Verschiebungsebenen und Verschiebungen und den im Gelände beobachteten jungen Bruchsystemen und Verschiebungen bestehen. Die herdmechanischen Untersuchungen zeigen weiter, dass im Gebiet der Schweiz innerhalb der oberen Kruste offenbar ein weiträumiges Spannungsfeld mit NW-SE bis NNW-SSE orientierter Horizontalkomponente der grössten Hauptspannung vorherrscht (Fig. 6). Der heutige Spannungszustand dürfte somit angenähert demjenigen zur Zeit der jüngsten pliozänen Deformation entsprechen.

LITERATURVERZEICHNIS

- AHORNER, L., MURAWSKI, H., & SCHNEIDER, G. (1972): *Seismotektonische Traverse von der Nordsee bis zum Apennin*. - Geol. Rdsch. 61, 915-942.
- AHORNER, L., & SCHNEIDER, G. (1974): *Herdmechanismen von Erdbeben im Oberrhein-Graben und in seinen Randgebieten*. In: ILLIES, H., & FUCHS, K. (Ed.): *Approaches to Taphrogenesis* (p. 104-117). - Schweizerbart, Stuttgart.
- BERSIER, A. (1934): *Carte tectonique du Jura*. Guide géol. Suisse, Fasc. 1, Pl. III. - Wepf, Basel.
- BÜCHI, U. P., LEMCKE, K., WIENER, G., & ZIMDARS, J. (1965): *Geologische Ergebnisse der Erdölexploration auf das Mesozoikum im Untergrund des schweizerischen Molassebeckens*. - Bull. Ver. schweiz. Petroleum-Geol. u. -Ing. 32/82, 7-38.
- CANDREIA, A. (1906): *Zur Chronik der Erdbeben in Graubünden bis zum Jahr 1879*. - Wyss, Bern.
- ECKARDT, P. (1957): *Zur Talgeschichte des Tavetsch, seine Bruchsysteme und jungquartären Verwerfungen*. - Diss. Univ. Zürich.
- (1974): *Untersuchungen von rezenten Krustenbewegungen an der Rhein-Rhone-Linie*. - Eclogae geol. Helv. 67/1, 233-235.
- FUMASOLI, M. W. (1974): *Geologie des Gebietes nördlich und südlich der Jorio-Tonale-Linie im Westen von Gravedona (Como, Italia)*. - Diss. Univ. Zürich.
- GANSSER, A. (1968): *The Insubric Line, a major geotectonic problem*. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 48/1, 123-143.
- GRAF, R. (1976): *Herdmechanik*. - Diplomarb. Inst. Geophys. ETH, Zürich.

- GUBLER, E. (1977): *Beitrag des Landesnivellements zur Bestimmung vertikaler Krustenbewegungen in der Gotthard-Region.* – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 56/3 (1976) (im Druck).
- JÄCKLI, H. (1951): *Verwerfungen jungquartären Alters im südlichen Aarmassiv bei Somvix-Rabius (Graubünden).* – Eclogae geol. Helv. 44/2, 332–337.
- (1958): *Der rezente Abtrag der Alpen im Spiegel der Vorlandsedimentation.* – Eclogae geol. Helv. 51/2, 354–365.
- JEANRICHARD, F. (1973): *Nivellement et surrection actuelle des Alpes.* – Rev. Mensur. Photogramm. Génie rural 71/1.
- (1975): *Summary of geodetic studies of recent crustal movements in Switzerland.* – Tectonophysics 29/1–4, 289–292.
- LEMCKE, K. (1973): *Zur nachpermischen Geschichte des nördlichen Alpenvorlandes.* – Geologica bavar. 69, 5–48.
- (1975): *Vertikalbewegungen des vormesozoischen Sockels im nördlichen Alpenvorland vom Perm bis zur Gegenwart.* – Eclogae geol. Helv. 67/1, 121–133.
- MAYER-ROSA, D. (1975): *Jahresbericht 1973 des Schweizerischen Erdbebendienstes.* – ETH, Zürich.
- MAYER-ROSA, D., & PAVONI, N. (1977): *Fault plane solutions of earthquakes (1971–1976) in Switzerland.* – Proc. 15th E.S.C. gen. Assem. Krakow 1976 (in press).
- MAYER-ROSA, D., SPRECHER, CH., SOMOGYI, Z., BERGER, R., & BAER, M. (1974): *Jahresbericht 1972 des Schweizerischen Erdbebendienstes.* – ETH, Zürich.
- MONTANDON, F. (1943): *Les séismes de forte intensité en Suisse.* – Rev. Etude Calamités (Genève) 18–19 (1942) et 20–21 (1943).
- (1946): *Les trois récents séismes du Valais Central.* – Rev. Etude Calamités (Genève) (9), 24, 50–66.
- PAVONI, N. (1964): *Der Erdbebendienst.* In: *Hundert Jahre Meteorologie in der Schweiz, 1864–1963* (p. 32–38). – Schweiz. meteorol. Zentralanst. Zürich.
- (1967): *Kriterien zur Beurteilung der Rolle des Sockels bei der Faltung des Faltenjura.* In: SCHAEER, J.-P. (Ed.): *Étages tectoniques* (p. 307–314). – La Baconnière, Neuchâtel.
- (1974): *Maximale Erdbebenintensitäten im Gebiet der Schweiz.* – Jber. schweiz. Erdbebend. 1972, 164–166.
- (1975a): *Recent crustal movements in Switzerland.* In: NIGGLI, E. (Ed.): *International Geodynamics Project – First Report of Switzerland, July 1975* (p. 3–17). – Swiss Comm. int. geodyn. Proj.
- (1975b): *Zur Seismotektonik des Westalpenbogens.* – Fachbl. Vermess. Photogramm. Kulturtech. III/IV-75, 185–187.
- (1977): *Herdmechanismen von Erdbeben und regionaltektonisches Spannungsfeld im Bereich der Geotransverse Basel–Chiasso.* – Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 56/3 (1976) (im Druck).
- PAVONI, N., LOSITO, G., & MAYER-ROSA, D. (1977): *A study of focal mechanisms of 1971–1976 earthquakes in Switzerland and Northern Italy.* – Pure and appl. Geophys. (in prep.).
- PAVONI, N., & PETERSCHMITT, E. (1974): *Das Erdbeben von Jeurre vom 21. Juni 1971 und seine Beziehungen zur Tektonik des Faltenjura.* In: ILLIES, J.H., & FUCHS, K. (Eds.): *Approaches to Taphrogenesis* (p. 322–329). – Schweizerbart, Stuttgart.
- ROTHÉ, J.-P. (1941): *La séismicité des Alpes occidentales.* – Ann. Inst. Phys. Globe (Strasbourg) [Geophys.] 3/3, 26–100.
- SCHAEER, J.-P., & JEANRICHARD, F. (1974): *Mouvements verticaux anciens et actuels dans les Alpes suisses.* – Eclogae geol. Helv. 67/1, 101–119.
- SCHINDLER, C. (1959): *Zur Geologie des Glärnisch.* – Beitr. geol. Karte Schweiz [N.F.] 107.
- SCHNEIDER, G. (1975): *Erdbeben, Entstehung, Ausbreitung, Wirkung.* – Enke, Stuttgart.
- SCHUPPLI, H.M. (1950): *Erdölgeologische Untersuchungen in der Schweiz (III. Teil).* – Beitr. Geol. Schweiz, geotech. Ser. 26/3.
- SIEBERG, A. (1923): *Erdbebenkunde.* – Fischer, Jena.
- SPICHER, A. (1972): *Tektonische Karte der Schweiz 1:500 000.* – Schweiz. geol. Komm.
- SPONHEUER, W. (1965): *Bericht über die Weiterentwicklung der seismischen Skala.* – Veröff. Inst. Geodyn. Jena 8.
- STAUB, R. (1954): *Der Bau der Glarner Alpen.* – Tschudi, Glarus.
- STRECKEISEN, A. (1965): *Junge Bruchsysteme im nördlichen Simplon-Gebiet (Wallis, Schweiz).* – Eclogae geol. Helv. 58/1, 407–416.
- SÜSSTRUNK, A. (1969): *Erdstösse im Verzascatal beim Aufstau des Speicherbeckens Vogorno.* – Verh. schweiz. natf. Ges. (wiss. Teil), 148. Jvers. Einsiedeln 1968, 89–92.

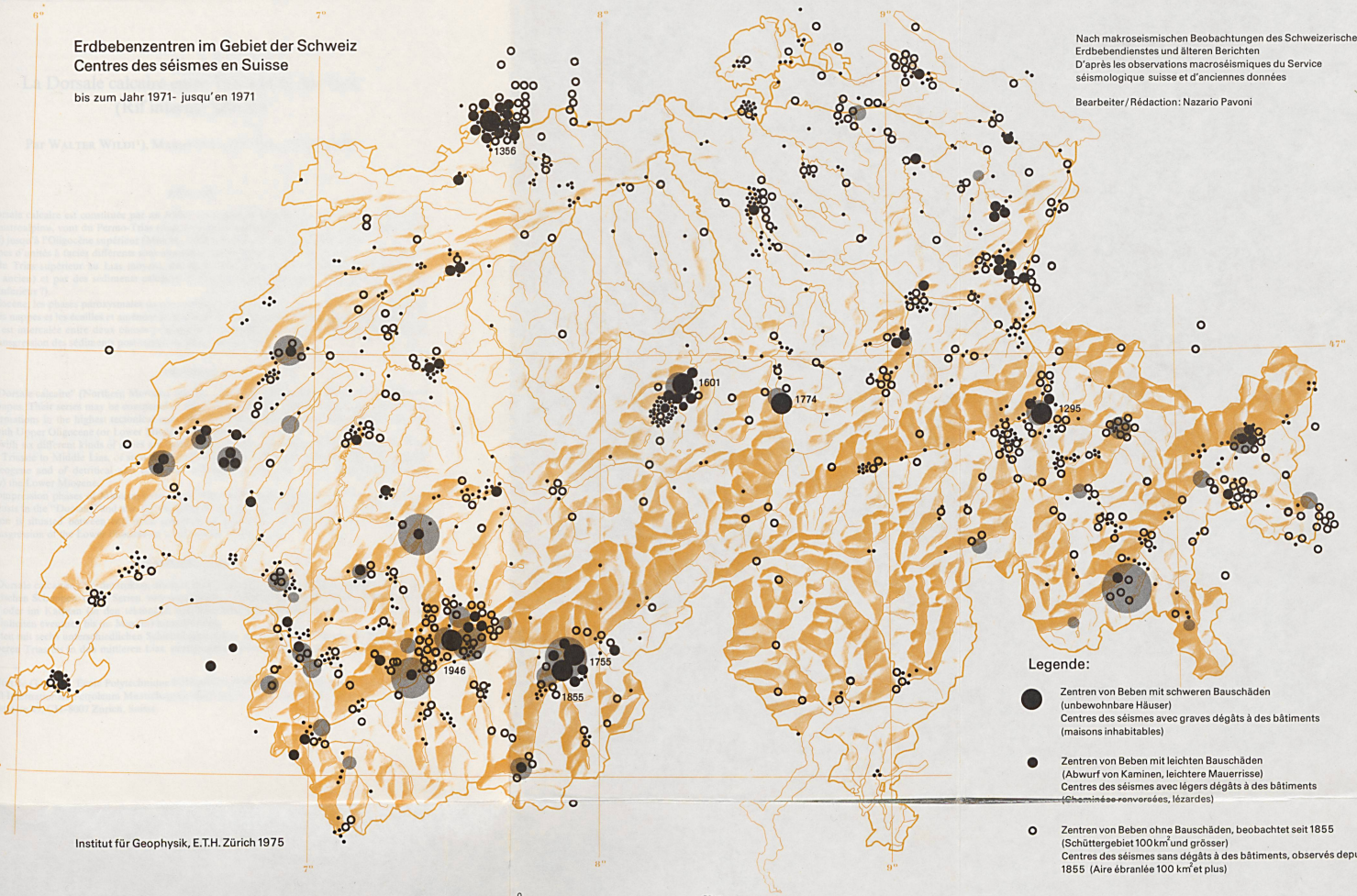
- VOLGER, G. H. O. (1858): *Untersuchungen über das Phänomen der Erdbeben in der Schweiz. – I. Chronik der Erdbeben in der Schweiz. – II. Die Geologie von Wallis. – III. Die Erdbeben im Wallis.* – Justus Perthes, Gotha.
- WANNER, E. (1929): *Beiträge zur Geographie der Erdbeben.* – Gerlands Beitr. Geophys. 23, 334–348.
- (1932a): *Erdbebenkatalog der Schweiz für die Jahre 1856–1879.* – Jber. schweiz. Erdbebend. 1932, 16 bis 21; Ann. schweiz. meteorol. Zentralanst. Zürich 69.
- (1932b): *Die Lage der Thermal- und Mineralquellen der Schweiz und der Ostalpen bezüglich der Erdbebengebiete.* – Vjschr. natf. Ges. Zürich 77, 155–158.
- (1933): *Beiträge zur Geographie der Erdbeben (II).* – Gerlands Beitr. Geophys. 39, 326–332.
- (1945): *Die Erdbebenherde in der Umgebung von Zürich.* – Eclogae geol. Helv. 38, 151–161.
- WOOD, H. O., & NEUMANN, F. (1931): *Modified Mercalli intensity scale of 1931.* – Bull. seismol. Soc. Amer. 21, 277–283.

Erdbebenzentren im Gebiet der Schweiz Centres des séismes en Suisse

bis zum Jahr 1971- jusqu'en 1971

Nach makroseismischen Beobachtungen des Schweizerischen Erdbebendienstes und älteren Berichten
D'après les observations macroséismiques du Service sismologique suisse et d'anciennes données

Bearbeiter/Rédaction: Nazario Pavoni



Institut für Geophysik, E.T.H. Zürich 1975

Legende:

- Zentren von Beben mit schweren Bauschäden
(unbewohnbare Häuser)
Centres des séismes avec graves dégâts à des bâtiments
(maisons inhabitables)
- Zentren von Beben mit leichten Bauschäden
(Abwurf von Kaminen, leichtere Mauerrisse)
Centres des séismes avec légers dégâts à des bâtiments
(cheminées renversées, lézardes)
- Zentren von Beben ohne Bauschäden, beobachtet seit 1855
(Schüttergebiet 100 km² und grösser)
Centres des séismes sans dégâts à des bâtiments, observés depuis
1855 (Aire ébranlée 100 km² et plus)

0 50 km
Massstab 1:1000 000

Zahl der Stösse
Nombre de secousses



Lokalstösse, beobachtet seit 1855
(Schüttergebiet kleiner als 100 km²)
Secousses locales, observées depuis 1855
(Aire ébranlée moins de 100 km²)