

b) Aus der Analyse der magnetischen Struktur kann die Einengungsrichtung abgelesen werden. J. RATHORE & M. BECKE (1983) haben mit dieser Methode die unterschiedlichen Strukturen beiderseits der Mölltalstörung am Südrand des Tauernfensters ermittelt, die NE-Einengung in der Reißeck-Gruppe des Pennins der Nord-Einengung in der Kreuzeckgruppe des Ostalpins gegenübergestellt und so indirekt einen weiteren Hinweis der Überschiebung von Ostalpin über Pennin erbracht.

c) Altersbestimmungen an nicht mehr verstellten Ergußgesteinskörpern können durch Ermittlung der Paläopollage und Vergleiche mit den bekannten Positionen des Poles während der Erdgeschichte vorgenommen werden. So hat z. B. H. MAURITSCH an den seit 1972 durchgeführten Messungen an oststeirischen und burgenländischen Vulkaniten indirekt Altersbestimmungen vornehmen können: Die Paläopollage des bisher in das Daz eingestuften Basaltes von Pauliberg im Burgenland paßt bestens zur Lage des Daz-Poles im stabilen Europa.

d) Einen Umsturz in der Altersbestimmung hat die Paläomagnetik für die Lößdatierung in Österreich bedeutet, über den J. FINK (1979) an Beispielen aus Niederösterreich und Burgenland berichtete (vgl. S. 261).

5. Literatur

F. AGNOLI et al., 1984; G. ANGENHEISTER et al., 1975; M. BAŽENOV et al., 1981; M. BECKE & H. MAURITSCH, 1983, 1985; J. DE BOER, 1963; J. CHANNELL & D. TARLING, 1975; J. FINK, 1979; H. FLÜGEL et al., 1980; A. FÖRSTER et al., 1975; R. HARGRAVES & A. G. FISCHER, 1959; H. HEINZ & H. MAURITSCH, 1980; F. HELLER, 1980; D. VAN HILLEN, 1964; K. DE JONG, 1967; J. KOTÁSEK & M. KRS, 1965; W. LOWRIE, 1980; E. MÁRTON, 1984, 1986; E. & P. MÁRTON, 1978, 1983; H. MAURITSCH, 1974; H. MAURITSCH & M. BECKE, 1980, 1982; H. MAURITSCH & W. FRISCH, 1978, 1980; H. MAURITSCH, H. HEINZ et al., 1979; P. MUŠKA & J. VOZNÁR, 1978; P. PAGAČ & R. MARSHALKO, 1979; J. RATHORE & M. BECKE, 1983; J. RATHORE & H. HEINZ, 1980; H. SOFFEL, 1975; P. STEINHAUSER, A. TOLLMANN et al., 1981; J. VANDENBERG, 1979; J. VANDENBERG & A. WONDERS, 1976, 1980; J. ZIJDERVELD et al., 1970, 1973.

K DIE SEISMIZITÄT ÖSTERREICH'S

1. Zur Geschichte der Erdbebenforschung in Österreich

Die Grundlagen für die spätere Auswertung der makroseismischen Beobachtungen über Auftreten und Auswirkung von Erdbeben in Österreich bilden zunächst die schriftlichen Überlieferungen der Schadensmeldungen, die in Chroniken fortlaufend – zurückgreifend bis zur Jahrtausendwende – besonders seit dem katastro-

phalen Beben von Murau im Jahre 1201 mehr oder weniger vollständig bis zur Gegenwart überliefert sind.

Noch wesentlich weiter zurück liegt die Meldung über das Starkbeben in Tulln (Comagena) in spätromischer Zeit, die in der von EUGIPPUS im Jahre 511 n. Chr. verfaßten „Vita Severini“ (R. NOLL, 1975, S. 61) enthalten ist und die die Wirkung des in der Mitte des 5. Jahrhundert stattgefundenen bedeutenden Erdbebens in Tulln schildert (R. NOLL, 1963, S. 61). R. NOLL (briefl. Mitt. vom 21. Oktober 1978) bringt zeitmäßig dieses Beben mit der quellenmäßig belegten Zerstörung von Savaria (Steinamanger, Westungarn) durch ein Beben am 7. September 456 in Zusammenhang. Dies ist trotz der Entfernung durchaus plausibel, da z. B. auch beim Beben mit gleichem Zentrum bei Neulengbach im Jahre 1590 als Fernwirkung in dem in gleicher Richtung, aber fast doppelt so weit gelegenen Nagy Kanizsa Festungswerke umgestürzt sein sollen (S. 167). Die beiden durch Fernwirkung im Zusammenhang mit dem Beben im Raum Neulengbach-Tulln offenbar betroffenen Städte Nagy Kanizsa und Steinamanger (Szombathely) liegen ja im Bereich der jungen Zala-Raab-Grabsenke, die als parallele Anlage zum Wiener Becken-Grabenbruch und dem sicherlich die Bebenregion Neulengbach-Tulln bedingenden Mailberger System (A. TOLLMANN, 1978 b, Abb. 6 und S. 327) – vgl. S. 177 und tekt. Kt. dieses Bandes – gleichzeitig in Bewegung gekommen sein wird. Bei dem Beben von 1590 sind ja tatsächlich die Hauptschäden an den drei genannten, genetisch zusammengehörigen, NNE-orientierten Strukturen entstanden (E. SUESS, 1873, S. 78 ff.): 1. In der Zone St. Christophen-Neulengbach-Tullnerfeld im Westen, 2. am Westrand des Wiener Beckens mit Wien, Baden, Traiskirchen, Wiener Neustadt in der Mitte und 3. im Bereich des Zala-Raab-Grabens im Osten. Aus tektonischer Sicht liegt daher nahe, daß alle drei genetisch verwandten parallelen Zonen mit ihrer W-E-orientierten Zerrungstektonik trotz der Hauptwirkung im Westen gleichzeitig beansprucht worden sind.

Durch eine Reihe neuer Grabungen in Carnuntum ist inzwischen der Nachweis eines weiteren frühen Bebens, nämlich aus der Mitte des 4. Jahrhunderts n. Chr., gelückt. In drei verschiedenen Abschnitten Carnuntums (Legionslager, Auxiliarkastell, Kultbezirk) wurden bis über 4 m hohe Mauern, die in der ganzen Länge durch eine plötzliche Erschütterung umgeworfen worden waren, freigelegt. Dieser Befund kann weder durch den allmählichen Verfall der Mauern noch durch eine kriegerische abschnittsweise Zerstörung erklärt werden, sondern eine derartige Zerstörung kann nur durch ein Erdbeben bewirkt worden sein (M. KANDLER, 1980, S. 86; 1983, S. 29 und Abb. 7). Die Mauern sind auch nicht durch Senkung der Fundamente gestürzt, da die Fundamente, von denen die Mauern abgeworfen sind, *in situ* erhalten geblieben sind. M. KANDLER macht auf Grund der Beobachtungen auf die Intensität dieser Erdbebenkatastrophe aufmerksam. Daher wird nun auch verständlich, daß Carnuntum in den siebziger Jahren des 4. Jahrhunderts, als A. MARCELLINUS diese Stadt im Gefolge von Kaiser Valentinian I. besucht hatte, als sehr desolat, als „verlassen und ungepflegt“, bezeichnet worden ist.

Die Ära der exakten wissenschaftlichen Auswertung der Beben setzt mit der 1896 beginnenden Publikationsreihe „Berichte der Erdbebenkommission“ und ab Beginn unseres Jahrhunderts mit der systematischen Sammlung der Daten in der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik in Wien/Hohe Warte ein. Ent-

scheidend ist der in neuerer Zeit vorangetriebene Ausbau des Netzes an Erdbebenstationen in unserem Land, das seit 1973 über neun Nahbebenstationen verfügt (K. ARIC, 1981, Tab. 6.3). Hinzu kommt die Mitarbeit der angrenzenden Bebenstationen, besonders auch jene der an der seismologischen Ostalpenforschung im Zusammenhang mit dem Projekt „Geotraverse IA“ direkt teilnehmenden deutschen Forschergruppen aus Karlsruhe und Fürstenfeldbruck, die durch die Errichtung von vier mobilen Stationen (Schlegeis/Zillertal, Bad Reichenhall, Garmisch-Partenkirchen und Innsbruck) und Registrierung der mikroseismischen Aktivität in kurzer Zeit wesentliche zusätzliche Aussagen über den Tiroler Raum vorlegen konnten (O. FÖRTSCH & E. SCHMEDES, 1976).

Die Begründung der Seismologie als Wissenschaft geht letztlich wiederum, wie bei so vielen Teildisziplinen der Erdwissenschaft, auf E. SUÈSS zurück. Er hat in seiner „richtungweisenden Arbeit“ von 1873 (J. DRIMMEL, 1980, S. 507) über die Erdbeben von Niederösterreich, insbesondere über die von ihm sorgfältig analysierten Beben von Neulengbach (1590, 1873) und Wiener Neustadt (1768), zunächst zum ersten Mal die Ursache der (tektonischen) Erdbeben erkannt: Bewegungen an „Zerreißungsspalten oder Verwerfungen oder irgendeiner anderen Discontinuität in der Erdrinde“ (l. c., S. 94), also Bewegungen an Störungslinien, sind der Grund für das Auftreten der Erdbeben. Früher hatte man ja die Ursache in den Einflüssen anderer Himmelskörper oder in speziellen verschiedenen lokalen Gegebenheiten gesucht – ganz abgesehen von den zuvor über Jahrhunderte hindurch, seit PLINIUS u. a., publizierten Meinungen über den Wind und das Wasser in den Klüften als Ursache der „Erdbebendem“, die unter dem religiösen Einfluß zugleich als Strafe Gottes für die sündige Menschheit gesehen worden waren. Die von J. RASCH im Jahre 1582 in München herausgegebenen „Tractaet über Erdbebendem“ bieten aufschlußreiche Daten über die Vorstellungen von den Ursachen von „Erdbeben und Erdspaltungen“ in der vorwissenschaftlichen Ära zur Zeit der Renaissance (Abb. 55).

E. TAMS gab 1954 einen eingehenden Überblick „über die Wandlung der Ansichten von der Entstehung der Erdbeben seit Alexander von HUMBOLDT“

E. SUÈSS hatte zugleich mit der Ursache für Erdbeben, nämlich den Bewegungen an Bruchlinien, die seiner Meinung nach hierfür wichtigsten drei Bruchlinien in Niederösterreich herausgearbeitet und benannt (1873, S. 93): die Mürzlinie, die (heute meist nicht mehr anerkannte) Kammlinie auf Grund des Neulengbacher Bebens und die Thermenlinie am Rande des Wiener Beckens. Darüber hinaus hat E. SUÈSS an Hand des Neulengbacher Bebens vom 3. Jänner 1873 die erste Isoseistenkarte gezeichnet (l. c., Taf. 2) und damit dieses Prinzip in der Seismologie eingeführt. Ferner hat er an Hand dieser Darstellung auf die eigenartige Hauptausstrahlung der Erdbebenwirkung quer zum alpinen Streichen, also in Richtung NNW weit in das Vorland hinaus, verwiesen und damit den Charakter der alpinen Beben als Transversalbeben festgehalten – ein Begriff, der besonders bei den Geologen unseres Jahrhunderts viel verwendet wird und heute Allgemeingut der Ostalpen-Seismologie ist. SUÈSS hat in dieser Arbeit außerdem eine Pfeilrichtungs-Signatur für die unmittelbar gefühlte Richtung der Bewegungsstöße eingeführt und kartenmäßig angewendet, wie sie noch heute verwendet wird (Abb. 56).

Neben all diesen Ergebnissen aber hat SUÈSS zugleich bei diesem seinem Wurf von 1873 die Methodik zur Datenbeschaffung entwickelt: 1. Die direkte Erhe-

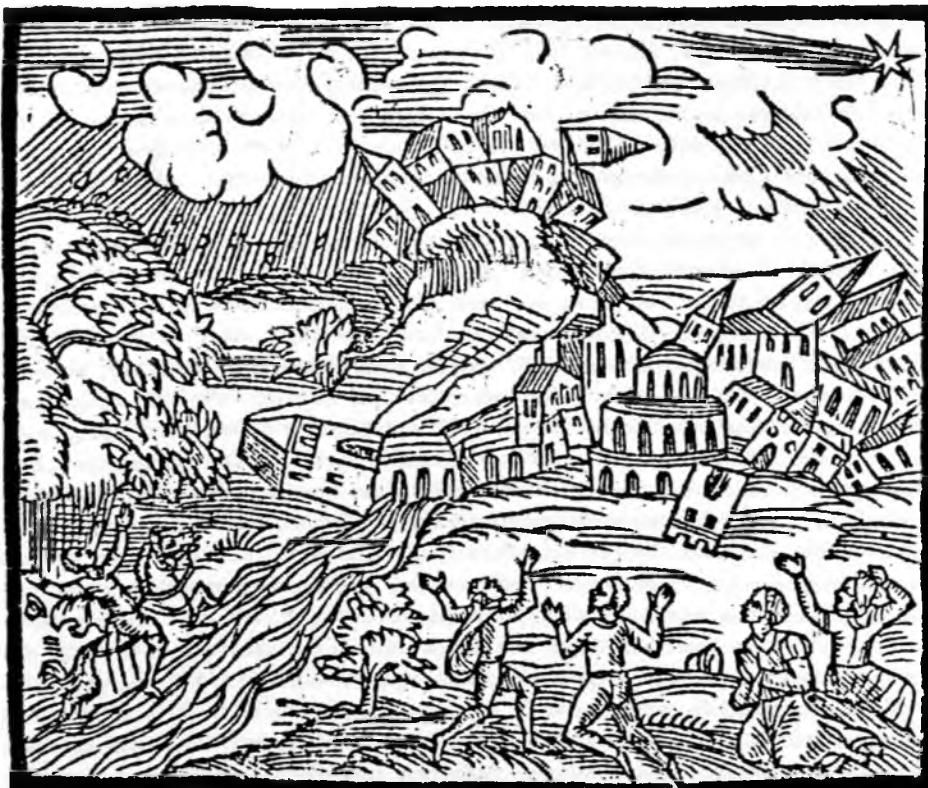


Abb. 55: Holzschnitt einer Erdbebenkatastrophe als Frontispiz der „Tractaet über Erdbidem“ von I. RASCH (1582), das die Antwort „hocherleuchteter Scribenten“ dieser Zeit auf die Anfrage des Wiener Bischofs J. FABER nach den Ursachen dieser Naturkatastrophen enthält.

bung der Auswirkungen des Erdbebens und der verschiedentlich wahrnehmbaren Stoßrichtungen unmittelbar nach dem Ereignis, unterstützt durch eine von ihm entworfene Aufforderung zur schriftlichen Mitteilung der etwaigen Beobachtung an „viele einflußreiche Personen in den betroffenen Gegenden“ (am Beispiel des Neulengbacher Bebens vom 3. Jänner 1873 erhielt E. SUESS auf diese Art Material aus 203 Ortschaften Niederösterreichs) und 2. die systematische Sammlung aller erreichbaren Daten über das Untersuchungsgebiet im weitesten Sinn durch sorgfältige Auszüge aus Archiven und Chroniken unter besonderer Berücksichtigung des Schadensausmaßes (am gewählten Beispiel zurück bis zum Jahre 1021 – E. SUESS, 1873, S. 24 ff.).

Auf den Sohn von E. SUESS, F. E. SUESS (1895, S. 84 und Abb. 1), geht der nächste kurze, vielleicht aber wichtige Hinweis zurück, daß die kürzere, in Herdnähe gelegene Querachse der Isoseisten ebenfalls einen Hinweis auf die Struktur der Tiefe gibt, hier mit dem Streichen des Gebirges zusammenfallend. J. DRIMMEL (1980, S. 511) hat ja in

diesem Sinn sogar verlangt, daß die erste, innerste Isoseiste stets die Richtung der verursachenden Bruchstruktur der Tiefe anzeigen.

In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts hat sich dann – unabhängig von der damals im Vordergrund stehenden Phase der umfassenden und genauen Datensammlung durch die Seismologen – eine Reihe von Geologen über die konkreten Ursachen der vorwiegend transversal orientierten Erdbeben Gedanken gemacht: von F. HERITSCH (z. B. 1918) über F. KAUTSKY (z. B. 1924) bis R. SCHWINNER (etwa 1929, 1930). Die Qualität der Schlußfolgerungen bei diesen Autoren steht naturgemäß in direktem Zusammenhang mit der Qualität der zugrunde gelegten tektonischen Fakten (die bei R. SCHWINNER allerdings – etwa 1930, Kt. Abb. 3, gänzlich unrichtig waren).

Die moderne Entwicklung der Seismologie, die weltweit unter Führung der japanischen, russischen und amerikanischen Forschung rasch fortgeschritten ist, spiegelt sich auch in der modernen österreichischen einschlägigen Literatur wider durch Analyse der Herdmechanismen, Isoseistenkarten, mikroseismische Bestimmungen, Untersuchung der seismisch erfaßbaren relevanten Krustenstrukturen, erste Versuche einer Gefährdungs- und Risikoabschätzung und verschiedene Vorschläge zur geologisch-tektonischen Interpretation der seismischen Gegebenheiten.

2. Nomenklatorische Bemerkungen

Vor Besprechung des seismischen Charakters Österreichs seien zum allgemeinen Verständnis einige grundlegende Begriffe der Seismologie in Erinnerung gebracht. Was zunächst die Intensität der Beben betrifft, wird im folgenden die gegen oben hin begrenzte, zwölfteilige Medvedev-Sponheuer-Kárník-Skala (MSK) verwendet, die nur eine moderne, leichte Modifikation der zuvor üblichen Mercalli-Sieberg-Skala (MS) darstellt. Diese Intensität wird unter Erhebung der direkten Auswirkung eines Bebens auf Menschen, Gebäude und Landschaft durch Abschätzung festgestellt. Die Abkürzung I_0 bedeutet Intensität im Epizentrum, I bedeutet die Standortsintensität. Aus der zwölfteiligen Skala, die in jeder allgemeinen Geologie bzw. Seismologie, auch im Önorm-Blatt B 4015/Tf. 1, J. DRIMMEL, 1979, S. 4, angeführt ist (bzw. in ungekürzter Originalfassung unter Berücksichtigung der verschiedenen Bautypen bei R. SÄGESER et al., 1978, S. 18, ausführlich dargelegt ist), seien hier die markanten Schlüsselwerte herausgegriffen: Intensität 5°: aufweckend, allgemein bemerkbar; $I = 6^\circ$: erschreckend; $I = 7^\circ$: einzelne Schäden an Gebäuden; $I = 8^\circ$: verbreitete Schäden; $I = 9^\circ$: teilweise Zerstörung; $I = 10^\circ$: allgemeine Zerstörung. Danach könnte man Beben ab der Epizentralintensität $I_0 = 6^\circ$ als „Starkbeben“, ab $I_0 = 7^\circ$ als „Schadbeben“, ab $I_0 = 8^\circ$ als „Zerstörungsbeben“ und ab $I_0 = 9^\circ$ als „Katastrophenbeben“ bezeichnen.

Die Bebenstärke, die durch Seismographen, also institutionell und exakter als durch Beachtung der Schadwirkung, gemessen wird, wird als Magnitude bezeichnet und durch die nach oben offene, logarithmische Richter-Skala (von CH. RICHTER 1935 in Kalifornien entwickelt) festgehalten. Zur Orientierung: die in unserem Jahrhundert stärkste Richter-Magnitude betrug 8,9, das verheerende Beben von Chile (22. Mai 1960) hatte eine Magnitude von 8,5, Beben über $M = 5,5$ richten signifikante Schäden an. Beim endkretazischen Impakt rechnet man mit einer Magnitude von 12,2.

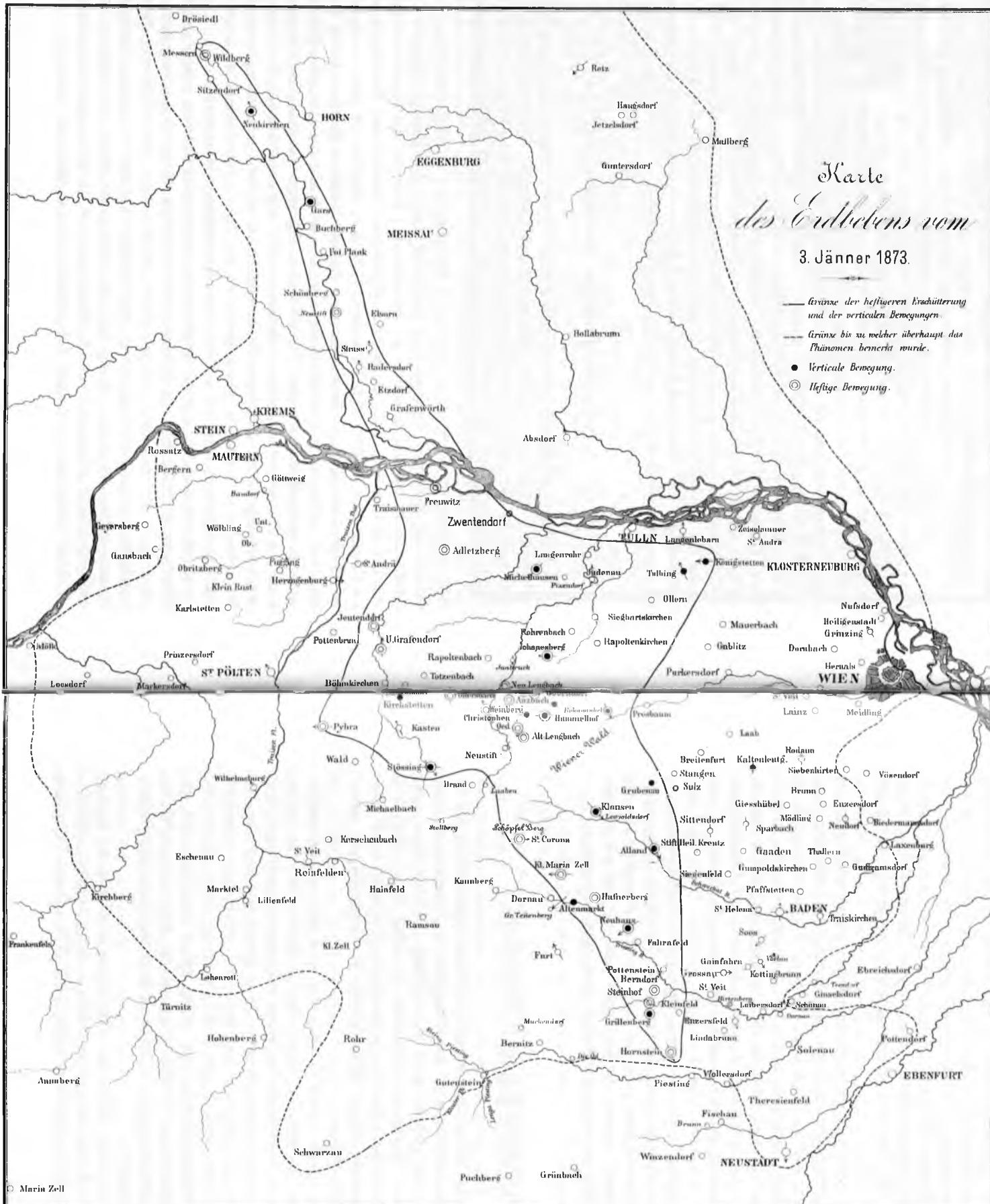


Abb. 56: Die von E. SUESS entwickelte Karte über das Neulengbacher Beben vom 3. Jänner 1873 zeigt an Hand von Isoseisten die regionale Intensität der Bebenwirkung, die empfundenen Stoßrichtungen, die transversale Hauptausstrahlung des Bebens gegen NNW u. a. Sie wird richtungweisend für die graphische Darstellung und Methodik in der Seismologie.

Tiefenlage des Herdes = Hypozentrum (h): In Österreich treten ausnahmslos sehr flach liegende Herde auf (flache Herde im allg.: 1 bis 70 km, tiefste Herde der Welt 700 km). Die Tiefenbestimmung der Herde durch mikro- und makroseismische Methoden kann durchaus differieren (K. ARIC, 1981, S. 277), da bei der makroseismischen Methode die Tiefe des Schwerpunktes der seismischen Energiequelle, bei der mikroseismischen Methode die Tiefe des Ausgangspunktes des Bruchvorgangs bestimmt wird.

Über die Eigenart des Herdes, der bei unseren Beben grundsätzlich stets eine klar definierte, aktive Störungsfläche darstellt, kann bereits durch die seismographische Messung Wesentliches ermittelt werden (G. GANGL, 1974, S. 40): So wird durch ein Stationsnetz z. B. aus der ersten Ausschlagsrichtung der Seismographen bei Ankunft der P-Welle die Richtung des Stoßes als Kompression (Ausschlag nach oben) oder die Richtung der Zugbewegung, der Dilatation (Ausschlag nach unten) festgelegt und dann der Herdvorgang schematisch auf der unteren Hälfte einer Herdkugel auf dem Wulffschen Netz mittels der räumlichen Lage der Druck- (schwarze Felder) und Zugquadranten (weiße Felder) dargestellt. Ferner lassen sich aus den Amplitudenspektren der verschiedenen seismischen Stationen auch die Größe der Bruchfläche, ihre Länge, der Vorgang der Bruchgeschwindigkeit und das Ausmaß der Bewegung an der Störungsfläche berechnen – also Parameter, die bei Kombination mit den tektonischen Kenntnissen ein lebendiges Bild von aktuogeologischen Vorgängen vermitteln.

3. Die seismische Eigenart Österreichs

Als Bestandteil des seismisch aktiven mediterranen Kettengebirgsgürtels ist der Alpenstaat Österreich zwar kein „Erdbebenland“ wie jene Länder in tektonisch noch aktiven Orogenen, erlitt aber über Jahrhunderte hin reichlich Schadbeben und auch Beben zerstörender Wirkung. J. DRIMMEL, G. GANGL et al. (1971, S. 2) führen aus, daß in einem Jahrhundert neben ca. 50 Starkbeben (Intensität $I_0 = 6^\circ$ MSK: „erschreckend“), noch 10 Schadbeben ($I_0 = 7^\circ$ MSK: Schäden an Gebäuden) und noch 2 Zerstörungsbeben ($I_0 = 8^\circ$ MSK) auftreten.

Auch Beben mit katastrophaler Wirkung sind im Laufe der Jahrhunderte in unserem Land aufgetreten: So etwa in Villach am 25. Jänner 1348 ($I_0 = 10$ der zwölfteiligen Skala), bei dem die Stadt durch das Beben weitgehend zerstört und durch die folgende Feuersbrunst vollends verwüstet wurde. Dieses Beben löste auch den Dobratsch-Bergsturz aus, welcher 17 Dörfer, 3 Schlösser und 9 Kirchen vernichtete (Bd. I, S. 635) – vgl. H. v. HOFER, 1880; A. TILL, 1907; G. SOLLE, 1939; W. GÖRLICH, 1948). Villach erlitt fast dreihundertfünfzig Jahre später, am 4. Dezember 1690, ein zweites, fast ebenso starkes Beben ($I_0 = 9^\circ$ MSK). Man hat das Beben von 1348, bei dem etwa 5000 Menschen zugrunde gingen, in seiner Auswirkung etwa dem Friauler Beben von 6. Mai 1976 gleichgesetzt.

Fast gleich stark wie das Villacher Beben von 1690 waren auf Grund der Auswirkungen jenes von Murau am 4. Mai 1201 ($I_0 = 9^\circ$ MSK) – vgl. R. HOERNES (1902) – und jenes von Neulengbach vom 15. September 1590 ($I_0 = 9^\circ$ MSK), dessen Wirkungen

ja im eingehenden Bericht von E. SUESS (1873) mit Ergänzungen von F. E. SUESS (1895) so anschaulich geschildert worden sind: Die Stöße begannen beim Neulengbacher Beben am 15. September um 5^h abends, dauerten die ganze Nacht über an, erreichten zwischen 12^h und 1^h nachts ihre größte Heftigkeit und hielten zunächst bis zum folgenden Tag um 2^h Nachmittag an. Nachbeben folgten noch viele Wochen hindurch, und den Berichten zufolge wurden im Zentrum, in Thurn E. St. Christophen bei Neulengbach, die „Heuser ybern Hauffen geworffen“, im Wienerwald stürzte in Mauerbach mit gewaltigem Dröhnen der Kirchturm ein, größte Zerstörungen stellten sich „am Rand der Alpen über das Tullnerfeld hin ein“, wo nicht nur Gebäude einfacher Bauweise, sondern sogar das neue Schloß zu Judenau niedergeworfen wurden. In Wien wurde der Stephansturm sehr schwer beschädigt, stürzte aber im Gegensatz zum Oberteil der Michaelerkirche und zum Dachstuhl der Schottenkirche nicht ein. In Traiskirchen stürzten 30 Häuser ein. Auch noch die Fernwirkungen bis Agram, Nagy Kanizsa (wo Festungswerke umgestürzt sein sollen), Leitmeritz und Prag waren beträchtlich.

Zerstörende Wirkung haben aber auch noch die Beben der nächstniederen Intensitätsklasse, mit $I_0 \geq 8^\circ$ MSK, aufgewiesen. Sie sind in Österreich aus folgenden Gebieten bekannt geworden: Von Kindberg/Mürz (8. Mai 1267), Innsbruck (4. Jänner 1572, 22. Dezember 1689), Hall in Tirol (17. Juli 1670), Wr. Neustadt (27. Februar 1768), Leoben (6. Februar 1794) und Schwadorf (8. Oktober 1927). Das stärkste Beben im 20. Jahrhundert hat mit Epizentrum bei Seebenstein-Pitten (16. April 1972) $7\frac{1}{4}^\circ$ MSK erreicht.

Ogleich demnach in Österreich auch echte Katastrophenbeben aufgetreten sind, waren nach G. GANGL (1974, S. 39) bei keinem Beben sichtbare Verstellungen an der Oberfläche zu beobachten (vgl. hierzu aber E. SUESS, 1873, S. 79).

Die Tiefenlage der Erbebenherde ist in Österreich (ähnlich wie in der Schweiz mit meist nur maximal 15 km Tiefe – N. PAVONI, 1977, S. 351) zwar oberflächennahe, aber doch häufig tiefer als im mitteleuropäischen Vorland. Die meisten Bebenherde liegen nur 6 bis 10 km tief (J. DRIMMEL, 1981, S. 164), 90% liegen noch immer ober 10 bis 12 km, nur wenige in Tiefen von 10 bis 25 km, wie jene im Gebiet des Semmering und in den Lechtaler Alpen (J. DRIMMEL, G. GANGL et al., 1971, S. 2; A. FRANKE & R. GUTDEUTSCH, 1974). Der tiefste Herd wurde beim Beben vom 15. Mai 1973 in den Hohen Tauern in 44 km Tiefe registriert (R. GUTDEUTSCH & K. ARIC, 1976, S. 10, Abb. 5). Die Herde aller ostalpinen Starkbeben aber liegen jedenfalls in der Oberen Kruste (J. DRIMMEL, 1980, S. 515). Die Geophysiker nehmen an, daß eine Diskontinuitätsfläche in 11 km Tiefe für diese Verhältnisse verantwortlich sei (F. STEINHAUSER, 1975, S. 22 f.). Da aber die geologischen Verhältnisse in der jungen alpinen Kruste, im überschobenen tiefliegenden Teil der Böhmisches Masse und in ihrem hochgelegenen freiliegenden Teil sehr verschieden sind, kann man mit einer solchen einfachen generalisierenden Erklärung nicht auskommen (s. u.).

Die Anordnung der Erdbebenzentren ist in der überwiegenden Zahl der Fälle deutlich an bestimmte Zonen und Linien gebunden, die oft auch durch obertage sichtbare bruchtektonische Strukturen gekennzeichnet sind (Abb. 57). Die intensivsten dieser Linien sind die Mur-Mürz-Linie, die Thermenlinie s. l., die Periadriatische Linie, die (Sill- und) Innnlinie mit Innsbruck und Hall i. T. sowie die Enga-

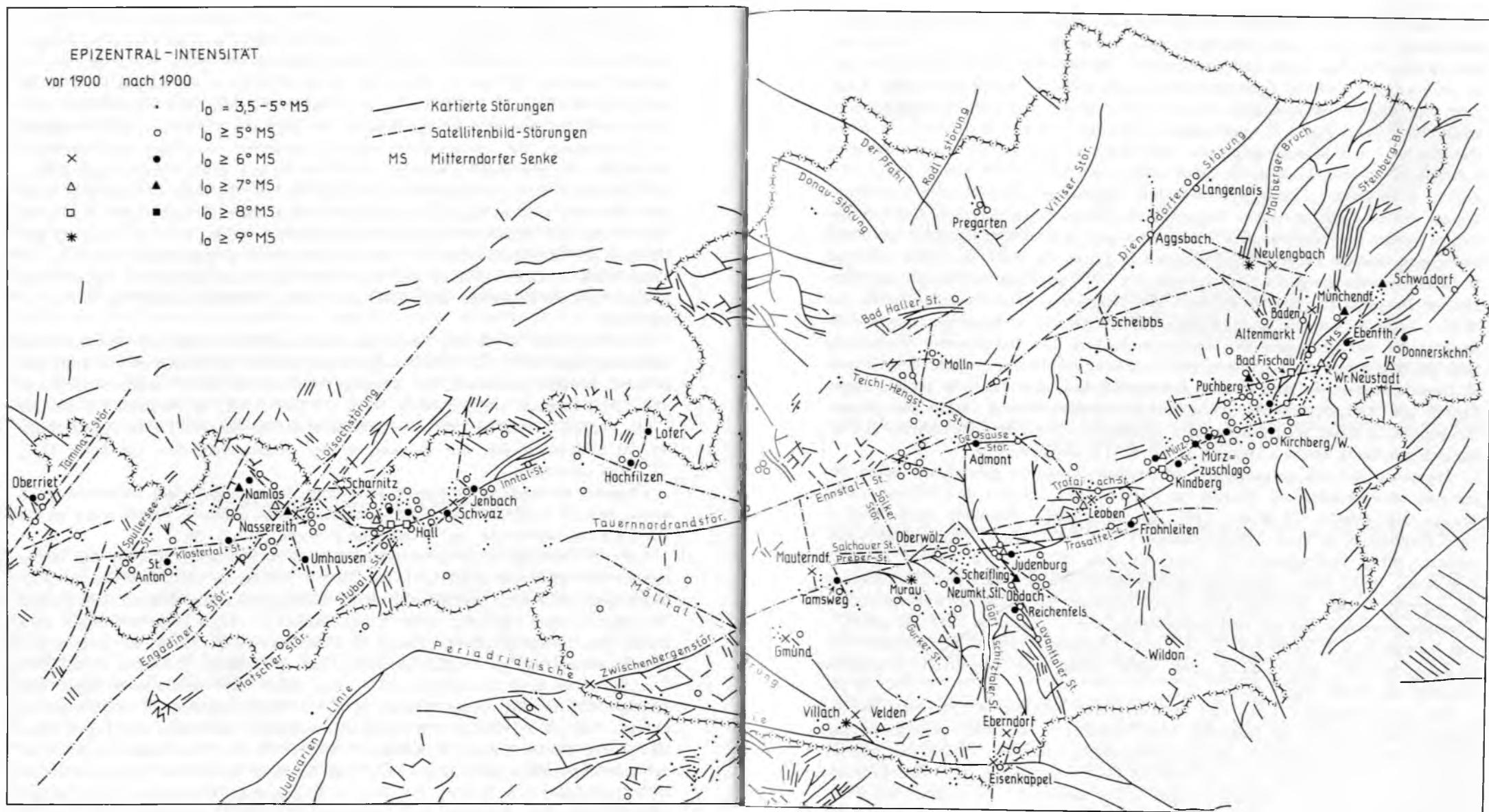


Abb. 57: Die Beziehungen der Bebenherde Österreichs zur Bruchtektonik; aus der Kombination der Arbeiten von R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976, Abb. 9–10), G. GANGL (1969 a, Kt.), A. TOLL-MANN (1970 a, Taf. 1; 1977 a, Taf. 1) und M. BUCHROITHNER (1984). Die Zusammenstellung zeigt eindringlich die enge Abhängigkeit der Bebenzentren von den bruchtektonischen Strukturen.

din-Loisach-Linie mit Nassereith. Die Deutung der genetischen Zusammengehörigkeit bestimmter Herde darf unter Berücksichtigung der Herd-Parameter nur bei Beachtung der tektonischen Strukturen und geologischen Gegebenheiten vorgenommen werden. So ist etwa eine einfache Zusammenfassung aller auch nur sehr vage in einer Richtung angeordneten Bebenzentren zu einer Linie, die aus sehr verschiedenen geologischen Abschnitten mit z. T. querliegenden Störungen besteht, irreführend. In dieser Hinsicht kann z. B. keineswegs die aus dem Kernstück der tektonisch gerechtfertigten SUESSschen Mur-Mürz-Linie durch Extrapolation nach NE und SW von K. ARIC (1981, S. 290) konstruierte „Linie“ Verona–Belluno–Tolmezzo–Villach–Metnitz–Mur–Mürz–Wiener Becken–Peripieninisches Lineament der Karpaten als genetisch zusammengehöriges System anerkannt werden. Hierin sind sehr verschiedene Elemente enthalten: Südvergent bewegte flache Überschiebungen in Friaul, ein Stück der Periadriatischen W-E-Seitenverschiebung, die Querelemente der NNW-gerichteten Störungen bei Metnitz, im Lavanttal etc., die NE-ziehende Mur-Mürz-Linie, das selbständige System des Wiener Beckens (samt der „Leithalinie“) und die gänzlich andersartige orogenetische Struktur des Pienidenbogens der Karpatenaußenseite. Die letztgenannte Verbindung geht auf B. BERÁNEK & A. ZÁTOPEK (1975) zurück, die die Pannonische Scholle ganz zu Unrecht weit in die Alpen hinein fortsetzen ließen, über das nicht berücksichtigte Pennin von Rechnitz und alle geologischen Strukturen hinweg. Gegen eine Zusammenkoppelung dieser verschiedenartigen Elemente zu der oben geschilderten „Linie“ hat sich mit Recht bereits J. DRIMMEL (1980, S. 517) ausgesprochen.

Abgesehen von den an geologisch gut deutbare Strukturen gebundenen Beben treten auch noch verschiedene Herde im verdeckten Sockel der böhmischen Masse auf (Molln: 29. Jänner 1967 I_0 = fast 7° MSK, Herdtiefe rund 7 km – vgl. J. DRIMMEL & E. TRAPP, 1975; Scheibbs 17. Juli 1876, I_0 = $7,5^\circ$ MSK – vgl. A. KO-WATTSCH, 1911; Neulengbach, s. o. und 3. Jänner 1873, I_0 = $6,5^\circ$ MSK – vgl. auch F. E. SUSS, 1895), deren zugehörige geologische Strukturen durch die Überschiebung der alpinen Decken verdeckt sind, sodaß hierüber nur einander widersprechende Theorien entwickelt worden sind, unter denen jene – allgemein nicht akzeptierte – von J. DRIMMEL & E. TRAPP (1975, S. 41) bzw. J. DRIMMEL (1980, S. 522) auf eine Verbindung der drei Herde durch eine leicht schräg zum Alpenrand verlaufende Längsstörung abzielt (vgl. S. 177).

Der freiliegende Teil der böhmischen Masse in Österreich an und nördlich der Donau ist als Bestandteil des Vorlandes in wesentlich geringerem Ausmaß von Erbeben heimgesucht, aber als Randbereich unter dem Einfluß der herangebrannten alpinen Decken und der dadurch bis in die jüngere Zeit wiederbelebten Bruchtektonik an alten Störungen nicht völlig aseismisch. Die Karte Abb. 9 bei R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976) zeigt in diesem Raum 26 Epizentren mit $I < 5^\circ$ MS und 8 Zentren mit $I \geq 5^\circ$ MS, unter denen in Pregarten/Aist ENE Linz am 17. Juni 1972 immerhin eine Intensität von fast 7° MSK bei einer Herdtiefe von bloß 5 km erreicht worden ist. Aber auch entlang der noch immer aktiven Diendorfer Seitenverschiebung, die mit NE-Verlauf an die Grenze Waldviertel–Weinviertel hinzieht und an der sich die Spannungen an der Oberfläche beiderseits der breiten Mylonitzone durch langsame kontinuierliche Bewegungen ausgleichen, treten in der Tiefe zufolge anderem Gesteinszustand bei plötzlichem Spannungsabbau Bebenherde auf, die z. B.

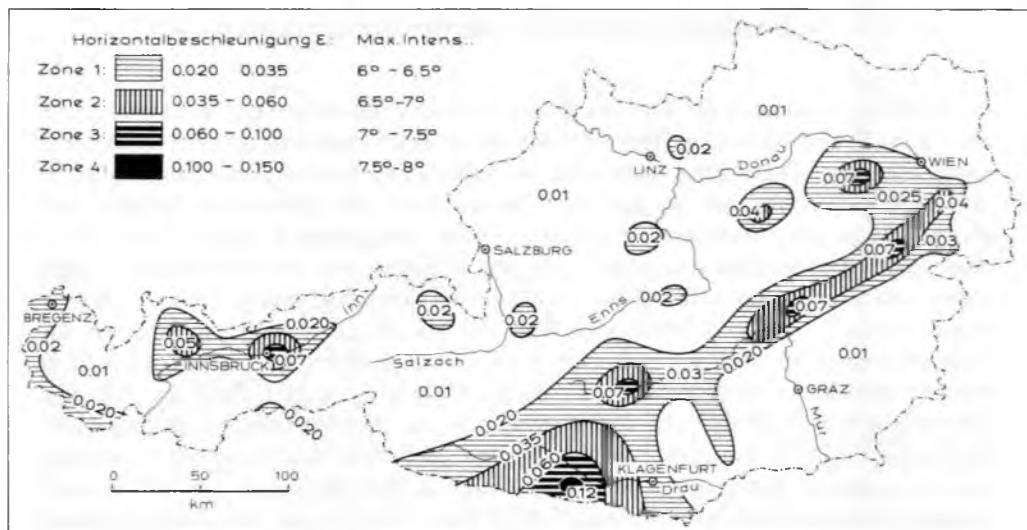


Abb. 58: Karte der österreichischen Erdbebenzonen auf Grund der Horizontalbeschleunigung des Bodens, dargestellt für das hundertjährige Beben, unter Ausklammerung der extremen Herde Vilach, Murau und Neulengbach. Bei Maximalbeben sind die Erdbebenkoeffizienten in der Regel drei- bis viermal größer; nach J. DRIMMEL (1979, Beil. 1).

bei Aggsbach, Spitz und NE Senftenberg (17. Februar 1959, $I_0 = 6^\circ$ MSK) lokalisiert worden sind.

Die eigenartige Richtungsabhängigkeit der Ausbreitung der Bebenwellen, bevorzugt nach NNW, senkrecht zur Streichrichtung der Alpen, ist immer wieder beobachtet und referiert worden, ohne daß man bisher eine eindeutige Erklärung dafür hatte, wie unten ausgeführt wird. Diese Eigenheit ist, wie S. 181 f. erwähnt, durch das Stichwort „Transversalbeben“ charakterisiert worden. Lokal allerdings können mächtige Tertiärmulden (Molasse, Wiener Becken etc.) eine dämpfende Wirkung auf die Erdbebenwellen ausüben (G. GANGL, 1969, S. 2).

Zusammenfassende Darstellungen über die Seismizität in Österreich oder größerer Abschnitte unseres Landes liegen von G. GANGL (1969 a, b), J. DRIMMEL, G. GANGL et al. (1971: mit 5 Kartendarstellungen), R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976) und J. DRIMMEL (1980: mit Liste der wichtigsten österreichischen Beben) vor. Eine systematische Aufnahme aller österreichischen Erdbeben stellt der Erdbebenkatalog von M. TOPERCZER & E. TRAPP (1950) mit Nachträgen von E. TRAPP (1961, 1973) dar. J. DRIMMEL hat 1979 im Hinblick auf das Bauwesen eine Karte der österreichischen Erdbebenzonen veröffentlicht (Abb. 58). Am vielsagendsten unter all diesen Darstellungen aus geologischer Sicht ist die Abb. 9 und 10 bei R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976), bei der nicht Bebenareale umgrenzt sind, sondern die Einzelbebenherde (mit Deckblatt der geologischen Störungen) zur Darstellung gelangt sind, sodaß hier in vielen Fällen direkte Zusammenhänge ersichtlich werden.

4. Beispiele regionaler Bebenherdgruppen

a) **Mur-Mürz-Linie:** Die am frühesten erfaßte Bebenstruktur in Österreich ist die **Mur-Mürz-Linie**, an der sich eine große Zahl wiederholt aktiver Bebenherde aneinanderreiht. Diese Zone stellt eine bruchtektonisch beanspruchte Längsregion in den Zentralalpen dar, an der seit dem Miozän bis in die Gegenwart kräftige Ausgleichsbewegungen, besonders in vertikalem Sinn, stattgefunden haben. Diese isostatisch bedingten Schollenbewegungen, die zur Kippung von streifenförmigen Längszonen und zur Füllung tiefer Becken mit Serien des Karpat geführt haben („Norische Senke“, Bd. II, S. 590 ff. und Abb. 260 bis 263), liegen genau dort, wo das Hauptschweredefizit von den östlichen Hohen Tauern über den Lungau nach ENE zieht (s. Knicke in den Isolinien der Bouguer-Schwerekarte der Ostalpen, Abb. 47). Das bedeutet, daß wir hier die durch Subduktion des Nordrandstreifens bedingte größte Krustendicke zu erwarten haben und damit verbunden das Maximum an isostatischem vertikalem Bewegungsimpuls, verbunden mit Bruchstörungen und Schollenkipplungen. Größere Seitenverschiebungen treten nicht auf, wie aus dem Zusammenhang der geologischen Grenzen – z. B. über das Mürztal und das Semmeringgebiet hinweg – ersichtlich ist. Die Störungszone ist im Bereich der Mürz nach Satellitenbildern noch geschlossener, spaltet aber im Bereich der Mur in zwei Hauptäste und weitere Nebenstörungen auf, sodaß ähnlich wie bei der Thermenlinie keine einheitlich durchlaufende Störung vorhanden ist, sondern sich eine Serie subparalleler an- und ablaufender Störungen einstellt. Hinzu kommen große Querstörungen, wie die NNW-SSE verlaufende Sölker Störung, die auf dem Satellitenbild durch Murau weiter gegen SSE verfolgbar ist, die ähnlich orientierte große Pöls- und Bretsteinstörung, die über Pöls und Judenburg in der gewaltigen Obdacher- und Lavanttal Störung mit vertikalem und horizontalem Versatz fortsetzt, und weitere Schrägstörungen (vgl. Abb. 42). An den Knotenpunkten wirken demnach tektonische Impulse von zwei verschiedenen Systemen zusammen.

Zu diesem System der Mur- und Mürzlinie (Norische Senke) gehören daher eine Reihe von Bebenherden, die auf Grund der geschilderten tektonischen Gegebenheiten nicht genau entlang einer Geraden liegen, sondern ein Band im Bereich dieses verzweigten alpinen Längsbruchsystems einnehmen. Es zählen hierzu folgende Starkbebenherde: Mautendorf (Dezember 1691, $I_0 = 6,5^\circ$ MSK), Tamsweg (28. November 1923, $I_0 = 6^\circ$), Murau (4. Mai 1201, $I_0 = 9^\circ$; 12. Dezember 1973, $I_0 = 6^\circ$), Oberwölz (24. März 1910, $I_0 = 6,5^\circ$), Neumarkt (28. Dezember 1877, $I_0 = 6^\circ$), Scheifling (2. Februar 1905, $I_0 = 6^\circ$), Obdach (3. Oktober 1936, $I_0 = 7,5^\circ$; 24. Oktober 1950, $I_0 = 6^\circ$), Judenburg (1. Mai 1916, $I_0 = 7^\circ$), St. Stefan ob Leoben (29. April 1899, $I_0 = 6^\circ$), Leoben (6. Februar 1794, $I_0 = 8^\circ$; 26. Juni 1830, $I_0 = 6,5^\circ$), Kindberg (8. Mai 1267, $I_0 = 8^\circ$; 30. August 1847, $I_0 = 6^\circ$; 1. Mai 1885, $I_0 = 8^\circ$; 13. Mai 1907, $I_0 = 6,5^\circ$), Wartberg (26. August 1885, $I_0 = 6^\circ$; 25. Juli 1927, $I_0 = 7^\circ$), Mitterdorf (1. Dezember 1876, $I_0 = 6^\circ$; 12. Juni 1973, I_0 über 6°), Krieglach (4. Oktober 1811, $I_0 = 6,5^\circ$), Mürzzuschlag (14. März 1837, $I_0 = 7^\circ$; 6. Juli 1926, $I_0 = 6,5^\circ$; 13. Jänner 1958, $I_0 = 6^\circ$), Semmering-Süd (8. Juni 1830, $I_0 = 6,5^\circ$; 27. Oktober 1964, I_0 fast 7°), Schottwien (18. Jänner 1870, $I_0 = 6^\circ$), Sieding (11. Mai 1910, $I_0 = 6,5^\circ$), Pottschach (22. September 1885, $I_0 = 6,5^\circ$), Ternitz (28. September 1926, I_0

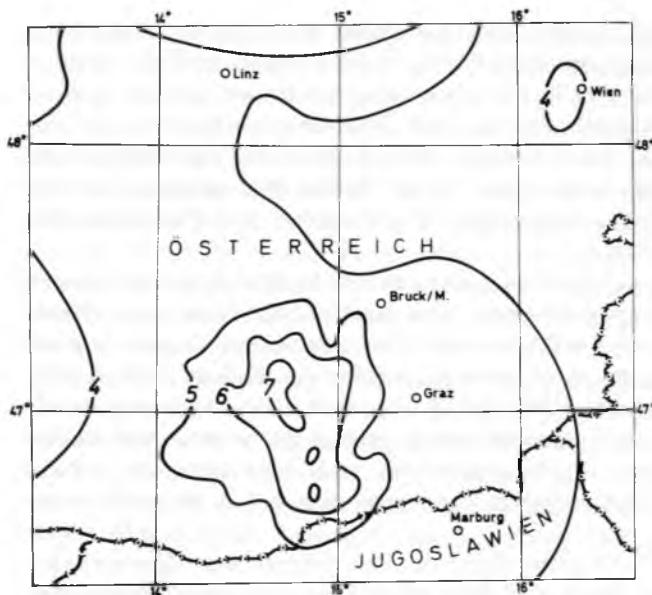


Abb. 59: Isoseistenkarte des Obdacher Bebens vom 3. 10. 1936; nach J. DRIMMEL et al. (1971, Abb. 10). Die Abbildung zeigt die ungefähre Ausrichtung der inneren Isoseisten nach den bedingenden tektonischen Strukturen.

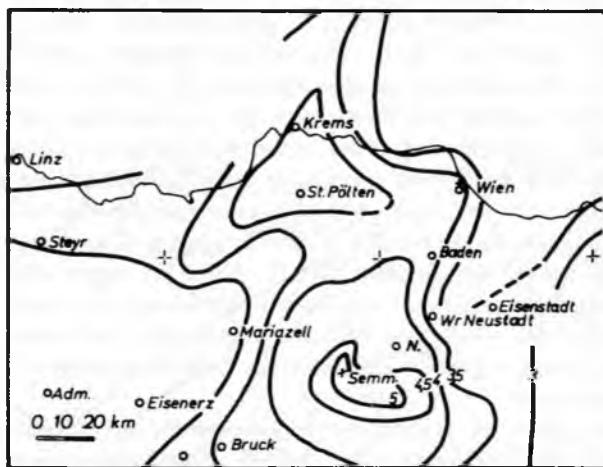


Abb. 60: Isoseistenkarte des Semmering-Bebens vom 30. 6. 1964; nach G. GANGL (1969 b, Abb. 3).

fast 7°), Pitten (16. April 1972, $I_0 = 7\frac{3}{4}^{\circ}$), Wiener Neustadt (27. Februar 1768, $I_0 = 8^{\circ}$; 13. Juli 1841, $I_0 = 7^{\circ}$; 5. Jänner 1972, $I_0 = 6^{\circ}$).

Diese Mur-Mürz-Linie stellt mit über 50 Prozent aller österreichischen Starkbeben naturgemäß die bedeutendste Bebenzone Österreichs dar. Ihre Herde liegen meist zwischen 8 und 12 km tief und sinken im Semmering auf 18 km (J. DRIMMEL, 1980, S. 516) ab. G. GANGL (1969 b, Abb. 3 bis 5), J. DRIMMEL, G. GANGL et al. (1971, Abb. 7, 10) und J. DRIMMEL (1980, Abb. 138) bringen eine Reihe von Isoseisten-Karten verschiedener Beben dieser Region, die sämtlich Isoseistenbilder mit bevorzugter Ausbreitung der Energie gegen NNW hin aufweisen. Die Auffassung von J. DRIMMEL (1980, S. 511), daß man aus der Richtung der herdnächsten Isoseiste bei Starkbeben –

trotz des generellen Transversalcharakters der Ausstrahlung in der weiteren Umgebung – stets die Richtung der erzeugenden Bruchflächen ablesen könne, trifft in manchen Fällen einigermaßen zu, wie etwa beim Odbacher Beben an der wohl eindeutig zuordenbaren NNW gerichteten Odbacher Störung (Abb. 59), schwächer bereits beim Semmering-Beben mit west-östlicher Anordnung der inneren Isoseisten, aber ENE ziehender Störung (Abb. 60) und dem bereits dem Wiener Becken-Störungssystem des NE verlaufenden Mitterndorfer Troges angehörigen Wr. Neustädter und Ebenfurther Beben, bei anderen Fällen aber nicht.

Die Ankoppelung verschiedener anderer tektonischer Elemente in Fortsetzung der Norischen Senke, also der Mur-Mürz-Linie, gegen Nordosten (Peripienidisches Lineament) und Südwesten (Bebenzentren bis Verona) zu einer zusammengehörigen Bebenlinie mit zwei Knicken im Sinne von K. ARIC (1981, S. 303) hat, wie erwähnt, bereits J. DRIMMEL (1980, S. 517) abgelehnt. Hier sind ja, wie im folgenden gezeigt werden wird, sehr verschiedenartige geologische Strukturelemente beteiligt. Die Vorstellung übrigens, die Mur-Mürz-Linie nach Südwesten über Villach, Tarvis gegen Südwesten bis nach Friaul zu verlängern, geht auf R. HOERNES zurück (F. TOULA, 1896, Sep. S. 26).

b) Wiener Becken mit Thermenlinien. Der Abbruch des Alpenostrandes entlang des Wiener Beckens ist durch eine subparallele Schar von aufgefiederten Brüchen entlang der „Westlichen Thermenlinie“ gekennzeichnet (Bd. II, Abb. 113). Das Gegenstück dieses durch eine Reihe von warmen Quellen gekennzeichneten Bruchsystems liegt am Beckenrand in der sogenannten „Östlichen Thermenlinie“ (Bd. II, Abb. 238) entlang des Westrandes von Leithagebirge und Hainburger Bergen vor. An diesen Abbruchzonen sowie beckenwärtigen, noch tiefer greifenden parallelen Bruchsystemen ist das Wiener Becken als gewaltiger Zerrgrabenbruch bis fast 6 km tief eingesenkt. Aus der Struktur der Dehnungsstaffelbrüche, des Rift-in-Rift-Systems im Untergrund, aus der Kenntnis des ungebrochenen Durchstreichens der alpinen Einheiten im Sockel des Beckens (Bd. II, Abb. 113) ergibt sich zwingend, daß das Wiener Becken durch eine Zerrungstektonik der Ränder (A. TOLLMANN, 1978 b, S. 323 ff.) und nicht von einer Seitenverschiebungstendenz (wie etwa von J. DRIMMEL, 1980, S. 525, zu erkennen glaubt: „linksdrehende Seitenverschiebung“, oder K. ARIC, 1981, S. 301) beherrscht ist.

Die Herdflächenlösungen der Beben im Gebiet des Alpenostrandes am Wiener Becken zeigen vorwiegend maximale Druckspannungen um die Nord-Süd-Richtung (vgl. G. GANGL, 1974, S. 43; A. RITSEMA, 1974; K. ARIC, 1981, S. 301). Bei der Streichrichtung der alpinen Einheiten im Beckenuntergrund gegen NE bis NNE ist diese Spannung nicht einfach als Restspannung der alpinen Schubrichtung der Decken, die hier am Alpen-Karpatenknick gegen NW gerichtet war, zu erklären. Es ist hingegen der Herdmechanismus durch die senkrecht zur N-S-Richtung wirkende Zugspannung in E-W-Richtung bis WNW-ESE-Richtung zu verstehen (Wr. Neustadt 5. Jänner 1972; Ebenfurth 2. Dezember 1963 usf.), was wiederum auf das ja durch die geologischen Strukturen belegte Aufreißen des Wiener Beckens in dieser Richtung hinweist (A. TOLLMANN, 1978 b, S. 324). K. ARIC (1981, S. 302) begründet seine dem widersprechende Meinung, daß die Bebentätigkeit im Wiener Becken nichts unmittelbar mit der Beckenbildung zu tun hat, in erster Linie dadurch, daß 90 Prozent der Beben in

der Beckenmitte und nicht am Rand wie beim Rheintalgraben stattfinden. Dabei wurde aber übersehen, daß sich bei der Grabenbildung im Wiener Becken auch die bruchtektonische, strukturbildende Aktivität vom Rand weg in jüngerer Zeit gegen das Innere, die Grabenmitte verlagert hat, wo sich erst im Pont das Matzener Bruchsystem entwickelte (N. KREUTZER, 1971, S. 47) und wo noch im jüngeren Pleistozän die SW-NE gerichtete Mitterndorfer Senke 150 m tief an Bruchrändern abgesackt ist und weiter absinkt (Bd. II, S. 529 f.) und die Fortsetzung dieser jungen Senkungszone jenseits der Donau bei Lassee weiterverfolgt werden kann. Mit der Mitterndorfer Senke aber stehen die Starkbeben von Wr. Neustadt, Schwadorf etc. mit einer SW-NE-orientierten inneren Isoseisten-Ausrichtung, ihren Herdlösungen und der Lokalisation der Herde in Übereinstimmung.

Besonderes Interesse hat das stärkste Beben Österreichs in unserem Jahrhundert, jenes von Seebenstein-Pitten, am 16. April 1972 mit einer Intensität von 7,75° MSK, beansprucht – vielleicht auch deshalb, weil es noch in Wien zu beträchtlichen Schäden geführt hat (Abb. 61). Gegen Südosten hin war es bloß 200 km, gegen Nordwesten – wie bei den alpinen transversalen Beben üblich – wesentlich weiter, nämlich 500 km weit, bis über Leipzig hinaus, verspürbar. Die Art der geologischen verursa-

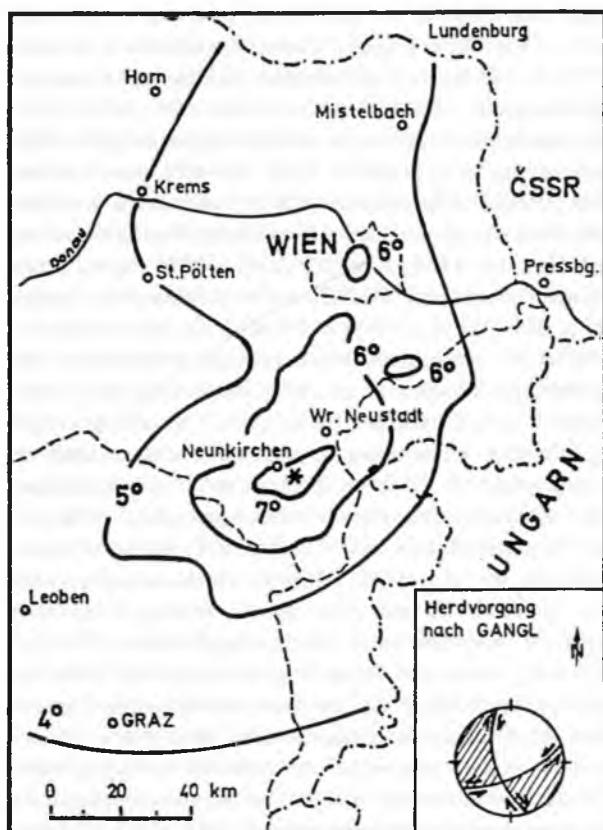


Abb. 61: Die Isoseistenkarte des Seebenstein-Erdbebens vom 16. 4. 1972 (J. DRIMMEL & G. DUMA, 1974, Abb. 1) zeigt ein Wiederaufleben der Bebenwirkung in Wien mit einer Intensität von 6°. Hierdurch ist unter anderem z. B. die Steinbalustrade der Universität in einer Länge von 15 m abgeworfen worden.

chenden Struktur ist unsicher, nahe liegt ein SW-NE streichender Randbruch des Wiener Beckens, in welche Richtung die 7°-Isoseiste ausgerichtet ist (J. DRIMMEL & G. DUMA, 1974, Abb. 1), während G. GANGL (1974, S. 39, 44) von einer 57° NNE „fallenden“, errechenbaren, 5 bis 7 km langen, also umgekehrt verlaufenden Bruchfläche schreibt – vgl. hierzu R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976, S. 14) zur Zweideutigkeit von Herdlösungen. In Wien-Mitte und Wien-NW sind bei diesem Beben jenseits eines weniger betroffenen Gebietes wiederum übermäßig hohe Wirkungen erzielt worden, was z. T. durch die vielfach in „Resonanzdicke“ vorhandene Quartärschotter-Mächtigkeit mit ihrer aufschaukelnden Wirkung verursacht sein mag.

c) Beben im Bereich der Nördlichen Kalkalpen sowie von Helvetikum und Flyschzone, verursacht durch Herde in der unterlagerten überschobenen böhmischen Masse. Die Bebenzentren in dieser Region sind zweifelsohne durch die Wiederbelebung der alten, variszischen Bruchstrukturen des südlichen Auslängers des böhmischen Kristallins im Untergrund der tektonisch aufgeladenen alpinen Decken bedingt (S. 133). Diese Störungen sind z. T. bis an die Oberfläche durchgepaust und dann durch Kartierung und Satellitenbild klar erfassbar, oder aber sie bleiben in der Tiefe verdeckt. Hinzu kommen dann noch die alpin neu entstandenen Störungen, vorwiegend die symmetrisch angelegten Diagonalscherflächen nach der Loisach- (NE-SW) und Ammer-Richtung (NW-SE) orientiert (S. 132).

Als einige markante Beispiele – von Westen gegen Osten fortschreitend – seien zitiert: Feldkirch: 28. Jänner 1778, $I_0 = 6^\circ$ MSK, Herd: seichte alpidische Störung im Helvetikum an der Rheintal-Querstruktur; Pettneu/Arlberg: 24. April 1911, $I_0 = 6^\circ$, mäßig tiefer Herd wohl an alpidische Struktur am steilstehenden tiefgreifenden Kalkalpensüdrand gebunden; Landeck: 30. September 1958, $I_0 = 6,5^\circ$, rund 10 km tief liegender Herd im Bereich der großen, tiefgreifenden SW-NE-ziehenden Loisachstörung als parallele Störungen und Fortsetzung der Engadiner Linie; Nassereith an der gleichen Loisachstörung: 28. November 1886, $I_0 = 7,5^\circ$; 13. Juli 1910, $I_0 = 7^\circ$, mit fast 12 km tiefer Lage des Hypozentrums und mit sichtbarer SW-NE-Tendenz einiger Isoseisten – J. DRIMMEL et al. (1971, Abb. 6); Garmisch-Partenkirchen: An der gleichen Störung hat am 4. Juni 1975 ein schwaches Beben mit der Intensität 4° MS stattgefunden, dessen Auswertung durch O. FÖRTSCH et al. (1976, Abb. 5) eine eigenartige W-E-Orientierung ergeben hat; Vils: 23. Jänner 1982, $I_0 = 6^\circ$, an der aus dem Kristallinsockel kommenden tiefgreifenden Vilsstörung gelegen, mit einem auch in diesem Sockel gelegenen Herd; Namlos: 8. Oktober 1930, $I_0 = 7,5^\circ$; 8. November 1933, $I_0 = 6,5^\circ$, an einer auch in den Kalkalpen nur schwach durchgepausten, NNE-gerichteten Struktur des kristallinen Untergrundes in fast 12 km Tiefe gelegen; innere Isoseisten N-S-orientiert – J. DRIMMEL et al., 1971, Abb. 9; Datensammlung bei E. KRAUS (1932 d); Mieminger Plateau: 7. Juni 1951, $I_0 = 6^\circ$, mäßig tiefer Herd in dem durch die Hochmündestörung und parallelen Linien gegliederten Plateau; Scharnitz: 14. November 1880, $I_0 = 6^\circ$, bereits im Kristallinsockel liegender Herd im Zuge der großen SW-NE-streichenden Isarstörung, die im Satellitenbild vom Tegernsee bis über Telfs hinaus verfolgbar ist. Entlang der tiefgreifenden alpidischen Kalkalpen-Südrandstörung am Inn unterhalb von Innsbruck, der Inntalstörung, liegen die Bebenzentren von Innsbruck (1. November 1571, $I_0 = 7^\circ$; 4. Jänner 1572, $I_0 = 8^\circ$; 22. Dezember 1689, $I_0 = 8^\circ$; bis in neueste Zeit wiederholt aktiv), Hall i. T. (12. Juli

1595, $I_0 = 6^\circ$; 17. Juli 1670, $I_0 = 8^\circ$; 31. August 1914, $I_0 = 6,5^\circ$), Schwaz (17. Juli 1820, $I_0 = 7^\circ$); Jenbach (28. April 1859, $I_0 = 6^\circ$; 4. September 1934, $I_0 = 6,5^\circ$); Kundl (21. Jänner 1865, $I_0 = 6^\circ$), Kufstein (17. Februar 1879, $I_0 = 5^\circ$); Loferer und Leoganger Steinberge: 4. Oktober 1961, $I_0 = 6^\circ$; 10. Oktober 1974, $I_0 = 5\frac{1}{4}^\circ$, Herdtiefe 10 bis 11 km (J. DRIMMEL, 1976, S. 50 f; 1980, S. 522), durch die SW-NE-durchschlagende, bedeutende, in den Sockel greifende Saalach-Störung bedingt. Admont: ab 18. Juli 1810, $I_0 = 7^\circ$ wiederholt aktiv, an einem Ausläufer der hier Süd-Nord-streichenden Pölslinie und unweit der quer dazu verlaufenden Gesäuse-Störung gelegen; Molln: 29. Jänner 1967, $I_0 = 6\frac{3}{4}^\circ$, Herdtiefe 7 km, also bereits im Kristallin des Sockels, innerste Isoseiste SE-NW-gestreckt, Hauptabstrahlung der Energie wiederum nordbetont (J. DRIMMEL & E. TRAPP, 1975, Abb. 2 und 3), keiner deutlichen Störung zuordenbar, im Satellitenbild NW-streichende Linien in der Umgebung; Scheibbs: 17. Juli 1976, $I_0 = 7,5^\circ$, Herd im Kristallinssockel (A. KOWATSCH, 1911), keine oberflächlich im Flysch durchgepauste Störung sichtbar; A. KOWATSCH nimmt eine NNE-SSW verlaufende Transversallinie in der Böhmischem Masse des Sockels (Scheibbs-Linie) als zuordenbare Struktur an. Neulengbach: 15. September 1590, $I_0 = 9^\circ$; 3. Jänner 1873, $I_0 = 6,5^\circ$; 28. Jänner 1895 schwächer; die Auswirkungen dieses Bebens mit seinem Epizentrum E St. Christophen in der Flyschzone sind bereits zuvor S. 167 geschildert worden. Der zugehörige Herd liegt in rund 10 km Tiefe im Böhmischem Kristallin des Sockels. J. DRIMMEL (et al., 1975, S. 41) bzw. 1980, S. 522, hat hier eine hypothetische, 130 km lange, gerade verlaufende gemeinsame Bruchfläche für Neulengbach, Scheibbs und Molln postuliert, die im Kristallin der unterlagernden Böhmischem Masse mit ENE-WSW-Streichen dahinziehen soll, allerdings trotz der noch in der Gegenwart vorhandenen Aktivität ohne sichtbare geologische Auswirkung. Er hat aus dieser „Linie“ mit der Formel von N. SCHEBALIN (1971) die seiner Meinung nach mögliche seismische Maximalintensität für die Zukunft (besonders zum Zweck der baulichen Absicherung des AKW Zwentendorf) berechnet. Logischer ist es allerdings, die in diesem Raum zahlreichen großen SSW-NNE streichenden Störungen der Tiefe als Ursache anzusehen (vgl. A. TOLLMANN, 1983 c, S. 150), die z. B. im großen Mailberger Abbruch und in weiteren Ästen im Untergrund der Molassezone über Absdorf und Dürnrohr nach SSW laufen und noch im Tertiär kräftig bewegt worden sind. Nun verzeichnet auch J. DRIMMEL (1981, Kt. 1) auf seiner seismotektonischen Karte drei große derart orientierte, dem Wiener-Becken-Westrand parallele Brüche der Tiefe, von denen der westlichste über Neulengbach verläuft. In ihrer gutachtenden Stellungnahme (unveröff.) zum maßgebenden Bruchsystem für den Herd von Neulengbach haben ja bereits R. GUTDEUTSCH (4. Oktober 1978) und B. BOLT (1. Oktober 1980) – unabhängig von dieser jetzigen Darstellung J. DRIMMELS – an Störungen parallel zum Wiener-Becken-Randbruch gedacht – S. 160 und tekt. Kt.-Beil.

d) Weitere Bebenlinien und -regionen der Zentralalpen Österreichs abseits von der Mur-Mürz-Linie: Von Westen nach Osten fortschreitend sollen folgende Elemente hervorgehoben werden: Die Silltalstörung ist mitverantwortlich für die Beben im Innsbrucker Raum, macht sich aber auch im Brennergebiet abgeschwächt bemerkbar. Eine bedeutende Zone aus einem ganzen Bündel tiefgreifender Schrägstörungssysteme alpidischen Datums aber liegt in den Zentralalpen im Ostteil der Gurktaler Alpen und beiderseits der Saualpe, sämtliche (N)NW-(S)SE-verlaufend. Das

westlichste Paar ist jenes der Störung Metnitz-Gurk (Metnitz: 2. Juni 1969, $I_0 = 6^\circ$, Herd überdurchschnittlich tief gelegen, G. GANGL, 1971) und parallel dazu im Osten anschließend die auf dem Satellitenbild verfolgbare südöstliche Fortsetzung der Sölker Störung, die über Murau (Schnittpunkt mit Norischer Senke: 4. Mai 1201, $I_0 = 9^\circ$, Herdtiefe um 10 km), E Straßburg/Gurk (21. November 1767, $I_0 = 7^\circ$, ähnliche Herdtiefe), nach Völkermarkt verfolgt werden kann. Einen exorbitanten vertikalen Versatz von 5 bis 6 km weist das gleich orientierte System der Noreialinie (= Görtschitztalstörung) am Westrand der Saualpe auf, das von Neumarkt im Norden (28. Dezember 1877, $I_0 = 6^\circ$, analoge Herdtiefe wie zuvor) bis Bleiburg faßbar ist. Fast gleiche Dimension erlangt die Absenkung an dem nächstöstlicheren parallelen Bruchsystem, dem Lavant-Störungsbündel östlich der Saualpe mit 4 bis 5 km Vertikalversatz und einer offensichtlichen Seitenversatzkomponente nach seiner Fiederspaltenanordnung im Norden. R. GUTDEUTSCH & K. ARIC (1976, S. 15) haben sehr zu Recht auf ein noch heute anhaltendes Wachstum am Ende dieser Fiedern im Raum Twimberg, Reichenfels und Obdach (3. Oktober 1936, $I_0 = 7,5^\circ$, Herdtiefe analog wie bei den vorigen Beispielen) geschlossen, da die rezenten Bebenherde sich „vorwiegend an den oberflächlich sichtbaren Enden von Einzelstörungen, wie etwa Trauben an einem Stengel“, anhäufen.

e) Schließlich ist noch im Bereich der Periadriatischen Naht, dieser bis in die Gegenwart aktiven, etwa 130 km weiten Rechtsseitenverschiebung, die eine der tiefsten, steilstehenden Störungen der Alpen darstellt (Bd. I, S. 582 ff.; Bd. II, S. 240, 298), eine Reihe von Bebenzentren angeordnet: Eine Gruppe schwächerer Herde zieht von Sillian in Osttirol (27. Mai 1862, $I_0 = 6,5^\circ$) über Ober-Tilliach bis Kötschach-Mauthen im Gailtal. Weiter im Osten stellen sich dann ab Villach eine Reihe von Starkbebenzentren ein: Villach (25. Jänner 1348, $I_0 = 10^\circ$ mit den oben geschilderten Verheerungen sowie zahlreiche spätere Beben), Rosegg (7. März 1857, $I_0 = 6^\circ$; 25. Dezember 1857, $I_0 = 7^\circ$) und Ferlach (11. August 1830, $I_0 = 6^\circ$) mit einer etwas nördlicheren Lage im stark bruchtektonisch durchfurchten Begleitstreifen der Hauptstörung, Zell Pfarre (25. Jänner 1862, $I_0 = 6^\circ$) und Eisenkappel (11. Jänner 1879, $I_0 = 6^\circ$). Sämtliche Herde dieser Periadriatischen Linie liegen in Tiefen um 8 bis 12 km, also dem Hauptniveau der tiefer sitzenden Ostalpenbeben. Der Villacher Herd in rund 10 km Tiefe zeigt deshalb so gefährliche Aktivität, weil er ähnlich wie jener von Innsbruck an einem Schnittpunkt einer ganzen Reihe bedeutender Störungen liegt, die das Periadriatische Lineament in diesem Raum kreuzen: Von WNW streicht die tiefgreifende, schnurgerade Mölltalstörung heran, aus den Südalpen kommt von WSW die im Satellitenbild auffallende Pontebba-Linie und eine weitere Linie von Tarvis hinzu. Diese WSW-ENE orientierte Störungs- und Bebenzone, die bei Villach österreichischen Boden betrifft, ist ja schon im Anschluß an die Ausführungen von A. BITTNER (1874) als Bittnersche Linie (F. TOULA, 1896, S. 27) bezeichnet worden.

Die alte Frage des Zusammenhangs der Bergschläge im Bergbau Bleiberg bei Villach und der Seismizität von Friaul ist jüngst durch K. ARIC et al. (1980, S. 265) an Hand mikroseismischer Messungen in den Nahbebenstationen Villach und Klagenfurt beantwortet worden: Einerseits ist eine klare Korrelierung der Bergschläge in Bleiberg und der natürlichen Bebenaktivität in Friaul bei Betrachtungen der Monatssummen der Messungen aus 1978 abzulesen; andererseits ist eine Auslösung der

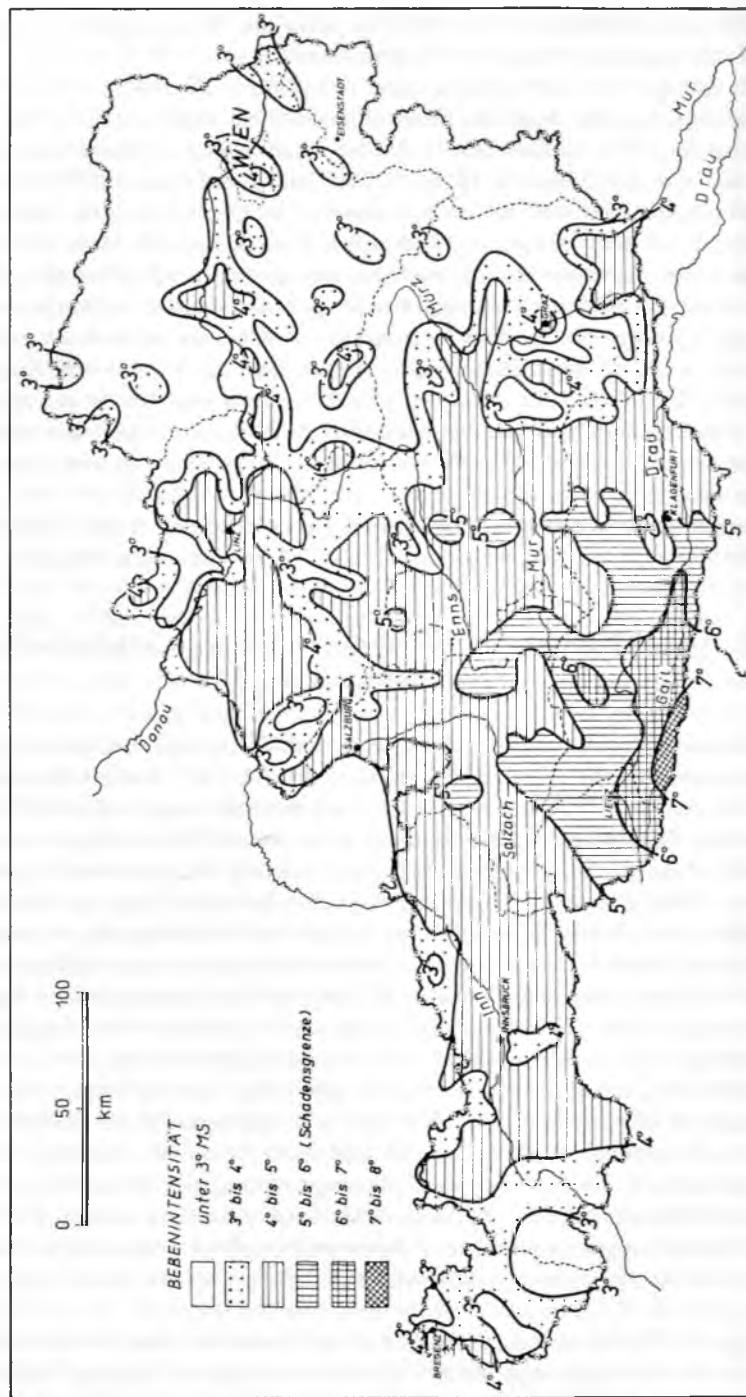


Abb. 62: Die Auswirkungen des Friauler Bebens vom 15. 9. 1976 in Österreich; nach H. REUTER (1976).

lokalen Mikrobebenaktivität im Raum Bleiberg durch die Sprengungen im Bergbau an den täglichen Maxima um 12^h und 20^h nachweisbar.

f) Welch kräftige Auswirkungen die schweren Erdbeben von Friaul auch auf die angrenzenden Regionen Österreichs ausüben, haben an Hand des Bebens vom 15. September 1976 in Gemona H. REUTER (Rundschreiben Zentralanst. Meteor. Geodyn. Wien vom 22. Dezember 1976), H. LITSCHER & B. STROBL (1977) u. a. festgehalten: In der Region des Gailtales in Kärnten und in Osttirol wurden noch Intensitäten von 7 $\frac{1}{4}$ bis 6° MS erreicht, in Wien noch 4° MS festgestellt (Abb. 62). Das Erstaunliche dabei ist die Tatsache, daß auch bei diesem Beben die Schwingungsenergie wie bei den nordalpinen Erschütterungen bevorzugt nach Norden abgestrahlt wurde.

Nicht gegen Norden hin, sondern in westöstlicher Richtung angeordnet war hingegen die Abstrahlung der Energie des verheerenden Laibacher Bebens vom 14. April 1895, dem F. E. SUESS (1897) eine 480 Seiten starke Studie gewidmet hat. Trotzdem haben Kärnten und die Südsteiermark auch durch diesen Herd damals bis zur Linie Velden–Glandorf–St. Paul–Wies–Leutschach–Gleichenberg schwache Gebäudeschäden erlitten (l. c., S. 455 ff.).

g) Die wesentlich schwächeren Bebenzentren im außeralpinen Anteil Österreichs in der Böhmis chen Masse haben bereits auf S. 170 f. Erwähnung gefunden.

5. Die Abhängigkeit der Seismizität von den tektonischen Gegebenheiten

Wir haben an Hand der gegebenen Beispiele von Starkbeben Österreichs gesehen, daß, besser als etwa in der Schweiz (N. PAVONI, 1977, S. 357), in der überwiegenden Zahl der Fälle eine direkte Beziehung zur Tektonik nachzuweisen ist (Abb. 57). Bei einer Analyse der Bedingtheit der Beben unseres Landes und ihrer Eigenart zeigt sich deutlich, daß neben den seismologischen Daten die subtile Kenntnis und Auswertung der ostalpinen Tektonik mit die Grundlage für eine zutreffende Deutung bildet. Umso überraschender ist es daher, daß die Notwendigkeit der Mitarbeit von Geologen bei der Klärung von Erdbebenfragen – im Zusammenhang mit der tagespolitischen Situation – von 34 prominenten Professoren und Dozenten erdwissenschaftlicher Institutionen Österreichs in einer öffentlichen Erklärung am 31. Oktober 1978 (abgedruckt in den Tageszeitungen am 2. November 1978) in Abrede gestellt worden ist: „Die unterfertigten Professoren und Dozenten müssen feststellen, daß die Frage einer Erdbebengefährdung von Zwentendorf vor allem in die Fachkompetenz der Geophysik, insbesonders der Seismologie (Erdbebenkunde) und nicht in die der Geologie fällt. Sie enthalten sich daher in dieser Frage einer Stellungnahme in der Öffentlichkeit“ – vgl. A. TOLLMANN (1983 c, S. 174). Es erscheint daher umso mehr erforderlich, daß in diesem Kapitel auf die engen, untrenn baren Zusammenhänge von Tektonik und Seismizität – gerade im alpinen Raum – an Hand einer Fülle von Beispielen hingewiesen wird.

a) Orogene Tektonik und Beben: Der Überblick über das seismologische Geschehen in den Ostalpen zeigt auch, daß dieses Gebirge das orogene Stadium mit Überschiebungen an flachen Bahnen bereits hinter sich hat und in das kratogene Sta-

dium mit Bewegungen vorwiegend an vertikalen Störungsflächen eingetreten ist. Das ist nicht selbstverständlich, da ja die östliche Fortsetzung der Alpen, nämlich der Karpatenbogen mit seiner allerdings etwas jüngeren orogenen Entwicklung, noch immer kräftig nach außen drängt, gegen das Vorland aufschiebt, wie etwa die Auswertung des Vrancea-Erdbebens in Rumänien (4. März 1977, Magnitude 7,2) gezeigt hat: Dort konnten Bebenherde bis in 150 km Tiefe an einer etwa 45° vom Karpatenaußenrand gegen innen absteigenden Fläche lokalisiert werden. Der Karpatenbogen, der unter noch immer anhaltendem Nach-außendrängen zur Ausdünnung der Kruste im Pannischen Becken beiträgt, produziert demnach noch Beben mit derart tiefen Sitzenden Herden und solcher Stärke, daß beim Vrancea-Beben über 2000 Tote zu beklagen waren und noch in Bukarest zahllose Häuser einstürzten (D. MORARIU, 1978). Auch das verheerende Friauler Beben vom 6. Mai 1976 in den Südalpen ist an einer flachen, südvergent bewegten Struktur ausgelöst worden (Herdtiefe 8 km, Herdfläche 30 x 20 km – K. ARIC et al., 1980, S. 265). In den Ostalpen könnte lediglich der 44 km tief sitzende, nur mehr schwach aktive Herd unter den Hohen Tauern eine Reminiszenz an diese lateralen, krustenverdickenden Überschiebungsvorgänge darstellen.

b) Die in Österreich auftretenden bruchtektonisch bedingten Beben haben an jenen Störungen, die tief in die Kruste reichen oder diese durchschlagen, ihren Sitz meist im Bereich von rund 10 km im Kristallinsockel unter dem Deckgebirge.

Derartige Linien, von der Periadriatischen Linie angefangen über die großen Längs- und Schrägstörungen in den Alpen und auch – anders orientiert – im böhmischen Vorland, sind sehr häufig im Satellitenbild als gerade, lang anhaltende Linienformationen zu erkennen. Nur wenige bedeutende Bruchlinien des Südrandes der böhmischen Masse, die unter den alpinen Decken von Flysch- und Kalkalpen begraben liegen, haben sich nicht bis zur Oberfläche durchgepaukt, sodaß über die bedingenden Strukturen bestimmter derartiger Bebenzentren Unsicherheit herrscht.

Gerade aber in den Kalkalpen treten neben diesen großen, die Hauptzonen der Alpen übergreifenden tiefen Brüchen auch dem Sedimentstapel selbst angehörende Bruchsysteme auf, die nicht aus der Tiefe diktiert wurden, sondern an „Diaklasen“, an Diagonalscherflächensystemen der alpinen Restspannungen, entstanden und stockwerkgebunden sind (A. TOLLMANN, 1970 a, S. 46 ff.). Durch Spannungsausgleiche an solchen Störungen sind die seicht liegenden Bebenzentren im Helvetikum oder in den Kalkalpen zu erklären. Wir dürfen dabei übrigens nicht vergessen, daß auf Grund der Bohrung Vorderriß 1 in den Bayerischen Kalkalpen und zusätzlicher seismischer Untersuchungen ein bis über 8 km mächtiger Sedimentgesteinssstapel durch den Deckenbau zustande gekommen ist und daher das Sockelkristallin unter den Kalkalpen vielerorts wesentlich tiefer zu liegen kommt, als bis vor kurzem angenommen.

c) Zur bevorzugten transversalen Energieausbreitung gegen Norden: Während heute in der Zuordnung der Beben zu den verursachenden Strukturen gute Fortschritte erzielt werden, ist es bisher noch nicht befriedigend gelungen, die Ursache für den Transversal-Charakter der Ostalpenbeben zu finden, also die bevorzugte Abstrahlung der Energie quer zum alpinen Streichen in NNW-Richtung zu klären. Viele Hypothesen sind hierüber aufgestellt worden: 1. Zunächst hat man in Anlehnung an E. SUSS (1873) in den großen und tiefgreifenden Querbruchstrukturen der böhmischen Masse, die ja tatsächlich reichlich vorhanden sind, Leitlinien für diese

Ausbreitungsanomalie der Wellen gesehen (F. HERITSCH, 1920, S. 124 etc.). 2. Später hat F. KAUTSKY (1924) auch an Hand von Schwerekarten nachzuweisen versucht, daß die Herde großer Beben durchwegs in enger Beziehung zur Verteilung der Dichte-anomalien stehen und an steile transversale Schwerkraftgefälle geknüpft seien. 3. Seit ST. MÜLLER (1970, S. 802) betont hat, daß seismische Kompressionswellen (P-Wellen) in der offenbar geringere Dichte aufweisenden Zone erniedrigter Wellengeschwindigkeit der Kruste (Low velocity layer GUTENBERGS, 1950) nicht nur eine Geschwindigkeitser-niedrigung, sondern auch einen stärkeren Energieverlust durch Absorption erleiden, hat man dieser Schicht eine Reihe von Funktionen zugeschrieben: Durch abrupte Span-nungsausgleiche sollten hier bevorzugt Erdbeben entstehen, was mit der Tiefenlage dieser Herde um rund 10 km übereinstimme (G. GANGL, 1974, S. 33). Durch den An-stieg dieser Schicht gegen Norden (G. ANGENHEISTER et al., 1972, Fig. 13) sollte die nördliche Tendenz der Ausbreitung der Energie geprägt werden. 4. Die angeblich auf E. CLAR 1965 zurückgehende Vorstellung, daß das gegen Norden keilförmige Ausdün-nen der Kalkalpen und das damit verbundene Hochsteigen der unterlagernden Böhmi-schen Masse bis an die Oberfläche für die transversale Bebenwirkung verantwortlich seien, wurde durch die modellseismischen Untersuchungen von J. DRIMMEL et al. (1972) nicht bestätigt (R. GUTDEUTSCH & K. ARIC, 1976, S. 11). 5. Die von J. DRIMMEL et al. (1972) aus diesem Versuch schließlich abgeleitete nächste Theorie einer auskei-lenden Zone verringelter Wellengeschwindigkeit innerhalb der oberen Kruste wird von J. DRIMMEL selbst (1980, S. 512) als nicht befriedigend angesehen, da sich die glei-che transversale Ausbreitungsanomalie der seismischen Energie wie in den Ostalpen nunmehr auch bei den Beben am Alpensüdrand mit bevorzugt nordgerichteter Ab-strahlung der Energie eingestellt hat, sodaß (6.) J. DRIMMEL zuletzt schließlich doch eine anisotrope Energieabstrahlung vom Bebenherd und das regionale tektonische Spannungsfeld als wirksame Komponenten ins Auge faßt. Da aber gerade diese Theorie der direkten gerichteten Energieabstrahlung in Abhängigkeit vom Bebenherd im Widerspruch mit den (eben von diesem Autor nach der Orientierung der innersten Isoseisten) sehr verschiedenen angeordneten Erdbebenherden steht, ergibt sich aus allem nur, daß die vielen geophysikalischen Modell- und Hilfshypothesen noch immer unbe-friedigend sind – vgl. C. SCHNEIDER (1968, S. 491 ff.), L. AHORNER et al. (1972, S. 935, Abb. 12), A. RITSEMA (1974), G. MÜLLER (1977, S. 343) etc.

Aus allen Überlegungen wird es wohl (7.) einfach der als Restspannung vorhandene gerichtete tektonische Druck des nordvergent bewegten Alpen-bogens sein, der diese nordbetonte Ausbreitungsanomalie der Wellen unabhängig von der Herdorientierung (Storungsrichtung) bedingt. Daß die Südalpen auch noch in dieses nordvergente Spannungsfeld einbezogen sein dürften, kann sich aus dem Back-arc-Basin-Effekt der Poebene ergeben, der eine Verschärfung der Krümmung des Al-penbogens als Ganzes – ganz analog zum Karpatenbogen (S. 181) – in der Jungent-wicklung bewirken mag. Dies aber würde für den Ostalpen-/Südalpen-Anteil als Ganzes ein Norddrangen bedeuten. Der Scheitel zwischen nord- und sudgerichteter Span-nung im Raum der Alpen lag ja auch schon zur Zeit des orogenen Paroxysmus, also während der kretazischen Deckenbildung, gegenüber der nachmaligen Periadriatischen Linie gegen Süden verschoben, wie der nordvergente alpidische Deckenbau in den Sudkarawanken, südlich dieser Naht, anzeigen (Bd. II, S. 298).

6. Angewandte Seismologie in Österreich

Im Zeitalter der technischen Großbauten kommt neben der Geologie auch der Seismologie die Aufgabe zu, Vorhersagen über die Eignung eines Standortes für eine bestimmte Anlage zu treffen, das Ausmaß möglicher Gefährdungen abzuschätzen und Hinweise für die Umgebung der Gefahrenquellen durch Ausweichen oder Minderung der Gefahr durch eine bestimmte, angepaßte Bauweise zu geben. Erst seit den sechziger Jahren hat man sich in der Welt mit der Frage des modernen, erdbebensicheren Bauens intensiv befaßt und wesentliche Fortschritte erzielt. Besondere Planung in bezug auf Erdbebenrisiko gilt vor allem für Talsperren, Brücken, Hochhäuser, Schulen, Krankenhäuser, Pipelines und Atomkraftwerke (allg. Gesichtspunkte vgl. B. BOLT, 1984, S. 167 ff.).

a) Die langfristige seismische Gefährdungsabschätzung ist in Österreich noch nicht weit entwickelt. Als Vorarbeiten betrachtet man die Berechnung der mittleren Wiederholungszeiten für Beben in bekannten Bebengebieten (G. GANGL, 1969 a, S. 9 ff.; K. ARIC, 1981, S. 295, Tab. 7.1) sowie die Berücksichtigung der historisch bekannt gewordenen Maximalintensitäten. In einzelnen Fällen wurde auch schon versucht, nach der Methode von N. SCHEBALIN (1971) aus der Größe der tektonischen Struktur und der Tieflage der bisherigen Bebenzentren an dieser Fläche eine mögliche künftige maximale Bebenstärke zu berechnen: Abgesehen davon, daß diese Methode aber erst in der Praxis erprobt werden muß, sind auch die Daten – besonders bei verdeckten Tiefenstrukturen – zu unsicher, um eine Berechnung darauf aufzubauen (vgl. S. 177).

Von der alten Methode der Darstellung von Risikozonen auf Karten ist man heute abgekommen und hat statt dessen Karten mit Isolinien der Eintretenswahrscheinlichkeit von Beben mit bestimmter Intensität (MSK-Skala) für bestimmte Zeiträume (100, 1000, 10.000 Jahre) entwickelt, die auf Grund aller verfügbaren Daten über geologisch-tektonischen Strukturen, Beschaffenheit und Mächtigkeit des Oberflächenmaterials, Intensitäten historischer Beben und deren Zentren, Isoseistenkarten der einzelnen Beben (die die Energieausbreitungsanomalien enthalten) etc. erstellt werden. Vom alpinen Nachbarland Schweiz sind solche Karten in mustergültiger Weise durch R. SÄGESSER & D. MAYER-ROSA (1978, Kt. 1 bis 4) vorgelegt worden, auf denen noch Vorarlberg z. T. miterfaßt ist. Analoge Karten sind für das Oberrhein-Gebiet angefertigt worden (L. AHORNER & W. ROSENHAUER, 1978, Fig. 9 bis 12). Für Österreich stehen derartige Karten aus. Hier hat J. DRIMMEL (1979, Beil.) eine Karte der Erdbebenzonen geliefert, auf der die durch die Bebenwellen dem Boden erteilten Spitzenbeschleunigungswerte (in Bruchteilen der Erdbeschleunigung g ausgedrückt) durch Isolinien, bezogen auf das hundertjährige Beben, zur Darstellung gelangt sind (Abb. 58). Hierin erscheint in der am stärksten gefährdeten Zone 4 bei Villach mit der Horizontalbeschleunigung $\epsilon = 0,15-0,1$ die Intensität $7,5^{\circ}-8^{\circ}$ MSK, in der Zone 3 um Innsbruck, östl. Gailtaler Alpen, Murau, Kindberg, Wiener Neustadt und Neulengbach mit $\epsilon = 0,1-0,06$ eine Intensität von $7,5^{\circ}-7^{\circ}$ MSK.

b) Kurzfristige Vorhersagen: Erdbebenwarnungen mit genauer Angabe der Lokalität, der Zeit und Stärke des zu erwartenden Bebens sind in Österreich noch

nicht gegeben worden. Trotz aller Fortschritte in weltweitem Maßstab ist eine derartige Vorhersage nur in sehr seltenen Fällen möglich: Das eklatanteste Beispiel für Möglichkeiten und Grenzen heutiger kurzfristiger Vorhersagen bieten wohl der Triumph und die Ohnmacht, die chinesische Seismologen kurz nacheinander bei ihren Vorhersagen großer Beben erlebt haben: am 4. Februar 1975 wurde die Großstadt Haicheng (550 km ENE Peking) trotz eisigen Winterwetters auf Grund einer Bebenvorhersage evakuiert, am gleichen Tag um 19^h36 trat das Beben mit einer Magnitude von 7,3 ein, 90 Prozent der Gebäude der Stadt wurden zerstört oder schwer beschädigt, es gab keinen einzigen Toten statt der sonst zu erwartenden 100.000 Opfer. Wenig über ein Jahr später, am 27. Juli 1976, funktionierte die Vorhersage beim Tangshan-Beben (160 km ESE Peking) überhaupt nicht, was den Tod von 650.000 Menschen bei zusätzlich 780.000 Verletzten zur Folge hatte.

Gerade in China mißt man neben den üblichen geophysikalischen Methoden auch dem auffälligen Verhalten von Tieren vor größeren Beben große Bedeutung für die Vorhersage bei. Aus der Unzahl der Fälle des z. T. sehr wohl als zielgerichtet erkennbaren Handelns der Tiere liegt die Vermutung nahe, daß sie die Änderung im Spannungszustand der Erdkruste in irgendeiner Weise – möglicherweise etwa auf Grund des Fühlens von Magnetfeldänderungen – wahrnehmen können. In Österreich hat R. SAMONIG (1984) nach dem Friauler Beben vom 6. März 1976 die eindrucksvollen Ergebnisse einer schriftlichen Umfrageaktion über außergewöhnliches Verhalten von Tieren in Form von 120 Protokollen sowie zusätzlicher Ermittlungen in Friaul selbst veröffentlicht. Es besteht demnach kein Zweifel, daß auch diese Fakten keineswegs von der Fachwelt belächelt werden dürfen, sondern einen realen Hintergrund haben.

c) **Erdbebensichere Bauplanung.** Als konkrete Maßnahme zur Herabsetzung der lokalen Bebengefahr ist neben Vermeidung besonders gefährdeter Regionen für bestimmte anfällige Bauten besonders die Berücksichtigung der Beschaffenheit der Gründungssohle des Gebäudes und eine entsprechende bebenberücksichtigende Bauweise zu beachten. H. LITSCHER & B. STROBL (1977) haben, wie erwähnt, die Erfahrung über das Friauler Beben vom 6. Mai 1976 an Bauwerksschäden in Kärnten mitgeteilt und dabei die bekannte Tatsache erneut bestätigt gesehen, daß neben unbeschädigten Gebäuden auf Felsgrund stark zerstörte Gebäude standen, die auf Lockersediment, noch dazu auf wassergesättigtem Substrat, errichtet waren. Zu diesen bekannten Regeln gibt es aber viele Ausnahmen, etwa daß verwittertes Sedimentgestein oft ein schlechteres dynamisches Verhalten zeigt als manche Flußablagerung. Auch großmaßstäbig ist die oberflächennahe Beschaffenheit für das Ausmaß an Gebäudeschäden bei Beben mit verantwortlich: J. DRIMMEL & G. DUMA (1974, S. 9 ff.) haben anschaulich dargelegt, daß beim Seebensteiner Beben vom 16. April 1972 überhöht starke Schäden im Wiener Raum auftraten (nach zwischenliegender schwächer betroffener Region in der Nassen Ebene südlich von Wien), da die Quartärmächtigkeit, besonders in Wien-Innenstadt und Wien-NW, eine bedeutende Resonanzwirkung erzielt hat.

Vorsorge bei Großbauten und Anlagen, die bei Schädigung oder Zerstörung durch Bebenwirkung überdimensionale oder langfristige Schäden zur Folge hätten, ist das Leitmotiv bei umsichtiger Planung an bebengefährdeten Gebieten. Zwei Beispiele aus Österreich sollen auf die Bedeutung derartiger vorsorgender Planung in der Praxis

aufmerksam machen: Umfassende Vorsorge etwa wurde bei der Adria-Wien-Pipeline der ÖMV-AG bereits bei der Trassenplanung getroffen: Im bebengefährdeten Gebiet des südlichen Wiener Beckens wurde die Pipeline in großem Bogen unterhalb um den wichtigen Mitterndorfer Grundwassertrog herumgeführt und dann östlich davon derart jenseits der unterirdischen Wasserscheide weitertrassiert, daß bei einem etwaigen Gebrüchen die Grundwasserströmung vom Bereich der Trasse nicht zur Mitterndorfer Senke hin, sondern von dieser weg gerichtet wäre.

Ein Beispiel für mangelnde Berücksichtigung der seismischen Situation stellt das Atomkraftwerk Zwentendorf im Tullner Feld in Niederösterreich dar. Abgesehen davon, daß es mitten in den für die Wasserversorgung Ostösterreichs wichtigsten Grundwassertrog gestellt worden ist, ist die Seismizität dieses Gebietes zu spät bedacht worden und trotz Kenntnisnahme der Gefährdung an baulichen Maßnahmen so gespart worden, daß sich bereits vor Inbetriebnahme die Folgen eingestellt haben. Zunächst war der Auftrag für ein seismologisches Gutachten erst nach dem Baubeschluß gegeben worden (A. TOLLMANN, 1983 c, S. 96), sodaß die Warnung vor diesem Starkbebengebiet durch den Seismologen in bezug auf die Standortwahl zu spät kam. Sodann wurde bei den noch möglichen Korrekturen durch entsprechende Baumaßnahmen gespart und nur ein Teil des Donaukies- und Lockermaterials unter den Fundamenten des Reaktorgebäudekomplexes entfernt, um auf den unterlagernden festen Schlier zu gründen (was bereits rund 500 Millionen öS verschlang), ein Teil der Anlage aber wurde auf diese junge Donauaufschüttung (S. 229) gesetzt, sodaß bereits jetzt die ursprünglich als absolut erdbebensicher angegebene drei Meter dicke Eisenbetonwanne unter dem Reaktorgebäudekomplex durch ungleiche Setzung so undicht wurde, daß bei Hochwasser Donauwasser-Grundwasser in das Reaktorgebäude eindringt (H. VETTER, 1983, S. 239 f.). Hinzu kommt, daß – entgegen der Auflage des Erdbebengutachters J. DRIMMEL, die lockeren Donauaufschüttungen unter dem Gebäudekomplex bis zum festen Schlier zur Gänze auszuräumen – nun dieses Atomkraftwerk samt Sicherheitswanne teils auf festem Untergrund, teils aber auf wassergetränkten lockeren Donauaufschüttungen fundiert ist, was die hier grundsätzlich vorhandene Erdbebengefährdung noch zusätzlich erhöht. Daß hier ein Atomkraftwerk, in der Westwindschneise Wiens gelegen und im Wirkungsbereich eines der stärksten Bebenzentren Österreichs, nämlich jenes besonders nach Norden energieabstrahlenden Herdes von Neulengbach, ohne zureichende Vorsorgemaßnahmen errichtet worden ist, hat entscheidend mitgewirkt, daß das fertiggestellte Werk nach breitem Protest der Bevölkerung und dem dadurch negativen Volksabstimmungsergebnis nicht in Betrieb genommen werden durfte und die Atomenergienutzung in Österreich durch das Atomsperrgesetz vom 15. Dezember 1978 verboten worden ist. Das darf in diesem speziellen Fall nicht wundernehmen, wenn wir auch bei einem in Theorie und Praxis führenden Seismologen, B. BOLT (1984, S. 176), in Hinblick auf bebengefährdete Atomkraftwerksstandorte lesen: „Bisher gibt es noch keine weltweit vergleichenden Auswertungen der Objektivität und Richtigkeit der Entscheidung über den Standort von Kernkraftwerken.“

7. Literatur

L. AHORNER et al., 1972, 1978; K. ARIC, 1974, 1981; K. ARIC, G. DUMA et al., 1980; K. ARIC, G. DUMA & R. GUTDEUTSCH, 1976, 1980; K. ARIC & R. GUTDEUTSCH, 1980, 1981; K. ARIC, R. GUTDEUTSCH et al., 1983; B. BERÁNEK & A. ZÁTOPEK, 1975; A. BITTNER, 1874; B. BOLT, 1984; J. DRIMMEL, 1976, 1979, 1980, 1981, 1982; J. DRIMMEL & G. DUMA, 1974; J. DRIMMEL, G. GANGL et al., 1971, 1973; J. DRIMMEL & E. TRAPP, 1975; O. FÖRTSCH & E. SCHMEDES, 1976; A. FRANKE & R. GUTDEUTSCH, 1973, 1974; G. GANGL, 1969 a, b, 1971, 1974; W. GÖRLICH, 1948; R. GUTDEUTSCH & K. ARIC, 1976; F. HERITSCH, 1918, 1920; R. HOERNES, 1902; H. v. HÖFER, 1880; M. KANDLER, 1980, 1983; V. KARNÍK et al., 1976; F. KAUTSKY, 1924; A. KOWATSCH, 1911; E. KRAUS, 1932 d; N. KREUTZER, 1971; H. LITSCHER & B. STROBL, 1977; D. MORARIU, 1978; G. MÜLLER, 1977; ST. MÜLLER, 1970; R. NOLL, 1975, 1981; N. PAVONI, 1977; J. RASCH, 1582; A. RITSEMA, 1974; R. SÄGESSER & D. MAYER-ROSA, 1978; R. SAMONIG, 1984; N. SCHEBALIN, 1971; A. SCHEIDECKER, 1965; C. SCHNEIDER, 1968; R. SCHWINNER, 1929; G. SOLLE, 1939; F. STEINHAUSER, 1975; E. SUESS, 1873; F. E. SUESS, 1895, 1897; E. TAMS, 1954; A. TILL, 1907; A. TOLLMANN, 1970 a, 1977 a, 1983 c; M. TOPERCZER & E. TRAPP, 1950; F. TOULA, 1896; E. TRAPP, 1961, 1973; H. VETTER, 1983.

L DIE MORPHOLOGISCHE ENTWICKLUNG ÖSTERREICH'S

1. Der Stand der morphologischen Forschung

Vielfältig wie der geologische Aufbau ist die in enger Abhängigkeit davon stehende morphologische Gestaltung unseres Landes. Ausgedehnte Reste alter Flachlandschaften im außeralpinen Anteil Österreichs an der Böhmischem Masse, ein komplex gestaltetes akzentuiertes Relief im Bereich der Kernzone Österreichs, den Ostalpen, und ein eigenständiges Schicksal der Entwicklung der großen Ebenen im Vorland und besonders der weiten Einbruchsbecken im Osten kennzeichnen auch in morphologischer Hinsicht die Individualität der verschiedenen Großräume.

Sehr unterschiedliche Hebungsarten des Gebirges in den Einzelabschnitten, unterschiedliche Gesteinszusammensetzung, eine bis in die jüngste Zeit wirkende Bruchtektonik und eine kräftige Überformung des alpinen Raumes durch die Auswirkung der Vergletscherung im Pleistozän haben das morphologische Bild unseres Landes so abwechslungsreich und vielfältig gestaltet, aber ähnlich wie in der Geologie auch mit Problemen der Morphologie für den Forscher gesegnet.

In der morphologischen Erforschung der Ostalpen, die mit wissenschaftlicher Akribie seit der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts betrieben worden ist, hat sich die