

P. STEINHAUSER, 1977; G. BACHMANN et al., 1979, 1981 a, b, 1982; A. BEHLE et al., 1972 a, b; A. BERKTOLD et al., 1976; U. BLEIL & J. POHL, 1976; M. BOTT, 1954; E. BRÜCKL & A. SCHEIDEGGER, 1974; P. CARNIEL & K. ROCH, 1976; M. CHOUDHURY et al., 1971; H. CLOSS, 1975; A. DAURER & G. SCHÄFFER, 1983; H. DÜRSCHNER, 1984; W. EHRSIMANN et al., 1969, 1973, 1976; H. FIGDOR, 1980; H. FIGDOR & A. SCHEIDEGGER, 1977; G. GANGL, 1974; G. GANGL et al., 1980; T. GATTINGER, 1978, 1981; GEOL.B.-A., 1984; E. GEUTEBRÜCK et al., 1984; P. GIESE, 1965, 1968, 1970, 1980; P. GIESE et al., 1972; P. GIESE, K. GÜNTHER et al., 1970; P. GIESE & C. MORELLI, 1975; P. GIESE & N. PALENKOVA, 1976; P. GIESE & C. PRODEHL, 1976; P. GIESE & K.-J. REUTER, 1978; P. GIESE & K. STROHBACH, 1970; H. GÖTZE, 1980 a, b; H. GÖTZE et al., 1972, 1979; A. GUILLAUME, 1974; R. GUTDEUTSCH, 1980; R. GUTDEUTSCH, P. STEINHAUSER et al., 1981; R. HAENLE, 1974, 1976; E. HAUSWIRTH, 1976; H. HEINZ & G. WALACH, 1979; W. HERMANN et al., 1983; E. HOLOPAINEN, 1947; H. HÖNIG, 1977; S. HORVATH, 1984; F. KOHLBECK, 1979; F. KOHLBECK et al., 1980 a, b; H. LICHTENEGGER, 1980; J. MAKRI, 1971; K. METZ, CH. SCHMID et al., 1978; HEINZ MILLER, 1976; HEINZ MILLER et al., 1977; H. MILITZER & F. WEBER, 1984, 1985; ST. MUELLER, 1982; W. PARTSCH, 1971; C. PRODEHL, 1964, 1965; H. REICH, 1957, 1960; K. RINNER, 1971, 1981; K. ROCH, 1976; V. SCHEFFER, 1963; A. SCHEIDEGGER, 1976, 1981 a, b; A. SCHEIDEGGER et al., 1980; H. SCHMID & K. PETERS, 1980; R. SCHWINNER, 1933 b; W. SEIBERL, 1978; W. SEIBERL & P. STEINHAUSER, 1980; E. SENFIL, 1968; E. SENFIL & CH. EXNER, 1973; L. STEGENA et al., 1974, 1975; F. STEINHAUSER, 1975, 1980; P. STEINHAUSER & R. GUTDEUTSCH, 1976; P. STEINHAUSER et al., 1980, 1982, 1983; A. TOLLMANN, 1978 b; G. WALACH, 1977, 1980; F. WEBER, 1969, 1976, 1980 a, b, c, 1981, 1983; F. WEBER et al., 1977, 1979, 1981, 1982, 1983; M. WILL, 1976.

J PALÄOMAGNETISCHE ERGEBNISSE

1. Die Bedeutung der Paläomagnetik

Als ein wichtiges Instrument für die Beantwortung einer Reihe geologischer Fragen, besonders jener der Großtektonik, aber auch im Bereich der stratigraphischen Forschung, hat sich die Paläomagnetik erwiesen. In Österreich ist diese Arbeitsrichtung durch H. MAURITSCH (Leoben) im Ausbau und sind erst seit wenigen Jahren Daten von überregionaler Bedeutung erzielt worden. Das paläomagnetische Arbeiten im alpinen Raum wird ja durch eine vielphasige komplexe und intensive Tektonik und damit Verstellung der zu messenden Serien sowie eine ebenso vielphasige Metamorphose entscheidend erschwert. Hinzu kommt, daß auch die Trägerminerale des remanenten Magnetismus, wie Magnetit und Hämatit, verschiedenes magnetisches Verhalten in ein und derselben Probe zeigen, also offenbar auch altersmäßig bedingte Unterschiede (detritische Einstreuung, spätdiagenetische Entstehung oder spätere metamorphe Bildung) mit einfließen.

Ein wichtiges Indiz dafür, daß keine spätere Störung der ursprünglichen Magnetisierungsrichtung durch eine jüngere Metamorphose eingetreten ist, liefert die Prüfung der Reversionsabfolgen in den untersuchten Sedimentgesteinsfolgen. Wenn diese Reversionen noch wohl erhalten sind – wie etwa in der zentralalpiner Gosau – so können auch die Paläopollagen als ursprünglich gelten.

Als weiteres Indiz wird heute gerne der Faltestest angewendet: Eine primäre Magnetisierung muß bei der Faltung entsprechend verstellt werden und sich in den verschiedenen Faltschenkeln in abweichender Lage äußern, während eine gleichmäßig über die Faltung hinweggreifende Magnetisierung sekundärer Natur ist. Ein nächster Test kann mit Hilfe von Proben aus Konglomeratlagen vorgenommen werden: Durch die in bezug auf das einstige Magnetfeld zur Zeit der Sedimentation ungeordnete Lagerung der Gerölle deutet eine schlechte Gruppierung der Richtungen auf primäre Verhältnisse hin, während eine gute Gruppierung auf eine spätere Überprägung durch Metamorphose (oder Verwitterung) hinweist.

Fehlerquellen mannigfaltiger Art – von der zu geringen Zahl der Aufschlüsse, der unrichtigen tektonischen Rückformung der Serie etc. bis zur unzureichenden Abmagnetisierung im Labor – können die Ergebnisse außerdem verfälschen.

Als weitere Fehlerquelle kommt die geologische Mißinterpretation hinzu, wie etwa das klassische Beispiel gleich zu Beginn dieser Arbeitsweise im südalpinen Raum gezeigt hat, wo man aus den abweichenden Pollagen im südalpinen Perm gegenüber dem stabilen Europa zunächst an eine tausende Kilometer weite Rechtsseitenverschiebung, besonders an der Periadriatischen Linie, statt an Rotation gedacht hat (J. DE BOER, 1963, S. 11: 4800 km; K. DE JONG, 1967: 4000 km; D. VAN HILTEN, 1964, Taf. 2: 10.000 km). Ähnlich, nur in kleinerem Maßstab, hat die Extrapolation einer ersten Meßreihe in den Vorarlberger Kalkalpen, die eine seit dem Perm erfolgte Rotation um 60° entgegen den Uhrzeigersinn erbrachte (H. SOFFEL, 1975, S. 383), zunächst zum Fehlschluß über eine derartige Rotation der gesamten Kalkalpen geführt.

2. Regionale Aussagen aus den Ostalpen

Ein Überblick über die bisher vorliegenden Aussagen der allerdings noch unzureichenden paläomagnetischen Messungen über großräumige Bewegungen im Ostalpenorogen soll dennoch wenigstens die sich bereits jetzt abzeichnenden Konturen der überraschenden neuen Einblicke abstecken.

a) Nördliche Kalkalpen: Die bisherigen Messungen im Westabschnitt der Kalkalpen von permischen, triadischen und jurassischen Gesteinen haben sämtlich eine kräftige, bis 60° erreichende Rotation dieser Region gegen den Uhrzeigersinn ergeben (Vorarlberg – H. SOFFEL, 1975, S. 376; Mieminger und Lechtaler Alpen – H. MAURITSCH & M. BECKE, 1981, S. 54). Die Messungen der remanenten Magnetisierung an jurassischen, vorwiegend liassischen Gesteinen im Mittelabschnitt der Kalkalpen hingegen zeigen durchwegs eine im Durchschnitt 45° betragende rechtssinnige Verdrehung, also im Sinne des Uhrzeigers (Abschnitt Lofer–Golling – R. HARGRAVES & A. G. FISCHER, 1959; H. MAURITSCH & M. BECKE, 1981, S. 53; Osterhorngruppe – H. MAURITSCH & W. FRISCH, 1978, S. 635; 1980, S. 6; H. MAURITSCH et al., 1979, S. 34).

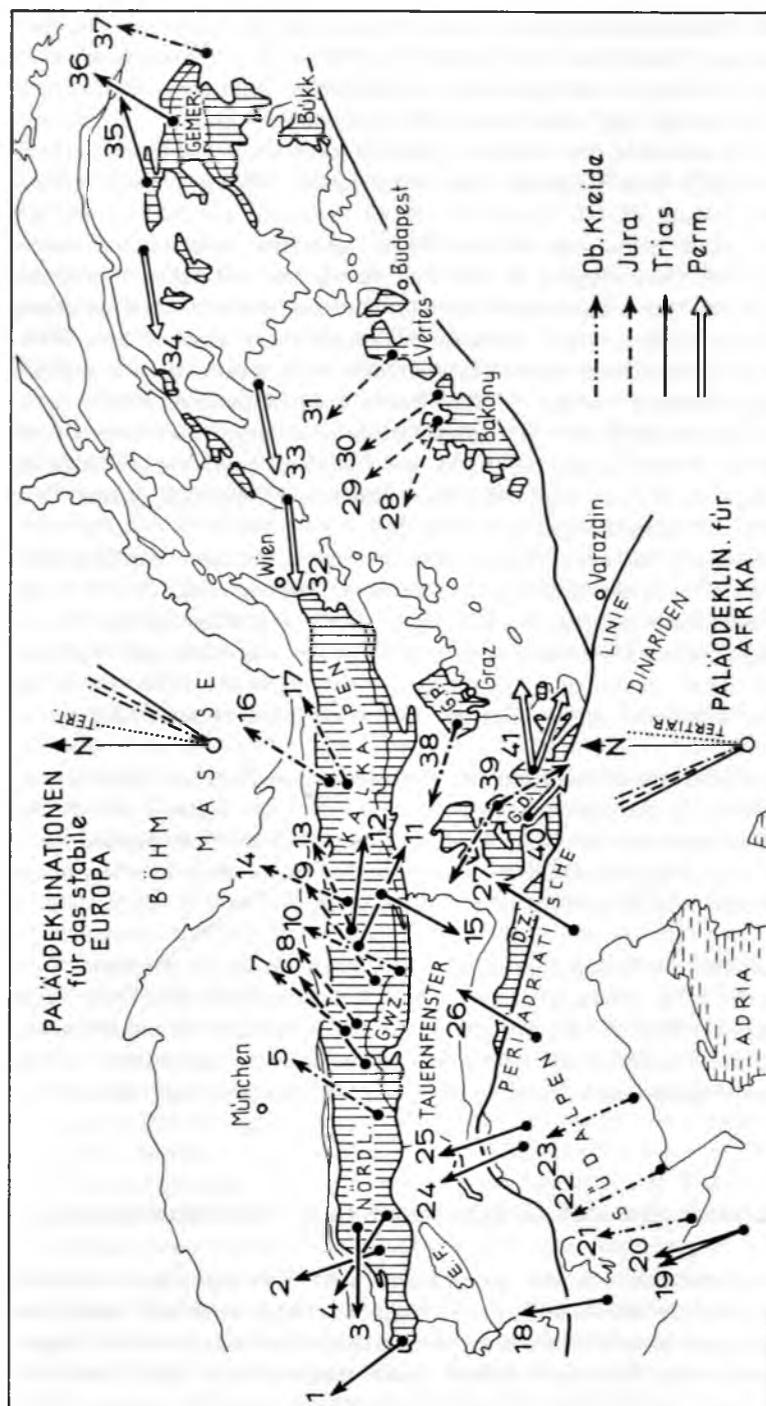


Abb. 54: Paläomagnetische Richtungshinweise auf die Pollagen im Perm und Mesozoikum der Ostalpen, besonders der Kalkalpen und im angrenzenden Raum; nach H. MAURITSCH & W. FRISCH (1980, Abb. 1 e) und M. BECKE & H. MAURITSCH (1983, Abb. 6). Lokalitäten: 1 Bludenz, 2 Rinnen, 3 Lermoos, 4 Mießing, 5 Brandenberg, 6 Wörgl, 7-8 Lofen, 9 E Lofen, 10 Entachen, 11-13 Osterhorn, 14 Gosau, 15 Dachstein, 16-17 Weißwasser, 18 Schlave, 19-20 Schio, 21 NE Schio, 22 Illasi, 23 Valdobbadiene, 24-25 Dolomiten, 26 östl. Dolomiten, 27 Julische Alpen, 28-29 Bakonycsernye, 30 Tatra-Kalvaria, 31 Tardosbanya, 32 Kl. Karpaten, 33 Tribec, 34 Niedere Tatra, 35-36 Choč-Decke, 37 Bankov; 38 Kainacher Gosau, 39 Wietersdorfer Gosau/Kärnten, 40 Christofberg-Perm, 41 St. Paul/Lavanttal-Perm.

Untersuchungen der Magnetisierung der Gosausedimente der Kalkalpen in den Becken von Brandenburg, Gosau und Weißwasser (M. BECKE & H. MAURITSCH, 1983, S. 43) haben eine einheitliche nachgosauische rechtssinnige Rotation der östlichen, mittleren und (Brandenburg) auch westlichen Kalkalpen um 20° ergeben.

Zusammengenommen würde dies bedeuten (Abb. 54), daß die kalkalpine Geosynklinale ursprünglich eine V-förmige Gestalt mit einem NW-SE ziehenden Westteil des Troges und einem SW-NE ziehenden Ostteil hatte, die einander in der Region westlich des Landes Salzburg in rechtem Winkel getroffen hätten. Beim deckenförmigen Vorschub des Oberostalpins in der Zeit der Unter- bis tiefen Oberkreide müßte sich dann durch ein Vorpreschen des Mittelstückes dieser V-förmige Strang noch vor der Ablagerung der Gosau gestreckt haben zu einer einheitlichen WSW-ENE-Anordnung. Im Tertiär wäre dann dieser Streifen noch weiter in eine ungefähr west-östliche Lage geschwenkt worden – vgl. M. BECKE & H. MAURITSCH, 1985.

Die tektonische Eindrehung der Weyerer Bögen in den Kalkvorpalpen kann nach Vermessung von Skyth, Lunzer Sandstein und Cenoman paläomagnetisch belegt werden: Der Ostflügel ist je nach Lage im Bogen zwischen 45° bis 105° gedreht worden (P. STEINHAUSER, A. TOLLMANN et al., 1981, S. 21).

b) Aus den Messungen basischer Gesteinszüge, besonders der quer durchschlagenden Diabasgänge im Ötztaler Kristallin durch H. FÖRSTER et al. (1975) ist für diesen Block eine Rotation entgegen dem Uhrzeiger um 60° abgeleitet worden.

c) Die paläomagnetischen Untersuchungen von Gesteinen des Silur und Devon im Grazer Paläozoikum, Sausal und Remschnig (H. FLÜGEL et al., 1980, S. 201) haben für Fragen der Tektonik und des Deckenbaues noch keine sinnvolle Interpretation ermöglicht.

d) Umfangreiche Messungen beiderseits der Periadriatischen Naht an Gesteinen des Oberdevon bis Karbon in den Karnischen Alpen und im Karbon von Nötsch führten zu dem Ergebnis, daß an dieser Linie in der Zeit nach dem Karbon keine nennenswerte Rotation stattgefunden haben kann, während sie eine Lateralverschiebung nicht ausschließen (H. MAURITSCH et al., 1979, S. 33; H. HEINZ & H. MAURITSCH, 1980, S. 269).

e) Gut gesichert sind die Pollagen permischer Schichten aus den Karnischen Alpen und aus den östlichen Zentralalpen. Aus letztgenanntem Abschnitt haben jüngst F. AGNOLI et al. (1984, S. 7 ff.) Proben aus dem Rotliegenden vom Christofberg SE vom Krappfeld und aus den St. Pauler Bergen in Kärnten untersucht. Die an Hämatit und Magnetit gemessenen Werte zeigen inverse Magnetisierungsrichtungen.

3. Die Beziehungen der Ostalpen zu den Nachbarräumen

Als nächstes interessieren uns die großräumigen Bewegungen, die sich durch die Paläomagnetik in den Nachbarräumen der Alpen ablesen lassen, also in der Fortsetzung gegen Westen und Osten, in Westalpen und Karpaten, im Ungarischen Zwischengebirge und in den Südalpen. Auch hier sind erst erste Tendenzen faßbar.

a) Das penninische Areal in der Ostschweiz hat im Jungtertiär durch eine Aufheizung auf 600°C eine neue remanente Magnetisierung aufgeprägt erhalten. Hierdurch läßt sich seine Verdrehung seit dem Miozän um rund 30° gegen den Uhrzeigersinn feststellen. Als Bewegungsschienen gegenüber dem Umland dienten im Süden die Insubrische Linie, im Norden aber die Rhein-Rhône-Linie, da die Magnetisierung des Südtiles des Aaremassivs bereits mit dem stabilen Europa übereinstimmt (F. HELLER, 1980).

b) Die Angaben über den Schollenmechanismus in den Karpaten divergieren noch beträchtlich. So haben etwa P. MUŠKA & J. VOZNÁR (1978) auf Grund der Untersuchung des Magnetismus vom Permoskyth der Choč-Decke, also der Fortsetzung der Kalkvoralpen, eine rechtssinnige Rotation von 65° angegeben, während J. KOTÁSEK & M. KRŠ (1965) aus den Gemeriden, der Fortsetzung der Kalkhochalpen, nur eine geringe rechtssinnige Rotation (0° bis 20°) an den gleichaltrigen Gesteinen abgelesen haben. Aus Messungen an Oberkreidegesteinen der Westslowakei haben P. PAGAČ & R. MARŠCHALKO (1979) überraschenderweise keine Richtungsänderungen der Zentralkarpaten gegenüber dem stabilen Europa ab dieser Zeit ablesen können. Oberkreidemergel der Pieniden haben hingegen eine Verdrehung der Deklination zwischen dem polnischen und dem westkarpatischen Abschnitt um 65° ergeben (M. BAŽENOV et al., 1981), woraus die Autoren auf eine Eindrehung des Westkarpatenbogens aus einer gestreckten Geosynklinale im Zeitraum seit der Oberkreide schließen. Hier werden künftige Messungen die bisher übersehenen Fehlerquellen bei den erstgenannten Angaben ausschalten helfen.

c) Eigenartig ist schließlich die Feststellung von E. & P. MÁRTON (1978, 1983), daß das Transdanubische Ungarische Gebirge, also der Bakony und seine Fortsetzung im Nordosten, nach Messungen von Gesteinen ab der Trias in bezug auf das stabile Europa eine Gegenuhrzeigersinn-Drehung von 73° erlitten habe, während es in bezug auf Afrika Bestandteil des „Zentralen Mediterranen Blockes“ einschließlich Istrien, Umbrien etc., also des Adriatischen Blockes, sein soll.

E. MÁRTON (1984, 1986) unterscheidet im zentralen Raum der mediterranen Tethys in paläomagnetischer Sicht zwei große Blöcke unterschiedlicher Bewegungstendenz: Die Einheit 1 („Zentrale Einheit“), die Sardinien, Italien, die Südalpen, den Westteil der Nordkalkalpen, die Zentralalpen und gegen Osten hin die Dinariden, den Hauptteil des Transdanubischen Gebirges (Bakony), Bükk-Gebirge sowie die Westkarpaten umfassen soll. Diese Großscholle habe, unabhängig von aller inneren orogenen Gestaltung, in mesozoisch-alttertiären Zeit als ein Teil von Afrika eine kräftige Rotation gegen den Uhrzeigersinn erlitten und sei erst später von diesem Großkontinent abgekuppelt worden. Die Einheit 2 („Südost-Einheit“), bestehend aus einer Schollenansammlung, vereint die Ostkarpaten, die südliche Transdanubische Region in Ungarn (Mecsek, Villány), Papuk-Gebirge (Jugoslawien), Ostserbien, NW-Bulgarien etc. Dieses Areal weist in der alpidischen Ära eine Drehung im Sinne des Uhrzeigersinnes auf und zeigt ähnliches Verhalten wie das stabile Europa. Die östlichen Nordkalkalpen Österreichs wären übrigens nach ihrer Rotation im Sinne des Uhrzeigers dieser Einheit 2 anzuschließen, sind aber sicherlich nur ein eigenständig verdrehter Teil von Block 1. Als Grenze dieser beiden aus paläomagnetischer Sicht geforderten Blöcke bietet sich die bedeutende NNE-SSW verlaufende Zemplin-Zagreb-Linie des

Pannonischen Beckens an und – versetzt – weiter im Süden die Linie Pec–Scutari. Ursache, Mechanismus und Bewegungsablauf dieser zwei herausgestellten Blöcke, deren Grenzen quer über die uns vertrauten Faltengürtel hinweggehen, bleiben derzeit in Dunkel gehüllt. Erst weitere gezielte Meßreihen werden hier Klarheit schaffen können.

d) Der Blick auf die südliche Nachbarscholle, die Südalpen und den Adriatischen Block, ist auf Grund der intensiven paläomagnetischen Forschung besonders der holländischen Forscher seit den frühen sechziger Jahren von besonderem Interesse: Hier liegen bereits so viele detaillierte Daten vor, daß sich die Bewegungstendenzen von Mikroplatten und -schollen schon sehr klar erfassen lassen. Nachdem in den Südalpen zunächst der remanente Magnetismus der permischen und triadischen Serien studiert worden war, hat man sich in neuerer Zeit mehr den jüngeren Gliedern vom Jura bis in das Tertiär zugewandt – J. CHANNELL & D. TARLING (1975). Zusammenfassend ergibt sich aus den paläomagnetischen Aussagen folgendes Bild über die Beziehung Nordalpen/Südalpen/Adriatischer Block (J. VANDENBERG, 1979, S. 171; J. VANDENBERG & A. WONDERS, 1980, S. 3627; H. MAURITSCH & W. FRISCH, 1980, S. 12): 1. In der älteren nachvariszischen Geschichte bis in die Zeit des frühen Tertiärs war der sogenannte Adriatische Block, bestehend aus Südalpen, Apennin und Korsika, fester Bestandteil der Afrikanischen Scholle und machte deren komplizierte Bewegung gegenüber Eurasien im Laufe des Mesozoikums mit. 2. Nach dem frühen Tertiär löste sich dieser Block von Afrika und erlitt eine kräftige Gegenuhrzeiger-Rotation, unabhängig von Afrika. 3. Dabei aber splitterte etwa entlang einer Störungzone unter der Poebene (J. VANDENBERG & A. WONDERS, 1976, S. 318) sein Nordteil, die Südalpen-Scholle, ab und blieb in der linksgerichteten Rotation gegenüber dem Hauptteil des Adriatischen Blockes um etwa 25° bis 30° zurück. 4. Das Ostalpine Dekkensystem der Ostalpen aber, durch die Periadriatische Linie (und vielleicht die begleitende, im Satellitenbild so auffällige Canaletalstörung) getrennt, macht diese junge Linksrotation nicht mehr mit.

4. Weitere Aussagen der Paläomagnetik

Neben den erwähnten Aussagen über großräumige Rotationen tektonischer Einheiten kann die Paläomagnetik Unterstützung für weitere geologische Fragen gewähren, wofür hier noch vier Beispiele aus dem Ostalpenraum mit jeweils anderer Fragestellung angeführt werden:

a) Das alte Problem des Ausmaßes der Einengung der Geosynklinale durch die Gebirgsbildung, also die Überprüfung der aus der Abwicklung der Decken abgeschätzten ursprünglichen Dimensionen, wird in greifbarer Zukunft durch die Veränderung der Inklination gegenüber dem zugehörigen Paläopol meßbar werden. Erste Ergebnisse stellen sich bereits ein: Bei paläomagnetischen Untersuchungen in den Kalkalpen (Dachsteingebiet, Osterhorngruppe) durch H. MAURITSCH & W. FRISCH (1980, S. 5) ergaben sich bereits Hinweise auf eine nordwärts gerichtete Drift von mehreren hundert Kilometern, in den Karpaten vermuten P. PAGÁČ & R. MARSCHALCO (1979, S. 228), Transporte gegen die Plattform im Norden von 800 km ablesen zu können.

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 Reißbeck-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 eingestuftes 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 HILTEN, 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. PAGÁČ & R. MARSHALCO, 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 ÖSTERREICHS

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-