

Großtektonische Ergebnisse aus den Ostalpen im Sinne der Plattentektonik

Von Alexander TOLLMANN*

Mit 1 Abbildung

Zusammenfassung

Die Entwicklung der Ostalpen wird im Licht der Plattentektonik betrachtet. Bereits in der Trias treten mit der Mächtigkeit der Karbonatplattformsedimente und dem südalpinen-südoberostalpinen Vulkanismus deutliche Hinweise auf eine erste Krustenausdünnung auf. Durch das Aufreißen der sauren Kruste im Jura und der Unterkreide entstanden im Bereich des Süd- und Nordpennins Ozeanbodenstreifen, die ihre Fortsetzung in Ophiolithzonen des Nordstammes des mediterranen Kettengebirges finden, während die Öffnung eines eigenen südlichen Tethysozeanbodenstreifens in der Ophiolithzone auf weiten Strecken des Südstammes einen eigenen, bis Afghanistan reichenden, flach überspülten, sialischen Zwischenkontinent, die Kreiosplatte, schuf.

Mit der mittleren Kreide setzte an durchwegs südfallenden Subduktionszonen die Orogenese ein, von innen nach außen vorgreifend. Der altalpidische paarige Gürtel der Metamorphosezonen liegt in der druckbetonten penninischen Metamorphose im Norden, und der temperaturbetonten Metamorphose im Ostalpin im Süden vor. Der Umschlag von druck- in temperaturbetonte Metamorphose in der penninischen Tauernregion kann während des Tertiärs registriert werden. Im Jungtertiär erfolgt im Zusammenhang mit dem auf die Ostalpen übergreifenden innerkarpatischen Inselbogenvulkanismus eine Krustenausdünnung im pannonischen Randbeckengebiet, die durch seismische Messungen im Alpenlängsprofil durch ein Ansteigen der Moho von 50 km bei Judenburg auf 27 km im Ungarischen Becken erfaßt wurde.

Summary

The development of the Eastern Alps is considered in the light of plate tectonics. The thickness of the carbonate platform sediments and volcanism in the South Alpine and South Upper Austroalpine as early as in the Triassic are an indication of a first thinning of the crust. The rifting of the acid crust during the Jurassic and Lower Cretaceous resulted in the formation of ocean floor strips in the area of the North and South Penninikum, which continue as ophiolite zones of the northern part of the Mediterranean chain, while the opening of a separate, more southerly Tethyan ocean-floor strip in the ophiolite zone of the southern

* Adresse des Verfassers: Institut für Geologie der Universität Wien,
Universitätsstraße 7, A-1010 Wien.

stem formed a new sialic continent, the Kreios plate, covered by a shallow sea and reaching as far as Afghanistan.

Orogenesis began in the Middle Cretaceous along consistently southward-trending subduction zones, advancing from inside to outside. The Early Alpidic paired metamorphic belt lies in the pressure-controlled metamorphism in the Penninic system in the north and the temperature-controlled metamorphism in the Austroalpine zone in the south. The shift from pressure to temperature-controlled metamorphism in the Penninikum of the Tauern region took place during the Tertiary. During the Upper Tertiary, and in connection with Inner Carpathian island-arc volcanism which also affected the Eastern Alps, there was crustal thinning in the area of the peripheral Pannonian basin; this thinning is documented by the longitudinal profile of the Alps, made by seismic measurements, which shows a rise of the Moho from a depth of 50 km near Judenburg to 27 km in the Hungarian basin.

Inhalt

1. Einführung	38
2. Das Vorstadium. Die ursprüngliche Breite des alpinen Streifens	39
3. Die Krustendehnung in der Trias	40
4. Die Krustenzerreißung in Jura und Unterkreide	40
5. Plattenkollision ab Mittelkreide, im Tertiär weiter anhaltend	42
6. Literatur	44

1. Einführung

Die Erkenntnis der Plattentektonik und ihres Mechanismus war in der zweiten Hälfte unseres Jahrhunderts der große Wurf in der Erdwissenschaft, vergleichbar etwa dem Siegeszug der Deckenlehre zu Beginn der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts. Zahllose Phänomene, die in direktem und indirektem Zusammenhang mit der Bewegung der Platten der Erdkruste stehen, fanden nun ihre erlösende Erklärung, so wie einst mit dem Schlüssel der Deckenlehre die Geheimnisse der Kettengebirge, ihre eigenartige Tektonik, die Analyse der Faziesregionen, der Metamorphosezonen etc. erschlossen werden konnten. Besondere Bedeutung besitzt die Plattentektonik für die Erklärung des Gesamtmechanismus der Erdgestaltung und für die Analyse von bislang – fast möchte man sagen – in bezug auf ihre großzügige Gestaltung noch unterschätzte Räume der Erde, einschließlich von Amerika. In den Alpen bringt die Plattentektonik hingegen nicht grundsätzlich Neues. Hier ist, wenn auch mit anderen Vorzeichen und mit anderer Nomenklatur doch das Grundsätzliche der Gestaltung durch Anwendung der Deckenlehre bereits geschöpft worden. Hier blieben nur bestimmte Sektoren, auf denen das neue Gedankengut auch tatsächlich neue Blickrichtungen eröffnete. Die folgenden Zeilen sollen nun gerade diese Blickrichtung in den Vordergrund stellen, um jene Fakten offenzulegen, die durch den plattentektonischen Mechanismus eine abgerundete Erklärung finden.

Nicht vergessen aber darf man, daß es das plattentektonische Gedankengut war, das – nun mit geophysikalischen Methoden unterbaut – das großartige Geschehen

im Bereich der Erdrinde allgemein glaubhaft machte, daß demnach die Plattentektonik die hohe Mobilität der Erdkruste bewies, sodaß hierdurch endlich die letzten Hindernisse für die so lang bekämpfte Deckenlehre hinweggeräumt wurden. Die Umstellung von der Autochthonie zum Ultranappismus vollzog sich hierdurch bei manchen gleichsam wie der Sprung vom Mittelalter ins Atomzeitalter.

Im folgenden soll in zeitlichen Etappen der Werdegang der Ostalpen unter diesem modernen Gesichtspunkt erfolgen.

2. Das Vorstadium. Die ursprüngliche Breite des alpinen Streifens

Gegenüber den 150 km Breite der heutigen Alpen war der ursprüngliche Raumbedarf nach Abwicklung der Decken gewaltig. Noch L. KOBER hatte 1955 eine ursprüngliche Breite von nur 300 km für den alpinen Raum veranschlagt, der Verfasser mußte 1963 bereits mit 600 km Breite rechnen. Je mehr aber die Untersuchungen in den Ostalpen in den letzten Jahren in das Detail vordrangen, je mehr die Detailkartierung und die Spezialuntersuchungen fortschritten, ein desto grandioseres Deckengebäude entwickelte sich dem Blick des Betrachters, sehr zum Erstaunen der einstigen grundsätzlichen Kritiker des Deckenbaues: So muß man heute für die Breite der Geosynklinale der Ostalpen zur Zeit ihrer größten Ausdehnung im Jura wohl an die tausend Kilometer veranschlagen; im Ausgangsstadium der Permotrias hatte sie wohl ein geringeres Ausmaß aufgewiesen.

Welche Erkenntnisse haben nun in den letzten Jahren ein immer weiteres Anwachsen der Breite der ursprünglichen Geosynklinale der Ostalpen in unserer Vorstellung bewirkt. Wir fassen die Fakten ganz kurz zusammen: 1. Es spricht sehr vieles dafür, daß die Zentralgneis-Faltendecken im Tauernpennin in alpidischer Zeit geformt wurden und daher bei Abwicklung sich dieser Krustenstreifen entsprechend verbreitert: das permische Alter von wesentlichen Teilen des Zentralgneises, der Tieftektonik-Baustil, die Vergenzrichtung etc. weisen in diese Richtung der alpidischen Formung. 2. Der großartige Deckenbau in der Schieferhülle, der seit 1961 vom Verfasser im Gesamttraum des Tauernfensters enthüllt worden ist, weist auf eine ganz gewaltige Breite der penninischen Schieferhüll-Geosynklinale, die dann in Jura und Unterkreide durch Aufreißen der Kontinentalkruste noch eine entscheidende Vergrößerung erfuhr. 3. Das Unterostalpin wurde im Ostteil der Ostalpen durch die Klarstellung der Allochthonie der mindestens 50 km breiten Wechseldecke, die zuvor vielfach als autochthone Aufkuppelung gesehen worden war, entscheidend verbreitert (TOLLMANN, 1976, 1978). Das Tauern-Unterostalpin wuchs durch die nötige Einführung einer neuen Schwelle (Lungauer Schwelle, 1977, Abb. 3, S. 106). 4. Die ursprüngliche Breite des Oberostalpins wird durch die Erfassung der bedeutenden Dimension eines neuen Faziesraumes im Südabschnitt, die Licische Faziesregion (Licium), bedeutend vergrößert (TOLLMANN, 1977, S. 626), dessen Ausdehnung vom Drauzug nach Norden aus der Erhaltung von Resten am Rücken der Gurktaler Decke sowie aus der Entwicklung des bedeutenden Spanes von Stangalmtrias mit den bezeichnenden Pfannockschiefern in die Pfannockschiefer (TOLLMANN, 1975) hervorgeht. Dies bedeutet, daß über dem Raum der Gurktaler Decke nicht die Kalkalpen beheimatet waren und nach Norden abgeglitten sind, sondern ein anderer, breiter,

zusätzlicher oberostalpinen Faziesraum sich hier einschaltete, der durch Erosion heute so reduziert ist. Der Zuwachs an oberostalpinem Raumbedarf für die Abwicklung ist demnach bedeutend. 5. Der zusätzliche gewaltige Raum der Geosynklinale in der Zeit der Flyschbildung, für die nach modernen Flyschuntersuchungen (FAUPL, 1975, 1976) bedeutende Breiten der einstigen Flyschtröge erforderlich sind, muß hier bei Besprechung der Frühphase nicht erörtert werden.

3. Die Krustenausdünnung in der Trias

Die Ausbildung mächtiger Karbonatplattformsedimente am rasch sinkenden Rand von Geosynklinalen oder aber über Resten von rasch absinkender Kontinentalkruste im Inneren einer Geosynklinale, die Ablagerung von Tiefseesedimenten auf ozeanischer Kruste – all diese Prozesse stehen in direktem Zusammenhang mit dem raschen und tiefen Absinken des Meeresbodens. Es bleibt uns heute in der Denkrichtung der Plattentektonik wohl kein anderer Grund als Ursache dieses Phänomens als eine Ausdünnung, Zerrung, Zerreißung und schließlich Entfernung der spezifisch leichten sauren Oberkruste durch Auseinanderdriften, um die tiefe Lage der restlichen Kruste aus isostatischen Gründen begreifen zu können.

Die mächtige Triasplattform-Sedimentausbildung im Ostalpin wird hier demnach dadurch erklärt, daß zu dieser Zeit bereits die entscheidende Umgestaltung der Kruste durch schräges Auseinanderdriften der Vorlandplatten Eurasien und Afrika begonnen hat und daß eine an Störungen erfolgte Schollenkipfung unter Zerrung erfolgte. Obgleich wir zu dieser theoretischen Forderung im mittelostalpinen Kristallin noch keine adäquaten Strukturen gefunden haben, weisen doch die in bedeutendem Umfang in den Südalpen, besonders den Südtiroler Dolomiten zwischen oberem Anis und Karn, mit Schwerpunkt im Oberladin, auftretenden Vulkanitmassen sowie geringmächtige, aber weit verbreitete Vulkanitniveaus in den Nördlichen Kalkalpen auf eine Krustendehnung an Störungen, die als vulkanische Aufstiegswege dienten. Die beiden letztgenannten Regionen sind auch jene Gebiete, die die mächtigste Triassedimentation, d. h. die stärkste Krustenabsenkung aufweisen, während die Mächtigkeiten über dem offenbar weniger beanspruchten mittel- und unterostalpinen Kristallinsockel ja zu dieser Zeit noch beträchtlich zurückblieben.

4. Die Krustenerreiung in Jura und Unterkreide

Die Akzeleration der Öffnung der Tethys-See während des Jura und der Unterkreide ist an der zu dieser Zeit erfolgten bedeutendsten Umstellung der Geosynklinale klar abzulesen: Nun öffnet sich zunächst über die gesamten Ostalpen in der Längsrichtung an beiden Seiten weit hinausreichend der sdpenninische Ozean, die saure Oberkruste birst; in der Glocknerdecke und im Rechnitzer Penninikum stellen sich neben gewaltigen submarinen Vulkanitergudecken auch reichlich Späne des hier wohl einst ohne Sialkruste unmittelbar unterlagernden Ozeanbodens in Form der bekannten, z. T. sehr mächtigen Serpentinittrper ein. Außer diesem sich breit öffnenden sdpenninischen Ozean reißt in dieser Zeit in der Folge auch noch ein zweiter, nrdlicherer, schmälerer Streifen, der Walliser

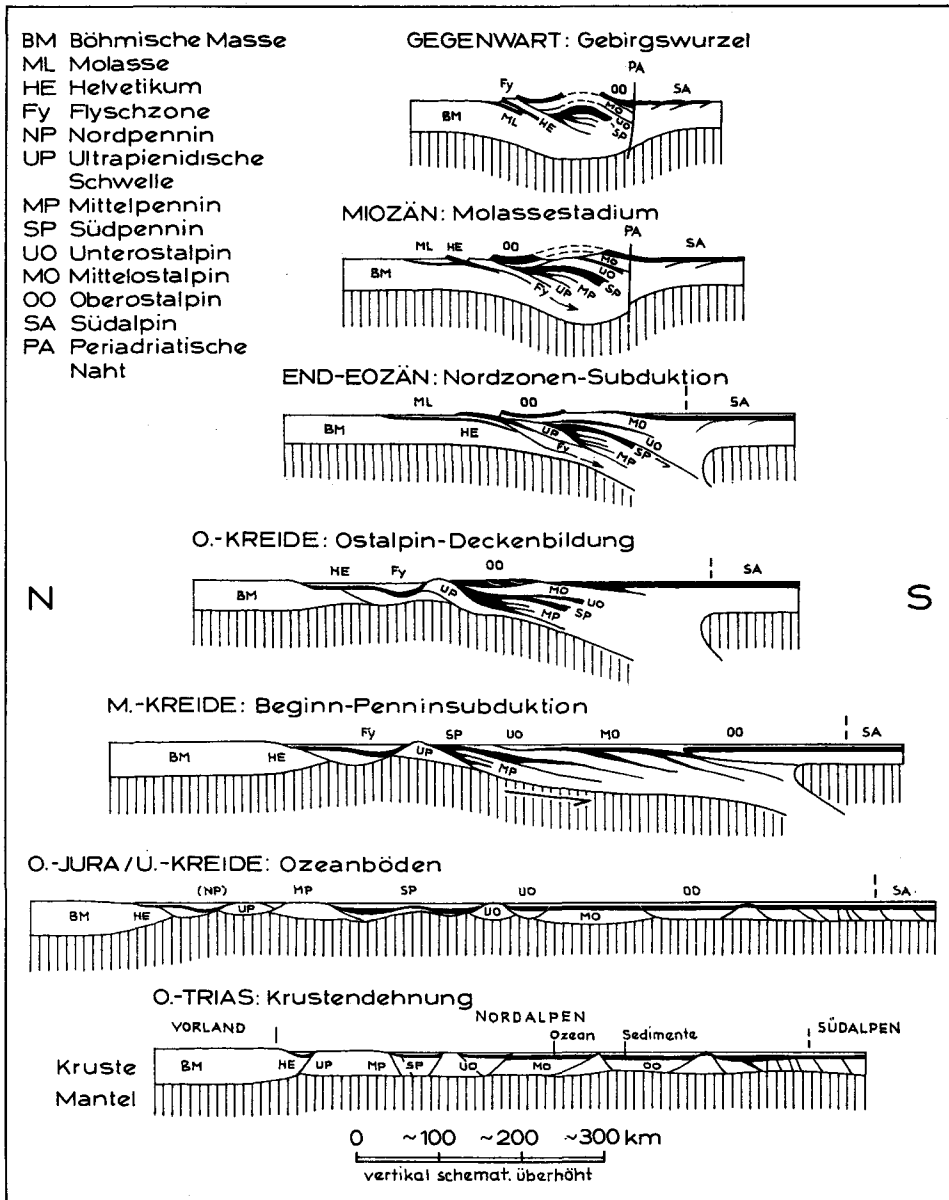


Abb. 1: Entwicklungsstadien der Ostalpen im alpidischen Zyklus: Krustendehnung und Ozeanbildung in Trias bis Unterkreide, Orogenese und Subduktion von Mittelkreide bis Tertiär, Gebirgswurzel des Deckengebirges rezent noch erfaßbar.

Trog, im Bereich des heutigen Nordpennins auf, der von den Westalpen her (wo er nur durch schwächige Ophiolithe markiert ist) noch über das Engadiner Gebiet in die Ostalpen hineinreicht. Die Briançonnische Schwelle mit den Zentralgneismassen saurer Kruste hat zu dieser Zeit die beiden ozeanischen Tröge getrennt.

Sucht man diese Ozeankrustenbildung im Pennin der Ostalpen in die regionalen Verhältnisse des Mediterrans einzuordnen, so erkennt man an Resten von Ophiolithen eine mehr außen gelegene Zone im Nordstamm dieses Doppelorogens im Raum des Mittelmeeres, die über die Pieniden in den Karpaten, über das Paringfenster der Ostkarpaten, das Strandschafenster im Balkan in die Pontischen Ketten Anatoliens weist. Eine Vereinigung dieser Reste von Ozeanböden mit jenem Streifen mit Ophiolithen im Südstamm, der von der Ophiolith-Radiolarit-Zone der Dinariden über die Tauriden Anatoliens zum Zagros überleitet, ist zuunrecht bisher in plattentektonischen Arbeiten über den mediterranen Raum zu einem einheitlichen, sich gegen Osten rasch verbreiternden Tethysozean vorgenommen worden. In Wahrheit aber werden diese, sich im Lauf des jüngeren Mesozoikums durch die anhaltende Krustenzerrung öffnenden Ozeanstreifen im Süden und Norden der Gesamtethy durch den dazwischenliegenden, sich mehr und mehr abtrennenden, seicht überspülten Zwischenkontinent, die „Kreios-Platte“, getrennt (TOLLMANN, 1978, S. 341). Sie umfaßt außer den altbekannten Zwischengebirgen wie Pannonien, Rhodope, Zentralanatolien etc. auch die großen Ferndecken vom Typus des Ostalpins, die aus den inneren Teilen des Doppelorgens gegen außen, gegen die von dort herandrängenden Vorlandplatten, überschoben werden. Während die entstehenden Ozeanbodenstreifen besonders im Süden ostwärts an Breite rasch zunahm, war im Westen diese sich allmählich isolierende Kreiosplatte noch länger mit dem südlichen Vorlandkontinent, über die nachmalige Apulische Mikroplatte verbunden, welche Verbindung sich erst spät löste. Die mächtigen Karbonatsedimente im Ostalpin, im Hochdinarikum usw. erklären sich eben dadurch, daß hier die Ränder der Kreiosplatte bei ihrer Ausdünnung schon ab der Trias ebenfalls einer verstärkten Subsidenz unterlagen, sodaß hier Sedimente mit Plattformcharakter entstanden.

5. Plattenkollision ab der Mittelkreide im Tertiär weiter anhaltend

Mit dem Umschlagen der Bewegungsrichtung der Vorlandplatten Afrika gegenüber Eurasien in der Kreide kam es zur extremen Einengung des Mittelmeerrandstreifens, insgesamt im Meridian der Ostalpen von rund 1000 km Breite des Nordstammes zu 150 km heutiger Breite. Der gewaltige Deckenbau entstand, wobei Schubweiten bis zu 165 km zwischen den einzelnen Deckenkomplexen auftraten. Dabei entwickelte sich ein eigener Typus von Subduktionszonen, der mediterrane Typus der konvergierenden Doppelsubduktion (TOLLMANN, 1978, S. 342 f., Abb. 11). Bei diesem Vorgang unterfährt die Eurasische Platte im Norden und die Afrikanische bzw. Adriatisch-Apulische Mikroplatte im Süden die Kreiosplatte von beiden Seiten, hebt sie gleichsam aus und bewirkt ein jeweils gegen außen, im Norden nordwärts, im Süden südwärts gerichtetes Absplittern und Überschieben von Decken. Dabei wird das UHLIG'sche Prinzip des Wanderns der Bewegung in den mediterranen Gebirgen von innen nach außen heute voll bestätigt, man spricht in moderner Nomenklatur vom Wandern der Subduktionszonen in den Ostalpen gegen außen, gegen das Vorland hin. Es setzt an der großen Hauptschwächestelle, der süd-penninischen Ozeanspalte in der Mittelkreide an und rückt über Nordpennin im

Alttertiär zum Helvetikum vor, schließlich auch noch im älteren Jungtertiär den Südrand der Molassezone erfassend.

Dabei tauchen die Subduktionszonen in den Ostalpen grundsätzlich nach Süden ab, wie wir aus einer Reihe von Merkmalen eindeutig ablesen können. Daß von ausländischen Plattentektonikern in den österreichischen und schweizerischen Alpen in jüngster Zeit immer wieder umgekehrte Verhältnisse, also partielles oder vollständiges Einfallen der Subduktionszonen gegen Norden oder Wechseln des Einfallens, ohne zureichende Begründung und entgegen den heute ablesbaren Indizien angenommen wurde (HSÜ & SCHLANGER, 1971, S. 1213; OXBURGH, 1972, S. 202, CHOROWICZ & GEYSSANT, 1976, Abb. 3; D. ROEDER, 1976, S. 96), überrascht. Folgende Gründe sprechen in den Ostalpen für südfallende Subduktionszonen: Alle Hauptdeckensysteme wurden mit namhafter Förderweite gegen Norden überschoben, also relativ dazu gegen Süden hin vom Untergrund unterfahren. Die grundsätzlich gegen die unterschiebende Platte gerichtete Bogenform eines Gebirges entspricht in Alpen und Karpaten mit dem gegen Norden konvexen Bogen dieser Bewegungsrichtung. Die Anordnung der älter-alpidischen Metamorphosegürtel mit der Hochdruck-Blauschiefer-Metamorphose im Tauernpennin im Norden und der temperaturbetonten Metamorphose im Kristallin des Ostalpins im Süden weist in die gleiche Richtung der südabsteigenden Subduktion. Die Mächtigkeit der zusammengeschopten Krusten nimmt noch heute, lange nach den Hauptphasen, gegen Süden hin und nicht unter dem Vorland zu.

Die zuletzt erwähnte Metamorphose in den Ostalpen ist demnach ebenfalls klar in Abhängigkeit von der plattentektonisch bedingten Orogenese zu sehen. Die Hochdruckmetamorphose in den Tauern erreicht bei maximal 8–11 kbar Druck Temperaturen von 500–550°, wobei über die Blauschieferfazies hinaus lokal Eklogitfazies auftrat (CLIFF et al. 1971; SATIR 1976; RAASE & MORTEANI 1976 etc.). Die temperaturbetonte Metamorphose der altalpidischen Zeit bewirkte weithin vor rund 80–90 Millionen Jahren bloß Prägung in Grünschieferfazies einschließlich der Almandin-Subfazies, nur aus dem Schneeberger Zug ist aus dieser Zeit auch Staurolithbildung in regionalem Ausmaß bekannt geworden. Mit Nachlassen der kretazischen Hauptüberschiebungsvorgänge trat dann im Tertiär (wahrscheinlich Eozän) in den Tauern eine druckschwächere Überprägung durch die Grünschiefer- bis schwach temperierte Amphibolitfazies auf.

Einer wesentlich jüngeren Phase der Krustenumgestaltung gehört der jungtertiäre Vulkanismus im Ostteil der Ostalpen an, der im Raum Lavanttal, Oststeiermark und Burgenland die Fortsetzung des innerkarpatischen Vulkankranzes darstellt. Im Zusammenhang mit diesem Vulkanbogen und seiner Laven-Abfolge und -Herkunft ist der Auffassung von BLEAHU et al. (1973) beizupflichten, daß dieser Struktur einen Inselbogenvulkanismus mit Randbecken-Spreading darstellt. Auf Grund der K_2O/SiO_2 -Diagramme kamen die aufgeschmolzenen Krustenreste hier bis in die Tiefen von 130–180 km. Ihr Wiederaufstieg brachte im Eggenburgien rhyolithische Magmen in der Slowakei, im Badenien hierauf andesitische Laven auch in der Steiermark und später immer basischere Vulkanite bis zu den jungpliozänen Basalten des Burgenlandes an die Oberfläche. Die Verschärfung der Karpatenbogenkrümmung ist offenbar verbun-

den mit einer Ausdünnung der Kruste im pannonischen Hinterbogengebiet, auch durch Aufschmelzung von unten her, sodaß hierin die Erklärung für das eigenartige Ergebnis der seismischen Alpenlängsprofiluntersuchung liegen wird, wonach die bekannte Krustenverdickung unter den Alpen von 50 km im Westen ab Judenburg gegen Osten hin relativ rasch auf 27 km im Bereich des Pannonischen Beckens abnimmt (H. MILLER, 1976, S. 1122).

6. Literatur

- BIJU-DUVAL, B. & MONTADERT, L. [Hrsg.]: Structural History of the Mediterranean Basins. — Symp. int. 25 congr. int. explor. sci. Méditerranée, Split 1976. 448 S., Paris (Ed. Technip) 1977.
- BLEAHU, M., BOCCALETTI, M. et al.: Neogene Carpathian Arc: A Continental Arc Displaying the Features of an 'Island Arc'. — J. Geophys. Res., **78**, 5025—5032, 1973.
- CHOROWICZ, J. & GEYSSANT, J.: La paléofaïlle transformante Split-Karlovac-Vienne. — Rev. géogr. phys. géol. dynam., (2) **18**, 127—141, Paris 1976.
- CLIFF, R., NORRIS, R. et al.: Structural metamorphic and geochronological studies in the Reisseck and Southern Ankogel Groups. — Jb. geol. B.-A., **114**, 121—272, Wien 1971.
- FAUPL, P.: Schwermineralien und Strömungsrichtungen aus den Kaumberger Schichten (Oberkreide) des Wienerwald-Flysches, Niederösterreich. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1975**, 528—540, Stuttgart 1975.
- : Vorkommen und Bedeutung roter Pelite in den Kaumberger Schichten (Oberkreide) des Wienerwald-Flysches, Niederösterreich. — N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **1976**, 449—470, Stuttgart 1976.
- FRISCH, W.: A Plate Tectonics Model of the Eastern Alps. — [In:] H. CLOSS et al. [Hrsg.]: Alps, Apennines, Hellenides. 167—172, Stuttgart 1978.
- HSU, K. & SCHLANGER, S.: Ultrahelvetic Flysch Sedimentation and Deformation Related to Plate Tectonics. — Bull. geol. Soc. Amer., **82**, 1207—1218, Boulder 1971.
- KOBER, L.: Bau und Entstehung der Alpen. 2. Auflage. — 379 S., Wien (Deuticke) 1955.
- MILLER, Ch.: On the Metamorphism of the Eclogites and High-Grade Blueschists from the Penninic Terraine of the Tauern Window, Austria. — Schweiz. miner. petrogr. Mitt., **54**, 371—384, Zürich 1974.
- OXBURGH, E.: Flake Tectonics and continental collision. — Nature, **239**, 202—204, London 1972.
- RAASE, P. & MORTEANI, G.: The potassic feldspar in metamorphic rock from the western Hohe Tauern area, eastern Alps. — Geol. Rdsch., **65**, 422—436, Stuttgart 1976.
- ROEDER, D.: Die Alpen aus plattentektonischer Sicht. — Z. dt. geol. Ges., **127**, 87—103, Hannover 1976.
- SATIR, M.: Rb-Sr- und K-Ar-Altersbestimmungen an Gesteinen und Mineralien des südlichen Oztalkristallins und der westlichen Hohen Tauern. — Geol. Rdsch., **65**, 394—410, Stuttgart 1976.
- TOLLMANN, A.: Vom Bau der Alpen. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse. — Universum, **16**, 439—445, Wien 1961.
- : Ostalpensynthese. — VII + 256 S., Wien (Deuticke) 1963.
- : Die Bedeutung des Stangalm-Mesozoikums in Kärnten für die Neugliederung des Oberostalpins in den Ostalpen. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., **150**, 19—43, Stuttgart 1975.
- : Neue Fenster des Wechselsystems am Ostrand der Zentralalpen. — Ber. Geol. Tiefbau Ostalpen, **3**, 58—64, Wien (Zentralanst. Meteor. u. Geodyn.) 1976.
- : Eine Serie neuer tektonischer Fenster des Wechselsystems am Ostrand der Zentralalpen. — Mitt. österr. geol. Ges., **68** (1975), 129—142, Wien 1978.