

H DIE BRUCHTEKTONISCHE ORDNUNG IM OSTALPENOROGEN

1. Die bisherige bruchtektonische Forschung

Die Betrachtung der Bruchtektonik in Österreich hat erst in neuerer Zeit versucht, das komplexe und zunächst nicht leicht durchschaubare Gesamtbild der Bruchstörungen im alpinen Raum und im Vorland in eine sinnvolle genetische Ordnung zu bringen. Ursprünglich, vor Einzug der Deckenlehre, hatte man zunächst keine grundsätzliche Unterscheidung zwischen Bruchstörungen und Überschiebungen getroffen und auch kartenmäßig ein homogenes Netz von Linien gezeichnet. In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts, zur Zeit des Ringens um die Anerkennung des Deckenbaues, waren die Kräfte der mobilen Tektoniker durch die Analyse der Deckentektonik gebunden, die Bruchtektonik blieb lange vernachlässigt, auch wenn man sich gelegentlich mit einzelnen großen, besonders markanten Störungszonen beschäftigte (z. B. A. KIESLINGER, 1928: Die Lavanttaler Störungszone – Bd. I, Abb. 75; E. CLAR, 1951: Die Görtsschitztaler Störungszone – Bd. I, Abb. 78, 82, 85, 138; O. THIELE, 1961: Das Alter der Donaustörung etc.). Jene Geologen aber, die weiterhin auf dem Boden der Autochthonie arbeiteten und die sich noch am ehesten mit Fragen der bruchtektonischen Systeme befaßten, stellten unter Negation der großen Überschiebungsdecken immer noch Brüche, Aufschiebungen und Überschiebungen in ein System, wie etwa die Abbildung des Störungssystems der Zentralalpen in SCHAFFERS „Geologie von Österreich“ im Jahre 1951 zeigt, die R. SCHWINNER entworfen hat (1951, S. 211, Abb. 12).

Sehr sorgfältig hingegen waren die Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten der Bruchstörungen (Klüfte, Schlechten, Lassen, Wechsel etc.) seit alters durch den Bergbau und die damit befaßten Geologen herausgearbeitet worden. E. SUSS widmete seine letzte Publikation aus dem Jahre 1913 „Über die Zerlegung der gebirgsbildenden Kräfte“ der Entstehung der paarigen Diagonalscherflächen, dort neu als „Diaklasen“ bezeichnet (Abb. 41). Besonders sein Schüler H. v. HÖFER, erster Inhaber der erdwissenschaftlichen Lehrkanzel an der Montanistischen Hochschule in Leoben, hat sich in etlichen Publikationen, auch in Buchform, mit den Verwerfungen befaßt (1915, 1917 etc.). L. WAAGEN (1927) hat an diese HÖFERSCHE Tradition angeknüpft.

Die genetisch völlig eigenständige Stellung der Bruch/Kluft-Tektonik gegenüber der Überschiebungstektonik ist aber erst in neuerer Zeit durch die Deckentektoniker selbst herausgearbeitet worden. Der Bruchtektonik liegt eine andere Mechanik als der Deckentektonik zugrunde. Sie hat einen anderen zeitlichen Schwerpunkt ihrer Entwicklung: Ihre Bedeutung liegt vor und nach dem orogenen Paroxysmus, während ihr in der Phase während der Deckenüberschiebung nur geringe Bedeutung zukommt. Der Verfasser hat, um diesem Mangel an Klarheit über Wissen und Genese der Bruchtektonik abzuwenden, im Jahre 1969 (b) und 1970 (a) die bruchtektonische Zyklenordnung im Ostalpenorogen in ihren einzelnen Phasen des näheren durchleuchtet. In diesem Zeitraum sind bereits auch Flugbilder zur bruchtek-

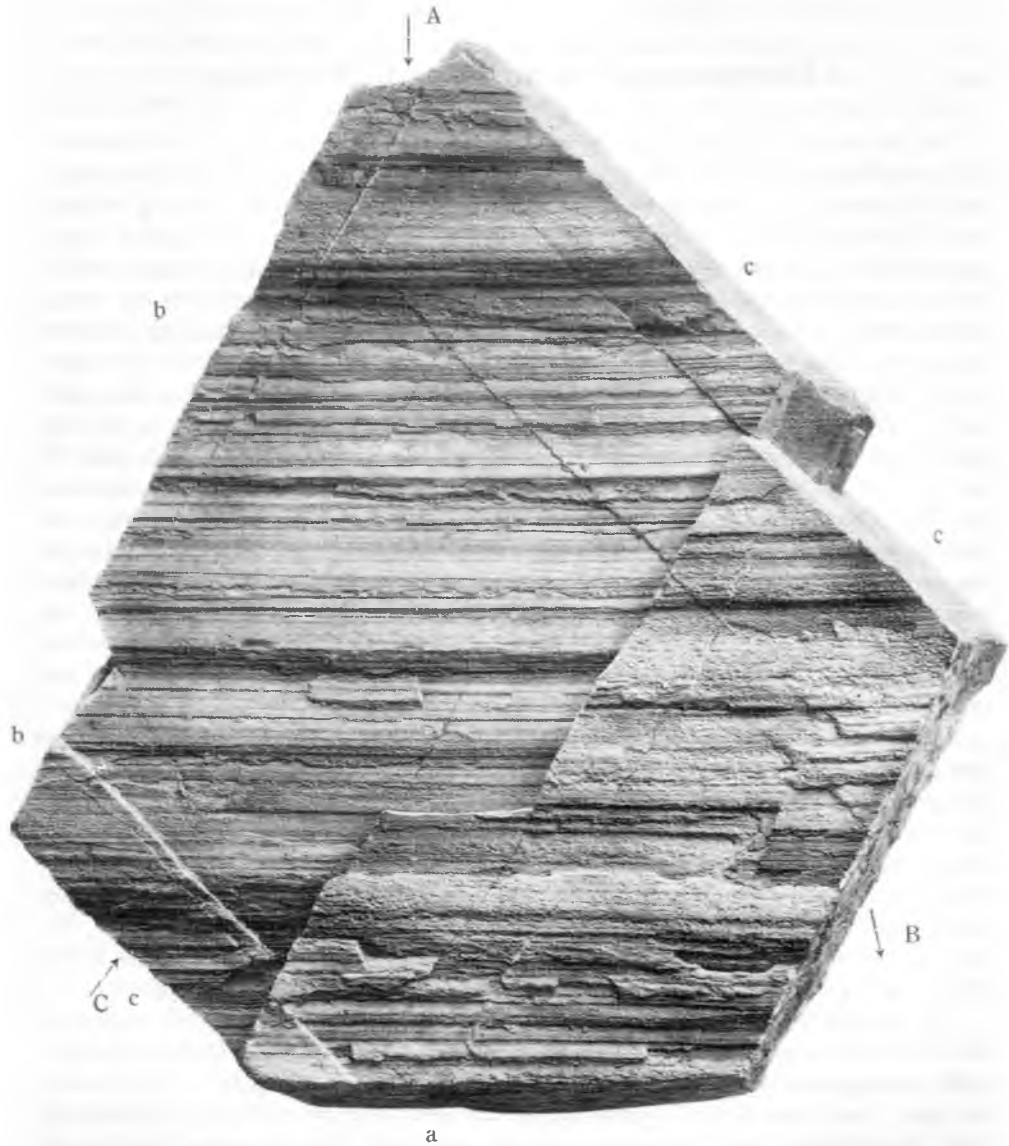


Abb. 41: Das von E. SUSS (1913, Taf. 1) in seiner letzten Arbeit „Die Zerlegung der gebirgsbildenden Kräfte“ abgebildete altpaläozoische Stück Bänderkalk aus den Karnischen Alpen bei Hermagor zeigt in idealer Ausbildung die zur erzeugenden Kraft symmetrisch angeordneten Diagonalscherflächensysteme, von SUSS als Diaklasen bezeichnet.

tonischen Auswertung, zunächst besonders durch H. HOLZER (1958 a, b, 1960, 1964 c), herangezogen worden. In jüngster Zeit standen den Geologen die Satellitenbildaufnahmen der NASA zur bruchtektonischen Analyse zur Verfügung und haben hier geradezu einen Durchbruch neuartiger Vorstellungen über Dichte, Ausmaß, Tiefgang, Wirksamkeit und auch Genese der großen Bruchstrukturen in Alpen und Vorland ermöglicht, wie der Verfasser bei der ersten derartigen umfangreichen Auswertung für unser Land im Jahre 1977 (a) dargelegt hat – Abb. 42. In der Folge hat sich um die eingehende bruchtektonische Auswertung der Satellitenbilder M. BUCHROITHNER (1982, 1984 a, b) angenommen.

Im folgenden wird eine kurze Übersicht über die Hauptphasen des Bruchgeschehens in der alpidischen Ära der Ostalpen gegeben.

2. Der Ablauf des bruchtektonischen Zyklus

a) Die Zeit der Geosynklinale im frühen Mesozoikum war für die Alpen die Zeit der Krustendehnung bis Zerreißung, des Auseinanderdriftens der Vorländer und der Schwächung und Zerrung des Erdkrustenstreifens zwischen Eurasien und Afrika. Sie war demnach im Hinblick auf die Bruchtektonik eine Ära der Zerrspaltenbildung, die in der Trias z. B. durch streifenförmige Krustenzerrung in der Tiefe für die Entstehung der Längskanalsysteme der Partnachbecken in der Mitteltrias und der Hallstätter Becken in der Mittel- und Obertrias der Kalkalpen sorgte (S. 78). Eine weitere Auswirkung dieser in der Tiefe verborgenen Vorgänge sind die unregelmäßig aderförmig das betroffene Gestein durchsetzenden Zerrspalten- und Kluftsysteme, die sich an den Rändern dieser Senken, an der Grenze Riffplattform/Kanal – z. B. Dachsteinkalk/Hallstätter Kalk – einstellen. Wesen und Bedeutung dieser oft mit Rotkalk mehrphasig erfüllten Zerrspaltensysteme ist besonders durch W. SCHWARZACHER (1948, S. 40), W. SCHLAGER (1969), L. KRZYSTYN et al. (1969) und J. WENDT (1971 c) geklärt worden. Im Jura und in der tiefen Kreide sind dann die großen Krustenerreißen vor sich gegangen, die zur Ozeanbodenbildung im Pennin geführt haben. Diesem Vorgang direkt zuordenbare Spaltenstrukturen sind bisher nicht erfaßt worden, wohl aber die indirekten Auswirkungen, wie etwa durch Bruchstaffelränder verursachte Riesenblockbrekzien vom Typus der jurassischen Türkenkogel- und Schwarzeckbrekie in den Radstädter Tauern, ferner Äußerungen des Vulkanismus und der Vererzung, die in Trias und Jura durch diese Krustenerreißen ihre Wege nach oben fanden.

b) In der Zeit der Orogenese, der transversalen Einengung durch Subduktion und dem damit verbundenen Deckenbau, kommt der Bruchtektonik, wie erwähnt, eine nur untergeordnete Rolle zu. Die markantesten erfaßbaren bruchtektonischen Strukturen aus dieser Zeit sind Einrisse besonders am Stirn- und Hinterrand von Decken und Deckenpaketen senkrecht zum Streichen dieser Einheiten. Da die Deckenbewegung während dieses Vorganges weiter abläuft, kommt es dabei meist zu einer verschiedenartigen Faltung und Überschiebung in den Flügeln beiderseits dieser Querrisse, sodaß die Strukturen der beiden Flügel nicht mehr durch Rücknahme der eingetretenen Seitenverschiebung zusammenpassen. Derartige Blattverschiebungen sind

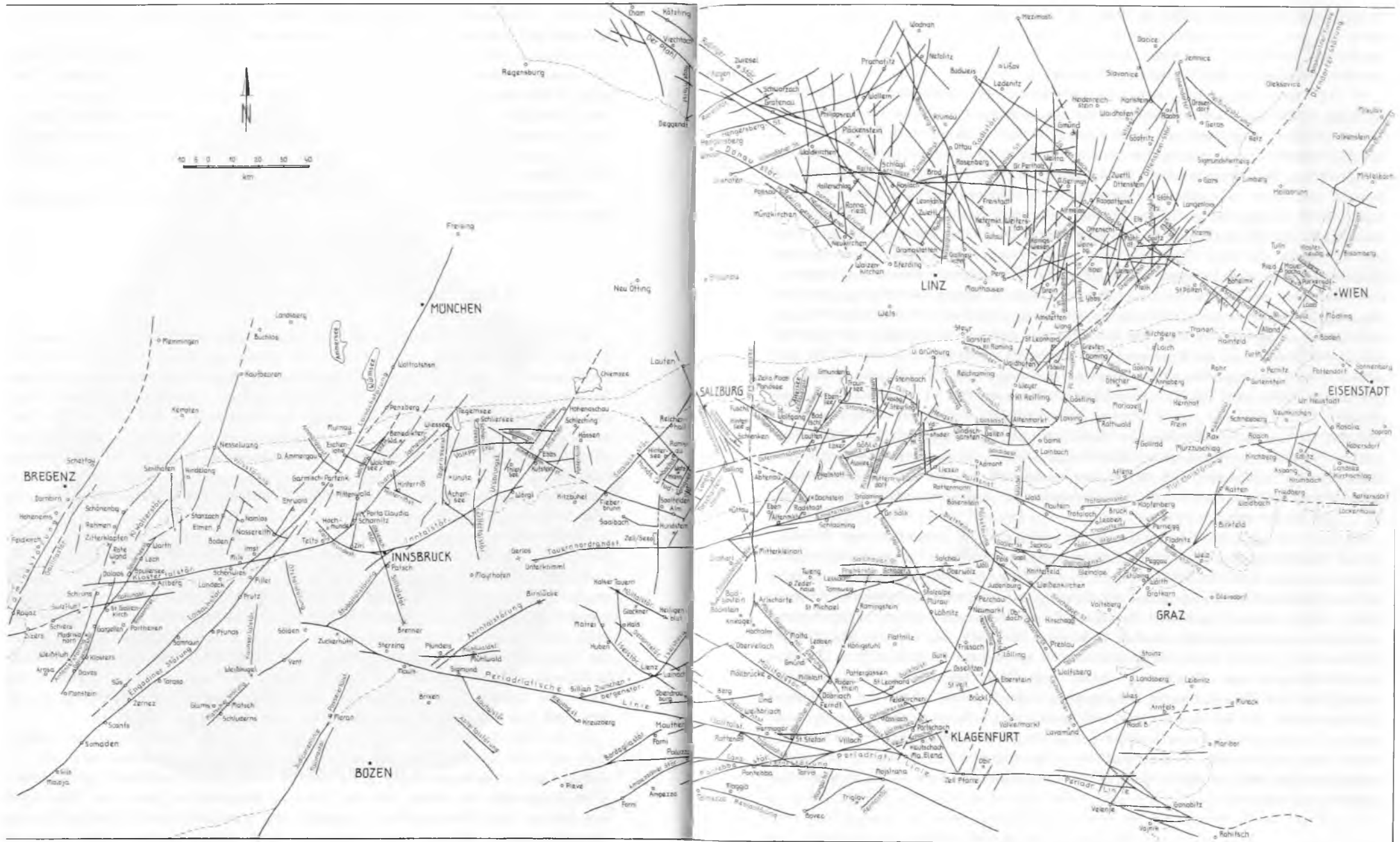


Abb. 42: Überblick über das Hauptbruchliniensystem Österreichs auf Grund der Auswertung der Satellitenbilder; nach A. TOLLMANN (1977 a, Taf. 1). Deutlich kommt das andersartig orientierte

variszische Störungsmuster (samt seiner Durchpausung im Alpen-Nordabschnitt) gegenüber dem alpidischen symmetrischen Diagonalscherflächenmuster in den Zentralalpen zum Ausdruck.

im Sinn von H. QUIRING (1913, S. 70 ff.) als „Grenzblätter“ zu bezeichnen. Beispiele aus den Ostalpen liefern hierfür (A. TOLLMANN, 1970 a, S. 22 ff.) z. B. das Ht. Langbath-, Göstlinger-, Traunsee-, Kohlental-, Leonsberg-, Gracheralm- und Schläpfenalm-Grenzblatt in den Nördlichen Kalkalpen.

c) Die spätorogenen Störungssysteme, die im Anschluß an die Deckenformung entstanden, sind die markantesten bruchtektonischen Muster, die uns heute in den Ostalpen entgegentreten. Dabei handelt es sich zunächst, noch unmittelbar im Anschluß an die Deckenbildung, um Strukturen, die noch unter der gleichen Einspannungsrichtung, aber unter stark nachlassendem Druck geprägt worden sind, sodaß das Material nun nicht mehr faltend-fließend, sondern brechend verformt wird. Die Tendenz aber ist die gleiche geblieben: Einengung in den Ostalpen in N-S-Richtung und Ausweichen des Materials nun durch Bruchsysteme quer dazu. Zu diesem Zweck entstanden damals die beiden aus dem Tonkuchenversuch bekannten Druckmuster: das Cloossche System mit Längsstörungen einerseits und senkrecht darauf angeordneten ac-Querklüften, vor allem aber das Mohrsche System, dieses zweischarig gekreuzte Diagonal-Scherflächensystem rhombischer Symmetrie, das hauptverantwortlich für die seitliche Abwanderung des Materials ist und daher zugleich das Hauptsystem darstellt, das an die Schlußphase der Einengung (im Alttertiär) gebunden ist – Abb. 41. Es gibt zahllose prächtige Beispiele in den Ostalpen für die intensive Zerlegung an diesen zugeordneten Ästen mit SW-NE- und SE-NW-Richtung. Die Pionierarbeiten in den Ostalpen hierzu stammen von P. SCHMIDT-THOMÉ (1953 b, 1954), der diese Strukturen und ihre Genese in den Bayerischen Kalkalpen präzise herausgestellt hat. Zahlreiche weitere Beispiele aus terrestrischen Kartierungen und Luftaufnahmen sind vom Verfasser (1969 b, S. 283; 1970 a, S. 46 ff.) zusammengestellt worden. Die in dieser Phase entstandenen Strukturen sind z. T. stockwerksgebunden und setzen dann keineswegs in die „ewige Teufe“ durch.

d) Im kratogenen Endstadium schließlich sind im Jungtertiär zwei Prozesse für die Bruchstrukturbildung in den Ostalpen verantwortlich: 1. Ein plattentektonisch bedingtes, durch Konvektionsströmungen in der Tiefe diktiertes westwärtiges Abdriften von Krustenteilen Europas, das zur Öffnung großer Transversalgräben in Europa geführt hat, zu denen das Wiener Becken und weitere Einbruchsstrukturen am Alpenostrand bis zum Lavanttaler Becken gehören – wie bei der Genese des Wiener Beckens Bd. II, S. 517, näher ausgeführt worden ist (vgl. Bd. II, Abb. 285). 2. Die isostatisch bedingte, durch Brüche in Schollen gegliederte Hebung der Ostalpen durch Auftrieb der aus Krustenmaterial bestehenden, angeschopten, 60 km tief reichenden „Gebirgswurzel“, die im Moment des Nachlassens und Aufhörens der Einengung ihrer geringen Dichte zufolge einen Auftrieb des zuvor in die Tiefe gepreßten Mantels bewirkt. Tiefe junge tertiäre Becken brechen so, besonders in Längsrichtung orientiert, zwischen steigenden Schollen ein, ihr Inhalt wird durch die restliche Einengung gelegentlich noch gefaltet.

3. Neue Einblicke in die Bruchtektonik durch Satellitenbilder

Die Auswertung der Satellitenbilder der Serie LANDSAT, die von der NASA aus etwa 915 km Höhe aufgenommen worden sind, setzte im alpinen Raum im Jahre 1973 mit ersten Bemerkungen zu Satellitenaufnahmen über einen westlichen Sektor der Ostalpen durch J. BODECHTEL & B. LAMMERER (München) ein. Bruchmuster von Satellitenbildern aus dem Raum der Ostalpen sind inzwischen durch B. LAMMERER (1976), R. GUPTA & J. NITHACK (1976), R. GUPTA (1977), A. TOLLMANN (1977 a) und M. BUCH-ROITHNER (1982, 1984 a, b) analysiert und interpretiert worden.

Bereits die erste Gesamtschau der den Satellitenbildern entnommenen Bruchstrukturen Österreichs durch den Verfasser hat folgende Grundprinzipien in unserem Raum erkennen lassen (1977 a, S. 21 ff.):

1. Die geradlinigen „Lineamente“ dieser Bilder, die unabhängig vom Streichen der Gesteinszüge, von Falten- und Deckenstrukturen verlaufen, sind die in der Morphologie herausgearbeiteten Störungszonen. Sie sind teilweise und abschnittsweise durch bereits bekannte terrestrisch kartierte Brüche als solche belegbar, lassen sich aber auf den Satellitenbildern in unvergleichlich besserer Weise auch durch aufschlußloses Wald- und Wiesengelände weit über das Land hin verfolgen, da die oft durch Mylonite markierten Linien durch Wasserrinnen und Täler feinst herauspräpariert werden – Bd. II, Abb. 284; Bd. III, Abb. 43.

2. Diese morphologische Wirksamkeit der Bruchstörungen ist bisher stets unterschätzt worden. In unzähligen Fällen kann die Talanlage durch Bruchvorzeichnung erklärt werden. Als Beispiel sei nur der so sehr gewundene Talverlauf der Donau in der Wachau erwähnt, von dem jedes Teilstück einer im Satellitenbild weit darüber hinaus verfolgbaren Störung eines engen Störungsnetzes folgt (Abb. 82).

3. Das interessanteste Ergebnis aber ist die Verfolgbarkeit der großen jungvariszischen Störungslinien aus dem außeralpinen Vorland der Böhmisches Masse im Wald- und Mühlviertel bis tief in die Kalkalpen, ja bis an deren Südrand oder unter die Grauwackenzone – Abb. 42. Diese Verfolgung ist dadurch möglich, da das außeralpine Bruchsystem andere Hauptrichtungen (NNE, N-S, WNW) als jenes der Alpen (bes. NW, NE, W-E) aufweist. Das bedeutet aber, daß der alpidisch nicht ausgeheilte Sockel aus Böhmischem Kristallin unter dem Nordteil der Alpen durch die Auflast der alpidischen Decken und der Molassezone an den alten Bruchfugen der Kruste wieder in Bewegung geraten ist und sich diese Linien gegen oben durchgepaust haben. In den Kalkalpen kommt zwar das neu aufgeprägte alpidische NW- und NE-Diagonalsystem hinzu, ist aber von der Richtung der durchgepausten Strukturen abweichend und daher unterscheidbar. In den Zentralalpen hingegen, deren Kruste vom Ostalpin bis in das Tiefpennin alpidisch neu umkristallisiert ist, sind nur die alpidischen Richtungen vorhanden und naturgemäß keine alten Strukturen durchgepaust, da keine unveränderte Kruste aus Böhmischer Masse hier mehr in der Tiefe erhalten geblieben ist (vgl. Bd. I, Abb. 138).

Über das Bruchsystem der Böhmisches Masse in Österreich wurde schon getrennt in Bd. II, S. 667 ff. und Abb. 283 bis 285 berichtet.

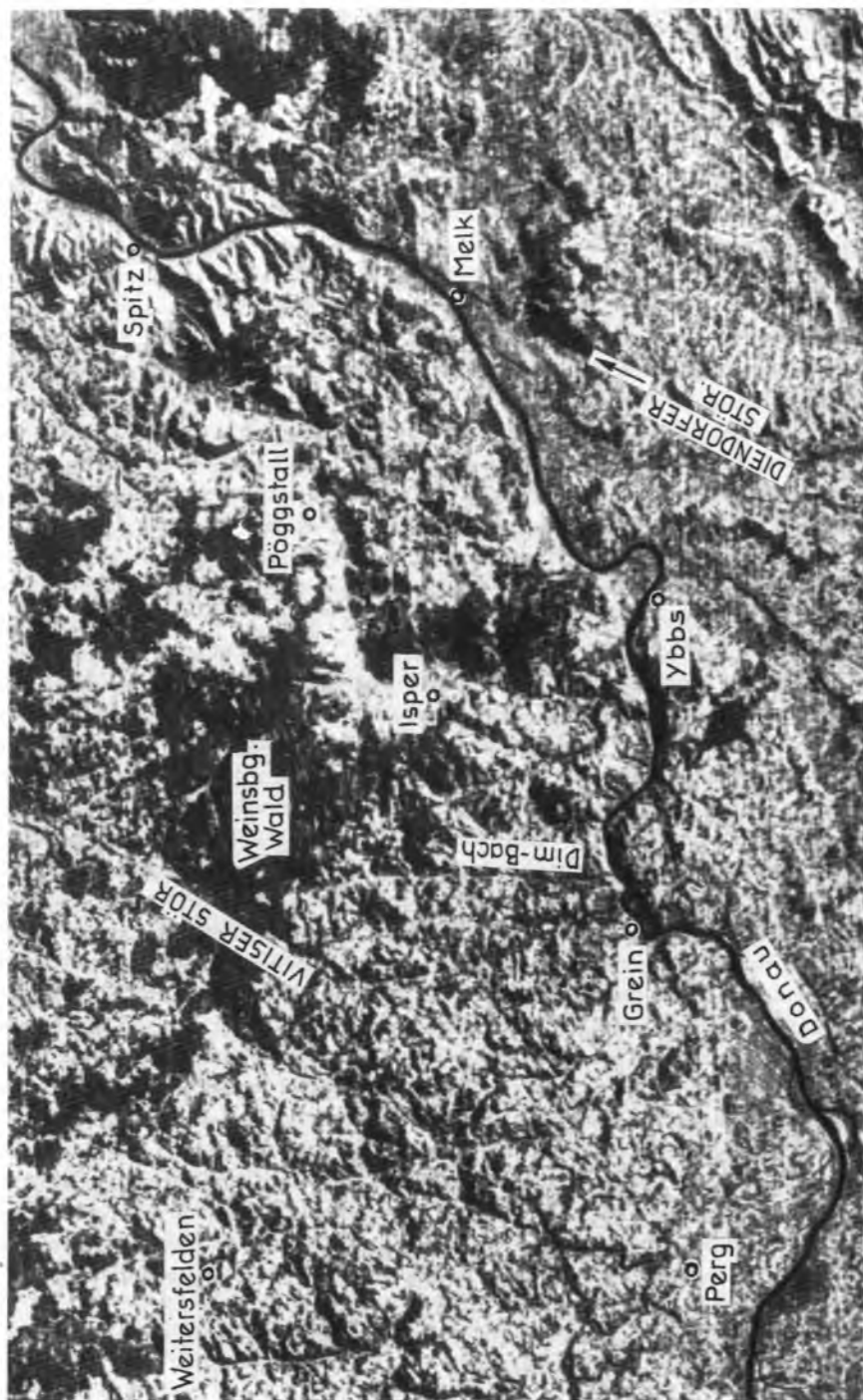


Abb. 43: Ausschnitt aus dem Satellitenbild der NASA, den Abschnitt des südlichen Waldviertels im Raum nördlich von Wachau und Strudengau zeigend. Trotz der dichten Vegetationsdecke kommt das enge Netz von geradlinigen jungvariszischen Störungen durch die erosive Nachzeichnung der Zerrüttungszonen deutlich zum Ausdruck.

4. Die Andauer der Bruchtektonik bis in die Gegenwart

Kräftig unterschätzt hat man bisher das Ausmaß der Wirksamkeit der Bruchtektonik in der jüngsten Erdgeschichte, im Pleistozän und auch noch in der Gegenwart. Eine ganze Reihe von Beobachtungen hat uns heute eines Besseren belehrt. Besonders die intensive Forschung in den Jungsedimenten des Wiener Beckens hat hier zahlreiche Belege für ein Anhalten jüngster Bewegungen in bestimmten Zonen erbracht. So wissen wir, daß z. B. der Schottertrog der Mitterndorfer Senke NE Wiener Neustadt bis 150 m tief an Randbrüchen nach dem Altpleistozän abgesackt ist (Bd. II, S. 529 f., Abb. 242). Wir kennen kräftige, bis 40 m messende Versetzungen des Quartärs an seiner Basis im Marchfeld an NNE-streichenden jungen Brüchen, die geoelektrisch durch M. SCHUCH (1977, Tab. 1), aber auch durch ÖMV-Bohrungen erfaßt worden sind – Abb. 80. Im Zusammenhang damit stehen auch die Verbiegungen der eiszeitlichen Donauterrassen in diesem Raum obertage (Bd. III, S. 216). Instrukтив sind ferner die durch H. PLACHY (1981) beim Bau der Wiener U-Bahn gewonnenen Erfahrungen: Kräftige Bruchversetzungen zwischen Oberpannon und Pont waren wiederholt anzutreffen, im Überschwemmungsgebiet der Donau bei der Stürzel-Lacke waren auch noch die Liegendschotter der Donau mehrere Meter weit durch Störungen in das Pont eingeschleppt. Eigene Beobachtungen über den bruchtektonischen Versatz des Lößes im Burgenland gegenüber den Oberpannon-Schottern des Foelik bei den Aufschlüssen zur Schottergewinnung für den Autobahnbau zeigten, daß auch dort die jüngsten Bewegungen noch etliche Meter Sprunghöhe aufweisen.

Eine Vielzahl ähnlicher Beobachtungen über jüngste Bruchauswirkungen hat z. B. auch P. SCHLUSCHE (unveröff.) als Pionier dieser Forschungsrichtung in Österreich im Inntalgrund des Engadin angestellt, wo die im Jungpleistozän im Aufschluß erfaßten Störungen oft im Luftbild klar in das anstehende Gestein des Rahmens verfolgt werden konnten, sodaß es sich nicht um „Sedimentsackungen“ handelt.

Die gemessenen rezenten vertikalen Bodenbewegungen in Österreich betragen im Osten des Landes am Rand des Wiener Beckens W Wiener Neustadt 1 mm Senkung/Jahr, in der Neusiedlersee-Bucht des Pannonischen Beckens 2,5 mm Senkung/Jahr, in den Zentralalpen in den Hohen Tauern 1 mm Hebung/Jahr (E. SENFTL & CH. EXNER, 1973). An der unruhigen Periadriatischen Linie im unteren Gailtal schließlich schwanken die Meßbeträge, eine Hebung der Südscholle im Ausmaß von rund 1 mm/Jahr dominiert (P. STEINHAUSER, 1980).

5. Literatur

L. P. BECKER, 1979 b; J. BODECHTEL & B. LAMMERER, 1973; M. BUCHROITHNER, 1982, 1984 a, b; E. CLAR, 1951; H. CLOOS, 1948; R. GUPTA, 1977; R. GUPTA & J. NITHACK, 1976; H. v. HOFER, 1915, 1917; H. F. HOLZER, 1958 a, b, 1960, 1964 c; F. JASKOLLA, 1978; A. KIESLINGER, 1928; L. KRYSZYN et al., 1969; B. LAMMERER, 1976; K. METZ, 1978; H. PLACHY, 1981; H. QUIRING, 1913; A. SCHEIDEGGER, 1976, 1979; O. SCHERMANN,

1966; W. SCHLAGER, 1969; P. SCHMIDT-THOME, 1953 b, 1954; M. SCHUCH, 1977; W. SCHWARZACHER, 1948; R. SCHWINNER, 1951; E. SENFTL & CH. EXNER, 1973; P. STEINHAUSER, 1980; E. SUESS, 1913; A. TOLLMANN, 1969 b, 1970 a, 1977 a, 1978 b, 1980 c; L. WAAGEN, 1927; J. WENDT, 1971 c.

I GEOPHYSIKALISCHE DATEN ZUM BAU DER OSTALPEN

1. Die Beziehung der Geologie zur Geophysik

Mit der rapide fortschreitenden Verfeinerung der Methodik in der Geophysik und der Ausschöpfung der Computerberechnungen für hochkomplexe Systeme gewinnt dieser Zweig der Erdwissenschaften in der jüngsten Zeit zusehends an Bedeutung zur konkreten Beantwortung geologisch-tektonischer Fragestellungen. So hat sich eine neue, engere Zusammenarbeit zwischen den Wissenszweigen der Geologie und Geophysik ergeben, die sich bereits für beide Richtungen äußerst befruchtend ausgewirkt hat.

Es ist eine breite Palette von geophysikalischen Arbeitsrichtungen, die für die Geologie von unmittelbarem Interesse sind. Sie umfaßt zunächst den Bereich der Seismik, der Gravimetrie, der Magnetik, der Geoelektrik und Magnetotellurik, hinzu kommen Wärme fluß-, Gebirgsdruck-, Erdkrustengezeitenmessungen und die Erfassung der säkulären rezenten Bewegungen der Kruste. Ebenfalls in engstem Konnex mit der Tektonik steht die Seismologie und die Paläomagnetik, die sich innerhalb der Geophysik schon zu eigenen Zweigen entwickelt haben.

Es ist nun im folgenden nicht möglich, auf all die in diesen Bereichen in Österreich ausgeführten Arbeiten und deren Ergebnisse in diesem Rahmen im einzelnen einzugehen. Es soll aber an Hand von ausgewählten Beispielen der Beitrag der Geophysik zur Erforschung des geologischen Bildes unseres Landes dargelegt werden, und es muß vor allem der Succus über die heute bereits sehr aussagekräftigen modernen Berechnungen zum Tiefbau der Ostalpen, zum Aufbau der Kruste und des Mantels unter den Ostalpen, dargelegt werden, der ja in direktem Konnex mit den großen deckentheoretischen und plattentektonischen Überlegungen steht und nun von ganz anderer Seite her die so lange bestrittenen großräumigen Umgestaltungen der Erdrinde in diesem Orogen bestätigt. Daher wird im folgenden zunächst das Gesamtbild, das die Geophysik heute zum Tiefbau der Ostalpen bietet, veranschaulicht, und dann werden beispielhaft die übrigen erwähnten Teildisziplinen zur Sprache kommen.