

## ZUR GEODYNAMIK DES ANDEN-OROGENS

WERNER ZEIL<sup>1</sup>

## ZUSAMMENFASSUNG

Zeil, W. 1979 Zur Geodynamik des Anden-Orogens. *In*: W. J. M. van der Linden (ed.): Fixism, mobilism or relativism: Van Bemmelen's search for harmony – Geol. Mijnbouw 58: 187-192.

Die Anden besitzen einen präkambrisch-paläozoischen Unterbau aus kontinentalem Krustenmaterial. Dieses 'basement' hat mehrfache intensive Gebirgsbildungen und Metamorphosen erlebt. Das andine Deckgebirge seit der Trias dagegen ist durch Kompression nur sanft verformt. Das heutige Hochgebirge ist seit dem Tertiär durch enorme schollenartige vertikale Bewegungen entstanden. Innerhalb des Orogens wurden gleichzeitig tiefe grabenartige Depressionen mit 10,000 bis 15,000 m mächtigen Füllungen angelegt. Diese geodynamische Entwicklung kann durch ein einfaches Subduktionsmodell nicht vernünftig erklärt werden.

## ABSTRACT

Zeil, W. 1979 Zur Geodynamik des Anden-Orogens (On the geodynamics of the Andes orogen). *In*: W. J. M. van der Linden (ed.): Fixism, mobilism or relativism: Van Bemmelen's search for harmony – Geol. Mijnbouw 58: 187-192.

The Precambrian-Palaeozoic basement of the Andes consists of material from the continental crust. This basement experienced multiple and intensive orogenies and metamorphoses. The Andine tectal orogen, however, has only been slightly deformed by compression since Triassic time. The high mountain range seen at present originates from massive block-faulting since Tertiary time. Deep canyon-like depressions, filled in up to a height of 10,000 to 15,000 m, were formed concomitantly within the orogen. This geodynamic development cannot reasonably be explained by a simple model of subduction.

## EINFÜHRUNG

Seit langer Zeit versuchen Geowissenschaftler, die komplex gebauten Orogene der Erde auf einheitliche Entstehungsursachen zurückzuführen. Dennoch gibt es auch heute noch keine befriedigende Theorie für die großen Unterschiede, welche die zirkumpazifischen Gebirge und die Tethys-Orogene zeigen. Im Laufe der letzten Jahrzehnte hat man sich nicht mehr nur mit der Untersuchung der sichtbaren Verformungen an der Oberfläche zufriedengegeben. Mit Hilfe geophysikalischer Methoden und Daten wurde auch der Unterbau der Orogene in die Betrachtung einbezogen. Die moderne Plattentektonik ist schließlich der erste Versuch, die Entwicklung von Kontinenten und Ozeanen gemeinsam

zu erklären. Wiederum werden die Orogene der Erde zu wichtigen Schlüsselpunkten des neuen Modells.

R.W. van Bemmelen hat, lange bevor der Siegeszug der 'New Global Tectonics' begann, seine eigene Gebirgsbildungstheorie jeweils mit den neuen physikalischen und chemischen Daten zu unterbauen versucht und am Beispiel von Alpen oder Anden mobilistische Modelle entwickelt. Den Motor für die Geodynamik fand er in Strömungen des unteren und oberen Mantels. Die tektonischen Formen an der Erdoberfläche betrachtete er als sekundäre Phänomene der Bewegungen im Unterbau. Seine geistvollen Ausführungen fanden nicht immer nur freundliche Resonanz bei den Fachgenossen. Dies hat ihn nicht daran gehindert, über Jahrzehnte hin einen eigenwilligen Weg zu gehen und in vielen Kongressen und Kolloquien seine wissenschaftliche Überzeugung darzulegen. Oft war er für jüngere Kollegen ein Ansporn, wenn er gegen herrschende Dogmen zu Felde zog und allzu erstarrte Schemata bekämpfte. Er brachte dies im-

<sup>1</sup> Institut für Geologie und Paläontologie, Technische Universität Berlin, Hardenbergstrasse 42, D-1000 BERLIN 12, W. Germany.

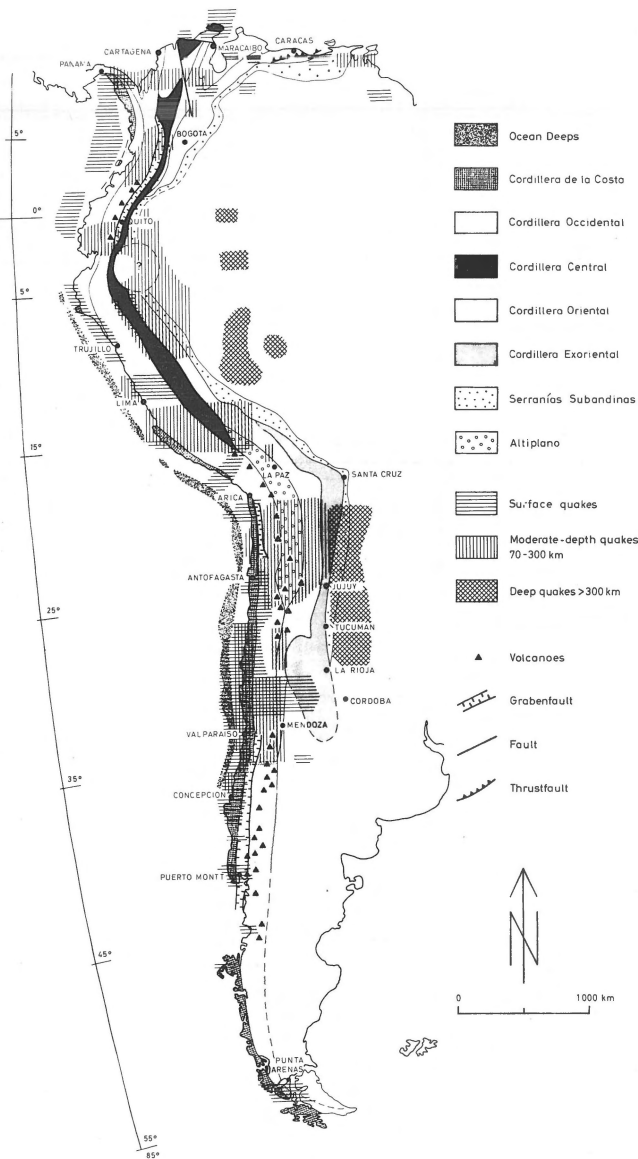


Abb. 1  
Skizze der Anden mit Erdbebenzonen, Vulkangebieten und Grabenbrüchen.  
Sketch map of the Andes showing earthquake zones, volcanic regions and graben faults.

mer in liebenswürdiger und gelassener Weise vor.

Die folgenden Streiflichter sollen am Beispiel des Anden-Orogens –das heute von der Mehrzahl der Geowissenschaftler als 'Andentyp' im Rahmen des plattentektonischen Modells angesehen wird– zeigen, dass viele offene Fragen in der geodynamischen Entwicklung dieses Gebirges auf eine Erklärung warten.

## DAS PRÄKAMBRISCH-PALÄOZOISCHE BASEMENT

Die Intensität der Verformungsprozesse zwischen dem Un-

terbau und dem postmesozoischen Deckgebirge in den Anden ist völlig verschieden. Das gesamte junge Orogen ruht auf einem alpinotyp verformten 'basement', das besonders während des Paläozoikums mehrere Faltungsepisoden und Metamorphosen erlebte. Im Detail sind diese älteren Prozesse noch keineswegs genügend aufgeklärt, da sich die geowissenschaftliche Forschung bisher in erster Linie auf das junge Deckgebirge konzentrierte.

Der metamorphe Sockel der Anden besteht aus isolierten Aufbrüchen, die weit voneinander entfernt liegen und noch keine sichere Zusammenschau zulassen. Erst in jüngster Zeit wurden systematisch radiometrische Zeitmessungen eingesetzt, die erste Angaben über das Alter der Primärgesteine und der Metamorphosen erlauben. Dabei ergaben sich einige überraschende Tatsachen.

Von Norden nach Süden wurden extreme Altersdaten aus dem Grundgebirge der Anden publiziert: IRVING (1975) und TSCHANZ ET AL. (1974) erwähnen aus Granuliten der Sierra Nevada de Santa Marta sowie aus dem Santander-Massiv der Cordillera Oriental von Kolumbien Alter zwischen 1300 Ma und 752 Ma und zwischen 945 Ma und 680 Ma. STEWART ET AL. (1976) teilen aus der Küstenkordillere Perus Alter zwischen  $679 \pm 12$  Ma und  $642 \pm 16$  Ma mit. COBBING ET AL. (1977) geben aus der Küstenkordillere Südperus ein Gesamtgesteinsalter nach der Rb/Sr-Methode von  $1811 \pm 39$  Ma in Granulitgneisen an. LEHMANN (1978) meldet aus einem Bohrkern aus 2744 m Tiefe im Untergrund des Altiplano in Bolivien –etwa 100 km WSW von La Paz– aus Hornblende-Metagraniten und Biotit-Metagraniten ein Alter von  $1050 \pm 100$  Ma, das mit Hilfe der Rb/Sr-Methode gewonnen wurde.

Diese präkambrischen Sockelgesteine sind meist hochmetamorph. Sie werden überlagert von schwächer metamorphen Serien, deren Verformung während des Paläozoikums erfolgte. Überall dort, wo etwas eingehendere Bearbeitungen erfolgten, ergaben sich Hinweise auf mehrere Gebirgsbildungsepisoden während des Paläozoikums, die von magmatischen Intrusionen und Extrusionen begleitet waren (IRVING, 1975).

Für die meisten metamorphen Anteile des Grundgebirges der Anden stehen genaue Alterseinstufungen noch aus. Dagegen zeichnet sich im Osten der heutigen Anden ein paläozoischer Sedimentationstrog von Peru über Bolivien bis nach Argentinien hinein ab, der sich mindestens über 3000 km erstreckte und von 15,000 m mächtigem Altpaläozoikum gefüllt ist. Die Sedimente bestehen vorwiegend aus Psammit-Pelit-Serien; Karbonatgesteine treten zurück. Flysch- und Molasse-Fazies deuten auf orogenetische Bewegungen hin. Die Serien sind durch tektonische Diskordanzen getrennt und stellenweise scharf gefaltet. Die stratigraphische Gliederung ist besonders in den argentinischen Anden weit fortgeschritten (ZEIL, 1979). Die Streichrichtungen der tektonischen Gross- und Kleinelemente des andinen Grundgebirges weichen teilweise stark von dem orographischen Generalstreichen des jungen Andenkörpers ab. Noch fehlen systematische Gefügeuntersuchungen in den einzelnen

## DAS MESOZOISCH-KÄNOZOISCHE DECKGEBIRGE

Die Biegungsverformungen sind hier im Grossen gesehen sanft. Nur stellenweise -wie in Peru- erreichen sie alpinotype Intensität. Dagegen wird von allen Forschern eine intensive Block- und Schollentektonik betont. Diese hat vor allem im Känozoikum zu enormen Absenkungsbeträgen in einigen grabenartigen Schollen geführt. Beispiele sind der obere Teil des Rio Magdalena zwischen der Zentral- und der Ostkordillere in Kolumbien, wo während des Tertiärs mehr als 10,000 Meter meist terrestrische und vulkanoklastische Serien abgesetzt wurden; der Altiplano in Bolivien -ein breites Senkungsfeld zwischen der Hochkordillere im Westen und der Zentralkordillere im Osten- wo ebenfalls über 10,000 m zum Teil molasseartige Sedimente während des Känozoikums entstanden; das 1000 km lange 'valle longitudinal' in Chile zwischen der Küstenkordillere und der Hochkordillere, in dem bis zu 4000 m mächtige junge Sedimente liegen. Weitere junge tektonische Senkungsfelder liegen vor allem im Norden der Anden -Atrato-Depression, Lago de Maracaibo- in denen bis zu 15,000 m känozoische Serien angehäuft wurden.

Die postmesozoische geodynamische Entwicklung des Andenkörpers ist somit weniger durch Kompression als vielmehr durch Bruchverformung geprägt! Tiefe Einbrüche grabenartiger Teilstücke und synchrone Heraushebung der heutigen Hochgebirgsketten bestimmen das interne Gefüge und die Morphogenese der Anden. Dort, wo die intra-andinen grabenartigen Strukturen das Andenorogen durchziehen, liegen auch die känozoischen Vulkangebiete (Abb. 2). Die Dehnungs- und Zerrungsprozesse dürften tief in die Kruste reichen, und es wird diskutiert, ob diese Senkungszonen mit ihren Abschiebungen echten tektonischen Gräben entsprechen oder durch Querdehnung im Scheitel von Krustenaufwölbungen erzeugt wurden.

Das Deckgebirge ist weder aus einer einheitlichen andinen Geosynkline geboren noch lassen sich 'tektonische Phasen' über begrenzte Räume hinweg auf ausgedehnte Gebirgsketten übertragen, wie dies immer wieder versucht wurde. Die einzelnen Kordillerenketten bilden vielmehr tektonisch eigenständige Elemente. Sie liegen nebeneinander, sind durch vorgezeichnete Senkenzonen getrennt und nirgends in Form tektonischer Decken übereinandergestapelt (Abb. 3, 4). So entstanden zwischen benachbarten Gebirgssträngen synchron erhebliche Gegensätze in Fazies und Struktur. Typische Beispiele sind die Kordilleren Kolumbiens in der Kreide: während die Zentralkordillere zu dieser Zeit ein Hochgebiet war, wurden in der Ostkordillere über 13,000 m flachmarine Sedimente abgesetzt. In der Westkordillere dagegen entstanden mehrere tausend Meter flyschartige Sedimente, und darüber bildete sich der 'Basic Igneous Complex', der aus mehreren tausend Metern mächtigen tholeiitischen Basalten besteht. Die mächtige Kreidefüllung der Ostkordillere hat später nur eine ganz schwache Biegungsverformung erfahren, während in der Westkordillere die

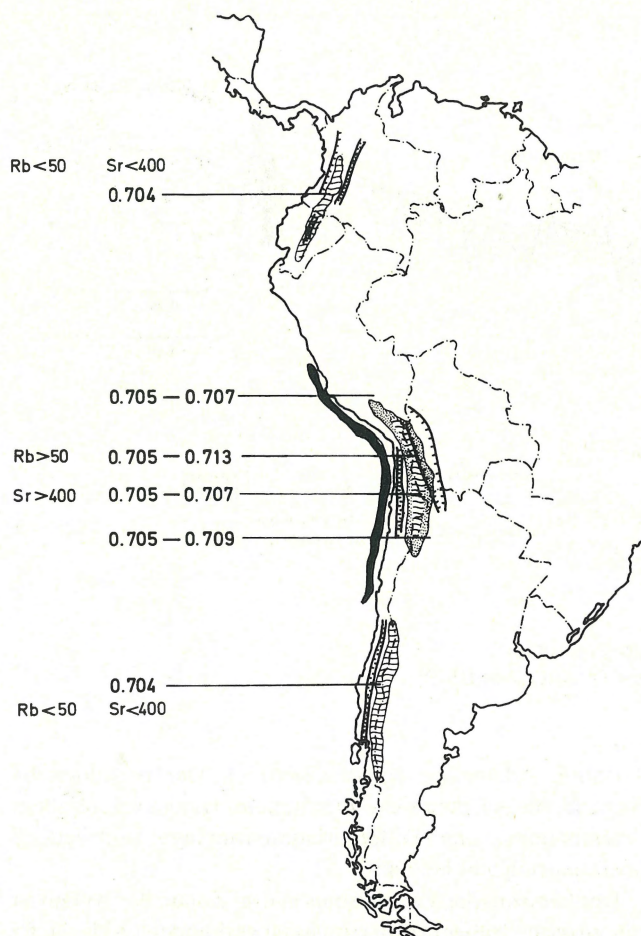


Abb. 2  
Durchschnittliche Rb/Sr-Werte und  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis in den drei känozoischen Kalkalkali-Vulkanit-Zonen (schraffiert) der Anden.  
Average Rb/Sr values and  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratio in the three Cenozoic calkali-volcanic rock zones (hatched shading) of the Andes.

Räumen, doch erste Ergebnisse lassen erkennen, dass die präkambrischen und paläozoischen Strukturen schräg und quer zu denen des mesozoisch-känozoischen Deckgebirges verlaufen und sich stellenweise in dieses durchpausen.

Soweit bisher erkennbar, entstammen die andinen Sockelgesteine der kontinentalen Kruste (COBBING ET AL., 1977). Die heftigen orogenetischen Episoden während Jungpräkambrium und Paläozoikum haben mehrfach zur Mobilisierung von Magma aus Ober- und Unterkruste geführt. Diese unterscheiden sich mineralogisch-geochemisch von den jüngeren Magmatiten. Es sind vorwiegend Granite und kieselsäurereiche Vulkanite. Eine auffallende und geodynamisch noch nicht ausreichend erklärte Masse von Graniten und Ignimbriten hat sich an der Wende von Paläozoikum zu Mesozoikum in vielen -geotektonisch unterschiedlichen- Räumen der Anden gebildet.

Plattentektoniker haben diese knapp geschilderten magmatisch-tektonischen Prozesse in ihrer Bedeutung noch nicht erkannt.

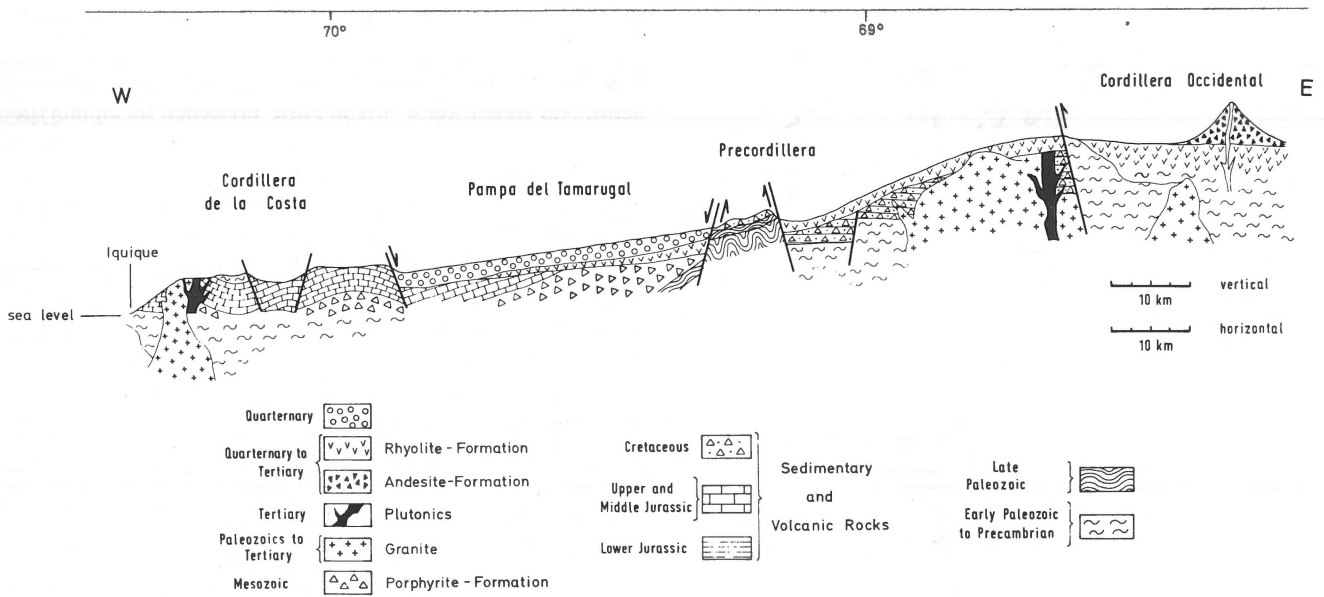


Abb. 3  
 Schnitt durch die Anden Nordchiles in der Breite von Iquique (A). Nach Zeil (1979).  
 Section through the Andes of northern Chile on the latitude of Iquique (A). After Zeil (1979).

Einengung wesentlich stärker war.

Ähnliche Unterschiede finden sich auch im Süden der Anden, wo sich die mesozoisch-känozoische Füllung der 'Andinen Geosynkline' völlig von der jenseits des Concepción-Rückens folgenden Magallanes-Geosynkline abhebt. Während im Norden der Concepción-Schwelle in einzelnen Becken eine komplexe Serie von Vulkaniten, Vulkanoklastiten, terrestrischen und flachmarinen Gesteinen gebildet wurde, die örtlich Mächtigkeiten um die 30,000 m erreichen kann, enthält die Füllung der Magallanes-Geosynkline eine ausgeprägte Flyschfazies und in einer nach Osten abklingenden Verformung Molassesedimente. Die Mächtigkeit erreicht insgesamt nur etwa 8000 bis 10,000 m.

Der Andenkörper wird im Mesozoikum und im Känozoikum von ungewöhnlich grossen Tiefengesteinsmassen durchsetzt. Dieser sogenannte 'Anden-Batholith' wurde früher kausal mit der Hauptfaltung in der Kreide erklärt. Inzwischen haben viele Detailarbeiten gezeigt, dass die Platznahme dieser Magmen vorwiegend postkinematisch erfolgte und ihre Mobilisation nach radiometrischen Zeitmessungen nicht nur während einiger Paroxysmen stattfand. In dem peruanischen Küstenbatholithen haben radiometrische Zeitmessungen eine fast ununterbrochene Förderung von Plutoniten und Vulkaniten in den letzten hundert Millionen Jahren ergeben (COBBING & PITCHER, 1972). Die Beziehungen zwischen der strukturellen und der magmatologischen Entwicklung in den Anden ist noch umstritten. Die Auswertung der bis jetzt vorliegenden petrologischen und geochemischen Daten zeigt ein deutliches Übergewicht der Kalkalkaligesteine. In den Plutoniten des Mesozoikums und des Känozoikums überwiegen die intermediären Typen (Granodiorite,

Tonalite, Adamellite bis zu Gabbros). Der petrologische Bestand, die geochemische Zusammensetzung und vor allem Assimilations- und Differentiationsvorgänge sind jedoch noch ungenügend bekannt.

Der känozoische Vulkanismus in drei Zonen der Anden ist mit grossen Grabenbrüchen regional verbunden (Abb. 2). Er erfuhr in den letzten zehn Jahren durch Arbeitsgruppen aus vielen Ländern eine intensive Bearbeitung, die vor allem durch das Modell der Plattentektonik gefördert wurde. So gehört dieses Feld der andinen Geologie zu den am besten bekannten (ZEIL, 1979). Im zentralen Abschnitt des Gebirges fällt besonders die enorme Masse von kieselsäurereichen Ignimbriten auf, die über 200,000 km<sup>2</sup> mit ausgedehnten Decken einnehmen und von allen Verfassern auf erhebliche Dehnungstektonik seit dem jüngeren Miozän zurückgeführt werden. Jüngere andesitische Stratovulkane durchdringen diese rhyolitischen Decken. Die heutige, vorwiegend explosive Tätigkeit ist im nördlichen und südlichen Abschnitt (Kolumbien/Ecuador und Chile/Argentinien) örtlich heftig. Im zentralen Abschnitt, wo mehr als 600 Stratovulkane mit Höhen zwischen 5000 m und 7000 m versammelt sind, ist die Aktivität -mit wenigen Ausnahmen nur Fumarolen- und Geysir-Stadium- gering. Ebenso wie bei den Plutoniten sind auch unter den jungen Vulkaniten fast ausschliesslich Kalkalkali-Gesteine vorherrschend.

### DIE ANDEN ALS PLATTENTEKTONISCHES MODELL

Für die meisten Geowissenschaftler sind die Anden ein Pa-

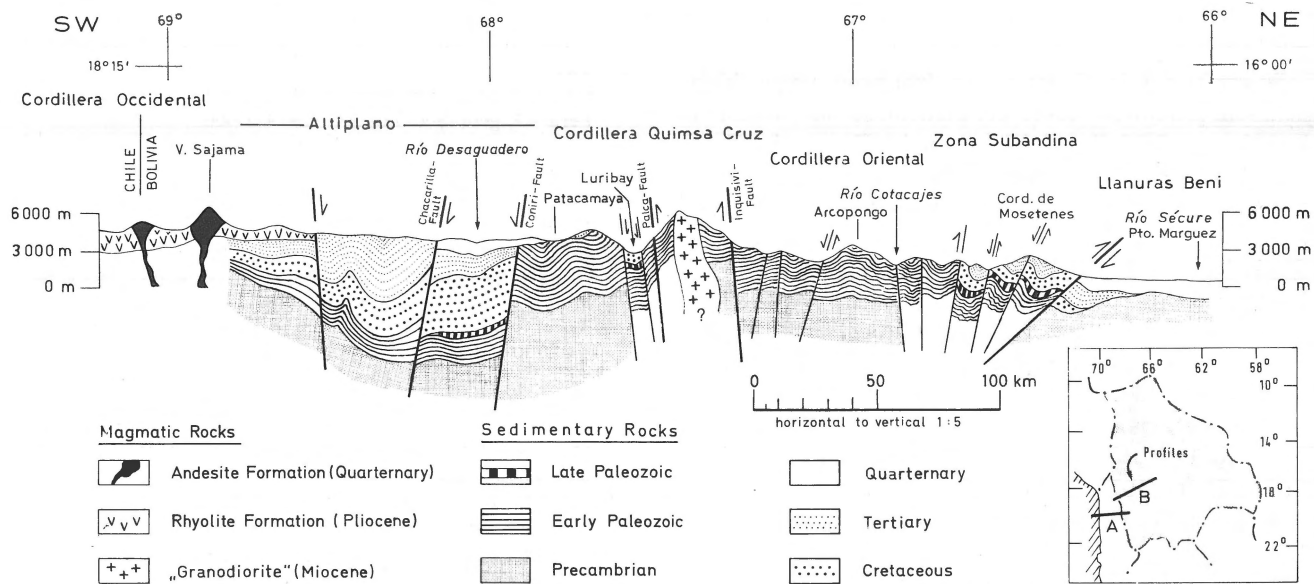


Abb. 4  
 Schnitt durch die Anden Boliviens (B). Nach Barth in Zeil (1979).  
 Sectional view of the Bolivian Andes (B). After Barth in Zeil (1979).

radebeispiel für ein Orogen, das durch die Subduktion einer ozeanischen unter einer kontinentale Platte entstanden ist. Bei einem ersten Überblick scheinen fast alle Forderungen erfüllt: ein am Rande des grössten Ozeans der Erde gelegenes Gebirge mit einem vorgelagerten Tiefseegesenke, heftiger seismischer Unruhe, Zonen mit vulkanischer Aktivität und reich an charakteristischen Erzlagerstätten. Die bis 8000 m tiefen Tiefseerinnen verlaufen parallel zu dem Orogen auf dem Festland, die Erdbebenhypozentren sind stellenweise deutlich in Benioff-Zonen angeordnet, das Gebirge ist tektonisch asymmetrisch gebaut -eine Vortiefe ist nur nach Osten entwickelt-, im Nordabschnitt -Kolumbien/Ecuador wird der Westrand des Kontinentes von den mächtigen tholeiitischen Basalten des 'Basic Igneous Complex' bestimmt. Die Verteilung der Magmatite zeigt räumlich eine Migration und Zonierung an, typische Erzlagerstätten wie die 'disseminated copper ores' sind parallel zum Streichen angeordnet.

Allerdings gibt es in den letzten Jahren zunehmend skeptische Stimmen in der Literatur, die dieses harmonische Modell anzweifeln. Sie weisen darauf hin, dass die Sedimente in den Tiefseegesenken ausser teilweise turbiditischer Lagerung tektonisch kaum gestört sind. So kommt FISHER (1974) zu dem Ergebnis, dass am Rande des Kontinentes entweder keine spätkänozoische Subduktion erfolgt sein könne oder doch viel langsamer, als es nach den paläomagnetischen Daten zu erwarten wäre, oder aber die Gesenke-Füllung in den Subduktionsvorgang nicht einbezogen sei. Eine deutliche Benioff-Zone ist nur im zentralen Abschnitt der Anden entwickelt. Allerdings zeigen jüngste Arbeiten (STAUDER, 1975; BARAZANGI & ISACKS, 1976), dass die aus der Anordnung der Erdbebenhypozentren postulierte Lithosphärenplatte im

Streichen des Gebirges auch dort einen sehr unterschiedlichen Einfallswinkel hat (10° bis 30°). In den Segmenten mit flachem Einfallen fehlt quartäre vulkanische Tätigkeit. Eine Aufspaltung einer einheitlichen Platte in verschiedene Zungen oder verschieden alte 'Platten' ohne Zusammenhang zeichnen sich ab. Zwischen 250 und 550 km Tiefe fehlen Hypozentren. Es zeigt sich, dass die rezente Geometrie der angenommenen Platte kein stationärer Zustand ist und zumindest verschiedene Stadien des 'spreadings' angenommen werden müssen. Dort, wo geologische Argumente für eine Beteiligung von ozeanischem Krustenmaterial im Gebirge vorliegen -in den Westanden von Kolumbien und Ecuador der 'Basic Igneous Complex', Ultrabasite, flyschartige Sedimente mit einer leichten Metamorphose unter hohem P und niedriger T- liegt dagegen eine unregelmässige Verteilung der Erdbebenhypozentren vor, und auch die bisher ausgewerteten Schweremessungen ergaben kein klares Bild.

Verschiedene Autoren haben in den letzten Jahren radiometrische Zeitmessungen an Magmatiten in den Anden vorgenommen. Die einzelnen Proben wurden weit voneinander entfernt gewonnen, schienen aber auf eine räumliche und zeitliche Migration der magmatischen Aktivität hinzudeuten, die mit dem Prozess der Subduktion in Verbindung gebracht wurde. Zu diesem Ergebnis kamen z.B. FARRAR ET AL. (1970) und MCBRIDE ET AL. (1976) in den Anden Nordchiles und NW-Argentinien etwa bei 25° Südbreite. Dagegen stellten HUETE ET AL. (1977) bei geochronologischen Arbeiten zwischen 21° und 22° Südbreite fest, dass in den Magmatiten dieses Raumes, die nach den Zeitmessungen zwischen Ordovizium und Alttertiär gebildet wurden, weder eine Migration noch eine Zonierung vorliege. HUETE ET AL.

(1977) haben ihre Proben allerdings in einem engeren Raum mit geringeren Abständen entnommen!

So ergibt sich im Gegensatz zu dem heute vorgeschlagenen, sehr primitiven Modell der Plattentektonik ein sehr viel komplexeres Bild. Der Zeitfaktor in der Genese des Gebirges wird völlig vernachlässigt. Die wichtigen und für die Formung des jungen Deckgebirges entscheidenden präkambrischen und paläozoischen Serien des Unterbaus werden bisher nicht in das Modell integriert. Der fundamentale Unterschied im Aufbau der Nordanden (Kolumbien/Ecuador) und der Südanden (Peru, Bolivien, Chile, Argentinien) wird nicht berücksichtigt. Am Westrand der Nordanden ist -zumindest nach den vorliegenden Daten- ozeanisches Krustenmaterial beteiligt. Im mittleren und südlichen Abschnitt des Gebirges dagegen haben sich sämtliche Strukturen seit dem Präkambrium auf und in einer kontinentalen Kruste entwickelt. Die Dicke der Kruste -die vor allem auf Grund von Schweremessungen abgeschätzt werden kann- zeigt erhebliche Schwankungen (Kolumbien 45 km, zentraler Abschnitt über 70 km, Südkile 40 km).

Die Anden als geodynamischer Körper sind ein ungewöhnlich komplexes Gebilde, und es gibt eine Vielzahl von geologischen Einwänden gegen ein einheitliches und synchrones Modell der Plattentektonik. Dieses wird in Zukunft mit Hilfe verschiedener geowissenschaftlicher Methoden überprüft werden müssen. Viele Hinweise in VAN BEMMELN'S jüngsten Arbeiten (1972, 1975, 1977) können dabei hilfreich sein.

#### LITERATUR

Barazangi, M. & B. L. Isacks 1976 Spatial distribution of earthquakes and subduction of the Nazca Plate beneath South America - *Geology* 4: 686-692.

Cobbing, E., J. M. Ozard & N. J. Snelling 1977 Reconnaissance

geochronology of the crystalline basement rocks of the coastal Cordillera of southern Peru - *Bull. geol. Soc. Amer.* 88: 241-246.

Cobbing, E. & W. S. Pitcher 1972 The coastal batholith of Central Peru - *J. geol. Soc. London* 128: 421-460.

Farrar, E., A. H. Clark, S. J. Haynes & G. S. Quirt 1970 K-Ar evidence for the postpaleozoic migration of granitic intrusion foci in the Andes of northern Chile - *Earth Planet. Sci. Lett.* 10: 60-66.

Fisher, R. L. 1974 Pacific-type continental margins. In: C. A. Burk & C. L. Drake (eds.): *The geology of continental margins*, - Springer-Verlag: 25-41.

Gansser, A. 1973 Facts and theories on the Andes - *J. Geol. Soc. London* 129: 93-131.

Huete, C., V. Maksaev, R. Moscoso, C. Ulriksen & H. Vergara 1977 Antecedentes geocronológicos de rocas intrusivas y volcánicas en la Cordillera de los Andes comprendida entre la Sierra Moreno y el Rio Loa, y los 21° y 22° Lat. Sur, II Region, Chile - *Rev. Geol. Chile* 4: 33-41.

Irving, E. M. 1975 Structural evolution of the northernmost Andes, Colombia - *U.S. geol. Surv. Prof. Pap.* 846: 47 pp.

Lehmann, B. 1978 A precambrian core sample from the Altiplano/Bolivia - *Geol. Rundsch.* 67: 270-278.

McBride, S. L., J. C. Caelles, A. H. Clark & E. Farrar 1976 Paleozoic radiometric age provinces in the Andean basement, latitudes 25°-30° S - *Earth Planet. Sci. Lett.* 29: 373-383.

Stauder, W. 1975 Subduction of the Nazca plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity - *J. geophys. Res.* 80: 1053-1064.

Stewart, J., J. F. Evernden & N. J. Snelling 1974 Age determination from Andean Peru. A reconnaissance survey - *Bull. geol. Soc. Amer.* 85: 1107-1116.

Tschanz, C. M., R. F. Marvin, J. B. Cruz, H. H. Mehnert & G. T. Cebula, 1974 Geologic evolution of the Sierra Nevada de Santa Marta, Colombia - *Bull. geol. Soc. Amer.* 80: 2317-2320.

Van Bemmelen, R. W. 1972 Geodynamic models. An evaluation and a synthesis - *Developments in Geotectonics* 2 (Elsevier): 267 pp.

— 1975 Kritik zur Plattentektonik - *Geol. Mijnbouw* 54: 71-81.

— 1977 The undation theory - *Geol. Mijnbouw* 56: 263-269.

Zeil, W. 1979 The Andes. A Geological Review. In: *Beiträge zur Regionalen Geologie der Erde* 13 - Gebrüder Bornträger (Berlin-Stuttgart).