





2

Naturgeographische Faktoren, Prozesse und Räume

Cordillera Fitzroy, patagonische Kordillere, Argentinien

2.1 Geologie und Tektonese

Die südamerikanische Platte ist ein Teil des Gondwana-Urkontinents (Abb. 2-1). Sie hat sich vor 140 Millionen Jahren von Afrika gelöst und ist durch die Öffnung des Atlantiks westwärts gedriftet. Dabei wurden vulkanische Tätigkeiten als breite Ergüsse im Landesinneren, aber auch innerkontinentale Grabenbrüche und Beckenfüllungen angeregt. Im Westen entstand durch das Untertauchen mariner Platten durch Subduktion ein tektonisch aktives und durch Vulkanismus (Abb. 2-2) geprägtes Kettengebirge – die Anden. Damit hat sich die Kontinentkruste Südamerikas ständig erweitert, und es sind im Laufe der Subduktion neue Ketten im Westen entstanden, so dass die Anden heute aus bis zu drei parallelen Gebirgszügen bestehen.

Der Gebirgszug der Anden ist in sich geologisch-tektonisch vielfältig gegliedert. Alte Schollenreste, neue Krustenteile, mächtige vulkanische Förderungen, granitische Intrusionen und zum Teil auch Sedimentpakete (Abb. 2-3) bauen ihn auf. In unterschiedlicher Weise haben Klima, Verwitterung und Abtragung zur Ausmodellierung der heutigen Formen beigetragen. Aus granitischen Intrusionen sind Wollsäcke herausgewittert, in der semiariden

argentinischen Kordillere sind eindrucksvolle Tallandschaften entstanden (Abb. 2-4), die Vergletscherung hat in der feuerländischen Kordillere einen alpinen Gebirgstyp entstehen lassen (Abb. 2-5).

Die östliche Vorsenke der Anden ist mit mächtigen Tertiär- und Quartärsedimenten als Schutt der aufsteigenden Anden gefüllt. Die weit nach Westen ziehenden und abtauchenden Teile des südamerikanischen Gondwana-Blockes ragen nur gelegentlich als Gebirgszüge (pampine Sierren) aus dem Schutt auf.

Es gibt in geologisch-tektonischer Hinsicht keine verbindende Angliederung von Südamerika an Nordamerika über die Karibik. Die Annäherung begann erst seit der Jurazeit, und Süd- und Mittelamerika sind erst seit dem Tertiär durch die zentralamerikanische Landenge verbunden. Zwischen Nordamerika und den großen Nordrandstörungen von Südamerika liegt ein alter vulkanischer Bogen

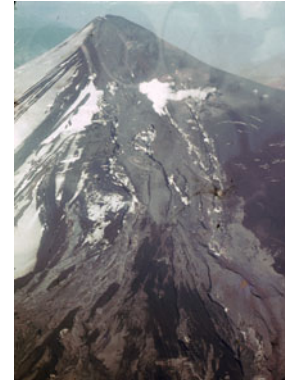


Abb. 2-2: Der Vulkan Villarrica, Chile, nach dem Ausbruch 1971

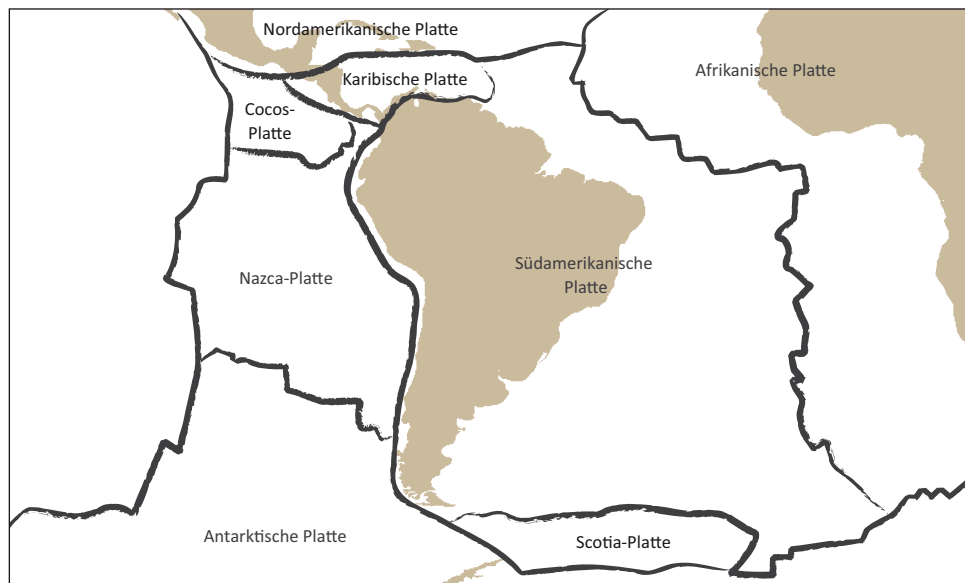


Abb. 2-1: Tektonische Platten in Südamerika

(die Antillen), der an seiner Westseite gegen die pazifische Cocos-Platte drückt, ausgeprägt durch einen vulkanischen Bogen aus teilweise bis heute aktiven Feuerbergen. Mächtige vulkanische Serien (Tholeiite) wurden an die Nordwestecke Südamerikas angeschweißt. Die rasche Westbewegung Südamerikas führte am Nordrand zu einer Auffächerung und einem Umbiegen der Kordillerenstränge. Dazwischen liegen isolierte Blöcke (z. B. Santa Marta) und dazwischen wieder tiefe Senken, die noch immer aufgefüllt werden (z. B. Maracaibo).

Auch im Süden ist die Verbindung zur Antarktis über Feuerland und die Antarktische Halbinsel keine direkte Fortsetzung der südamerikanischen Anden. Der einstige Gondwana-Kontinent brach auf, die Platten verschoben sich in Ost-West-Richtung. Es bildete sich ein Bogen (Südantillen).

Die Anden werden bis heute durch aktive Bewegungen im Erdinneren geprägt. Diese beruht auf der Plattentektonik, in der sich ozeanische Platten (Cocos-Platte, Nazca-Platte, Antarktische Platte) unter die von Osten heranziehende Kontinentalplatte schieben, scharf begrenzt im Norden zur Karibik und im Süden zur Antarktis. Abbildung 2-6 zeigt den geologischen Aufbau Südamerikas.

Der markanten Orographie der Anden entspricht keineswegs eine einheitliche Orogenese (Gebirgsbildung). Dies hängt nicht nur mit den unterschiedlichen Schollen zusammen, die von den marinen Platten unterschoben wurden, sondern auch mit dem Subduktionswinkel, mit dem diese untertauchen. Diese bedingen ganz verschiedene Arten des Aufschiebens (Akkretion) an den Plattengrenzen. Die unterschiedliche Tiefe der Erdbebenherde, die an diesen Bewegungsflächen liegen und sich mit seismographischen Methoden messen lassen, gestatten Rückschlüsse auf die Abtauchwinkel.

Wird bei der Subduktion viel Material von der sich aufschiebenden Platte (Südamerikanische Kontinentplattform) nach unten mit eingesogen, oft durch Dehnung an der Oberfläche, so kommt es zu starken Krustenverdickungen und in der Tiefe zu Aufschmelzung. Diese aufgeschmolzenen Magmatite dringen in der Folge mit langsamer Abkühlung



Abb. 2-3: Faltung in der Kordillere von Nordecuador



Abb. 2-4: Kordillere der Salta-Region, Purmarcata, Argentinien



Abb. 2-5: Kordillere bei Ushuaia, Feuerland, Argentinien

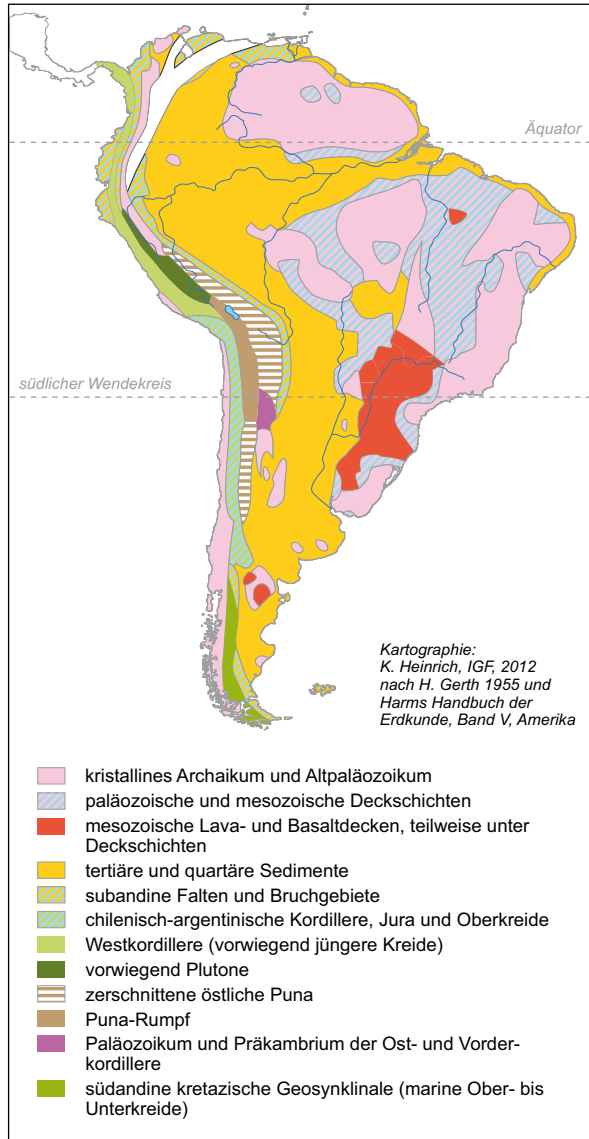


Abb. 2-6: Geologischer Aufbau Südamerikas



Abb. 2-7 Kupfermine La Escondida, Chile

wieder in das entstehende Gebirge ein (Intrusiva, z.B. Granitmassen), kristallisieren während dieses Prozesses gravitativ aus (dabei entstehen durch gravitative Kristallisationsdifferenziation auch Erze) und bilden in den letzten Phasen der Abkühlung hydrothermale und pegmatisch-pneumatolitische Gänge mit reichen Gold-, Silber- oder Spatadern. Unterliegen solche Gänge der Verwitterung und Abtragung, entstehen sekundäre Lagerstätten, die als „Seifen“ in den Flüssen ausgewaschen werden. Oft wurden auch die ursprünglichen Gesteine mit der Schmelze „imprägniert“, so entstanden etwa die Kupfererze Chiles (Abb. 2-7).

Das Magma kann aber auch an Schwächezonen rasch aufsteigen, wodurch die vielen Vulkane der Kordilleren entstehen. Allein in den bolivianischen Anden sind 900 Stratovulkane tätig. Der rezente Vulkanismus führt immer wieder zu Katastrophen. So wurde 2009 die Stadt Chaitén in Westpatagonien durch einen Vulkanausbruch völlig zerstört, 2011 sorgte der Ausbruch des Puyehue in Chile zu meterhohen Ascheablagerungen, die auch die argentinische Schweiz um Bariloche nicht verschonten. Ein Beispiel des rezenten Vulkanismus ist der Vulkan Tungurahua in Ecuador.

An der Straße der Vulkane reihen sich Feuerberge beiderseits auf, weil dort sowohl West- als auch Ostkordillere vulkanisch geprägt sind. Obwohl sämtlich Schichtvulkane, weisen sie doch eine große Variabilität ihrer Formen und Gesteine auf (Abb. 2-8).

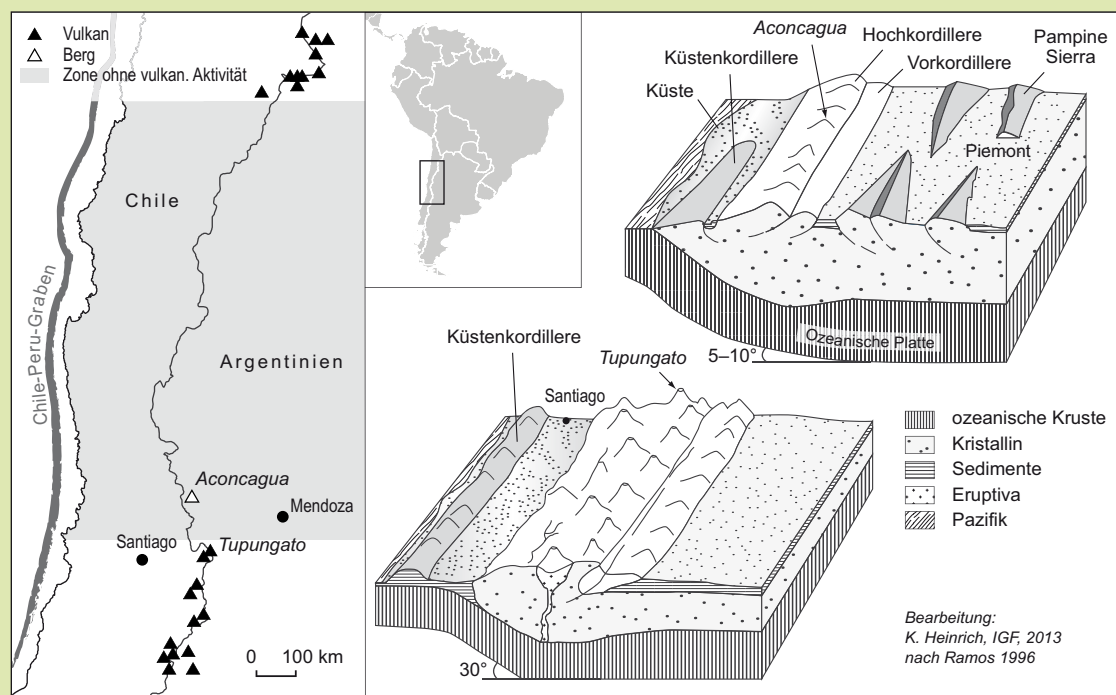
Die Andenvulkane zeigen fast ununterbrochen schon seit Ende der Kreidezeit eine aktive Förderung und haben ihre Aktivität in den letzten 100 Millionen Jahren verstärkt. Dieser Transport von verschlucktem Material an der Subduktionsfläche wird auch tektonische Erosion genannt. An der Oberfläche bilden sich dadurch mehrere breite und unterschiedlich alte Andenzüge. Die Ostkordillere der Nordanden ist heute tektonisch relativ ruhig, sie ist die älteste Kordillere Südamerikas und schließt noch viele sedimentäre Gesteine ein.

Schiebt dagegen die obere Kontinentalplatte das vorgelagerte Material (Sedimente und Ozeanböden), im westlichen Randbereich vor sich her, kommt es

Die Entstehung des höchsten Bergs der Anden

Der Aconcagua ist mit 6962 m der höchste Berg der amerikanischen Kordilleren. Seine geologische Entstehung ist komplex. Die zentralchilenisch-argentinische Kordillere ist ein Ergebnis der Plattentektonik. Die ozeanische Nazca-Platte wird dabei unter die kontinentale Südamerikaplate geschoben und dabei subduziert. Nach dem Gesetz der Isostasie (Gleichgewicht) hebt sich dabei die leichtere kontinentale Platte an. Dabei kann Magma der ozeanischen Platte, orientiert an Bruchlinien, aufsteigen, aktive Vulkane sind die Folge.

Nun ist der Subduktionswinkel nicht überall gleich. Im Aconcaguabereich ist er relativ flach, gleich südlich steigt er an. Im flacheren Bereich kommt es zur Faltung und Aufschübung, in steilen Bereichen zu aktivem Vulkanismus. Das führt dazu, dass der südlich des Aconcagua gelegene Tupungato ein Vulkan ist, der Aconcagua aber ein Ergebnis der Auffaltung.



Blockdiagramme Aconcagua und Tupungato (nach Ramos 1996)

Dennoch ist auch der Aconcagua in seiner Initialphase (späte Kreide bis frühes Miozän) zunächst ein aktiver Vulkan gewesen. Damals hatte die Subduktion noch einen steileren Winkel. Dies erklärt die vulkanischen Gesteine, die an seinem Aufbau beteiligt sind. Sie finden sich als Lava, Breccien und poryklastische Gesteine an den Gebirgsflanken. Im Miozän flachte sich der Subduktionswinkel ab. Dies stoppte die vulkanische Tätigkeit und führte zu Überschiebungen und Auffaltungen. Dabei wurde der Aconcagua von seiner magmatischen Basis getrennt, weil sich mesozoische Gesteine darunter schoben. Somit kann der Aconcagua nicht als Vulkan bezeichnet werden, obwohl auch der Vulkanismus zu seiner Entstehung beigetragen hat.

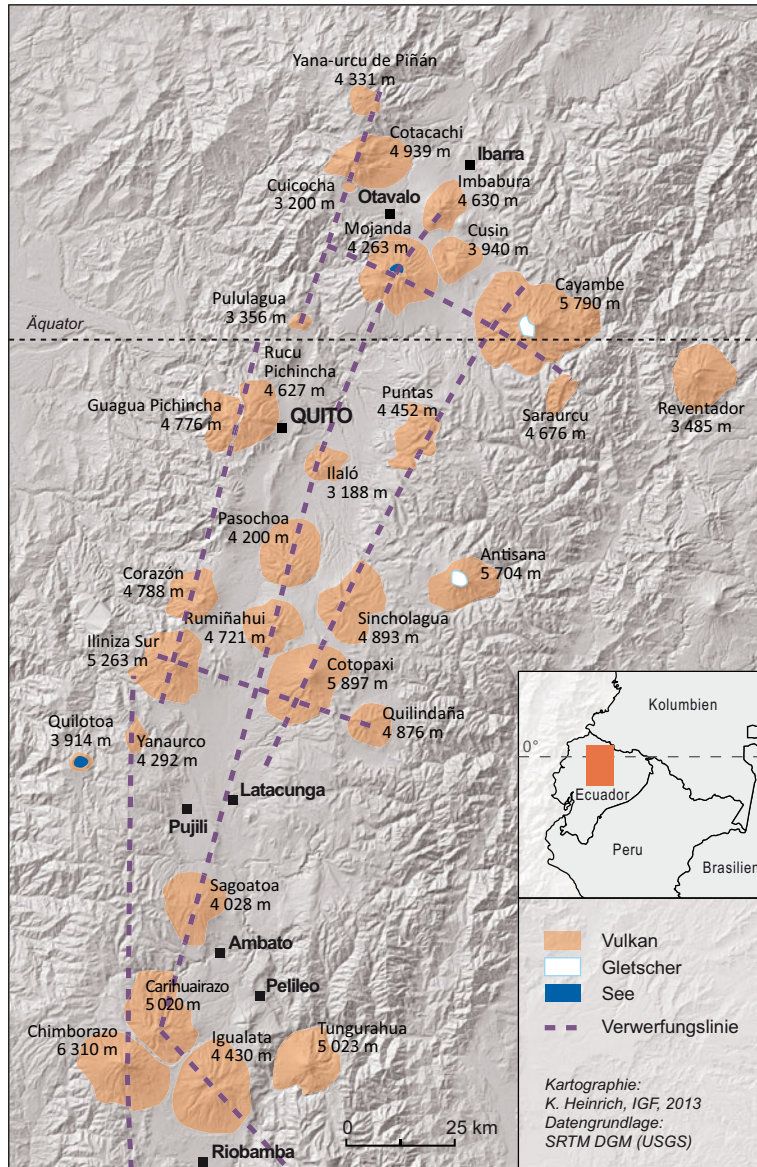


Abb. 2-8: Straße der Vulkane, Ecuador (nach Collin Delavaud et al. 1982)

zu einer Stapelung und Hebung von oft gefaltetem und metamorph umgewandeltem Material aus Randbereichen der südamerikanischen Kontinentalplattform zu den Küstenkordillern (Abb. 2-9). Der Vulkanismus ist geringer, meist auf die höheren Kordillerenstränge beschränkt. Im Nordabschnitt (Kolumbien und Nordecuador) wurde so ein breiter Streifen ozeanischer Kruste mit mächtigen jungen tholeitischen Basalten angeschoben.

Insgesamt gesehen sind die Anden asymmetrisch aufgebaut: steil abfallend zum Plattenrand mit

Tiefseegraben im Westen, wobei die höchste Reliefenergie der Erde mit einem Höhenunterschied von fast 14 km entstanden ist, aber einer langsam ausflachenden Vorlandentwicklung im Osten. Die Abdachung der Anden ist auf beiden Seiten der Ketten außerordentlich steil, aber auch im Innern gibt es Einsenkungen, tektonisch angelegt als intramontane Becken (Altiplano) oder Grabenbrüche (chilenisches Längstal, Cauca- und Magdalenatal, Abb. 2-10). Diese werden aus Abtragungsprodukten oder vulkanischer Förderung ständig aufgeschüttet.

Der Vulkan Tungurahua in Ecuador

Der zehnthöchste Berg Ecuadors (5 023 m) befindet sich in der östlichen Andenkordilliere (1,45° S, 78,43° W) und ist einer der aktivsten Vulkane der nördlichen Anden. Hierbei handelt es sich um einen Stratovulkan mit steilen Flanken (30–35°) und einem 300 m breiten und 100 m tiefen Krater. Seit der Eroberung durch die Spanier (1534) konnten fünf Hauptphasen eruptiver Tätigkeit festgestellt werden (1640–1641, 1773–1777, 1886–1888, 1916–1918, 1999–Gegenwart), die hauptsächlich durch Tephra- und Ascheregen, pyroklastische Ströme, Lavaströme und Lahare gekennzeichnet sind (Ruiz 2007). Seit 1999 ist der Vulkan wieder aktiv. Vor allem in den Jahren 2008, 2010 und 2011 folgten weitere Ausbrüche.

Asche- und Tephraregen ereignen sich vor allem an der Westflanke des Vulkans. Riesige Dampf- und Aschewolken formten sich zu einem bis zu 7 km hohen Pilz oberhalb des Vulkans. Die Risikostufe wurde auf der Skala von weiß-gelb-orange-rot auf orange und teilweise sogar rot gesetzt. Seither wurde immer wieder im Ort Baños und in den umliegenden Dörfern der Notstand ausgerufen, und bis zu 26 000 Menschen wurden auf Anweisung der Regierung mehrfach evakuiert. Zudem wurden Straßen zwischen Riobamba und Puyo und zwischen Ambato und Puyo geschlossen. Immer wieder aber kommen die Bewohner in ihre Dörfer zurück, und auch die Touristen, die Landschaft und Thermen schätzen, kehrten zurück.



Tungurahua, Ecuador



Ausbruch des Tungurahua, Ecuador



Lahar am Tungurahua, Ecuador

Die Anden wurden phasenweise gehoben, daher sind in den großen Tälern oft mehrere Felsterrassensysteme über einander erhalten (Abb. 2-11). Ein Großteil der Anden wurde schon während seiner Entstehung wieder abgetragen, der Schutt angesammelt und zum Teil beim Abtauchen an der Auf-

schiebungsfläche aufgeheizt und aktiv als magmatisches und vulkanisches Material wieder nach oben gefördert. Dies ist ein Kreislauf, der neue Mischverhältnisse in der Mineralzusammensetzung, aber auch Anreicherungen von einigen Elementen mit sich bringt; damit sind Metallanreicherungen mit



Abb. 2-9: Küstenkordillere von Valdivia, Chile



Abb. 2-10: Tal des Río Magdalena, Kolumbien



Abb. 2-11: Terrassensysteme im Becken von Ibarra, Ecuador

Erzvorkommen bis zu abbauwürdigen Lagerstätten erklärbar.

Verfolgen wir die Anden von Norden nach Süden, so sind einige Besonderheiten erwähnenswert. In den Nordanden fächern sich die Kordilleren entlang der West-Ost verlaufenden Oca-Störung auf. Dies ist die Ursache für die zahlreichen Nordost-Südwest ziehenden Verschiebungen (wie z. B. die Boconó-Störung). Die Ostflügel der Kordilleren werden nach Norden gedrängt. Zwischen den Gebirgszügen der Zentralkordillere, des Santander-Massivs, des Santa Marta-Massivs und der venezolanischen Anden bilden sich durch Dehnung Absenkungsbecken und Gräben. So sind das Magdalena- und das Caucaal, das Catatumbobecken und das durch Erdöl berühmte Maracaibobecken entstanden. Sie wurden im Tertiär in Schüben z. T. rasch mit Tausenden von Metern Sediment aufgefüllt und dabei z. T. wieder zusammengeschoben.

Die hydrographischen Systeme weisen immer wieder Absenkungen oder verminderte Hebungen auf. So ist zu erklären, dass der Amazonas wohl noch bis in das Tertiär quer durch die Anden hindurch nach Westen in den Pazifik entwässerte.

In den nördlichen Zentralanden – in Peru und Bolivien – erreichen die Anden ihre größte Breite. Eine Reihe von Gebirgszügen und ein großes zentrales Senkungsgebiet, der Altiplano, bilden hier ein bis 800 km breites Gebirgsland mit jeweils sehr steilen, von Störungen begleiteten Abhängen nach Westen zum Tiefsee graben und nach Osten über die *yungas* zum Amazonasbecken. Der Altiplano wird von der Ostkordillere, dort Cordillera Real (Königskordillere) genannt (Abb. 2-12), mit ihren eindrucksvollen Vulkanen überragt. Nach Osten folgen tiefe Entwässerungsschluchten. Enorme Mächtigkeiten vom Schutt aus den hochsteigenden Kordilleren haben sich seit dem Tertiär im Osten abgelagert. Sie bilden bei Salta Mächtigkeiten von bis zu 6000 m. Steil fallen die Zentralanden nach Osten ab.

In die Cordillera Real wurden alte Gesteinsserien vom ehemaligen Rand Gondwanas eingearbeitet. In dieser Zone – vom Titicacasee über Cochabamba und Potosí bis Santa Cruz – liegt der mineralische Reich-

tum Boliviens (Zinn, Silber, Blei, Wismut u.a.). Während der langen Entwicklung im Gondwana-Komplex mit mehrfacher Ausfällung, Abtragung und Anreicherung sowie Aktivierungen durch Aufheizungen und wiederholtes Aufsteigen beim westwärts gerichteten Schub der südamerikanischen Scholle entstanden dort die abbauwürdigen Lagerstätten.

Die südlichen Zentralanden in Chile werden durch eine markante Dreigliederung in Küstenkordillere – Längstal – Hochkordillere charakterisiert. Das Küstengebirge im Westen des Kontinents ist ein alter Gebirgsrumpf mit paläozoischen Elementen. Auch in der Trias und im Jura wurden hier z.T. mächtige Serien am ehemaligen Westrand von Gondwana angelagert. Diese sind Geosynklinalserien, einige tausend Meter dick, intensiv gefaltet und später metamorphisiert. Bruchtektonik führte zur Entstehung intramontaner Becken (Abb. 2-13). Abbildung 2-14 zeigt einen Schnitt durch die Zentralanden auf Höhe des südlichen Wendekreises mit alten Gondwana-Gesteinen, jungen Vulkaniten und tektonischen Brüchen.

In Chile wird die Küstenkordillere vom eingedrungenen Granit des Andenbatholiths verstärkt, auf dem noch Sedimentschollen liegen. Durch große Verwerfungen abgesetzt, folgen mit Schutt aufgefüllte Gräben. Landschaftlich schöne, teils sehr ebene Schichtvulkane (Abb. 2-15) sitzen auf der Hochkordillere Chiles, die nördlich des Lullailaco zur Westkordillere wird. Sie prägen das Landschaftsbild bis weit in den Süden Chiles.



Abb. 2-12: Cordillera Real in Bolivien



Abb. 2-13: Intramontanes Becken in der Küstenkordillere, Zentralchile

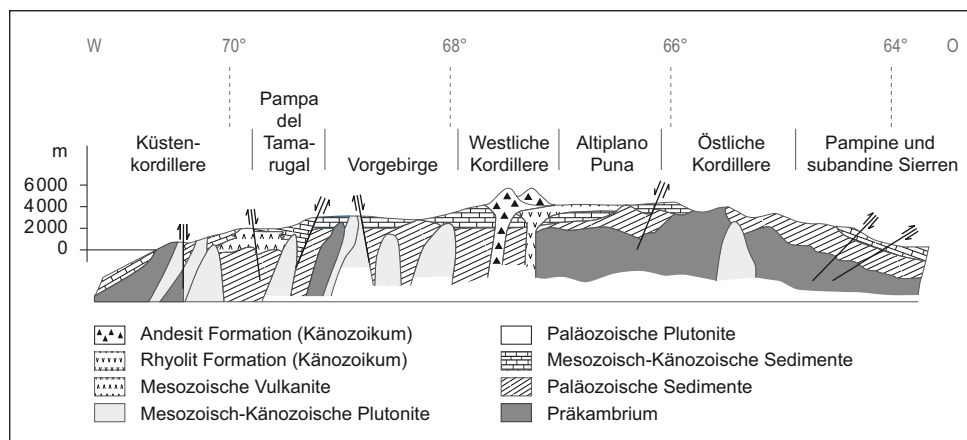


Abb. 2-14: Schnitt durch die Zentralanden von Antofagasta (Nordchile) bis Tarija (Südbolivien); verändert nach Zeil 1979

Die Anden

Ein geographisches Porträt

Borsdorf, A.; Stadel, C.

2013, XII, 453 S. 250 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-8274-2457-0