

- 116 *Landeskunde der Türkei, vornehmlich aufgrund eigener Reisen.* Erdkundl. Wissen, Beihefte zur Geogr. Zeitschr., Heft 73, Stuttgart 1985, 268 S.
- 117 Über die Aufgabe von Geographie und Länderkunde. Mitt. Geogr. Ges. München, Bd. 70, 1985 (im Druck).
- 118 Zur geomorphologischen Unterscheidung zwischen Talbildung und Flächenbildung. Z.f. Geomorph. N.F., Bd. 29, 1985, (im Druck).
- 119 Die Anfänge der geographischen Wissenschaft in der Türkei. (vorläufiger Titel; im Druck).

GRUNDZÜGE DER JUNGTERTIÄREN GEOMORPHOGENESE DER MITTLEREN ANDEN^{*)}

Mit 8 Abbildungen und 9 Photos

KLAUS FISCHER

Summary: Basic features of the late Tertiary geomorphogenesis of the Central Andes

Already at the beginning of the late Tertiary the middle section of the Andes showed a hilly to mountainous topography with large intra-Andean accumulation areas. Although it has been postulated several times, there is no evidence of a peneplain covering the area, and especially so in the case of the ranges of the Argentinian and Chilean Puna. Furthermore, it is impossible to reconstruct from the geomorphology of the area a phased development of the mountains to their present shape during the Neogene as has been and still is maintained by geologists especially as a consequence of tectonic cycles. The middle section of the Andes did not reach its present heights before the Miocene and Pliocene. Preserved fossil landforms are to be dated as being rather young (Pliocene/Pleistocene), although not of identical age. Finally, there is no indication as to a radical climatic-geomorphological change during the development of the mountains.

In mehreren Arbeiten hat sich HERBERT LOUIS mit dem Phänomen der Reliefverschüttung und deren Folgen beschäftigt, einem Vorgang, der auch in den mittleren Anden eine große Rolle spielt. Die folgende Studie bezieht sich auf den südlichen Teil der mittleren Anden, d. h. auf den Gebirgsabschnitt zwischen 15° und 27° s. Br., in dem das Gebirge mit bis zu 900 km seine größte Breite erreicht. Dieses Gebiet hat, obwohl es wie die Alpen zu den jungen Kettengebirgen der Erde zählt, einen völlig anderen Baustil als jenes am besten durchforschte Hochgebirge der Erde. Während in den Alpen Faltenbau und Überschiebungsbzw. Deckentektonik vorherrschen, werden die Anden von einer känozoischen Schollentektonik geprägt. Die Entwicklung tektonischer Lineamente im Streichen des Gebirges hat zu einer Gliederung in Kordillerenzüge und Subsidenzonen geführt, und sie bestimmen im allgemeinen auch die geomorphologische Großgliederung des Gebirgsraumes. In Abb. 1 sind diese Einheiten abgegrenzt.

Für die Deutung der Geomorphogenese dieses Gebirgsraumes sind die in den (relativen) Senkungsräumen der west-

lichen Längsdepressionen, der Puna, der Ostkordillere und der Pampinen Sierren akkumulierten mächtigen Sedimentmassen von entscheidender Bedeutung. Für die Rekonstruktion des zeitlichen Entwicklungsablaufes spielen die datierten Vulkanite und Intrusiva der Westkordillere, der Puna und der Ostkordillere eine ausschlaggebende Rolle. Aus der Kombination von sedimentologischer Auswertung der bis mehrere tausend Meter mächtigen fossilere Lockermassen und der Datierung der magmatischen Gesteine läßt sich in Grundzügen die jungtertiäre Geomorphogenese des Gebirges rekonstruieren.

Die Ergebnisse der Untersuchungen in den mittleren Anden in den Jahren 1979, 1981 und 1983 können in folgenden Punkten zusammengefaßt werden:

1. Die mittleren Anden waren bereits zu Beginn des Jungtertiärs ein Bergland bzw. Mittelgebirge mit großen intraandinen Aufschüttungsräumen. Eine das Gebiet, insbesondere die Höhenzüge der Puna von Argentinien und Chile bis S-Peru, überziehende Rumpffläche ist für die jungtertiäre Zeit nicht nachweisbar.
2. Eine phasenweise Entwicklung des Gebirges im Neogen bis zum heutigen Relief, wie sie besonders von geologischer Seite in Form tektonischer Zyklen (Fase Andina, Quechuana, Incaica) vertreten wurde und wird, läßt sich geomorphologisch nicht rekonstruieren.
3. Die mittleren Anden erreichten erst im Laufe von Miozän und Pliozän ihre heutige Höhenentwicklung.
4. Soweit Altformen überliefert sind, stammen sie aus junger Zeit (Pliozän/Pleistozän), sind aber nicht altersgleich.
5. Ein entscheidender klimageomorphologischer Umbruch während der Gebirgsentwicklung ist nicht erkennbar.

^{*)} Dieser Beitrag sollte ursprünglich HERBERT LOUIS zu seinem 85. Geburtstag zugeeignet werden. Nach seinem plötzlichen Tode am 11. Juli 1985 sei die Studie nunmehr seinem Andenken gewidmet.

1. Der Relieftypus des Untersuchungsgebietes im Jungtertiär

Soweit Altreliefreste in den mittleren Anden konserviert wurden und überliefert sind, handelt es sich nicht um Relikte von Rumpfflächen (Peneplain, pediplanicie), sondern um Formen eines Berglandes oder Mittelgebirges, wie es aus Peru (BOWMAN 1909, 1916) oder von den Sierras Pampeanas beschrieben wurde. Typus-Begriff und Morphographie stimmen also nicht überein.

Nach unseren heutigen Kenntnissen über die Entwicklungsbedingungen von Rumpfflächen und deren klimazonaler Einordnung kann es nach Ausweis aller Merkmale der mächtige Sedimente aus dem Tertiär niemals in den mittleren Anden zur Bildung derartiger Flächen gekommen sein. Außerdem ist zu bedenken, daß in einem werdenden Hochgebirge hinreichend lange Zeiträume, in denen unter bestimmten klimatischen Bedingungen Rumpfflächen zur Ausbildung kommen könnten, nicht zur Verfügung stehen. Rumpfflächen können sich nur in Bereichen tektonisch

ruhender oder allenfalls sich schwach hebender Stollen entwickeln, nicht aber in Gebieten stark differenzierter und andauernder oder immer wieder reaktivierter Bruchschollentektonik. Die Rumpfflächenbildung ist deshalb auf die kratonen Zonen der Erde beschränkt.

Klimazonal ist die aktuelle Rumpfflächenentwicklung auf die wechselfeucht-tropischen Gebiete mit einer 6–9 monatigen Regenzeit beschränkt. Hohe Temperaturen und langanhaltende Befeuchtung führen zu tiefgründiger Verwitterung und intensiver flächenhafter Abspülung. Unter den klimatischen Gegebenheiten kommt es zur Rotlehm- und Latosolbildung, wie es heute in großen Teilen des außerandinen tropischen Südamerika der Fall ist. Die Rotlehme und Latosole zeichnen sich durch absolute Dominanz der Zweischicht-Tonminerale gegenüber den Dreischicht-Tonmineralen, durch weitgehende Entkalkung und durch Abfuhr von SiO_2 aus.

Bei Ansprache und Untersuchung der bis mehrere 1000 m mächtigen terrestrischen Tertiärsedimente (Photos 1–3) in

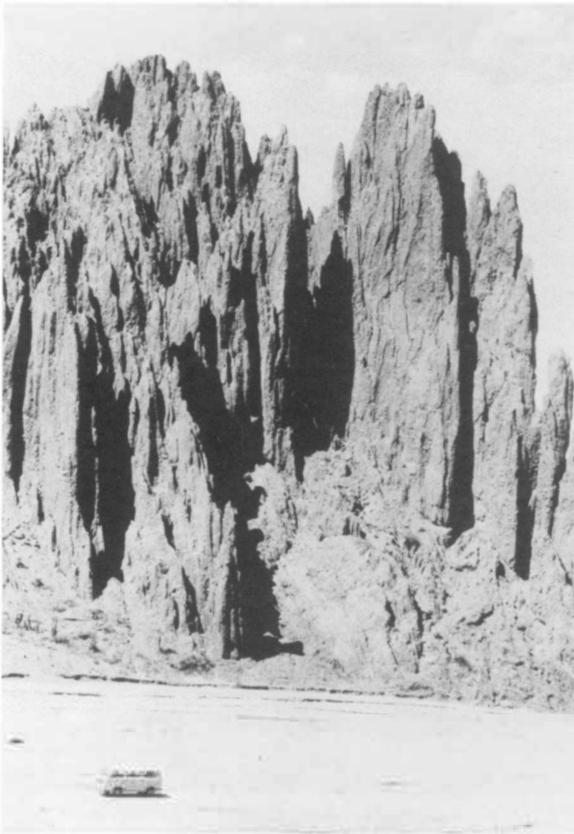


Photo 1: Steilgestelltes Tertiär im Graben von Tupiza, Südwestbolivien, wenige km nördlich des Ortes; Blick nordwärts. Es handelt sich um rotgefärbte torrentielle Ablagerungen des Miozän. Aufnahme: K. FISCHER 12. 10. 1981

Steeply-tilted Tertiary in the Tupiza Graben, SW Bolivia, a few kms north of the town, viewing north. The picture shows reddened torrential deposits of Miocene age

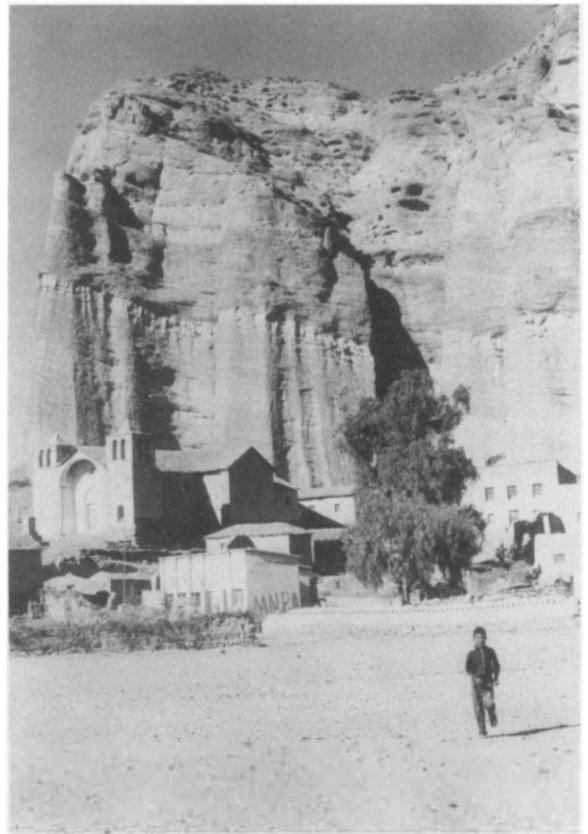


Photo 2: Jungtertiär (Formación Oploca; Pliozän?) im Graben von Tupiza zwischen Chifloca und Talina. Es handelt sich um braungefärbte, schlecht gerundete Konglomerate. Aufnahme: K. FISCHER 12. 10. 1981

Late Tertiary material (Formación Oploca, Pliocene?) in the Tupiza graben between Chifloca and Talina. The picture shows brownish, poorly rounded conglomerates



Photo 3: Konglomerate der Formación Angastaco (Miozän) bei Piedras Puntadas, nördliche Valles Calchaquies, Provinz Salta, Nordwestargentinien. Aufnahme: K. FISCHER 29. 5. 1983

Conglomerates of the Formación Angastaco (Miocene) near Piedras Puntadas, northern Valles Calchaquies, Salta province, NW Argentina

den mittleren Anden läßt sich nur eine Gemeinsamkeit mit den Latosolen und Rotlehmen feststellen: die Rotfärbung. Ansonsten ergaben Laboruntersuchungen¹⁾ von Rotsedimentproben aus dem Gesamtgebiet von der Oberkreide (Gesteine aus der Gruppe Santa Barbara) bis in das Pliozän durchwegs Kalzitgehalte und fast ausnahmslos sehr hohe Anteile von Montmorillonit und Illit, während Kaolinit fehlte oder nur wenige Prozent am Gesamttonmineralgehalt erreichte. Dies gilt auch für die Proben aus den randandinen (subandinen) Sierren südlich Santa Cruz bis Tucumán.



Photo 4: Konglomerate von Angastaco Valles Calchaquies, Provinz Salta, Nordwestargentinien. Ein Skylight-Filter im eingezeichneten Kreis vermittelt eine Vorstellung von der Größe der Einzelkomponenten. Aufnahme: K. FISCHER 22. 10. 1981

Conglomerates of Angastaco, Valles Calchaquies, Salta Province, NW Argentina. A skylight filter marked by the circle shows the size of the components

¹⁾ Die Analysen wurden dankenswerter Weise von Herrn Dr. M. SALGER am Geologischen Landesamt München durchgeführt.



Photo 5: Formación Los Frailes (Ignimbrit) nahe der E^a. Huisruro, ca. 25 km nordwestlich Potosí. Blick nach SW zum C°. Pascual Canaviri (5131 m). Die Formación Los Frailes bedeckt das Relief eines Berglandes aus dem Miozän und wurde vom oberen Rio Pilcomayo und seinen Nebenflüssen zertalt. Aufnahme: K. FISCHER 18. 8. 1983

Formación Los Frailes (ignimbrite) near the E^a. Huisruro, about 25 kms NW of Potosí, viewing SW towards the C°. Pascual Canaviri (5131 m). The Formación Los Frailes covers the Miocene relief of a mountainous landscape and has been dissected by the upper Rio Pilcomayo and its tributaries

Damit wird bereits angedeutet, daß während des Tertiärs kein wechselfeucht-tropisches Klima geherrscht hat. Die wiederholte Einschaltung von Evaporiten (z.B. Borate), von Diatomiten und Lutiten, sowie die Erhaltung von Trockenrissen und „fossilen Regentropfen“ deuten in Gemeinschaft mit der Rotfärbung auf warm-aride Verhältnisse hin. Untermauerung erfährt diese Aussage durch die meist nur mäßige Zurundung der Einzelkomponenten (Photo 4), sie sind nur kantengerundet bis gerundet, selten sehr gut gerundet. Die Fraktionierung nach Korngrößen ist allgemein schlecht und eine Härteauslese nicht gegeben, so daß z. B. Sandsteine neben dichten Vulkanitkonglomeraten liegen. Zersatzercheinungen sind an den Geröllen nicht feststellbar, auch nicht an den Feldspäten der Granite. Damit zeigen die Sedimente des Tertiärs größte Ähnlichkeit mit den rezenten Bolson- bzw. Beckensedimenten, was W. PENCK bereits 1920 festgestellt hat. Ihr Transport vollzog sich analog zu den heutigen Verhältnissen stoßweise oder torrentiell.

Dabei besitzen die Schotterbetten z. T. beachtliches Gefälle und gehen nach oben in Kerben und Runsen über, die die Hänge gliedern. Dies und der laterale Fazieswechsel sowohl bei rezenten Ablagerungen als auch in den Tertiärsedimenten von Konglomeraten über häufig kreuzgeschichtete Sandsteine und Lutite zu gipsführenden Mergeln, deuten auf die räumliche Nähe von Abtragungs- und Akkumulationsgebieten, also auf ein Relief im Jungtertiär hin, das von dem heutigen nicht wesentlich verschieden war, ausgenommen die Außenseiten von West- und Ostkordillere und die Gebiete der jungen Stratovulkane. Wegen der bisher nur unzureichenden geologisch-petrographischen Detailkartierung und der geringen Kenntnisse über den Geröllbestand in den

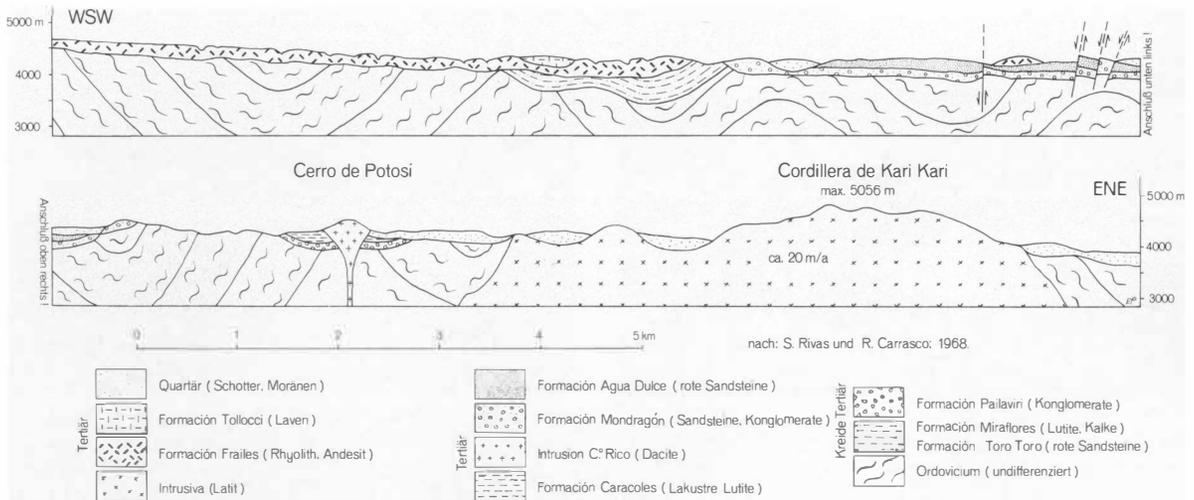


Abb. 2: Profil aus dem Raume Potosí, Südbolivien, mit Intrusionen und Ignimbritdecken (nicht überhöht)
 Profile of the Potosí area in southern Bolivia, with intrusions and ignimbrite layers (vertical and horizontal scale identical)

Konglomeraten lassen sich – für das Miozän noch weniger als für das Pliozän – distributive Provinzen als ehemalige Hochgebiete schwer lokalisieren und auch die Ausdehnung der Sedimentationsgebiete ist nur in größten Umrissen möglich. Auf jeden Fall muß die Vorstellung von alten Rumpfflächen im Gebiet der mittleren Anden zu Beginn und über das ganze Jungtertiär hinweg ersetzt werden durch das Bild eines Berglandes bzw. Mittelgebirges, das aus einem äußerst bunten Mosaik von Abtragungs- und Ablagerungsräumen bestand.

Für das Endmiozän und beginnende Pliozän wird der Typus eines Mittelreliefs bestätigt durch die ausgedehnten Ignimbritdecken, die aus Glutwolken hervorgegangen sind. Die Schmelztuffe der Formación Los Frailes ($6,1 \pm 0,11$ bis $7,8 \pm ?$ m/a), die in der gleichnamigen Cordillere weit verbreitet sind, haben ein Relief überdeckt und konserviert (Photo 5), das östlich Sevaruyo-Río Mulatos oder am Pilcomayo nordwestlich Potosí Höhenunterschiede bis über 1000 m aufwies (Abb. 2). Auch im gesamten chilenischen Gebiet bedecken die verschiedenen alten Ignimbrite ein sehr unruhiges älteres Relief, wie ZEIL und PICHLER (1964) festgestellt haben und wie hier bestätigt werden kann. Für den Süden Perus und NW-Argentinien (z. B. Gebiet der Mina Pirquitas oder um Antofagasta de la Sierra) gilt das gleiche. Weiträumig flache Lagerung besitzen die Ignimbrite nur über Aufschüttungsflächen, wie beispielsweise im SW Boliviens, nördlich des Vulkans Sajama oder am Río Mauri (Form. Pérez, 2,5 m/a).

2. Die Frage phasenhafter Reliefentwicklung

Im Verlaufe der weiteren geomorphologischen Entwicklung des Gebirges im Jungtertiär ist ein phasenhaftes Geschehen nicht gegeben oder nicht nachweisbar. Es müßte etwa über einen Stockwerkbau oder eine Ineinanderschach-

telung von Talformen, wie es für die Alpen vertreten wurde, zum Ausdruck kommen. Von geologischer Seite wurde und wird eine zyklische Entwicklung angenommen mit einer – Incaica-Phase zu Beginn des Oligozän, – Quechuana-Phase an der Grenze von Mio- zum Pliozän, – Andina-Phase an der Wende Pliozän/Pleistozän, die wiederum in Vor- und Hauptphase gegliedert werden. Abgeleitet wurde diese Phasengliederung aus Diskordanzen in den Tertiärsedimenten, markanten Fazieswechseln und der Einschaltung von Vulkaniten. Gegen diese Ausgliederung tektonischer Phasen, die in anderen Gebieten, z.B. den Alpen, häufig Grundlage der geomorphologischen Interpretation wurden, müssen Bedenken geäußert werden:

Ursache und Charakter von Diskordanzen in den Sedimentpaketen sind nämlich häufig unzureichend bekannt. Die Fossilleere der mächtigen terrestrischen Tertiärsedimente erlaubten z. Zt. der Formulierung der Phasen (besonders nach der Jahrhundertwende) keine exakte zeitliche Einordnung und Korrelation von Diskordanzen, sondern ließ Vermutungen einen weiten Spielraum. Die Zahl von Diskordanzen in den Sedimenten des Tertiärs ist oft erstaunlich groß, viel größer als es nach diesem Schema zu erwarten wäre. Vulkanische Erscheinungen und Gesteine werden dem aus der Interpretation von Sedimentfolgen entwickelten Schema zugeordnet. Die Möglichkeiten der radiometrischen Datierung (K-Ar) brachten jedoch große Überraschungen. Die bisher publizierten Altersbestimmungen (besonders BAKER a. FRANCIS 1977) zeigen, daß der Vulkanismus über den gesamten Zeitraum des Jungtertiärs in den mittleren Anden herrschte, wenn auch regionale Unterbrechungen festgestellt werden können. Andererseits besitzen besonders ausgedehnt vorkommende Vulkanite (Ignimbritdecken) ein Alter, das in das bisherige Schema tektonischer Phasen nicht hineinpaßt, sondern zwischen sie fällt. In den Sedimentfolgen vollziehen sich teilweise häufige fazielle Wechsel. Andererseits ist aber auch über tausende von Metern (z.B. in

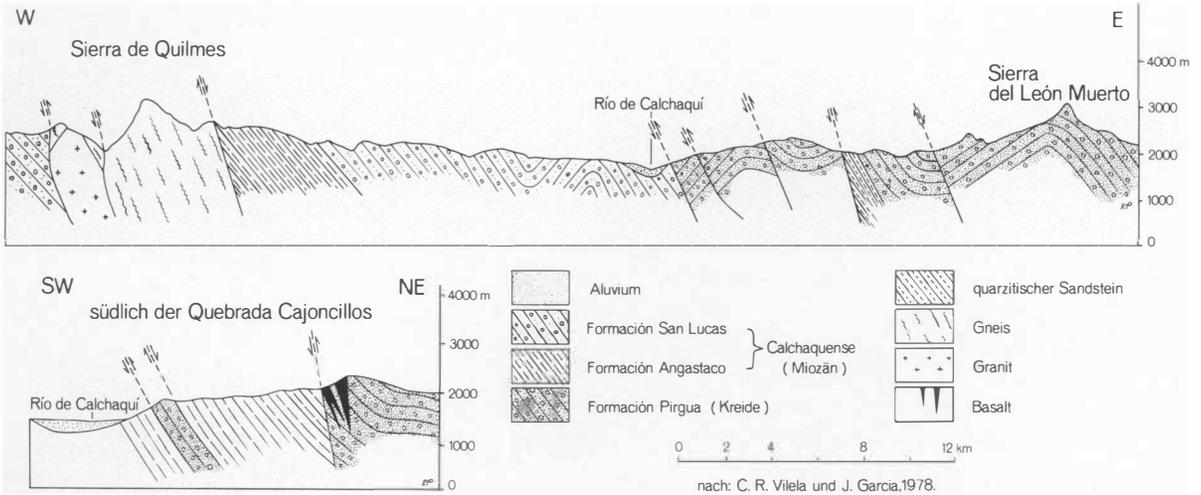


Abb. 3: Graben der nördlichen Valles Calchaquies, Provinz Salta, Nordwestargentinien, mit mächtigen kretazischen und Tertiärsedimenten

Graben of the northern Valles Calchaquies in the Salta Province, NW Argentina, with thick layers of Cretaceous and Tertiary sediments

der Sedimentfolge der Gruppe Pastos Grandes in der argentinischen Puna oder in den Konglomeraten der nördlichen Valles Calchaquies um Angastaco), also über sehr lange Zeiträume (Altmiozän bis Mittelpliozän), kaum eine fazielle Änderung gegeben (Abb. 3).

Aufgrund dieser Gegebenheiten ist zu folgern, daß sich sowohl geologisch als auch geomorphologisch das Gebirge als Ganzes weitgehend kontinuierlich entwickelt hat, ungeachtet der Tatsache, daß sich regional auch zeitweilig gesteigerte vulkanische Aktivität und Schollenbewegungen bemerkbar machten. Sie lassen sich im Gesamtgebiet aber wohl kaum zu tektonisch-morphologischen Zyklen zusammenfassen, wie es vielfach und bis in jüngste Zeit vertreten wurde. Dies würde auch den Erkenntnissen über die Dynamik im Rahmen der Plattentektonik mit permanenter Bildung von Erdkruste und permanenter Subduktion im Westen des südamerikanischen Kontinentes widersprechen.

3. Die Hebung der mittleren Anden

Sicher ist, daß das Gebiet der mittleren Anden ab dem Miozän kräftiger gehoben wurde und gegen Ende des Pliozän seine heutige Höhe erreicht hat. Dafür liegen eine Reihe von Belegen vor. Der bekannteste Nachweis für eine intensive Hebung in jungtertiärer Zeit ist die tropische Flora in der Formación Caracoles am C.º Rico de Potosí in Südbolivien, die von BERRY (1939) intensiv bearbeitet wurde und etwa 100 Pflanzenarten umfaßt.

Das fossilführende Tertiär liegt heute in einer Höhe von 4350 m bis 4600 m, hoch über der rezenten Verbreitung gleicher oder verwandter Pflanzen in den Yungas (Abb. 4). Infolge des vertikalen Temperaturgradienten, der auch in der geologischen Vorzeit wirksam war, kann nicht angenommen werden, daß der Lebensraum der fossilen Pflanzen

oberhalb von 1500 m gelegen hat. Eine Hebung des Gebirges um mindestens 2000 m ist daraus abzuleiten. Dieser Hebungswert wird bestätigt durch die marine Mikrofauna (Ostracoden und Foraminiferen) in den basalen Sedimenten der Gruppe St^a. Maria des Miozän und unteren Pliozän (BERTELS u. ZABERT 1980) in den Valles Calchaquies westlich Tucumán, die in die marinen Sedimente des La Plata-Beckens überleiten. Die fossilführenden Sedimente der Gruppe St^a. Maria liegen heute in einer Meereshöhe bis zu 2700 m. An der Westküste (H.I. Mejillones nördlich Antofagasta/Chile) ist marines Pliozän bis auf 330 m gehoben worden. Strandterrassen ohne Sedimentauflage befinden sich noch in 500 m NN. Nach den peruanischen Kartierungen soll sogar marines Quartär nordwestlich Mollendo nahe der Küste in

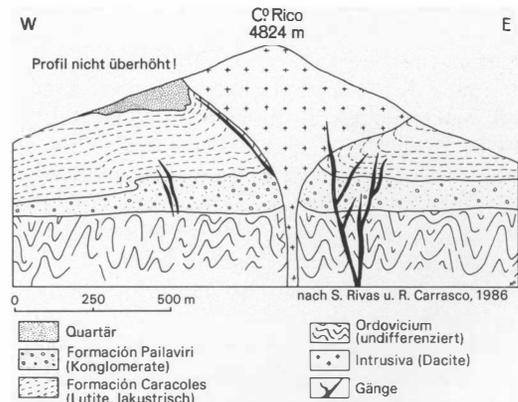


Abb. 4: Intrusion des Cerro Rico bei Potosí, Südbolivien, mit der fossilführenden Formación Caracoles

Intrusion of the Cerro Rico near Potosí, S. Bolivia, with the fossil-bearing Formación Caracoles

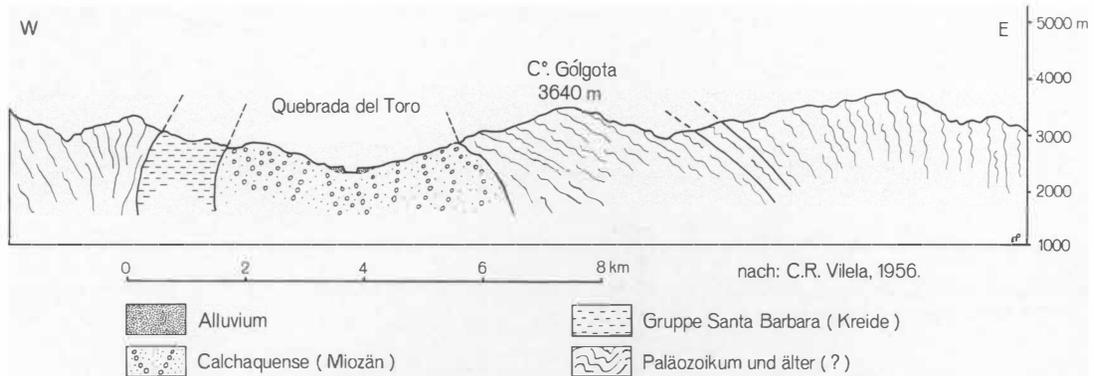


Abb. 5: Tektonisch versenktes Tertiär in der Quebrada del Toro, Provinz Salta, Nordwestargentinien
Tertiary material tectonically lowered in the Quebrada del Toro, Salta Province, NW Argentina

Höhen über 2000 m gelangt sein. Auch das spricht für junge Hebung des Gebirges.

Im O wurde das Gebiet der subandinen Sierren im (bzw. am Ende des) Miozän schwach gefaltet und im Pliozän gehoben. Das geht daraus hervor, daß die „Areniscas Superiores“ der Chaco-Formation noch mitgefaltet wurden, das Pliozän, die Jujuy-Schichten, aber in den Synklinalen fehlt, nicht etwa weil sie wieder abgetragen worden sind, sondern da sie infolge Hebung des Gebietes nicht mehr abgelagert werden konnten.

Nach Ausweis der meist feinkörnigen randandinen Tertiär-Sedimente in den Provinzen Salta und Tucumán in Argentinien mit ihren Gipseinschlüssen (PORTO 1977) kann im Miozän noch kein derartig markanter und rasch ansteigender Gebirgsrand wie heute bestanden haben. Der heutige, bis zu 4500 m hohe Gebirgsrand bewirkt kräftige Stauniederschläge und Gewitterregen, perennierende Gewässer und subtropische Regenwälder. Die rezenten Gegebenheiten lassen im Vorland die Entwicklung einer Salinarfazies nicht zu. Vorstellbar für das Miozän wären ähnliche Reliefverhältnisse wie sie heute in den Provinzen Córdoba, La Rioja und Santiago del Estero herrschen: relativ niedrige Gebirgsrücken und dazwischen weite Flachgebiete mit Salares. Um diese Auffassung zu erhärten, müßten allerdings vergleichende Untersuchungen in den Pampinen Sierren der erwähnten Provinzen durchgeführt werden.

Mit der Hebung des Gebirges war verstärkte Abtragung im Bereich der gehobenen Sektionen und Sedimentation in abgesunkenen oder bei der Hebung zurückgebliebenen Teilen des Gebirges verbunden. In der Ostkordillere, in der Puna und in den Pampinen Sierren wurden mächtige Folgen in den Gräben sedimentiert (z.B. Graben von Tupiza, Graben des oberen San Juan del Oro, Graben von Angastaco) und darauf folgend durch Kompressionstektonik noch verbogen und verstellt. Die Sedimente erreichen bis zu 7000 m Mächtigkeit und machen, da keine nennenswerten faziellen Änderungen stattfinden, (Abb. 5, vgl. auch Abb. 3) eine permanente Hebung der Liefergebiete wahrscheinlich. Im W der Anden war die Längsdepression Ablagerungsraum großer Sedimentmassen (Formación Poterillos $\hat{=}$ Formación

Altos de Pica $\hat{=}$ Formación riolitica), die recht gut radiometrisch datiert werden können, da in sie Vulkanite eingeschaltet sind. Die Mächtigkeit der Sedimente ist bisher unbekannt, nach Bohrungen aber mindestens 500 m (Abb. 6).

Auch der mit dem Miozän intensiv einsetzende Vulkanismus ist im Zusammenhang mit verstärkten Vertikalbewegungen zu sehen. Vulkanische Aktivität und Einengungstektonik fallen zeitlich zusammen, wobei sich an steil einfallenden Aufschiebungen Vertikalbewegungen vollzogen, die über das gesamte Jungtertiär mehrere 1000 m erreichten (vgl. z. B. Quebrada del Toro, Quebrada de Humahuaca in NW-Argentinien; Abb. 5).

Eine Folge, aber auch ein Beleg der kontinuierlichen Hebung der mittleren Anden sind die terrassenlosen tiefeingeschnittenen Täler auf der Ostseite der Ostkordillere (an der Ostflanke der Cordillera Real bis 4000 m tief). Wenn auch wegen der Terrassenlosigkeit der Nachweis der Antezedenz kaum geführt werden kann, so ist doch davon auszugehen, daß sich die Flüsse gegenüber dem sich hebenden Gebirge in der Regel behauptet haben. Rückschreitende Erosion als Erklärungsmöglichkeit für die Talentwicklung kommt nur für kurze Laufstrecken bzw. für Quellgebiete in Betracht (z. B. Tal von La Paz in leicht ausräumbarem Tertiär und Quartär).

Somit erweisen sich die mittleren Anden in ihrem südlichen Abschnitt als junges Gebirge. Einer Korrektur bedarf jedoch die weit verbreitete und noch immer wiederholte Auffassung, dieser Gebirgsabschnitt habe erst an der Wende vom Pliozän zum Pleistozän seine heutige Höhenentwicklung im Rahmen der dritten orogenetischen Hauptphase der Anden erreicht. Wenn das zuträfe, dann müßte sich diese Höherhaltung des Gebirges auch sedimentologisch sowohl intramontan als auch durch eine kräftige Schuttentwicklung und -ausstrahlung im Vorland äußern. Als Formación Puelches erreicht das Quartär im östlichen Andennahen Vorland allenfalls 30 m bis 70 m, als Formación Uquia (nach CASTELLANOS 1950, Altquartär) ganz lokal in der Quebrada de Humahuaca/Provinz Jujuy, Nordwestargentinien, 100 m, in den Tälern von Purmamarca und von Iruya im gleichen Gebiet bis 150 m. Die quartären Fanglomerate mit Evapo-

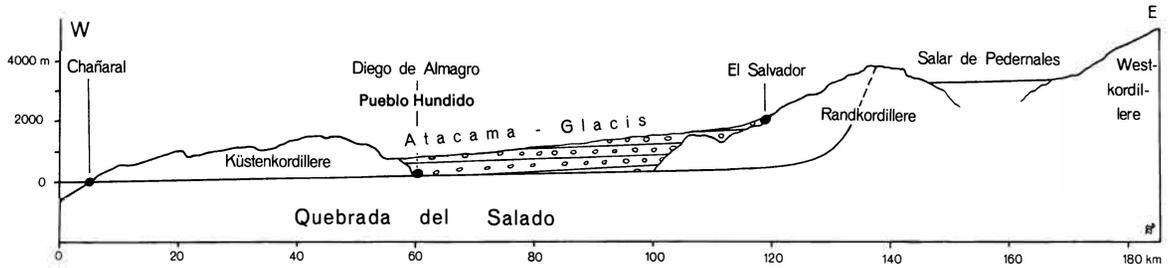


Abb. 6: Profil durch die chilenische Längsdepression entlang der Quebrada del Salado (26°30' S)
 Profile of the Chilean longitudinal depression along the Quebrada del Salado (26°30' S)

ritten in den intramontanen Becken der Puna werden bis auf 250 m Mächtigkeit geschätzt und als Extremwert darf der des Quartärs im Tal von La Paz mit bis 360 m angenommen werden. Im Vergleich zu den Tertiärsedimenten sind dies bescheidene Mächtigkeitswerte, besonders wenn an die um die ca. 1000 Höhenmeter erweiterte Frostschuttzone als Schuttlieferant gedacht wird. Eine ganz andere Schuttaustrahlung ging in der gleichen Zeit von den deutlich niedrigeren Patagonischen Anden aus, die die Atlantikküste erreichte.

Wenn mehrere 1000 m mächtige Sedimente in relativen Senkungsgebieten abgelagert wurden, dann müssen an anderer Stelle in Gebieten mit permanenter Hebung entsprechende Massen abgetragen worden sein. Der Beweis kann mit Hilfe der zahlreichen Intrusivkomplexe der Ostkordillere und der Puna erbracht werden. Radiometrische Datierungen zeigen, daß sie, von den Intrusivkörpern der Cordillera Real abgesehen, dem Miozän und Pliozän angehören. Sie sind in Tertiärsedimente, aber auch in ältere Gesteine intrudiert und seither freigelegt worden. Der größte ist der Batholith der Cordillera Kari Kari östlich und südöstlich Potosí, dessen Alter mit $20,1 \pm 0,34$ bis $21,7 \pm 0,36$ bestimmt wurde (GRANT u. a. 1977). Mit über 5000 m erhebt sich der Latitbatholith deutlich über seine Umgebung. Auch der C.º Rico de Potosí (4824 m; Dacit; $12,9 \pm 0,32$ bis $13,8 \pm 0,30$ m/a) zeigt die seitherige Abtragung deutlich. Die miozäne Intrusion des C.º Cuzco südlich Río Mulatos in Südbolivien (5386 m) ragt 1500 m über seine Umgebung auf.

Gleiches gilt für den C.º Chorolque (5552 m: $15,6 \pm 0,27$ bis $17,9 \pm 0,65$, nahe Atocha in Südwestbolivien). Der C.º Miriquiri nördlich von Corocoro südwestlich La Paz (pliozäne Intrusion) überragt das Gebiet ebenfalls beträchtlich. Da alle Intrusionen in einer Sedimentdecke stecken geblieben sind, kann der Mindestabtrag vielerorts mit 2000 m für das Mio-Pliozän angesetzt werden. Örtlich dürfte er beträchtlich überschritten werden.

Daraus wird deutlich, daß sich im Jungtertiär erhebliche Veränderungen des Oberflächenbildes in den mittleren Anden ergeben haben müssen. Dies wird dadurch unterstützt, daß die Geröllzusammensetzung in den Konglomeraten oft deutliche Veränderungen erfährt, bedingt durch intensive Abtragung. So finden sich in älteren, vermutlich miozänen Konglomeraten des mittleren und südlichen andinen Bolivien noch keine Vulkanitgerölle (PEREZ MENDIETA 1963, MEAVE DEL CASTILLO 1966), diese treten erst in jüngeren (pliozänen) Lagen auf, d. h. entweder hat sich die Schüttungsrichtung der Schotter verändert oder Vulkanite wurden im Laufe der Zeit freigelegt und abgetragen.

Einen weiteren Beleg für eine kräftige Umgestaltung des Reliefs liefert das Gebiet zwischen Umala, Corocoro und Viacha westlich bis südlich La Paz, wo als jüngste Sedimente (Ober-Pliozän nach ASCARRUNZ) etwa 500 m mächtige, schwach gefaltete, wenig verfestigte Konglomerate der Formación Topohoco anstehen und einen Höhenzug bis über 4600 m Höhe bilden. Wegen seines Geröllinhaltes, in dem die Einzelkomponenten bis 60 cm Längsachse erreichen

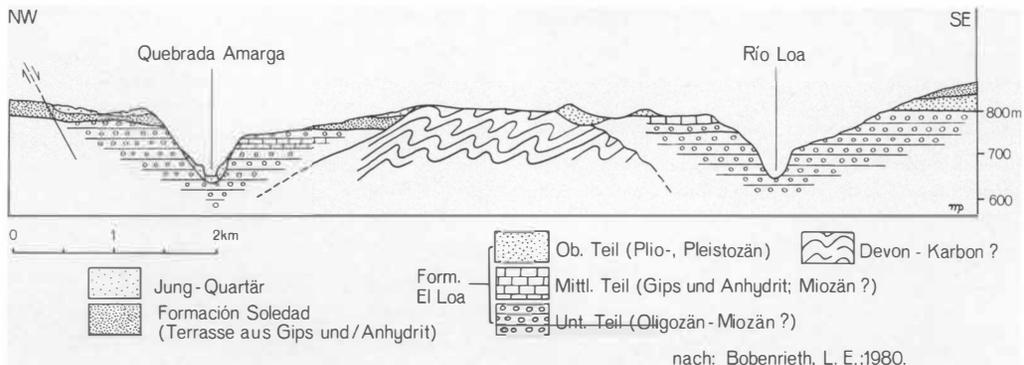


Abb. 7: Jungtertiäre Sedimentation und pleistozäne Zerschneidung am Rio Loa zwischen Quillagua und Chiu-Chiu
 Late Tertiary sedimentation and Pleistocene dissection at the Rio Loa between Quillagua and Chiu-Chiu

können, und der Korngrößenabnahme westwärts wird auf eine Schüttung von O geschlossen. Der Charakter der Konglomerate deutet auf Ablagerung am Fuß eines höher aufragenden Gebirgszuges hin, von dem jedoch im Gelände nichts zu sehen ist; die Cordillera Real weiter östlich ist zu weit entfernt und heute durch die Ausräumungsgebiete des Rio La Paz und von Ayo-Ayo – Sica-Sica vom Ablagerungsgebiet der Formación Topohoco getrennt (Abb.7).

4. Zur Altersfrage der Altreliefreste

Aus der Tatsache sehr beträchtlicher Abtragung ergibt sich die Folgerung, daß Reliefreste höheren, d. h. präpliozänen Alters kaum oder nicht überliefert sein können, außer es wären exhumierte alte Oberflächen, deren intakte Überlieferung aber generell zu bezweifeln ist. Da Altreliefreste in Teilen des Gebirges tatsächlich anzutreffen sind, müssen sie wohl in das Pliozän und Altpleistozän gestellt werden. Ihre genauere Datierung ist wegen fehlender oder undatierbarer Sedimentrelikte bislang nur in grober Annäherung oder nicht möglich. Bei den Altreliefresten handelt es sich einmal um Mittelgebirgs- und Flachformen auf den Höhen einzelner Kordillerezüge (S^{ra} de Cochabamba) oder der Pampinen Sierras (Cumbres Calchaquies, S^{ra} de Aconquija, S^{ra} de Quilmes oder del Cajón) (Photo 6 u. 9). Hinzu kommen als zweite Gruppe von Altformen Reste hochgehobener und teilweise tiefzertalter intramontaner Becken (z. B. von Aiquile, Tarabuco, Betanzos, Villazón) (Photo 7). Drittens sind große Pedimente im Gebiet unzerschnittener Gebirgs-



Photo 6: Altrelief in den Hochlagen der nördlichen S^{ra}. de Aconquija, Grenzgebiet der Provinzen Tucumán und Catamarca. Aufnahmestandort in etwa 4470 m; Blick nach S auf den Cerro Punta Negra (links) und Cerro Zarzo (rechts) mit Gipfelhöhen von 4900 bis 5000 m. Aufnahme: STEPHAN HALLOY, San Miguel de Tucumán, 21. 1. 1979

Fossil relief in the higher areas of the northern S^{ra}. de Aconquija, border area between the Tucumán and Catamarca provinces. Picture taken at about 4470 m, viewing S towards the Cerro Punta Negra (left) and the Cerro Zarzo (right) with heights reaching 4900 to 5000 m



Photo 7: Quebrada del Salado, Provinz Antofagasta, von der Cuesta Angosta. Blick nach O. Glacisbildung in Sedimenten des Jungtertiärs (Formación Potrerillos). Aufnahme: K. FISCHER 8.7. 1983
Quebrada del Salado, Antofagasta Province, from the Cuesta Angosta, view to E. Glacis developed in late Tertiary sediments (Formación Potrerillos)

räume zu nennen (z. B. im Umland der Cordillera Kari Kari) (Photo 8), die zugleich einen Hinweis auf semiaride bis aride Verhältnisse liefern und wahrscheinlich in den Interglazialen des Altpleistozäns zur Ausbildung gelangt sind. Sie wären damit altersgleich mit dem Glacis der chilenischen Längsdepressionen.

Insbesondere die Altformen auf den Höhen der Kordilleren und die inzwischen zertalten Reste intramontaner Becken bestätigen junge Hebungsvorgänge im Gesamtgebiet, die gleichzeitig Anlaß für Wiederausäumung und/oder Umlagerung älteren Tertiärs waren. Die intramontanen Becken sind überwiegend alter Anlage, ähnlich wie die Beckenräume, in denen heute noch Seen und Salares liegen. Reste von Tertiär und mächtigere Quartärfüllungen in den Becken belegen dies.



Photo 8: Pedimente ca. 30 km SE Villa Talavera, Depto. Potosí (Strecke Potosí-Tarija); Blick nach SW. Aufnahme: K. FISCHER 1981

Pediments about 30 kms SE Villa Talavera, Depto. Potosí (between Potosí and Tarija); viewing SW



Photo 9: Luftaufnahme von Sparton Air Services in Kommission des Servicio Geológico Nacional, Nr. 2765-106-32 vom Juni 1968. Zentrale Zone der Cumbres Calchaquies, Provinz Tucumán, NW Argentinien. Ungefäher Maßstab 1:62 500. Das Altrelief in den Hochlagen von über 4000 m wird von W durch rückschreitende Erosion steiler Quebradas mit murartigen Schuttbewegungen von der Valle Santa Maria aufgezehrt

Central zone of the Cumbres Calchaquies, Tucumán Province, NW Argentina. Scale about 1:62.500. The fossil relief of the higher altitudes above 4000 m is dissected from the W by the steep Quebradas tributary to the Valle Santa Maria, which show torrential or mudflow processes. Aerial photograph by Sparton Air Services, commission of the Servicio Geológico Nacional, N°. 2765-106-32, June, 1968

5. *Kein klimageomorphologischer Umbruch in den mittleren Anden*

Die Entwicklung und Erhaltung von alten Reliefformen lenkt auf die Frage, ob nicht im Gebiet der mittleren Anden deutliche Veränderungen des Klimas im Jungtertiär statt-

gefunden haben, die die geomorphologischen Prozesse erheblich beeinflussten. Auffällig ist jedenfalls die allmähliche Farbänderung der Sedimente von kräftig rotgefärbt bei den Sedimenten von der Oberkreide bis zum Miozän in der Puna und im Osten zu den braungrauen Farbtönen der jüngeren und rezenten Sedimente. Die intensive Rotfärbung

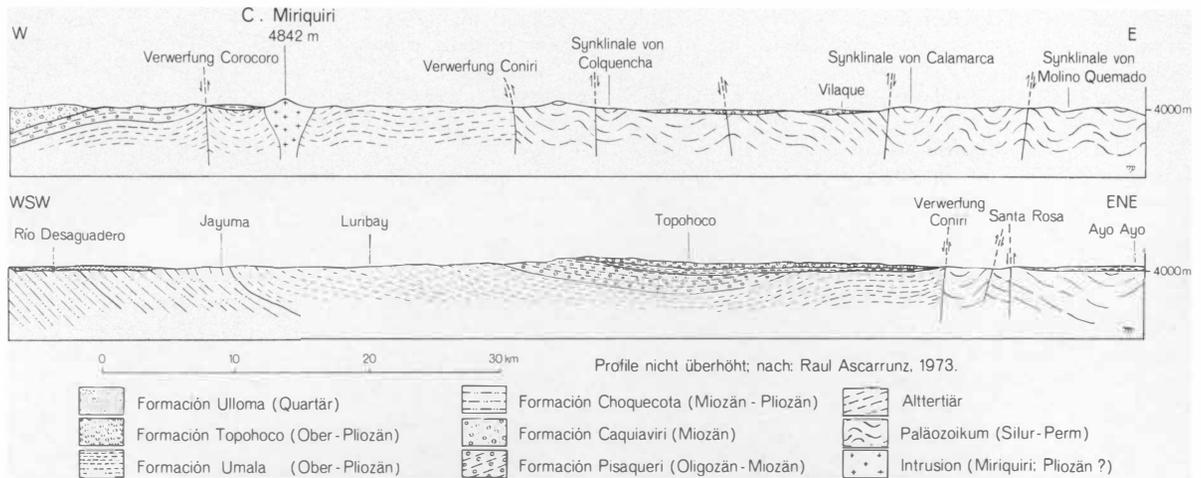


Abb. 8: Profil durch das Tertiärgebiet Umala-Corocoro-Viacha
Profile of the area of Umala-Corocoro-Viacha and its Tertiary deposits

wird von Hämatit ($x\text{-Fe}_2\text{O}_3$) hervorgerufen, der in feinsten blättrigen oder schuppigen Aggregaten vorhanden ist und die einzelnen Körner bzw. Gerölle überzieht. Er entsteht in heißem trockenem Klima durch Dehydrierung der ursprünglich gebildeten Eisenhydroxide und ist damit ein wichtiger Klimaindikator. In den jüngeren Pliozänsedimenten geht die Rotfärbung allmählich zurück. Goethit (H Fe O_2) und Limonit ($\text{H Fe O}_2 \cdot \text{aq}$) färben das Lockermaterial braun. So deutet sich ein allmählicher Wandel von trockenheiß zu temperierttrocken bzw. kühl-trocken an. Z. T. ist dies in Analogie zur gleichzeitigen Entwicklung in anderen Teilen der Erde tatsächlich eine echte Klimaänderung. Sie wird in den mittleren Anden aber dadurch überlagert, daß das Gebirge im Jungtertiär zunehmend an Höhe gewann und damit in kühlere Höhenstufen emporrückte. Ein entscheidender Klimaumbruch, der auch zu einer Änderung des geomorphologischen Prozeßgeschehens geführt haben könnte, war damit jedoch nicht verbunden. Das geht daraus hervor, daß alle anderen Merkmale der Sedimente, die Zurundung der Körner bzw. Gerölle, Korngrößenanalyse, fazielle

Wechsel oder Evaporitbildung erhalten blieben. Auf der Westseite der Anden sind unter Einfluß des kühlen Perustromes auf das Klima Rotsedimente überhaupt nicht zur Ausbildung gelangt.

Ein entscheidender Klimawechsel trat – und auch dies nur in den Hochregionen des Gebirges – erst mit der Wende Pliozän – Pleistozän ein, als Schnee- und Solifluktuationsuntergrenze deutlich absanken. In den Glazialzeiten lagen sie 1000, sogar 1500 m (S^{te} de Aconquija) tiefer als heute, so daß glaziale, solifluidale und fluvioglaziale Prozesse an Bedeutung gewannen. Bemerkenswert ist in vielen Tälern die Bildung von Glacis-Terrassen (z. B. Valles Calchaquies). Auf der Westseite der Westkordillere und in der chilenischen Längsdepression wurden durch fluviale Erosion tiefe Quertäler, etwa die Quebradas von Lluta, Higuera, Azapa, Camarones, Tarapacá, Rio Loa, Salado u. a. geschaffen. Bis dahin war dieses Gebiet nicht durchtalt. Den Beweis dafür liefern die weitausgedehnten jüngsten Tertiärablagerungen der Längsdepression: Evaporite, Karbonate und Diatomite der Formación Diablo, Formación Soledad u. a. (Abb. 8).

Literatur

- Academia Nacional de Ciencias de Cordoba (Hrsg.): Geología Regional Argentina, Volumen I. Cordoba 1979.
- ACEÑO LAZA, F.G. y TOSELLI, A.J.: Geología del Noroeste Argentino. Publ. esp. Fac. Cienc. Naturales, Univ. Nac. Tuc. n° 1287. San Miguel de Tucumán 1981.
- AHLFELD, F. y BRANIŠA, L.: Geología de Bolivia. La Paz 1960.
- ASCARRUNZ K., R.: Contribución al Conosimiento Geológica del Area Comprendida entre los Pueblos de Viacha, Corocoro y Umala. Sociedad Geologica Boliviana, Boletín 20. La Paz 1973.
- BAKER, M. C. W.: Geochronology of upper Tertiary volcanic activity in the Andes of north Chile. In: Geologische Rundschau, Bd. 66, 1977, S. 455–465.
- BAKER, M. C. W. a FRANCIS, P.W.: Upper Cenozoic Volcanism in the Central Andes – Ages and Volumes. In: Earth and Planetary Science Letters 41. Amsterdam 1978, S. 175–187.
- BERRY, E. W.: The fossil flora of Potosí. In: The John Hopkins Univ. Studies in Geology 13. Baltimore 1939, S. 1–67.
- BERTELS, A. y ZABERT, L.: Microfauna del grupo Santa María (Terciario superior) en las Provincias de Catamarca y Tucumán, Republica Argentina. In: Actas del Segundo Congreso Argentino de Paleontología y Bioestratigrafía. Buenos Aires 1980, S. 67–73.
- BOWMAN, J.: The physiography of the Central Andes. In: American Journal of Science, 4th ser., Vol. 29, n° 165, 1909, S. 197–217 und 373–402.

- : The Andes of Southern Peru. Geographical reconnaissance along the 73° meridian, American Geogr. Soc., Special Publ. n° 1. New York 1916.
- BRÜGGEN, J.: Fundamentos de la Geología de Chile. Santiago de Chile 1950.
- CASTELLANOS, A.: El Uquiense. Sedimentos neogenos de Uquia (Senador Perez) de la Provincia de Jujuy (Argentina). Universidad Nacional del Litoral. Serie Técnico-Científica, Publicación N° 36. Rosario 1950.
- COIRA, B. L. L. y PEZZUTTI, N. E.: Volcanismo cenozoico en el ambito de Puna catamarqueña (25° 30' y 25° 50' de Latitud Sur y 68° y 68° 30' de Longitud Oeste). In: Revista de la Asociación Geológica Argentina 31. Buenos Aires 1976, S. 33–52.
- EVERNDEN, J. F., KRIZ, ST. J. y CHERRONI, M. C.: Correlaciones de las Formaciones terciarias de la cuenca altiplánica a base de edades absolutas, determinados por el metodo potasio-argón. Servicio Geológico de Bolivia, Hoja informativa I, La Paz 1966.
- : Potassium - Argon Ages of Some Bolivian Rocks. In: Economic Geology, Vol. 72. Lancaster 1977, S. 1042–1061.
- GRANT, J. N., HALLS, C., AVILA, Q. y SNELLING, N. J.: Edades potasio-argón de las rocas igneas y la mineralización de parte de la Cordillera Oriental, Bolivia. In: Boletín del Servicio Geológico de Bolivia, Serie A, Vol 1, N° 1. La Paz 1977, S. 33–60.
- HÖRMANN, P. K., PICHLER, H. a. ZEIL, W.: New Data on the Young Volcanism in the Puna of NW-Argentina. In: Geologische Rundschau, Bd. 62, 1973, S. 397–418.
- KUSSMAUL, S., HÖRMANN, P. K., PLOSKONKA, E. a. SUBIETA, T.: Volcanism and Structure of Southwestern Bolivia. In: Journal of Volcanology and Geothermal Research 2. Amsterdam 1977, S. 73–111.
- KUSSMAUL, S., JORDAN, L. a. PLOSKONKA, E.: Isotopic Ages of Tertiary Volcanic Rocks of SW-Bolivia. In: Geologisches Jahrbuch, B 14. Hannover 1975, S. 111–120.
- LAHSEN, A.: Upper Cenozoic Volcanism and Tectonism in the Andes of Northern Chile. In: Earth-Science Reviews 18. Amsterdam 1982, S. 285–302.
- MEAVE DEL CASTILLO, J.: Estudio Geológico de la Región Tatasi – San Vicente, Lipez, Depto. Potosí. Tesis de grado UMSA, La Paz 1966 (unveröffentlicht).
- MONTAÑO CALDERÓN, D.: Estudio Geológico de la Región de Tupiza-Estarca-Suipacha, Provincia Sud Chichas, Dpto. de Potosí. Tesis de grado UMSA, La Paz 1966 (unveröffentlicht).
- PASKOFF, R.: Recherches géomorphologiques dans le Chili semi-aride. Bordeaux 1965.
- PASKOFF, R. et NARANJO, J. A.: Les grandes étapes de l'évolution géomorphologique des Andes pendant le Cénozoïque dans le sud du désert d'Atacama (Chili). In: Comptes Rendus Académie des Science Paris, tome 289, Serie D, Paris 1979, S. 1203–1206.
- PENCK, W.: Hauptzüge im Bau des Südrandes der Puna de Atacama (Cordilleren Nordwestargentinien). In: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Beilage-Band 38. Stuttgart 1914, S. 643–684.
- : Der Südrand der Puna de Atacama (NW-Argentinien). Abhandlungen der mathem.-physischen Klasse der Sächsischen Akademie der Wissenschaften, 37. Bd., N° 1. Leipzig 1920.
- PEREZ MENDIETA, M.: Estudio Geológico de área Sevarujo-Salar de Uyuni (Dpto. de Potosí). Tesis de grado UMSA, La Paz 1963 (unveröffentlicht).
- PETERSEN, B. U.: Estructura y levantamiento de los Andes del Perú, Bolivia, Chile y partes adyacentes de Argentina. In: Boletín de la Sociedad Geológica del Perú, Tomo 33. Lima 1958, S. 145–218.
- PORTO, J. C.: Eflorescencias sulfatadas en formaciones terciarias y cuaternarias en la provincia de Tucumán. Acta Geológica Lilloana, Vol. 14. Tucumán 1977, S. 261–276.
- RIVAS, V. S. y CARRASCO, C. R.: Geología y Yacimientos Minerales de la Región de Potosí. Tomo I – Parte Geológica. Servicio Geológico de Bolivia, „GEOBOL“, Boletín 11. La Paz 1968.
- STEINMANN, G.: Über die junge Hebung der Kordillere Südamerikas. In: Geologische Rundschau, Bd. 13, 1922, S. 1–8.
- WALKER, E. H.: Andean Uplift and Erosion Surfaces near Uncia, Bolivia. In: American Journal of Science, Vol. 247. New Haven 1949, S. 646–663.
- ZEIL, W.: Geologie von Chile, Berlin 1964.
- ZEIL, W. u. PICHLER, H.: Die känozoische Rhyolith-Formation im mittleren Abschnitt der Anden. In: Geologische Rundschau, Bd. 57, 1968, S. 48–81.

THE PERIGLACIAL BELT OF MID-LATITUDE MOUNTAINS FROM A GEOECOLOGICAL POINT OF VIEW

With 4 figures and 2 tables

PETER HÖLLERMANN

Zusammenfassung: Die periglaziale Höhenstufe der Mittelbreiten-Gebirge in geöökologischer Sicht

Für die Lage und Höhengliederung der heutigen Periglazialstufe in Mittelbreiten-Gebirgen bildet das periglaziale Kaltklima zwar eine notwendige Voraussetzung, aber keine hinreichende Erklärung. Entgegen naheliegender Erwartungen fällt die größte Höhenlage der Periglazialstufe mit der höchsten Intensität des Kaltklimas zusammen (Abb. 1 u. 3, Tab. 1). Die geöökologische Diskontinuität zwischen dem Waldgürtel und der exponierten Hochgebirgsstufe (Waldgrenz-Ökoton) erweist sich als die beste Annäherung an den

Verlauf der Untergrenze der Periglazialstufe. Entlang eines erdumspannenden Latitudinalprofils bei 42–43°N lassen sich unterschiedliche klimatisch-geöökologische Typen der Periglazialstufe und ihrer Höhengliederung unterscheiden (Abb. 3 u. 4, Tab. 2). Die Höhengliederung steht jeweils in enger Beziehung zu den Vegetationshöhenstufen und wird in trocken-kontinentalen Gebirgen mit geringem Deckungsgrad der Vegetation unendlich. Bei kleinräumiger Betrachtung sind Morphodynamik und Verbreitungsmuster der periglazialen Kleinformen vornehmlich von lokalen geöökologischen Faktoren abhängig (Abb. 2). Die heutige Periglazialstufe