

*Penck*, Prof. Dr. *Walther*: Reisen in den Kordilleren Nordwestargentinens.

Vortrag, gehalten am 14. April 1919.

Bis nach Nordwestargentinien reicht das bolivianische Hochland gen Süden und trägt hier den Namen »Puna de Atacama«. Dort löst es sich auf in eine Anzahl nordsüdgestreckter Gebirgsketten und zwischenliegender Senken, die sogenannten Bolsone. Von jenen Ketten setzt sich nur die westlichste, die aus mesozoischen Schichten bestehende Hochkordillere, nach Patagonien fort. Die östlicheren Glieder, von kristallinen Gesteinen und einem Mantel kontinentaler Gondwanaschichten aufgebaut, dagegen ~~versinkt~~ eine nach der anderen in den Ebenen Zentralargentinens. Es sind die »pampinen Sierren«, wenige, ungegliederte Rumpfe, die von ferne aussehen wie auftauchende Walfischrückten. So besitzt das Gebirgssystem eine ausgeprägte Meridionalgliederung, die auch der Puna eigentümlich ist. Hier aber haben die Senken große absolute Höhe, so daß am scharfgezogenen Punarand die tiefe orographische Gliederung der pampinen Sierren einer wesentlich weniger starken Vertikalgliederung Platz macht: die Höhenlage der Senken macht die Puna de Atacama zu einem Hochland. In ihm erscheinen die Längsfurchen in der Regel als Reihen abflußloser Einzelbecken.

Die am südlichen Punarand während der Jahre 1912—1914 unternommenen systematischen Untersuchungen, die zur Aufnahme einer topographischen und geologischen Karte 1 : 200 000

geführt haben<sup>1)</sup>, haben nunmehr dargetan, daß jene auffällige Gliederung des Gebirges in Ketten und Senken erzeugt worden ist durch einen Faltungsprozeß, die »Großfaltung«, durch welche die höheren Teile der Erdkruste mit den sie bedeckenden Schichten in langgestreckte Wellen gelegt worden ist. Die Wirksamkeit dieses seit dem unteren Tertiär bis zum heutigen Tag andauernden Vorganges war in der Puna eine geringere als in den pampinen Sierren. Statt dessen erfuhr sie als Ganzes kräftige Heraushebung, der sie die große absolute Durchschnittshöhe verdankt. Unmittelbar erklärt somit die tektonische Geschichte die uns heute vor Augen stehenden orographischen Grundzüge des Gebirges: sein Landschaftsbild ist ein Strukturbild!

Für den Nachweis der obengenannten tektonischen Entwicklung erlangten die in den Senken seit langen Zeiträumen und darum ~~an~~ außergewöhnlicher Mächtigkeit aufgehäuften kontinentalen Schichten die größte Bedeutung. Denn ihre Lagerung sowie ihre fazielle Entwicklung ließ mit aller Schärfe erkennen, daß sich stets die Ketten gegenüber den Senken höher wölbten, daß ferner die Zahl der Ketten im Laufe der Zeit wuchs, indem aus den Tiefen der Mulden (Senken) neue, jüngere Sättel (Gebirge) anstiegen, welche die das Muldeninnere hochauffüllenden Schichten gleichsam durchbrachen. Einmal gebildet, behielten die Gebirge ihre steigende Tendenz bei. Im ganzen ist also eingetreten, was wir erwarten müssen von einer Scholle, die zum Beispiel durch anhaltenden Seitendruck sich in immer engere, immer zahlreichere Falten legt. Freilich erwies sich die Großfaltung nicht einfach als ein Produkt seitlichen Zusammenschubes, sondern als das Ergebnis sehr verwickelter physikalischer Vorgänge, die letzten Endes in Bewegungen des Magmas wurzeln. Darauf kann hier jedoch nicht näher eingegangen werden.

Von besonderem, weil allgemeinem Interesse ist der Umstand, daß sich die einzelnen Abteilungen der in den Senken gehäuften Schichten in Beziehung setzen lassen zu den verschiedenen alten Oberflächenformen der Gebirgsketten: nebeneinander sieht man die in verschiedenen Zeiten entstandenen Abtragungsformen und die dazugehörigen Ablagerungen<sup>2)</sup>,

---

<sup>1)</sup> Bisher sind hierüber nur zwei kleinere Schriften veröffentlicht worden: W. Penck, Hauptzüge im Bau des Südrandes der Puna de Atacama. N. Jahrb. Mineral. Beil. Bd. 38. 1914. S. 643, und Topographische Aufnahmen am Südrand der Puna de Atacama. Zeitschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1918. H. 5/6. S. 193.

<sup>2)</sup> So wie dem heutigen Relief die heute entstehenden Schuttkegel und Alluvialböden in den Bolsonen zeitlich entsprechen.

so daß sich von der tektonischen und morphologischen Entwicklung des Gebirges ein lückenloses Bild entwerfen läßt. Zwei Momente sind dabei der Analyse günstig: die Abtragungsformen, naturgemäß beschränkt auf die Ketten, die Zonen konstanter Aufwölbung, verfallen im Trockengebiet nicht so rasch der Zerstörung. Was nacheinander gebildet wurde, bleibt lange Zeit nebeneinander erhalten. Und dann bedingt das Wesen der Großfaltung — Aufwölbung der Ketten gegenüber den Senken —, daß bei den einzelnen Phasen der Gebirgsbildung randliche Teile der in den Senken angehäuften Schichtformationen noch mitgeschleppt, mit aufgerichtet wurden. Die letzte, besonders kräftige Aufrichtung führte zu tiefer, wirrer Zerschneidung der gestörten Sedimente. Sie, die heute als Badlandzonen gesetzmäßig den Fuß der stark bewegten Ketten säumen, oder im Innern der Senken den Ort bekunden, wo eine Kette im Begriffe steht, der Tiefe zu entsteigen, gewähren darum ausgezeichneten Einblick in ihre Struktur. Übereinander sieht man in jenen tiefen Aufschlüssen die Ablagerungen, die zu den nacheinander gebildeten Abtragungsformen gehören, welche letztere die Oberfläche der Gebirgsketten nebeneinander überspannen.

Das älteste Oberflächenelement ist am südlichen Punarand eine Rumpffläche von vollkommener Ausgestaltung, der ich den Namen »Punarumpf« gegeben habe. Sie nimmt nur an wenigen Stellen noch an der Oberflächengestaltung des Gebirges teil (zum Beispiel östliche Puna) und ist im übrigen erhalten dort, wo sie unter vulkanischen Bildungen (westliche Puna) oder fluviatilen Massen (pampine Sierrren) geschützt liegt. Die alte Abtragungsfläche zeigt in überraschend klarer Weise das Auf und Ab der Großfalten; sie ist, was nicht besonders überrascht, wieder wellig verbogen worden. Auf den Scheiteln der pampinen Sierrren dagegen ist der Punarumpf schon zerschnitten worden zu einem weitgeöffneten, sanft geformten Mittelgebirgsland. Es ist das herrschende Relief auch der gesamten südlichen Puna, wo nicht die ältere Rumpffläche bestimmend hervortritt. Ein drittes, jüngstes Oberflächenstadium deckt die mehrere tausend Meter hohen Flanken der pampinen Sierrren; es ist ein felsiges, steiles, wild zerrissenes Hochgebirgsrelief. Der Puna fehlt dieses ganz, weil es wesentlich erzeugt wurde durch die regionale Aufwärtsbewegung des Hochlandes, die natürlich nur an seinen Rändern, nicht aber in seinem Inneren Abtragung und Erosion beschleunigen und verjüngen konnte. Diesem Relief gehören auch die Badlands an und die jüngeren Talterrassen, die durch ihr Konvergieren

und Eintauchen in die Schuttkegel der Bolsone aufs anschaulichste die Aufwölbung der Ketten gegenüber den Senken beweisen.

Je jünger die Oberflächenformen, desto näher den Senken, desto tiefer liegen sie. Das ist nichts Neues. Die Beziehungen zu den zugehörigen Ablagerungen lassen aber erkennen, daß der Punarumpf nicht, wie man glauben könnte, das Endergebnis einer langwährenden Abtragung einst hoher Ketten darstellt, daß das Mittelgebirgsrelief nicht ein zur Reife gediehener Formenschatz ist, an dessen Stelle in frühem Stadium der Entwicklung schroffe, hohe Jugendformen sich bildeten von der Art, wie sie heute die Flanken der pampinen Sierren decken. Sondern die Rumpffläche bildete sich im selben Maße, als die überaus langsame Aufwölbung vor sich ging, das Mittelgebirgsrelief, als die Ketten etwas rascher zu steigen begannen, das Felsrelief der Flanken, als die Schnelligkeit der Bewegung ihr Maximum erreichte. So führen die morphologischen Untersuchungen zu zwei wichtigen Ergebnissen: die Entwicklung der Formen lehrt, daß die andine Gebirgsbildung von langsamen Anfängen zu raschem Höhepunkt vorschreitet, und allgemein läßt sich der Satz aufstellen, daß für die Entstehung einer Abtragungsform nicht der absolute Hebungsbetrag, sondern die Schnelligkeit der Krustenbewegung maßgebend ist.

Das Fehlen der wild durchschluchteten Felshänge an den Flanken der Gebirgsketten in der Puna schafft einen augenfälligen Gegensatz zwischen ihr und den pampinen Sierren. Am Punarand grenzen die beiden morphologischen Gebiete hart aneinander. Ungleichartig sind die Seiten dieses Randes: jäh und tief zerfurcht ist sein mehrere tausend Meter hoher Außenhang vom Gepräge der pampinen Sierren; sanft gebösch, kaum zertalt seine sanfte, nur einige hundert Meter hohe Innenabdachung, vom Landschaftstypus eben der Puna selbst. Dieser Punarand hat aber noch eine andere Bedeutung: aufs schärfste trennt er die Gebiete ausgedehnter vulkanischer Ergüsse in der Puna von den benachbarten Gebirgstteilen, die jener vulkanischen Erscheinungen so gut wie ganz entbehren. Beherrschen somit die ebenmäßigen und langgezogenen Kammlinien die Landschaft der pampinen Sierren, so ziehen in der Puna die den Gebirgsketten, den Großsätteln, aufgesetzten, unübersehbaren Scharen von Vulkankegeln das Auge auf sich. Viele von ihnen überschreiten 6000 m Meereshöhe ganz beträchtlich. Sie sind Träger ewigen Schnees. Glaziale Wirkungen haben die älteren Vulkane zu

alpinen Hochgipfeln zerschnitten; die jüngeren haben die Kegelgestalt bewahrt. Die Lagerung der Effusivprodukte ermöglicht den Nachweis, daß die Ausbrüche — es handelt sich durchweg um Gesteine aus der Familie des Andesits — in strenger Abhängigkeit von den tektonischen Bewegungsphasen erfolgten. Die kontinuierliche Abnahme der Intensität vulkanischer Tätigkeit seit dem unteren Tertiär gibt ferner der Vermutung Raum, daß der heutige Ruhezustand in der südlichen Puna das endgültige Erlöschen des Vulkanismus anzeigt. Mit regellos verteilten Basaltausbrüchen und schließlich Maar-Explosionen endete er in historischer Zeit.

Die Beschränkung vulkanischer Effusionen auf die Puna stellt zweifellos den tiefgreifendsten Gegensatz gegen die pampinen Sierras dar, der an wissenschaftlicher Bedeutung gewinnt, wenn man die Effusionen ~~ans~~faßt als das, was sie sind, nämlich die Projektion magmatischer Vorgänge der Tiefe auf die Erdoberfläche. Hierin scheint der Schlüssel zu liegen, der die tieferen Ursachen für die Verschiedenheit der tektonischen Entwicklung von Puna und pampinen Sierras dem Verständnis erschließt. Diese Fragen berühren die Wurzeln des Problems der Gebirgsbildung.

Als besondere Folgeerscheinung der orographischen Gestaltung und der durch diese bedingten klimatischen Umstände ersteht ein weiterer landschaftlicher Gegensatz zwischen hüben und drüben des Punarandes: die Schuttentwicklung in der Puna. Sie ist beschränkt auf die trockensten Anteile des Hochlandes, das ist die westliche Puna und die Leeseiten in der Ostpuna. Das Gebirge unterliegt nämlich im Sommer der Bestreichung östlicher Winde, die in der Breite des südlichen Punarandes die einzigen Regenbringer sind. In westlicher Richtung rasch austrocknend, machen sie sich doch auch noch im Innern des Gebirges morphologisch durch die Rückverlegung der Wasserscheiden auf den Ketten und durch die Beschränkung der seltenen, kurzen Rinnsale auf die östlichen Gebirgsabdachungen bemerkbar. Über der Ostwindzone liegt die Zone herrschender Westwinde, deren absteigende Tendenz in ihnen Ausläufer des Antipassates vermuten läßt. Wo jene das Gebirge bestreichen, da ist es zur absoluten Hochwüste geworden. Das ist das Gebiet des Schuttes, der — ein Gemisch grober Brocken mit Grus und Sand — das ganze Land überzieht, die bachbettlosen Täler glättet, den schuttgepanzerten Fuß der Aufragungen ertränkt und in den Senken riesenhafte Schuttkegel aufbaut, die nie von einer Spur fließenden Wassers angeschnitten worden sind. Die extreme Trockenheit bedingt die tiefgründige Aufbereitung

aller Felsarten, der Mangel jeder Auslese durch fließendes Wasser die Erhaltung der feinsten, beim Zerspringen der Gesteine entstehenden Splitter. Sie machen den Schutt beweglich. Er kriecht die Hänge abwärts, die Brocken zerkleinernd und rundend, die Masse der feinen Partikel mehrend, und fließt als langsamer Schuttstrom die Täler hinaus bis zu den feingrusigen Schuttkegeln, an deren Zusammensetzung die feinen Komponenten den Hauptanteil haben. Die Insolation ist der zerkleinernde, die Schwerkraft der treibende Faktor, die Vermischung mit Sand das Medium der Bewegung. Wo es durch geringe Feuchtigkeit gebunden oder gar ausgeschlämmt wird, da fehlen die trockenen Schuttströme, da fehlt auch die Schuttpanzerung. Das ist überall im Regime des Ostwindes der Fall. So sieht man zum Beispiel in der Ostpuna, die der Domäne der Weststürme mehr entrückt ist, im Luv der Ostwinde keine Zeichen der Schuttbildung, im Lee dagegen (in gleicher absoluter Höhe und geographischer Breite) die schönsten Schuttströme.

Schutt und Schuttströme der südlichen Puna sind das Nährgebiet für den Flugsand. Die Westwinde heben von der Oberfläche jener die feinen Partikel ab, führen sie in östlicher Richtung fort, bis sie im Windschatten zur Ruhe kommen. Windschatten gegen die Weststürme gewähren die nach Osten blickenden Gebirgshänge. Sie sind im Sommer jedoch Luvseiten der feuchteren Ostwinde. Der Flugsand kann sich darum hier nicht halten; er wird fortgespült und der Niederung zugeführt. Größere Dünenfelder können sich aus diesem Grunde in der Puna nicht bilden.

Auf der ganzen Flugbahn poliert und schürft der Sand die Oberfläche der Schuttpanzerung. Darüber hinaus vermißt man jedwede weiterreichende Marken der Winderosion in dem weiten Landstrich zwischen San Juan und der bolivianischen Grenze, dem pazifischen Ozean und dem Gran Chaco. An einer einzigen Stelle nur gehen innerhalb jenes Gebietes die Windwirkungen über ein oberflächliches Anschleifen hinaus. Durch örtliche Umstände erfährt dort die Windstärke eine außergewöhnliche Steigerung, derart, daß nicht nur Sand, sondern auch feiner Grus in Masse verfrachtet wird entlang der mehrere Kilometer langen Talstrecke, welche der Windentfaltung so überaus günstig ist<sup>1)</sup>. Nur hier sind verfestigte, poröse Tuffe — und zwar nur sie, nicht etwa die kompakteren

---

<sup>1)</sup> Es ist auch die einzige mir bekannt gewordene Stelle, an der man grusgepanzerten Dünen begegnet, die dadurch entstehen, daß leichtere Winde von der Oberfläche der Grus-Sanddünen den Sand fortführen, so daß der Grus sich anreichert.

Gesteine der Umgebung — in mehr als mannshohe, an Rippeln gemahnende Einzelformen zerschnitten worden. Die Erscheinung stellt selbst für die extrem wüste Puna eine Abnormität dar. Nach allen im Laufe von mehreren Jahren über den Gegenstand gesammelten, systematischen Untersuchungen kann ausgesprochen werden, daß der Wind in den Wüsten Westargentiniens nirgends Großformen erzeugen konnte noch erzeugte, und es muß füglich bezweifelt werden, ob er das irgendwo auf der Erde tun kann.

Von anderer Herkunft und anderer Art sind die in den Bolsonen zu ausgedehnten Dünenfeldern angereicherten Flugsandmassen der pampinen Sierras. Ihre unerschöpfliche Quelle sind die feinkörnigen Alluvionen der heißen, dornbuschbedeckten Niederungen. Südliche Tageswinde schleppen den Sand gegen den Punarand, treiben ihn das Gebirge hinan, das an jenen Stellen aussieht wie eine schneeverhüllte Landschaft (die sogenannten »Sandgletscher«), und es gibt Punkte, an denen der Sand die Höhe der Puna erreicht. Dort erfaßt ihn alsbald der Westwind und führt ihn dem gleichen Schicksal zu, das dem »Punaflugsand« bereitet wird. Niemals kann also der Sand der Niederung weiter in die Puna eindringen, wird doch schon auf der Höhe des Punarandes seine Süd-Nordbahn nach Osten abgelenkt. Es resultiert eine Verlagerung feiner Bestandteile aus den Bolsonsedimenten von West nach Ost über den Umweg über die südliche Puna. Unansehnlich im Vergleich zu den die Gebirgsoberfläche auch in der Wüste gestaltenden Faktoren — gelegentlich fließendes Wasser und trockene Schuttbewegung — ist jene Verfrachtung von Flug-sand. Keinerlei bleibende Marken hinterläßt sie darum im Landschaftsbild der pampinen Sierras und der Puna. Gegensätzlichkeit ist der Grundzug in der äußeren Erscheinungswelt des Landes. Dem Reisenden erscheinen die pampinen Sierras mit ihren langgezogenen Ketten und schroffen Abstürzen, mit den heißen Niederungen, dem dürrtigen Pflanzenkleid und den segensreichen Oasen und die extrem trockene Puna mit ihren abflußlosen, von blendend weißen Salzseen erfüllten Einzelbecken, mit ihrem älteren, schuttgepanzerten Relief und den die völlig kahlen Senken und Ketten überragenden, schneegekrönten Vulkanen wie zwei Welten, die einander ausschließen. Fühlbar wird ihm dieser schroffe Gegensatz durch die Verschiedenheit der Erlebnisse hier und dort, die Ungleichartigkeit der Mühen, die eine fest umrissene Aufgabe im Grenzgebiet des Punarandes verursacht, und deren Überwindung eine Umstellung reisetechnischer Erfahrungen und

Dispositionen auf der Höhe des Punarandes erfordert. Und doch führte die Untersuchung zu dem Ergebnis, daß grundsätzlich gleiche Strukturen, gleiche Entwicklung beide Anteile der Anden beherrschen; das Unterscheidende beruht allein auf dem verschiedenen Ausmaß der tektonischen Vorgänge und ihrer Ursachen, wie sie in den pampinen Sierrren und in der Puna de Atacama zur Auswirkung gekommen sind.

*Walther*, Prof. Dr. J. (Halle): Der Beginn der nordischen Vereisung.

Vortrag, gehalten am 5. Mai 1919.

Die Zeitwende zwischen Pliozän und Diluvium ist vom geologischen wie biologischen Standpunkte von besonderem Interesse. England war noch landfest mit Frankreich verbunden die Nordsee bildete eine geschlossene Bucht, und die Ostsee existierte noch nicht. Ein alter Rhein floß mit der Themse nach Norden und mündete dann an der Doggerbank, ein »Gegenrhein« floß von Norden nach der Rhône. Von großer Wichtigkeit war ein durch die postdiluviale Senkung des Ostseebeckens ertrunkener Baltischer Urstrom, der Skandinavien, Finnland und die Ostseeprovinzen entwässerte. Das Klima war mild; viele jetzt nicht winterharte Pflanzen gediehen in Deutschland. *Elephas primigenius* lebte in Italien, Deutschland und England zusammen mit *Hippopotamus*. Die wichtigste Veränderung bei Beginn des Diluviums war die Verwandlung der Regenniederschläge in Schnee und damit des humiden Kreislaufes in den nivalen. Dadurch wurde die Flora vernichtet, die Fauna zu ausgedehnten Wanderungen veranlaßt, und ganze Tiergenossenschaften von ihrem früheren Wohnplatz abgedrängt. So geriet *Ovibos* in die nordische Schneeregion, *Hippopotamus* zog sich nach Afrika zurück. Der vielrassige Mamut lebt mit einer lebenszähren Rasse als *E. indica* noch heute in Indien. Sein Haar war dunkelbraun, sein Futter bestand aus den Blütenpflanzen mooriger Waldwiesen, und die im sumpfigen Boden versunkenen »Moorleichen«, die man in Sibirien und Alaska weit außerhalb der diluvialen Eisdecke findet, sind erst später mit dem sie umhüllenden Boden gefroren.