

ÜBER
DILUVIUM
IN
SÜD-AMERIKA



VON
G. STEINMANN.

Herr **STEINMANN** spricht über **Diluvium in Südamerika** unter Vorführung von Lichtbildern.

Für die Lösung wichtiger Fragen der Diluvialgeologie ist kein zweiter Kontinent in gleichem Maße geeignet wie Südamerika, denn nur dieses enthält ein Gebirge, das sich mit bedeutender durchschnittlicher Erhebung ohne Unterbrechung von hohen Breiten der Südhalbkugel (56° S. B.) über den Äquator hinweg bis zu 10° N. B. erstreckt. Dieser Umstand gestattet ein schrittweises Verfolgen der diluvialen, ganz besonders der glazialen Erscheinungen im Hochgebirge unter stetig wechselnder Breite im Bereiche beider Halbkugeln. Zugleich ermöglicht es der meridionale Verlauf der Kordillere, von der die Eismassen gegen O und W abgeflossen sind, die gegenseitigen Lagenbeziehungen zwischen den glazialen und fluvioglazialen Absätzen einerseits und den äologlazialen andererseits unzweideutiger festzulegen als auf der Nordhalbkugel. Denn hier verlaufen die Gebirge größtenteils in der Richtung der Breitengrade und die Inlandeismassen der Diluvialzeit haben sich hier vorwiegend in der Richtung vom Pol zum Äquator bewegt.

Wollen wir die Diluvialbildungen Südamerikas mit denen der Nordhalbkugel vergleichen und aus diesem Vergleiche Folgerungen von allgemeiner Bedeutung ziehen, so haben wir vor allem festzustellen, ob sich die wichtigsten Klassen der kontinentalen Absätze, die wir auf der Nordhalbkugel unterschieden haben, dort wiederfinden, weiterhin ob und inwieweit sie bezüglich ihrer Erscheinungsform und ihrer Gliederung in beiden Gebieten übereinstimmen. Das wären, wenn wir von den marinen Bildungen absehen, die folgenden vier Hauptgruppen, die ich als glaziale, fluvioglaziale, limnoglaziale und äologlaziale unterscheidet. Bisher hat man wesentlich nur den glazialen Bildungen einige Aufmerksamkeit geschenkt, über die anderen sind wir noch wenig genau oder gar nicht unterrichtet. Aber ihre Bedeutung ist gerade für die Probleme allgemeiner Natur erheblich, und darum hatte ich auf meiner letzten Reise, die ich mit Unterstützung der Gr. Badischen Regierung und in Begleitung der Herren Dr. HOEK und † Dr. v. BISTRAM vor drei Jahren unternommen habe, auf diese Erscheinungen meine besondere Aufmerksamkeit gerichtet. Zur Vervollständigung des Gesamtbildes beginne ich mit einem Überblick über

1. Die glazialen Bildungen,

die wir über einen sehr großen Teil des bolivianischen Hochlandes hinweg, ferner in Mittelperú, untergeordnet auch in Chile

und Argentinien untersucht haben. Ich darf nicht unerwähnt lassen, daß gerade an dem Studium der glazialen und fluvio-glazialen Bildungen in Bolivia und Perú sich meine beiden Begleiter, i. B. Herr Dr. HOEK, lebhaft und erfolgreich mit beteiligt haben.

Schon auf den Expeditionen der Astrolabe und der Beagle, welche im 1. Drittel des vorigen Jahrhunderts die Südspitze des Kontinents durchforschten, wurde durch GRANGE und DARWIN festgestellt, daß Geschiebelehm und erratische Blöcke im Tieflande Südpatagoniens, im Feuerlande und an der Westküste bis nach Chiloë (41° S. B.) hinauf verbreitet sind, und es ist auch schon damals besonders von DARWIN auf die Übereinstimmung hingewiesen worden, die zwischen den Gebilden des Südens und des Nordens besteht. Doch wollen wir uns dabei erinnern, daß damals die Erklärung für die glazialen Erscheinungen in der Drifttheorie gesucht wurde.

Auch in niederen Breiten, sogar innerhalb der Wendekreise, hier freilich nur in Höhen von 4000 m und darüber, erregten die Glazialerscheinungen früh die Aufmerksamkeit der wissenschaftlichen Reisenden. Angesichts der gewaltigen Endmoränen und der zahlreichen mächtigen erratischen Blöcke, die in der nächsten Umgebung der bekannten Bergwerkstadt Potosí ($19\frac{1}{2}^{\circ}$ S. B.) zu sehen sind, warf schon 1842 D'ORBIGNY die Frage auf, ob sie nicht das Erzeugnis früherer Gletscher seien. Aber es vergingen noch über 30 Jahre, bis im eigentlich äquatorialen Gebiete echte Glazialerscheinungen gefunden und einwandfrei als solche gedeutet wurden. Der vielseitige Naturforscher und verdienstvolle Erforscher Perús, ANTONIO RAIMONDI hat in seiner Monographie des Departements von Ancachs aus dem Jahre 1873 anschaulich geschildert, wie unter $9\frac{1}{2}^{\circ}$ S. B. von der über 6000 m hohen Cordillera Nevada sich vielerorts an unzweifelhaften Moränen die Spuren früherer Eisströme bis tief in die Täler hinab verfolgen lassen. Diesem aufmerksamen Beobachter ist es aber auch nicht entgangen, daß zwischen der tiefst gelegenen Endmoräne und den heutigen Gletschern sich zwei scharf getrennte Rückzugsmoränen einschalten, wie sie erst viel später in unseren Gebirgen nachgewiesen worden sind.

Diese wichtigen Beobachtungen sind freilich in Europa unbekannt geblieben, und daher hat SIEVERS 12 Jahre später die glazialen Erscheinungen in der äquatorialen Cordillere neu entdecken müssen. Mitte der 80er Jahre haben sodann PENCK und SIEVERS auf die Bedeutung der Eiszeitspuren für unsere allgemeinen Vorstellungen von den klimatischen Änderungen zur Diluvialzeit aufmerksam gemacht.

Heute liegen nun schon zahlreiche weitere Beobachtungen über Glazialbildungen aus den verschiedensten Teilen der Kordillere vor. In Patagonien sind sie wiederholt untersucht, an verschiedenen Punkten der Kordillere von Argentinien und Chile verfolgt, in Bolivia, Perú, Ecuador und Columbia sicher festgestellt, so daß wir heute als feststehendes Ergebnis erklären können: Spuren der Eiszeit reichen über den ganzen Gebirgszug von Kap Horn (56° S. B.) bis zur Sierra Nevada de Sta. Marta (11° N. B.). An der patagonischen Westküste haben geschlossene Inlandeismassen das Archipelgebiet bis nach Chiloë hinauf überdeckt, während im patagonischen Tieflande die östliche Grenze des Inlandeises sich schon bald nördlich der Magalhãesstraße (ca. 52° S. B.) von der Küste gegen den Kordillerenabhang hin zurückzuziehen beginnt. Die durch Eiserosion und z. T. auch durch Moränenabdämmung erzeugten Randseen der Kordilleren reichen etwa bis zu 40° S. B., von hier an ziehen sich die glazialen Erscheinungen immer tiefer in das Gebirge zurück und endigen in immer größerer Meereshöhe. In der niederschlagärmsten Region der Westkordillere zwischen 26 und 18° S. B. scheinen sie an Einzelbergen von weniger als 5000 m Meereshöhe ganz zu fehlen, während von gleich hohen Bergmassen der regenreicheren Ostkordillere die Moränen bis unter 3000 m hinab verfolgt werden können.

Wo sich das Eis als Inlandeis über ein Tiefland hat ausbreiten können, wie im Magalhães-Gebiete, entsprechen die Glazialbildungen denjenigen Norddeutschlands oder des nordamerikanischen Seengebiets. Wo sich das Eis in tiefen Tälern ins Meer senkte, wie im patagonischen Archipel, wiederholt sich die Fjordlandschaft Norwegens oder Alaskas. In den niederschlagsreichen Teilen der Kordillere des mittleren Patagoniens und Südchiles erscheinen die Randseen vom Charakter der alpinen, umkränzt von gedrängten Endmoränenzügen von geringer oder mittlerer Höhe. Wo aber im trockenen Hochgebirge Boliviens die Eisströme am Ausgange der Täler auf die Hochfläche durch die tropische Sonne rasch zum Abschmelzen gebracht wurden, da erreichen die Endmoränenwälle eine ungewöhnliche Höhe, da erscheint der Typus des Amphitheaters von Ivrea. So wiederholen sich die verschiedenen Typen der Nordhalbkugel in der Kordillere unter ähnlichen orographischen und klimatischen Bedingungen. Aber die Übereinstimmung greift noch tiefer. In der magalhänischen Region kehrt die Erscheinung der Seenplatte, wenn auch in verkleinertem Maßstabe wieder, und nicht nur in der südlichen, sondern weit

verbreitet auch in der äquatorialen Kordillere finden wir den Typus der kleinen, oft geselligen, in Fels ausgeschliffenen Glazial-Seen, der „tarns,“ wieder; ihre Verbreitung fällt überall mit der nachweisbaren Ausbreitung früherer Gletscher zusammen, was besonders deutlich im Hochgebirge Perús mit seinen zahlreichen Hochseen erkannt werden kann.

Der Erhaltungszustand der jungglazialen Moränen und der glazial bearbeiteten Felsoberflächen in Südamerika verdient im Vergleich mit denselben Bildungen auf der Nordhalbkugel hervorgehoben zu werden: In beiden Gebieten zeigt sich dieselbe relative Frische, die mit Annäherung an die Ausgangsgebiete der Vereisung zunimmt. Die Übereinstimmung ist so auffallend, daß mir schon im Jahre 1883 bei der Durchforschung des Magalhães-Gebietes ernste Bedenken gegen eine abwechselnde Vereisung der beiden Halbkugeln auftauchten. Die äußersten unverwaschenen Moränen und Schotter besitzen hier wie dort in niederschlagsreichen Gebieten eine oberflächliche Verwitterungsschicht bis zu etwa einem halben Meter, und diese ist in kühlen bis gemäßigten Klimaten grau bis braun, limonitisch wie wir sagen können, im Gegensatz zu der lateritischen, rotbraun gefärbten Zersetzungsdecke, der wir in den tropischen Gebieten überall begegnen, wo die betr. Bildungen in niederschlagsreichen Klimaten tief herabreichen. Geringe Niederschläge und das damit verbundene Zurücktretten von Vegetation reduzieren begreiflicher Weise die Bildung der Zersetzungsdecke auch auf den äußersten Moränen auf einen minimalen Betrag. Das tritt z. B. in der regenarmen Westkordillere Bolivias, sogar noch in der etwas feuchteren Kordillere von Potosí deutlich zu Tage.

Somit drängt der Erhaltungszustand der Glazialbildungen in Südamerika zu dem Schlusse, daß ihre Entstehung weder in eine weiter zurückliegende, noch in eine erheblich jüngere Periode fallen kann, als unsere „Glazialzeit“. Bei der Komplexität unserer Glazialbildungen müssen wir uns aber erst darüber vergewissern, ob wir auch Gleiches mit Gleichem zusammenstellen. Wie in unseren Hoch- und Mittelgebirgen, die früher vergletschert gewesen sind, dominieren auch in der Kordillere die unverwaschenen Moränen der letzten Eiszeit und die glazialen Landformen, die in ihrem Bereiche auftreten. Alles ältere tritt dagegen so sehr in den Hintergrund, daß es nur durch systematisches Nachforschen gefunden wird. Vor allem sind es die am weitesten vorgeschobenen der auffälligen und frischen Endmoränenzüge, außerhalb derer wie bei uns nichts ähnliches mehr gefunden wird, die uns leiten und die wir als Grenze der letzten Vereisung nehmen. Sie ent-

sprechen den Würmmoränen des alpinen Gebietes auch insofern, als sich hinter ihnen mindestens 2 weitere ähnliche, noch frischere, aber verkleinerte Rückzugsmoränen einschalten. Solche Rückzugsmoränen sah ich schon im Jahre 1883 als Umrandung einiger Seen der patagonischen Kordillere unter 51° S. B., RAIMONDI hatte schon früher 2 derartige Rückzugsmoränen in Nordperü festgestellt, H. MEYER fand sie in Ecuador, und wir beobachteten sie jetzt in klarster Ausbildung im Tunarigebirge bei Coclambamba und in anderen Teilen der bolivianischen Ostkordillere. Selbst wenn man die Kordillere zwischen Mendoza und Santiago mit der Bahn quert, kann man die 1. Rückzugsmoräne kaum übersehen, die vom Aconcagua her durch den Valle de los Hornos in das Tal des Mendoza-Flusses oberhalb der Incabäder herabgeschoben ist.

2. Die fluvioglazialen Bildungen.

An die äußersten Endmoränen der letzten Eiszeit schließen sich im Hochgebirge der Kordillere überall geschlossene Schotterflächen an, die ihrer Ausdehnung und ihrem Erhaltungszustande nach unseren Niederterrassen entsprechen. Je nach der Lage der Endmoränen im Terrain und nach der Form der Abflußrinnen wechselt ihre Beschaffenheit und Gestaltung. Wo die Moränen gerade bis an den Rand des Gebirges herausgetreten sind, nehmen die Schotter die Form immenser flacher Schuttkegel an, die sich in das Vorland vorschieben, einerlei ob dieses das östliche argentinisch-patagonische Tiefland, die beckenartige Talerweiterung von Cochabamba in 2600 m Höhe oder die Hochfläche des Alto Perú am Titicacasee von fast 4000 m Meereshöhe ist. In steil geneigten Tälern sind wie bei uns nicht nur die Moränen häufig ganz entfernt, sondern ebenso die oberen Teile der Schotterterrassen, so daß ihr oberes Ende nicht durch die Lage der Endmoränen, sondern wesentlich nur durch den Betrag der postglazialen Erosion bestimmt wird.

Wesentlich fluvioglazialer Entstehung sind die Ausfüllungen der zahlreichen und z. T. sehr ausgedehnten Becken in dem niederschlagsarmen Gebiete der Hochkordillere zwischen dem 15° und 25° S. B. Wo diese Beckenauffüllungen durch die jetzige Erosionstätigkeit angeschnitten sind — das ist in der Ostkordillere Bolivias und Nordargentiniens mehrerorts der Fall — enthüllt sich ihr fluvioglazialer Aufbau aufs deutlichste. Bis zu mehreren hundert Metern Mächtigkeit erreichen die Wechselagen von Geröll, Sand und Lehm. Dabei wächst der Durchmesser der Gerölle gegen die umrandeten höheren Gebirgsketten zu, die im Bereiche der Vergletscherung gelegen waren. Alles

das Material, das unter normalen Verhältnissen durch Schmelzwasser in einzelnen Talrinnen als Schottermassen abwärts geführt worden wäre, hat sich in diesen Gebieten infolge unzureichender dauernder Niederschläge, z. T. auch infolge von Talversperrungen durch vulkanische und tektonische Vorgänge zu den gewaltigen Beckenauffüllungen angehäuft, aus denen selbst hohe Berge oder Gebirgsketten nur noch inselartig herausragen. Auf diese fast ebenen, in Wirklichkeit aber aus zahlreichen flachen, parallelen oder konvergierenden Schotterkegeln zusammengesetzten Hochflächen bezieht sich wohl ursprünglich die Quechua-Bezeichnung „pampa“ (Ebene). Zum Unterschiede von der Pampa des Tieflandes, für die diese Bezeichnung jetzt auch im Gebrauch ist, kann man sie zweckmäßig „Hochpampa“ nennen. Auch dort, wo das Material der Beckenauffüllungen etwas feinkörniger wird, vorwiegend sandig-lehmiger Natur ist und dann auch zahlreiche Reste diluvialer Säuger birgt, wie im Becken von Tarija, hat es nichts mit dem Pampaslehm des Tieflandes gemein, der vorwiegend äologlazialen Ursprungs ist. Die genetische Gleichstellung beider, schon von D'ORBIGNY angebahnt und von vielen anderen Forschern, auch früher von mir, vertreten, ist irrig, worauf weiter unten zurückzukommen ist.

Im Vorlande der argentinisch-patagonischen Kordillere breiten sich die Schotter ähnlich wie am Nordrande der Alpen in weiten Flächen aus, und hier kehrt auch die Sonderung in ältere, höher gelegene und stärker zersetzte und in jüngere, tiefer gelegene und frische wieder. Vereinzelt habe ich auch ältere Schotter und Moränen in höherer Lage in den Kordilleretälern unter niederer Breite angetroffen (Copiapó, Tarija) und daraus schon 1892 auf das Vorhandensein einer älteren und einer jüngeren Vereisung in Südamerika geschlossen. NORDENSKJÖLD konnte eine derartige Zweiteilung für das Magalhães-Gebiet bestätigen und gelangte auf diese Weise auch zu einer plausiblen Deutung der sog. patagonischen Geröllformation, die den älteren und jüngeren Schottern des nördlichen Alpenvorlandes analog entstanden zu denken ist. Eine zweimalige Vereisung glaubten auch CONWAY in Bolivia und H. MEYER in Ecuador feststellen zu können, letzterer freilich nicht durch den Nachweis verschiedenalteriger Schotter oder Moränen, sondern nur auf Grund getrennter Erosionsvorgänge, die eine solche Schlußfolgerung zu erfordern scheinen. Wir haben auf unserer Reise ältere Schotter bei Tarija, ältere Moränen an der NW-Seite der Nevados de Quimza Cruz feststellen können; es kann daher nicht mehr zweifelhaft sein, daß — natürlich abgesehen von den Rückzugsphasen der letzten Eiszeit — eine Mehrheit von Eiszeiten in verschie-

denen Gegenden Südamerikas bestanden hat. Die ungeheure Mächtigkeit der fluvioglazialen Beckenauffüllungen in der Kordillere und die gewaltige Ausdehnung der patagonischen Geröllformation finden, wie mir scheint, eine zutreffende Erklärung auch nur unter dieser Voraussetzung.

Außer den bis jetzt besprochenen Moränen und Schottern treten nun aber im Bereiche der Kordillere Ablagerungen auf, die man ihrer Beschaffenheit nach als diluvial bezeichnen müsste; denn sie bestehen wie jene aus meist geschichteten, lockeren Block- und Geröllmassen mit mehr oder minder reichlicher Beimischung von Sand und Lehm, und nichts deutet darauf hin, daß sie eine andere Bildungsweise erfordern als die sicher diluvialen Gebilde. Aber sie sind älter als diese. Sie füllen hauptsächlich die tieferen Teile der durch diluviale Schotter hoch aufgefüllten Täler der argentinisch-bolivianischen Ostkordillere, oder sie bilden auf dem Hochlande Bolivias mehr oder weniger geneigte und zerstückelte Tafellandschaften (tabladas). Mancherorts sind sie bis zu senkrechter Stellung aufgerichtet und die Diluvialschotter liegen ausgesprochen diskordant über ihnen, an anderen Orten, wie im La Paz-Tal, werden sie von mächtigen Verwerfungen durchsetzt. Im Gegensatz zu den diluvialen Schottern und Sanden, die die Pampasfauna beherbergen, haben sie sich bis jetzt als fossilfrei erwiesen. Ein weiteres Merkmal, das sie auszeichnet, besteht in der nie fehlenden Beteiligung von andesitischem Material in der Form von großen Blöcken bis zu mächtigen Tufflagen. Hat auch die vulkanische Tätigkeit in der Kordillere, wie es scheint, während der ganzen Diluvialzeit nie geruht — die meisten Vulkankegel zeigen deutlich die Spuren der letzten Vereisung — so treffen wir doch in keiner anderen Diluvialablagerung eine so allgemeine Beteiligung vulkanischen Tuffmaterials an. BRACKEBUSCH und BODENBENDER haben diese Bildungen als jungtertiär bezeichnet, aber ihren diluvialen Habitus hervorgehoben. Ich möchte diese Jujuy-Schichten, wie ich sie nenne, im Vergleich mit europäischen etwa dem älteren Deckenschotter zur Seite stellen. Im wesentlichen handelt es sich um die älteste fluvioglaziale Bildung: BODENBENDER betont für manche Vorkommnisse auch den moränenartigen Habitus, im besonderen die gewaltige Größe der Blöcke.

3. Die limnoglazialen Bildungen.

Ähnlich wie im großen Becken Nordamerikas finden sich auch auf der abflußlosen Hochfläche Bolivias die Spuren sehr ausgedehnter Süßwasserseen, und hier wie dort erscheinen die heutigen Salzseen und -sümpfe, in derer weiterer Umgebung die

Anzeichen der Diluvialseen sichtbar werden, als deren letzte Eindampfungsreste. Der Boden in der Umgebung der heutigen Salzseen Bolivias und Argentiniens ist häufig auf ~~viele~~ Strecken hin eben wie ein Tisch und besteht aus einem weißlichen, staubfeinen, kalkreichen Schlamm, der in der Nähe der einschließenden oder inselartig aus der Hochfläche aufragenden Berge und Gebirgszüge unter flachen Schuttkegeln aus Sand und Geröllen verschwindet. Etwa 50 m über den ebenen Böden der bolivianischen Hochfläche ziehen helleuchtende, weiße Bänder aus Kalktuff an den Berghängen entlang, und dieses Gestein bedeckt auch kappenartig die kleinen Berge, welche bis zu dieser Höhe aus der Hochfläche aufragen. Mehrfach beobachtet man zwei deutlich sich abhebende Terrassen am Profil der Inselberge, und Strandgeröll bedeckt sie, ein sicheres Anzeichen eines früher höheren Wasserstandes.

Über die Natur der Seen, die diese Spuren zurückgelassen haben, geben die Kalktuffabsätze selbst am besten Aufschluß. Sie enthalten Hohlräume und Abdrücke von schilffartigen Pflanzen, an manchen Stellen wimmeln sie von den zierlichen Schalen einer *Bithynia*. Am verbreitetsten ist ein dichter steiniger Tuff, seltener ein dendritischer, beide vollständig übereinstimmend mit den beiden gemeinen Tuffarten aus den Diluvialseen des Großen Beckens. Zu meinem nicht geringen Erstaunen fand ich aber auch auf dem alten Seeboden des Lago de Bistram bei den Lagunen von Tacsará zwischen Tarija und Jujuy eine Tuffart, die bisher ausschließlich aus den Mono und Lahontan Lake des Großen Beckens bekannt geworden ist, den rätselhaften Tinolith. Die bis zollangen Kristalle besitzen bei gleichen Flächen auch die gleiche pseudomorphe Struktur wie die in Nordamerika, aber über die ursprüngliche Zusammensetzung des Minerals gewähren sie keine neuen Aufschlüsse (ob wirklich wie vermutet $\text{CaCO}_3 + \text{CaCl}_2$?). Während die normalen Kalktuffe offenbar wie in Nordamerika aus Süßwasserseen abgesetzt sind, spricht das Vorkommen des Thinoliths dicht über dem Niveau einer salzigen Lagune für seine Bildung aus salzreichem Wasser. Es besteht also, soweit es sich um die Natur der Absätze handelt, vollständige Übereinstimmung mit den Verhältnissen des nordamerikanischen Westens.

Aber auch das Verhältnis der heutigen Salzseen und -sümpfe der Hochfläche Bolivias zu den Seen der Diluvialzeit ist dasselbe wie dort: sie füllen die tiefsten Stellen derselben aus und müssen als ihre Eindampfungsreste aufgefaßt werden. Nach ihrem Schwinden haben in beiden Gebieten keine anderen Veränderungen mehr Platz gegriffen als die Bildung „alluvialer“ Schuttkegel an den Rändern der Becken. Damit dürfte auch über die Gleich-

zeitigkeit der Vorgänge in beiden Gebieten kein Zweifel mehr bestehen bleiben.

Der größte Teil der Hochfläche Bolivias scheint von einem einzigen großen, in seiner Mitte durch die Landenge von Salinas de Garci Mendoza ($19^{\circ}40'$) brillenartig eingeschnürten Süßwassersee bedeckt gewesen zu sein. Die Reste der Nordhälfte, die nach ihrem ersten Entdecker Lago Minchin heißen sollte, sind jetzt noch im Lago de Poopó (Pampa Aullagas) und im Salar de Coipasa erhalten, die der Südhälfte, des Lago Reck, in dem großen Salzsumpf von Uyuni und seinen südlichen Annexen. Jeder dieser beiden Teile besaß ungefähr die Größe des heutigen Titicacasees, jedenfalls aber viel geringere Tiefe als dieser. Kleine derartige Seen scheinen in großer Zahl im N, W und S jener beiden großen Wasserkörper bestanden zu haben, aber je kleiner der Umfang war, um so stärker sind die Spuren verwischt worden. Alles spricht dafür, daß die kleinen Salz- und Boraxseen der Westkordillere die geologischen Äquivalente der großen Salzseen und -sümpfe der Hochfläche darstellen, und durch sie werden wir hinübergeleitet zu den Salpeterbecken der Wüste Atacama, deren Erklärung mir nur nach Analogie der geschilderten Verhältnisse der Hochfläche möglich scheint.

4. Die äologlazialen Bildungen.

Die Ähnlichkeit des Pampaslehms mit dem europäischen Löß ist fast ebenso früh erkannt worden, wie die Übereinstimmung zwischen den Moränen und erraticen Blöcken in beiden Gebieten. Als Berichterstatter der Pariser Akademie über die Reiseergebnisse D'ORBIGNYS führte schon im Jahre 1843 ELIE DE BEAUMONT aus, daß sich im südamerikanischen Tieflande die beiden merkwürdigen Bildungen getrennt neben einander finden, die Geröll- und Blockmassen im Süden, der Pampaslehm im Norden, ja er drang bis zum eigentlichen Kerne des Lößproblems vor, als er die Frage nach den Beziehungen zwischen beiden aufwarf und feststellte, daß in Südamerika ebenso wie in Nordamerika und Europa beide immer in der Richtung vom Pol zum Äquator auf einander folgen, und daß die eine erst dort anfängt, wo die andere aufhört. Das gilt auch heute noch unbeanstandet, wenn wir nur die großen Vereisungsgebiete und die zusammenhängenden Lößgebiete im Auge haben.

Ein Vergleich des eigentlichen Pampaslehms in Argentinien — er fehlt in Patagonien wie in der Kordillere — mit dem europäischen, i. b. mit dem oberrheinischen Löß weist viele überraschende Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede auf. Wir haben in beiden Gebieten Löß mit gleichmäßig verteiltem Kalkgehalt

und kalkfreien Lößlehm, ferner *tosca*, d. h. Kalkkonkretionen, die aus der Entkalkung der jeweils zu Tage liegenden Lößlagen entstanden sind; ferner gibt es Lößlagen, die nur kleine Toskaknollen und solche, die sehr große, zuweilen in Bänken vereinigt, enthalten. Ein auffallender Unterschied ist aber in der festen, man möchte sagen steinartigen Beschaffenheit vieler Teile des Lößlehms in Argentinien gegeben, sowie in dem häufigen Vorkommen gangartig auftretender Toskaplatten, die man bei uns nur in festen Gesteinen im Liegenden des Löß antrifft. Ich glaube, daß die erwähnten Unterschiede vielleicht zum Teil in einer etwas anderen Durchschnittszusammensetzung des Materials, hauptsächlich aber darauf beruhen, daß der Löß in Südamerika in geringeren Breiten als bei uns, hauptsächlich zwischen dem 40. und 30. Grad, auftritt, d. h. in Gegenden zum Absatz gekommen ist, wo die Sonne den Boden viel stärker und bei den herrschenden klimatischen Verhältnissen viel andauernder erwärmt und austrocknet, als in unseren regenreicheren Klimaten. Daraus resultiert eine festere, unvollkommen gebrannte Masse. Erinnern wir uns dabei an die reichliche und erfolgreiche Verwendung sowie an die große Widerstandsfähigkeit der lufttrockenen Ziegel (*adobe*) in jenen Ländern, so wird uns auch die Eigentümlichkeit des dortigen Lößlehms verständlich. In dem rissigen und klüftigen Gestein scheidet sich die *tosca* auch gangförmig aus.

Sehen wir aber von diesen habituellen Unterschieden ab und richten wir unser Augenmerk auf die Stratigraphie des Pampaslehms, so treten weitere bemerkenswerte Übereinstimmungen hervor. In den Depressionen der Pampa findet sich häufig, den Boden von Sümpfen bildend oder alte Rinnen füllend, ein Abspülungsprodukt des eigentlichen Pampaslehm, die Stufe des *Postpampeano* oder *Pampeano lacustre*, eine Bildung von örtlicher, nicht allgemeiner Verbreitung. Nach Beschaffenheit und Auftreten läßt sich dieser Absatz mit unserem verschwemmten Löß und Lehm vergleichen, der auch alte Rinnen füllt oder der sich als dünne, schuttkegelartige Decke über die randlichen Teile der Niederterrasse ausbreitet. Der echte Pampaslöß und -lehm ist älter; er besitzt wie unser Löß und Lößlehm eine ursprünglich universionelle Verbreitung innerhalb weiter Gebiete, überkleidet deckenartig Berg und Tal und fehlt nur dort, wo sich aus den orographischen und hydrographischen Verhältnissen die nachträgliche Entfernung leicht erklärt. S. ROTH unterscheidet darin eine obere, mittlere und untere Pampasformation (AMEGHINO nennt die mittlere *Pampeano inferior*, die untere Monte Hermoso-Schichten).

Die obere Pampasformation gleicht in Lagerung und Be-

schaffenheit unserm jüngeren Löß. Sie ist meist locker und kalkreich, trägt eine braune Lehmdecke, läßt keine weitere durchgehende Gliederung nach Toskazonen erkennen und enthält, so weit meine Beobachtungen reichen, nur kleine Toskaknollen, nie sehr große, geschweige denn geschlossene Bänke davon. Die mittlere Abteilung im Sinne ROTHs ist komplizierter gebaut. An den Steilabstürzen der Küste im Süden von Cabo Corrientes sieht man in einem über 15 m hohen Aufschluß rotbraun gefärbte Verwitterungslagen ohne Toska mit helleren toskareichen mehrmals wechsellagern. Die Toskaknollen erreichen z. T. gewaltige Größe und schließen sich nicht selten zu Bänken zusammen. Das sind die unverkennbaren Merkmale des Älteren Löß im Oberrheingebiet. Der *Pampeano inferior* weicht von den beiden jüngeren Stufen auffällig ab. Es ist ein leberbrauner, stiftiger Lehm, dem Basaltton habituell ähnlich; seine Klüfte und Risse sind mit bizarren Toskaplatten erfüllt. Aus unserer Lößformation kenne ich nichts, was ihm gleicht. Worauf seine besondere Beschaffenheit zurückgeht, wurde mir klar, als Herr S. ROTH mir und Herrn LEHMANN-NITSCHE die Stellen zeigte, an denen AMEGHINO in dieser ältesten Pampasschicht an künstlichen Schlacken und gebrannten Steinen die Spuren menschlicher Tätigkeit erkannt zu haben glaubte. Schichtweise liegen dort bis walnußgroße Brocken von unverkennbar schwarzer, brauner und roter Lava in braunem Ton. Mag man sie als Auswürflinge deuten, die von der über 1000 m weit entfernten Cordillere durch die Luft hierher geschleudert wurden, oder mag man, was mir wahrscheinlicher dünkt, an ein Verfrachten der porösen Lava durch Flüsse denken, auf alle Fälle bezeugen diese Vorkommnisse, daß zur Bildungszeit des *Pampeano inferior* eine sehr rege vulkanische Tätigkeit herrschte, und es wird dadurch wahrscheinlich, daß sich vulkanische Asche an der Zusammensetzung der tiefsten Lagen in reichem Maße beteiligt hat. So wird denn auch ihre eigenartige Beschaffenheit verständlich.

Als Gesamtergebnis unseres Vergleichs läßt sich folgendes aussagen: Die mittlere und obere Pampasformation entsprechen dem Älteren und Jüngeren Löß des Oberrheingebiets, der *Postpampeano* gleicht unseren verschwemmten Lößmassen. Die älteste Abteilung Argentiniens tritt aber in unverkennbarem Gegensatz zu den übrigen; es ist auch unsicher, ob sie eine ähnlich allgemeine Verbreitung besitzt wie jene. In den Lößprofilen der Gegend von Córdoba, die BODENBENDER so sorgfältig studiert hat, lassen sich alle Abteilungen der Pampasformation trotz der dort vorherrschenden fluviatilen Fazies wieder erkennen, die älteste Stufe aber nicht. Diese werden wir

vielmehr am besten mit den Jujuy-Schichten auf gleiche Linie stellen, zumal da die Bildung beider in eine Zeit besonders starker vulkanischer Tufferuptionen fällt. Wie die Äquivalente der grobkörnigen Jujuy-Schichten in Europa in den ältesten Deckenschottern zu suchen sind, so müssen zum Vergleich der Mte. Hermoso-Stufe wohl jungpliocäne Sande oder Tuffe herbeigezogen werden.

Aus unserem Vergleiche ergibt sich aber ein wichtiges Resultat: es besteht zwischen den Lößgebieten Argentinien und des Oberrheingebiets eine weitgehende stratigraphische Übereinstimmung, die unerklärlich wäre, wenn der Löß beider Gebiete nicht auf die gleiche Weise und nicht gleichzeitig entstanden wäre.

Welche Aufschlüsse liefert uns nun Südamerika über die Bildungsweise des Löß? Wasser und Wind haben zusammengewirkt, lautet gewöhnlich die Antwort, und die einzelnen Beobachter differieren nur darin, welcher Anteil dem einen und dem anderen Faktor zugeschrieben werden soll. Für das Auftreten des Pampaslöß gilt aber allgemein dieselbe Regel wie für den europäischen: zum Unterschied von allen anderen ähnlichen Gebilden breitet er sich unabhängig vom heutigen oder früheren Verlauf der Flüsse aus, so daß, wollten wir ihn allgemein für einen Wasserabsatz erklären, wir zu der vorsintflutlichen Vorstellung einer allgemeinen Sintflut zurückkehren müssten. Er steigt aus dem Tieflande der Pampa hoch an den pampinen Sierran hinauf und hüllt sie mantelförmig ein; dabei bleibt seine Zusammensetzung gleich und unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes: auch auf kalkfreier Unterlage ist er ursprünglich karbonatreich, ganz wie bei uns. Er ist also ortsfremd. Das weist bestimmt auf äolische Bildungsweise, und das Wasser kann ihn nur sekundär verschwemmt, eingebnet und dabei unreinigt haben. Er ist zur Diluvialzeit wiederholt, und in bestimmten Zwischenräumen gebildet worden, wie in Europa, und er meidet dort wie hier die Gebiete der letzten Vereisung. Das setzt besondere Bedingungen für seine Bildung voraus, die sich periodisch eingestellt haben. Wäre er nur der Verwitterungsstaub der Gebirge, der sich unter einem trockenen steppenartigen Klima anhäuft, wie v. RICHTHOFEN es sich dachte, so müßte die Lößbildung jetzt über weite Gebiete der Kordillere und des Tieflandes im Gange sein; aber das trifft nicht zu. In Atacama, auf der bolivianischen Hochfläche, in der Pampa wird Staub erzeugt, aufgenommen, fortgetragen und wieder abgesetzt, aber eine allgemeine Lößbildung, die sich auch nur entfernt mit der diluvialen vergleichen ließe, gibt es nicht. Um diese her-

beizuführen, bedarf es ungeheurer Mengen feinsten, lockeren Sandes, die auf weiten Flächen regelmäßig wehenden Winden ununterbrochen zur weiteren Verfrachtung dargeboten werden. Fragen wir uns, wann und wo solche Bedingungen zur Diluvialzeit geherrscht haben, so wird uns wie mir scheint nur eine befriedigende Antwort, die zuerst JENTZSCH gegeben hat.

Wo große Inlandeismassen abschmelzen, werden die Grundmoränen von den Schmelzwassern ausgewaschen und aufbereitet; Schotter, grober, feiner und feinsten Sand werden an der Oberfläche ausgebreitet, und da dieses Material nur mechanisch zerkleinert, nicht chemisch verwittert ist, so ist es locker und unverbunden, zugleich karbonatreich, wo die Moränen sich aus Kalkgebirge rekrutieren. Tritt als zweiter Faktor der Wind hinzu, der andauernd und heftig genug vom Eise gegen den Äquator zu weht, so wird der gröbere Sand dünenartig auf dem Boden, der feinste aber als Staub in der Luft fortgeführt. So vollzieht sich eine Sonderung des Materials mit abnehmender Korngröße vom Pol gegen den Äquator zu. Ist diese Vorstellung richtig, so müssen wir erwarten, daß in allen großen Vereisungsgebieten eine solche gesetzmäßige Verteilung zu erkennen ist. Für die Schotter und den Löß bringt schon das ELIE DE BEAUMONT'sche Gesetz den tatsächlichen Befund zum Ausdruck. In Norddeutschland schiebt sich nun bekanntlich eine breite Sandzone zwischen das Gebiet des Löß und der groben Gerölle ein, aber einfacher und klarer liegen die Verhältnisse im patagonisch-argentinischen Tieflande. Im Süden bis etwa zum Rio Chubu (44°) hinauf herrschen Moränen und Schotter, dann beginnt, wie S. ROHR nachgewiesen hat, die Herrschaft des Sandes und erst vom Rio Negro (ca. 40°) an erscheint der Löß, der sich bis gegen den Wendekreis hin verfolgen läßt. Dies einfache Abhängigkeitsverhältnis der drei Materialien erscheint in Mitteleuropa durch den parallel zum Eisrande gerichteten Verlauf der Mittelgebirge und der Alpen mehr verwischt, in Südamerika und auch in Nordamerika liegt es klar zu Tage und wirkt überzeugend.

So kommen wir zu folgendem Ergebnisse:

Die diluvialen Lößgebiete liegen äquatorialwärts von den Gebieten geschlossener Inlandeisbedeckung, weil ihre Entstehung bedingt ist durch die flächenartige Ausbreitung fluvioglazialer Gebilde. Die Bildung einer Lößschicht setzt das andauernde Zurückweichen einer polwärts gelegenen Inlandeisbedeckung voraus, und daher spiegeln sich die klimatischen Schwankungen der Diluvialzeit in der Gliederung des Lößprofils nicht minder deutlich, ja z. T. viel klarer wieder, als in den

glazialen, fluvioglazialen und den sog. interglazialen Bildungen. Die komplexe Natur der Klimaänderungen zur Diluvialzeit, die wir aus den Lößprofilen des Oberrheingebiets ablesen, erscheint im Pampaslehm wieder, und dabei ist, soweit unsere heutigen Kenntnisse reichen, die Übereinstimmung vollständig.

5. Allgemeine Betrachtungen.

So führen alle unsere bisherigen Erfahrungen über die Diluvialbildungen Südamerikas zu dem Schlusse, daß sich in erster Linie die glazialen, weiterhin aber auch die damit zusammenhängenden fluvioglazialen, limnoglazialen und äolglazialen Absätze und Erscheinungen mit denen der Nordhalbkugel ohne Zwang stratigraphisch parallelisieren lassen. Die Spuren der letzten Eiszeit leiten uns ohne Unterbrechung über den Äquator bis zum Cap Horn. Dabei scheint ihre Größenordnung, wie NORDENSKJÖLD in Patagonien, H. MEYER in Ecuador (sowie in Zentralafrika) und wir im Alto Perú gefunden haben, überall wesentlich gleich zu sein, d. h. die Erniedrigung der Schneegrenze zur letzten Eiszeit erreicht unter ähnlicher Breitenlage den gleichen Betrag, doch scheint sie in höheren Breiten etwas größer, in niedrigen etwas geringer zu sein.

Am Tacora, dessen Spitze in einer Breite von $17^{\circ}30'$ mit 6060 m etwa die Schneegrenze berührt, verfolgten wir die Endmoränen der letzten Eiszeit bis ca. 4200 m hinab; in der niederschlagsreicheren Ostkordillere erreicht der Tunari in annähernd gleicher Breite ($17^{\circ}10'$) die Schneegrenze mit etwa 5200 m, während die entsprechenden Endmoränen bis unter 3000 m hinuntergehen. Gleichgültig wie man die Schneegrenze für die letzte Eiszeit berechnet, ihre Lage differiert an beiden Bergen gegenüber heute im gleichen Sinne und ungefähr um den gleichen Betrag. Damit ist erwiesen, daß in Südamerika schon dieselben klimatischen Differenzen zur Diluvialzeit vorhanden waren, wie heute; da das Gleiche für weite Gebiete Europas schon festgestellt ist, so resultiert daraus eine weitere bemerkenswerte Konformität der Verhältnisse in weit abgelegenen Gegenden beider Hemisphären.

Wir werden daher gut tun, endgiltig auf alle Erklärungsversuche für die Eiszeiten zu verzichten, die nicht allgemeiner Natur sind.

Es erreicht somit, wie es den Anschein hat, die stratigraphische Übereinstimmung der Diluvialbildungen auf beiden Halbkugeln einen unerhörten Grad von Vollständigkeit, und damit gelangen wir in den Besitz eines übereinstimmenden Zeitmaßes für die Diluvialzeit auf der ganzen Erde. Wir können die Gleichzeitigkeit der diluvialen Landbildungen, soweit sie aus

glazialen Vorgängen fließen, schärfer bestimmen, als die irgend welcher anderer Sedimente, für deren Parallelisierung wir ja fast ausnahmslos auf die organischen Einschlüsse angewiesen sind. Eine ähnliche Schärfe könnten höchstens die aus eustatischen Bewegungen resultierenden salinaren Absätze beanspruchen, wenn sich erweisen sollte, daß sie tatsächlich in manchen Fällen, z. B. in der Trias oder am Ende der Kreidezeit, auf solche allgemeine Ursachen zurückgehen. Die Schärfe der Zeitbestimmung ist für die Diluvialzeit aber von umso größerer Wichtigkeit, als sie uns gestattet, die vorgeschichtlichen Transgressionen des Menschen über die verschiedenen Erdteile genau festzustellen. In Südamerika erscheint der Mensch erst mit oder wahrscheinlich im Anschluß an die Fauna der Nordhalbkugel, die in Südamerika zur Zeit der Mte. Hermoso-Stufe noch gänzlich fehlt und sich erst mit dem älteren Löß (= Pampeano intermedio ROTH) ausbreitet. Die ältesten sicheren Spuren vom Menschen, die mir von ROTH im Pampaslehm gezeigt wurden, reichen aber keineswegs weiter zurück, als bis zu den jüngsten Lagen des Älteren Löß, vielleicht aber nur bis in den Jüngeren Löß, also bis in die letzte (Riss-Würm-) Interglazialzeit. Alle älteren Funde sind zum mindesten zweifelhaft, z. T. aber wie die Brandspuren im Pampeano inferior bei Cabo Corrientes nicht Erzeugnisse des *homo americanus*, sondern Naturprodukte, von der Phantasie des eingewanderten *homo europaeus* zu Kunstprodukten gestempelt.
