

Über die junge Hebung der Kordillere Südamerikas.

Von G. Steinmann (Bonn).

(Mit 1 Textfigur.)

Unter den bedeutsamen Merkmalen, durch die sich die Kordillere Südamerikas von den jungen Faltengebirgszügen Eurasiens unterscheidet, ist das Fehlen mariner Tertiärablagerungen innerhalb des Gebirges selbst mit das auffallendste. Niemals hat man unbezweifelte Reste mariner Tiere des Tertiärs oder Quartärs außerhalb des pazifischen Küstensaumes angetroffen, und auch dort steigen marine Sedimente dieser Zeiten zumeist nur wenige hundert Meter über den Meeresspiegel empor. Wenn auch weder im Bereiche der Küstenkordillere Südchiles noch auf der Amotape-Halbinsel in Nordperú sowie in den weiter nördlich folgenden Küstengebieten von Ecuador und Columbia die größte Höhe mit Sicherheit bekannt ist, bis zu welcher marine Ablagerungen tertiären Alters emporsteigen, so steht doch fest, daß sie in das eigentliche Hochgebirge der Kordillere nicht hineinreichen.

Dieser gänzliche Mangel an Beweisen für eine tertiär-quartäre Meeresbedeckung hat es auch wohl mit sich gebracht, daß die Behauptung von OCHSENIUS, die Kordillere sei erst in quartärer Zeit bis über 4000 m emporgehoben worden, nur vereinzelt Zustimmung von seiten anderer Forscher (SUNDT) gefunden hat. Denn die von ihm vorgebrachten Gründe, die angeblich marine Reliktenfauna des Titicacasees, die verschiedenartigen salinaren Absätze des bolivianischen Hochplateaus und der Wüste Atacama, lassen sich dafür nicht verwerten, da sie auf keineswegs zwingenden Voraussetzungen beruhen. Nur die fossile Flora des Cerro de Potosí, die von ausgesprochen modernem Charakter und mit den Kennzeichen eines warmen Klimas in über 4000 m Höhe liegt, führt notgedrungen zur Annahme von nicht unbeträchtlichen Hebungen innerhalb der Kordillere im Laufe der jüngeren Tertiär- oder Quartärzeit, von Hebungen, die aber kaum viel höher als zwischen 1000—2000 m angesetzt zu werden brauchen.

Diese Flora von Potosí besteht nach den Untersuchungen von ENGELHARDT, BRITTON und BERRY (1917) aus 82 Arten, von denen 66 genauer bekannt sind. Weitaus der größte Teil davon, nämlich 54, gehören Gattungen an, die heute in Südamerika leben, und die meisten

davon stehen jetzigen Arten so nahe, daß sie ohne besonderen Zwang als fossile Abarten von heutigen aufgefaßt werden dürfen. Wegen dieses durchaus modernen Charakters wird das Alter der Flora allgemein als jungtertiär, zumeist als pliozän betrachtet. Doch scheint mir eine gewisse Vorsicht in der Altersfestsetzung geboten. Die Floren der gemäßigten Zonen haben ja wohl im Laufe der jüngeren Tertiärzeit bis zum Beginn des Quartärs noch gewisse Änderungen und Verschiebungen erfahren, wir besitzen aber bis jetzt nicht genügend Erfahrungen über den Grad und das Tempo der Veränderungen innerhalb der Tropen, namentlich innerhalb der tropischen Gebirge. Es wäre sehr wohl möglich, daß den Änderungen, die sich in den Gebieten gemäßigter und kalter Klimate in horizontalem Sinne vollzogen haben, in den tropischen Gebirgen nur solche von wesentlich vertikalem Sinne entsprechen. Damit könnte auch sehr wohl die Erscheinung zusammenhängen, daß die Änderungen, die die Floren im Laufe der Tertiärzeit in den Tropen erlitten haben, viel geringfügiger erscheinen, als diejenigen, denen sie in gemäßigten Klimaten unterlagen. Da aber die Grundlagen für eine sichere Beurteilung dieser Frage noch fehlen, wird die Altersbestimmung einer vereinzelt Tertiärflora wie derjenigen von Potosí innerhalb gewisser Grenzen schwanken müssen, je nachdem der Beurteiler jener Möglichkeit zuneigt oder nicht.

Ich selbst habe daher auch in der Beurteilung des Alters der Potosíflora mehrfach geschwankt, ebenso wie in der Altersbestimmung der plutonischen und vulkanischen Vorgänge während der Tertiärzeit, da diese von dem angenommenen Alter jener Flora wesentlich mitbestimmt werden. Ein jungoligozänes bis alt- oder mittelmiozänes Alter kann der Wirklichkeit ebenso nahe kommen wie ein jungmiozänes bis altplioizänes. Nur neue Tatsachen können darüber entscheiden.

Durch gewisse neuere Entdeckungen hat nun die Frage vom Betrage und vom Alter der jungen Hebung ein wesentlich verändertes Gesicht erhalten. Die Herren SINGEWALD und MILLER haben auf ihren Studienreisen durch Südamerika auch den Cerro de Potosí besucht (1917) und von dort und aus der Nähe von Corocoro weitere Reste der jung- oder mitteltertiären Flora mitgebracht. BERRY (1917) hat die Pflanzenreste untersucht und dabei einige neue Gattungen und Arten erkannt, die aber am Gesamtcharakter der Flora nichts Wesentliches ändern. Bemerkenswert ist dagegen, daß bei Corocoro eine ganz ähnliche, wenn auch bis jetzt erst aus wenigen, meist mit Potosiner übereinstimmenden Arten bekannte Flora auftritt. Dadurch verliert die Flora von Potosí die isolierte Stellung, die sie bis jetzt einnahm, und ihre hohe Lage kann nicht etwa auf eine ganz örtliche Hebung, etwa durch die lakkolithische Injektion des Potosiner Eruptivstocks verursacht, zurückgeführt werden.

Wie ich einschalten möchte, gibt es auch im nördlichen Peru ein Vorkommen, das auf eine ähnliche Verschiebung des Klimas und auf eine nicht unbeträchtliche Hebung des Gebirges im Laufe der jüngeren Tertiärzeit hinweist wie die Floren des Hochlands von Bolivia. Etwa in der Mitte zwischen Cajamarca und Hualgayoc treten bei Sinsin in der Nähe der Siedelung Yanacancha in einer Höhe von über 3500 m etwa 5 m mächtige Braunkohlen unter Bedeckung von vulkanischen Tuffen auf. Von Pflanzen konnte ich nur undeutliche Stammstücke und Stengel beobachten. Welcher Art nun die Pflanzenwelt im einzelnen auch gewesen sein mag, die Bildung dieser Braunkohle setzt notwendigerweise ein erheblich wärmeres und feuchteres Klima voraus, als es jetzt in diesen Höhen herrscht, die nur dürrtigen Gras- und Strauchwuchs gestatten. Eine Hebung von mindestens 800—1000 m muß auch in dieser Gegend seit Bildung der Braunkohle stattgefunden haben. Die Entstehungszeit der Braunkohle dürfte auch ziemlich genau mit der der pflanzenführenden Tuffe von Potosí zusammenfallen, denn beide gehören in den Anfang der tertiären Effusivperiode. Ihr Liegendes wird von mesozoischen oder paläozoischen Sedimenten gebildet, die pflanzenführenden Gesteine von Potosí sind Tuffe, und in den Braunkohlen von Sinsin liegen auch schon kleinere und größere vulkanische Auswürflinge.

Außer den Pflanzenresten haben die Herren MILLER und SINGEWALD aber auch marine Tierreste von Potosí mitgebracht, und dieser Fund hat berechtigtes Aufsehen erregt. Sie fanden am Cerro Huacachi bei Potosí in einer Höhe von etwa 4400 m mehrere Stücke der Brachiopodengattung *Discinisca*, die heute in mehreren Arten an der pazifischen Küste von Südamerika lebt und fossil bis zum Miozän zurück bekannt ist. SCHUCHERT (BERRY 1917, S. 116) hat die fossile Form als *D. Singewaldi* beschrieben und dazu bemerkt, „that they appear to be of late Tertiary age and either of Miocene or Pliocene time. This conclusion is based on the close relation of *D. Singewaldi* to *D. lamellosa*“. Hiernach hätten wir also den bündigen Beweis, daß das Meer noch zur jüngeren Tertiärzeit das Gebiet des bolivianischen Hochplateaus bedeckt hätte, und daß die Kordillere seit dieser Zeit um den gewaltigen Betrag von rund 4400 m gehoben worden wäre.

Als eine außerordentlich überraschende und wichtige Tatsache ist diese Feststellung in die Schriften von MILLER und SINGEWALD (1917, 1919, S. 13, 123) und von BERRY (1917) übergegangen. Auch in der neuesten (6.) Auflage von KAYSERS Lehrbuch der Geologie (Bd. II, S. 304) findet sich diese Angabe entsprechend verwertet und als Beweis dafür angeführt, daß jenes Brachiopod auf „eine erst seit Ablauf der Tertiärzeit stattgehabte Hebung der Westküste Südamerikas um mindestens ein paar tausend Meter hinweist“. Wir hätten hier in der Tat ein überaus klares und überzeugendes Beispiel für eine

gewaltige Hebung im Laufe der jüngeren Tertiärzeit, wenn die Behauptungen der amerikanischen Forscher zuträfen. Das tun sie aber nicht, wie ich zeigen werde.

Ich habe den Cerro de Potosí zweimal besucht, zuerst im Jahre 1884, als man noch nichts von dem Vorkommen der Tertiärpflanzen wußte, das zweitemal in Begleitung der Herren v. BISTRAM und HOEK im Jahre 1903. Wir sammelten damals bei der Mine Carasco und höher hinauf bis zur Mine Bolivar zahlreiche Pflanzenreste in den feinen verhärteten Tuffen. ENGELHARDT konnte in unseren Aufsammlungen außer schon früher bekannten Arten 4 neue Gattungen nachweisen, die auch BERRY nicht vorgelegen haben, nämlich *Peperonia*, *Dalea*, *Tephrosia*, *Leptolobium*. Erfährt auch der Gesamtcharakter der Flora hierdurch keine wesentliche Änderung, so ist doch danach zu hoffen, daß weitere Aufsammlungen die Flora noch weiterhin werden bereichern können. Auch wir fanden, wie MILLER und SINGEWALD ganz richtig angeben, die pflanzenführenden Tuffe kontaktmetamorph verhärtet und von Erzgängen durchtrümt, so daß über das jüngere Alter des erzbringenden Quarztrachyts kein Zweifel obwalten kann. Wir sahen die Tuffe unter 30—40° vom Berge abfallen und in synklinaler Lagerung an dem gegenüberliegenden, niedrigeren Berge S. Antonio wieder aufsteigen. Man kann also sagen, das pflanzenführende Tertiär ist in die Faltung der Kordillere mit einbezogen. Da am Cerro selbst das Verhältnis zu den Schiefen und Sandsteinen des Untersilurs (Ordoviziums), die ihr Liegendes bilden, nicht klar zu ermitteln war, so habe ich später dem Cerro S. Antonio einen besonderen Ausflug gewidmet und hier folgende Verhältnisse vorgefunden (Fig. 1)¹⁾. Die Basis des Berges wird auch hier, wie am Cerro, von untersilurischen Sedimenten gebildet, und diese steigen an seiner Flanke steil aufgebogen bis zu seinem Rande empor, gewissermaßen den Gegenflügel zum Cerro bildend. Hier sieht man die Tertiärschichten zunächst schwach, dann immer steiler sich aufbiegen und schließlich unter etwa 60° Neigung dem Silur anscheinend konkordant auflagern; doch konnte ich an einer Stelle eine deutliche Diskordanz zwischen beiden feststellen. Auf den ersten

¹⁾ Mein Profil durch den Cerro de Potosí weicht nicht unerheblich von demjenigen ab, das MILLER und SINGEWALD (1919, S. 122, Fig. 12) davon nach den Beobachtungen von SOUX gegeben haben. Nach diesem Forscher steckt der ganze Eruptivstock des Cerro in einer ungeheuer mächtigen Masse gegen Westen einfallender Tuffe, Konglomerate und Schiefer des Tertiärs eingeschlossen, unter der erst in großer Tiefe das Paläozoikum als Liegendes folgt. Nach meinen Beobachtungen grenzt aber der Eruptivstock fast überall an untersilurische Schiefer, und auch die Erzgänge setzen zumeist in diesen auf, soweit sie nicht im Eruptivgestein selbst stehen, was meist der Fall ist. Ich konnte die Schiefer bis hoch hinauf am Berge verfolgen und in verschiedenen Gruben feststellen, während die tertiären Tuffe nur eine sehr geringe Verbreitung besitzen und nicht in die Tiefe fortsetzen.

Blick erscheint die Grenze zwischen beiden Bildungen allerdings nicht sehr deutlich ausgesprochen, weil weder eine auffällige Diskordanz noch ein erheblicher Farbenunterschied besteht. Die Erzgangtrume, die hier wie am Cerro beide Gesteine durchziehen, haben die Silur-sandsteine einerseits gebleicht und sie den hellen Tertiärschichten angeglichen, andererseits werden sie ebenso wie jene von den bräunlichen bis schwärzlichen Zersetzungsrückständen der Erztrümer und -imprägnationen streifig oder flammig gefärbt. Eine genauere Untersuchung ließ aber keinen Zweifel über die Grenze aufkommen. Denn die Silurgesteine bestehen hier wie auch sonst aus mittelkörnigen, quarzitischen Sandsteinen und sandigen Tonschiefern mit reichlichem Gehalt an weißem Glimmer, die Tertiärschichten dagegen überwiegend

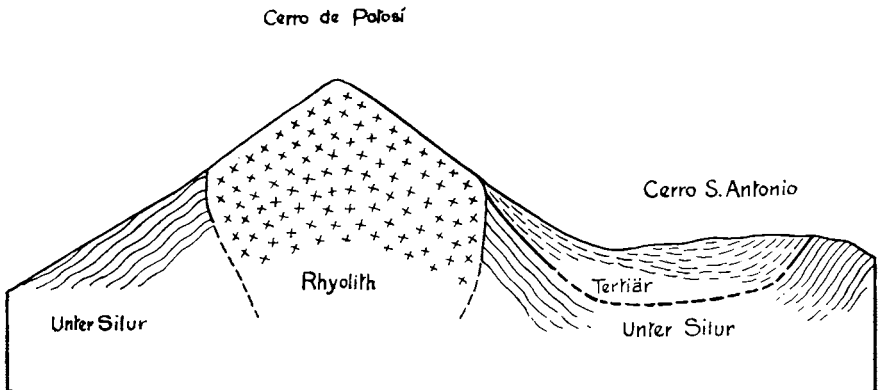


Fig. 1. Profilskizze durch den Cerro de Potosí und den Cerro S. Antonio. Es ist unsicher, ob das Tertiär am Abhange des Cerro de Potosí mit dem Rhyolith unmittelbar in Berührung tritt, oder durch Silurschiefer davon getrennt bleibt.

aus feinen Tuffen, denen nur untergeordnet gröbere Tuffelemente oder aus dem Silur aufgearbeitete Quarzkörner beigemischt sind. Zudem enthalten sie auch hier nicht selten Reste von Pflanzen. Ich habe daher auch die Grenze zwischen beiden scharf ziehen können.

Mit Ausnahme weniger Lagen erweisen sich bekanntlich die Silurgesteine der bolivianischen Hochfläche als sehr versteinerungsarm. Am verbreitetsten sind noch oft in großer Zahl zusammen vorkommende hornschalige Brachiopoden im sog. Lingulasandstein, wie *Lingula*, *Lingulepis*, *Pizarroa*, *Tunaria* und *Bistramia*. In der näheren Umgebung von Potosí haben wir aber vergeblich nach organischen Resten gesucht, nur in den quarzitischen Sandsteinen auf der Höhe des Cerro S. Antonio fand ich eine vollständige Unterklappe einer Discinide und das Bruchstück einer zweiten Klappe unmittelbar im Liegenden des Tertiärs. Die gut erhaltene Unterklappe allein läßt

zwar keine sehr genaue Bestimmung zu: sie steht aber drei untersilurischen Arten von *Orbiculoidea* außerordentlich nahe, nämlich *O. rugata* SOW. (DAVIDSON, Brach., III, 63, t. 5, f. 9—18), *O. lamellosa* HALL (Pal. New York, I, t. 30, f. 10; VIII, t. IVE, f. 12) und *O. inaequalis* BARR. (Syst. gil., V, t. 96, f. II). Man kann schwanken, welcher dieser drei Arten, die vielleicht gar nicht scharf auseinandergehalten werden können, man den Potosiner Fund zurechnen soll, aber so viel steht fest, daß sie aus dem Untersilur stammt, und daß sie eine echte *Orbiculoidea* ohne die für *Discinisca* bezeichnende Kallusbildung ist. Die von SCHUCHERT (BERRY 1917, S. 117) abgebildete Unterklappe seiner *Discinisca Singewaldi* stimmt im ovalen Umriß und in dem Verlaufe der konzentrischen Zuwachsstreifen mit meinem Funde recht gut überein; der dort noch nicht geschlossene Stielschlitz ist ja bekanntlich nur ein Jugendmerkmal. Im übrigen vermissen ich an jener Abbildung ebenfalls das für *Discinisca* bezeichnende Merkmal der Kallusbildung in der Umgebung des Stielschlitzes und kann sie nur für eine *Orbiculoidea* halten, wenn die Figur naturgetreu ist. Ich zweifle somit auch nicht daran, daß uns das gleiche Fossil vorgelegen hat, vielleicht auch von demselben oder von zwei nahe beieinander gelegenen Fundorten. Denn die von SCHUCHERT als Cerro Huacachi bezeichnete Örtlichkeit ist vielleicht nur der Quichuaname für den mir als Cerro S. Antonio genannten Berg, zumal da die angegebene Meereshöhe gut stimmt. Wie dem aber auch sein möge, die Disciniden von Potosí stammen nicht aus dem Tertiär, sondern aus dem Untersilur; sie gehören der Gattung *Orbiculoidea* an und die Schlüsse, die man aus ihrem Vorkommen über den Betrag einer jungtertiären Hebung gezogen hat, sind hinfällig.

Andererseits kann gar kein Zweifel darüber aufkommen, daß große Teile der Kordillere im Laufe der jüngeren Tertiärzeit beträchtliche Hebungen erfahren haben, die aber wohl auf verschiedenartige Vorgänge zurückgehen. Die fossile Flora von Potosí und Corocoro, die Braunkohlen von Sinsin lassen eine Hebung von mindestens 1000 m, höchstens aber wohl von 2000 m als unabweisbar erscheinen. Nimmt man für diese Absätze ein mitteltertiäres, etwa altmiozänes Alter an, wie es mir jetzt am wahrscheinlichsten dünkt, so würde die Hebung, soweit sie orogenetischer Natur ist, wesentlich in die Zeit des Jungtertiärs fallen. Denn die quartären Absätze des Hochlandes von Bolivia zeigen nur gelegentlich eine Andeutung von nachträglich eingetretener Verlagerung, die nur mit Hilfe genauer Nivellierungen in ihrem Betrage festgestellt werden kann. Dagegen erweisen sich die allgemein als jungtertiär angesprochenen, sehr mächtigen und zum erheblichen Teile aus vulkanischen Auswurfsmassen bestehenden Aufschüttungen innerhalb der Kordillere von Bolivia und Peru fast überall als mehr oder weniger disloziert, und die Beobachtungen der argen-

tinischen Geologen haben ein ähnliches Ergebnis gezeitigt. Wahrscheinlich ist mit der Fortdauer der Faltung aber auch ein epirogenetisches Aufsteigen Hand in Hand gegangen, das auch noch während der Quartärzeit angedauert haben dürfte. Die Funde großer diluvialer Säuger auf der bolivianischen Hochfläche werden ja dahin gedeutet. Wenn man die Verbreitung und die Höhenlage der älteren Glazialbildungen in der hohen Kordillere genauer studierte und mit denjenigen der letzten Eiszeit vergliche, würde sich vermutlich ermitteln lassen, ob hier im Laufe der Quartärzeit ein allgemeines Aufsteigen vor sich gegangen ist und in welchem Betrage. Verschiedene Erscheinungen morphologischer Natur sprechen ebenfalls dafür, wie die Andeutungen von hoch gelegenen Einebnungsflächen und die beträchtlichen Eintiefungen der Flüsse in den östlichen Kordillerezügen.

Wesentlich einfacher und übersichtlicher als in den östlichen Kordilleren liegen die Verhältnisse an der pazifischen Küste.

Die fast ausschließlich meerische Natur der Tertiärbildungen an der pazifischen Küste gestattet einen klaren Einblick in das Maß der späteren Hebung, und dasselbe gilt von den quartären Meeresabsätzen. Beide steigen, wie schon bemerkt, nur wenige hundert Meter hoch empor. Wo gelegentlich quartäre, d. h. von lebenden Arten nicht verschiedene Molluskenfunde in ungewöhnlich großer Meereshöhe angegeben werden, liegt der Verdacht nahe, daß es sich um Verschleppungen durch Vögel oder von seiten der Ureinwohner handelt. Einen solchen Fall konnte ich am Cerro de la Pintura bei Pacasmayo beobachten, wo ich hoch über den höchsten Spuren der quartären Meeresbedeckung schön gefärbte Spondylusschalen in einem präkolumbianischen Grabe fand.

Während nun die mitteltertiären, d. h. miozänen oder gar älteren Stufen fast durchgehends in mehr oder weniger dislozierter Lagerung angetroffen werden, geneigt, verworfen oder schwach gefaltet, zeigen die pliozänen Absätze kaum merkliche, die quartären praktisch keine Neigungen. Letztere kann man an der Küste von Nordperú in der Form von scharf geschnittenen Strandterrassen über ungeheuer lange Strecken hin in anscheinend ganz gleichmäßigem Niveau verfolgen, so daß man eher an eustatische denn an epirogenetische Ursachen denken möchte, wenn nicht die analogen Verhältnisse in Skandinavien zur Vorsicht mahnten.

So dürfen wir denn sagen: an den einige hundert Meter betragenden Hebungen der pazifischen Küste seit der mittleren Tertiärzeit sind sowohl orogenetische als auch epirogenetische Vorgänge beteiligt. Wenn somit die Ursachen der jungen Hebung im pazifischen Küstenstreifen wesentlich die gleichen sein dürften wie in den östlichen Kordillerezügen, so besteht doch in der Intensität der Hebung ein deutlich erkennbarer Unterschied. Im Osten des Gebirges erreicht der Betrag der Hebung wohl durchschnittlich 12—1500 m gegen

höchstens ein Drittel dieses Betrages im westlichen Küstengebiet. Hier scheint das Minimum, dort das Maximum der Bewegung zu liegen, und zwar nicht nur für die Jungtertiärzeit, sondern für die nachmesozoischen Bewegungen überhaupt, wenigstens soweit sie orogener Natur sind. In der Nähe der pazifischen Küste herrschen ziemlich allgemein flache und weit gespannte Falten in den mesozoischen Sedimenten vor. Gegen Osten zu werden sie steiler und enger und schließlich gelangt man in eine Zone gesteigerter Faltung, in der spitze, synklinale Einklemmungen und Überschiebungen von einigen Kilometern Ausmaß herrschen; weiter gegen Osten verflacht sich die Faltung wieder, um am Ostrande des Gebirges zumeist langsam auszutönen. Diese Zone stärkster Faltung habe ich aus der Gegend von Jujuy in Nordargentinien über folgende Punkte bis gegen La Paz verfolgen können: Yavi—La Quiaca an der argentinisch-bolivianischen Grenze, zwischen Camargo und Cotagaita, O Potosí, Sucre, zwischen Cochabamba und Oruro, zwischen Illimani und Titicacasee.

Im nördlichen Perú verläuft dieser Streifen über die Gegenden: zwischen Oroya und Tarma, zwischen Cordillera Blanca und Rio Marañon, zwischen Cajamarca und Rio Utcubamba.

Der Bereich jüngerer Eruptivgesteine liegt ganz überwiegend im Westen dieser Zone stärkster Faltung, nur die granitischen Injektionen der Illimani-Kordillere scheinen zum größten Teil östlich von ihr erfolgt zu sein. Es ist überhaupt eine sehr merkwürdige Tatsache, daß die Zone der gesteigerten Faltung fast nirgends weder durch besonders hohe Erhebungen noch durch Häufung von Injektionen oder Durchbrüchen jüngerer Eruptiva gekennzeichnet wird, weder im bolivianischen noch im nordperuanischen Anteil der Kordillere.

Nach Abschluß dieser Niederschrift erhielt ich von Herrn BERRY einen Brief, in dem er mir auf meine zweifelnde Anfrage nach dem Zusammenvorkommen der Disciniden mit den Tertiärpflanzen Folgendes mitteilt: „In 1919 I spent a week at Potosi making collections and a geological map of the region. I found that the plant bearing tuffs were younger than the brachiopod horizon and that the latter also contained some trilobite fragments and was very likely of Silurian age.“

Damit dürfte denn jeder Zweifel an der Richtigkeit meiner früheren Beobachtungen ausgeschlossen sein.

Literatur

BERRY, E. W., 1917. Fossil Plants from Bolivia and their Bearing upon the Age of the Uplift of the Eastern Andes. — Proc. U. S. Nat. Mus., 54, 103—164, pl. 15—18.

MILLER, B. L. and SINGEWALD, J. T., 1917. Mining Conditions at Potosi, Bolivia. — Eng. & Mining Journ., 103, 255—260.

MILLER, B. L. and SINGEWALD, J. T., 1919. The Mineral Deposits of South America. New York.