

# Ueber einige Wirkungen des grossen ostindischen Erdbebens am 12. Juni 1897

Von Dr. Carl Diener

Am 12. Juni 1897 war die ostindische Provinz Assam am Unterlaufe des Brahmaputra der Schauplatz eines Erdbebens, das an Intensität der Erschütterung und an Ausdehnung des Schüttergebietes von keiner seismischen Katastrophe der historischen Zeit übertroffen wird. In einem Raume von 400 000  $km^2$  erlitten alle steinernen Gebäude erhebliche Beschädigungen, während der Stoß selbst sich über eine Fläche von mindestens  $4\frac{1}{2}$  Millionen Quadratkilometer fühlbar machte und noch in der Hauptstadt Calcutta — 450  $km$  von dem Epicentrum des Erdbebens entfernt — die meisten Ziegelnbauten beschädigt wurden.

Der Charakter und die Wirkungen dieses Erdbebens sind von den Beamten der Geologischen Landesanstalt in Calcutta sorgfältig studiert worden. Ein zusammenfassender Bericht über die Ergebnisse jener Studien ist von R. D. Oldham im 29. Bande der Memoirs of the Geological Survey of India veröffentlicht worden. Das Interesse, das der Bericht Oldham's verdient, liegt nicht so sehr in dem Ausmaße der Zerstörungen, die er aufzählt, oder in den Berechnungen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Stoßes und der muthmaßlichen Tiefe des Erdbebenherdes, als vielmehr in den Mittheilungen über einige geologisch bedeutsame Wirkungen des Erdbebens. Unter den letzteren sind einzelne dauernde Veränderungen des festen Bodens von einer Art, wie sie wohl oft behauptet, aber kaum irgendwo vorher mit hinreichender Sicherheit bewiesen worden waren. Von diesen Vorgängen und von der theoretischen Bedeutung, die denselben zukommt, soll in dem vorliegenden Aufsatz die Rede sein.

Das Epicentrum des Erdbebens lag in dem Plateau von Shillong einem aus alten Massengesteinen und krystallinischen Schiefem mit flach aufgelagerten Kreideschollen bestehenden Berglande im Süden des Brahmaputra von durchschnittlich 1400—1600  $m$  Meereshöhe, in dem die höchsten Erhebungen der Khasi und Garo Hills fast bis zu 2000  $m$  ansteigen. Von den Außenketten des Himalaya ist das Shillong-Plateau durch die breite, ganz mit jungen Alluvialbildungen bedeckte Niederung des Brahmaputra geschieden. Die Beziehungen des Plateaus von Shillong mit seinen über steil gestellten abradierten Schichten des Grundgebirges transgredierenden Kreideschollen zu den jungen Falten des Himalaya sind jenen der Böhmisches Masse zu den Ostalpen vergleichbar. Das Erdbeben wurde in Shillong

als ein wellenförmiges Auf- und Abschwanken des Bodens gefühlt, wobei die Wellen durchschnittlich 10 m Länge bei 30 cm Höhe erreichten. Zugleich machte sich aber auch eine sehr starke, vertical aufwärts gerichtete Erschütterung des Bodens im Ausmaße von circa 20 cm bemerkbar. Lautes Getöse oder dumpfes unterirdisches Rollen begleitete an vielen Orten den Stoß.

Die Veränderungen des Bodens in der Niederung des Brahmaputra und im Gebirgslande des Shillong-Plateaus waren verschiedener Art. In der Ebene zerriss der Boden an vielen Stellen. Grundwasser und Sand wurden aus Spalten und Trichtern ausgepresst. Als die unmittelbare Folge der Wellenbewegung machten sich jene mannigfaltigen Zerreißen der Oberfläche geltend, die schon oft, wenn auch nicht in gleich großartiger Entwicklung als Begleiterscheinungen heftiger Erdbeben in den Alluvialgebieten großer Ströme beobachtet worden sind.

In dem Gebirgslande äußerte sich die Wirkung des Stoßes, der am 12. Juni 1897 um 5 Uhr nachmittags das Shillong-Plateau traf und in 2½ Minuten auf einem Flächenraume von 150 000 englischen Quadratmeilen alles in Trümmer legte, zunächst in einer Ablösung der Verwitterungsdecke von dem festen Felsboden. Als eines der regenreichsten Gebiete der Erde — die jährliche Niederschlagsmenge in Cherrapungi beträgt 12·5, in Goalpara 2·4 m — ist das Plateau von Shillong mit einer bis zu bedeutender Tiefe hinabreichenden Verwitterungsdecke überzogen, die fast allenthalben, insbesondere aber an den Gehängen der tief eingerissenen Regenschluchten eine sehr üppige Vegetation trägt. So groß war die Heftigkeit des Stoßes, dass an vielen Gehängen die Decke des Verwitterungslehms sich von ihrem Untergrunde ablöste und mit ihrem Kleide von Wäldern und Buschwerk auf der geneigten Fläche in die Thäler hinabglitt. Auf diese Weise erfuhr das Landschaftsbild eine durchgreifende Veränderung. Nackt und kahl standen auf eine Erstreckung von vielen Kilometern nach dem Erdbeben die vorher begrüneten, mit tropischer Vegetation geschmückten Hügelreihen da. Verschwunden waren von den Gehängen die Urwälder, klar traten mit einemmale die vorher unter der Lateritdecke begrabenen Schichten des Gebirges zutage. Man konnte sich, wie Oldham sagt, in die Wüstenregion am Grand Cañon des Colorado versetzt glauben.

Am Fuße der Hügel aber wurden durch diese in ungeheurem Maßstabe erfolgten Gehängerutschungen riesige Massen von Schutt angehäuft. Das hydrographische Netz des Berglandes wurde vollständig verändert. Flüsse waren zu Seen abgedämmt, Wasserscheiden verlegt worden. Statt in tiefen Regenschluchten sah Oldham die Bäche über ein breites Sandbett hoch über dem Niveau ihres alten Laufes fließen. Besonders intensiv waren die Veränderungen in den aus Sandstein bestehenden Theilen des Gebirges. Durch die Ausbrüche der neu gebildeten Abdämmungsseen sind die Thäler fortwährend von der Gefahr neuer Katastrophen bedroht.

Die mächtige Anhäufung von weit verbreiteten Schottermassen, denen die Mehrzahl der Beobachter heute einen fluvio-continentalen Ursprung zuzuschreiben geneigt ist, spielt bekanntlich in manchen älteren Epochen eine wichtige Rolle. Der alte rothe Sandstein des Devon, das Rothliegende des Perm, der Buntsandstein in der deutschen Trias, die diluviale Nagelfluh am Rande der Alpen sind Beispiele solcher Schottermassen älterer

Formationen, deren Verbreitung, wie Penck mit Recht hervorhob, nicht auf eine zusammenhängende Wasserbedeckung, sondern nur auf ein fortwährendes Oscilliren einer localen Ueberrieselung hindeutet.<sup>1)</sup> Die Frage nach der Ursache so allgemeiner, mächtiger Anhäufungen von Schottermassen ist wiederholt Gegenstand der Discussion gewesen. Für die diluviale Nagelfluh der Alpen hat Penck gezeigt, dass ihre Anhäufung unter der Mitwirkung von Gletschern zustande gekommen ist. Für die Erklärung mancher Anhäufungen von Verwitterungsschutt in der geologischen Vergangenheit der Erde hat J. Walther das „Gesetz der Wüstenbildung“ herangezogen. Die Vorgänge bei dem Erdbeben vom 12. Juni 1897 lehren, dass auch seismische Ereignisse in tief zersetzten Gebirgen als ein Factor für die Entstehung von Schuttansammlungen angesehen werden dürfen. Philipp<sup>2)</sup> hat kürzlich zu zeigen versucht, dass die Entstehung des Buntsandsteines in der germanischen Trias am besten unter der Voraussetzung erklärt werden könne, dass die Verwitterungsproducte eines unter einem feuchtwarmen Klima tief zersetzten Gebirges in den Tiefebenen und Becken an dessen Rande theils durch fließendes Wasser, theils subaërisch abgelagert worden seien. Gerade bei der Bildung solcher Ablagerungen mögen vielleicht auch Erdbeben wirksam gewesen sein, indem sie, wie im Shillong-Plateau, mit einem Schläge große Massen klastischen Materials in die Thäler beförderten und der durch die Aufstauung gesteigerten Erosion der Flüsse preisgaben, die den weiteren Transport desselben in die Ebene übernahmen.

Die Bildung von Gehängerutschungen in großem Maßstabe war nicht die einzige geologisch bedeutsame Wirkung des indischen Erdbebens vom 12. Juni 1897. Im pleistoseisten Gebiete konnte Oldham drei Arten von dauernden Veränderungen des festen Bodens nachweisen: 1. Brüche und Verwerfungen als wahre Dislocationen in dem Felsgerüste des Gebirges; 2. Veränderungen des Niveaus ohne Verwerfungen, erkennbar aus den Aenderungen der Wasserläufe; 3. Lage- und Niveauänderungen, die aus einer Neutriangulierung des Shillong-Plateaus durch die Trigonometrical Survey of India sich ergaben.

Die Entstehung wahrer Brüche und Verwerfungen durch Erdbeben ist viel häufiger vermuthet und beschrieben als thatsächlich beobachtet worden. Niveauverschiebungen im festen Boden als Folgeerscheinungen von Erdbeben sind bisher so selten mit Sicherheit constatirt worden, dass Eduard Suess noch im ersten Bande des „Antlitz der Erde“ (1883) alle hieher gehörigen Angaben über rhapsodische Erhebungen der südamerikanischen Westküste als einer strengen Kritik nicht Stand haltend zurückweisen konnte. Seither hat allerdings die Meinung, dass durch Erdbeben Dislocationen mit dauernden, wenn auch geringen Niveauveränderungen gebildet werden können, durch neue Beobachtungen bei seismischen Vorgängen eine festere Stütze erhalten. Aber noch niemals ist vor Oldham ein Beobachter in die Lage gekommen, frisch entstandene Dislocationen als Folgeerscheinungen eines Erdbebens in solchem Ausmaße und von solcher Klarheit

<sup>1)</sup> A. Penck, „Die Vergletscherung der deutschen Alpen“, p. 294.

<sup>2)</sup> E. Philipp, „Ueber die Bildungsweise der buntgefärbten, klastischen Gesteine der continentalen Trias“. Centralblatt für Min. etc. 1901, p. 463.

zu beaugenscheinigen wie im Shillong-Plateau nach der großen seismischen Katastrophe vom 12. Juni 1897.

Die bald in der Form von Spalten und Rupturen ohne Verschiebung der beiden Flügel, bald als Verwerfungen auftretenden Brüche sind nach Oldham's Beobachtungen die oberflächlichen Anzeichen von tiefer liegenden Verschiebungen innerhalb der Erdkruste. An ihnen haben sich die Spannungen ausgelöst, deren Auslösung eben die eigentliche Ursache des Erdbebens selbst war. In ihrer unmittelbaren Umgebung sind in der Regel die Spuren einer gesteigerten Intensität des seismischen Stoßes erkennbar.

Die durch das Erdbeben neu gebildeten Dislocationen liegen an dem Nordabhange der Garo und Khasi Hills gegen die Ebene des Brahmaputra. Unter den einfachen Brüchen, die nicht mit einer verticalen Verschiebung des einen Flügels verbunden waren, ist der Bordwar Bruch der größte. Er konnte auf eine Länge von 11 *km* verfolgt werden, zumeist als eine schmale Kluft im anstehenden Fels, deren Breite nur wenige Zoll, deren Tiefe jedoch stellenweise 14 *m* betrug. Außerdem wurden noch zahlreiche kleinere Sprünge und Klüfte — Diaklasen — im Gneis als unmittelbare Wirkungen des Erdstoßes nachgewiesen.

Unter den neu entstandenen Verwerfungen ist die Chedrang fault die bedeutendste. Sie folgt meist dem Laufe des gleichnamigen Baches, dessen Bett sie an neun Stellen so stark gestaut hat, dass der normale Abfluss unterbrochen wurde und Abdämmungsseen gebildet wurden, unter denen der größte eine Länge von einer halben englischen Meile (800 *m*) bei einer Breite von 400 Yards besitzt. Die Verwerfung streicht auf eine Erstreckung von 19 *km* in fast schnurgerader Richtung von NNW. nach SSO. Die Sprunghöhe ist eine sehr wechselnde, bis zu 11 *m* im Maximum steigend. Häufig sind Brücken vorhanden, an denen die Sprunghöhe auf Null reducirt ist und die Verwerfung nur als Spalte ohne Niveauverschiebung der beiden Flügel aufklafft. Die Niveauverschiebung besteht überall, wo sie als solche erkennbar ist, in einer Hebung des östlichen, nicht in einer Absenkung des westlichen Flügels. Auf dem gehobenen Ostflügel sind manchmal Spuren des alten Wasserlaufes des Chedrang River in bedeutender Höhe (3—8 *m*) über dem gegenwärtigen in den Westflügel eingeschnittenen Flusslauf sichtbar. An einer Stelle ist die Verwerfung so scharf, dass über den Rand der gehobenen Scholle der Bach in einem 3 *m* hohen Wasserfall herabstürzt. Entlang dieser ganzen Linie war die Intensität des Stosses erheblich gesteigert. Bei dem Dorfe Dalbot wurde ein würfelförmiger Granitblock von 12 *m* Länge, 10 *m* Breite und 10 *m* Höhe, der quer über der Verwerfung lag, umgestürzt. In der Nähe der Hauptverwerfung bis auf 200 Fuß Entfernung von derselben constatierte Oldham frische Sprünge im Gneis, die ausnahmslos mit einer aufwärts gerichteten Verschiebung des östlichen Flügels verbunden waren. Die Verwerfung verschwindet nordwärts in der Ebene von Dilma, deren Bedeckung mit Alluvien zu mächtig ist, um eine weitere Verfolgung der Dislocation im Grundgebirge zu gestatten.

Wo die Verwerfung selbst im festen Fels sich der Beobachtung zugänglich erwies, stellte sie sich als eine verticale Fläche, nicht als eine Wechselfläche dar. Umso auffallender ist die von Oldham hervorgehobene Thatsache, dass keine einzige positive Beobachtung für eine Senkung des

westlichen Flügels spricht, während die Beobachtungen an dem Abdämmungssee bei Jhira nur durch die Annahme einer wahren Hebung des Ostflügels erklärt werden können.

Die große theoretische Bedeutung dieser Beobachtungen liegt auf der Hand. Es sprechen dieselben sehr entschieden zu Gunsten der Anschauungen jener Forscher, die für die Möglichkeit des Vorkommens von Hebungen an Bruchlinien eintreten. Dabei ist wohl im Auge zu behalten, dass es sich bei der Chedrang fault um eine echte Verwerfung mit senkrecht einfallender Bruchfläche, nicht um eine aus Ueberfaltung einer Schuppe hervorgegangene Wechselfläche handelt. Allerdings muss auf der anderen Seite auch vor einer Ueberschätzung der Anwendbarkeit derartiger Beobachtungen für eine Erklärung tektonischer Vorgänge gewarnt werden. Man wird aus denselben z. B. nicht ohne weiteres schließen dürfen, dass an den Gebirgsbau großer Theile der Rocky Mountains bestimmenden Brüchen wirklich nach aufwärts gerichtete Bewegungen ganzer Schollen der Lithosphäre in jenem großartigen Maßstabe stattgefunden haben, wie es die Theorie von White und Dutton voraussetzt. Es könnte die Hebung des Ostflügels der Chedrang fault im Sinne von Suess<sup>1)</sup> als „ein plötzliches, locales Aufschnellen, vielleicht ein Aufprellen durch Entlastung“ gedeutet werden, und es könnte daraus immerhin auf eine Verschiedenheit des Vorganges von jenen Bewegungen geschlossen werden, durch welche Gebirge erzeugt worden sind.

Von dem südlichen Ende der Chedrang fault circa 16 km entfernt wurde bei Samin eine zweite größere Verwerfung von CNW.-OSO.-Streichen durch das Erdbeben am 12. Juni 1897 gebildet. Die Länge der Samin fault beträgt 4 km, ihre größte Sprunghöhe 3 m. Diese Verwerfung war mit einer Hebung des südlichen Flügels verbunden. Neben diesen Dislocationen werden von Oldham noch einige andere von minder bedeutenden Dimensionen erwähnt.

Auch von Aenderungen in der Sichtbarkeit einzelner Objecte als Anzeichen von Niveauveränderungen infolge des Erdbebens ist in dem Berichte mehrfach die Rede; Nachrichten über derartige Erscheinungen knüpfen sich bekanntlich an eine nicht geringe Zahl von Erdbeben. Sie sind zumeist unbestätigt geblieben. Die hieher gehörigen optischen Erscheinungen dürften zum Theile wirklich beobachtet worden, aber nur vorübergehender Natur gewesen sein, sofern sie auf ungewöhnlichen Refractionsphänomenen in der durch die Erschütterung in ihrem Gleichgewichte gestörten Atmosphäre beruhten. Bei dem indischen Erdbeben war die Anzahl von sicher constatirten dauernden Veränderungen in der Lage und relativen Höhe einzelner Punkte eine so bedeutende, dass, wie immer man die Nachrichten über Veränderung der Aussichtsweite, Sichtbarkeit bestimmter Localitäten u. s. w. beurtheilen mag, kein Zweifel darüber bestehen kann, dass die auffallendste Wirkung des Bebens in der Verschiebung von Schollen der Erdkruste gegeneinander bestand. Die Anzeichen solcher Verschiebungen sind über eine weite Fläche vertheilt. Ihre Constatierung veranlasste die Behörden in Assam und die Direction der Geological Survey of India bei der Regierung eine

<sup>1)</sup> E. Suess, „Das Antlitz der Erde“ I, p. 125.

Neutriangulierung des pleistoseisten Gebietes der Garo und Khasi Hills durch die Trigonometrical Survey of India in Vorschlag zu bringen. Während der kalten Zeit 1897—1898 wurde eine Revision der wichtigsten Positionsbestimmungen des Dreiecksnetzes thatsächlich durchgeführt. Auf Grund derselben ergab sich, dass eine Reihe von Stationen ihre gegenseitige Lage und ihre Höhe nach dem Erdbeben geändert haben müsse. Die größten Differenzen in der Entfernung von zwei Dreieckspunkten werden mit 8 *m*, die größten Höhenunterschiede mit 4 *m* angegeben. Ganz zuverlässige Resultate dürfen jedoch in dieser Hinsicht von der Neutriangulierung kaum erwartet werden, da dieselbe nirgends an eine Basis angeschlossen werden konnte, die von Veränderungen durch den Effect der seismischen Vorgänge verschont geblieben wäre.

Jedenfalls ist es das erstmalig gewesen, dass so weitgehende horizontale und verticale Verschiebungen einzelner Erdschollen infolge eines Erdbebens durch eine Terrainaufnahme auf geodätischem Wege festgestellt werden konnten. Allerdings sind trigonometrische Reambulierungen erschütterter Gebiete zum Zwecke der Feststellung derartiger Niveau- und Lageveränderungen bereits wiederholt ausgeführt worden. Auch in unserer Monarchie sind solche geodätische Arbeiten nach den Erdbeben von Agram am 9. November 1880 und von Laibach am 14. April 1895 ausdrücklich zum Zwecke der Constatierung von Niveauveränderungen der Erdoberfläche vorgenommen worden, aber die Ergebnisse der Neutriangulierungen waren zumeist negativer Natur. Verschiebungen von einiger Bedeutung wurden nicht constatirt.<sup>1)</sup> Dagegen gelang der Nachweis von solchen allerdings durch eine Neuvermessung des pleistoseisten Gebietes nach dem Erdbeben auf Sumatra am 17. Mai 1892. Bei diesem sind Niveauveränderungen bis zum Maximalbetrage von 1·23 *m* (gegenüber 4 *m* bei dem ostindischen Erdbeben) festgestellt worden.<sup>2)</sup>

Während der eminent tektonische Charakter des großen indischen Erdbebens vom 12. Juni 1897 außer Frage steht und das Erdbeben selbst als eine die Auslösung von Spannungen im Felsgerüst des Shillong-Plateaus begleitende Erschütterung sich zu erkennen gab, ist die Art jener mit der Gebirgsbildung in Zusammenhang stehenden Spannungen keineswegs klar gestellt. Oldham deutet zwei Möglichkeiten einer Erklärung an. Nach der ersteren, die er für die wahrscheinlichere hält, würde es sich um Spannungen durch Compression, durch einen Zusammenschub, wie in Faltengebirgen handeln. Die Structur des Shillong-Plateaus wäre dann ähnlich jener der schottischen Highlands als durch große Ueberschiebungsbrüche (Wechselflächen) bestimmt zu deuten. Eine zweite Erklärung hätte die Annahme einer in der Tendenz zur Zerrung und Zerreißung an Brüchen begründeten Spannung zur Voraussetzung. Solche Spannungen bestehen in Schollengebirgen, in alten Massen, wo die Faltung erloschen ist und in dem Eintreten von Brüchen nicht Zusammenschub, sondern Zerrung oder Ab-

<sup>1)</sup> Näheres hierüber in dem 15. und 18. Bande der „Mittheilungen des K. u. K. Militär-geogr. Institutes“.

<sup>2)</sup> J. Müller in Verhandl. K. Akad. v. Wetenschappen te Amsterdam, I. sect. III, Nr. 2 (1895). Auszug in Petermann's Mitth. 1895, p. 97.

senkung ihren Ausdruck finden. Während Oldham die erstere Hypothese für die wahrscheinlichere hält, möchte ich eher der letzteren mit Rücksicht auf den Charakter der neu gebildeten Verwerfungen, die keine Wechselflächen sind, und auf die Ergebnisse der Neutriangulierung, die keineswegs für eine Compression sprechen, den Vorzug geben.

Ob die bei dem Erdbeben entstandenen Dislocationen als die eigentlichen Erdbebenherde, als die Erreger des Erdbebens im Sinne Oldham's anzusehen sind, ist gleichfalls eine Frage, über die man verschiedener Meinung sein kann. Oldham betrachtet als beweisend für seine Ansicht insbesondere die Thatsache, dass in der unmittelbaren Umgebung der neu gebildeten Dislocation die Spuren einer gesteigerten Intensität des seismischen Stoßes erkennbar seien. Selbstverständlich lässt diese Thatsache auch den umgekehrten Schluss zu, dass die Verwerfungen an jenen Stellen eben infolge der gesteigerten Intensität des Stoßes aufgerissen worden seien. Es können also immerhin noch Zweifel darüber bestehen, ob die Entstehung der Dislocationen besser als die Ursache oder als die Wirkung des Erdbebens aufzufassen sei.

Auf alle Fälle wird dem Memoir Oldham's das Verdienst gewahrt bleiben, einen der wichtigsten und interessantesten Beiträge zu unserer Erkenntnis seismischer Vorgänge geliefert zu haben.

---