

# **Erdbeben in Nepal**

## **Wahrscheinlichkeit, Risiko, und Prävention in der Bevölkerung**

Birger-G. Lühr

GFZ Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam

Am Nachmittag des 15. Januar 1934 erschütterte das Bihar-Erdbeben mit einer Magnitude von 8.4 den Ostteil Nepals. Das Epizentrum lag 240 km östlich von Katmandu und kostete mindestens 4300 Menschenleben. In Katmandu wurden durch die Erschütterungen jedes vierte Gebäude zerstört und weitere 40% beschädigt. Und auch in jüngster Zeit gab es wieder ein schadenträchtiges Erdbeben mit einer Magnitude von 6.9. Das sogenannte Sikkim Beben ereignete sich am 18. September 2011 im Osten Nepals und erschütterte weite Teile Nord- und Ostindiens. Es kostete ca. 110 Menschen das Leben und war selbst im rund 1500 Kilometer entfernten Neu Delhi noch zu spüren. Sind solche schadenträchtigen Ereignisse etwas Außergewöhnliches oder gar Zufälliges, oder gibt es hierfür eine rationale Erklärung, die besagt, dass man auch in Zukunft mit schweren Erdbeben in Nepal rechnen muss?

Nepal ist ein Land, das durch seine atemberaubende Naturschönheit fasziniert und damit auch viele Touristen in seinen Bann schlägt, die sich für Berge und urwüchsige Berglandschaften interessieren. Es umfasst eine Fläche von 147.181 km<sup>2</sup> und liegt zwischen Höhen von 70 m bis 8.848 m über Meeresebene. 40 % des Landes liegen über 3.000 m Höhe. Nepal durchzieht das Himalaya-Gebirge, das höchste Gebirge der Erde, dessen allerhöchste Gipfel in Nepal zu finden sind. Wind und Wetter versuchen immer morphologische Erhebungen einzuebnen und der Erde eine glatte, ausgeglichene Oberfläche zu geben. Dagegen arbeiten geodynamische Prozesse der Plattentektonik. Die Erde ist seit Ihrer Entstehung noch nicht zur Ruhe gekommen. Die im Innern der Erde vorhandene Wärme führt zu großräumigen Materialströmen in der Erde, die die dünne Erdkruste in Platten zerbrechen lassen, die sich bewegen. So entsteht an divergenten Plattenrändern neue Erdkruste während an konvergenten Rändern Krustenmaterial kollidiert und damit gestaucht und zusammengeschoben wird oder, wie in Subduktionszonen, Krustenmaterial wieder von der Oberfläche ins Erdinnere entwindet. Die Kollisionszonen an den Plattenrändern zeichnen sich zumeist durch Gebirgsbildung aus, wie auch am Beispiel der Anden und der Alpen ersichtlich ist. Das Himalaya-Gebirge ist ein Ergebnis der Kollision der Indischen mit der Eurasischen Platte, wobei sich Indien auf Eurasien relativ mit fast 5 cm/Jahr zubewegt. Die Wanderung Indiens nach Norden begann vor 84 Millionen Jahren (Obere Kreidezeit) über eine Distanz von 6000 km. Dabei erreichte Indien eine Spitzengeschwindigkeit von 20 cm/Jahr. Vor ca. 50 Mill. Jahren (Eozän) begann die Kollision mit Eurasien, wodurch der Himalaya-Gebirgszug derzeit mit ca. 1.5 cm/Jahr in die Höhe wächst. Die horizontale Konvergenz im Bereich Nepals beträgt derzeit gut 2 cm/Jahr.

Diese Deformationsbewegungen erfolgen nicht kontinuierlich gleitend sondern es kommt zu Verhakungen und damit zum Aufbau von Spannungen, die sich in Form von Erdbeben abbauen. So sind in internationalen Erdbebenkatalogen 65 Beben der Magnitude größer 4 im Bereich Nepal für den Zeitraum der letzten 10 Jahre aufgelistet und allein im Jahr 2011 gab es dort 7 Ereignisse dieser Größenordnung. In Nepal betreibt das National Seismological Centre (NSC) seit 30 Jahren ein eigenes Seismometer-Netz und registriert somit auch wesentlich kleinere Ereignisse (Abbildung 1).

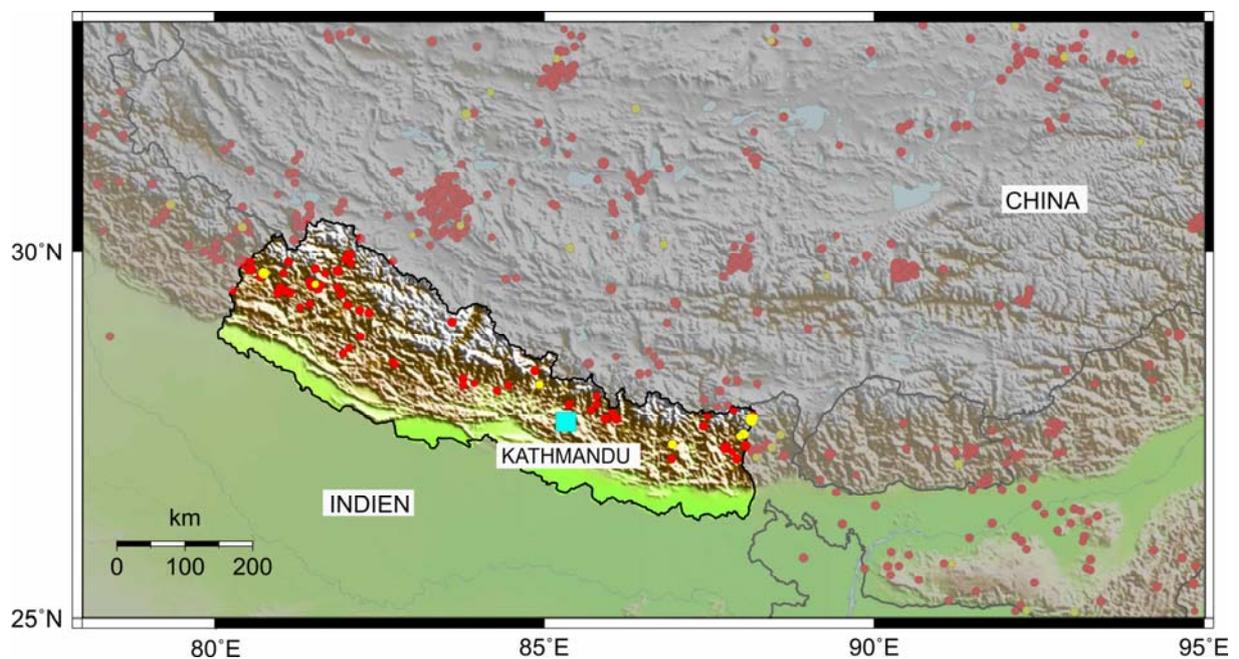
Erdbebenerschütterungen führen in gebirgigen Regionen oft zur Auslösung von Hangrutschungen, Geröll- und Schneelawinen und somit zu weiteren Naturgefahren.

Schaut man zurück in die Vergangenheit Nepals, so reichen Aufzeichnungen über Erdbeben zurück bis ins Jahr 1255, als vermutlich ein Drittel bis ein Viertel der Bevölkerung bei einem Beben ihr Leben verlor. Im 19. Jahrhundert erschütterten drei schwere Beben das Kathmandu-Tal (1810, 1833 und 1866). Die historischen Beben lassen vermuten, dass sich, statistisch betrachtet, Erdbeben mit katastrophalen Auswirkungen innerhalb eines Zeitraumes von 75 Jahren ereignen und somit im zeitlichen Abstand von etwa drei Generationen. Allein im 20. Jahrhundert kosteten Erdbeben über 11,000 Nepalesen das Leben. Auch wenn sich die stärksten Erdbeben im sogenannten pazifischen Feuerring finden lassen und nur 15 - 20% der jährlich Erdbebenenergie in der Mediterran-Transasiatischen Zone zwischen den Azoren und dem Himalaya freigesetzt werden, so ereignen sich in diesem Gürtel doch circa 85% der weltweit fatalsten Erdbeben und nur etwa 12% im Zirkumpazifik inklusive Amerika, Japan und Neuseeland. Dies mag mit den Geschwindigkeiten der tektonischen Platten zusammenhängen, da ein zeitlicher Abstand von mehreren Generationen zwischen schweren Ereignissen die Wahrnehmung solcher Ereignisse in der Gesellschaft schwinden lässt. Da sich Erdbeben nicht vorherhersagen und erst recht nicht verhindern lassen, kommt deshalb einer nachhaltigen Aufklärung der Bevölkerung über mögliche Naturgefahren zuvorderst im Rahmen der Schulausbildung besondere Bedeutung zu.

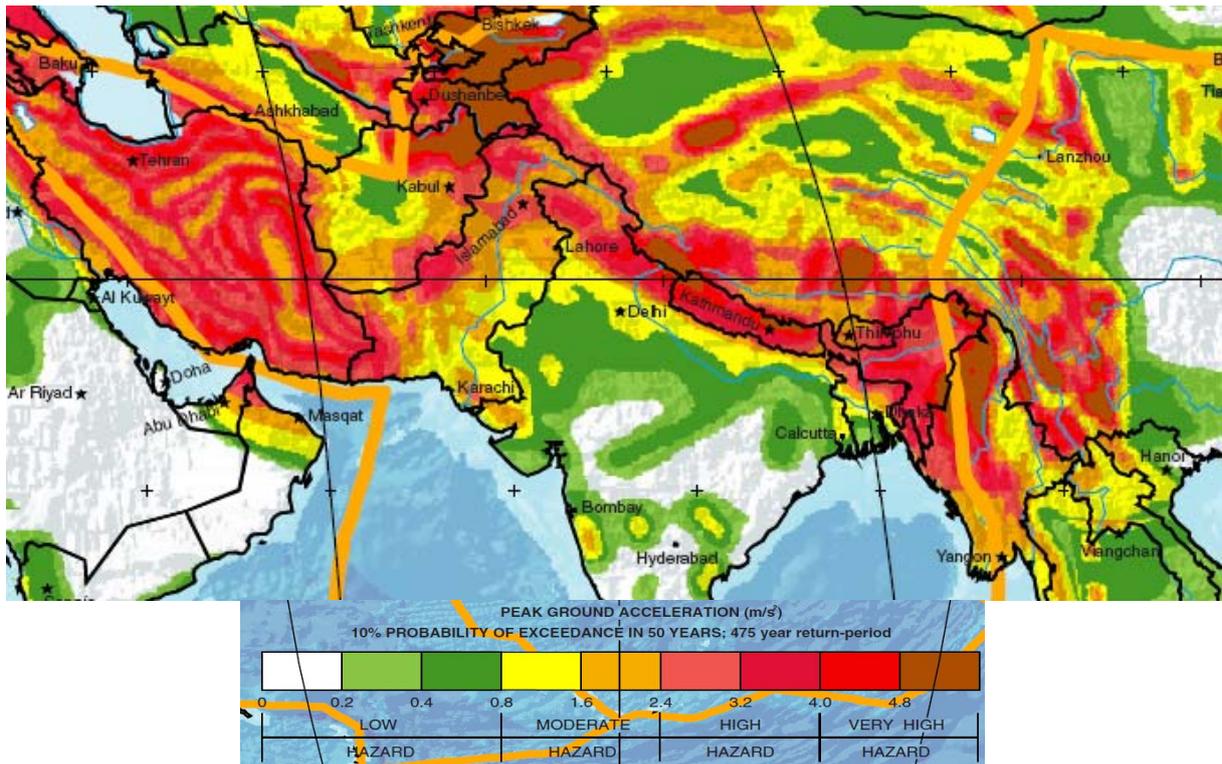
Die drohenden Naturgefahren sind oft vielfältig. Neben der Auslösung von Lawinen durch Erdbeben ist der angerichtete Schaden in urbanen Regionen, oft durch sekundäre Effekte wie z.B. Brände verstärkt, viel gravierender als durch die Bebenerschütterung selbst. Deshalb ist eine realistische Gefährdungs- und Vulnerabilitätseinschätzung Voraussetzung für risikomindernde Maßnahmen, wie die Umsetzung einer erdbebensicheren Bauweise und einer effektiven Vorbereitung von Individuen und Gesellschaft auf ein mögliches Erschütterungsereignis. Heutzutage gibt es probabilistische Erdbeben-Gefährdungskarten, z.B. des „Global Seismic Hazard Assessment Program“ (GSHAP), die für Nepal eine „sehr hohe“ Erdbebengefährdung aufzeigen, mit maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigungswerten zwischen 4 und 5 m/sec<sup>2</sup> (ca. 50% der Erdbeschleunigung), mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% innerhalb der nächsten 50 Jahre und bei einer Wiederkehrperiode eines solchen Ereignisses von 475 Jahren (Abbildung 2). Solche Bodenbeschleunigungsangaben können von Bauingenieuren genutzt werden, um Gebäude und Infrastruktur so zu konstruieren und zu errichten, dass sie den zu erwartenden Kräften standhalten und nicht kollabieren.

Ein Erdbeben bedeutet immer, dass ein Gestein flächenhaft gebrochen ist, wenn das Gestein die sich langsam aufbauende mechanische Spannung nicht mehr halten kann, d.h. auf einer Fläche findet eine Verschiebung zweier Gesteinseinheiten gegeneinander statt. Die Fläche kann dabei sehr groß werden. Die Verschiebung und die Bruchfläche bestimmen die Magnitude eines Bebens mit, die wiederum ein logarithmisches Maß ist für die freigesetzte Energie beim Bruchprozess. Ein Beben der Magnitude 7 beinhaltet z.B. eine Bruchfläche von ca. 60 km Länge und 15 km Breite bei einer mittleren Verschiebung von um die 1,5 m. Beim Beben der Magnitude 9 vor Japan, im März 2011, war der Bruch ca. 500 km lang und über 100 km breit, bei einer inhomogenen Verschiebung in der Spitze von fast 50 Metern. Da jedoch Erdbeben in Tiefen zwischen 5 km und 700 km auftreten, sind die an der Erdoberfläche auftretenden Bodenbeschleunigungen je nach Tiefenlage unterschiedlich stark ausgeprägt. Besonders schadenträchtig sind Beben, die in der Erdkruste, d.h. die zwischen 5 km und 20 km Tiefe auftreten. Das Hypozentrum des Sikkim-Erdbebens wurde in 7,4 km Tiefe lokalisiert. Experten gehen davon aus, dass im ganzen südlichen Bereich von Nepal Beben der Magnitude 7 und größer mit Herdtiefen von geringer als 20 km Tiefe und Verschiebungen von 4 Metern und mehr möglich sind

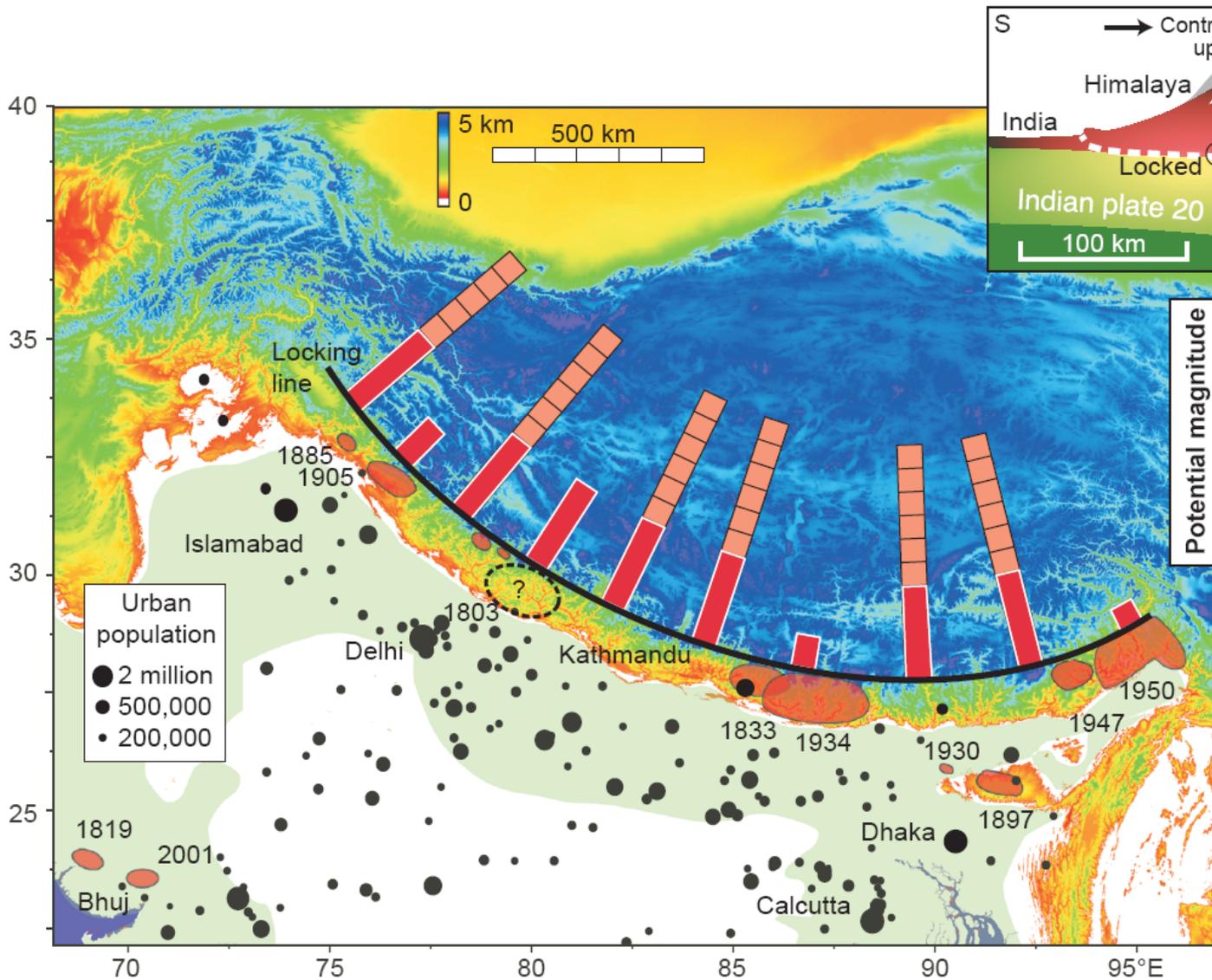
(Abbildung 3). Hat es ein Erdbeben gegeben, so folgen immer sehr viele Nachbeben, die erfahrungsgemäß Magnituden bis zu einer Stufe unterhalb des Hauptbebens erreichen. Diese sind insbesondere gefährlich, weil sie auf eine schon vorgeschädigte Bausubstanz treffen, die ein erhöhtes Risiko darstellt. Das Risiko ist dabei nicht nur im eigentlichen Ereignisfall eine veränderliche Größe. Derzeit leben von den ca. 30 Millionen Nepali nur 15 % in Städten und die Bevölkerungsdichte ist mit 192 Einwohnern pro Quadratkilometer eher gering. Auch ist das erwirtschaftete Brutto-Inlandsprodukt von 450 US-Dollar pro Kopf sehr gering und lässt somit auch nur relativ geringe Verluste erwarten. Daneben birgt jedoch ein Anteil von fast 55% Analphabeten und ein Verhältnis von nur 3,5 Studenten pro 1000 Einwohner in Verbindung mit einer schwachen Infrastruktur ein hohes Risiko. Auch das wenig ausgebaute Straßennetz, sowie eine bevorzugte Bauweise mit Ziegeln erhöht das Risiko zusätzlich, dass für ein starkes Erdbeben innerhalb der nächsten Jahre nichts Gutes erwarten lässt. Denn nur eine adäquate und nachhaltige Vorsorge führt zu einer Minimierung der Vulnerabilität von Gesellschaft und Infrastruktur und hilft somit zukünftige Katastrophen zu vermeiden. Mit Vorsorge ist dabei nicht nur die Umsetzung erdbebensicherer Konstruktionen gemeint, sondern auch die Entwicklung von Strategien zur Umsetzung eines effektiven Disaster Managements im Krisenfall, unter Einbeziehung der Bevölkerung. Hierzu zählt u.a. die medizinische und soziale Notversorgung der Bevölkerung auch in Absprache mit internationalen Hilfsstellen, wie z.B. das UN Sekretariat OCHA (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs), wenn im Katastrophenfall die eigenen Kräfte überfordert sind. Wie weit in Nepal die notwendigen Vorbereitungen gediehen sind, liegt außerhalb meines Kenntnisstandes. Ich vermute jedoch, dass diesbezüglich und nicht nur in Nepal noch ein langer Weg beschritten werden muss.



**Abbildung 1.** Erdbebenereignisse der Magnitude > 4 aus internationalen Katalogen im Himalaya-Gebiet und Nepal. Rote Punkte zeigen 591 Erdbeben im Zeitraum 2002 bis 2012, von denen 65 Ereignisse in Nepal auftraten. Die gelben Punkte betreffen die 32 registrierten Ereignisse im Jahr 2011 (USGS), von denen 7 im Raum Nepal auftraten.



**Abbildung 2.** Erdbebengefährdungskarte Zentralasiens, als Ausschnitt aus der Weltkarte des *Global Seismic Hazard Assessment Program* (GSHAP). ), die für Nepal eine „sehr hohe“ Erdbebengefährdung aufzeigt, mit maximal zu erwartenden Bodenbeschleunigungswerten zwischen 4 und 5 m/sec<sup>2</sup> (ca. 50% der Erdbeschleunigung), mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 10% innerhalb der nächsten 50 Jahre und bei einer Wiederkehrperiode eines solchen Ereignisses von 475 Jahren.



**Abbildung 3.** Topographische Karte mit geschätztem Verschiebungspotential (Balken), das sich seit 1800 bzw. den letzten stärkeren Erdbeben angesammelt hat, und die Population entlang des Himalaya nach Roger Bilham et al. (SCIENCE vol. 293, 2001, [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)). Jahreszahlen geben größere Bebenereignisse an. Die Balken sind im Abstand von 220 km dargestellt und entsprechen der ungefähren Bruchverschiebungslänge der Erdbeben. Schwarze Kreise zeigen Bevölkerungszentren, wobei die städtische Bevölkerung allein schon die Zahl von 40 Millionen übersteigt (UN-Quellen). Der Stern markiert das Epizentrum des Sikkim-Erdbebens (M=6.9) vom 18. Sept. 2011. Der Tiefenschnitt oben rechts zeigt vereinfacht den Übergang zwischen einem blockierten flachen Teil und einem tieferen Bereich, in dem Indien ohne Seismizität unter das südliche Tibet gleitet. Dazwischen konzentriert sich vertikale Bewegung, horizontale Kontraktion, und Mikrobeben-Aktivität.