

• *Landslides – Susceptibility assessment – Pakistan – GIS*

**Marcus Nüsser, Thomas Lennartz and Susanne Schmidt**

## **Stability and Instability of Slopes in an Earthquake-Affected Area of Pakistan-Administered Kashmir**

*Stabilität und Instabilität von Hängen in einem von Erdbeben betroffenen Gebiet im pakistanisch verwalteten Teil Kaschmirs*

With 10 Figures, 9 Tables and 4 Photos

Several thousand landslides triggered by the 2005 Kashmir earthquake clearly reveal the fragility of the landscape in the western Himalayas. The uneven distribution of these slope failures highlights the close coexistence of highly susceptible and rather stable slope sections. This paper describes a method to assess landslide susceptibility of a selected study area within the earthquake-affected region in Pakistan-administered Kashmir. The approach is based on the interpretation of very high-resolution remote sensing data supported by representative ground truthing in the field. The aim is to assess the influence of specific instability factors (lithology, slope gradient etc.) on the spatial probability of landslides by using bivariate statistical analyses in order to generate a landslide susceptibility model which supports the ongoing reconstruction process and future regional development planning.

*Summary: Stability and Instability of Slopes in an Earthquake-Affected Area of Pakistan-Administered Kashmir*

High mountain areas are fragile environments and their inhabitants are generally exposed to various natural hazards. This has been demonstrated by the 8 October 2005 Kashmir earthquake, which has triggered thousands of landslides and has caused massive destruction. In view of the ongoing reconstruction process and future development strategies it is of utmost importance to delineate areas

susceptible to slope failure. Such an assessment can be supported by a combination of high-resolution remote sensing data and spatial analyses using geographical information systems (GIS). This paper presents a landslide susceptibility model of an approximately 60 km<sup>2</sup> study area in Pakistan-administered Kashmir. It builds on a bivariate statistical approach to assess the influence of seven different instability factors. The statistical analysis reveals that bedrock lithology, slope gradient, land cover and distance to rivers are of major importance with respect to slope failure. Our analysis results in a

susceptibility map that reveals the close coexistence of highly susceptible and rather stable slope sections. Both, the model and the map may support regional decision-makers to concentrate further investigations in those areas that are most probably affected by future slope failure. Thus, the analysis contributes to risk reduction in the earthquake-affected areas of Azad Jammu and Kashmir.

*Zusammenfassung: Stabilität und Instabilität von Hängen in einem von Erdbeben betroffenen Gebiet im pakistanisch verwalteten Teil Kaschmirs*

Hochgebirgsräume sind durch fragile Umweltbedingungen charakterisiert und ihre Bewohner sind zahlreichen Naturgefahren ausgesetzt. Dieser Zusammenhang wurde durch das Kaschmir-Erdbeben vom 8. Oktober 2005 belegt, das tausende Massenbewegungen auslöste und massive Zerstörungen verursachte. Im Hinblick auf den noch nicht abgeschlossenen Wiederaufbauprozess und zukünftige Entwicklungsstrategien ist es von großer Bedeutung, Gebiete auszuweisen, die durch Massenbewegungen gefährdet sind. Diese Aufgabe kann durch eine Kombination hoch aufgelöster Satellitenbilder und räumlicher Analysen mithilfe geographischer Informationssysteme (GIS) unterstützt werden. Im vorliegenden Aufsatz wird ein Gefährdungsmodell für gravitative Massenbewegungen in einem ca. 60 km<sup>2</sup> großen Untersuchungsgebiet im von Pakistan verwalteten Teil Kaschmirs vorgelegt. Zur Modellierung wird eine bivariate statistische Methode verwendet, mit der der Einfluss von sieben unterschiedlichen Instabilitätsfaktoren bewertet wird. Die statistische Analyse zeigt, dass Lithologie, Hangneigung, Landbedeckung und die Distanz zu Flüssen einen bedeutenden Einfluss auf die Eintrittswahrscheinlichkeit von Massenbewegungen haben. Eine Gefährdungskarte stellt das enge Nebeneinander von stark gefährdeten und eher als stabil zu betrachtenden Hangabschnitten dar. Sie unterstützt regionale Entscheidungsträger, sich bei zukünftigen Untersuchungen auf jene Bereiche zu fokussieren, die eine hohe Anfälligkeit gegenüber Massenbewegungen aufweisen. Damit trägt die Studie zur Reduzierung des Risikos in der vom Erdbeben betroffenen Region in Azad Jammu und Kaschmir bei.

*Résumé: La stabilité et l'instabilité des pentes au sein d'une zone sismique de la partie du Cachemire sous administration pakistanaise*

Les zones de haute montagne sont caractérisées par un environnement fragile, et leurs habitants sont exposés à de nombreux risques naturels. Ce contexte a été prouvé par le séisme du 8 octobre 2005 au Cachemire qui a provoqué des milliers de glissements de terrain et causé des destructions massives. En vue du processus de reconstruction toujours en cours et de stratégies pour un développement ultérieur, il est important de désigner des zones vulnérables aux glissements de terrain. Cette tâche peut être confortée par une combinaison de photosatellite à haute résolution et d'analyse spatiale à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG). Cet article présente une modélisation des risques de glissements de terrain de type gravitationnel pour une région d'étude de 60 km<sup>2</sup>, située au Cachemire sous administration pakistanaise. La modélisation s'appuie sur une méthode de statistique bivariable permettant d'examiner l'impact de sept facteurs d'instabilité différents. L'analyse statistique démontre que la lithologie, l'inclinaison, la couverture terrestre et la distance par rapport aux cours d'eau ont un impact significatif sur la probabilité de glissements de terrain. Une carte des risques présente la juxtaposition étroite de sections de pentes à haut risque et de sections considérées plus stables. Cela permet de soutenir les décideurs régionaux afin qu'ils puissent se concentrer, dans le cadre de futures enquêtes, sur ces zones présentant une forte probabilité de survenance de glissements de terrain. De ce fait, cette étude contribue à la réduction des risques sismiques dans la région d'Azad Jammu et du Cachemire.

*Prof. Dr. Marcus Nüsser, Dipl.-Geogr. Thomas Lennartz, Dr. Susanne Schmidt, Department of Geography, South Asia Institute, Heidelberg University, Im Neuenheimer Feld 330, 69120 Heidelberg, Germany, marcus.nuesser@uni-heidelberg.de, thomas.lennartz@uni-heidelberg.de, s.schmidt@sai.uni-heidelberg.de*

Manuscript submitted: 25/10/2010

Accepted for publication: 02/12/2010