



# Untersuchungen und 3D-Analysen an der Huangtupo Großbrutschung in Badong (VR China)

Investigations and 3D analysis at the Huangtupo Landslide in Badong (VR China)

Christian Dumperth<sup>1</sup>, Renneng Bi<sup>1,2</sup>, Joachim Rohn<sup>1</sup>, Wei Xiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Deutschland

<sup>2</sup> Three Gorges Research Center for Geo-Hazards, Ministry of Education, China University of Geosciences (Wuhan), P.R. China

## Zusammenfassung

Mit der Fertigstellung der Drei-Schluchten Staumauer in China und den daraus resultierenden Wasserspiegelschwankungen im Reservoir, kam es vermehrt zur Aktivierung neuer bzw. Reaktivierung alter Massenbewegungen. Bis dato wurden über 4000 Massenbewegungen kartiert. Viele davon sind noch immer aktiv. Eine der größten besiedelten, aktiven Massenbewegungen befindet sich im Kreis Badong. Ca. 15.000 Menschen müssen hier aufgrund auftretender Bewegungen umgesiedelt werden.

Um die Mechanismen solcher Massenbewegungen zu verstehen, wurde von der China University of Geosciences in einem beispielhaften Projekt ein Tunnel in das anstehende Festgestein des Hanges getrieben. Dieses Felslabor bietet die Möglichkeit Hangbewegungen von einer völlig neuen Seite zu betrachten. Die im Tunnelsystem aufgeschlossenen Gleitflächen können direkt untersucht und beprobt werden. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden dazu verwendet, ein möglichst genaues dreidimensionales Modell des Areal zu erstellen. Ausgehend von diesem werden verschiedene Modellberechnungen durchgeführt und mit bereits vorliegenden Messergebnissen korreliert.

**Schlüsselworte:** Drei-Schluchten Staumauer, Yangtze, Badong, Huangtupo

## Abstract

With completion of the Three Gorges Dam in China and its resulting waterlevel changes in the reservoir area, there is an increased appearance of activated new, or reactivated old landslides. More than 4000 landslides have been mapped so far. A lot of them are still active. One of the biggest populated, active landslide can be found in the district of Badong town. As a result of occurring mass movements, about 15.000 people have to be resettled here.

To learn more about the mechanisms of these kinds of mass movements, China University of Geosciences, in an exemplary project, built a tunnel into the bedrock of this slope. This field laboratory provides the opportunity to get a whole new view of mass movements. Exposed sliding surfaces can directly be investigated and also samples can be taken from within the tunnel. Gathered information will be used to establish an as accurat as possible 3D model of the area. Based on this, different calculations will be done and correlated with almost given measurement results. Besides soil mechanic paramters geological formations, their dip and dip direction, aspect and drainage have been considered.

**Keywords:** Three Gorges Dam, Yangtze, Badong, Huangtupo

## 1 Einleitung

Viele Faktoren können die Stabilität eines Hanges beeinflussen. Neben beispielsweise Hangneigung und Exposition kann auch der menschliche Eingriff in das Hanggleichgewicht eine große Rolle bei der Aktivierung bzw. Reaktivierung von Massenbewegungen spielen. Staumauern können, neben ihrem hohen Nutzen-Faktor, einen solch negativen Eingriff in das Hanggleichgewicht verursachen. Ein Beispiel hierfür ist die Drei-Schluchten Staumauer in China. Trotz des hohen wirtschaftlichen Nutzens, den das Projekt mit sich bringt, gehen auch zunehmend Probleme damit einher. Im Herbst 2008 und 2009 erreichte das Drei-Schluchten Reservoir erstmals den angestrebten Maximallevel. Infolgedessen ist seit Beginn des Aufstaus eine erhöhte Aktivierung von Massenbewegungen erkennbar.

Diese Ereignisse, zu denen auch reaktivierte ältere Bewegungen zählen, stellen vor allem in besiedeltem Gebiet eine große Bedrohung dar. Neben Verlust von wirtschaftlich nutzbarem Land bedeuten sie auch eine akute Bedrohung für die Bevölkerung. Die Erforschung dieser akuten und ständig präsenten Bedrohung ist Gegenstand des Teilprojektes TP 2: Erkennung, Modellierung und Frühwarnung von Massenbewegungen im Einflussbereich des Drei-Schluchten Staudammes, welches zusammen mit vier weiteren deutschen Universitäten und deren chinesischen Partnern Bestandteil der zweiten Projektphase von „Yangtze Geo 2“ ist.

## 2 Arbeitsgebiet

Die Drei-Schluchten Staumauer befindet sich nahe der Stadt Yichang (Provinz Hubei, Zentral China). Sie staut den Yan-

gtze, einen der größten Flüsse Chinas, auf einer Länge von 660 km bis nach Chongqing auf (SUBKLEW, 2009). In Anbetracht dieser enormen Größe ist eine gesamte Untersuchung des Aufstaubereichs nicht möglich. Infolgedessen wurden für diesen Bereich repräsentative Arbeitsgebiete gewählt. Während das Augenmerk im Rahmen der ersten Projekt-phase des Yangtze Projekts auf den Xiangxi, einen ebenfalls vom Aufstau betroffenen Seitenarm des Yangtze und dessen Einzugsgebiet gelegt wurde, liegt es während der zweiten Projektphase auf der Stadt Badong und deren Umgebung. Die Stadt befindet sich direkt am Yangtze, ca. 75 km flussaufwärts der Drei-Schluchten Staumauer.



Abb. 1: Lage der Arbeitsgebiete. Das gelbe Polygon zeigt die Lage des Arbeitsgebietes, das rote das Xiangxi Einzugsgebiet

Fig. 1: Study site locations. The yellow polygon shows the actual study site, while the red one shows the Xiangxi catchment.

### 3 Daten und Methoden

Die Bearbeitung eines Gebietes durch einen Projektverbund benötigt vorerst eine einheitliche Datengrundlage. Die bisherigen Studien basieren auf dem 3 Arc-Sekunden SRTM DEM (Jarvis, et al. 2008), welches auf eine Auflösung von 45 m konvertiert wurde. Da diese Auflösung nur für einen großen Maßstab hinreichend genau ist, wurden anhand von vorliegenden, topografischen Karten höher aufgelöste digitale Gelände Modelle ( DEM ) erstellt. Aufgrund nur eingeschränkter Datenverfügbarkeit werden diese auch zur Erstellung des angestrebten drei dimensionalen Gelände-modells herangezogen. Eine Zellgröße von 5 m x 5 m stellte sich bei der Erstellung dieser DEM als bester Kompromiss aus Genauigkeit und Auflösung dar. Das so aufgelöste Modell dient nun zur statistischen Analyse rutschungsrelevanter Parameter. Hierzu fungiert jede einzelne Zelle als Informationsträger. Ein beispielsweise 100 m<sup>2</sup> großer, ebener Bereich enthält vier dieser Informationsträger. Trägt einer dieser nun den rutschungsrelevanten Parameter x, macht dies 25 % des Gesamtbereiches aus. Nach diesem Schema wurden die folgenden Parameter untersucht.

### 4 Risiko Parameter

Zur Analyse wurden die Massenbewegungen nahe der Stadt Badong gewählt. Aufgrund geologischer Gegebenheiten (einheitliches Einfallen, sowie Einfallrichtung) werden hier nur Massenbewegungen am Südufer des Yangtze analysiert. Fortführende Analysen werden im Laufe des Projekts angestrebt.

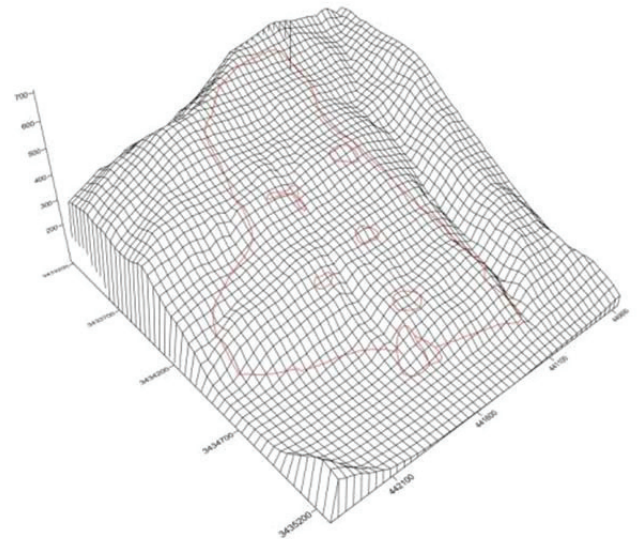


Abb.2: Beispielhaft in einzelne Informationsträger aufgeteilte Huangtupo Großrutschung. Zellgröße 50 m x 50 m

Fig. 2: Exemplary in individual information cells separated Huangtupo mass movement. Cell size 50 m x 50 m

#### 4.1 Einfallrichtung der Schichten und Hangexposition

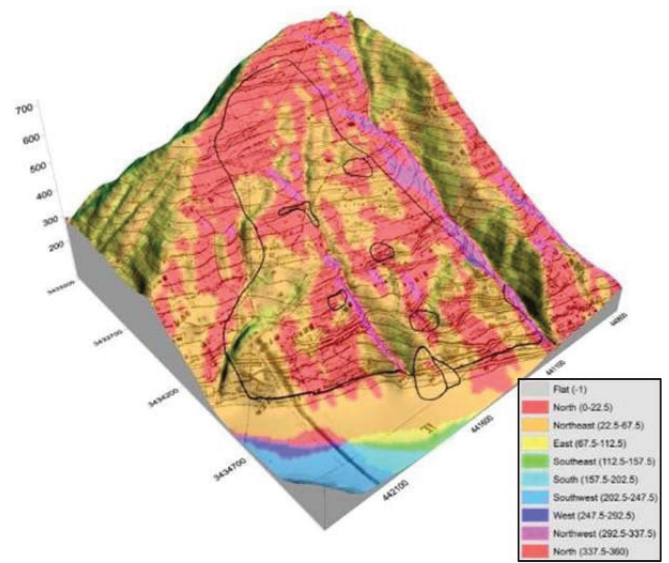


Abb. 3: Grafische Darstellung der Hangexposition für den Bereich nahe der Großrutschung Huangtupo.

Fig. 3: Graphical illustration of aspect for Huangtupo mass movement and its surrounding area.

Die geologische Situation in diesem Gebiet kann grob als nach Norden, in Richtung Fluss eintauchende Faltenstruktur beschrieben werden.

Es ist naheliegend, dass Areale deren Hangexposition mit der Einfallrichtung der geologischen Schichten übereinstimmt, einem höheren Risiko der Mobilisierung ausgesetzt sind. Diese Tatsache kann dazu genutzt werden, um einzelne bereits im Voraus kartierte Risikobereiche nach ihrer Exposition aufzuschlüsseln (s. Abb. 3). Das Ergebnis kann als Anhaltspunkt zur Risikoabschätzung genutzt werden.





## 4.2 Hangneigung

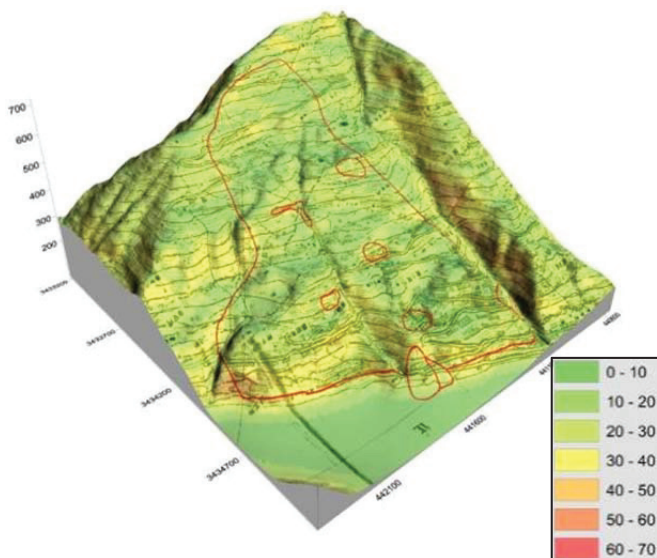


Abb. 4: Grafische Darstellung der Hangneigung für den Bereich nahe der Großrutschung Badong.

Fig. 4: Graphical illustration of slope angle for Huangtupo mass movement and its surrounding area.

Ebenso wie die Hangexposition hat die Hangneigung einen großen Einfluss auf die Hangstabilität. Neben erneuter Aufschlüsselung einzelner (s. Abb. 4) oder mehrerer Bereiche zur Risikoabschätzung kann eine grafische Darstellung der Hangneigung zudem auch beim Auffinden rutschungstypischer Strukturen, wie verflachten Rutschkörpern oder steilen Abrisskanten, helfen (s. Abb. 5)

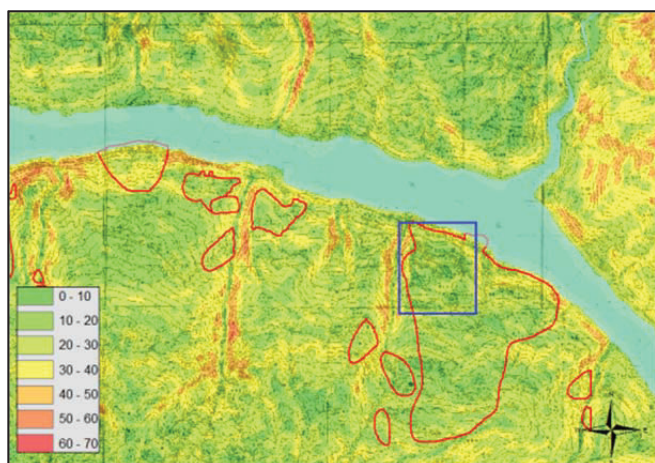


Abb. 5: Hangneigungskarte mit verflachter sekundärer Rutschung (blaues Polygon) innerhalb der Großrutschung Huangtupo.

Fig. 5: Hill slope map including flattened secondary mass movement (blue polygon) within Huangtupo mass movement.

## 4.3 Kontakt mit dem Staubereich

Neben der landwirtschaftlichen Nutzung und Kultivierung von Flächen stellt der Aufstau des Yangtze den größten menschlichen Eingriff in das Hanggleichgewicht dar. Vor allem Bereiche, die permanent unter dem Einfluss der Stauzyklen stehen, zeigten sich in Vergangenheit als gefährdet. Auf- und Abstau (s. Abb. 7) führen zu andauernden

Veränderungen im Grundwasserspiegel und folglich zu fortdauernden Veränderungen in der Hangstabilität. Diese können auf Dauer zur Mobilisierung neuer, bzw. Reaktivierung alter Massenbewegungen führen. Eine Berechnung, bzw. Darstellung (s. Abb. 6) der betroffenen Flächen kann hier wiederum zur Risikoabschätzung benutzt werden.

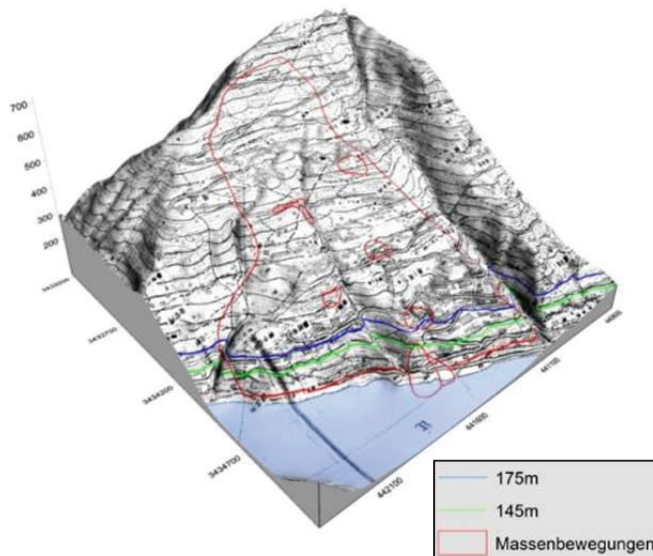


Abb. 6: Grafische Darstellung des, vom Aufstau betroffenen Bereichs der Großrutschung Huangtupo. Die Grüne Linie zeigt das Wasserlevel bei 145 m ü. NN, die blaue Linie bei 175 m ü. NN.

Fig. 6: Graphical illustration of impoundment affected areas within Huangtupo mass movement. The green line shows water level at 145 m ü. NN, the blue one at 175 m ü. NN

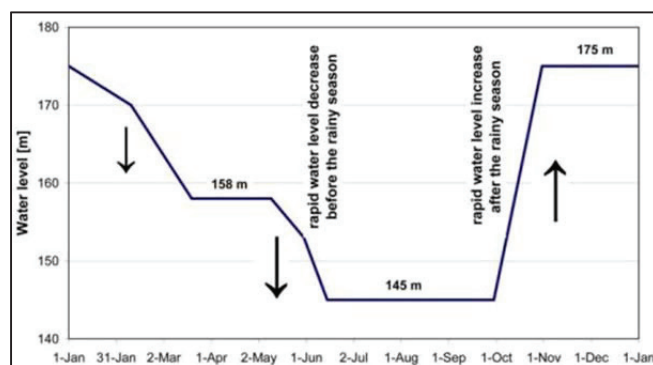


Abb. 7 Jährliche Wasserspiegelschwankungen im Drei-Schluchten Reservoir (Ehret et al. 2008)

Fig. 7 Annual water level changes of the Three Gorges Reservoir (Ehret et al. 2008)

## 5 Das Felslabor

Neben den statistischen Analysen bietet das Projekt die einmalige Möglichkeit der direkten Begehung der Gleitfläche einer Hangbewegung. Das hierzu eigens in das Festgestein des Hanges getriebene Felslabor verfügt über mehrere Erkundungsstollen, die bis direkt in die Gleitfläche der Massenbewegung reichen. Dies bietet die Möglichkeit die dort angetroffenen Gleitflächen direkt einzumessen und Probenmaterial zu entnehmen. Das entnommene Material kann dann beprobt und zur Verfeinerung späterer 3D Simulationen verwendet werden. Der Tunnel (s. Abb. 8) selbst

befindet sich im nordwestlichen Bereich der Hangbewegung und durchquert hier den in Abb. 5 blau markierten Bereich.

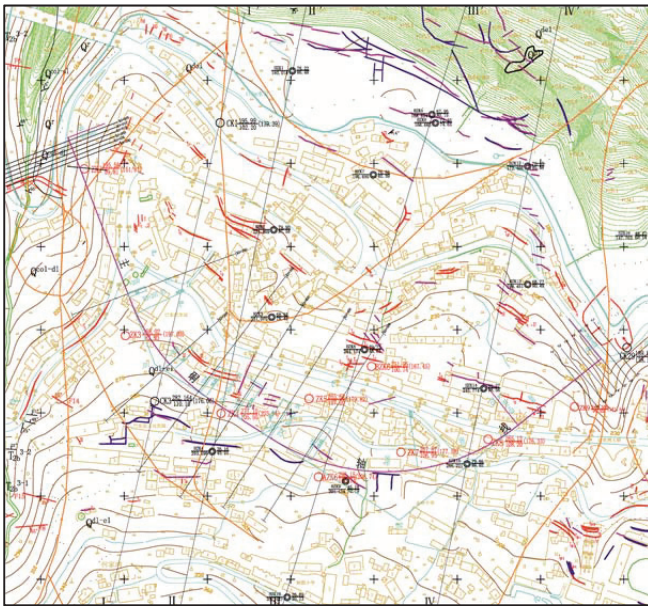


Abb. 8: Geotechnische Karte, des in Abb. 5 dargestellten blauen Polygons. Der violette Strich zeichnet den Verlauf des Tunnels nach, China University of Geosciences (Wuhan)

Fig. 8: Geotechnical map of the area within the blue polygon illustrated in fig. 5. The purple line symbolizes the position of the tunnel, China University of Geosciences (Wuhan)

## 6 Anwendung

Informationen von einzelnen Gebieten können nun zum Beispiel in Histogrammen aufgelistet, verglichen und interpretiert werden. Die so gewonnenen Informationen sollen helfen, das Risikopotential des gesamten Arbeitsgebietes in Kategorien einzuteilen. Diese Risikokategorien sollen aus den Schnittmengen der einzelnen untersuchten Risikofaktoren hervorgehen. Je mehr solcher Faktoren auf eine Zelle des DEM zutreffen, umso höher wird also deren Gefährdungspotential sein. Als Anwendungsbeispiel werden folgend die Hangneigung und -exposition verwendet (s. Abb. 9, 10). Es ist zu beachten, dass das Einfallen und die Einfallrichtung für alle 25 hier gezeigten Massenbewegungen gleich sind. Von diesen abweichende Bereiche müssen gesondert betrachtet werden.

Stellt man nun mehrere Parameter, wie in Abb. 9 und Abb. 10 gegenüber, so lassen sich auf Anhieb die Risikoparameter vergleichen und somit Rückschlüsse auf eventuelle Gefahrenbereiche ziehen. Diese Gefahrenbereiche sollen zur Erstellung einer Gefahrenhinweiskarte dienen. Aus Satellitenbildern kann zudem eine Karte mit Informationen über die Siedlungsdichte gewonnen werden, die abgeglichen mit der Gefahrenhinweiskarte mögliche Gefährdungsbereiche für die dort lebende Bevölkerung anzeigen kann. Eine solche Karte kann dann von Behörden vor Ort zur Planung verwendet werden.

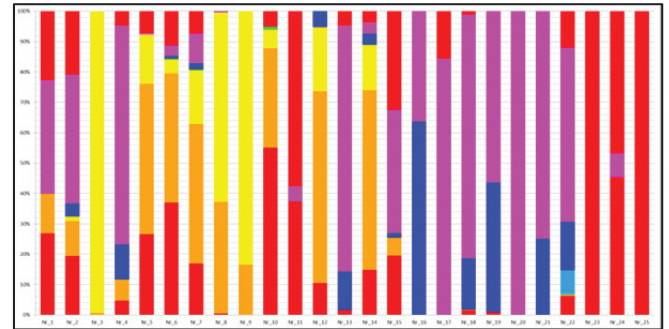


Abb. 9: Prozentuale Aufschlüsselung aller Hangbewegungen um Badong nach ihrer Hangexposition. Legende s. Abb. 3

Fig. 9: Percental key by aspect of all mass movements around Badong town

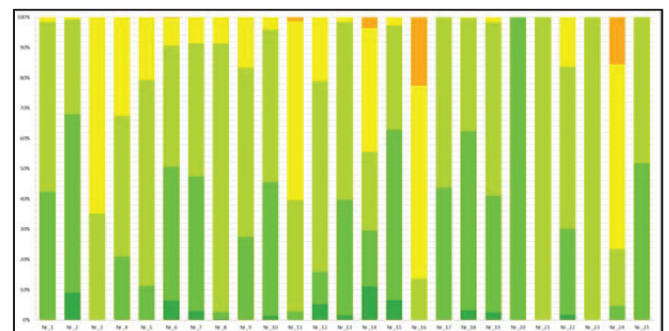


Abb. 10: Prozentuale Aufschlüsselung aller Hangbewegungen um Badong nach ihrer Hangneigung. Legende s. Abb. 4

Fig. 10: Percental key by slope angle of all mass movements around Badong town

## 7 Ausblick

Ziel zukünftiger Arbeiten soll es werden, alle bereits kartierten Massenbewegungen in die statistischen Analysen mit aufzunehmen und diese um etwaige Risikofaktoren, wie zum Beispiel den Oberflächenabfluss, zu erweitern. Noch ausstehende Berechnungen mit dem Programm Flac3d an der Huangtupo Großrutschung können dann bei Bedarf auf, als potentiell gefährdet erachtete, Bereiche angewendet werden.

Für die Modellierungen sollen bereits voran gegangene drei dimensionale Berechnungen (vgl. Abb. 11) an Massenbewegungen des Drei-Schluchten Reservoirs als Referenz herangezogen werden.

Erarbeitete Problemlösungen und gemachte Erfahrungen sollen dann auf eine neue Modellierung der Huangtupo Großrutschung übertragen werden.



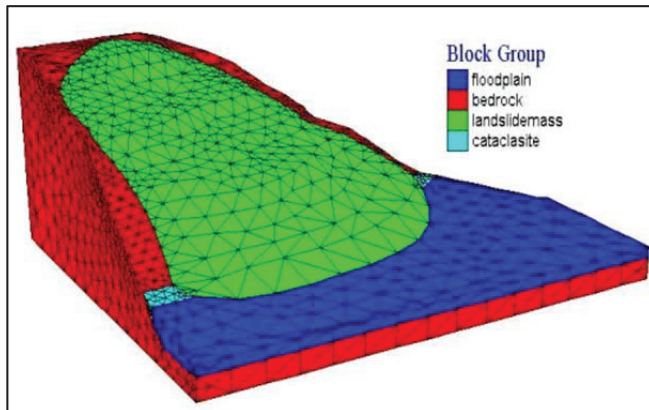


Abb. 11: 3D Modell der Massenbewegung, (Jiwei, et al., 2011)

Fig. 11: 3D Modell of the mass movement, (Jiwei, et al., 2011)

## 8 Danksagungen

Die Autoren bedanken sich beim Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Finanzierung durch das Verbundprojekt WTZ China YANGTZE GEO II - Landnutzung, Bodenerosion, Massenbewegungen und Stoffeinträge am Yangtze im Bereich der Drei Schluchten, sowie bei den chinesischen und deutschen Projektpartnern für deren Unterstützung.

## Literatur

- EHRET, D., ROHN, J., DUMPERTH, C., ECKSTEIN, S., ERNSTBERGER, S., RUDOLPH, R., WIEDENMANN J. (2010): Frequency Ratio Analysis of Mass Movements in the Xiangxi Catchment, Three Gorges Reservoir Area, China - *Journal of Earth Science*, **21**(6): 824–834.
- EHRET, D., ROHN, J., SHAOJUN, Y., XIANG, W. (2008): Influence of large water level changes on slope stability and reactivation of mass movements in the Three Gorges Reservoir - *Proceedings of the International Conference on Management of Landslide Hazard in the Asia-Pacific Region*, 297-304.
- JARVIS, A., REUTER, H., NELSON, A. (2008): Hole-Filled Seamless SRTM Data V4 - *International Centre for Tropical Agriculture*
- JIWEI, J., EHRET, D., XIANG, W., ROHN, J., HUANG, L., SHAOJUN, Y., BI, R. (2011): Numerical Simulation on the Deformation Predictions of Qiaotou Landslide Causes by Drawdown of Three Gorges Reservoir, China - *Environmental Earth Science*, **62**: 411–419.
- KALLEN, D., XIANG, W., EHRET, D., & ROHN, J. (2006). Landslides at Qingjiang River in the Downstream Area of Shuibuya Dam Site, China - *Journal of China University of Geosciences*, **17**(2): 158–162.
- SUBKLEW, D. G. Yangtze Project. <http://www.yangtze-project.de/>