



Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004 – RIVA / TRIENT

MODELL ZUR VORHERSAGE VON POTENTIELLEN FELSSTURZREICHWEITEN UNTER VERWENDUNG EINES GIS

EIN WEG ZUR ERSTELLUNG VON GEFAHRENHINWEIS- UND GEFAHRENKARTEN IM REGIONALEN MASSSTAB

MODELLING ROCK-FALL ASSESSMENT AREAS WITH GIS TOOLS

A WAY OF CREATING DANGER AND HAZARD MAPS IN A REGIONAL SCALE

Karl Mayer¹, Andreas von Poschinger² und Thomas Gallemann³

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden die vorläufigen Ergebnisse und der Stand der Arbeiten an einem GIS-basierten Modell zur Vorhersage der Reichweite von Felsstürzen im regionalen Maßstab dargelegt. Aufgrund der bereits erfolgten Vorarbeiten (GEORISK-Arbeiten) sind die Ausgangsgebiete für Felsstürze bereits weitgehend bekannt und bilden die Arbeitsbasis. Eine anschließende Verschneidung des DGM im GIS mit den verschiedenen Höhe/Länge-Relationen ergibt Hinweisflächen für mögliche Reichweiten. Je nach Hanggeometrie ist dabei der Schattenwinkel oder das geometrische Gefälle vorzuziehen. Ergänzt durch Hinweise zur Eintretenswahrscheinlichkeit und zur Intensität sollen die Flächen in überregionale Gefahrenhinweiskarten für die Planung eingehen. Sie sollen und können keinen Ersatz für Einzelfalluntersuchungen sein.

Key words: Felssturz, Gefahrenhinweiskarte, Gefahrenkarte, GIS

ABSTRACT

The current works concerning a model for predicting the run-out of rock falls on a regional scale will be presented. As the detachment areas already have been detected by earlier works (GEORISK-system), the potential reach can be calculated in the GIS. This is done by intersection of the DTM with the different possible angles of reach which have to be chosen carefully according to the cliff geometry. The resulting surfaces include already the most crucial factor for a hazard map. The factors probability and intensity will be added separately.

1 Dipl.-Geol., Bayerisches Geologisches Landesamt, Hess-Str. 128, 80797 München, Deutschland (Tel.: +49-89-9214-2600; Fax: +49-89-9214-2647; email: poststelle@gla.bayern.de)

2 Dr. Dipl.-Geol., Bayerisches Geologisches Landesamt, Hess-Str. 128, 80797 München, Deutschland

3 Dipl.-Ing. für Vermessung (FH), Bayerisches Geologisches Landesamt, Hess-Str. 128, 80797 München, Deutschland

The hazard map shall be used for regional planning. It is obvious that it cannot replace detailed local investigations.

Key words: Rock fall, danger map, hazard map, GIS

EINFÜHRUNG UND HINTERGRUND

Seit 1987 wird unter dem Projektnamen "GEORISK" eine Archivierung von Hangbewegungsphänomenen und –ereignissen durchgeführt. Dies erfolgt sowohl durch eine punktuelle Erfassung von Informationen jeder Art zu Hangbewegungen als auch durch gezielte Kartierungen in sensiblen Bereichen, also vornehmlich im Umfeld von Siedlungsgebieten. Insbesondere werden bereits erfolgte Hangbewegungen dokumentiert und analysiert. Hierdurch können Bereiche ermittelt werden, aus denen mit höherer Wahrscheinlichkeit weitere Aktivität zu erwarten ist. Die Ergebnisse der Untersuchungen sowie Kartengrundlagen und weiterführende Basisinformationen werden in einem GIS (GEORISK Dokumentations- und Informationssystem) zusammengeführt und verwaltet. Die Zusammenführung der Daten in einem GIS hat den entscheidenden Vorteil, dass für weitergehende Analysen sehr unterschiedliche digitale Informationen in einem einzigen System schnell und unkompliziert zur Verfügung stehen. Die Kenntnis von Bereichen aus denen sich zukünftig Hangbewegungen entwickeln können, ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, Aussagen über das durch die Hangbewegung betroffene Gebiet (potentieller Ablagerungsbereich) machen zu können. Dazu muss die Reichweite von potentiellen Hangbewegungen abgeschätzt werden. Felssturz- und Steinschlagereignisse stellen aufgrund ihrer hohen zerstörerischen Energie und meist kurzen Vorwarnzeit eine große Gefahr für Menschenleben und Sachwerte dar. Aus diesem Grund liegt es nahe, sich bei der Abschätzung von Reichweiten zuerst diesen Hangbewegungen zu widmen.

Zur Vorhersage von Felssturz- und Steinschlagreichweiten existieren bereits mehrere Simulationsprogramme, die sowohl in der zweidimensionalen Profilebene als auch im dreidimensionalen Raum anwendbar sind. Beim Einsatz dieser Programme werden detaillierte Angaben über die Sturzbahn (Morphologie, Rauigkeit, Dämpfungsparameter usw.) benötigt, die nur durch genaue Geländeaufnahmen des potentiellen Sturz- bzw. Ablagerungsbereiches zu ermitteln sind. Es handelt sich deshalb um Programme, die unter ökonomischen Gesichtspunkten nur im lokalen Maßstab ($> 1:2.500$) anwendbar sind. Für Planungsfragen wäre allerdings auch eine Vorhersage von Felssturz- und Steinschlagreichweiten im regionalen Maßstab ($1:25.000$) wünschenswert. Die modernen GIS-Techniken ermöglichen einen solchen Ansatz. Im Rahmen eines von der Europäischen Union (Interreg III B Alpine-Space-Programm; „CatchRisk“) unterstützten Pilotprojektes soll u. a. eine entsprechende Umsetzung erfolgen. Zielsetzung für das Bayerische Geologische Landesamt ist es, Empfehlungen in Form eines Handbuches zu erstellen, wie nach einer für Bayern einheitlichen Methode die Reichweiten von potentiellen Felssturz- und Steinschlagereignissen im regionalen Maßstab ($1:25.000$) ermittelt werden können. Der GIS-technische Ansatz erlaubt dabei die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten (Danger Maps) im Maßstab $1:25.000$.

THEORETISCHER HINTERGRUND ZUR ERMITTLUNG DER POTENTIELLEN FELSSTURZREICHWEITEN

Bei Ermittlung von Reichweiten für Felsstürze ($< 30.000 \text{ m}^3$) und Steinschläge im regionalen Maßstab ($1:25.000$) wird eine einfache Pauschalwinkelmethode angewandt, die im wesentlichen auf Untersuchungen von Evans & Hungry (1993) und Meißl (1998) beruht. Dabei

können u.a. der *Schattenwinkel* (nach Evans & Hungr) und das *Geometrische Gefälle* (nach Meißl) herangezogen werden (s. Abb1).

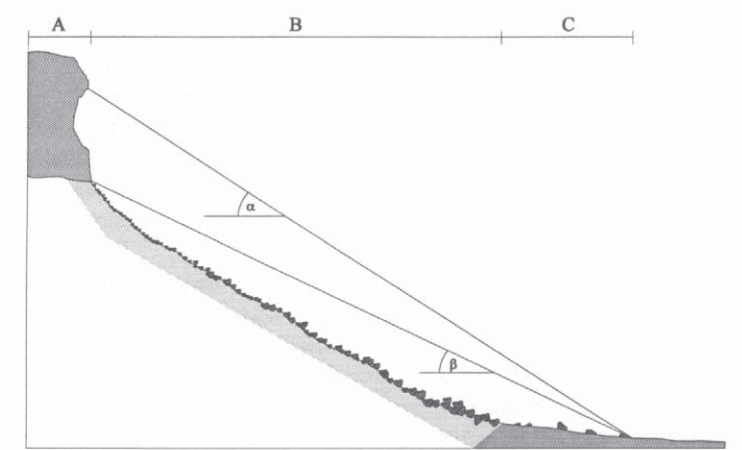


Abb1: Geometrisches Gefälle (α); Schattenwinkel (β); Anbruchbereich (A); Sturzkegel (B); Sturzschatten (C)
Fig1: Geometrical slope angle (α); shadow angle (β); source (A); talus (B); rock-fall shadow (C)

Die Untersuchungen von Evans & Hungr ergaben, dass bei der Bestimmung der Reichweite mit Hilfe des *Schattenwinkels* ein Minimalwinkel von ca. 27° angesetzt werden sollte. Wird die Reichweite mit Hilfe des *Geometrischen Gefälles* bestimmt können nach Meißl ca. 32° angesetzt werden. Bei der Wahl der Winkel muss darauf geachtet werden, in welchem Verhältnis die Höhe des potentiellen Anbruchbereiches zur Höhe des bereits vorhandenen Ablagerungsbereiches (Sturzkegel + Sturzschatten) steht. Bei im Verhältnis zum Sturzkegel sehr hohen Felswänden würde die Verwendung des *Geometrischen Gefälles* mit 32° ein viel zu pessimistisches Ergebnis liefern. In diesem Fall muss der Schattenwinkel zur Reichweitenbestimmung herangezogen werden. Die Winkelbeträge müssen in weitergehenden Untersuchungen (Simulationen im lokalen Maßstab) noch bestätigt werden. Gerade für Gefahrenhinweiskarten im regionalen Maßstab, sollte dabei immer darauf geachtet werden, die jeweiligen Winkel für die Maximalreichweiten zu verwenden um über Sicherheitsreserven zu verfügen.

ERSTELLUNG VON GEFAHRENHINWEISKARTEN FÜR FELSSTÜRZE UND STEINSCHLAG IM REGIONALEN MASSSTAB

Mit Hilfe der oben genannten theoretischen Grundlagen liegt die Möglichkeit nahe, unter Verwendung eines GIS im lokalen Maßstab Bereiche zu ermitteln, aus denen es zu Felssturz und Steinschlag kommen kann (potentielle Anbruchgebiete). Dank der hohen Datendichte, die das GEORISK Dokumentations- und Informationssystem liefert, liegen diese Informationen für den bayerischen Alpenbereich bereits vor. (s. Abb2).

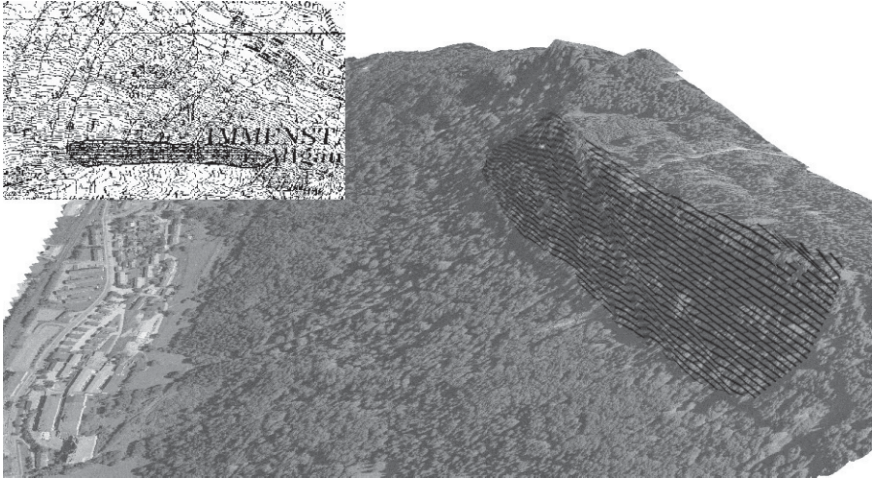


Abb3: Potentieller Anbruchbereich
Fig3: Potential detachment area

Im **zweiten Schritt** wird ermittelt, ob die Berechnung des potentiellen Felssturzgebietes (Ablagerungsbereich) über das *Geometrische Gefälle* (32° von der potentiellen oberen Anbruchkante) oder über den Schattenwinkel (27° vom Top des Sturzkegels) erfolgen soll. Als Ergebnis wird von der Oberkante des Ablagerungsbereiches (27°) oder, wie auf Abb4, von der potentiellen oberen Anbruchkante (32°) gerechnet.

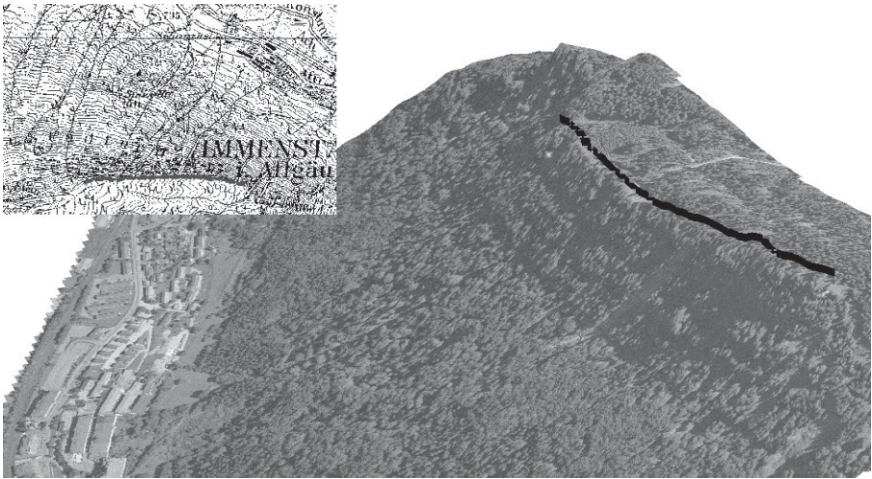


Abb4: Potentielle obere Anbruchkante
Fig4: Potential upper edge of the detachment area

Im **dritten Schritt** wird eine Berechnung im DTM durchgeführt, bei der von jedem Punkt der Anbruchlinie (wenn das *Geometrische Gefälle* gewählt wurde) die Sichtbarkeit im

umliegenden Gelände geprüft wird. Als vertikaler Sichtwinkel wird in diesem Fall der Vertikalwinkel zwischen dem *Geometrischen Gefälle* (-32°) und der Vertikalen (-90°) festgelegt. Alle Areale, die innerhalb dieses Sichtwinkels liegen, sind potentiell innerhalb des Sturzbereiches (s.Abb5).

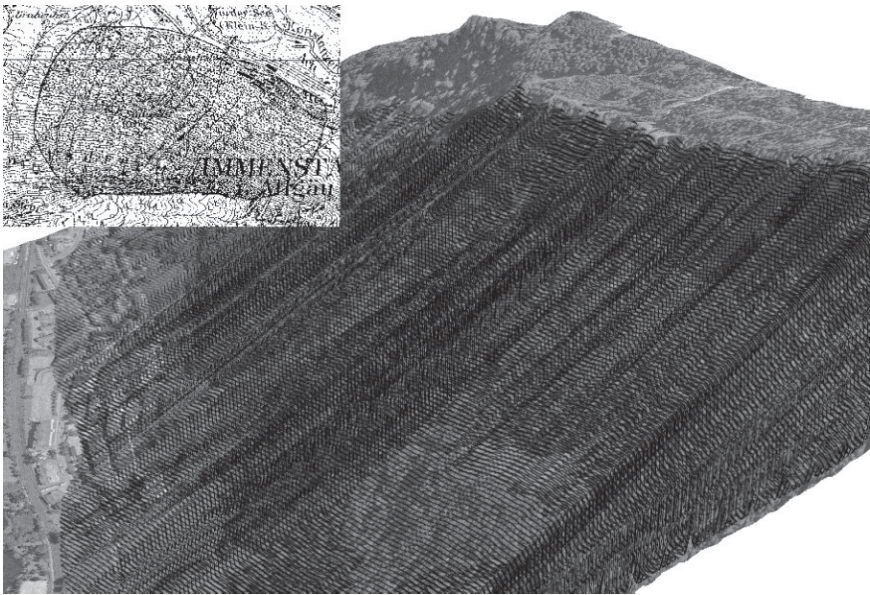


Abb5: Berechneter Gefahrenhinweisbereich

Fig5: Calculated danger area

Das Ergebnis ist eine Fläche, in der Sturzmaterial aus dem o.g. *Homogenitätsbereich* zum Liegen kommen kann. Der Bereich kann als potentieller Sturzbereich (*Danger Area*), die daraus entstehende Karte als Gefahrenhinweiskarte (*Danger Map*) bezeichnet werden.

Anmerkungen zur Methodik und zur Software

Alle oben genannten Arbeitsschritte werden mit dem Programm ArcMap 8.x. (ESRI) und mit Hilfe der Extensions 3D Analyst und Spatial Analyst durchgeführt. Als Datenbasis dient das DTM (10 m Rasterweite) und Daten aus dem GEORISK Dokumentations- und Informationssystem. Die Berechnungen werden über Viewshed-Funktionen durchgeführt wobei die Sturzwinkel den *Homogenitätsbereichen* (observer point features) als Attribute zugeordnet werden.

Bereits existierende Programmierungen (VBA), die auf der Softwarefamilie von ESRI basieren, werden neben externen Eigenentwicklungen zum Beispiel in der Schweiz zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten verwendet. Auch hier werden Pauschalwinkelmethoden angewandt. Ein wesentlicher Unterschied zur oben erläuterten Methode besteht jedoch darin, dass zusätzlich Trajektorienberechnungen zur Bestimmung der Sturzbahn verwendet werden und die potentiellen Anbruchbereiche für Felssturz und Steinschlag meist aus bestehenden Kartenwerken (z.B. Felssignaturen aus der

Topographischen Karte, Geologische Karte, Spezialkartierungen) ermittelt werden. Ungenauigkeiten, die durch die Generalisierung dieser Basiskarten entstehen, werden durch pessimistischere Annahmen ausgeglichen.

Da das Ergebnis der Trajektorienberechnung sehr stark von der Qualität des digitalen Geländemodells abhängt und generalisierte Dämpfungsparameter (erhöhte Dämpfung des Untergrundes im Wald und für flache Hänge) eingesetzt werden müssen, erschien dieser Weg für den Bayerischen Alpenraum zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht zielführend. Die einfache Pauschalwinkelmethode führt zwar meist zu pessimistischeren Aussagen, also zu größeren Gefahrenhinweisbereichen, dies kann jedoch teilweise durch genauere Bestimmung der potentiellen Anbruchbereiche (hohe Datendichte im GEORISK Dokumentations- und Informationssystem) und durch die freie Wahl des minimalen Sturzwinkels (*Schattenwinkel* oder *Geometrisches Gefälle*) ausgeglichen werden. Sicherlich führt es zu größeren Sicherheitsreserven, was wie oben bereits erwähnt, für Gefahrenhinweiskarten im regionalen Maßstab wichtig ist.

VON DER GEFAHRENHINWEISKARTE (DANGER MAP) ZUR GEFAHRENKARTE (HAZARD MAP)

In der Gefahrenhinweiskarte (*Danger Map*) werden Ablagerungsbereiche potentieller Sturzereignisse dargestellt. Wird diesen Ablagerungsbereichen jeweils ein Wert zugeordnet, der die Wahrscheinlichkeit und Intensität von Sturzereignissen beschreibt, entsteht eine Gefahrenkarte (*Hazard Map*). Dazu muss ein System entwickelt werden, um die Bewertung der unterschiedlichen Ablagerungsbereiche einheitlich durchführen zu können.

Für die Bewertung der einzelnen Flächen wird derzeit eine Matrix entwickelt, die analog zum sog. Schweizer Modell (Lateltin 1997) eine qualitative Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit und Sturzintensität erlaubt. Diese Matrix ist auf den Inhalt des bestehenden GEORISK Dokumentations- und Informationssystems abgestimmt. Voraussichtlich müssen deshalb keine Daten im Gelände neu erhoben werden.

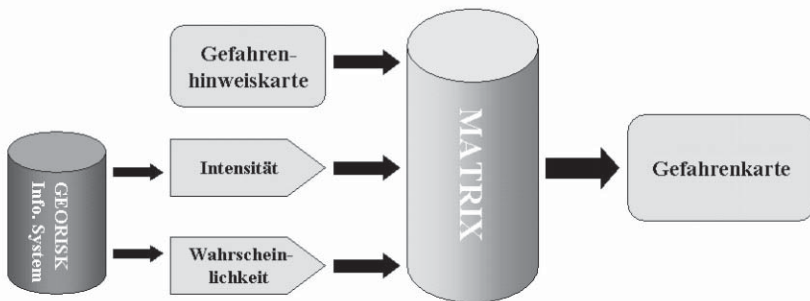


Abb6: Diagramm zur Erstellung von Gefahrenkarten aus Gefahrenhinweiskarten

Fig6: Flowchart to create hazard maps from danger maps

AUSBLICK

Zur Zeit wird die oben beschriebene Vorgehensweise zur Bestimmung von potentiellen Felssturz- und Steinschlagreichweiten im Bereich von 5 Testgebieten im Bayerischen Alpenraum geprüft. Bei der Wahl der Testgebiete wurde darauf geachtet, möglichst unterschiedliche geologische und morphologische Verhältnisse anzutreffen. Ebenso wurde berücksichtigt, dass auch verschiedene Bewegungsarten in den Anbruch- und Ablagerungsbereichen anzutreffen sind (fallen, stürzen, rollen). Die ermittelten Gefahrenhinweisbereiche werden mit Hilfe von 2-D- und 3-D-Simulationsprogrammen validiert. Um Fehlerquellen besser erkennen zu können, werden die Simulationen im lokalen Maßstab durchgeführt. Basis dafür sind ingenieurgeologische Kartierungen (1:2.500), Aufnahme der geotechnischen Parameter im jeweiligen potentiellen Anbruchbereich sowie die Bestimmung von Parametern im Gelände, die für die Simulationsprogramme nötig sind.

Die Entwicklung der Matrix zur Erstellung der Gefahrenkarten (*Hazard Map*) ist weitgehend abgeschlossen. Sie wird auf ihre Plausibilität im Gelände überprüft.

Die Erstellung der Gefahrenhinweiskarten (*Danger Map*) und der Gefahrenkarten (*Hazard Map*) erfolgt, wie oben bereits erwähnt, über Sandart-Tools des Programms ArcMap 8.x. und weiterer Extensions. Sowohl bei der Bestimmung der *Homogenitätsbereiche* (potentielle Anbruchbereiche) als auch bei der Berechnung und Generalisierung der Gefahrenhinweisbereiche sind jedoch Zwischenschritte erforderlich, die durch speziell für diese Anwendung programmierte Tools vereinfacht werden sollen. Im Zuge der interregionalen Zusammenarbeit im Rahmen des „Interreg III B Alpine-Space-Programms“ werden sowohl diese Tools als auch die entwickelten Richtlinien (Handbuch) zur Bestimmung der Reichweiten von potentiellen Felssturz- und Steinschlagereignissen im regionalen Maßstab der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

LITERATUR

- Einstein, H. H. (1988): "Landslide risk assessment procedure". *Landslides Glissements de Terrain*, Vol. 2 ; 1075 – 1090, Rotterdam 1988.
- Eisbacher, G.H. & Clague, J.J. (1984): "Destructive movements in high mountains: Hazard and Management". *Geological Survey of Canada*, Paper 84-16; 47 - 51.
- Evans, S.G. & Hungr, O. (1993): "The assessment of rockfall hazards at the base of talus slopes". *Canadian Geotechnical Journal* Canada (1993), Vol. 30, Number 4; 620 – 636.
- Geotest AG, Geo 7, Kellerhals + Haefeli AG, GIUB (1998): „Erläuterungsbericht Gefahrenhinweiskarte des Kantons Bern 1:25'000, Ausgabe 1997“, Bern 1998.
- Lateltin, O. (1997): „Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten“. *Empfehlungen der BRP, BWW, BUWAL*, Bern 1997.
- Kienholz, H. (1996): „Gefahrenkarten: Maßgebliche Parameter und Kriterien zur Festlegung von Intensitätsstufen“. *Int. Symp. Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen* 3; 47 - 58, Villach 1996.
- Mayer, K., Müller-Koch, K. & Poschinger, A. von (2002): „Dealing with landslide hazards in the Bavarian Alps“. *1st European Conference on Landslides*, Prague 2002.
- Meißl, G. (1998): „Modellierung der Reichweite von Felsstürzen“. *Innsbrucker Geographische Studien*, Innsbruck, Band 28.

- Poschinger, A. von, Mayer, K. (2000): „Das GEORISK- Informationssystem im Spiegel der Starkregeneignisse an Pfingsten 1999“. *Geologica Bavarica*, 105; 342 - 351, München 2000.
- Poschinger, A. von, Mayer, K., Galleman, T., Müller-Koch, K. (2000): “Experiences with the GEORISK-Landslide Information System”. *Third Congress on Regional Geology, Cartography and Information Systems*; 241 - 243, Munich 2000.
- Poschinger, A. von, Mayer, K. (2003): “Landslide Hazard Assessment on regional and local Scale”. *Fourth European Congress on Regional Geoscientific Cartography and Information Systems*, Vol. 1; 305 - 306, Bologna 2003.