

Konzept zur flächendeckenden Risikoanalyse für Naturgefahren im regionalen Maßstab

Andreas ZISCHG, Margreth KEILER, Sven FUCHS und Gertraud MEISSL

*Dieser Beitrag wurde nach Begutachtung durch das Programmkomitee als „reviewed paper“
angenommen.*

Zusammenfassung

Flächendeckende Risikoanalysen im regionalen Maßstab erfordern kosten- und zeitsparende Methoden für die Erhebung des Naturgefahrenpotentials. Der Schwerpunkt vorliegender Arbeit lag in der Evaluation der Anwendbarkeit bestehender Konzepte zur Gefahrenbeurteilung mit den existierenden Datengrundlagen in der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol. Die im Untersuchungsgebiet ‚Oberes Suldental‘ angewandten Methoden zur geomorphologischen Geländeanalyse sowie die GIS-basierten Modelle zur Beurteilung der Prozesse Murgang, Sturz und Lawine entsprechen den Anforderungen an Gefahrenhinweiskarten und lassen sich gut in ein Informationssystem einbinden. Die Überlagerung der Prozesskarten mit dem modellhaft quantifizierten Schadenpotential erlaubt eine Darstellung von Konfliktbereichen auf regionaler Ebene. Der raumplanerische Handlungsbedarf wird durch eine Reihung der gefährlichen Prozesse nach der Höhe der zu erwartenden Schäden aufgezeigt.

1 Einleitung

Massenverlagerungsprozesse gehören in Gebirgsregionen zum natürlichen morphologischen Prozessgeschehen. In Überschneidung mit der anthropogenen Raumnutzung stellen sie für vorhandene Gebäude und Infrastruktur sowie für Personen eine Gefahr dar. Die Adaption von Vorgehensweisen aus den technischen Sicherheitswissenschaften ermöglicht über Risikountersuchungen einen prospektiven Umgang mit diesen Gefahren. Eine moderne integrative Risikobetrachtung umfasst nach HEINIMANN et al. (1998) im Wesentlichen die Analyse, die Bewertung und das Management eines möglichen Schadens.

Inhalt der hier vorgestellten Arbeit sind Konzepte und Methoden zur Erstellung eines Naturgefahrenhinweis-Informationssystem für die Prozessbereiche Murgang, Felssturz bzw. Steinschlag und Lawine am Beispielraum ‚Oberes Suldental‘ in der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol (Italien). Als Grundlage für umfassende Risikountersuchungen für die Raumplanung enthält ein Naturgefahrenhinweis-Informationssystem eine Zusammenführung sämtlicher Raum- und Sachdaten zur Gefährdungssituation betrachteter Gebiete. Über Verschneidungs- und Analysefunktionen werden auf regionaler Maßstabsebene flächendeckende Überblicksinformationen bereitgestellt, auf deren Basis eine Entscheidungsfindung bezüglich aktueller und zukünftiger Nutzungen sowie eine Prioritätenreihung für detaillierte Untersuchungen und eventuell zu erstellende Schutzmaßnahmen ermöglicht wird.

2 Methoden

Der Aufbau des Gefahrenhinweis-Informationssystems folgt dem Konzept der Risikoanalyse im Sinne der integrativen Risikobetrachtung für Naturgefahren. Die wesentlichen Arbeitsschritte der Risikoanalyse sind neben einer Systemabgrenzung die Gefahrenbeurteilung und die Erhebung des Schadenpotentials (HOLLENSTEIN 1997) (vgl. Abbildung 1). Das Ergebnis der Überlagerung der Prozessbereiche mit dem Schadenpotential zeigt im Detaillierungsgrad der Gefahrenhinweisebene die Gebiete mit potentiellen Schäden auf und reiht die gefährlichen Prozesse nach der Höhe der zu erwartenden Schäden. Alle Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in ein Geographisches Informationssystem überführt und strukturiert aufbereitet. Die methodischen Schritte werden im Folgenden näher beschrieben.

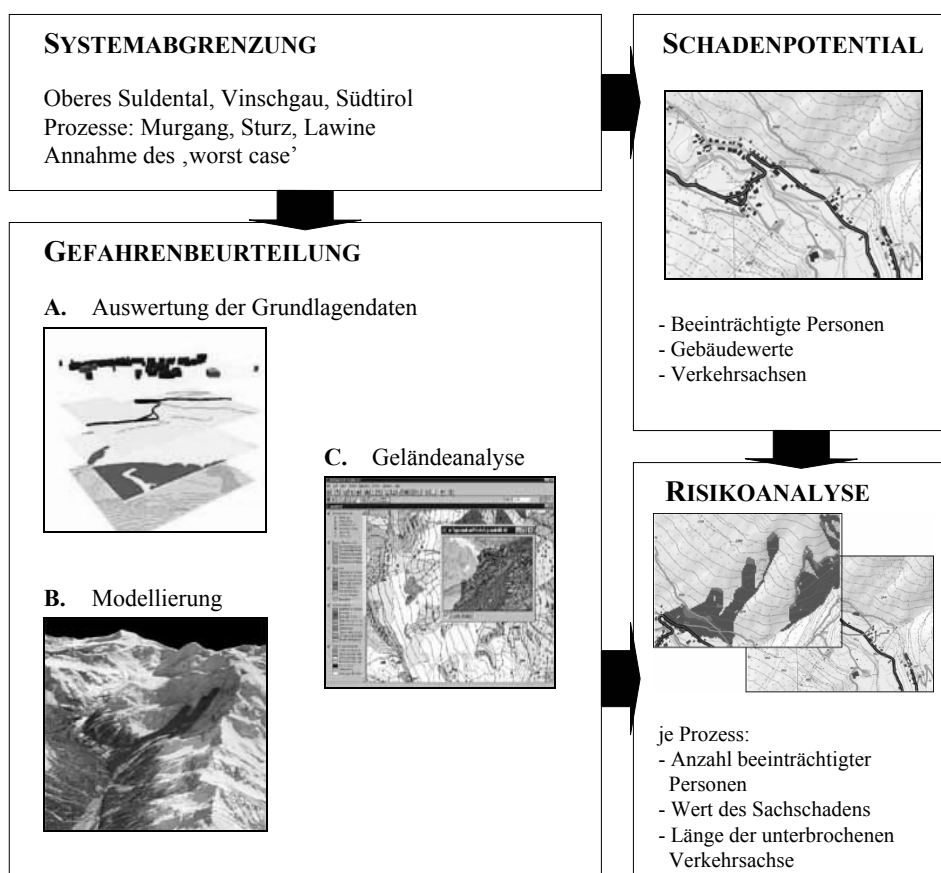


Abb. 1: Wesentliche Arbeitsschritte der Risikoanalyse im regionalen Maßstab.

2.1 Systemabgrenzung

Die Systemabgrenzung und -beschreibung erfasst sämtliche relevanten Elemente und deren kausale Zusammenhänge in einem Untersuchungsgebiet vollständig. Die geographischen Systemgrenzen ergeben sich aus der Fragestellung und werden im Geographischen Informationssystem dargestellt. Die inhaltlichen Systemgrenzen werden in vorliegender Arbeit von den Gefahrenquellen Murprozess, Sturzprozess sowie Lawine und den Schadenarten Beeinträchtigung von Personen, Verlust von Sachwerten und betroffene Verkehrsachsen gebildet. Die Beurteilung oben genannter Prozesse basiert auf dem Szenario des ‚worst case‘. Durch konditionelle Systemgrenzen werden die herrschenden Umweltbedingungen beschrieben. Neben den Bedingungen des Naturraums (Geologie, Topographie, klimatische Verhältnisse und Vegetation) sind dies Angaben zum Kulturraum.

2.2 Gefahrenbeurteilung

Bei der Gefahrenbeurteilung werden mögliche, sich aus dynamischen Prozessen ergebende Gefahren identifiziert und abgeschätzt. Die Gefahrenbeurteilung beruht auf der Auswertung von Grundlagendaten sowie der Geländeanalyse. Mit Hilfe von Modellen erfolgt die Prozessabschätzung.

Auswertung der Grundlagendaten

Als Grundlagendaten wurden für die Untersuchung neben umfangreichem analogen topographischen Kartenmaterial die digitale topographische Grundkarte 1:10.000 des Untersuchungsraums verwendet, zusätzlich wurde mit S/W-Luftbildern und den dazugehörigen Orthofotokarten sowie zwei digitalen Geländemodellen gearbeitet. Weitere Daten zur räumlichen Ausstattung, wie farbige digitale Orthofotos oder eine Realnutzungskarte, liegen erst seit kurzem vor und konnten daher in beschriebener Fallstudie nicht verwendet werden. Die Auswertung historischer Quellen lieferte kaum verwertbare Erkenntnisse, da relevantes Archivmaterial während der Kriegszeit verloren ging. Wichtige Informationen konnten nur dem Lawinenkataster und der Lawinengefahrenkarte entnommen werden.

Geländeanalyse

Die geomorphologische Geländeanalyse erfolgte mittels Luftbildinterpretation und punktueller Kontrollbegehungen im Gelände. Für die Darstellung der Prozessbereiche wurde auf das Kartierkonzept von KIENHOLZ & KRUMMENACHER (1995) zurückgegriffen, da es aufgrund seiner ‚Baukastenstruktur‘ eine hohe Flexibilität bei der Kartierung ermöglicht. Die Symbole der Legende können je nach Fragestellung und damit verbundenem Detaillierungsgrad kombiniert werden. Zudem lassen sich die Kartiererergebnisse gut in das Geographische Informationssystem übertragen und darstellen (KEILER et al. 2000). Als Zusatzinformationen wurden dort, wo sich ein räumlicher Bezug ergab, die ausgewerteten Grundlagendaten sowie der Kartierbericht digital mit den Objekten der ‚Karte der Phänomene‘ verknüpft. Die Geländeanalyse lieferte in Kombination mit der Auswertung der Grundlagendaten (digitales Geländemodell und Bodenbedeckung) die Eingangsdaten für die Modellierung. Für Murprozesse werden die Startpunkte, für Sturzprozesse die Abbruchkanten und für Lawinen die Anrissflächen ermittelt.

Modellierung

Eine Gefahrenbewertung muss in reproduzierbarer Weise erfolgen, um die Nachvollziehbarkeit und sachliche Richtigkeit der Ergebnisse gewährleisten zu können (ARBEITSGRUPPE FÜR ANGEWANDTE GEOGRAPHIE 1997). Entsprechend dieser Forderung bietet es sich an, Trajektorien und Reichweite gefährlicher Prozesse mit Hilfe von Modellierungen oder empirischen Berechnungsverfahren zu ermitteln. Die Prozessabschätzung im Rahmen einer Gefahrenhinweiskarte erfordert im Gegensatz zur Gefahrenzonenkarte keine Angaben zu Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit, es steht die Ermittlung der maximal möglichen Reichweite der Prozesse im Vordergrund. Dadurch ist eine kostengünstige und wenig zeitintensive flächendeckende Bearbeitung möglich. Die Prozessabschätzung im Untersuchungsgebiet erfolgte mit Modellen, die diesen Kriterien entsprechen.

Für Murgänge wurde das Programm ‚FLOW-VEC‘ (WICHMANN 2000) verwendet. Das Programm wurde entwickelt, um Murgänge, die auf Hängen entstehen, zu simulieren. Es wurde mit der Programmiersprache ‚Avenue‘ der Software ‚ArcView‘ umgesetzt. Das Modell erstellt, ausgehend von einem interaktiv gewählten Startpunkt, auf Grundlage eines TIN-basierten Geländemodells Trajektorien in Form von Vektorenzügen. Die Trajektorie folgt jeweils der Falllinie des bearbeiteten Dreiecks. In jedem Berechnungsschritt wird die Segmentlänge und die Neigung des Segments ermittelt, um mit dem im Programm enthaltenen Reibungsmodell nach PERLA et al. (1980) die Geschwindigkeit auf dem Segment zu berechnen. Das Reibungsmodell stützt sich bei dieser Berechnung auf zwei Parameter: den Reibungskoeffizienten μ und das Verhältnis von Masse zu Trägheit M/D („mass to drag“). Liegt diese Geschwindigkeit über dem Wert Null, wird das gesamte Dreieck überströmt, es erfolgt die Bearbeitung des Nachfolgedreiecks. Sobald die Geschwindigkeit Null erreicht, wird die Länge des letzten Segments kalkuliert und die Berechnung beendet. Informationen zu den Koordinaten der einzelnen Segmente, der jeweiligen Segmentlänge, den Neigungen sowie den Geschwindigkeiten werden in der dem ‚shape-file‘ zugehörigen Tabelle gespeichert. Das Programm gestattet die Modellierung der seitlichen Ausbreitung des Murgangs im Ablagerungsbereich. Dies erfordert, ausgehend vom gewählten Startpunkt, mehrere Durchläufe des Modells mit unterschiedlichen Winkeln ($\pm 10^\circ$) für die maximale Abweichung von der Fließrichtung.

Sturzprozesse wurden mit dem Modell ‚Sturzgeschwindigkeit‘ (MEISSL 1998) abgeschätzt. Das Modell berechnet mit auf Grundlage des Energieerhaltungssatzes entwickelten einfachen Formeln die Reichweite von Steinschlag und Felssturz. Es eignet sich zur Simulation von Sturzprozessen, bei denen es zu keiner oder nur einer geringen Interaktion zwischen den Komponenten kommt. Das Programm wurde mittels ‚ArcMacroLanguage‘ (AML) der Software ARC/INFO erstellt und verwendet weitgehend die Befehle des Rastermoduls GRID. Das Modell nach MEISSL (1998) basiert auf den Ansatz von VAN DIJKE & VAN WESTEN (1990) und wurde durch ein verbessertes Trajektorienmodell sowie die Implementierung des freien Falls bei der Berechnung der Sturzgeschwindigkeit erweitert. Die Abbruchgebiete müssen vom Benutzer festgelegt werden. Ausgehend von den Startpixeln werden iterativ jene Nachbarpixel gesucht und dem Sturzgebiet hinzugefügt, die von der Sturzmasse überstrichen werden können. Die Bestimmung der Trajektorien erfolgt durch ein ‚Multiple-Flow-Direction-Verfahren‘, in dem 16 mögliche Fallrichtungen (D16) existieren und eine seitliche Ausbreitung berücksichtigt wird. Die Geschwindigkeit der Sturz-

masse wird nach dem freien Fall um 75 % vermindert, da die kinetische Energie nach dem Aufprall in andere Energieformen umgewandelt wird (BROILLI 1974). Am Hang wird die Gleitgeschwindigkeit mit Beachtung des Reibungskoeffizienten μ berechnet, um den ‚worst case‘ zu berücksichtigen. Die Sturzbahn endet in jenen Pixeln, in denen die ermittelte Geschwindigkeit Null ist.

Zur Bestimmung der Lawinenbahnen wurde ein Simulationsmodell herangezogen, das derzeit in Zusammenarbeit mit Ingenieurbüro i.n.n., Innsbruck weiterentwickelt wird. Das Modell verwendet einen Pauschalgefälleansatz nach LIED et al. (1995): Dabei wird die maximale Reichweite der Lawine über den Winkel α definiert, den die Verbindungslinie zwischen der oberen Begrenzung des Abrissgebietes und dem äußersten Ende des Ablageungsgebietes mit der Horizontalen einschließt. Wird mit β die Steigung der Geraden bezeichnet, die den höchsten Punkt des Anrissgebietes mit jenem Punkt in der Lawinenbahn verbindet, an dem die Neigung des Geländes 10° beträgt, so kann das Pauschalgefälle α nach folgender Formel ermittelt werden: $\alpha = 0,946 \beta - 0,83^\circ$ (Regressionsgleichung, abgeleitet aus einer Stichprobe von 80 Lawinen in den Ostalpen; vgl. LIED et al. 1995). Das Lawinensimulationsmodell wurde mittels ‚ArcMacroLanguage‘ (AML) in das Rastermodul der Software ARC/INFO implementiert. Der Benutzer legt die linienförmige obere Begrenzung der Lawinenanrissgebiete fest. Ausgehend vom höchsten Startpixel jeder Anrisslinie wird ein Kegel erzeugt, dessen Mantel die Steigung des zuvor errechneten Pauschalgefällewertes aufweist. Die Schnittlinie zwischen dem Kegel und der Geländeoberfläche liefert die Außengrenze der potentiell durch die (zur jeweiligen Anrisslinie gehörenden) Lawine gefährdeten Fläche. Die Lawinenbahn für jedes Startpixel wird nach dem oben beschriebenen Trajektorienmodell D16 (MEISSL 1998) ermittelt. Aus den Pixeln der potentiellen Prozessfläche werden anschließend anhand des Trajektorienmodells jene ausgewählt, die tatsächlich von der Lawine berührt werden.

Die Ergebnisse der Prozessabschätzung werden in Gefahrenhinweiskarten für jeden Prozessbereich getrennt dargestellt und bilden die Grundlage für den folgenden Schritt der Risikoanalyse.

2.3 Schadenpotential

Im Anschluss an die Gefahrenbeurteilung wurde das von Naturgefahren betroffene Schadenpotential ermittelt und visualisiert. Das Schadenpotential wurde zu zwei verschiedenen Kategorien (Gebäude und Verkehrsachsen) aggregiert. Der Gebäudebestand wurde aus der technischen Grundkarte der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol extrahiert und durch Überlagerung mit dem Bauleitplan (Flächenwidmungsplan) der Gemeinde in die Klassen Wohngebäude, Beherbergungsbetriebe und Wirtschaftsgebäude untergliedert. Die Grundrissfläche der Gebäude wurde mit der nach Bauleitplan maximal zulässigen Gebäudehöhe multipliziert. Die so ermittelte Kubatur wurde mit dem in der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol gültigen Kubikmeterpreis für die Berechnung der Baukosten für den Wohnbau (ASTAT 2002) multipliziert. Die Anzahl der Personen je Gebäude konnte aufgrund der fehlenden Daten nicht ermittelt werden, jedem Gebäude wurde eine durchschnittliche Personenanzahl von 2,4 zugewiesen. Dieser Wert ergibt sich aus der Einwohnerzahl von Suldern dividiert durch die Anzahl der Gebäude. Die Anzahl der Gästebetten könnte auch aus den Vorgaben des Bauleitplanes abgeleitet werden (maximale Bettenanzahl pro Bruttoge-

schossfläche und Gebäudehöhe), wurde aber nach den Angaben des Tourismusvereines Sulden zugewiesen.

Die Verkehrsachsen wurden aufgrund ihrer Bedeutung in drei Klassen (Hauptverkehrsachsen, Gemeindestraßen und Güterwege) eingeteilt. Unbebaute Grundstücke und sonstiges Schadenpotential, wie Nutztiere und bewegliche Güter, wurden nicht bewertet.

2.4 Risikoanalyse

Für die Analyse des Risikos im regionalen Maßstab wurden die Prozessräume mit dem Schadenpotential überlagert, über Verschneidungsfunktionen können so von Naturgefahren betroffene Infrastruktureinrichtungen und Gebäude aufgezeigt werden. Den Prozessen werden die erwarteten Schäden zugewiesen. Das Ergebnis ist eine Karte der Konfliktbereiche mit einer Reihung der Prozesse nach erwartetem Schadenausmaß.

3 Ergebnisse

Die gewählten Ansätze erlauben eine rasche und flächendeckende Erhebung des Naturgefahrenpotentials größerer Gebiete. Im Folgenden werden die Resultate der Anwendung der oben beschriebenen Methoden im Untersuchungsgebiet ‚Oberes Suldental‘ vorgestellt.

Geländeanalyse

Die morphologische Geländeanalyse ist mit den verwendeten Grundlagendaten gemäß den Erfordernissen des Überblicksmaßstabs durchzuführen. Insbesondere bei ungenügender Datenausstattung zur räumlichen Situation bildet die Geländeanalyse eine gute Grundlage für die Gefahrenidentifikation und das weitere Vorgehen. Das angewandte Kartierkonzept erfüllt die Ansprüche an die Handhabung und die Integrierbarkeit in das Informationssystem. Bestehende Informationen zum Naturgefahrenpotential im Untersuchungsraum konnten anwenderfreundlich aufgenommen werden.

Modellierung

Bei der Modellierung der Murprozesse standen maximale Reichweiten von Extremereignissen im Siedlungsraum im Vordergrund. Aufgrund nicht nachzuweisender Abhängigkeit der Modellparameter von der Geländesituation wurde mit den in WICHMANN (2000) sowie WICHMANN et al. (in prep.) vorgeschlagenen einheitlichen Parametern ($\mu = 0,20$; $M/D = 0,75$) gerechnet. Die mit dem Programm ‚FLOW-VEC‘ simulierten Trajektorien weisen eine gute Übereinstimmung mit den kartierten Murphänomenen auf. Für eine umfangreiche flächendeckende Anwendung sind besonders hinsichtlich des Reibungswertes μ noch weitergehende Kalibrierungen notwendig.

Die mit dem Modell ‚Sturzeschwindigkeit‘ (MEISSL 1998) berechneten Prozessbereiche korrelieren mit den Sturzablagerungen, die in der geomorphologischen Geländeanalyse festgestellt wurden. Für die Anwendung gesteinsabhängiger Reibungskoeffizienten stand nicht genug differenzierendes Datenmaterial zur Verfügung. Bei Beachtung der vorgegebenen Rahmenbedingungen für die Anwendung des Modells konnten jedoch gute Ergebnisse mit einem einheitlichen Reibungskoeffizienten ($\mu = 0,575$) ermittelt werden.

Die nach dem ‚Pauschalgefälle‘ (LIED et al. 1995) und dem Trajektorienmodell von MEISSL (1998) ermittelten Prozessbereiche von Lawinen entsprechen nur zum Teil der Realität: In Runsen verlaufende Lawinenbahnen, die im DGM nur ungenügend repräsentiert sind, werden zu breit dargestellt. Demgegenüber wird die Ausbreitung des Lawinenkegels hinreichend korrekt simuliert. Die Ausbreitung am Gegenhang kann mit dem verwendeten Trajektorienmodell bisher noch nicht berechnet werden, entsprechende Adaptionen befinden sich in Vorbereitung. Die Auslauflänge kleinerer Lawinen wird etwas zu groß berechnet, was aber hinsichtlich der Fragestellung und des Maßstabs vertretbar ist.

Der vorliegenden Arbeit liegen zwei rasterbasierte digitale Geländemodelle verschiedener Auflösung zugrunde: Zum einen wurde auf das zum Zeitpunkt der Untersuchungen erhältliche offizielle Geländemodell der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol mit einer Rasterweite von 20 m zurückgegriffen, zum anderen wurde ein Modell mit einer Auflösung von 10 m verwendet, das aus digitalisierten Höhenlinien (Grundkarte 1:10.000) sowie punktuellen Höheninformationen erzeugt wurde. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse basierend auf der gleichen Ausgangssituation zeigt maximale Differenzen bei Trajektorien und Reichweite von bis zu 100 m. Generell muss einschränkend darauf hingewiesen werden, dass die Aussagekraft der Resultate von der Auflösung der verwendeten digitalen Geländemodelle sowie von der Qualität der verfügbaren Datengrundlagen stark beeinflusst ist (FUCHS et al. 2001, MEISSL 1999).

Schadenpotential

Die auf oben beschriebene Weise durchgeführte Analyse des Schadenpotentials erlaubt eine vereinfachte Beschreibung und Bewertung der potentiell von Naturgefahren betroffenen Schadenobjekte. Eine räumliche Differenzierung des Schadenpotentials ist möglich (vgl. Abbildung 2), für eine zeitliche Differenzierung standen keine Daten zu saisonalen Schwankungen der Anzahl Personen und der Sachwerte zur Verfügung.

Risikoanalyse

Die Überlagerung der Prozessräume mit dem erhobenen Schadenpotential im regionalen Maßstab erfordert keine Daten zu Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität der Prozesse, somit keine Folgenabschätzung und keine absolute Bestimmung des Risikos. Das Ergebnis der Risikoanalyse ist die Anzahl gefährdeter Personen, die Höhe exponierter Sachwerte sowie die Länge betroffener Straßenabschnitte. Wie in Abbildung 2 dargestellt, können entsprechende Angaben aus der Datenbank abgefragt werden. Die Darstellung potentieller Konfliktbereiche und eine Setzung von Prioritäten in Hinblick auf Untersuchungen im lokalen Maßstab sowie die Planung von Schutzmaßnahmen ist somit möglich.

Informationssystem

Im Zuge eines integralen Naturgefahrenmanagements werden mittels des oben beschriebenen GIS-basierten Gefahrenhinweis-Informationssystems die für die Regionalplanung erforderlichen Grundlagen und Arbeitsmittel digital verfügbar gemacht. Eine kostengünstige und zeitsparende Analyse des Risikos potentiell gefährlicher Prozesse wird ermöglicht, indem es alle für eine Risikobetrachtung notwendigen Eingabeparameter beinhaltet. Somit wird eine raumbezogene Informationsaufbereitung, Modellierung, Ergebnisinterpretation, Visualisierung und Archivierung bereitgestellt. Durch die einheitliche Struktur ist eine

Fortführung und Aktualisierung der gesamten Datenbestände, Modellalgorithmen und Visualisierungsmöglichkeiten gewährleistet.

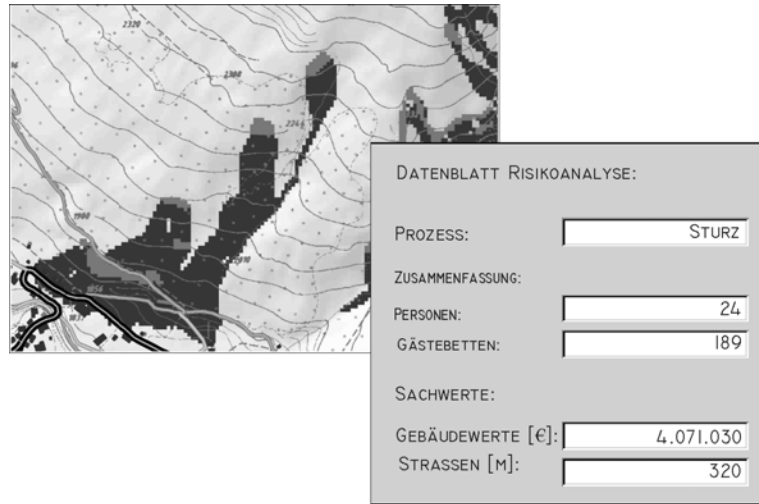


Abb. 2: Risikoanalyse für Sturzbereiche ‚Westhang Schöneck‘ mit dazugehörigem Abfrageergebnis.

4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit der entwickelten Methode einer GIS-gestützten Risikoanalyse ist es grundsätzlich möglich, flächendeckend und kostengünstig das Naturgefahrenpotential eines Raumes zu ermitteln und der aktuellen Raumnutzung gegenüberzustellen. Aufgrund der vielen fehlenden digitalen sowie analogen Datengrundlagen und der oft ungenügenden Qualität der vorhandenen Information wird deutlich, dass die Operationalisierung für größere Regionen einen erheblichen Zeit- und damit Kostenaufwand bedeutet. Mit der in nächster Zukunft zu erwartenden Zunahme qualitativ hochwertiger Grundlagendaten wird dieser Aufwand deutlich verringert. Die Sammlung von Grundlagendaten, Ergebnissen aus Geländeanalysen, Schadenpotentialdaten sowie die Prozessabschätzung mittels einfachen Modellen in einem GIS-basierten Informationssystem unterstützt raumplanerische Entscheidungen im regionalen Maßstab. Raumrelevante Bereiche für detailliertere Untersuchungen können kostengünstig festgelegt werden. Für nachfolgende Risikoanalysen im lokalen Maßstab stellt ein Gefahrenhinweis-Informationssystem darüber hinaus eine erhebliche Zeitersparnis dar.

5 Literatur

- ASTAT (2002): *Baukosten für den geförderten Wohnbau*. URL: www.provinz.bz.it/astat/indices/tabellen/baukosten_geroerderter_wohnb_d.htm. Zugriff im Januar 2002.
- Arbeitsgruppe für Angewandte Geographie (1997): *Entwicklung eines Konzepts für einen Gefahrenzonenplan für Gemeinden des bayerischen Alpenraums*. Unveröffentlichter Schlussbericht im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft sowie des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen. Institut für Geographie Universität München.
- BROILLI, L. (1974): *Ein Felssturz im Großversuch*. Rock Mechanics. Supp. Bd. 3, 69-78.
- FUCHS, S.; KEILER, M. & A. ZISCHG (2001): *Risikoanalyse Oberes Suldental Vinschgau. Konzepte und Methoden zur Erstellung eines Naturgefahrenhinweis-Informationssystems*. Innsbrucker Geographische Studien 31. Innsbruck.
- HEINIMANN, H., HOLLENSTEIN, K., KIENHOLZ, H., KRUMMENACHER, B. & P. MANI (1998): *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*. Bern. = BUWAL (ed.): Umwelt-Materialien 85.
- HOLLENSTEIN, K. (1997): *Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken*. Zürich.
- KEILER, M., ZISCHG, A. & S. FUCHS (2000): *Anwendung und Umsetzung des "Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene" mittels GIS*. Internationales Symposium INTERPRAEVENT – Villach, Bd. 1, 61-70.
- KIENHOLZ, H. & B. KRUMMENACHER (1995): *Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene*. Bern. = BWW & BUWAL (eds.): Mitteilungen des Bundesamtes für Wasserwirtschaft 6.
- LIED, K., WEILER, C., BAKKEHØI, S. & J. HOPF (1995): *Calculation Models for Avalanche Run-Out Distance for the Austrian Alps*. NGI Technical Report Nr. 581240-1. Oslo.
- MEIBL, G. (1998): *Modellierung der Reichweite von Felsstürzen - Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Bayerischen und Tiroler Alpenraum*. Innsbrucker Geographische Studien 28. Innsbruck.
- MEIBL, G. (1999): *Ein Modell zur Berechnung der Reichweite von Felsstürzen und seine Sensibilität gegenüber unterschiedlichen DGM-Maschenweiten*. Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten, Reihe D, Bd. 5, 183-192.
- PERLA, R., CHENG, T. & D. MCCLUNG (1980): *A Two-Parameter Model of Snow-Avalanche Motion*. Journal of Glaciology, Bd. 26 (94), 197-207.
- VAN DIJKE, J. & C. VAN WESTEN (1990): *Rockfall Hazard: A Geomorphologic Application of Neighbourhood Analysis with ILWIS*. ITC Journal, Bd. 1, 40-44.
- WICHMANN, V. (2000): *Versuch einer GIS-gestützten Modellierung der Fließwege von Hangmuren*. Diplomarbeit. Institut für Geographie. Universität München.
- WICHMANN, V., MITTELSTEN SCHEID, T. & M. BECHT (in prep.): *Gefahrenpotential durch Muren: Möglichkeiten und Grenzen einer Quantifizierung*. Tübinger Geographische Studien.