

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 146 (1995)

Heft: 9

Artikel: Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS)

Autor: Krummenacher, Bernhard

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-766993>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 08.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Modellierung der Wirkungsräume von Erd- und Felsbewegungen mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS)¹

Von *Bernhard Kruppenacher*

Keywords: risk mapping, rock fall modelling, Geographic Information Systems (GIS).

FDK 38: 583: UDK 910.1* 1* 3

1. Einleitung

Massenbewegungen von grossem Ausmass, wie Berg- und Felsstürze, die ganze Talabschnitte und Dörfer unter sich begraben, weisen extreme Intensitäten auf, ihre Eintretenswahrscheinlichkeit ist aber sehr klein. Bei der hier diskutierten Gefahrenbeurteilung werden solche Ereignisse nicht mitberücksichtigt.

Steinschlag und Blocksturz sind Naturprozesse, die zwar eine viel geringere Intensität aufweisen, deren Eintretenswahrscheinlichkeit aber ist im allgemeinen sehr gross.

Mit Ausnahme der spontanen, schnellen Rutschprozesse sind die durch Gleiten bedingten Bodenbewegungen langsam und kontinuierlich. Die Wahrscheinlichkeit des Eintretens solcher Prozesse ist überaus schwierig zu beurteilen. Das Mass der Gefährdung kann aber durch die zu erwartenden differenziellen Bewegungen innerhalb eines Rutschkörpers einerseits und deren Mächtigkeit andererseits abgeschätzt werden.

Durch diese gefährlichen Naturprozesse sind Verkehrswege und Siedlungen oft in erheblichem Masse gefährdet. Der Ausscheidung von potentiellen Prozessräumen in Form von Gefahrenhinweiskarten kommt daher eine grosse Bedeutung zu. Um bei der Gefahrenbeurteilung den Postulaten der

¹ Nach einem Referat, gehalten am 12. Dezember 1994 im Rahmen der Montagskolloquien der Abteilung für Forstwissenschaften der ETH Zürich.

guten Nachvollziehbarkeit, der einheitlichen Bearbeitungsmethode sowie der kostengünstigen Erstellung nachzukommen, stellen GIS-unterstützte Analysemethoden ein geeignetes Arbeitsinstrument dar. Das digitale Höhenmodell DHM25 des Bundesamtes für Landestopographie bildet dabei eine ideale Grundlage zur Modellierung der oben beschriebenen Naturprozesse auf der Massstabsebene 1:25 000.

2. Aufgabenstellung und Zielsetzung

Im Rahmen des Moduls Naturgefahren sollen unter anderem praxistaugliche Prognosemodelle zur Analyse von Naturgefahren entwickelt und getestet werden.

Um die Gefahrenbeurteilung grossflächig (Basis: Landeskarte 1:25 000) mit einheitlichen Methoden und mit nachvollziehbaren Verfahren durchführen zu können, müssen Prognosemodelle entwickelt werden, die auf der Basis des digitalen Höhenmodells DHM25 brauchbare Resultate liefern.

Die Beurteilung und Darstellung der Sturzprozesse, namentlich Stein Schlag und Blocksturz, soll mit Hilfe von GIS-unterstützten Modellierungen erfolgen. Dabei sollen Erkenntnisse aus bestehenden Trajektorienmodellen zur Analyse von Sturzprozessen in die Modellbildung einfließen. Damit sollen ohne aufwendige Parametererhebungen im Gelände potentielle Sturzquellen und die entsprechenden Prozessräume massstabsadäquat (LK 1:25 000) berechnet und dargestellt werden.

Um die Gefährdung durch Rutschprozesse grossräumig zu beurteilen, soll zur Unterstützung der Geländekartierung ein Dispositionsmodell entwickelt werden. Das Modell soll als Berechnungsgrundlage ebenfalls das DHM25 verwenden. Als Endprodukt werden Hinweiskarten im Massstab 1:25 000 generiert werden, die Flächen darstellen, die eine Disposition für Rutschprozesse im Lockermaterial unter bestimmten Randbedingungen aufweisen.

Damit die modellierten Dispositions- und Prozessflächen bezüglich ihres Gefahrenpotentials bewertet werden können, ist die Überlagerung der Gefahrenbereiche mit einem definierten Schadenpotential erforderlich.

Auf die Bearbeitung anderer Erd- und Felsbewegungsformen, wie Bodenabsenkungen und -einsturz wird verzichtet, da diese Prozesse einerseits nur in bestimmten lithologischen Einheiten auftreten und andererseits ohne flächendeckende digitale geologische Grundlage nicht computerunterstützt automatisiert erfasst werden können.

3. Arbeitsmethoden und Vorgehen

Die Arbeitsmethoden richten sich einerseits nach den Aufgabenstellungen und Zielsetzungen und andererseits nach den Arbeitsinstrumenten, die zur Verfügung stehen. Gemäss unseren Zielsetzungen und den bereitstehenden digitalen Grundlagen kommen für die Analysen neben speziellen Berechnungsprogrammen primär Geographische Informationssysteme (GIS) zum Einsatz.

Da die Modellierungen flächendeckend durchgeführt werden, müssen neben dem digitalen Höhenmodell alle Grundlagendaten ebenfalls als flächendeckende, georeferenzierte Datensätze zur Verfügung stehen. Obwohl diese Anforderungen nur wenige Grundlagendaten erfüllen, soll versucht werden, ohne aufwendige Erfassung, d.h. Digitalisierung von zusätzlichen Informationsebenen, die Analysen durchzuführen. Dementsprechend müssen die Modelle den Gegebenheiten angepasst werden, wobei darauf geachtet werden muss, dass alle Teilmodelle zueinander konsistent und massstabsadäquat sind.

4. Modellierung der Sturzprozesse

Um die Prozessräume von möglichen Sturzereignissen grossräumig, d.h. auf Kartenblättern 1:25 000 erfassen und darstellen zu können, musste ein einfacher Modellansatz gefunden werden. Dabei sollte sowohl die Bestimmung von potentiellen Ablösezonen von Steinschlag und Blocksturz auf einfache Art ermöglicht werden, als auch die Berechnung und Darstellung der Umhüllenden aller möglichen Sturzbahnen ohne grossen Aufwand an Parametererhebung, Rechenleistung und Speicherplatz auf elektronischen Datenträgern gewährleistet sein.

4.1 Datengrundlagen

Im Rahmen des Moduls Naturgefahren wurden das vom Bundesamt für Landestopographie zur Verfügung gestellte DHM25 sowie die Extraktion der vielfältigen Informationen aus der Landeskarte 1:25 000 (Pixelkarte) zentral aufbereitet (siehe auch Beitrag *P. Mani*, 1995, Kapitel 3.1). Damit konnten alle Teilprozesse mit der gleichen Grundlage berechnet werden. Das spätere Zusammenfügen der verschiedenen Modellierungen in der synoptischen Gefahrenhinweiskarte war somit gewährleistet.

Die Modellierungsgrundlage und gleichzeitig die Startzonen für mögliche Sturzprozesse bilden alle Felsgebiete, die in der Landeskarte als Felssignaturen ausgeschieden sind (*Abbildung 1*). Dabei werden weder die lithologischen

Eigenschaften, noch der momentane Zustand der Verwitterung und der Zerklüftung der Felsgebiete berücksichtigt. Aufgrund dieser Modellvorgabe werden alle Startzonen (Felsgebiete) gleichwertig behandelt!

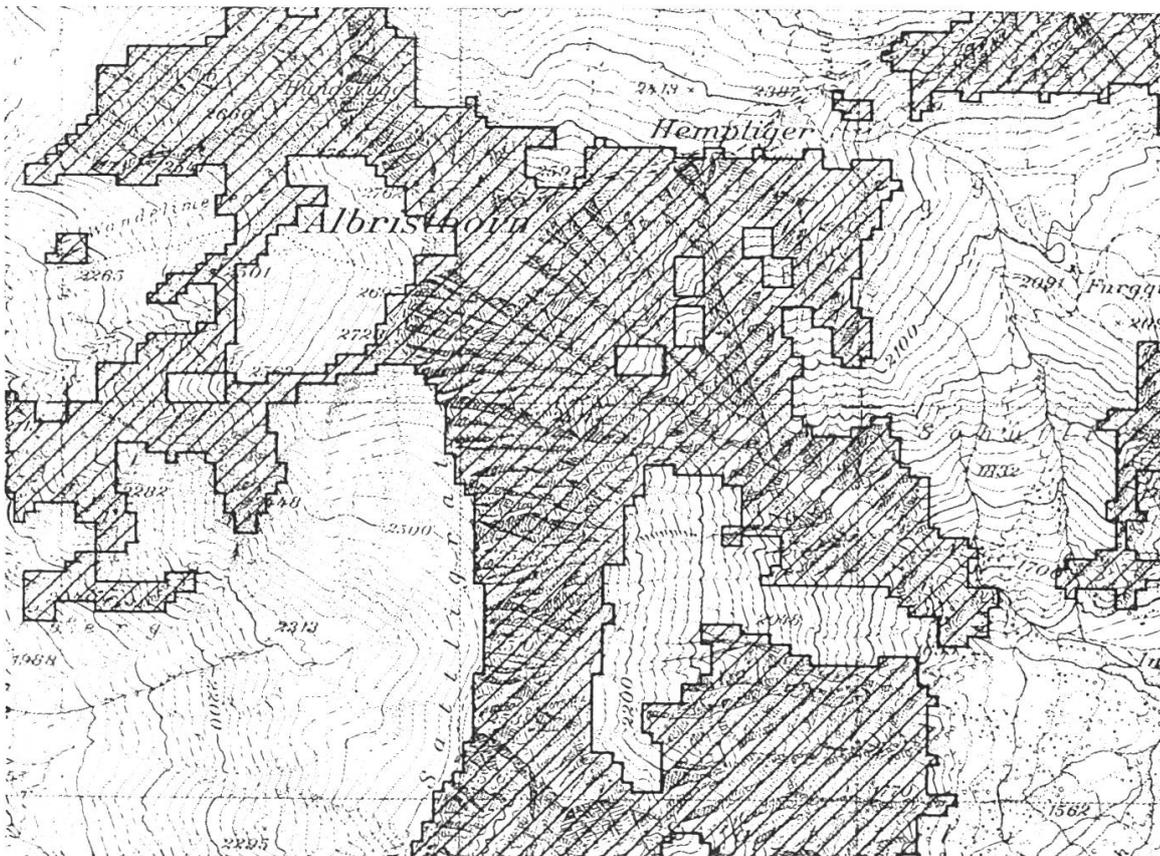


Abbildung 1. Ausschnitt aus dem extrahierten Felsgebiet der Pixelkarte 1:25 000, überlagert mit der Landeskarte 1:25 000. Der Vergleich zeigt eine gute Erfassung der Felsgebiete, wobei bedingt durch die Rasterstruktur kleinere felsfreie Zonen innerhalb eines Felsgebietes eingeschlossen werden.

Die aus der Pixelkarte extrahierten Felsgebiete müssen in einem ersten Schritt nachbearbeitet werden, weil Felszellen in Kammlagen teilweise die Sturzmodellierung auf zwei Talseiten hin freigeben, obwohl in Wirklichkeit der Steinschlagprozess nur in einer Exposition möglich ist. Um solche Situationen zu vermeiden, müssen die entsprechenden Zellen eliminiert werden. Dies führt nicht zu fehlerhaften Resultaten, da Felszellen in Kammlagen kaum als einzelne, isolierte Rasterzellen vorkommen. Der Prozess kann somit durch Nachbarzellen ausgelöst werden, die sich nicht in «kritischen» Lagen befinden.

4.2 Anwendung des Pauschalgefällsansatzes auf das Matrix-Höhenmodell

Um den oben gestellten Forderungen, wie der Verwendung des DHM25, der einfachen Erhebung der Startgebiete und dem Verzicht auf die Erhebung

von weiteren Parametern nachzukommen, bietet der Modellansatz des Pauschalgefälles eine ideale Lösung.

Das Pauschalgefälle bezeichnet den Winkel der Verbindungsgeraden des obersten Punktes der Startzone mit dem entferntesten Punkt der Ablagerung.

Das Pauschalgefälle für Steinschlag- und Blocksturzprozesse kann aufgrund der Blockgrösse und -form sowie der Untergrundparameter stark variieren. Erfahrungen aus Gutachtertätigkeiten und verschiedensten Modellierungen mit dem Trajektorienmodell Zinggeler + Geotest einerseits sowie den Erfahrungen der WSL (*Gerber, W., 1994*) andererseits haben gezeigt, dass Steine eine kleinere Reichweite, d.h. ein grösseres Pauschalgefälle haben als Blöcke und Grossblöcke². Die verschiedenen Pauschalgefälle erreichen Werte zwischen 58% und 78%, oder 30° bis 38°. Massgebend für die Reichweite einer Sturzkomponente sind neben einer idealen Blockform (Würfel bis Kugel) die Bodenoberflächenrauigkeit, die Dämpfungseigenschaften des Untergrundes sowie die Hindernisse entlang der Sturzbahn (beispielsweise der Schutzwald).

Die Pauschalgefällswerte gelten für Steinschlag und Blocksturzereignisse, bei denen nur Einzelkomponenten abstürzen. Felssturz- oder Bergsturzereignisse, bei denen Felsblöcke im Verband abstürzen, weisen eine spezielle, komplexe Sturzdynamik auf und müssen demzufolge mit anderen Pauschalgefällsansätzen behandelt werden.

Das Berechnungsprinzip des Pauschalgefäll-Sturzmodells basiert auf Nachbarschaftsanalysen von Höhenkoten im Raster-Geländemodell (Matrixmodell). Der Sturzprozess wird überall dort ausgelöst, wo Felsgebiete vorliegen. Der Prozess weitet sich auf benachbarte Rasterzellen aus, wobei das vorgegebene Pauschalgefälle und die Höhendifferenz zwischen den Zellen berücksichtigt werden. Durch diesen Modellansatz wird auch eine seitliche, fächerförmige Ausbreitung des Prozessbereichs erzeugt. Diese seitliche Ausbreitung wird in der Natur oft durch kleine Geländeformen und Hindernisse erzeugt, die im Geländemodell nicht erfasst sind.

Bei der Simulation werden konkret folgende Schritte durchgeführt: Für jede Zelle, die an die Felszone angrenzt, wird ermittelt, ob sie einen bestimmten Betrag (minimale Höhendifferenz) tiefer liegt als eine benachbarte Felszelle. Wenn diese Bedingung erfüllt ist, so wird sie als neue mögliche Sturzquelle betrachtet und der Felszone «hinzugefügt», sofern das vorgegebene Pauschalgefälle nicht unterschritten wird (*Abbildung 2*).

² Die Grössen von Sturzkomponenten sind im neuen Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene definiert: Steine: mittlerer Durchmesser <0,5 m, Blöcke 0,5–2 m, Grossblöcke >2 m; in *Gerber, W., 1994*, S. 2, wird die Klasse Blöcke noch in drei Teilklassen differenziert, 0,5–1 m, 1–1,5 m, 1,5–2 m. (Die Erstellung des Symbolbalkens ist ebenfalls ein Produkt des Moduls Naturgefahren; er wird in einer neuen Schriftenreihe «Naturgefahren» von BUWAL und BWW publiziert.)

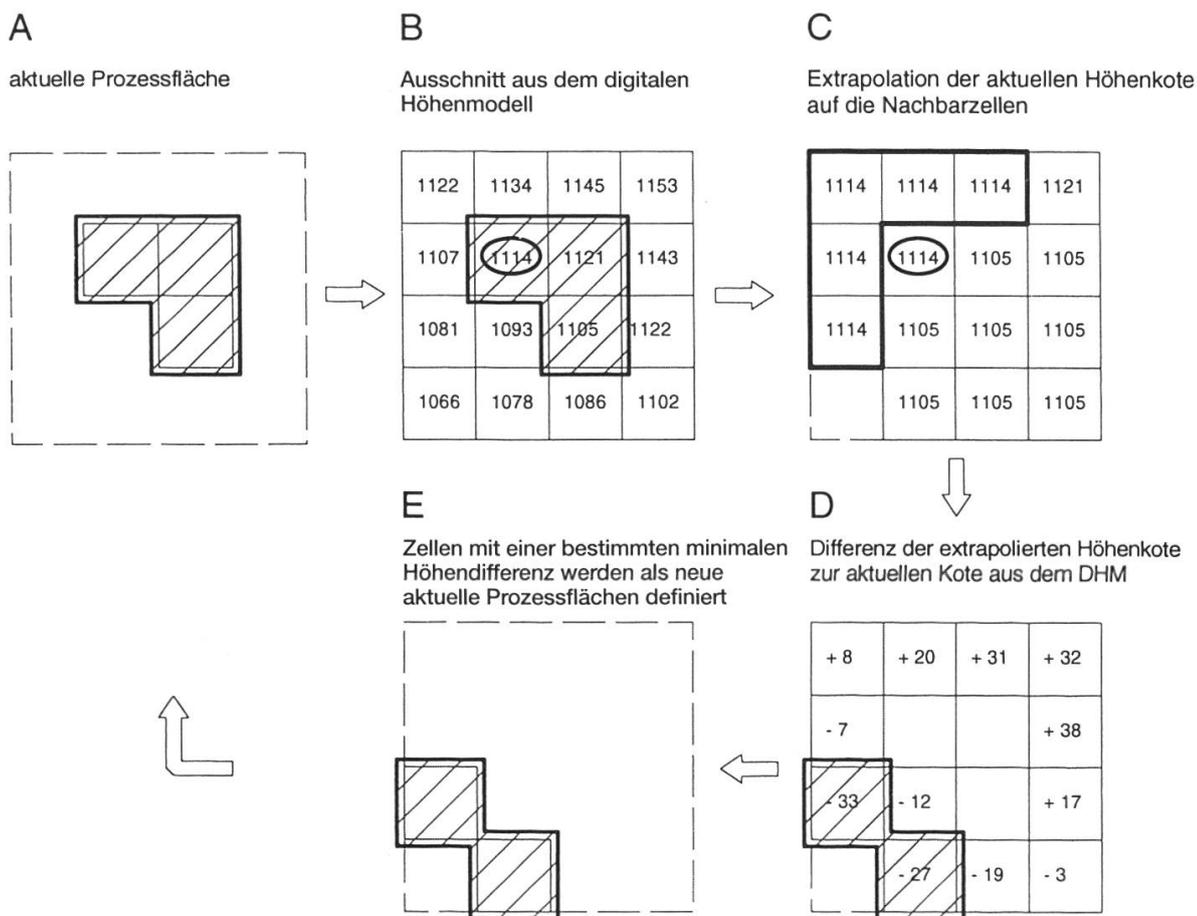


Abbildung 2. Berechnungsschritt zur Ermittlung des Sturzraumes auf der Basis des Matrix-Höhenmodells: Drei Rasterzellen bilden die aktuelle Prozessfläche (A). Diese sind ein Teil des Höhenmodells mit entsprechenden Höhenkoten (B). Die Richtung des Gefälles wird durch Extrapolation und Höhenvergleich ermittelt (C und D): den Wert 1114 erhalten z.B. alle Zellen in der Nachbarschaft der aktuellen Höhenkote 1114, die nicht an einen niedrigeren Wert der aktuellen Prozessfläche angrenzen. Nachbarzellen mit Höhenkoten, die eine minimale Differenz zum extrapolierten Wert nicht unterschreiten und deren Höhenkote unterhalb der Energielinie des vorgegebenen Pauschalgefälles liegen, werden als neue aktuelle Prozessfläche bezeichnet (E).

Die eigentliche Simulation wird vollumfänglich mit Hilfe der Funktionen des GIS durchgeführt. Die Funktionen werden durch Macros aufgerufen, die durch ein externes, speziell entwickeltes Programm geschrieben werden. Die Berechnungsschritte beanspruchen im Gegensatz zur Datenaufbereitung und -sicherung nur einen kleinen Arbeitsaufwand.

4.3 Bewertung der modellierten Prozessflächen

Erste Versuche mit dem neu entwickelten Verfahren konnten im Berner Oberland in Form eines Pilotprojektes des Lawinendienstes der Forstinspektion Berner Oberland und der Kantonsgeologie des Wasser- und Energiewirt-

schaftsamt des Kantons Bern durchgeführt werden (vgl. Kapitel 7). Dabei standen gut dokumentierte Grundlagen zur Verfügung, an denen die modellierten Prozessräume qualitativ bewertet werden konnten. Das Landeskartenblatt Adelboden ist bezüglich der Beurteilung von Naturgefahren sehr gut dokumentiert.

Ein Vergleich der modellierten Sturzräume mit andern Grundlagen erfolgte anhand der Gefahrenhinweiskarte Engstligental 1979/1980/81 von *M. Grunder*. Dabei konnte eine gute Übereinstimmung der ausgeschiedenen Prozessräume festgestellt werden. Die Reichweiten der Sturzblöcke bzw. die Ablagerungsbereiche wurden in unserem Modell dabei etwas grosszügiger bemessen.

Vergleiche mit der neu erstellten Karte der Bodenbewegungsgefahren Adelboden (*Bollinger et al.*, 1993) ergaben ebenfalls eine gute Übereinstimmung der ausgeschiedenen Perimeter. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Vergleich wurden hier die Auslaufgebiete eher etwas zu knapp modelliert.

Ein quantitativer Vergleich mit erfolgten Ereignissen und mit Modellrechnungen des Programms Zinggeler + Geotest konnten anhand von Beispielen aus der Praxis durchgeführt werden (*Abbildung 3*).

Für eine übersichtsmässige Modellierung genügt unseres Erachtens der durch das Pauschalgefälle ausgeschiedene Raum. Dabei ist festzuhalten, dass die Trajektorienmodellierung im Vergleichsbeispiel kein «*worst case*»-Szenario darstellt, sondern eine Modellierung mit realen Parametern repräsentiert. Bei der hier vorgestellten Pauschalgefällsmodellierung wird auf den Einbezug der Waldwirkung verzichtet, da einerseits bei grossen Sturzblöcken $> 2 \text{ m}^3$ die Bremswirkung des Waldes nur noch beschränkt wirksam ist und andererseits im bestehenden Modell andere «bremsende Elemente» auch nicht berücksichtigt werden.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Modellierungsergebnisse massstabsadäquat sind und ohne Berücksichtigung von Bremswirkungen einen realistischen Prozessraum ergeben. Dieser Befund kann durch Vergleiche mit jüngsten Sturzereignissen in den Untersuchungsgebieten erhärtet werden.

5. Das Dispositionsmodell zur Abgrenzung rutschgefährdeter Gebiete im Lockermaterial

Mit Hilfe des Geographischen Informationssystems unter Einbezug des DHM25 wurde ein Verfahren entwickelt, das erlaubt, die räumliche Verteilung rutschgefährdeter Hangpartien im Lockermaterial zu modellieren. Dabei werden die Erkenntnisse der zweidimensionalen Modellierungen auf der Basis der Böschungsstabilitätsberechnung umgesetzt. Das hier vorgestellte Dispositionsmodell wurde im Rahmen der Diplomarbeit von Serena Liener

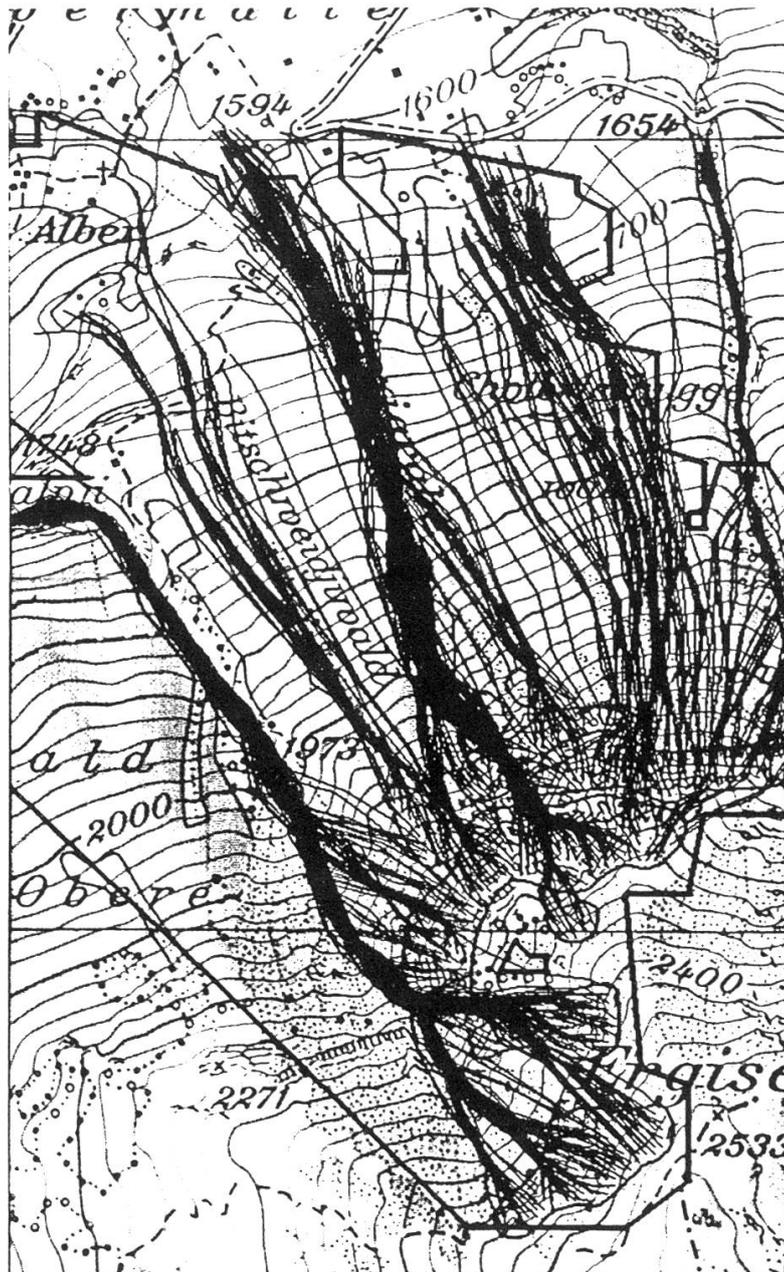


Abbildung 3. Beispiel Obermatte Ergisch (Vergrößerung der Landeskarte 1:25 000): Vergleich der Modellierung des Sturz-Prozessraumes nach dem Pauschalgefällsansatz und der dreidimensionalen Modellierung der Trajektorien mit dem Berechnungsprogramm Zinggeler + Geotest, unter Einbezug der realen Parameter Waldbestand, Bodenrauigkeit und Dämpfung des Untergrundes. Die Modellierung des Pauschalgefälles zeigt im Transitbereich keine räumliche Differenzierung bezüglich des Reliefs, d.h. der potentielle Sturzraum bedeckt den ganzen Hangbereich. Das Trajektorienmodell hingegen zeigt die Konzentration der Sturzbahnen in den Gräben. Im Ablagerungsbereich dominiert allgemein die grössere Ausbreitung des Prozessraumes durch das Pauschalgefällsmodell (dicke ausgezogene Linie). Die grosse Ausbreitung des Pauschalgefälls-Prozessraumes im Nordwesten ist dadurch zu erklären, dass grobblockige Sturzablagerungen im mittleren Hangbereich, die eine weitere Ausbreitung verhindern, im Pauschalgefällsmodell nicht berücksichtigt werden. Das Divergieren der seitlichen Sturzraumbegrenzung im Westen durch das Pauschalgefällsmodell ist darauf zurückzuführen, dass seitliche Abweichungen von der Fallinie mitberücksichtigt werden, während das Trajektorienmodell direkt auf die aktuelle Exposition einer Rasterzelle reagiert. Bei ungünstigen Geländebedingungen (konvexe Hangform) kann bei der Pauschalgefällsmodellierung eine zu starke seitliche Ausbreitung erfolgen.

am Geographischen Institut der Universität Bern in der Gruppe für Geomorphologie und mit Unterstützung durch das Modul Naturgefahren (Teilbereich Erd- und Felsbewegungen, Geotest AG) entwickelt.

5.1 Methodik

Die Sicherheit eines Hanges wird allgemein durch einen Sicherheitsgrad gegen das Abgleiten entlang einer kritischen Gleitfläche ausgedrückt. Der Sicherheitsgrad ist abhängig von der Scherfestigkeit des Untergrundmaterials an der Gleitfläche. Eine Böschung ist dann stabil, wenn der Sicherheitsgrad $F > 1$ ist, d. h. die rückhaltenden Kräfte grösser sind als die treibenden.

In der Gefahrenbeurteilung sind vor allem Böschungen mit einem Sicherheitsgrad von $F \leq 1$ von grossem Interesse, d. h. Hangpartien in labilem oder instabilem Zustand.

Da aber wegen des grossen Aufwandes bei grossflächigen Untersuchungen nicht für jede Rasterfläche des Höhenmodells der Sicherheitsgrad berechnet werden kann, muss die Ausscheidung von rutschgefährdeten Hangpartien aufgrund der einfacher erhebbaren flächendeckenden Parameter Hangneigung und Substrat erfolgen. Die Berechnung der kritischen Hangneigungen erfolgt über die Hangstabilitätsberechnung nach Janbu und Bishop.

5.2 Grundlagen und Modellierung

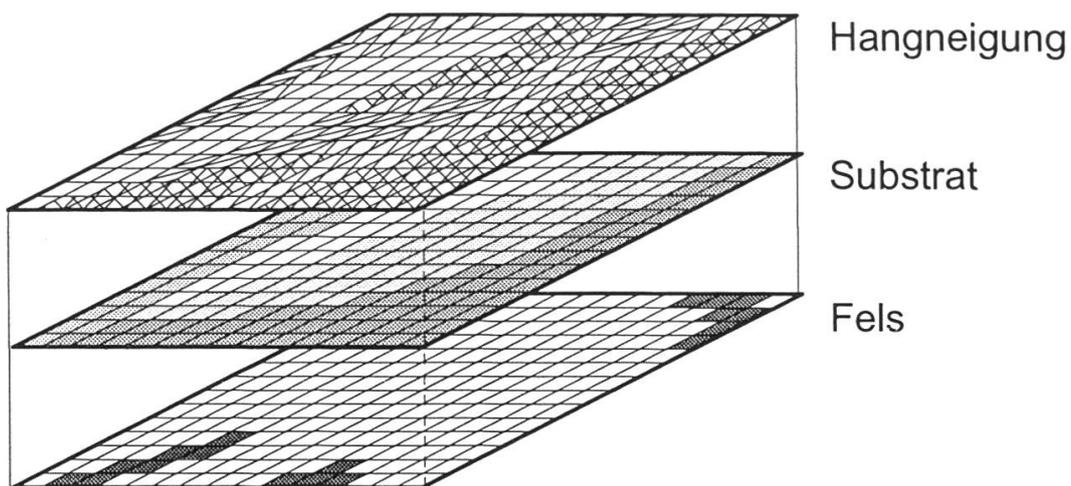
Damit die Erstellung flächendeckender Hinweiskarten für rutschgefährdete Hänge mit Hilfe des Dispositionsmodells mit einem vertretbaren Aufwand durchgeführt werden kann, wurde die Anzahl der zu erhebenden Parameter in diesem ersten Versuch auf ein Minimum reduziert. Gemäss *Abbildung 4* werden für die Modellierung mit Hilfe des GIS drei flächendeckende Informationsebenen sowie eine Entscheidungsmatrix zur Bestimmung der kritischen Hangneigung verwendet. Im folgenden werden diese Elemente erläutert:

A) Die Hangneigungskarte:

Auf der Basis des DHM25 kann über bestehende GIS-Funktionen mit geringem Aufwand für jede Rasterzelle die entsprechende Hangneigung ermittelt werden.

B) Die Substratkarte:

Die Erhebung dieser Karte erfordert den grössten Aufwand bei Erstellung der Gefahrenhinweiskarte. Diese wichtige Arbeit der Umsetzung der lithologischen Gegebenheiten in die entsprechenden geotechnischen Substratklassen muss von einem Geologen mit sehr guten Kenntnissen der lokalen geologischen Verhältnisse durchgeführt werden. Als Grundlage



+

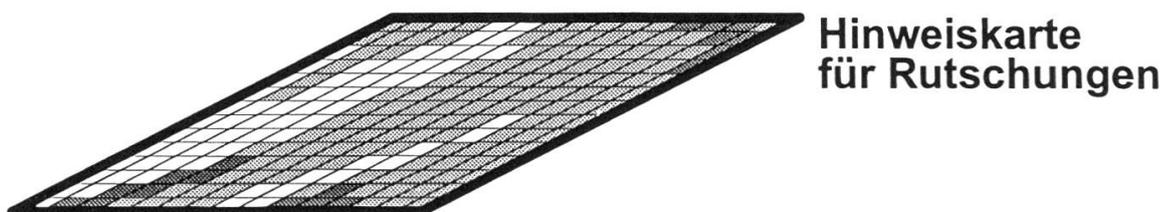
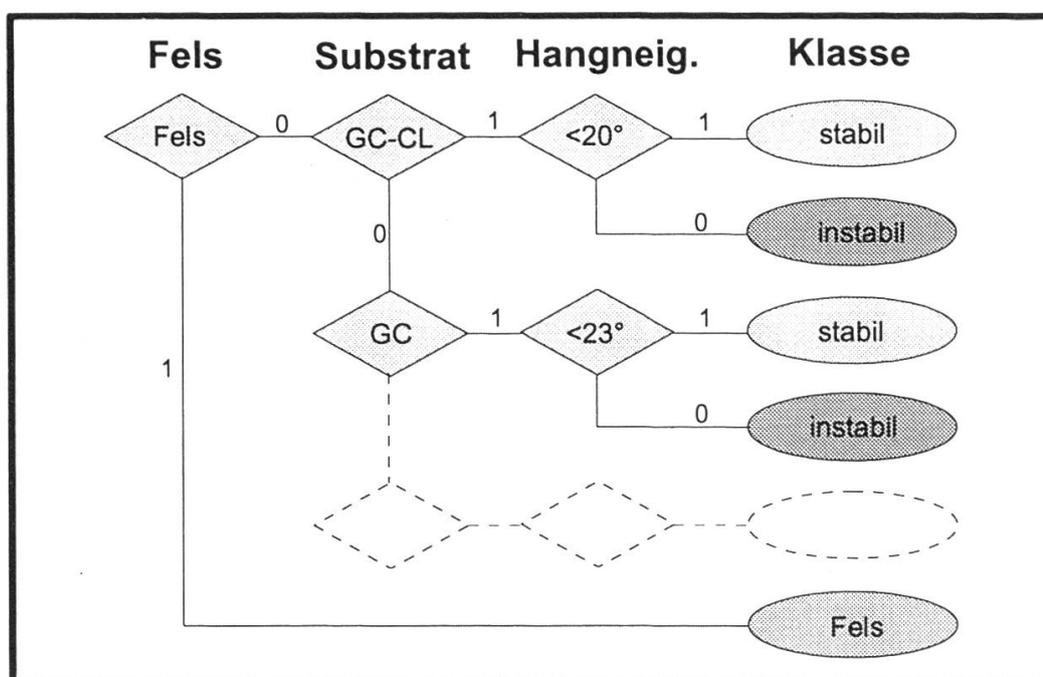


Abbildung 4. Vorgehen bei der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschungen mit Hilfe des Geographischen Informationssystems. Die Hangneigungskriterien werden den speziell für ein Untersuchungsgebiet (mit typischen geologischen und geotechnischen Verhältnissen) erstellten Tabellen (vgl. Tabelle 1) entnommen.

für die Modellierung müssen die nach USCS klassierten Substrat-Einheitsflächen digitalisiert werden.

C) Felsgebiete:

Die Informationsebene Fels wurde bereits bei der Sturzmodellierung verwendet und findet hier eine weitere Anwendung. Im Dispositionsmodell wird die Information Fels direkt ausgeschieden und nicht mit den Hangneigungskriterien verknüpft.

D) Zur Interpretation der berechneten Hangneigungen und der digitalisierten Substratkarte muss dem Geographischen Informationssystem ein Analyseschlüssel in Form einer Tabelle (z.B. *Tabelle 1*) zur Verfügung gestellt werden. Diese Tabellen werden aufgrund der geologischen und geotechnischen Eigenschaften des Lockermaterials für jedes Untersuchungsgebiet zusammengestellt.

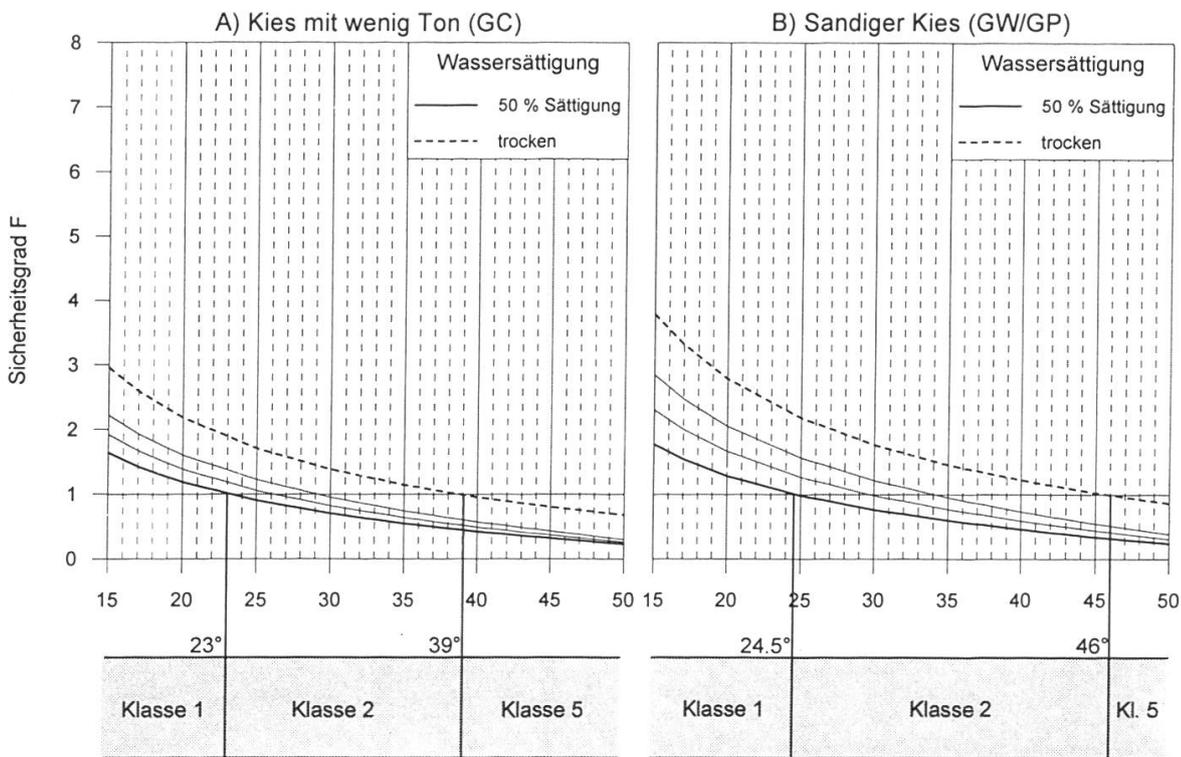


Abbildung 5. Beispiel für Hangneigungsklassen kohäsionsloser Substrate für flachgründige Rutschungen (Gleitfläche in 2 m Tiefe). Die ausgezogenen Linien zeigen den Verlauf des Mittelwertes und der Standardabweichung.

In einem ersten Schritt müssen aus der geologischen Information die kritischen Hangneigungen festgelegt werden. Die Grundlage dazu bilden die für alle Substratklassen berechneten Diagramme der Sicherheitsgrade bezüglich verschiedener Hangneigungen (siehe *Abbildung 5*). Mit dieser Grundlage kann für jede Substratklasse ermittelt werden, bei welcher Hangneigung der Sicherheitsgrad F kleiner als 1 ist. Diese Grenze wird als kritische Hangnei-

gung bezeichnet. Da für flach- und mittelgründige Rutschungen³ unterschiedliche Bruchmechanismen angenommen werden, muss die kritische Hangneigung für flachgründige und mittelgründige Rutschungen getrennt bestimmt werden (Liener, S., 1995).

Die Erstellung der Hinweiskarte für Rutschungen erfolgt mit dem Geographischen Informationssystem. Dabei erfolgt die Verschneidung aller Informationsebenen (siehe *Abbildung 4*), wobei jede Rasterzelle gemäss *Tabelle 1* klassiert wird. Die Anzahl der Klassen wird für jedes Untersuchungsgebiet festgelegt.

Tabelle 1. Hangneigungsklassen für typische Substrate als Entscheidungsmatrix zur Modellierung der Hinweiskarte mit Hilfe des Geographischen Informationssystems.

Substrat	Klasse 1 Rutschungen nur in Aus- nahmefällen	Klasse 2 vorw. flach- u. z.T. mittel- gründige Rutschungen	Klasse 3 flach- und mittelgründige Rutschungen	Klasse 4 vorw. mittel- u. z.T. flach- gründige Rutschungen	Klasse 5 flachgründige Rutschungen u. Erosion z.T. bis auf Fels
GW/GP Sandiger Kies	< 24.5°	24.5° - 46°	-	-	> 46°
GC Kies mit wenig Ton	< 23°	23° - 39°	-	-	> 39°
GC-CL toniger Kies	< 20°	-	> 36.5°	20° - 36.5°	-
GC-CH Kies mit Ton hoher Plastizität	< 19°	-	> 39°	19° - 39°	-
CL Kiesiger toniger Silt	< 16.5 °	-	16.5° - 49°	-	> 49°

Die mit diesem Verfahren erstellten Hinweiskarten weisen teilweise einzelne Rasterzellen einer Klasse isoliert in einer geschlossenen Fläche einer anderen Klasse auf. Solchen Rasterzellen wird der Wert der umgebenden Klasse zugewiesen. Damit erfolgt eine Generalisierung, die «erratische» Zellen eliminiert. Auf der Masstabsebene 1:25 000 ist es aufgrund der räumlichen Auflösung der geologischen Informationen einerseits und der Genauigkeit des digitalen Höhenmodells andererseits kaum sinnvoll, Klassierungen kleiner als eine halbe Hektare auszuscheiden.

5.3 Vergleich der modellierten Hinweiskarten mit Geländekartierungen

Eine quantitative Bewertung der erstellten Hinweiskarten für Rutschungen erfolgte im Untersuchungsgebiet Leissingen durch einen Vergleich mit der

³ Im Symbolbalken zur Kartierung der Phänomene wird zwischen flach-, mittel- und tiefgründigen Rutschungen unterschieden. Dabei werden folgende Werte verwendet: Flachgründig < 2 m, mittelgründig 2–10 m, tiefgründig > 10 m.

Bodenbewegungskarte von *G. Hunziker* (1995) und im Gebiet der Kleinen Schliere durch einen Vergleich mit der Geologischen Karte von *D. Egli* (1995). Im Untersuchungsgebiet der Kleinen Schliere wurde die Güte der modellierten Hinweiskarte anhand von drei Bewertungsklassen bestimmt.

Flächen, bei denen die Computermodellierung die gleiche Klassierung ergab wie die Geländekartierung, wurden in der Beurteilungsklassierung als korrekt ausgeschieden. Weiter wurden Gebiete mit einer falschen Differenzierung der Rutschprozesse ausgeschieden. Diese Flächen weisen sowohl im Gelände als auch in der modellierten Hinweiskarte übereinstimmend Rutschprozesse auf, deren Klassierung ist aber unterschiedlich. Dies ist der Fall, wenn im Gelände vorwiegend flachgründige Rutschungen beobachtet wurden und die Modellierung vorwiegend mittelgründige Rutschungen ergab. Die dritte Kategorie bezeichnet diejenigen Flächen, bei denen keine Übereinstimmung zwischen den Gegebenheiten im Gelände und den in der Hinweiskarte aufgeführten Klassen vorgefunden wurde.

Die auf diese Weise bestimmten Flächen wurden auf einer Karte abgegrenzt und digitalisiert, um die Flächenanteile der einzelnen Kategorien zu berechnen.

Ohne die Unterteilung der modellierten Rutschflächen in flach- und mittelgründige Rutschungen weisen 86 % der untersuchten Fläche eine korrekte Klassierung auf. Bei 14 % der Fläche ergab sich keine Übereinstimmung. Wird der Vergleich mit der Differenzierung der Rutschgebiete nach Flach- und Mittelgründigkeit durchgeführt, weisen noch 65 % der untersuchten Flächen eine korrekte Klassierung auf. Bei 21 % der Hinweisflächen wurde die Gründigkeit der Rutschprozesse falsch modelliert.

Die Gründe der Fehlinterpretationen der Computermodellierung sind sehr unterschiedlich. Zum einen wurden die Substrate räumlich zu wenig genau differenziert, beispielsweise wurde kleinräumig vorhandenes Moränenmaterial nicht ausgeschieden, und zum andern zeigte sich, dass die Klasse der vorwiegend mittelgründigen Rutschungen (Klasse 4 in *Tabelle 1*) im Modell allgemein überschätzt wird. Die Geländekartierungen haben gezeigt, dass in diesen Fällen die Lockermaterialmächtigkeit meist zu gering ist und dort nur flachgründige Rutschungen auftreten können.

6. Das Schadenpotential

Naturprozesse wie Lawinen, Steinschlag, Rutschungen und Wildbachaktivitäten sind vor allem in Gebirgsräumen, wo grosse Reliefenergien vorhanden sind, sehr flächenintensiv. Diese Prozesse werden dann gefährlich, wenn Menschen und Sachwerte den Wirkungsraum dieser Naturereignisse beanspruchen. In abgelegenen Gebirgstälern, die weder alpwirtschaftlich noch touri-

stisch genutzt werden, laufen Naturprozesse oft unerkannt ab und verändern dabei das Landschaftsbild dauernd. Die Beurteilung der schadenbringenden Naturgefahren konzentriert sich primär auf Gebiete mit menschlicher Aktivität.

Die Erarbeitung von Gefahrenhinweiskarten mit Hilfe der hier vorgestellten GIS-unterstützten Verfahren kann bei vorhandenen flächendeckenden Grundlagendaten lückenlos erfolgen. Bei der Umsetzung der Gefahrenhinweiskarten im Rahmen raumwirksamer Tätigkeiten ist die Lokalisierung des Gefahrenpotentials bezüglich eines Schadenpotentials von grösster Wichtigkeit (vgl. Kapitel 7 und 8), um gegebenenfalls geeignete Massnahmen planen zu können. Die einheitliche Erfassung und Klassierung des Schadenpotentials ist sowohl aus Gründen der Nachvollziehbarkeit als auch zur Bewertung verschiedener Gefahrenhinweiskarten sinnvoll.

6.1 Datengrundlagen und Klassierung

Um die Vorteile der GIS-unterstützten Prozessraummodellierung bei der Erstellung der schadenpotentialrelevanten Gefahrenhinweiskarte voll nutzen zu können, müssen die Grundlagendaten des Schadenpotentials in digitaler Form vorliegen. Da die digitale Erfassung von Informationen im allgemeinen kostspielig ist, sollte versucht werden, auf bestehende digitale Datensätze zurückzugreifen. Die Daten der Servicestelle Geostat des Bundesamtes für Statistik (BFS) bilden eine ideale Basis zur Aggregation von Schadenpotentialklassen.

Menschenleben und erhebliche Sachwerte sind die zentralen Elemente des Schadenpotentials bei unserer Gefahrenbeurteilung. Da diese beiden Kategorien unterschiedlichen Ursprungsdaten entsprechen, wurden zwei Schadenpotentialgruppen gebildet.

A) Das primäre Schadenpotential:

Das Element Menschenleben als wichtigstes Schadenpotential ist als georeferenzierter Raumdatensatz schwierig zu definieren, da Menschen eine örtlich und zeitlich variable Grösse darstellen. Für eine einheitliche Beurteilung muss aber eine Grösse gefunden werden, die einen georeferenzierten Wert darstellt. Die Wohnbevölkerung der Schweiz, die alle 10 Jahre erfasst wird, erwies sich als ideal, zumal sie mit der letzten Erhebung von 1990 einen aktuellen Stand aufweist. Diese neuesten Daten sind in digitaler Form vorhanden.

Die Bevölkerungsdaten 1990 der Schweiz sind ursprünglich als Punktdaten mit Landeskoordinaten aufgenommen worden. Die Überführung dieser Daten in die Hektarrasterform beruht auf der Beziehung zwischen der Gebäudezählung, der Haushaltsnummer und der Anzahl Personen pro Haushalt (Merkmalscode GEOSTAT, Wohnbevölkerung 1990 total

«P9BT0T»). Zur Georeferenzierung wurden den einzelnen Gebäuden die entsprechenden Landeskoordinaten zugeordnet. Eine ausführliche Dokumentation des Verfahrens ist im Kategorienkatalog zur Bodennutzung der Schweiz, Band 2, Ausgabe 1992, enthalten (*Bundesamt für Statistik, 1992*).

B) Das sekundäre Schadenpotential:

Das sekundäre Schadenpotential bilden die erheblichen Sachwerte. Diese Klasse repräsentiert Gebäude, Infrastrukturanlagen sowie Bahnen und Strassen. Die Daten der Arealstatistik enthalten umfassende Angaben zu diesen Klassen, sind aber leider mit der letzten Erhebungsperiode 1979 bis 1985 nicht auf dem aktuellsten Stand. Die Daten liegen klassiert im Hektarraster vor. In den Klassen 11 bis 15 sind folgende Elemente enthalten: Gebäudeareale, Industrieareale, besondere Siedlungsflächen (z.B. Energieversorgungsanlagen), Erholungsanlagen, Verkehrsflächen. Da das Erhebungsverfahren auf Stichprobenauswertungen beruht, sind hier zum Teil erhebliche Fehler zu verzeichnen. Fällt beispielsweise ein Industriegebäude mit einer kleinen Ecke in ein Hektarrasterfeld, so wird diese Hektarzelle vollumfänglich der Klasse Industriegebäude zugeordnet. Auch Fehlinterpretationen sind nicht auszuschliessen. Die Erfassung der Verkehrswege erfolgt ebenfalls im Hektarraster der Bodennutzung (Autobahnen, Hauptstrassen, Parkplätze sowie Flugplätze).

Da in den Datensätzen des Bundesamts für Statistik Strassen nur bis zur Stufe Hauptstrassen erfasst sind und Bahnlinien vollständig fehlen, mussten für unsere Untersuchungen wichtige Strassenverbindungen (auch zu dauernd bewohnten, abgelegenen Siedlungen) sowie Bahnlinien zusätzlich auf der Basis der Landeskarte 1:25 000 digitalisiert werden.

Die Darstellung der Strassen im Hektarraster auf der Kartengrundlage 1:25 000 zeigt die Grenzen dieser Erfassungsmethode deutlich, indem einerseits die Hektarrasterform zu grosse Gebiete erfasst und andererseits die Lagegenauigkeit dieser Darstellungsauflösung teilweise nicht mehr genügt. Die adäquate Darstellungsform zum Hektarraster ist grundsätzlich die Landeskarte 1:100 000.

7. Erstellung von Gefahrenhinweiskarten

Bereits während der Entwicklungsphase ergaben sich Möglichkeiten, die erarbeiteten Modelle in Pilotprojekten der Praxis zu testen und weiterzuentwickeln.

Im Kanton Bern konnten im Auftrag der Forstinspektion Berner Oberland (Amt für Wald und Natur) und der Kantonsgeologie des Wasser- und Energiewirtschaftsamtes, im Rahmen einer Vorstudie zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, vier Landeskartenblätter 1:25 000 bearbeitet werden.

Zielsetzungen:

In einem ersten Schritt sollten auf den vier Kartenblättern (Gemmi, Adelboden, Niesen und Lauterbrunnen), mit unterschiedlichen geologischen und tektonischen Gegebenheiten, die gefährlichen Naturprozesse Steinschlag bzw. Blockschlag und Felssturz, Rutschung, Einsturz und Bodenabsenkungen, Wildbachaktivität und Murgang (siehe *Mani, P.*, 1995) dargestellt werden.

In einem zweiten Schritt sollten die ausgeschiedenen Wirkungsräume mit einem definierten Schadenpotential überlagert werden, um Gebiete ausscheiden zu können, in denen ergänzende oder vertiefte Untersuchungen (Gefahrenkarten, Ausscheidung von Waldgebieten mit besonderer Schutzfunktion, usw.) notwendig sind. Das Schadenpotential umfasst Menschen sowie erhebliche Sachwerte (siehe Kapitel 6).

Vorgehen:

Auf der Basis des DHM25 wurden für die Prozesse Sturz und Murgang die Pauschalgefällsmodelle eingesetzt. Auf die Modellierung zur Ausscheidung rutschgefährdeter Gebiete musste in dieser Vorstudie verzichtet werden, da zu diesem Zeitpunkt das Dispositionsmodell noch nicht anwendbar war. Im Rahmen des IDNDR-Projektes der Landeshydrologie und -geologie (LHG) zur vereinheitlichten Darstellung von Bodenbewegungsgefahren, wurde unter anderem das Kartenblatt Adelboden bearbeitet. Anhand dieser exakten Kartiergrundlagen konnten einerseits die Pauschalgefällsmodelle verifiziert werden, und andererseits konnten die ausgeschiedenen Prozessbereiche Rutschungen, Bodenabsenkungen und Einsturz übernommen werden. Auf den andern Kartenblättern wurden diese Prozessräume aufgrund von Luftbildanalysen, Ortskenntnissen und spezifischem Expertenwissen ausgeschieden. Die kartierten Gefahrenperimeter wurden anschliessend digitalisiert.

Der zweite Arbeitsschritt des Einbezugs des Schadenpotentials wurde für die verschiedenen Prozesstypen unterschiedlich durchgeführt. Bei der Sturzmodellierung wurden alle möglichen Prozessräume mit dem Schadenpotential verschnitten. Ausgehend von der Schnittmenge (Sturzprozessräume, die ein Schadenpotential treffen), wurde der Sturzprozess «rückwärts» berechnet. Dadurch konnten alle schadenpotentialrelevanten Prozessräume mit den entsprechenden Felsgebieten (potenzielle Ablösezone) bestimmt werden.

Bei der Wildbach- und Murgangmodellierung wurde der Einbezug des Schadenpotentials bereits im ersten Arbeitsschritt durchgeführt. Dabei konnten Murgangtrajektorien, die ein Schadenpotential treffen, speziell ausgeschieden werden.

Die digitalisierten Prozessbereiche Rutsch, Bodenabsenkung und Einsturz wurden im zweiten Arbeitsschritt mit dem Schadenpotential verschnitten. Um die betroffenen Schadenpotentialklassen wurde im GIS mit Hilfe einer Buffer-

bildung der mögliche schadenrelevante Prozessbereich simuliert. Dieser einfache Ansatz dient hier als Ersatz für die Prozessmodellierung.

Resultate:

Die modellierten – und kartierten – Prozessräume sowie das Schadenpotential wurden im GIS zusammengestellt und in Form von Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25 000 auf transparente Folien geplottet. Mit Hilfe der Bubblejet-Kopieretechnik konnten diese mehrfarbigen thematischen Karten im sogenannten Sandwichverfahren auf der topographischen Grundlage 1:25 000 hergestellt werden⁴.

Aufgrund der befriedigenden Resultate bezüglich der Aussagegenauigkeit und der rationellen Herstellungsverfahren wurden im Rahmen einer erweiterten Vorstudie noch drei zusätzliche Kartenblätter (Chasseral, Guggisberg und Eggiwil) mit sehr unterschiedlichen topographischen, geomorphologischen und geologischen Gegebenheiten bearbeitet. Im Rahmen dieser Studie wurden die für die Alpentopographie entwickelten Modelle an die neuen Gegebenheiten angepasst.

8. GIS-gestützte Ausscheidung von Waldflächen mit besonderer Schutzfunktion (WBSF) auf der Basis der modellierten Gefahrenhinweiskarten

Da im Rahmen der Vorstudien zur Erstellung von Gefahrenhinweiskarten im Kanton Bern gute Resultate erzielt werden konnten, waren die Voraussetzungen gegeben, um mit einfachen Analysen im geographischen Informationssystem Waldflächen mit besonderer Schutzfunktion zu bestimmen.

Mit den digital vorhandenen Daten der Gefahrenhinweiskarten waren die wichtigsten Grundlagen für die weiteren Bearbeitungsschritte gegeben. Da die Pixelkarte 1:25 000 des Bundesamtes für Landestopographie auch die Waldflächen als Informationsebene enthält, war eine weitere entscheidende Datengrundlage verfügbar.

Aus der Schnittmenge der Überlagerung der Prozessräume der Gefahrenhinweiskarte mit den Waldflächen, ergeben sich Waldgebiete, die im Einflussbereich gefährlicher Naturprozesse liegen. Im Übersichtsmassstab 1:25 000 können diese Gebiete in erster Näherung als Wald mit besonderer Schutzfunktion klassiert werden. Da nun alle Daten in digitaler und georeferenzierter Form vorhanden sind, konnten im GIS die gewünschten Kenngrössen berechnet werden. Durch den Einbezug weiterer geostatistischer Daten, wie

⁴ Aus drucktechnischen Gründen muss hier auf die Wiedergabe dieser mehrfarbigen Karten verzichtet werden.

beispielsweise die Gemeindegrenzen, konnten für jeden Prozesstyp die entsprechenden Flächenanteile berechnet werden. Für das Pilotprojekt wurden die Daten aus dem Geographischen Informationssystem in Form von Tabellen exportiert und zur weiteren Verarbeitung einem Datenbanksystem zur Verfügung gestellt. Eine mögliche Datenzusammenstellung zeigt die *Tabelle 2*.

9. Ausblick

Die hier vorgestellten Modelle konnten im Rahmen der angewandten Projekte auf einen Stand gebracht werden, der den momentanen Anforderungen gerecht wird. Vergleiche mit erfolgten Ereignissen haben gezeigt, dass durch gezielte Weiterentwicklungen noch wesentliche Verbesserungen erzielt werden können.

Bei der Pauschalgefällsmodellierung der Sturzprozesse können verschiedene Informationsebenen zur Reduktion oder Erhöhung des Pauschalgefälles eingebaut werden. Der Einbezug des Waldes beispielsweise kann mit geringem Aufwand realisiert werden. Die Mitberücksichtigung der Felsqualität der potentiellen Ausbruchgebiete bietet grössere Probleme, da entsprechende Erhebungen zuerst erfolgen müssen. Auch für die Modellierung der potentiellen Rutschgebiete bildet die geologische Information in Form der Substratkarten einen zentralen Bestandteil. Gleiche Forderungen über Informationen zum Untergrund bezüglich Durchlässigkeit und Versickerungsfähigkeit werden aus der Murgangmodellierung gestellt.

Erste Versuche mit dem Einbezug der geologischen Grundlagen bei den Modellierungen haben gezeigt, dass Verbesserungen erzielt werden können. Mit der digitalen Erfassung des geologischen Atlases der Schweiz könnten wesentliche Lücken in den Grundlagendaten geschlossen werden.

Zur Verifikation der modellierten Prozessräume, aber auch zur Gefahrenbeurteilung allgemein, bilden Aufzeichnungen von erfolgten Ereignissen in Form von Katastern einen zentralen Bestandteil. Mit Hilfe der modernen EDV-Ausrüstungen wird es in Zukunft möglich sein, auch diese Informationen digital zu erfassen. Diese Informationsebene könnte sowohl bei den Modellierungen von gefährlichen Prozessen, als auch bei umfassenden Datenbanken zu Naturgefahren verwendet werden.

Bei all diesen computerunterstützten Verfahren, Analysen und Datenbankanwendungen darf die Geländebeobachtung sowie die aufmerksame Verfolgung der Entwicklungen von laufenden Naturprozessen nicht vernachlässigt werden, denn Modellierungen stellen bei der synoptischen Gefahrenbeurteilung ein Hilfsinstrument dar.

Table 2. Zusammenstellung der Flächenanteile der verschiedenen Prozessbereiche in Waldgebieten mit besonderer Schutzfunktion für das Landeskartenblatt Guggisberg. Der Tabellenauszug ist eine Zusammenfassung diverser GIS-Tabellenberechnungen mit Hilfe einer Access-Datenbankaplikation. Alle Daten (sowohl geometrische Daten in Form von Vektoren und Polygonen, als auch numerische bzw. alphanumerische Informationen) stehen auch für eine *client-server*-Lösung zur Verfügung.

GEOTEST AG

Amt für Wald und Natur Kanton Bern Forstinspektion Oberland

Wald mit besonderer Schutzfunktion (WBSF) Blatt 1206 Guggisberg
Flächenanteile der Hinweisplatte 1:25'000

Gemeinde	Gemeinde Nr.	Flächenmasse in ha							Wald total	Anteil WBSF in % bez. Gesamtwaldfläche
		Lawine	Murgang	Rutsch	Sturz	Kombination aller Prozessflächen	Gemeindefläche			
Alterswil	2291							85.4	585.3	
Blumenstein	922							98.6	211.8	
Brünisried	2292							60.5	270.8	
Cerniat (FR)	2126							73.9	81.2	
Därstetten	761							10.4	353.3	
Giffers	2294							14.2	44.8	
Guggisberg	852	142.4	291.9	341.8	17.3	659.6	1895.4	189.1	5199.1	
Oberschrot	2298		0.6			0.6		82.9	565.5	
Oberwil im Simmental	766							1331.6	672	
Plaffeien	2299	90.3	279.3	12.1	7.4	338.3	1331.6	82.9	3284.6	
Plasselb	2300	16.7	27.9		1.1	37.6	553.3	98.6	1071	
Rechthalten	2301							435.6		
Rüeggisberg	880	0.6	5.9	10.8		15.8	134.6	42.8	466.9	
Rüschegg	853	46	317.3	145.3	13.6	461.0	2571.1	18.4	5566.2	
Rüti bei Riggisberg	882	13.4	117.9	57.6	1.4	176.5	1059.4	69.7	1422.4	
St. Ursen	2304							403.3		
Wahlern	854	0.2		0.2		0.3		111.9		
Wattenwil	886							113.9		
Zumholz	2310							10.9	183	
Summe der Einzelflächen		309.6	1040.8	567.8	40.8	1689.7	8443		21000.4	

Zusammenfassung

Im Rahmen der Arbeiten im Modul Naturgefahren wurden Methoden und entsprechende Verfahren entwickelt und getestet, die es ermöglichen, mit Hilfe des digitalen Höhenmodells Dispositions- oder Prozessräume von Erd- und Felsbewegungen zu modellieren. Die Basis für die Modellierungen bildet das digitale Höhenmodell DHM25, das durch eine umfangreiche Aufbereitung in ein qualitativ hochstehendes Matrixmodell im 10- und 20-Meter-Raster umgewandelt wurde.

Zur Erstellung von kostengünstigen Gefahrenhinweiskarten im Maßstab 1:25 000 wurde für die Sturzprozesse ein Berechnungsmodell auf der Basis des Pauschalgefälles entwickelt. Dieses Modell verlangt als Parameter einerseits die Topographie als steuerndes Element und andererseits die Felsflächen als potentielle Startgebiete.

Die räumliche Beurteilung der Rutschgefahren mit der Ausscheidung von Prozessflächen aufgrund eines reinen Pauschalgefällsansatzes ist nicht sinnvoll, da sehr viele Parameter die Rutsch-Disposition beeinflussen. Neben der Kohäsion des Lockermaterials als zentraler Parameter bildet der Wassersättigungsgrad das steuernde Element in der Beurteilung der Hangstabilität. Das von S. Liener entwickelte Dispositionsmodell kombiniert die Berechnung der Hangstabilität nach Janbu und Bishop mit GIS-Prozeduren der Hangneigungsklassierung und der räumlichen Verteilung der Lockermaterialeigenschaften.

Die Anwendung und Umsetzung der erarbeiteten Verfahren erfolgt in verschiedenen Pilotprojekten in der Praxis. Die Umsetzung der Gefahrenhinweiskarten zur Ausscheidung von Waldflächen mit besonderer Schutzfunktion wurde erfolgreich durchgeführt.

Résumé

Modélisation des champs d'action des mouvements de terre et de rochers à l'aide des systèmes d'information géographiques (SIG)

Des méthodes et procédés permettant de simuler à l'aide du modèle digital pour les hauteurs la disposition et le processus des mouvements de la terre et des rochers ont été développés et testés dans le cadre des travaux du module des «dangers naturels». Les simulations sont basées sur le modèle des hauteurs DHM 25, qui après un traitement important a été transformé en un modèle matriciel de haute qualité pour un réseau de 10 m et de 20 m.

Afin d'obtenir des cartes de dangers à l'échelle de 1:25 000 à peu de frais, fut conçu pour appréhender les processus d'éboulement un modèle de calcul basé sur l'inclinaison globale du terrain. Ce modèle nécessite comme paramètres d'une part la topographie comme élément principal et d'autre part les surfaces de rochers comme points de départ potentiels.

L'appréciation spatiale des dangers de glissement avec la délimitation des surfaces actives basés uniquement sur l'évaluation globale de la pente n'a pas de sens; en effet de nombreux paramètres influencent la prédisposition aux glissements de terrain. En plus de la cohésion du matériel meuble, paramètre central, le degré de saturation en

eau est un critère dominant quant à l'appréciation de la stabilité de la pente. Le modèle de disposition développé par S. Liener combine le calcul de la stabilité de la pente selon Janbu et Bishop avec les procédés des SIG pour le classement de l'inclinaison de la pente et de la répartition spatiale des propriétés du matériel friable.

La mise en pratique des procédés élaborés est intégrée dans différents projets-pilote. L'emploi des cartes de dangers pour délimiter les surfaces forestières ayant une fonction de protection particulière se révèle être un succès. Traduction: S. Croptier

Literatur

- Bollinger, D.; Noverraz, F.; Bonnard, Ch. & Kellerhals, S.P.* (1993): Die vereinheitlichte Darstellung von Bodenbewegungsgefahren. – Comité national Suisse de la décennie internationale de l'ONU «Prévention des catastrophes naturelles» (IDNDR), Rapport sur les études, Berne, Octobre 1993.
- Bundesamt für Statistik, Arealstatistik 1979/85*, 1992: Die Bodennutzung der Schweiz, Band 2, Raum, Landschaft und Umwelt, Kategorienkatalog zur Arealstatistik.
- Egli, D.*, 1995: Geologie und Hanginstabilitäten im Einzugsgebiet der Kleinen Schliere. Unveröffentlicht. Diplomarbeit, Geol. Inst. d. Univ. Zürich.
- Gerber, W.*, 1994: Beurteilung des Prozesses Steinschlag. Schweiz. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), Herbstkurs vom 20.–22. Oktober 1994 Poschiavo, Kursunterlagen.
- Grunder, M.*, 1984: Ein Beitrag zur Beurteilung von Naturgefahren im Hinblick auf die Erstellung von mittelmassstäbigen Gefahrenhinweiskarten (mit Beispielen aus dem Berner Oberland und der Landschaft Davos). Diss. am Geographischen Institut der Universität Bern, Geographica Bernensia Reihe G23.
- Gsteiger, P.*, 1989: Steinschlag – Wald – Relief, Empirische Grundlagen zur Steinschlagsimulation. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.
- Hunziker, G.*, 1995 (in Vorber.): Auswirkungen des lithologischen Untergrundes auf die Rutschanfälligkeit des Gebietes Leissigen-Morgenberghorn. Diplomarbeit, Geogr. Inst. d. Univ. Bern.
- Krummenacher, B.*, 1993: Naturgefahren Obermatte Ergisch, Schweiz. Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN) Herbstkurs vom 22. September 1993, Kursunterlagen.
- Krummenacher, B.*, 1994: Steinschlag: Prozess und Modell, Vortrag anlässlich des Fachkolloquium vom 7. Oktober 1994 Aarau, Schweizerische Geomorphologische Gesellschaft, Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften (SANW).
- Liener, S.*, 1995: Entwicklung eines Dispositionsmodells zur Abgrenzung rutschgefährdeter Gebiete. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.
- Mani, P.*, 1995: Erfassung der Wildbachgefahr mit Hilfe von GIS-basierten Modellen. Schweiz. Z. Forstwes. 146, 9: 727–739.
- Pilotprojekt Bodenbewegungskarte der Schweiz*, 1994: Testblatt Adelboden, IDNDR-SHGN.
- Zinggeler, A., Krummenacher, B., Kienholz, H.*, 1991: Steinschlag in Gebirgswäldern. Fachtagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 22./23. Juni 1990. Berichte und Forschungen Geographisches Institut Freiburg/CH, Vol. 3, 199, Fribourg.
- Zinggeler, A.*, 1989: Die Modellierung der Steinschlaggefahr in Gebirgswäldern. Diplomarbeit am Geographischen Institut der Universität Bern.

Verfasser: Bernhard Krummenacher, dipl. Geogr., Geotest AG, Birkenstrasse 15, CH-3052 Zollikofen und Universität Bern, Geographisches Institut, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern.