©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

GIS basierte Felssturz-Modellierung auf regionalem Maßstab im Montafon (Vorarlberg, Österreich)

von Luuk Dorren und Bernhard Maier

VORARLBERGER NATURSCHAU
9
SEITE 227-236
Dornbirn 2001

Zu den Autoren

Luuk Dorren geboren 1973 in Heerlen (NL). Studium der Physischen Geographie und Pedologie an der Universität Amsterdam. Spezialisierung auf Geomorphologie im Hauptfach und auf GIS und Fernerkundung in den Nebenfächern. Im Jahre 1998 umfassende Aufgaben im Rahmen des EU-Projektes CARTESIAN betraut und seit 1999 Mitglied des neugebildeten Institutes für Biodiversität und Ökosystemdynamik (IBED – Physical Geography). Derzeit Doktorat über die Anwendung von GIS, Fernerkundung und Modellierungstechniken in der Naturgefahrenanalyse.

Bernhard Maier, geboren 1969 in Bludenz und als Förster beim Stand Montafon – Forstfonds in Schruns tätig. Weiterbildung an der Universität Salzburg auf dem Gebiet der Geoinformationssysteme und Absolvierung eines MSc-Programm an der Manchester Metropolitan University. Zu den Aufgaben zählen die forstliche Planung und Projektbetreuung, sowie die Schutzwaldsanierung und GIS-Koordination für die Montafoner Gemeinden.

Abstract

The forests of Stand Montafon Forstfonds serve as a test area for modelling rockfall on a regional scale to analyse the rockfall hazard throughout the Montafon region. Within this article is described how the processes behind rockfall are simulated using a raster-based model. Firstly, the model calculates on the basis of a Digital Elevation Model (DEM), land cover data and geological data the most probable fall track and secondly the velocity of the falling rock masses for every raster cell. The latter calculation occurs on the basis of simulating flying, bouncing and rolling. Depending on factors such as topography, land cover and slope surface properties the falling rock masses accelerate or decelerate. These factors are taken into account in the calculation (partly with Fuzzy Logic) of the parameters values. The simulated rockfall patterns have been evaluated with fieldmapped rockfall patterns. The study shows that rockfall modelling on regional scale is possible, however, the model definition of the relationship between forest stand factors and rockfall hazard has to be improved.

Keywords: Rockfall, modelling, GIS, geomorphological maps, Fuzzy Logic, remotely sensed data, Vorarlberg, Austria

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Zusammenfassung

Die Waldungen des Standes Montafon - Forstfonds dienen als Testgebiet für eine Felssturzmodellierung mit dem Ziel, die Felssturzgefährdung flächenhaft auf regionalem Maßstab einzuschätzen. In diesem Artikel wird versucht, die felssturzauslösenden Prozesse mittels eines rasterbasierten Modelles zu simulieren. Das Modell berechnet auf Basis von einem digitalen Geländemodell (DGM), Landbedeckungsdaten und geologischen Daten zuerst die wahrscheinlichste Sturzbahn und danach getrennt nach den Bewegungsarten: Fallen, Springen und Rollen für jede Zelle die mögliche Höchstgeschwindigkeit der stürzenden Blöcke. Abhängig von den Einflußgrößen Topographie, Landbedeckung und Bodenbeschaffenheit werden die stürzenden Blöcke gebremst oder beschleunigt. Diese Einflußgrößen fließen in die Berechnung (teils mit Fuzzy Logic) der verschiedenen Modellparameter ein. Die simulierten Felssturzmuster werden mit Hilfe von im Feld kartierten Felssturzmustern evaluiert. Es hat sich gezeigt, daß Felssturz-Modellierung auf regionalem Maßstab möglich ist, aber vor allem die Beziehung zwischen Felssturz und Schutzwaldbestandesfaktoren im Modell besser definiert werden muß.

1. Einführung

Der Stand Montafon-Forstfonds ist mit 8800 ha der größte Waldbesitzer Vorarlbergs. Zu seinen Hauptaufgaben zählen die nachhaltige Sicherung der Schutzfunktion des Waldes vor Lawinen, Muren und Steinschlag. Im Rahmen des EU-Projektes CARTESIAN dienen die Standeswaldungen als Testgebiet für eine Felssturzmodellierung. Diese verfolgt das Ziel, die Felssturzgefährdung flächenhaft auf regionalem Maßstab einzuschätzen, wobei der Interaktion zwischen Felssturz und Schutzwald besondere Bedeutung zukommt. Als ersten Schritt dieses umfassenden Untersuchungszieles wird in diesem Artikel versucht, die felssturzauslösenden Prozesse mittels eines rasterbasierten Modelles zu simulieren.

2. Studiengebiet Montafon

Das Montafon (*Abb. 1*) liegt im Süden Vorarlbergs und umfaßt das obere Einzugsgebiet der Ill. Die Seehöhe variiert zwischen 570 und 3312 Meter (Piz Buin). Felssturzereignisse finden nicht nur in den felsreichen hochalpinen Lagen weit über der Baumgrenze, sondern auch in den darunter liegenden bewaldeten Gebieten statt. Die Felssturzgefährdung ist dort am kritischsten wo sie das Siedlungsgebiet erfaßt. Felsstürze treten im Montafon auf sehr vielfältige Art und Weise auf. Zum einen variieren die geologischen Verhältnisse von Kalk und Hauptdolomit im Nordwesten bis Glimmerschiefer, Amphibolit und Granit-Gneiss in Richtung Südosten. Zum anderen weisen die verschiedenen Täler eine unterschiedliche geologisch-geomorphologische Geschichte auf. Während manche Talflanken auf Grund der Vergletscherung immer noch übersteilt sind (z.B. Ausserbacherwald in Gaschurn), bedingt diese postglaziale Instabilität andernorts große Hangsackungen und Entlastungsbewegungen (z.B. Bartholomäberg).

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 1. Das Montafon - Band 5, 4, und 2 des Landsat TM Bildes vom September 1998.

3. Methoden und Daten

3.1. Felssturz Modell

Das Modell basiert auf einem räumlichen Raster mit Zellen von 25x25 m, der das Montafon repräsentiert. Mit Hilfe der Modellierungssprache Matlab 5.3 werden die felssturzauslösenden Prozesse beschrieben. Folgende Eingabedaten sind erforderlich:

- Ein digitales Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von 25 m (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Wien).
- Landbedeckungsdaten, die von einem Landsat TM 5 Satellitenbild (September 1998, siehe *Abb. 1*) abgeleitet sind. Zu diesem Zweck wird eine überwachte Klassifikation mit einem *Maximum Likelihood Classifier* durchgeführt. Die abgeleitete Landbedeckungs-Karte ist in *Abb. 2* dargestellt.
- Geologische Daten, die von der Geologischen Karte Vorarlbergs 1:200.000, herausgegeben von der Geologischen Bundesanstalt (1998), abgeleitet wurden.

Das Modell (*Abb. 3*) definiert für jede Zelle des DGMs ob Felssturz stattfinden kann oder nicht. Gemäß Vorgabe finden Felssturzereignisse nur auf Hängen statt, die steiler als 45 Grad sind. Danach wird für jede Zelle die mögliche Höchstgeschwindigkeit der stürzenden Blöcke berechnet. Die Berechnung erfolgt getrennt nach den Bewegungsarten: Fallen, Springen und Rollen (BOZZOLO & PAMINI 1986). Zuerst wird die wahrscheinlichste Sturzbahn berechnet. Dafür gibt es verschiedene Methoden (MEIßL 1998). In diesem Modell wird

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

die einfachste Methode (D8 - siehe MEIßL 1998) angewandt, da mit einer Auflösung von 25 Meter in jedem Fall eine starke Vereinfachung des Sturzvorganges stattfindet. Abhängig von den Einflußgrößen Topographie, Landbedeckung und Bodenbeschaffenheit werden die stürzenden Blöcke gebremst oder beschleunigt. Diese Einflußgrößen fließen in die Berechnung der Modellparameter Oberflächenrauhigkeit, Rollreibungs- und Aufprall-Koeffizient ein.

Abb. 2. Ergebnis der Klassifikation des Landsat TM Bildes – Landbedeckungs-Karte.

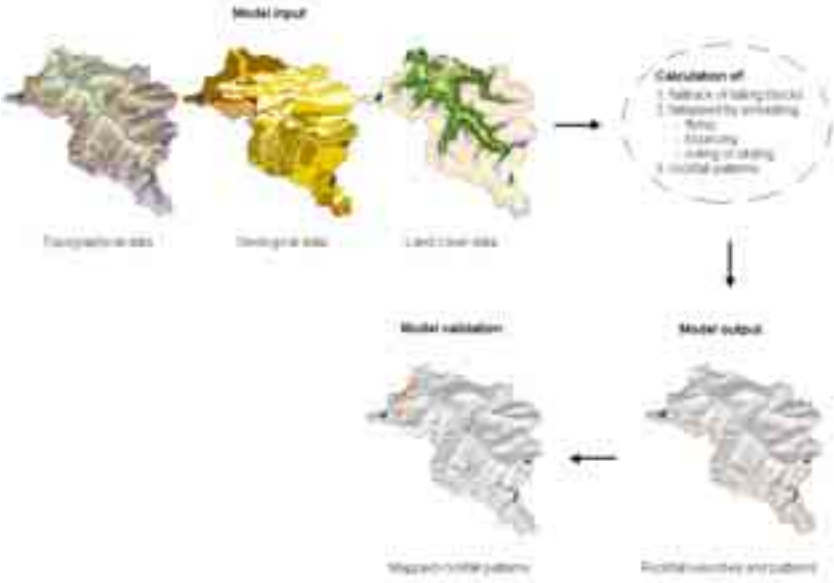

Abb. 3. Übersicht des GIS-basierten Felssturzmodelles für das Montafon.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

3.2 Berechnung der Modellparameter

Die Rollreibungs- und Aufprall-Koeffizienten sind von SELBY (1980), Van DIJKE & Van WESTEN (1990) und AZZONI et al. (1995) abgeleitet. Die Oberflächenrauhigkeit wird meistens durch die Art und Dichte der Vegetation bestimmt, was durch die verschiedenen Klassen in der Landbedeckungskarte repräsentiert ist.

Die Berechnung der Oberflächenrauhigkeit auf unbewachsenen Hängen stellt einen Sonderfall dar. Schuttfächer oder Felswände beispielsweise werden im GIS durch die folgenden Kombinationen von Landbedeckung und Hangneigung identifiziert:

- Handelt es sich um eine Felswand mit einer Hangneigung > 45 Grad und ist die Zelle als „vegetationslos" klassifiziert, ist die Oberflächenrauhigkeit gering (<0,1).
- Handelt es sich um einen Schuttfächer mit einer Hangneigung zwischen 20 und 45 Grad und ist die Zelle als „vegetationslos" klassifiziert, ist die Oberflächenrauhigkeit abhängig von der Distanz zur Felswald (Felssturzquelle) definiert. Auf einem Schuttfächer findet die Ablagerung sortiert nach Blockgrößen statt (KIRKBY & STAHAM 1975). Während kleineres Felssturzmaterial am Fuß der Felswand liegen bleibt, findet man die größten Felsblöcke am unteren Rand des Schuttfächers (STATHAM & FRANCIS 1986, EVANS & HUNGR 1993).

Um diesen Sortierungs-Effekt bei der Ermittlung der Oberflächenrauhigkeit miteinzubeziehen, wird die Distanz zur Felssturzquelle mittels *Fuzzy Logic* modelliert. Die maximale Oberflächerauhigkeit (OR) kann auf Grund der Gesteinsart eingeschätzt werden und ist somit relativ definiert. Da aber die Blockgrößenverteilung nur schwer einzuschätzen ist, werden im *Fuzzy Logic Module* folgende Regeln definiert:

WENN	Distanz	=	Kurz	DANN	OR	=	0.01
WENN	Distanz	=	Kurz-Mittel	DANN	OR	=	(max.Wert-0.01)/3
WENN	Distanz	=	Mittel-Lang	DANN	OR	=	(max.Wert-0.01)*2/3
WENN	Distanz	=	Lang	DANN	OR	=	max.Wert

Dadurch werden vier unscharfe, sich überlappende Distanzklassen definiert (*Abb. 4*). Ein Distanzwert fällt somit immer in zwei Distanzklassen. In welchem Maße dieser Wert zur einen oder anderen Klasse gehört, wird durch einen *Membership*-Wert (ein Faktor zwichen 0 und 1) bestimmt. Die Berechnung der *Membership*-Werte erfolgt auf Basis der Klassen-Überlappungen, die durch eine mathematische Funktion definiert sind. In diesem Fall wird die *Centroid Defuzzification Method* angewandt (Von ALTROCK 1995).

Jeder Distanzklasse ist ein OR-Wert zugeordnet, der sich gemäß obiger Regel anhand des maximalen OR-Wertes in Abhängigkeit von der Gesteinsart berechnet. Die maximale Distanz (*max. distance in geology class* in *Abb. 4*) errechnet sich durch die maximale Länge des Schuttfächers innerhalb einer Gesteinsart. Diese Berechnung wird mit GIS unter Zuhilfenahme der Geologischen Karte, der

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Landbedeckungsklassen und einem Algorithmus für Distanzberechnung in Rasterkarten bewerkstelligt.

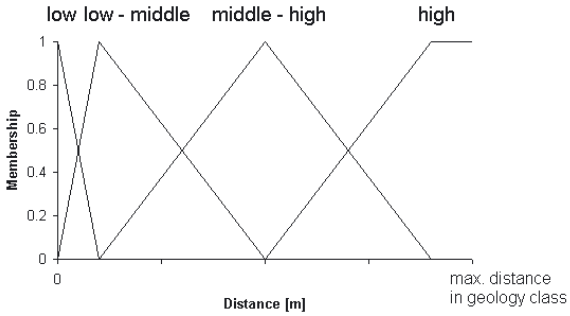

Abb. 4. Verteilung der Fuzzy-Klassen für die Distanz zur Felswand auf einem Schuttfächer.

Ein Beispiel soll die Berechnung der OR verdeutlichen: Wie hoch ist die OR in 78 Metern Distanz zur Felswand (Felssturzquelle), wenn der Schuttfächer eine Länge von 200 Metern aufweist und die maximale OR auf diesem Schuttfächer 0,5 Meter beträgt? 78 Meter fällt in die Distanzklasse 'Kurz-Mittel' mit einem Membership-Wert von 0,35 und in Distanzklasse 'Mittel-Lang' mit einem Membership-Wert von 0,65. Die dazugehörigen OR-Werte ergeben sich aus (0.5-0.01)/3 = 0.163 und (0.5-0.01)*2/3= 0,327 (siehe *Fuzzy Logic* Regeln). Die OR bei einer Entfernung von 78 Meter beträgt dann: (0.35*0.163 + 0.65*0.327) / (0.35+0.65) = 0.269. Auf diese Weise wird für jede „Schuttfächerzelle" die OR berechnet.

Abb. 5. Ergebnis eines simulierten Felssturzmusters (in Grau) für das Montafon. Die schwarzen Flecken sind Seen (z. B. Lünersee, Stausee Kops, Vermunt und Silvretta).

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

4. Evaluierung der simulierten Ergebnisse und Diskussion

Das generierte Felssturzraster (Arcview GRID) erfasst Sturzgeschwindigkeiten und Felssturz-Ablagerungsmuster (*Abb. 5*). Die berechneten Geschwindigkeiten von durchschnittlich 40-50 Meter/Sekunde stimmen mit den Ergebnissen anderer Autoren überein (PFEIFFER & BOWEN 1989, van DIJKE & van WESTEN 1990, AZZONI et al. 1995, MEIßL 1998).

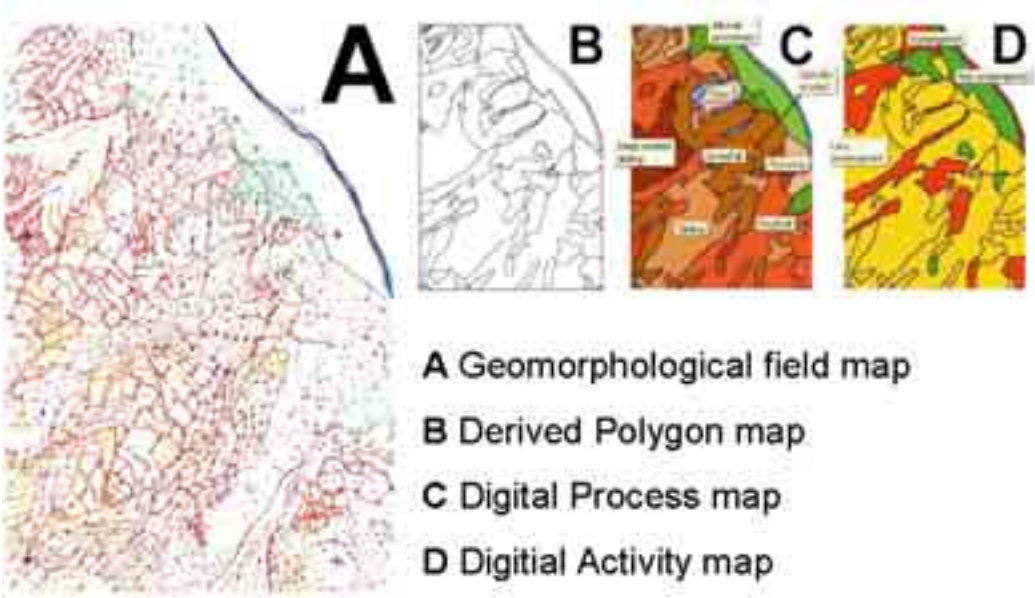

Abb. 6. Die Umformung der geomorphologischen Karte in GIS-Karten.

Um die modellierten Felssturzmuster zu evaluieren, werden sie mit im Felde kartierten Felssturzmustern verglichen. Letztere stammen von geomorphologischen Karten (Maßstab 1:10.000), welche in digitale Rasterkarten transformiert werden. Identische geomorphologische Einheiten (Form, Material, Entwicklung und Alter) werden als Polygon digitalisiert und mit den Attributen Prozeß-Art und -Aktivität versehen (*Abb. 6*). Ungefähr 1/5 des Montafons ist seit Beginn der Geländearbeiten im Jahre 1990 (RUPKE & SEIJMONSBERGEN 1993, 1996) auf diese Weise geomorphologisch kartiert worden (*Abb. 7*).

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 7. Graue Rahmen: Kartierte Gebiete im Montafon. Schwarz: Kartierte Felssturzmuster.

Tabelle 1 zeigt den Vergleich zwischen modellierten und kartierten Felssturzmustern. Daraus folgt, daß 12.8% der kartierten Muster durch das Modell nicht erklärt werden. Das kann auf die Tatsache zurückgeführt werden, daß die geomorphologische Karte auch alte Felssturzmuster erfaßt, die durch Felssturz auf unbewaldeten Hängen kurz nach dem Abschmelzen des Gletschers entstanden sind. Heute sind diese Hänge bewaldet und ihre veränderte Topographie verringert die Felssturzdynamik.

***Tabelle 1*. Vergleich der kartierten und modellierten Flächen (Kreuzklassifikation)**

	Kartiert als Felssturzgebiet	**Kartiert als Felssturz freies Gebiet**	**Total**
Modelliert als Felssturzgebiet	12753 Zellen = 5.1%	12304 Zellen = 5%	25057 Zellen = 10.1%
Modelliert als Felssturz freies Gebiet	31749 Zellen = 12.8%	191351 Zellen = 77.1%	223100 Zellen = 89.9%
Total	44502 Zellen = 17.9%	203655 Zellen = 82.1%	248157 Zellen = 100%

Eine weitere Fehlerursache ist die im Modell nur unzureichend abgebildete Interaktion zwischen Felssturz und Waldbeständen. Sie fließt derzeit nur durch einen einfachen Koeffizienten in die Berechnung mit ein. Es ist jedoch unbestritten, daß die Sturzbewegung im Wald durch die Bestandeseigenschaften Stammzahl, Stärken- und Baumartenverteilung auf vielfältige Art und Weise beeinflußt wird.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

5. Schlussfolgerungen

Felssturz kann mit rasterbasierten Modellen auf regionalem Maßstab modelliert werden. Zur groben Einschätzung der Felssturzgefährdung für eine ganze Region scheint dieser Modellansatz grundsätzlich ausreichend genau zu sein. Zur Verbesserung der Ergebnisse sollen jedoch forstliche Bestandesfaktoren in die Berechnung miteinbezogen werden, um das Modell weiter zu verfeinern.

Zur Evaluierung des Felssturzmodelles sollten sämtliche geomorphologischen Feldbefunde herangezogen werden. Es scheint zweckmäßig, diese geomorphologischen Grundlagen durch gezielte Felssturz-Kartierungen zu ergänzen.

6. Literatur

ALTROCK, von, C. (1995): Fuzzy Logic and neurofuzzy applications explained. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 349 pp.

AZZONI, A., BARBERA, G.L. & ZANINETTI, A. (1995): Analysis and prediction of rockfalls using a mathemathical model. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science 32, 709-724.

BOZZOLO, D. & PAMINI, R. (1986): Simulation of rock falls down a valley side. Acta Mechanica 63, 113-130.

DIJKE van, J.J. & WESTEN van, C.J. (1990) Rockfall hazard, A geomorphological application of neighbourhood analysis with ILWIS. ITC Journal 1, 40-44.

EVANS, S.G. & HUNGR, O. (1993): The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. Canadian Geotechnical Journal 30, 620-636.

KIRKBY, M.J. & STATHAM, I. (1975): Surface stone movement and scree formation. Journal of Geology 83, 349-362.

MEIßL, G. (1998): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen. Fallbeispeile zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Bayrischen und Tiroler Alpenraum. Innsbrucker Geografischen Studien 28, Ph.D. Thesis, Universität Innsbruck,

PFEIFFER, T.J. & BOWEN, T.D. (1989): Computer simulation of rockfalls. Bull. Ass. Engineering Geologists XXVI(1), 135-146.

RUPKE, J & SEIJMONSBERGEN, A.C. (1993): Geomorphologische Kartierung und Hanginstabilitätsgefährdung im Gebiet Tramosa (St. Gallenkirch, Vorarlberg). AGRG, Univ. Amsterdam, report to Stand Montafon Forstverwaltung, 13 pp.

RUPKE, J & SEIJMONSBERGEN, A.C. (1996): Geomorphological/Geotechnical Mapping of the Versettla-Garfreshen Slope. Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen, Tagungspublikation, Band 5, pp. 243-253.

SELBY, M.J. (1982): Hillslope materials and processes. Oxford University Press, Oxford, 264 pp.

STATHAM, I. & FRANCIS, S.C. (1986): Influence of scree accumulation and weathering on the development of steep mountain slopes. In: A.D. Abrahams (Ed.), Hillslope processes. Allen and Unwin Inc., Winchester, pp. 245-267.

©inatura Dornbirn, Austria, download unter www.biologiezentrum.at

Anschrift der Autoren:
Luuk Dorren
Institute for Biodiversity and Ecosystem Dynamics
Universiteit van Amsterdam
Nieuwe Achtergracht 166
NL-1018 WV Amsterdam
l.dorren@frw.uva.nl

Bernhard Maier
Stand Montafon-Forstfonds
Montafonerstrasse 21
A-6780 Schruns
bernhard.maier@stand-montafon.at

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Vorarlberger Naturschau - Forschen und Entdecken

Jahr/Year: 2001

Band/Volume: 9

Autor(en)/Author(s): Dorren Luuk, Maier Bernhard

Artikel/Article: GIS basierte Felssturz-Modellierung auf regionalem Maßstab im Montafon (Vorarlberg, Österreich). 227-236