

Ansätze der GIS-gestützten räumlichen Modellierung von Rutschgefahren in Buntsandsteingebieten Nordhessens und Südniedersachsens (BRD)

Kinga VARGA, Michael BECHT und Bodo DAMM

Zusammenfassung

Laufende Arbeiten im Rahmen eines von der DFG geförderten Projekts verfolgen das Ziel, Gefahrenpotenziale durch gravitative Massenbewegungen in den Buntsandsteingebieten Nordhessens und Südniedersachsens GIS-basiert zu modellieren. Zur räumlichen Vorhersage wird ein Dispositionsmodell entwickelt, das den Einfluss unterschiedlicher Prozessfaktoren im Zusammenhang mit Massenbewegungen berücksichtigt.

1. Einleitung

Gefahrenpotenziale durch gravitative Massenbewegungen in den Mittelgebirgsräumen nehmen als Folge von Klimaänderungen und aufgrund nicht angepasster Raumnutzung an Bedeutung zu (vgl. BECHT & DAMM 2004). Zur Vermeidung künftiger Risiken sind nachhaltige Raumnutzungsentscheidungen erforderlich, die sich auf Gefahrenkarten und räumliche Gefahrenmodelle stützen können. Bei der räumlichen Identifikation potenzieller Gefahrenbereiche haben sich Geographische Informationssysteme etabliert. Sie ermöglichen durch die Verschneidung und Bewertung von Prozessfaktoren häufig eine effektive Herstellung von Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten (CLERICI et al. 2002, SCHMANKE 1999).

2. Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet liegt zwischen Kassel und Göttingen im Fulda-Werra-Weserraum und umfasst eine Fläche von rund 480 km² (Abb. 1). Massenbewegungen treten mit großer Häufigkeit in den steiflankigen Tälern von unterer Fulda und Oberweser auf. Von Schäden sind vor allem Straßen- und Bahntrassen sowie Gebäude betroffen. Überwiegend werden bei Rutschungen Massen von < 100 m³ verlagert (65 %). Darüber hinaus sind bei etwa 12 % der Ereignisse Rutschmassen von 1000 – 100000 m³ einbezogen. Die Breite der Anrissnischen liegt weitgehend zwischen 15 – 150 m mit einem Maximum bei 250 m (DAMM 2005).

Datengrundlage der Analysen sind ca. 160 aktuelle und historische Ereignisdaten aus einer Rutschungsdatenbank (DAMM 2004) sowie ein digitales Geländemodell (DGM) im 12,5-Meter-Raster. Die Datenbank enthält Informationen über Dispositionsfaktoren und Auslöser von Massenbewegungen. Neben einer Klassifikation der Prozesse in Lockergesteins-

und Felsrutschungen, Sturzbewegungen sowie Fließ- und Gleitbewegungen sind Mächtigkeiten und Volumina der Rutschmassen inventarisiert.

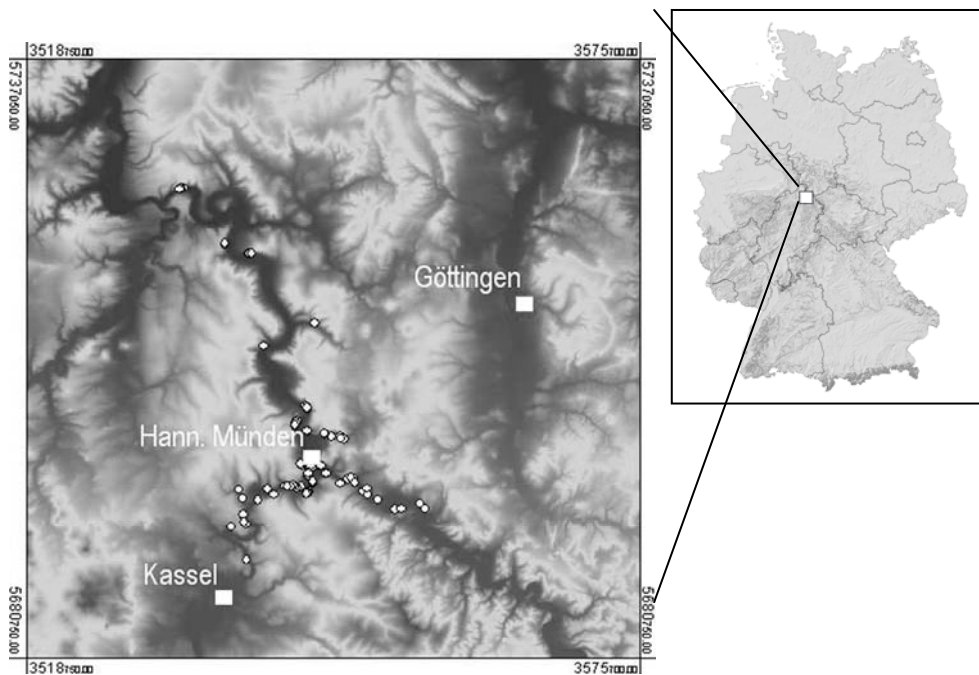


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebiets in Nordhessen und Südniedersachsen

3. Methoden der räumlichen Modellierung von Rutschgefahren

Zur Modellierung von Massenbewegungen können GIS-gestützte Dispositionsmodelle mit unterschiedlichen Ansätzen (statistische Modelle, regelbasierte Modelle, physikalisch basierte Modelle) angewendet werden. Die vorliegende Arbeit baut auf einem empirisch-statistischen Ansatz auf.

Die Auswahl der zur Modellierung herangezogenen Geofaktoren bzw. Geofaktorenklassen erfolgte nach einer Überprüfung ihrer Bedeutung für das Auftreten von Rutschungen, u. a. durch die Failure-Rate Methode. Darauf aufbauend wurden *Hangneigung*, *Hangwölbung*, *Schichteinfallen im Festgestein* und *Landnutzung* sowie die Mächtigkeit quartärer Deckschichten als Prozessfaktoren klassifiziert. Im Kontext mit dem Schichteinfallen im Festgestein steht der Einfluss der Schichtlagerung im Buntsandstein auf die Wasserführung im Vordergrund. Untersuchungen in den Buntsandsteingebieten Nordhessens und Südniedersachsens belegen, dass Massenbewegungen hier häufig an die Lage von Schichtquellen gebunden sind und insbesondere im Anschluss an längere Niederschlagsperioden auftreten. Mit einer GIS-basierten Analyse konnte gezeigt werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Verhältnis *Richtung des Schichteinfallens - Exposition eines Hanges* und der räumlichen Verbreitung von Massenbewegungen besteht (DAMM & VARGA 2006).

Zur Modellierung der Disposition und zur Ableitung einer Hangstabilitätskarte fand die Certainty-Factor-Analyse (CF-Analyse) als statistischer Ansatz Verwendung. Dieses Verfahren ermöglicht es, unterschiedlichste Datentypen und Skalenniveaus zu verarbeiten (BINAGHI et al. 1998). Die CF-Analyse wurde zuvor bereits bei der räumlichen Modellierung verschiedener anderer Naturgefahrenprozesse erfolgreich verwendet (u. a. BINAGHI et al. 1998, HECKMANN 2006, WICHMANN 2006). In der vorliegenden Arbeit wurde die CF-Analyse mit Modulen aus SAGA-GIS durchgeführt (vgl. SAGA 2.1).

Die Berechnungen im Untersuchungsgebiet erfolgten innerhalb eines kleineren Trainingsgebietes mit einer hohen Dichte an Rutschungsdaten und wurden von diesem ausgehend auf das Gesamtgebiet ausgedehnt. Hierdurch war es möglich, innerhalb des Trainingsgebietes eine Erfolgskontrolle über die vorhergesagten instabilen Geländebereiche durchzuführen und über das Trainingsgebiet hinaus Bereiche mit hoher Disposition zu bestimmen. Unter Verwendung der Rutschungsdatenbank (DAMM 2004) konnte die Vorhersagegenauigkeit für das Gesamtgebiet überprüft werden.

Als Faktoren gingen neben den kartierten Massenbewegungen die oben genannten klassifizierten Geodatenätze in die CF-Analyse ein. Zunächst wurden die C-Faktoren für jede Eigenschaft eines jeden Geofaktors getrennt berechnet. Eine Ergebnistabelle lieferte eine Rangfolge, anhand der sich Faktorenklassen mit statistisch höherer oder geringerer Disposition ableiten ließen. Die Verknüpfung der Faktoren wurde abschließend in Form einer Karte dargestellt (vgl. auch HECKMANN 2006).

4. Ergebnisse der räumlichen Modellierung von Rutschgefahren

Die im Gesamtgebiet überprüften Dispositionsfaktoren sind dem Grad ihrer Bestimmtheit nach in der Tab. 1 zusammengestellt. Höhere CF- Werte beschreiben einen statistisch stärkeren Zusammenhang der Faktoren mit dem Auftreten von Rutschungen.

Besonders oberhalb von $CF + 0,7$ ist eine Rutschgefahr als wahrscheinlich anzunehmen. Mit der Verbreitung instabiler Geländebereiche ist am deutlichsten der Faktor Hangneigung assoziiert. Insbesondere Geländeneigungen $< 21^\circ$ sind relevant. Mit einem ebenfalls hohen CF- Wert ist darüber hinaus im Oberwesergebiet die Winkeldifferenz $< 10^\circ$ von Bedeutung. Neben diesen Faktoren spielen verschiedene kombinierte Wölbungsparameter (gestreckt-konkav, konvex-konvex, konkav-gestreckt) eine Rolle für die Disposition zu Massenbewegungen. Die Art der quartären Ablagerungen sowie die Flächennutzung treten in ihrer Bedeutung insgesamt zurück. Die für jede Klasse eines jeden Geofaktors zunächst getrennt berechneten C-Faktoren wurden anschließend zur Ableitung einer Hangstabilitätskarte (vgl. Abb. 2) verschnitten (vgl. HECKMANN 2006).

Tab. 1: Bewertung von Dispositionsfaktoren im Untersuchungsgebiet durch die CF-Analyse (Werte > 0, absteigend sortiert).

Klassen der Dispositionsfaktoren	C-Factor+
Hangneigung 35 – 42 °	0,978
Hangneigung 28 – 35 °	0,972
Hangneigung 42 – 49 °	0,968
Hangneigung 21 – 28 °	0,818
Schichteinfallen: Winkeldifferenz < 10 °	0,787
Wölbung, H: gestreckt V: konkav	0,719
Wölbung, H: konvex V: konvex	0,677
Wölbung, H: konkav V: gestreckt	0,664
Hangneigung 49 -90 °	0,534
Wölbung, H: konvex V: konkav	0,506
Hangneigung 14 -21 °	0,409
Geologie, Hangschutt geringmächtig über Festgestein	0,201
Landnutzung, Wald	0,164
Landnutzung, Landwirtschaft	0,135
Wölbung, H: gestreckt V: konvex	0,105
Schichteinfallen: Winkeldifferenz 10-45 °	0,103
Geologie, Auen- und Terrassenablagerungen	0,087

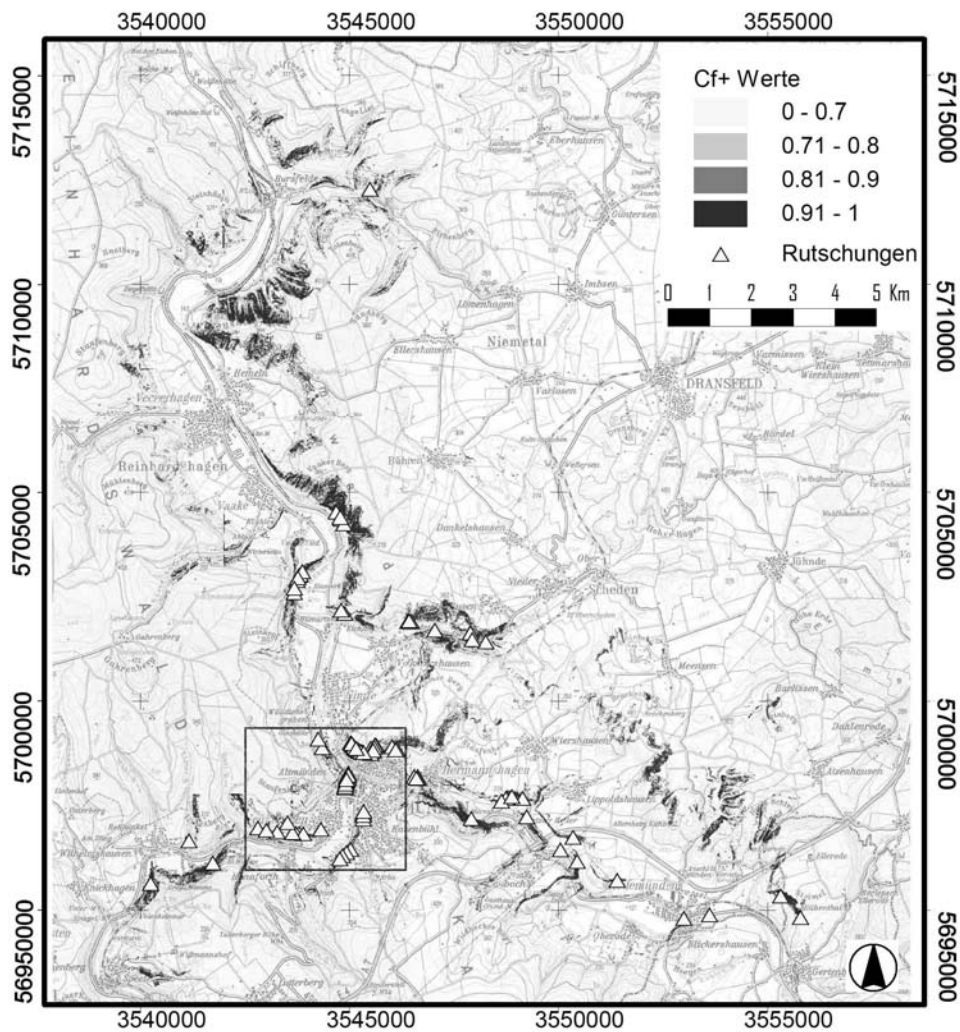


Abb. 2: Hangstabilitätskarte für den Oberweserraum (Kasten: Trainingsgebiet)

Zur Abschätzung der Bestimmtheit des Modells für eine Gefährdungsbeurteilung erfolgte eine Plausibilitätsprüfung nach dem SPMValidate- Ansatz (vgl. HECKMANN 2006). Dadurch konnte überprüft werden, mit welchem Anteil sich die kartierten Rutschbereiche auf die jeweils höchsten durch das Modell berechneten Dispositionen konzentrieren. Im Trainingsgebiet konnte durch dieses Verfahren die Modellqualität kontrolliert werden. Im Vorhersagegebiet wurde die Vorhersagequalität der Berechnungen bewertet.

Die Erfolgskurve im Trainingsgebiet weist 90 Prozent der kartierten Rutschungen innerhalb von 10 Prozent der am höchsten berechneten Dispositionsfläche aus (Abb. 3). Im Vorhersagegebiet liegen etwa 88 % der kartierten Rutschungen im Bereich von 10 % der höchsten berechneten Disposition. Nach CHUNG & FABBRI (2003) ist eine hohe Plausibili-

tät eines Modells dann gegeben, wenn eine mittlere Steigung der Kurven Werte von > 3 bzw. $< 0,2$ annimmt. Für die vorliegenden Kurvenverläufe errechnen sich mittlere Steigungen zwischen 149,7 und 3,4 im Steigungsbereich von 0-10 % und von 0,09 - 0,14 im Steigungsbereich von 10 – 100 % der berechneten Dispositionsfläche. Dies ist als Hinweis auf eine hohe Plausibilität des Modells zu werten.

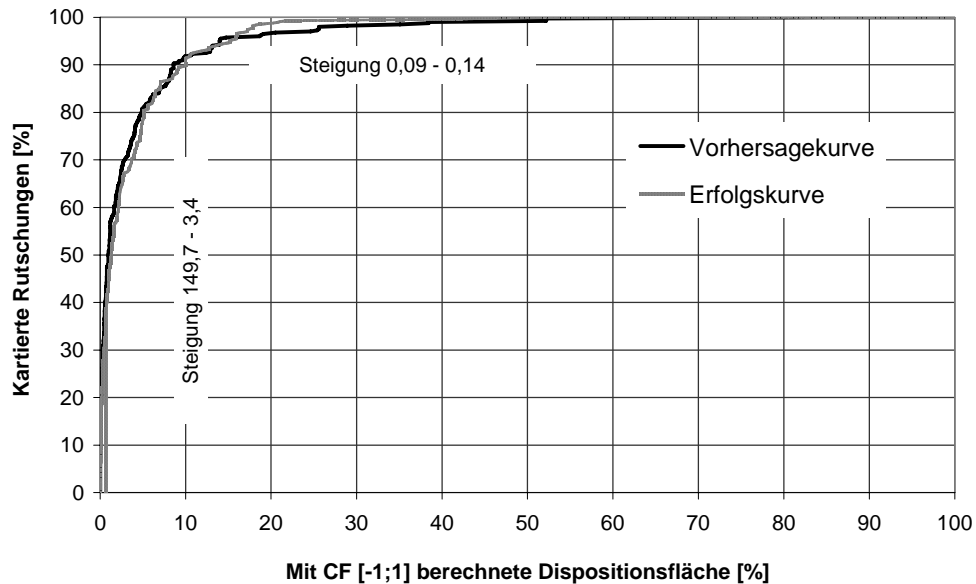


Abb. 3: Plausibilitätsprüfung für Modell- und Vorhersagequalität (SPMValidate-Ansatz)

Das Modell zur Ausweisung instabiler Hänge eignet sich zur Anwendung in Gebieten mit flach- und mittelgründigen Rutschungen in Hangschuttdecken über Buntsandstein. Eine hohe Disposition zu Rutschgefahren wird vom Modell unter anderem dort vorhergesagt, wo auch in der Vergangenheit hohe Frequenzen oder große Magnituden von Massenbewegungen beobachtet wurden. Das Modell liefert im Vorhersagegebiet Hinweise auf Gefahrenbereiche, deren Stabilität im Gelände mit weiteren geowissenschaftlichen und technischen Verfahren überprüft werden muss.

Danksagung

Die Untersuchungen wurden durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen zweier Projekte (FKZ: DA 452/1-2, BE 1118/18) gefördert. Das Niedersächsische Landesamt für Bodenforschung stellte digitale Datensätze zur Verfügung. Die Autoren bedanken sich bei DFG und NLFB.

5. Literatur

- Becht, M. & B. Damm, Hrsg. (2004): *Geomorphologische und hydrologische Naturgefahren in Mitteleuropa*. - Z. Geomorph. N.F., Suppl.- Bd. 135:1-180.
- Binaghi, E., Luzi, L., Madella, P., Pergalani, F. & A. Rampini (1998): *Slope Instability Zonation: A Comparison between Certainty Factor and Fuzzy DempsterShafer Approaches*. - Natural Hazards 17/1:77-97.
- Chen, Y.-L. (2003): *Indicator Pattern Combination for Mineral Resource Potential Mapping with the General C-F Model*. - Mathematical Geology 35/3:301–321.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C. & P. Vescovi (2002): *A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method*. - Geomorphology 48:349-364.
- Damm, B. (2004): *Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen*. - Datenbank deutscher Mittelgebirgsraum von 1137 - 2004. Stand September 2004, Göttingen (unveröffentlicht).
- Damm, B. (2005): *Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen - Geowissenschaftlich-historische Analyse von Massenbewegungsprozessen in Nordhessen und Südniedersachsen als Beitrag zur Angewandten Geomorphologie*. Habilitationsschrift, 262 Seiten + Anhang.
- Damm, B. & K. Varga (2006): *Tektonische Elemente als Dispositionsfaktoren von Massenbewegungen in quartären Deckschichten über Mittlerem Buntsandstein in Nordhessen und Südniedersachsen*. - Zeitschrift für Angewandte Geologie (eingereicht).
- Heckmann, T. (2006) *Untersuchungen zum Sedimenttransport durch Grundlawinen in zwei Einzugsgebieten der Nördlichen Kalkalpen - Quantifizierung, Analyse und Ansätze zur Modellierung der geomorphologischen Aktivität*. - Eichstätter Geographische Arbeiten 14 (im Druck).
- SAGA (1.2): *SAGA - System für Automatisierte Geowissenschaftliche Analyse*. Open-source Software, GNU- Public- License (GPL), (<http://www.saga-gis.uni-goettingen.de/html/index.php>).
- Schmanke, V. (1999): *Untersuchungen zur Hanggefährdung im Bonner Raum - Eine Bewertung mit Hilfe unterschiedlicher Modellansätze*. - Mainzer Geographische Studien 44, 146 Seiten.
- Wichmann, V. (2006): *Modellierung geomorphologischer Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet – Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS*. - Eichstätter Geographische Arbeiten 15, 231 Seiten.