

WIRTSCHAFTLICHE SCHÄDEN DURCH GRAVITATIVE MASSENBEWEGUNGEN

ENTWICKLUNG EINES EMPIRISCHEN BERECHNUNGSMODELLS MIT REGIONALER ANWENDUNG

Martin Klose¹, Bodo Damm², Birgit Terhorst³, Norbert Schulz⁴ und Gerhard Gerold⁵

ZUSAMMENFASSUNG

Weltweit verursachen gravitative Massenbewegungen jährliche wirtschaftliche Schäden in Milliardenhöhe. Auch in den deutschen Mittelgebirgen sind Massenbewegungen weit verbreitet und für hohe finanzielle Verluste verantwortlich. Trotzdem basieren Schadenserfassungen bisher weitgehend auf pauschalen und unsystematischen Schätzungen. In der vorliegenden Arbeit werden ein empirisches und auf einer Rutschungsdatenbank aufbauendes Berechnungsmodell sowie ausgewählte Ergebnisse einer Modellanwendung auf das nordhessisch-südniedersächsische Bergland vorgestellt. Die Grundlage der Schadensberechnung sind Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodelle. Diese simulieren die kostenrelevanten Tätigkeitsabläufe nach einem Rutschereignis. Kostenmodule, objektspezifische Wert- bzw. Ertragsverluste, Abrechnungen sowie Expertenwissen werden zur Kalkulation der im Prozessverlauf anfallenden Kosten eingesetzt. Beide Modellsäulen beruhen auf Experteninterviews, Baupreisdatabanken, bautechnischen und verwaltungsrechtlichen Grundlagen sowie gängigen Methoden der Grundstücksbewertung. Die regionale Modellanwendung bestätigt die Funktionalität der Berechnungsmethodik und schafft eine wertvolle Datengrundlage für ein kostenbewusstes Naturgefahrenmanagement.

Keywords: Gravitative Massenbewegungen, direkte wirtschaftliche Schäden, empirisches Berechnungsmodell, regionale Anwendung

ABSTRACT

Each year, landslides cause billions in economic loss worldwide. Mass movements are also widespread in German subdued mountains and are responsible for remarkable amounts of financial costs. However, previous surveys mainly base on non-systematic estimations. This study presents an empirical and database-driven calculation model as well as selected results of a model application to the northern Hessian and southern Lower Saxon uplands. Reaction, prevention, maintenance and repair process models are the basis for the calculation. These simulate the cost-relevant activities after a landslide event. Cost modules, object-specific asset and income losses as well as available accountings are implemented to compute the economic losses outlined by the process models. Both pillars of the model are predicated on expert interviews, construction cost databases, fundamentals in natural hazard engineering and administrative law as well as prevalent real estate appraisal methods.

¹ Dipl.-Geogr. Martin Klose, University of Vechta, Institute for Spatial Analysis and Planning in Rural Areas (ISPA), Universitätsstr. 5, 49377 Vechta, Germany (e-mail: mklose@ispa.uni-vechta.de) / University of Göttingen, Institute of Geography, Department of Landscape Ecology, Goldschmidtstr. 5, 37077 Göttingen, Germany

² Prof. Dr. Bodo Damm, University of Vechta, Institute for Spatial Analysis and Planning in Rural Areas (ISPA), Germany

³ Prof. Dr. Birgit Terhorst, University of Würzburg, Institute of Geography and Geology, Germany

⁴ Prof. Norbert Schulz, Ph.D., University of Würzburg, Institute of Economics, Germany

⁵ Prof. Dr. Gerhard Gerold, University of Göttingen, Institute of Geography, Department of Landscape Ecology, Germany

The regional model application confirms the functionality of the calculation method and provides a valuable data basis for a cost-conscious natural hazard management.

Keywords: landslides, direct economic losses, empirical calculation model, regional application

EINLEITUNG

In vielen Ländern der Erde belaufen sich die wirtschaftlichen Schäden durch Massenbewegungen auf mehrere Milliarden EUR pro Jahr (u.a. Schuster et al., 1986; Schuster, 1996; Kjekstad et al., 2009). Massenbewegungen sind auch in den deutschen Mittelgebirgen eine bedeutende Naturgefahr (u.a. Damm, 2005; Neuhäuser et al., 2006; Terhorst et al., 2009), die älteren Schätzungen zufolge zu jährlichen Verlusten von etwa 110 Mio. EUR führt (vgl. Krauter, 1992). Ungeachtet dieses hohen Schadensaufkommens bestehen bislang keine ausreichenden Kenntnisse über die räumliche Verteilung und die Art von wirtschaftlichen Schäden durch Massenbewegungen. Meist basieren Schadenserfassungen auf pauschalen Schätzungen, ein systematisches Erhebungsverfahren fehlt hingegen. Ein zentrales Teilziel der International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) der Vereinten Nationen fordert jedoch, die wirtschaftlichen Schäden von Naturgefahren durch eine bessere Kenntnis deren gesellschaftlichen Folgen zu reduzieren (DKKV, 2011).

In dieser Arbeit wird ein empirisches Berechnungsmodell präsentiert, das gestützt auf einer Rutschungsdatenbank erstmals eine systematische Quantifizierung direkter wirtschaftlicher Schäden ermöglicht. Darüber hinaus werden Ergebnisse einer regionalen Modellanwendung auf das nordhessisch-südniedersächsische Bergland für den Zeitraum 1980-2010 vorgestellt. Das Berechnungsmodell betrachtet auf Grundlage eines mikroökonomischen Schadensverständnisses ausschließlich direkte, tangible, primäre und sekundäre Schäden. Wirtschaftliche Schäden sind finanzielle Nachteile für natürliche oder juristische Personen, deren Sachwerte innerhalb des Prozessweges einer schadensverursachenden Massenbewegung liegen (vgl. Erdmann, 1994; Schuster, 1996). Mit dem Schadens- und Vermeidungskostenansatz bestehen zwei differenzierte Konzepte, die grundlegend für die Berechnung sind. Kosten werden als der in Geldeinheiten bewertete Verbrauch von Gütern und Diensten zum Zwecke der Wiederherstellung oder der Sicherung der durch Massenbewegungen beschädigten oder gefährdeten Sachwerte definiert (vgl. Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V. et al., 2001). Schadenskosten beziehen sich nicht nur auf Aufwendungen, die durch Wiederherstellungsmaßnahmen anfallen, sondern auch auf Vermögens- und Ertragsverluste nicht wieder herstellbarer Sachwerte. Demgegenüber werden unter Vermeidungskosten jene Finanzmittel subsumiert, die natürliche oder juristische Personen aufbringen, um durch Präventionsmaßnahmen zukünftige Schadensfälle zu vermeiden (vgl. Baum et al., 2010; Rogall, 2002).

EMPIRISCHES BERECHNUNGSMODELL

Das entwickelte Berechnungsmodell basiert in seiner Grundstruktur auf drei differenzierten Modellsäulen, die untereinander funktional verknüpft sind und eine prozessorientierte Schadensberechnung ermöglichen (vgl. Fig. 1). Die erste Modellsäule ist die Rutschungsdatenbank „Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen“ (Damm, 2011). Diese enthält qualitative und quantitative Daten über die Rahmenbedingungen, Charakteristika und Schäden von Massenbewegungen. Das Kalkulationsverfahren ist in seiner Funktionalität nicht an die vorliegende Rutschungsdatenbank gebunden. Weitere Anwendungsmöglichkeiten bieten verschiedene im Aufbau befindlichen Inventare und Datenbanken, beispielsweise aus Deutschland (u.a. LfU, 2011; LfULG, 2011). Die Qualität von Inventardaten ist für numerische Berechnungsansätze in der Regel zu gering. Datenbankgestützte Kostenkalkulationen verlangen ein detailliertes Verständnis der Zuständigkeiten im Umgang mit Massenbewegungen. Die zweite Modellsäule sieht daher den Einsatz von Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodellen vor. Auf Basis von Rechtsgrundlagen und Praxiswissen simulieren Prozessmodelle die kostenrelevanten Tätigkeiten nach einem Rutschereignis.

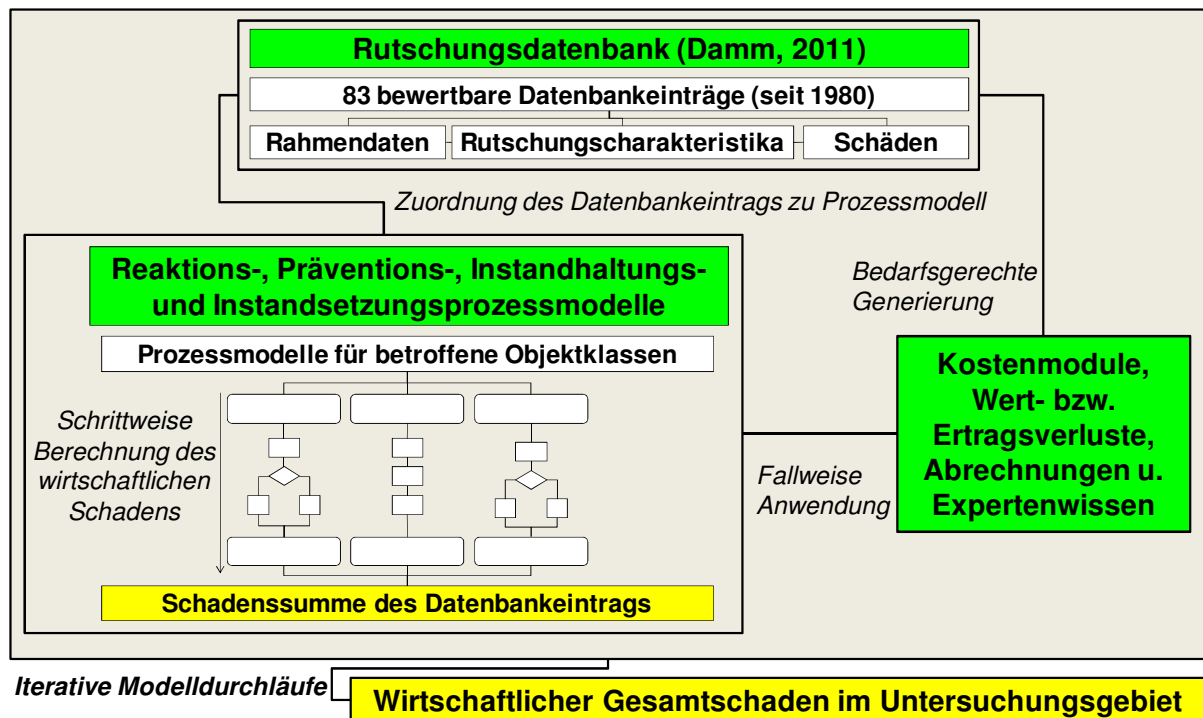


Fig. 1 Grundstruktur des empirischen Berechnungsmodells (Klose, 2011)

Fig. 1 Framework of the empirical calculation model (Klose, 2011)

Das Berechnungsverfahren ordnet die Datenbankeinträge definierter Objektklassen standardisierten Prozessmodellen zu. Dies ermöglicht auch bei geringer Güte der Eingangsdaten robuste Aussagen über die im Prozessverlauf durchgeführten Maßnahmen. Alle Prozessstufen entsprechen monetär quantifizierbaren Tätigkeiten, die anhand der dritten Modellsäule, bestehend aus Kostenmodulen, Wert- und Ertragsverlusten, Abrechnungen sowie Expertenwissen, kalkuliert werden. Die Generierung dieser Modellbestandteile erfolgt bedarfsgerecht und unter Einbeziehung der vorhandenen Schadensinformationen. Abrechnungsmengen und wertbeeinflussende Objektdaten werden direkt aus dem Inventar entnommen oder aus den verfügbaren Angaben abgeleitet. Mit Hilfe der entwickelten Methodik kann die Schadenssumme eines Datenbankeintrags schrittweise und systematisch kalkuliert werden. Zur Berechnung des Gesamtschadens im Untersuchungsgebiet ist das Modell iterativ für alle bewertbaren Datenbankeinträge zu durchlaufen.

REAKTIONS-, PRÄVENTIONS-, INSTANDHALTUNGS- UND INSTANDSETZUNGSPROZESSMODELLE

Reaktions-, Präventions-, Instandhaltungs- und Instandsetzungsprozessmodelle liegen für alle betroffenen Objektklassen vor. Übergeordneter Rahmen der Prozessmodellierung sind Grundlagen des allgemeinen und speziellen Verwaltungsrechts. Die relevanten Gesetzestexte und die dazugehörige juristische Fachliteratur erlauben eine Klärung der generellen Zuständigkeiten. Detaillierte Informationen über die Abläufe im Ereignisfall müssen über Befragungen von Experten, die Praxiskenntnisse im Management von Rutschgefahren besitzen, erhoben werden. Hierzu wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit Fachleuten aus Behörden, Katastrophenschutzorganisationen und Infrastrukturunternehmen durchgeführt. Das gewonnene Datenmaterial wurde mittels qualitativer Inhaltsanalyse systematisiert und komprimiert. Im Mittelpunkt standen die Identifikation von standardisierten Tätigkeitsabläufen und das Herausarbeiten von Kostenfaktoren. Prozessmodelle dienen in Anlehnung an die Verfahren des Geschäftsprozessmanagements (vgl. Weske, 2007) der graphischen Visualisierung der aufbereiteten Daten. Als Modellierungstechnik werden Flussdiagramme verwendet. Jedes Prozessmodell ist ein Berechnungsalgorithmus, der die zu kalkulierenden Maßnahmen standardisiert vorgibt. Die entwickelten Flussdiagramme sind einfache Kostenketten, um die Simulation zu vereinfachen und

Kompatibilität mit der dritten Modellsäule zu gewährleisten. Ausführliche Begleittexte beinhalten rechtliche, technische und kalkulatorische Hintergrundinformationen. Ein hoher Standardisierungsgrad stellt die universelle Anwendbarkeit der Prozessmodelle sicher. Fallspezifische Tätigkeitsabläufe sind für komplexe Schadensfälle charakteristisch und werden in der Modellierung explizit berücksichtigt. Das Ziel der Implementierung ist es, Kostenfaktoren zu identifizieren und den Berechnungsgang zu systematisieren.

KOSTENMODULE, WERT- UND ERTRAGSVERLUSTE, ABRECHNUNGEN UND EXPERTENWISSEN

Die wirtschaftlichen Schäden der verschiedenen Prozessstufen werden anhand von Kostenmodulen, Wert- bzw. Ertragsverlusten, Abrechnungen und Expertenwissen kalkuliert. Kostenmodule sind standardisierte und preislich bewertete Soforthilfe-, Wiederherstellungs- oder Präventionsleistungen mit klar definierten Abrechnungseinheiten. Um eine möglichst hohe Praxisrelevanz zu gewährleisten, erfolgte deren Bildung in Rücksprache mit Sachverständigen aus Fachbehörden und Privatunternehmen. So beziehen sich beispielsweise alle Kostenmodule, die zur Kalkulation von baulichen Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen herangezogen werden, auf Bauverfahren, die von Spezialfirmen angewendet werden. Neben Expertenwissen stellen die Vorgaben technischer Regelwerke und die geo- sowie bautechnische Fachliteratur wesentliche Informationsquellen dar. Hinsichtlich der Datenanforderung ist zwischen pauschal zu kalkulierenden Kostenmodulen und Kostenmodulen mit einer Vielzahl unterschiedlicher Teilleistungen zu differenzieren. Insbesondere bauwerksbezogene Kostenmodule verlangen fundierte Daten über die zugrunde liegenden Rutschungsdimensionen und das zu bewertende Bauwerk. Zur Ermittlung der Abrechnungsmengen wird in diesen Fällen auch auf Dimensionierungsrichtlinien und Bemessungskennwerte zurückgegriffen. Preisliche Bewertungsgrundlagen der Kostenmodule sind Baupreisdatenbanken, Unternehmensbefragungen und Kostensatzungen.

Wert- bzw. Ertragsverluste sind objektindividuell kalkulierte Sach- bzw. Ertragswerte eines nicht wieder herstellbaren Schadensobjekts. Die Kalkulation orientiert sich an gängigen Methoden der Grundstücks- und Waldbewertung. Aufgrund der hohen Datenanforderungen sind diese Verfahren nur in ihren Grundzügen anwendbar und müssen teilweise durch alternative Konzepte ersetzt werden. Technische Totalschäden von Wohn- und Gewerbegebäuden werden anhand des Sachwerts vor Schadenseintritt bewertet. Die an Forstflächen durch vorzeitige Holzernte und dauerhaften Nutzungsverzicht entstehenden Wertverluste berechnen sich aus erhobenen Kostensätzen und verfügbaren Holzproduktionswerten (vgl. Möhring et al., 2006).

Die Schadensermittlung anhand von Abrechnungen basiert im Wesentlichen auf Rechnungsdokumenten, Baukalkulationen und Projektkostenerfassungen. Abrechnungen zu den Gesamtkosten von Schadensfällen erleichtern die Kalkulation und optimieren die Berechnungsgenauigkeit. Als hervorragende Kalkulationsgrundlagen erweisen sich unter anderem die von der Niedersächsischen Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (NLStBV) bereitgestellten Daten aus der Straßeninformationsbank (SIB)-Bauwerke sowie dem Projektinformations- und Managementsystem (PRIMAS). Darüber hinaus kann Expertenwissen von Zeitzeugen wertvolle Kosteninformationen liefern.

Die notwendige Preisanpassung erfolgt anhand möglichst plausibler Preisindizes und Lohndaten des Statistischen Bundesamts Deutschland. Kostenmodule für Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen an Verkehrswegen werden beispielsweise mit dem Preisindex für den Straßenbau inflationsbereinigt. Für Soforthilfemaßnahmen sowie lohnintensive Planungs- und Gutachterleistungen liegen keine geeigneten Indizes vor. Zweckmäßig ist jedoch eine Preisanpassung mit einem Index aus der Zeitreihe der Lohnkosten je Arbeitnehmerstunde. Folglich basiert die Kalkulation stets auf realen Werten. Den ermittelten Nettopreisen wird die aktuell gültige Umsatzsteuer in Höhe von 19 % hinzugerechnet. Ausgenommen hiervon sind Eigenleistungen und nicht umsatzsteuerpflichtige Behördengebühren von Polizei, Feuerwehr und THW.

BERECHNUNGSBEISPIEL

Die Anwendung des Berechnungsmodells wird am Beispiel einer Straßenverschüttung durch eine Lockergesteinsrutschung an einem Prallhang des Wesertals fallbezogen erläutert (vgl. Fig. 2). Zunächst wird der zu bewertende Datenbankeintrag dem relevanten Reaktionsprozessmodell Straßeninfrastruktur zugeordnet. Mit Hilfe dieses Prozessmodells und des dazugehörigen Begleittexts kann der Tätigkeitsablauf realitätsnah nachvollzogen und die relevanten Kostenfaktoren bestimmt werden. Der gelb markierte Reaktionsprozess beginnt mit einer Soforthilfe, die im betrachteten Fallbeispiel eine provisorische Verkehrssicherung durch die Polizei und Feuerwehr umfasst. Nach der Einrichtung einer dauerhaften Verkehrsumleitung, findet eine Expertenbegehung durch einen Straßenmeister und einen Ingenieur des Straßenbauamts statt. Einfache erdbauliche Sanierungsmaßnahmen, wie der im vorliegenden Fall eingesetzte Steinkeil, verlangen erfahrungsgemäß ein kleines Gutachten. Bei besonderer Dringlichkeit können Beräumungsleistungen freihändig und ohne großen Planungsaufwand an ein örtliches Bauunternehmen vergeben werden (vgl. § 3 Abs. 5 Nr. 2 VOB/A). Schließlich ist davon auszugehen, dass die Sanierung nicht unverzüglich, sondern erst nach abgeschlossener Planung und bei bereits fließendem Verkehr vorgenommen wird.

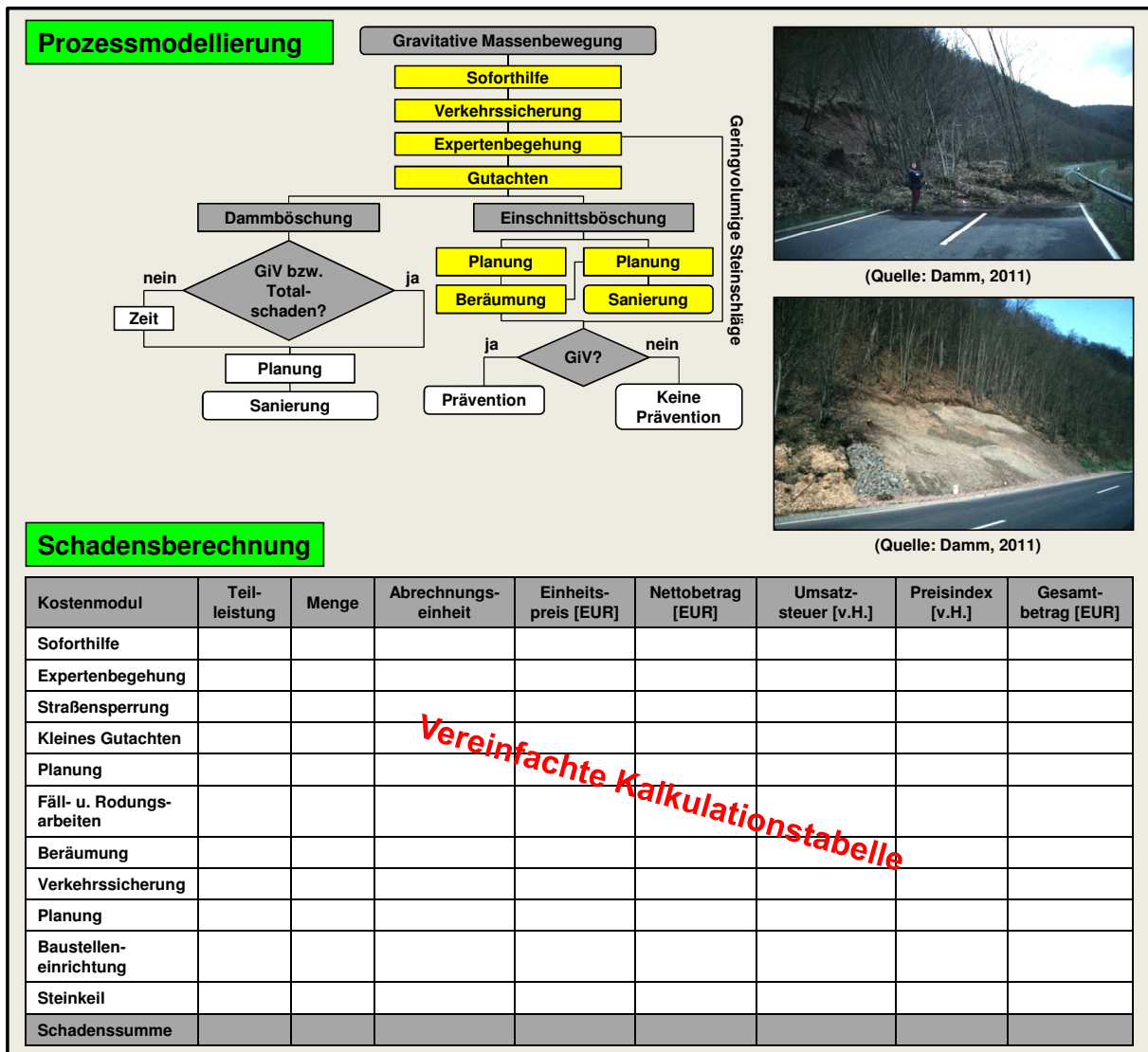


Fig. 2 Exemplarische Prozessmodellierung und Schadensberechnung (Klose, 2011)

Fig. 2 Exemplary process modeling and cost calculation (Klose, 2011)

In einer Kalkulationstabelle werden die angewandten Kostenmodule nach Teilleistungen, Abrechnungsmengen und Einheitspreisen aufgeführt. Die verfügbaren Datenbankinformationen dienen zur Ermittlung der Abrechnungsmengen und ermöglichen die Kalkulation der Nettobeträge. Aus den besteuerten und preisangepassten Gesamtbeträgen ergibt sich die Schadenssumme des Datenbankeintrags. Die Kostenmodule Soforthilfe und Expertenbegehung gehen pauschal in die Kalkulation ein und beruhen auf erhobenen Kostensätzen sowie praktischen Erfahrungen über die Einsatzdauer, Personalstärke und Einsatztechnik. Mit Hilfe einer von der Vorhaltungsdauer abhängigen Kostenformel können die Aufwendungen der Straßensperrung berechnet werden. Diese basiert auf einem orthogonalen Straßennetz und Expertenwissen über die Vorhaltungs-, Aufbau- und Abbaukosten der relevanten Umleitungsbeschilderung. Die Beträge der Kostenmodule Kleingutachten, Planung und Baustelleneinrichtung sind Erfahrungswerten angelehnt oder ermitteln sich als Prozentwert aus den Nettobaukosten. Verschiedene Annahmen bezüglich der Bestockungsfläche, der Anfahrdauer zum Schadensort und der stündlichen Beräumungsleistung stellen die Kalkulation der Teilleistungen von Rodungs- und Beräumungsarbeiten sicher. Anhand eines Regelplans der Richtlinie für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) und hierzu kompatiblen Kostensätzen lassen sich die Verkehrssicherungskosten quantifizieren. Die Kalkulation des Steinkeils stützt sich auf den Angaben zur Tiefe, Breite und Länge der Gleitfläche. Für den betrachteten Datenbankeintrag kann somit eine Schadenssumme von 37.000,- EUR veranschlagt werden.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Das Untersuchungsgebiet ist Teil des nordhessisch-südniedersächsischen Berglandes und erstreckt sich zwischen den Städten Kassel und Göttingen auf einer Fläche von 3.100 km² (vgl. Fig. 3).

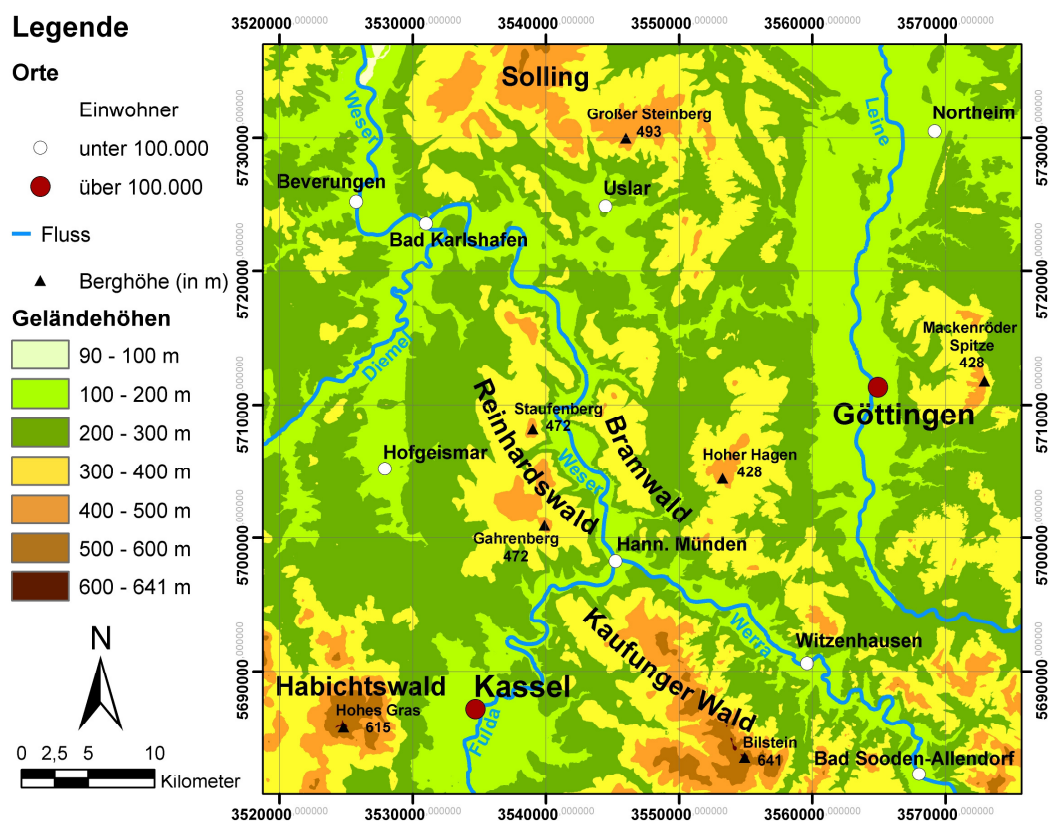


Fig. 3 Untersuchungsgebiet im nordhessisch-südniedersächsischen Bergland (Eigener Entwurf, 2011)

Fig. 3 Study area in the northern Hessian and southern Lower Saxon uplands (Eigener Entwurf, 2011)

Die Geländehöhen reichen von unter 200 m NN in den Tallagen bis auf über 600 m NN an den Höhenzügen von Kaufunger Wald und Habichtswald. Eine hohe Rutschungsdisposition weisen insbesondere die Prallhänge und Engtalabschnitte der bis zu 300 m tief eingeschnittenen Flusstäler

von Fulda, Werra und Weser auf. Rutschanfällige geologische Einheiten sind vor allem die Schichtwechselfolgen des Mittleren Buntsandsteins, die Röt-Muschelkalk-Grenze und die dem Mittleren Buntsandstein auflagernden Fließerden (vgl. Ackermann, 1959; Damm, 2005; Damm et al., 2010; Schunke, 1971). Neben der geologischen und reliefbedingten Grunddisposition besitzen klimatische Steuerungsfaktoren maßgeblichen Einfluss auf das Auftreten von Massenbewegungen. Auslösendes Moment ist vielfach eine intensive Durchfeuchtung der rutschgefährdeten Lockergesteine während niederschlagsreicher Witterungsperioden, aufgrund intensiver Starkregen oder durch Schichtwasser aus dem klüftigen Buntsandsteingebirge. Darüber hinaus stellen der Siedlungs- und Verkehrswegebau wichtige Eingriffe in das Faktorengefüge von Massenbewegungen dar. Im Analysezeitraum dominierten flachgründige Lockergesteins- und Felsrutschungen, Fließungen sowie Stein- und Blockschläge mit Kubaturen von meist $< 300 \text{ m}^3$. Nur in Einzelfällen wurden Volumina von bis zu 100.000 m^3 registriert. Massenbewegungen führen im Untersuchungsgebiet zu Sachschäden an Verkehrswegen (vgl. Fig. 4), Gebäuden, Ver- und Entsorgungsanlagen sowie Forst- und Landwirtschaftsflächen.



Fig. 4 Rutschungsschaden an der Bundesstraße 3 bei Hann. Münden im Januar 2003 (Damm, 2011)

Fig. 4 Landslide damage at the federal road 3 near Hann. Münden in January 2003 (Damm, 2011)

ERGEBNISSE DER REGIONALEN MODELLANWENDUNG

Im nordhessisch-südniedersächsischen Bergland entstand zwischen 1980 und 2010 ein wirtschaftlicher Gesamtschaden von 26,6 Mio. EUR. Pro Jahr waren somit Verluste von durchschnittlich 0,9 Mio. EUR zu registrieren. Die Entwicklung der jährlichen Schadenssummen weist eine starke Konzentration auf, wobei die Jahre 1985, 2006 und 2007 als besonders schadensreich gelten (vgl. Fig. 5). Keine Verluste sind unter anderem für die Jahre 1984, 1992 und

1997 festzustellen. Als Rutschungsjahre mit einer erhöhten Anzahl an bewerteten Datenbankeinträgen können vor allem die Jahre 1998 und 1999 hervorgehoben werden. Die jährlichen wirtschaftlichen Schäden korrelieren im Untersuchungsgebiet nicht mit der Rutschungsaktivität. Vielmehr sind die jährlichen Verluste von den Bewegungstypen und Dimensionen der inventarisierten Massenverlagerungen abhängig.

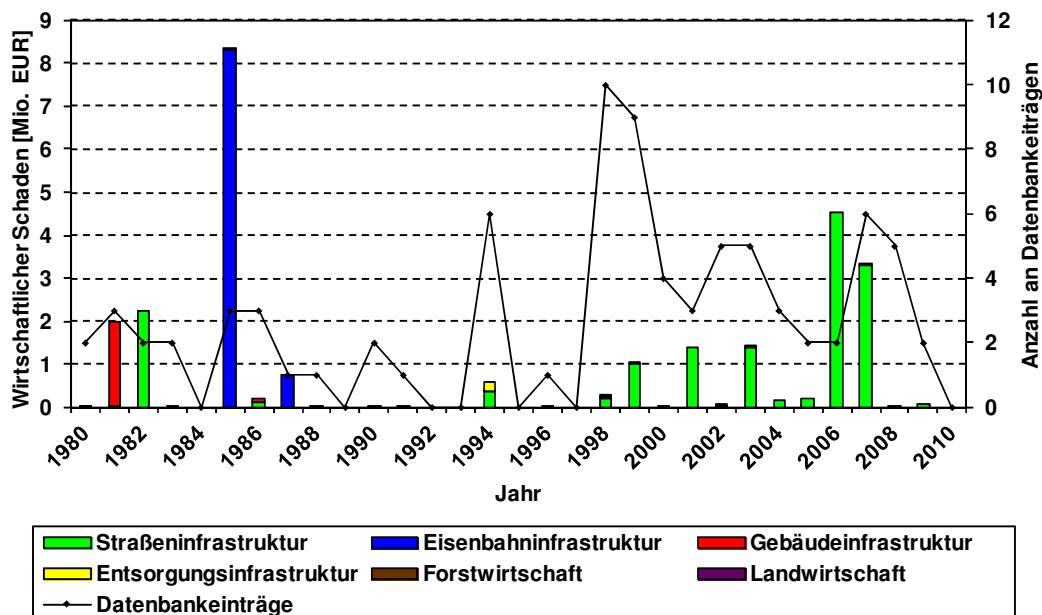


Fig. 5 Schadensentwicklung und Rutschungsaktivität im Untersuchungsgebiet (Klose, 2011)

Fig. 5 Loss trend and landslide activity in the study area (Klose, 2011)

Hangbewegungen betreffen im Untersuchungsgebiet vor allem die Straßeninfrastruktur. Der wirtschaftliche Schaden dieser Objektklasse beträgt 15,1 Mio. EUR (vgl. Fig. 6). Insgesamt beziehen sich 56,8 % des gesamten Verlusts und 62,1 % aller Datenbankeinträge auf Schadensfälle an Anlagen des Straßenverkehrs. Die Eisenbahninfrastruktur verzeichnet eine Schadenssumme von 9,1 Mio. EUR. Trotz einer niedrigen Anzahl an Inventardaten, entfallen 34,2 % der Gesamtkosten auf diese Objektklasse. An Verkehrswegen werden Verluste von 24,2 Mio. EUR registriert. Dies entspricht 91,0 % aller finanziellen Aufwendungen. Gebäudeschäden besitzen eine Häufigkeit von 6,8 % und steuern mit einer Schadenssumme von 2,1 Mio. EUR lediglich 7,9 % zum Gesamtverlust bei. Die Kostenbeträge der Objektklassen Entsorgungsinfrastruktur sowie Forst- und Landwirtschaft sind von nachrangiger Bedeutung. Aufgrund geringer Datenqualität bleiben 20 Schadensfälle und folglich 19,4 % des Inventarbestands unbewertet.

Die Klassenbildung für die Häufigkeitsverteilung der gruppierten wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag erfolgt nach sachlogischen Gesichtspunkten (vgl. Fig. 7). Als Modus weist diese Verteilung die Klasse ≤ 10.000 EUR auf. Exemplarische Reaktionsmaßnahmen der Modalklasse sind einfache Beräumungsleistungen, präventive Verkehrssicherungen sowie Expertenbegehungen. Umfangreiche Verschüttungsfälle an Straßen und Gebäuden, Sanierungen mit Steinkeilen sowie Gleisberäumungen sind in der Klasse > 10.000 bis ≤ 50.000 EUR vorzufinden. Diese besitzt eine Häufigkeit von 24,1 %. Für die Klasse > 50.000 bis ≤ 100.000 EUR, die 8,4 % der bewerteten Datenbankeinträge umfasst, lässt sich keine Typisierung vornehmen. Die Klasse > 100.000 bis ≤ 500.000 EUR hat eine Häufigkeit von 12,1 % und bezieht sich insbesondere auf Dammsanierungen, Steinplomben, Stützmauern und großdimensionierte Fangvorrichtungen. Lediglich 2,4 % der bewerteten Datenbankeinträge sind in der Klasse > 500.000 bis $\leq 1.000.000$ EUR zusammengefasst. Eine Typisierung ist daher nicht möglich. Konstruktive Böschungssicherungen sind charakteristische Präventionsmaßnahmen der Schadensklasse $> 1.000.000$ EUR, der 10,8 % der bewerteten Datenbankeinträge angehören.

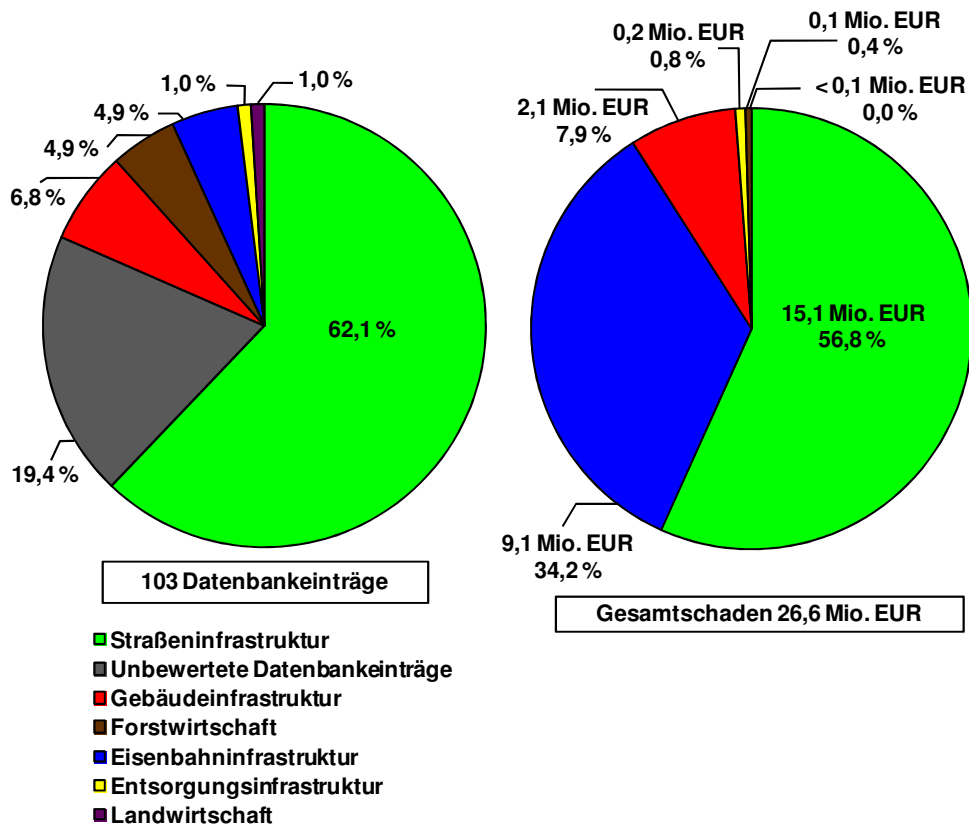


Fig. 6 Häufigkeiten, Schadenssummen und Schadensanteile der betroffenen Objektklassen (Klose, 2011)

Fig. 6 Frequencies as well as total and relative economic losses of affected object classes (Klose, 2011)

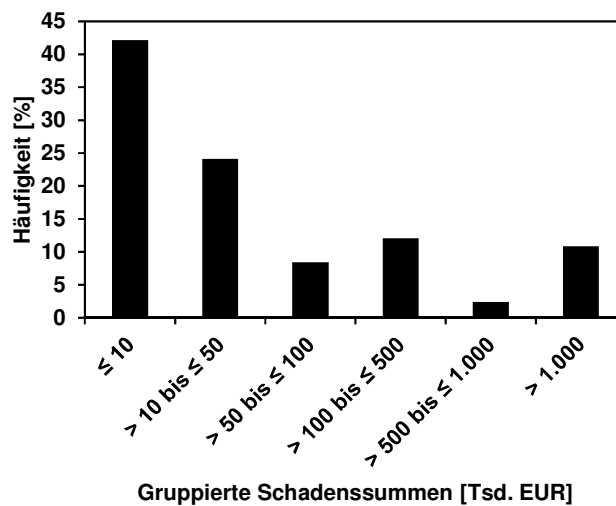


Fig. 7 Prozentuale Häufigkeitsverteilung der gruppierten wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag (Klose, 2011)

Fig. 7 Percentage frequency distribution of the grouped economic losses per evaluated database entry (Klose, 2011)

Die wirtschaftlichen Schäden konzentrieren sich nicht nur auf einzelne Rutschungsjahre, sondern auch auf wenige kostenintensive Großereignisse (vgl. Fig. 8). So verantworten 10 bzw. 20 % der verlustreichsten Ereignisse 80 bzw. 94 % der Gesamtkosten. Die starke Schadenskonzentration verdeutlicht auch der normierte Gini-Koeffizient (G^*). Dieser weist im Wertebereich zwischen 0 und 1 einen Betrag von 0,88 auf.

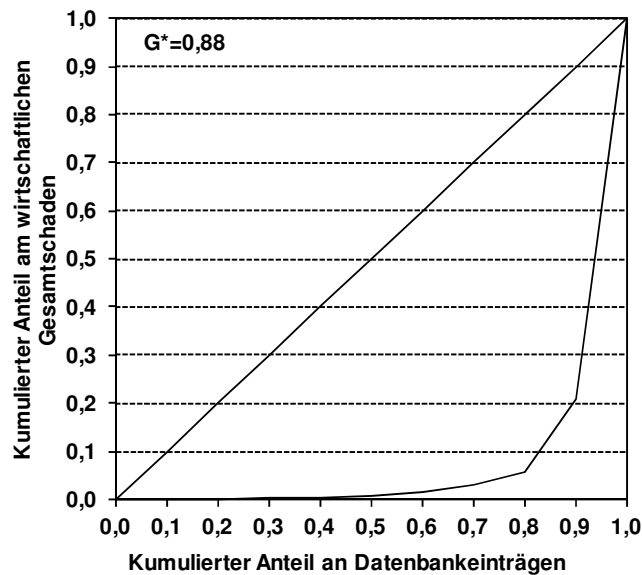


Fig. 8 Lorenzkurve der Verteilung der wirtschaftlichen Schäden je bewerteten Datenbankeintrag (Klose, 2011)
Fig. 8 Lorenz curve of the distribution of the economic losses per evaluated database entry (Klose, 2011)

Im Untersuchungsgebiet werden hauptsächlich Reaktionsmaßnahmen vorgenommen. Hierdurch entstehen Verluste von 18,0 Mio. EUR, was 67,7 % des gesamten Finanzbedarfs entspricht. Nur 18,1 % der Datenbankeinträge sind den ausschließlich an Verkehrswegen durchgeführten Präventionsmaßnahmen zuzuordnen. Die getätigten Investitionen belaufen sich auf 8,4 Mio. EUR und tragen 31,6 % zu den Gesamtkosten bei. Maßnahmen zur Vorbeugung von Rutschgefahren werden zwar selten realisiert, erfordern jedoch meist hohe Investitionssummen. Die Aufwendungen für Instandhaltungs- und Instandsetzungsmaßnahmen sind zu vernachlässigen.

Statistische Kennzahlen können aufgrund des begrenzten Datenumfangs lediglich für die Objektklasse Straßeninfrastruktur generiert werden (vgl. Tab. 1). Aus statistischer Sicht überwiegen Datenbankeinträge und Jahre mit keinen oder nur geringen Kosten. In der behördlichen Finanzplanung besitzen die anfallenden Schadenssummen jedoch eine hohe Relevanz. So verzeichnen 19,4 % der analysierten Jahre, und damit fast jedes fünfte Jahr, einen Verlust von über 1 Mio. EUR. Demnach sind hohe jährliche Kosten keine einzelnen Ausreißer, sondern charakteristische Merkmalsausprägungen der betrachteten Schadensverteilung. Die Werte der arithmetischen Mittel und Standardabweichungen belegen auch für diese Objektklasse eine starke Streuung und Konzentration der wirtschaftlichen Schäden.

Tab. 1 Statistische Kennzahlen (in EUR) für ausgewählte Schadensverteilungen der Objektklasse Straßeninfrastruktur (Klose, 2011)

Tab. 1 Statistical measures (in EUR) for selected loss distributions of the object class road infrastructure (Klose, 2011)

Betrachtete Schadensverteilung	x_{\min}	$x_{0.25}$	x_{med}	$x_{0.75}$	x_{\max}	\bar{x}	σ_x
Wirtschaftlicher Schaden je bewerteten Datenbankeintrag	311,-	5.290,-	11.296,-	82.412,-	2.812.214,-	236.366,-	612.793,-
Wirtschaftlicher Schaden pro Jahr	0,-	0,-	19.032,-	206.285,-	4.513.235,-	487.982,-	1.047.535,-

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

Massenbewegungen verursachen im Untersuchungsgebiet vor allem an Verkehrswegen verhältnismäßig hohe Verluste. Befragungen haben gezeigt, dass Straßenbaubehörden und Eisenbahnunternehmen das Schadensaufkommen bislang weitgehend unbekannt ist. Ein großes Interesse besteht seitens der Verkehrspraxis an zusammenfassenden Schadensanalysen und der Ableitung planungsrelevanter Kennzahlen. Die Bereitstellung von Finanzmitteln für Sanierungs- oder

Sicherungsmaßnahmen erfolgt im Verkehrswegebau meist reaktiv durch Umschichtung in Bauprogrammen unter zum Teil hohen Opportunitätskosten (vgl. Klose, 2011). Anzustreben ist jedoch ein proaktives Schadensmanagement, das den möglichen Finanzbedarf bereits im Vorfeld einplant, um so Kostenrisiken zu verringern und eine effiziente Mittelallokation zu gewährleisten. Eine fundierte Kenntnis der Höhe, Struktur und Einflussgrößen der in Vergangenheit eingetretenen Schäden stellt hierbei eine entscheidende Managementgrundlage dar. Die gewonnenen Erkenntnisse (vgl. Tab. 1) können den zuständigen Behörden als Basis für einen wirtschaftlichen Umgang mit Rutschgefahren dienen.

Indirekte Schäden bleiben im Berechnungsmodell unbeachtet, haben jedoch für Eisenbahnunternehmen eine immense Bedeutung. Hervorzuheben sind vor allem Fahrplanänderungen, Schienenersatzverkehre sowie Anpassungen in der Signal- und Sicherungstechnik. Hohe Folgekosten können sich auch aus dem Verlust des Bestandsschutzes von bislang unbeschädigten Streckenabschnitten ergeben.

Statistische Kennzahlen sind für die Gebäudeinfrastruktur nicht ableitbar. Die Ergebnisse untermauern jedoch den bestehenden Konflikt zwischen hohen, aber seltenen privaten Vermögensschäden, behördlicher Fürsorgepflicht und wirtschaftlichen Raumnutzungsinteressen (vgl. Damm & Pflum 2004). Im Untersuchungsgebiet führten Schadensfälle mehrfach zu existenzbedrohenden Belastungen privater Grundeigentümer. Trotz klarer Haftungsgrundsätze lässt sich die Schuldfrage in der Praxis nur schwer klären, weshalb der wirtschaftliche Schaden nicht selten beim Betroffenen verbleibt. Ziel der Bauleitplanung sollte es daher sein, Rutschgefahren mit Hilfe von Risiko- und Wirtschaftlichkeitsanalysen kritisch zu bewerten, um Vermögensschäden für Immobilienbesitzer und Verluste aus eingeschränkter Baulandentwicklung zu minimieren.

Langsame Kriechbewegungen bedingen an kommunalen Infrastrukturen häufig schleichende Schäden, die in unregelmäßigen Abständen unter hohen Kosten behoben werden. In der Stadt Hann. Münden beträgt der Finanzbedarf für die Sanierung von Straßenabsenkungen, Verkippen von Stützmauern sowie defekten Rohrleitungen etwa 14 Mio. EUR. Das jährliche Tiefbaubudget von ca. 2 Mio. EUR verdeutlicht den hohen stadtwirtschaftlichen Stellenwert dieser Aufwendungen.

Die Befunde zeigen, dass selbst großvolumige Massenbewegungen an forstlich genutzten Hängen geringe wirtschaftliche Schäden verursachen. In der Regel werden Rutschflächen nach Aufarbeitung des beschädigten Bestands wieder in Kultur genommen. Der wirtschaftliche Schaden ergibt sich aus den Verlusten durch die vorzeitige Holzernte und den zukünftig erhöhten Durchforstungskosten. Wenn Massenbewegungen großflächige Geländeprofilierungen erfordern, sind dauerhafte Nutzungsverzichte meist die wirtschaftlichste Alternative. Kostenintensive Sanierungs- oder Sicherungsmaßnahmen sind aufgrund geltender Verkehrssicherungspflichten lediglich an Waldwegen praxisüblich.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Berechnungsmodell stellt einen neuen Ansatz in der Erfassung der wirtschaftlichen Schäden von Massenbewegungen dar. Standardisierte Prozessmodelle und praxisnahe Kalkulationstechniken ermöglichen erstmals eine systematische Schadensquantifizierung. Die Funktionalität des Berechnungsmodells wird durch die regionale Anwendung nachgewiesen. Die entwickelte Methodik und die neuen Erkenntnisse über das raum-zeitliche Schadensaufkommen besitzen vielfältige Anwendungspotenziale in zukünftigen Studien und einem kostenbewussten Naturgefahrenmanagement.

LITERATUR

- Ackermann E. (1959). Der Abtragungsmechanismus bei Massenverlagerungen an der Wellenkalk-Schichtstufe. Zeitschrift für Geomorphologie 3: 193-226.
- Baum H., Kranz T., Westerkamp U. (2010). Volkswirtschaftliche Kosten durch Straßenverkehrsunfälle in Deutschland. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Mensch und Sicherheit M 208. Wirtschaftsverlag NW Verlag für neue Wissenschaft. Bremerhaven.

- Damm B. (2005). Gravitative Massenbewegungen in Südniedersachsen. Die Altmündener Wand – Analyse und Bewertung eines Rutschungsstandortes. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd. 138: 189-209.
- Damm B. (2011). Gravitative Massenbewegungen in Mittelgebirgsräumen. Datenbank deutscher Mittelgebirgsraum von 1137-2011. Stand Oktober 2011. Vechta.
- Damm B., Becht M., Varga K., Heckmann T. (2010). Relevance of tectonic and structural parameters in Triassic bedrock formations to landslide susceptibility in Quaternary hillslope sediments. *Quaternary International* 222: 143-153.
- Damm B., Pflum S. (2004). Geomorphologische Naturgefahren und Raumplanung – Bewertungsprobleme am Beispiel von Rutschgefahren in Südniedersachsen. Zeitschrift für Geomorphologie N. F. Suppl.-Bd. 135: 127-146.
- DKKV – Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e. V. (2011). ISDR Mission and Objectives. <http://www.dkkv.org/de/about/default.asp?h=9>.
- Erdmann G. (1994). Der Schadensbegriff in der Ökonomik. In: Berg M., Erdmann G., Hofmann M., Jaggy M., Scheringer M., Seiler H. (Hrsg.). Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffs in der Risikowissenschaft. vdf Verlag, Zürich: 95-113.
- Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V., Zentralverband des Deutschen Baugewerbes e.V. (2001). KLR Bau. Kosten- und Leistungsrechnung der Bauunternehmen. Bauverlag. Wiesbaden. Berlin. Werner-Verlag. Düsseldorf.
- Kjekstad O., Highland L. M. (2009). Economic and Social Impacts of Landslides. In: Sassa K., Canuti P. (Hrsg.). Landslides – Disaster Risk Reduction. Springer. Berlin. Heidelberg: 573-587.
- Klose M. (2011). Wirtschaftliche Schäden durch gravitative Massenbewegungen: Entwicklung eines empirischen Berechnungsmodells mit regionaler Anwendung auf Nordhessen und Südniedersachsen. Diplomarbeit. Institut für Geographie und Geologie. Universität Würzburg.
- Krauter E. (1992). Hangrutschungen – ein Umweltproblem. In: Matthias H. J., Grün A. (Hrsg.). Ingenieurvermessung 92. Beiträge zum XI. Internationalen Kurs für Ingenieurvermessung 2. Ferd. Dümmlers. Bonn: V4/1-V4/12.
- LfU – Bayerisches Landesamt für Umwelt (2011). GEORISK-Datenbank. <http://www.lfu.bayern.de/geologie/massenbewegungen/georisk/index.htm>.
- LfULG – Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (2011). Felssturzdatenbank. <http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/geologie/9605.htm>.
- Möhring B., Rüping U. (2006). Bewertungskonzept für forstliche Nutzungsbeschränkungen. Schriften zur Forstökonomie 32. Sauerländer's Verlag. Frankfurt a. M..
- Neuhäuser B., Terhorst B. (2006). Landslide susceptibility assessment using „weights-of-evidence“ applied to a study area at the Jurassic escarpment (SW-Germany). *Geomorphology* 86: 12-24.
- Rogall H. (2002). Neue Umweltökonomie – Ökologische Ökonomie. Ökonomische und ethische Grundlagen der Nachhaltigkeit, Instrumente zu ihrer Durchsetzung. Leske + Budrich. Opladen.
- Schunke E. (1971). Die Massenverlagerungen an den Schichtstufen und Schichtkämmen des Leine-Weser-Berglandes. *Nachr. Akad. Wiss. Göttingen. II. Math.-phys. Kl.* 1971/3: 41-77.
- Schuster R. L. (1996). Socioeconomic significance of landslides. In: Turner A. K., Schuster R. L. (Hrsg.). Landslides: Investigation and Mitigation. Transportation Research Board Special Report 247. National Academy Press. Washington D. C.: 12-35.
- Schuster R. L., Fleming R. W. (1986). Economic Losses and Fatalities Due to Landslides. *Bulletin of Engineering Geologists* 23: 11-28.
- Terhorst B., Kreja R. (2009). Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. *Landslides* 6: 309-319.
- VOB/A – Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen (VOB) Teil A: Allgemeine Bestimmungen für die Vergabe von Bauleistungen. Fassung 2009. <http://dejure.org/gesetze/VOB-A>.
- Weske M. (2007). Business process management. Concepts, languages, architectures. Springer. Berlin. Heidelberg.