

BETTINA NEUHÄUSER, JOACHIM SCHWEIGL, BODO DAMM, BIRGIT TERHORST

Rutschprozesse im Wienerwald in NÖ und Wien

Statistisch-probabilistische Gefährdungsmodellierung auf der Basis von historischen Quellen und Daten des Baugrundkatasters

Zusammenfassung (deutsch)

Der nördliche Wienerwald ist durch die Eigenschaften der ton- und mergelreichen Flyschgesteine und das Vorkommen von mächtigen quartären Lockersedimentdecken disponiert für Rutschungen. Auf Grundlage von historischen Quellen und Daten des Baugrundkatasters der Niederösterreichischen Landesregierung sowie anderen Datenbeständen wurde die Gefährdung für Rutschungen im Flysch-Wienerwald näher untersucht. Ziel war es, neue Erkenntnisse über die Steuerungsfaktoren von Rutschungen zu gewinnen und eine regionale Gefährdungskarte für das Gebiet zu entwickeln. Die angewandte Methode der Evidenzgewichtung lieferte Informationen über kausale Zusammenhänge zwischen den bisher aufgetreten Rutschungen und den untersuchten Steuerungsfaktoren. Die Untersuchung zeigt in diesem Zusammenhang, dass neben den tonreichen Schieferzonen auch die tektonischen und hydrologischen Bedingungen (beeinflusst durch Oberflächengewässer und Niederschlagsmenge) besonders für das Auftreten von Rutschungen bedeutend sind.

Abstract (English)

The northern Vienna Forest is predestined for landslides due to the properties of the clay and marl rich Flysch bedrock and the massive superimposed quaternary sediments. Based on historical sources, data of the Building Ground Register of the Federal Government of Lower Austria and other data bases, the landslide susceptibility was assessed in the Flysch regions of the Vienna Forest. The objective was to create new knowledge on the steering geofactors for landslides and to develop a regional hazard map. The applied method, referred to as Weights-of-Evidence, delivers information on the causal relationships between known landslide events and specific steering geofactors. The investigation showed that beside of the clay-shale zones, the tectonic properties and the hydrologic conditions (influenced by drainage lines and precipitation) are relevant dispositions for landslides.

Stichwörter (Keywords)

Rutschungen, Gefährdungsbeurteilung, GIS-gestützte Modellierung, Wienerwald
Landslides, susceptibility assessment, hazard maps, GIS-based modelling, Vienna Forest

Einleitung

In Österreich sind verschiedenste Typen von Massenbewegungen häufig und weit verbreitet (Rudolf-Miklau, 2009; Schweigl und Hervas, 2009). Neben den alpinen Bereichen ist besonders die Rhenodanubische Flyschzone disponiert für Massenbewegungen (Götzinger, 1943; Wessely, 2006). Am nord-östlichen Rand der Flyschzone liegt das Gebiet des nördlichen Wienerwaldes (Niederösterreich und Wien), wo seit einigen Jahren eingehende geomorphologische und bodenphysikalische Untersuchungen durchgeführt werden (u.a. Damm et al., 2008; Terhorst et al., 2009; Damm und Terhorst, 2010). Auf diesen Arbeiten aufbauend erfolgte eine regionale Gefährdungsbeurteilung für Rutschprozesse (Neuhäuser et al. 2012), deren Datengrundlagen und Ergebnisse im Folgenden beschrieben werden. Ziel dieser Untersuchung war es, erweiterte Kenntnisse über die Entstehungsbedingungen von Rutschungen in der östlichen Flyschzone zu gewinnen sowie eine regionale Gefährdungskarte für den nördlichen Wienerwald zu entwickeln. Entsprechende Karten können als Entscheidungshilfe bei der örtlichen und regionalen Planung eingesetzt werden.

Bei der Gefährdungsbeurteilung wird davon ausgegangen, dass Hangrutschungen auch in Zukunft von gleichen oder ähnlichen Steuerungsfaktoren bedingt werden wie bisher. Eine wichtige Grundlage für die Gefährdungsmodellierung sind daher Ereigniskataster, welche die zeitliche und räumliche Verteilung, sowie die Ursachen von bekannten Rutschungen beinhalten (vgl. Wieczorek, 1984; Brabb, 1984). Die existierenden Datenquellen für solche Ereigniskataster haben daher besonderen Stellenwert. In der Gefährdungsbeurteilung wurde die Anwendbarkeit bestehender Datenbestände für die regionale Beurteilung der Hangrutschungsgefährdung (Maßstab < 1:25.000) überprüft.

Untersuchungsgebiet

Der nördliche Wienerwald repräsentiert eine sanft-wellige Mittelgebirgslandschaft, in der sich weiche Rücken und Kuppen mit tief eingeschnittenen Tälern abwechseln (Oberhauser, 1980; Wessely, 2006). Zahlreiche Massenbewegungen verschiedenen Typs und unterschiedlichen Alters treten hier auf. In steileren Hanglagen dominieren Translations- und Rotationsrutschungen sowie Steinschlag, in flacheren Hangabschnitten vor allem Fließungen und Bodenkriechen (Götzinger, 1943). Die hier vorgenommene Gefährdungsbeurteilung konzentriert sich auf Rutschprozesse, die den dominierenden Typ von Massenbewegungen im Wienerwald darstellen (Schwenk et al., 1992; Wessely, 2006). Rutschungen führen im Wienerwald häufig zu Problemen bei Bauwerken und Verkehrswegen.

Die hohe Disposition zu Hangbewegungen ergibt sich aus den bodenmechanischen und bodenphysikalischen Eigenschaften des Flyschgesteins, welches sich aus Wechselfolgen von Sandsteinen, Kalksandsteinen, Mergelsteinen, Mergel- und Tonschiefern sowie Schiefertonen zusammensetzt. Die Wechsellagerung von schlecht permeablen tonigen Schichten mit gut durchlässigen Sandsteinen ergibt infolge von Wasserzufuhr Hangrutschungen und Feuchtstellen (Götzinger, 1943; Plöchinger und Prey, 1993; Wessely, 2006). Jüngere Untersuchungen (vgl. Damm et al., 2008; Terhorst et al., 2009; Damm und Terhorst, 2010) zeigen darüber hinaus, dass das Vorkommen von quartären Sedimenten und deren Eigenschaften die aktuelle Hangdynamik entscheidend mitbestimmen. Periglaziale Deckschichten, unter anderem auch mächtige Lößdecken, überlagern das Anstehende über weite Bereiche des Untersuchungsgebietes. Insbesondere periglaziale Lagen, welche während der Kaltzeiten unter Permafrostbedingungen durch Bodenfließen entstanden sind, setzen sich in der Regel aus mehreren Lockergesteinsdecken zusammen. Die mineralogische Zusammensetzung, vor allem der Anteil an quellfähigen Tonen und die damit verbundenen wasserstauenden Eigenschaften der am tiefsten gelegenen Basislage, führen zur Ausbildung natürlicher Gleitflächen über den anstehenden Flyschgesteinen.

Datengrundlagen

Derzeit gibt es in Österreich kein landesweit einheitliches System zur Erfassung und Verwaltung von Daten über Massenbewegungen. Die Niederösterreichische Landesregierung unterhält mit ihrem Baugrundkataster den größten Datenbestand mit Massenbewegungen im Bundesland. Darüber hinaus verfügt der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung der Gebietsbauleitung Wien über ein Archiv mit Massenbewegungen, die in den Gefahrenzonenplänen für Hochwasser als braune Hinweisbereiche ausgeschieden werden. Eine weitere wichtige Datenbank für Massenbewegungen im Wienerwald ist die Georios Datenbank der Geologischen Bundesanstalt in Wien. Ein geringer Teil dieser Daten ist auch über die Internetdatenbank „Massenbewegungen„ der Geologischen Bundesanstalt abrufbar. Hierbei handelt es sich weitgehend um Massenbewegungen, die im Zuge der geologischen Landesaufnahme kartiert wurden.

Die genannten Daten stellen neben der analogen Rutschungskarte von Götzing (1943) die Grundlage der vorliegenden Arbeit dar. Sämtliche Datenquellen wurden zu einer homogenen Datenbasis in Sinne eines Rutschungskatasters für den nördlichen Wienerwald zusammengeführt.

Im Auftrag des geologischen Dienstes und der Abteilung Raumordnung des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung entsteht derzeit auch ein umfangreicheres Inventar für Rutschungen im Rahmen des Projektes „Methodenentwicklung zur Modellierung von Massenbewegungen in Niederösterreich (MoNOE)“ in Kooperation mit der Universität Wien, dem Austrian Institute of Technology (AIT) sowie dem Joanneum Research. Die Ergebnisse aus diesen Arbeiten sollen Mitte 2013 vorliegen.

Baugrundkataster

Die umfangreichste Datenquelle für die Modellierung von geogenen Gefahrenhinweiskarten oder Gefährdungskarten für Rutschprozesse im Wienerwald stellt der Baugrundkataster des Landes Niederösterreich dar. Daher soll dieser im Folgenden näher beschrieben werden. Der Baugrundkataster enthält gut dokumentierte Massenbewegungen, die einen *Katastrophenschaden* verursacht haben (Schweigl und Hervas, 2009). Den Baugrundkataster gibt es in Papierform seit 1953, wobei er auch noch ältere geologische Gutachten enthält. Seit dem Jahr 2000 wird er digital geführt, seit 2011 sind sämtliche ältere Gutachten auch digital verfügbar. Der Baugrundkataster ist im Rahmen des Parteienverkehrs öffentlich zugänglich. Er enthält alle Arten von geologischen oder geotechnischen Gutachten zu Bauvorhaben, Flächenwidmungen, Bergbau oder Katastrophenschäden. Insgesamt gibt es 2000 Einträge zu Massenbewegungen aus Niederösterreich (Stand 2011), die monatlich aktualisiert werden. Ein Teil dieser Einträge kann für die Modellierung von Gefahrenhinweiskarten nicht verwendet werden, da es sich entweder um Anschüttungen handelt, die nicht standorttypisch sind, oder weil die Lage der Massenbewegung unzureichend genau dargestellt ist. Dies ist insbesondere bei Daten vor 1980 der Fall, die beispielsweise auf älteren Gutachten basieren.

Der Baugrundkataster ist eine MS Access Datenbank mit einer ESRI ArcGIS Anwendung, die i-map. Die Massenbewegungen sind als Punkte und nicht als Flächen auf den Karten dargestellt (siehe Abb. 1, oben rechts). Es handelt sich um rote oder violette Dreiecke, deren Position auf der Fläche der Massenbewegung liegt. Die Punktdarstellung beruht auf der Tatsache, dass viele Massenbewegungen eine maximale Ausdehnung von 100m haben und somit nicht mehr auf der amtlichen österreichischen, topographischen Karte, der ÖK, im Maßstab 1:25.000 darstellbar sind. Wenn man ein Dreieck anklickt, bekommt man die Information der Datenbank und auch die Verknüpfung zum ausgewählten elektronischen Verwaltungsakt mit den entsprechenden Schriftstücken. Der Maßstab der Karten reicht von 1:500.000 bis 1:1.000. Die Eintragung der Punkte erfolgte bis zum Jahr 2000 hauptsächlich auf der ÖK 1:50.000.

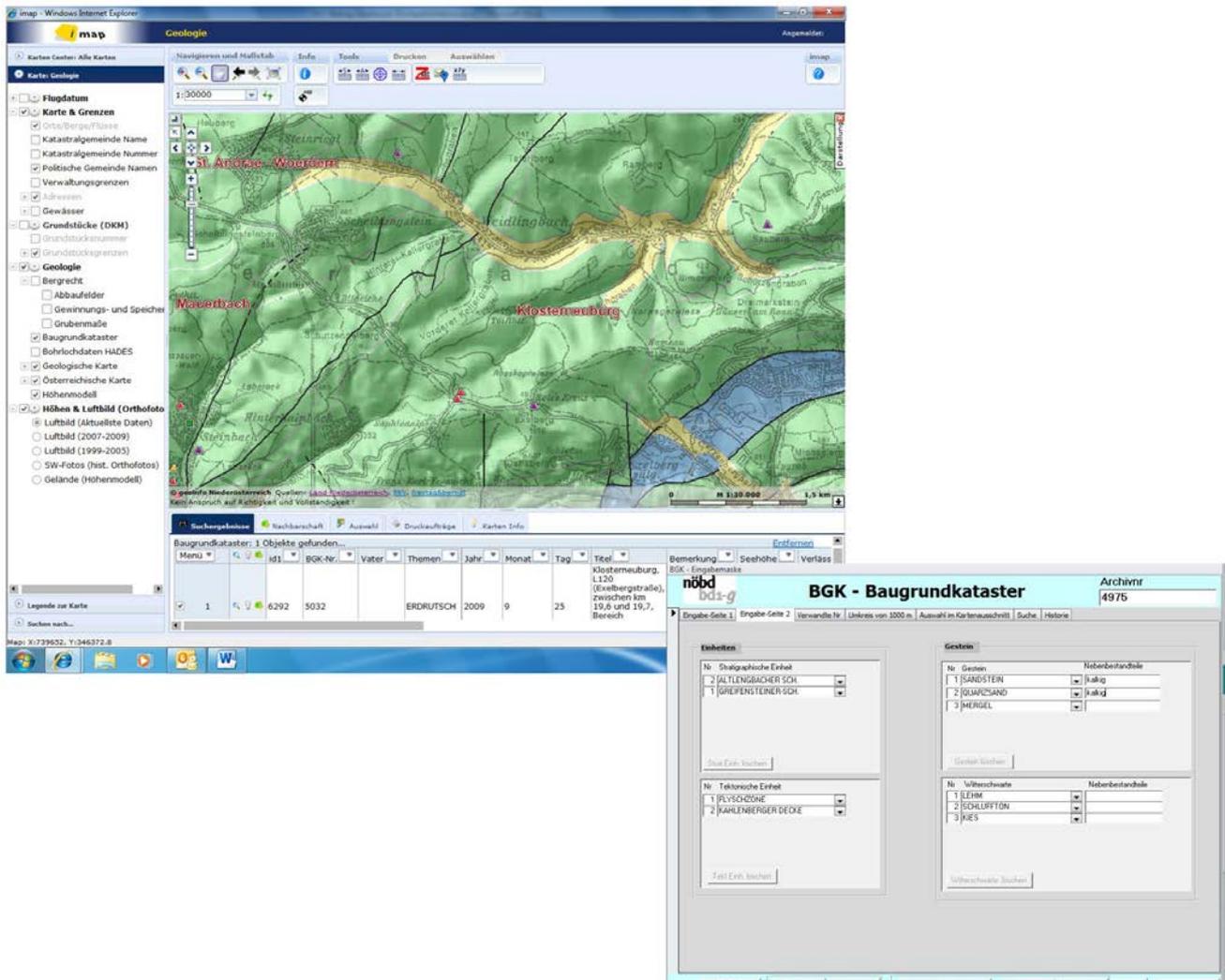


Abbildung 1: Fenster oben: Kartenauszug des Baugrunderkaster vom Wienerwald. Die roten Dreiecke stellen in vorliegendem Fall aufgenommene Rutschungen dar, die einen *Katastrophenschaden* verursacht haben. Fenster unten: Auszug aus der Datenbank vom Baugrunderkaster. Geologische Beschreibung einer Rutschung im Wienerwald.

Figure 1: Top window: Example map of the Building Ground Register in the area of the Vienna Forest. The red triangles represent registered landslides, which have caused catastrophic damage. Bottom window: Database of the Building Ground Register with the geological description of a landslide in the Vienna Forest.

Im digitalen Baugrunderkaster sind die Typen von Massenbewegungen, deren Lage, die Stratigraphie, die Tektonik, die Gesteinsart, die Bodenart, die geotechnischen Erkundungen usw. beschrieben (siehe Abb. 1, unten links). Weitere Informationen enthalten die geologischen Gutachten selbst, mit denen die Datenbank digital verknüpft ist. Neben dem Baugrunderkaster ist seit dem Jahr 2000 beim geologischen Landesdienst auch eine digitale Bohrdatenbank vorhanden, in der zahlreiche Bohrungen, Baggerschürfe und Rammsondierungen, welche auch im Zusammenhang mit Massenbewegungen durchgeführt wurden, ersichtlich sind.

Natürlich existieren in Niederösterreich und im Wienerwald weit mehr Massenbewegungen als im Baugrunderkaster und den anderen Datenbanken zusammengefasst sind. Diese unerkannten Massenbewegungen, vor allem die Rutschungen, lassen sich mit Hilfe des neuen digitalen Geländemodells des Landes Niederösterreich im Zuge der Luftbildauswertung sehr gut kartieren.

GIS-basierte Gefährdungsmodellierung

Rutschungen entstehen nachweislich unter bestimmten Faktorenkonstellationen. Die Gefährdungsbeurteilung basiert auf dem statistisch quantifizierbaren Zusammenhang zwischen den Rutschungen, die im Rutschungskataster erfasst wurden, und bestimmten steuernden Faktoren. Diese sogenannten Steuerungsfaktoren repräsentieren Bedingungen, welche die Entstehung von Massenbewegungen begünstigen, bzw. deren Voraussetzungen schaffen und über längere Zeit hinweg konstant bleiben. Relief, geologischer Untergrund, bodenmechanische Eigenschaften oder die Landnutzung können direkt oder indirekt die Hangstabilität beeinflussen (Knoblich, 1967; Wieczorek, 1984; Cruden und Varnes, 1996; Soeters und Van Westen, 1996; Thein 2000; Van Westen et al., 2003; Damm, 2005).

Auf Basis dieser Steuerungsfaktoren ist eine indirekte Bewertung der Gefährdung mit Hilfe von statistischen Methoden, die in einem Geographischen Informationssystem (GIS) eingebettet sind, möglich. In der vorliegenden Gefährdungsbeurteilung wurde die statistisch-probabilistische Methode der Evidenzgewichtung angewendet (Bonham-Carter et al., 1989; Agterberg et al., 1990; Bonham-Carter, 2002; Sawatzky et al., 2009).

Bei der Evidenzgewichtung wird bei der Überschneidung der Rutschungen mit jeweils einem Steuerungsfaktor (der sogenannten Evidenz) der räumliche Zusammenhang zwischen dessen Klassen (z.B. geologischen Einheiten oder Landbedeckungsarten) und den Rutschungen quantifiziert. Anhand von statistischen Kennzahlen wird beurteilt, ob ein Faktor für das Auftreten von Rutschungen ausschlaggebend ist oder nicht. Dies geschieht auf Basis von Wahrscheinlichkeitsverhältnissen, aus denen sich eine Gewichtung der Steuerungsfaktoren ableiten lässt. Eine Gesamtbewertung des Gebietes erfolgt anschließend durch Kombination aller gewichteten Steuerungsfaktoren nach den Regeln der Bayes Wahrscheinlichkeitstheorie. Das Resultat liefert einen flächendeckenden Wahrscheinlichkeitsindex, welcher als Grad der Rutschanfälligkeit interpretiert wird (Wang et al., 2002; Neuhäuser und Terhorst, 2007). Diese Berechnung schließt auch Gebiete ein, die bisher noch nicht von Rutschungen betroffen waren.

Der Auswahl der Steuerungsfaktoren kommt daher besondere Bedeutung zu, allerdings ist deren Integration in die Modellierung oft durch die Verfügbarkeit von flächendeckenden Daten begrenzt. Für das vorliegende Modell wurden die existierenden geologischen Karten (Schnabel, 2002; Götzinger et al., 1952) und das Digitale Landschaftsmodell (DLM) des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen verwendet. Für die Relief- und Landbedeckungs-Informationen wurden Fernerkundungsdaten (ASTER Global Digital Elevation Model, CORINE Landcover 1990 Datensatz) herangezogen. Aus diesen Grundlagendaten wurden die Steuerungsfaktoren abgeleitet. Diese sind die geomorphometrischen Parameter (Hangneigung, Hangkrümmung, Exposition), lithologische Einheiten, tektonische Linien, die Landbedeckung, die Hangposition, sowie das Gewässernetz.

Ergebnisse

Gefährdungskarte: Die Gefährdungskarte gibt die berechneten Wahrscheinlichkeiten an, die in vier Gefährdungsgrade (von keine bis hohe) klassifiziert wurden (siehe Abb. 2). Der Index beschreibt also die Disposition bzw. die Anfälligkeit für Rutschungen. Dadurch können Bereiche mit hoher Gefährdung identifiziert und abgegrenzt werden.

Aus der Karte geht hervor, dass die Gebiete innerhalb der Nordrandzone am stärksten gefährdet sind. In diesem Überschiebungsbereich zur Molassezone, finden sich jene geologischen Einheiten mit der stärksten Rutschanfälligkeit. Die Wolfpassing-Formation und die kalkigen Klippen der Nordrandzone wurden als hoch rutschanfällig eingestuft. Diese Schichten beginnen in Norden bei Sankt Andrä vor dem Hagenthale und ziehen sich in S-W-Richtung über den Tulbinger Kogel, Klosterberg, Frauenberg und Eichberg.

Im Bereich der Greifensteiner Decke, die südlich an die Nordrandzone anschließt, variiert die Gefährdung lokal sehr stark. Ausschlaggebend für die lokal erhöhte Gefährdung sind die Topographie (Hangneigung und

Exposition), sowie die Nähe zu den zahlreichen Bächen und Flüssen. Auch die Nähe zu den zahlreichen tektonischen Störungen, erhöht die Gefährdung stark.

Die Gebiete der Kahlenberger Decke werden als moderat rutsch anfällig eingestuft, bis auf die Areale entlang des N-O-Randes von Wien und in Purkersdorf in Niederösterreich. Hier wird die Rutschanfälligkeit deutlich erhöht. Dies ist auf das Auftreten des Gaultfelses zurück zu führen, welcher als hoch rutsch anfällig eingestuft wurde. Diese geologische Schicht zieht sich als schmales Band entlang der Südflanke der Wiener „Hausberge“ (Cobenzl und Kahlenberg) weiter nach Penzing (Hochbruggenberg) und schließlich nach Niederösterreich durch die Gemeinde Purkersdorf bis hin zum Glaskogel.

Im Süden des Untersuchungsgebietes, im Bereich der Laaber Decke, treten die Hänge mit der geringsten Rutschgefährdung auf. In den hier vorliegenden geologischen Formationen konnte kein signifikanter Zusammenhang zum Auftreten der bekannten Rutschungen festgestellt werden. Diese Decke ist auch am wenigsten durch tektonische Störung beeinflusst.

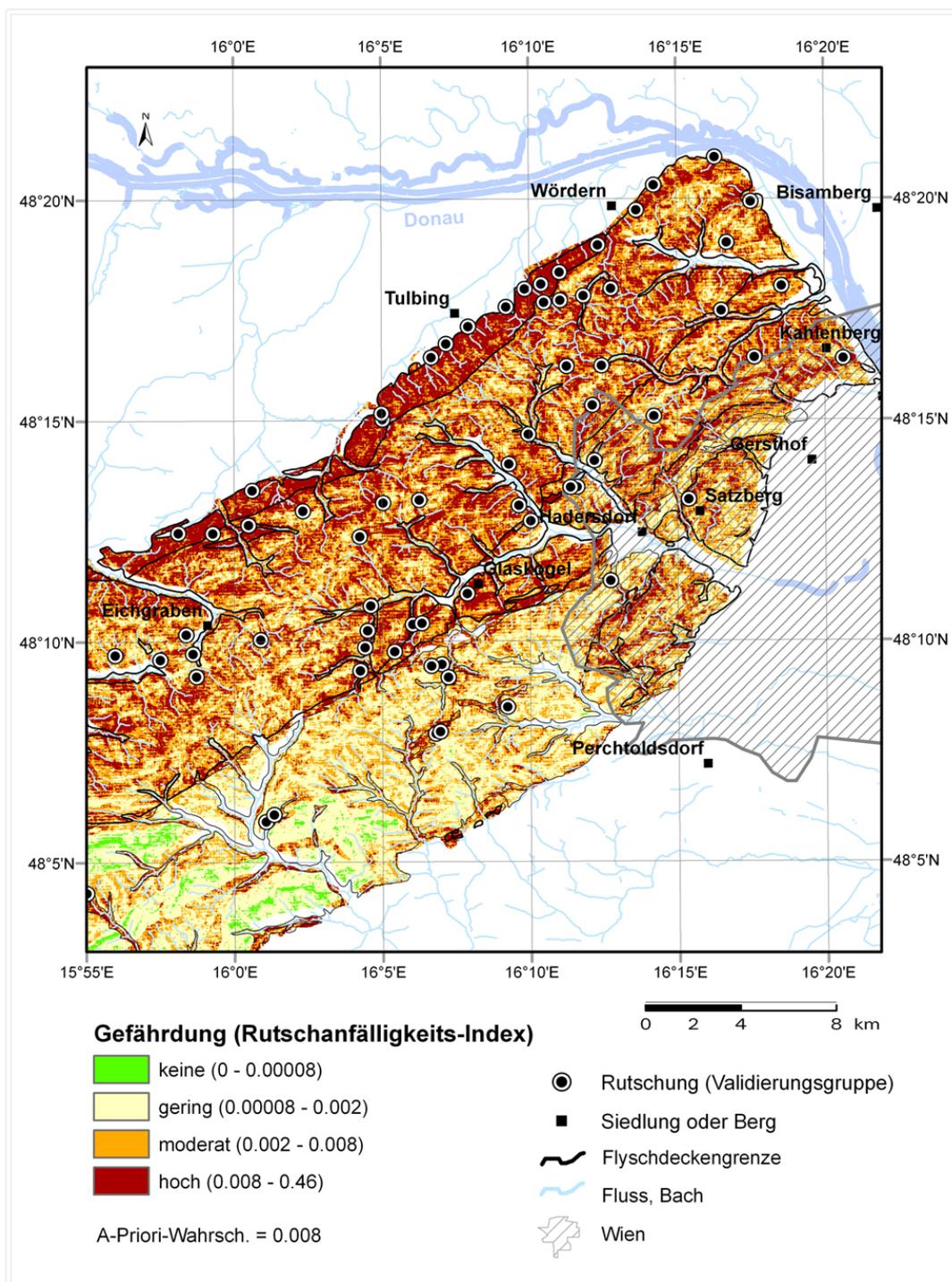


Abbildung 2: Gefährdungskarte für Rutschungen im nördlichen Wienerwald basierend auf der Methode der Evidenzgewichtung. Die eingezeichneten Rutschungen wurden nicht in die Modellierung einbezogen und stellen so eine Kontrollgruppe für die Validierung der Karte dar. Sie können als neue oder unbekannte Rutschungen betrachtet werden, die durch das Modell vorhergesagt werden sollen.

Figure 2: Landslide susceptibility map for the northern Vienna Forest based on the weights-of-evidence method. The landslides shown in the map are not incorporated into the modelling process and are therefore used as control group for validation. These landslides can be considered as unknown or new events, which should be predicted by the model.

Steuerungsfaktoren für Rutschprozesse: Auf Grundlage der Evidenzgewichtung wurden Bedingungen identifiziert, welche die Gefährdung erhöhen und als wesentliche Steuerungsfaktoren für Rutschprozesse im Wienerwald angesehen werden können. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- **Tonreiche Schieferzonen:** Auf Basis der Analyse der geologischen Kartengrundlagen, kann ein räumlicher Zusammenhang zwischen den bisher aufgetretenen Rutschungen und den Schieferzonen des Flyschgesteins im Gebiet festgestellt werden. Es ist auffällig, dass Gaultflysch in beiden Schichten mit der höchsten Rutschneigung enthalten ist. Gaultflysch bezeichnet schwarze und graue Tonschiefer, wechselnd gelagert mit dunklen, quarzistischen Sandsteinbänken. Daraus kann gefolgert werden, dass die dunklen Schieferzonen des Flyschgesteins die Grunddisposition für Rutschungen erhöhen. Durch geotechnische Untersuchungen ist allgemein bekannt, dass unterhalb einer wassergesättigten Schicht ein undurchlässiges, tonreiches Sediment eine Gleitfläche für Rutschungen bilden kann (Van Asch et al., 1999, Damm, 2005). Das Ergebnis der vorliegenden Arbeit untermauert die Bedeutung von tonreichen Schieferzonen für den Wienerwald als Steuerungsfaktor für Rutschungen (Götzinger, 1943; Schwenk et al., 1992; Bromhead und Ibsen, 2004; Damm et al., 2008; Terhorst et al., 2009; Terhorst und Kreja, 2009; Damm und Terhorst, 2010).
- **Nähe zu Störungszonen und Deckengrenzen:** Die Gefährdungsbeurteilung zeigt, dass die Verteilung der Rutschungen eng mit den Störungszonen und Deckengrenzen im Gebiet verbunden ist. Die höchste Dichte an Rutschungen konnte in unmittelbarer Nähe (0-215m) zu tektonischen Linien festgestellt werden. Mit zunehmender Distanz von den tektonischen Linien, verringert sich die Gefährdung. Die Ursachen für diesen Zusammenhang können vielfältig sein, denn tektonische Strukturen können die Hangstabilität auf verschiedenste Weise negativ beeinflussen. Die Gesteine des Wienerwaldes sind durch die intensive Verfaltung und Verschachtelung tektonisch stark beansprucht (Schnabel, 1992). Deckengrenzen und Störungen stellen instabile Bereiche dar, welche strukturelle Destabilisierung, intensivierten Zwischenabfluss, und erhöhte Gesteinsinfiltration verursachen können. Dadurch werden Verwitterungsprozesse intensiviert, was wiederum eine erhöhte Disposition für Rutschungen schafft (Poisel und Eppensteiner, 1986; Bai et al., 2004; Margielevski, 2006; Damm et al., 2010; Pánek et al., 2010).
- **Offenlandschaft (waldlose Bereiche):** Beinahe das gesamte Gebiet des Wienerwaldes besteht aus Laubwald (hauptsächlich Buchenwald), in dem auch die meisten Rutschungen stattfinden. Allerdings zeigte die Gefährdungsmodellierung, dass eine signifikante Häufung an Ereignissen in den kleinen, nicht bewaldeten Flächen zu finden ist. Solche landwirtschaftlich geprägten Offenlandflächen sind meist Wiesen, Weiden und Äcker. Das Ergebnis ist in Einklang mit den früheren Beobachtungen über Bodenbewegungen in der Flyschzone (Götzinger, 1943; Schwenk et al., 1992). Diese verstärkte Neigung zu Rutschungen kann darauf zurückgeführt werden, dass einerseits die Durchtränkung der Wiesen nach Niederschlagsereignissen größer ist als im Wald, da die Baumkronen einen Teil des Niederschlages abfangen und der Verdunstung zuführen. Andererseits ist eine stabilisierende Wirkung durch die Wurzelmatrix des Waldes gegeben. Diese Stabilisierung wird durch hydrologische und mechanische Effekte bewirkt, welche zu einer Erhöhung der Bodenkohäsion beitragen. Diese Verfestigung durch tiefere Wurzeln erhöht die Scherparameter im Boden und wird daher als Wurzelkohäsion bezeichnet (Endo und Tsuruta, 1969, Wu, 1984).
- **Hangexposition in die Hauptanströmrichtung von feuchten Luftmassen:** Die Analyse der Exposition hinsichtlich der Verbreitung von Rutschungen zeigte, dass N, W und N-W ausgerichtete Hänge gefährdeter sind. Dies ist auf eine mögliche Niederschlagsverstärkung an den luvseitigen (N, W und N-W ausgerichteten) Hängen zurück zu führen. Die auftreffende Regenmenge kann von der Ausrichtung des Hanges abhängen, besonders dann, wenn der Niederschlag, unter dem Einfluss einer dominierenden Anströmrichtung der Luftmassen, eine betonte directionale Komponente besitzt (Thein, 2000; Dai und Lee, 2002). Im Untersuchungsgebiet herrscht eine W und N-W Wetterströmung vor, welche feuchte,

atlantische Luftmassen heran transportiert, die sich an der Hügellandschaft des Wienerwaldes abregnen. Die Exposition steuert so indirekt die Feuchtebedingungen am Hang.

- **Nähe zu Bächen, Flüssen und zeitweise wasserführenden Gerinnen mit Wildbachdynamik:** Die Entwässerung des Wienerwaldes erfolgt durch den Wienfluss, sowie untergeordnete Wienerwaldbäche wie den Mauerbach, Weidlingbach oder Hagenbach, sowie durch zahlreiche nur zeitweise wasserführende Gerinne und Tobel. Die Region des Flysch-Wienerwaldes ist stark vom oberflächennahen Abfluss geprägt. Durch die wasserstauenden Bedingungen von ton- und mergelreichem Flysch wird das Abflussverhalten stark beeinflusst. Bei starken Niederschlägen erfolgt rascher Abfluss, woraus häufig schnell ansteigende Hochwasser mit teilweiser Wildbachdynamik resultieren (Prey, 1993). Die Modellierung zeigte eine deutliche Abhängigkeit der Rutschungsverteilung vom Gewässernetz. Massenbewegungen treten signifikant dichter in der unmittelbaren Nähe (bis 75 m) zu Flüssen, Bächen oder zeitweise wasserführenden Gerinnen auf. Aufgrund des starken Oberflächenabflusses nach Regenfällen entwickeln diese Gerinne eine beträchtliche Erosionsenergie. Die Hangstabilität an den angrenzenden Hängen kann dabei sowohl durch die Abtragung des Hangfußes, als auch durch Wassersättigung der Hangsedimente drastisch reduziert werden (Govi et al., 1985, Thein, 2000; Damm et al., 2008).
- **Hangneigung von 26° bis 31°:** Die Morphologie gilt im Allgemeinen als einer der wichtigsten Steuerungsfaktoren in der Gefährdungsbeurteilung, da Massenbewegungen Schwerkraft bedingte Prozesse sind und daher von der Hangneigung direkt gesteuert werden. Im Untersuchungsgebiet treten Rutschungen innerhalb eines Hangneigungsbereiches von 7° bis 31° auf. Die Gefährdungsanalyse zeigte, dass Hangneigungen zwischen 26° und 31° eine signifikant hohe Anfälligkeit für Rutschungen haben. Dieses Ergebnis deckt sich mit den Beobachtungen von Schwenk et al. (1992). Daher sind die vorliegenden Ergebnisse aus der Modellierung in Einklang mit den beobachteten Werten.
- **Rutschungsfrequenz vor dem Hintergrund des Klimawandels:** Aus der Analyse der zeitlichen Verteilung der bisher erfassten Rutschungen kann kein ansteigender Trend in der Häufigkeit der Ereignisse im Wienerwald abgeleitet werden. Allerdings zeigen sich einzelne Jahre mit besonders hoher Rutschungsaktivität. Der erste Vergleich mit meteorologischen Daten deutet darauf hin, dass ein Zusammenhang zu besonders niederschlagsreichen Jahren oder Jahren mit intensiver Schneeschmelze möglich ist, wie im Jahr 2009. Dieses Jahr war durch schwere Unwetter, intensiven Niederschlagsereignissen und starken Temperaturschwankungen kennzeichnet, welche zu massiver Schneeschmelze geführt hat. Bekanntlich bewirkt lang-anhaltender Niederschlag eine Vorsättigung der Hänge. Starke Regenfälle und intensive Schneeschmelze gelten allgemein als Hauptauslöser für Rutschungen (Govi et al., 1985; Kraut, 1999; Schweigl und Hervas, 2009).

Schlussfolgerungen und Ausblick

Die bei der Gefährdungsbeurteilung gewonnen Erkenntnisse hängen stark von der Verfügbarkeit und Genauigkeit der Grundlagendaten ab. Detaillierte geologische Karten mit Informationen über quartäre Deckschichten, sowie flächendeckende Bodenkarten mit bodenmechanischen Daten wären in Zukunft von großer Bedeutung für die Beurteilung von Georisiken. Weitere wesentliche Grundlagen sind genaue Rutschungskataster, die möglichst alle bekannten Rutschungen sowohl räumlich und zeitlich genau erfassen.

Durch das Fehlen an Informationen über quartäre Deckschichten konnte dem Einfluss dieser Sedimente nicht Rechnung getragen werden. Aktuell werden daher physikalisch-basierte Prozessmodelle in großem Maßstab erstellt, welche sowohl die hydrologischen Bedingungen, als auch den Einfluss von periglazialen Decklagen und Lössdecken auf die Hangstabilität berücksichtigen. Die Verbreitung, Mächtigkeit und die bodenmechanischen Eigenschaften dieser Lockersedimente wurden durch Felduntersuchungen erfasst. Erste Ergebnisse zeigen, dass das Vorhandensein der periglazialen Lagen die Anfälligkeit für flachgründige Rutschungen drastisch erhöht. Zudem wird der Einfluss von unterschiedlichen Feuchtebedingungen, auch durch klimawandelbedingte Änderung, an den ausgewählten Hängen untersucht. Es zeigt sich, dass der Einfluss von Extremniederschlägen, die laut regionaler Klimamodelle in Zukunft zunehmen sollten (Matulla,

2005; Formayer et al., 2008), von besonderer Bedeutung sind. Genauere Ergebnisse werden Anfang 2013 vorliegen.

Anmerkung

Die vorliegende Arbeit wird von der Akademie der Wissenschaften (ÖAW) im Rahmen des DOC-fFORTE Programmes sowie von der Universität Würzburg gefördert. Die Autoren bedanken sich beim Forsttechnischen Dienst der Wildbach und Lawinenverbauung - insbesondere bei Herrn Dipl.-Ing. Christian Amberger - und bei der Geologischen Bundesanstalt in Wien - im speziellen bei Herrn Mag. Thomas Hofmann - für die Bereitstellung von Datengrundlagen.

Anschrift der Verfasser/Author's adresses

Dipl. Ing. Bettina Neuhäuser, MSc(GIS)
Stipendiatin der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW)
Tegelweg 15/2
A-1220 Wien
bettina.neuhaeuser@gmx.at

Dr. Joachim Schweigl
Landesbaudirektion (Geologischer Dienst)
des Amtes der Niederösterreichischen Landesregierung
Landhausplatz 1
A-3109 St. Pölten
Joachim.schweigl@noel.gv.at

Univ.-Prof. Dr. Bodo Damm
Universität Vechta/ISPA
Universitätsstraße 5
D-49377 Vechta
bdamm@ispa.uni-vechta.de

Univ.-Prof. Dr. Birgit Terhorst
Universität Würzburg
Institut für Geographie und Geologie
Am Hubland
D-97074 Würzburg
Birgit.terhorst@uni-wuerzburg.de

Literatur/References

- Agterberg F.P., Bonham-Carter G.F., Wright D.F. (1990). Statistical pattern integration for mineral exploration. in: Gaal G., Merriam D.F. (Hrsg.). Computer application in resource estimation: prediction and assessment for metals and petroleum. Pergamon, Oxford.
- Bai Y.-F., Zhou D.-P., Wang K., Li A.-H. (2004). Development environment and distribution characteristics of bedding plane landslides. Natural Disasters 13: 39-43.
- Bonham-Carter G.F. (2002). Geographic information systems for geoscientist: Modelling with GIS. Pergamon, New York: 302-334.
- Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F. (1989). Weights of evidence modelling: A new approach to mapping mineral potential. Statistical Applications in Earth Sciences 89-9: 171-183.

- Brabb E. (1984). Innovative approaches to landslide hazard and risk mapping. in: Proceedings Fourth Int. Symp. Landslides 1: 307-323.
- Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). Landslide types and processes. in: Turner A.K., Schuster R.L. (Hrsg.): Landslides: Investigation and mitigation. Transportation Research Board Special Report 247: 36-75.
- Dai F.C., Lee C.F. (2002). Landslide characteristics and slope instability modelling using GIS, Lantau Island, Hong Kong. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 42/3-4: 213-228.
- 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., 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., Terhorst B. (2010). A model of slope formation related to landslide activity in the Eastern Prealps, Austria. *Geomorphology* 122: 338-350.
- Damm B., Terhorst B., Kötttritsch E., Ottner F., Mayrhofer M. (2008). Zum Einfluss bodenphysikalischer und bodenmechanischer Parameter in quartären Deckschichten auf Massenbewegungen im Wienerwald. *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt* 62: 33-37.
- Endo T., Tsuruta T. (1969). Effects of tree's roots upon the shearing strengths of soils. in: 18th Annual Report of the Hokkaido Branch, Government Forest Experimental Station, Tokyo.
- Formayer, H., Clementschitsch, L., Kromp-Kolb, H. (2008). Regionale Klimaänderung in Österreich. Global 2000 Umweltforschungsinstitut (http://www.global2000.at/files/klimawandel_oesterreich.pdf).
- Götzinger G. (1943). Neue Beobachtungen über Bodenbewegungen in der Flysch Zone. *Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft* 86: 87-104.
- Götzinger G., Grill R., Küpper H., Vettors H. (1952). Geologische Karte der Umgebung von Wien 1:75,000. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Govi M., Mortara G., Sorzana, P.F. (1985). Hydrological events and landslides. *Geologia Applicata e Idrogeologia* 20: 359-375.
- Knoblich K. (1967). Mechanische Gesetzmäßigkeiten beim Auftreten von Hangrutschungen. *Zeitschrift für Geomorphologie N.F.* 11: 286-299.
- Kraut C. (1999). Der Einfluss verschiedener Geofaktoren auf die Rutschempfindlichkeit an der Schichtstufe der Schwäbischen Alb. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten D5*: 129-148.
- Margielewski W. (2006). Structural control and types of movements of rock mass in anisotropic rocks: Case studies in the Polish Flysch Carpathians. *Geomorphology* 77: 7-68.
- Matulla, C. (2005). Regional, seasonal and predictor-optimized downscaling to provide groups of local scale scenarios in the complex structured terrain of Austria. *Meteorologische Zeitschrift* 14/1: 31-47.
- Neuhäuser B., Terhorst, B. (2007). Landslide susceptibility assessment using weights-of-evidence applied on a study site at the Jurassic escarpment of the Swabian Alb (SW-Germany). *Geomorphology* 86: 12-24.
- Neuhäuser B., Damm B., Terhorst B. (2012). GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the weights-of-evidence model. *Landslides*, DOI 10.1007/s10346-011-0305-5.
- Oberhauser R. (1980). *Der Geologische Aufbau Österreichs*. Springer, Wien.
- Pánek T., Hradecký J., Minár J., Silhán K. (2010). Recurrent landslides predisposed by fault-induced weathering of flysch in the Western Carpathians. *Engineering Geology* 23:183-199
- Plöschinger B., Prey S. (1993). *Der Wienerwald*. in: Schnabel W. (Hrsg.) *Sammlung Geologischer Führer* 59, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- Poisel R., Eppensteiner W. (1986). Control of a large natural slope in a suburb of Vienna. in: Proc. Conf Rock Eng and Excav Urban Environ. Hong Kong (Institution of Mining and Metallurgy, London). American Publications Center, Brookfield, pp 335-340.
- Prey S. (1993). Die Flyschzone des Wienerwaldes. in: Plöschinger B., Prey S. (Hrsg.). *Der Wienerwald*. *Sammlung Geologischer Führer*. Band 59. Gebrüder Borntraeger. Berlin, Stuttgart: 1-22.
- Rudolf-Miklau F. (2009). *Naturgefahren-Management in Österreich*. *Vorsorge – Bewältigung – Information*. Verlag LexisNexis, Wien: 252 S.

- Sawatzky D.L., Raines G.L., Bonham-Carter G.F., Looney C.G. (2009). Arc-SDM: Spatial data modeller (SDM): ArcMap 9.3 geoprocessing tools for spatial modelling using weights of evidence, logistic regression, fuzzy logic and neural networks. <http://www.ige.unicamp.br/sdm/>. Accessed 1 June 2011
- Schnabel W. (1992). New data on the Flysch Zone of the Eastern Alps in the Austrian sector and new aspects concerning the transition to the Flysch Zone of the Carpathians. *Cretaceous Research* 13:405-419.
- Schnabel W. (2002). Niederösterreich, Geologische Karte 1:200,000 mit Kurzerläuterung. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Schwenk H., Spendlingwimmer R., Salzer F. (1992). Massenbewegungen in Niederösterreich. *Jahrbuch Geologische Bundesanstalt* 135/2.
- Schweigel J., Hervas J. (2009). Landslide Mapping in Austria. – JRC Scientific and Technical Report EUR 23785 EN, Office of Official Publications of the European Communities, Luxembourg: 61 S.
- Soeters R., Van Westen C.J. (1996). Slope stability recognition, analysis, and zonation: application of geographical information system to landslide hazard zonation. in: Turner A.K., Schuster R.L. (Hrsg.). *Landslides investigation and mitigation*. Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247. National Academy Press, Washington D.C.
- Suda J. (2011). Bemessung von Lawingalerien. in: Sauer Moser S., Rudolf-Miklau F. (Hrsg.). *Handbuch Technischer Lawinenschutz*. Ernst und Sohn Berlin: 177-201.
- Terhorst B., Damm B., Peticzka R., Kötttritsch E. (2009). Reconstruction of Quaternary landscape formation as a tool to understand present geomorphological processes in the Eastern Prealps (Austria). *Quaternary International* 209: 66-78.
- Terhorst B., Kreja R. (2009). Slope stability modelling with SINMAP in a settlement area of the Swabian Alb. *Landslides* 6: 309-319.
- Thein S. (2000). Massenverlagerungen an der Schwäbischen Alb; Statistische Vorhersagemodelle und regionale Gefährdungskarten unter Anwendung eines Geographischen Informationssystems. *Tübinger Geowissenschaftliche Arbeiten D6*: 1-38.
- Van Asch T.W.J, Buma J., Van Beek L.P.H. (1999). A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology* 30/1-2: 25-32.
- Van Westen C.-J., Rengers N., Soeters R. (2003). Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. *Natural Hazards* 30(3): 399-419.
- Wang H., Cai G., Cheng Q. (2002). Data Integration Using Weights of Evidence Model: Application in Mapping Mineral Resource Potentials. in: *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*: 1-3.
- Wessely G. (2006). Niederösterreich. Geologie der Österreichischen Bundesländer. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- Wieczorek G.F. (1984). Preparing a detailed landslide inventory map for hazard evaluation and reduction. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists* XXI (3): 337-342.
- Wu T.H. (1984). Effect of vegetation on slope stability. in: *Soil reinforcement and moisture effects on slope stability*, Transportation Research Board, Washington.