

MoNOE – Modellierung der Rutschprozesse

Helene PETSCHKO, Rainer BELL, Thomas GLADE, Jason GOETZ, Gerhard HEISS & Philip LEOPOLD

1. Anlass und Zielsetzung

Jüngste Ereignisse (wie z.B. im Juni 2009) zeigen, dass gravitative Massenbewegungen, darunter auch Rutschprozesse, häufig und regelmäßig in Niederösterreich auftreten und auch zahlreiche Schäden vorwiegend an Gebäuden, Straßen oder landwirtschaftlichen Flächen verursachen (POMAROLI et al., 2011; SCHWEIGL & HERVÁS, 2009). Einen Überblick über das Auftreten von gravitativen Massenbewegungen in der Vergangenheit bietet der Baugrunderkaster (BGK) des Geologischen Dienstes des Landes Niederösterreich (SCHWENK, 1992). Dieses Inventar verdeutlicht, dass Rutschungen flächendeckend eine Gefährdung darstellen. Jedoch zeigen dieses und auch andere verfügbare Inventare zu Rutschungen (u.a. GEORIOS der Geologischen Bundesanstalt (KOCIU et al., 2007), Gefahrenzonenpläne der Wildbach und Lawinverbauung (WLV - RUDOLF-MIKLAU, 2007)) nur lokal bereits ereignete Rutschungen auf. Die Eintragungen beschränken sich häufig auf den – sogenannten - raumrelevanten Bereich. Um die Frage der Standorteignung in der Raumordnung bearbeiten zu können ist jedoch eine flächendeckende Information zur Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen notwendig. Erst dadurch sind Grundlagen zur weiteren Vorgehensweise im Widmungsverfahren (bspw. durch Hinzuziehen einer Expertin, eines Experten für gravitative Massenbewegungen) auch für Widmungen im Grünlandbereich außerhalb von Ortsbereichen verfügbar (POMAROLI et al., 2011).

Um diese Grundlagen zu erstellen wurde das Forschungsprojekt „MoNOE“ mit dem Ziel der Methodenentwicklung zur Modellierung von gravitativen Massenbewegungen in Niederösterreich gemeinsam vom Geologischen Dienst und der Abteilung für Raumordnung und Regionalpolitik des Landes Niederösterreich initiiert. Ein Ziel war es, Gefahrenhinweiskarten für Rutsch- und Sturzprozesse für jede Gemeinde in NÖ zu erstellen. Diese Karten sollen einen Vergleich der Gefährdung niederösterreichweit zulassen. Die weiteren Ziele von MoNOE umfassen:

- Erstellung eines möglichst umfassenden Inventars für stürzende und rutschende Massenbewegungsprozesse
- Prozessadäquate Aufbereitung und Homogenisierung von sämtlichen für die Gefährdungsmodellierung notwendigen Raumdaten
- Entwicklung und Evaluierung von Methoden für die Modellierung von stürzenden und rutschenden Massenbewegungsprozessen
- Zusammenführung der prozessspezifischen Ergebnisse zu einer integrativen Gefährdungsabschätzung
- Definition der Grenzen der Gefährdungsklassen
- Analyse des Human Impacts für Teilgebiete und Überprüfung der Integrationsfähigkeit in die räumliche Gefährdungsmodellierung
- Endnutzeroptimierte Visualisierung der finalen Ergebnisse im Maßstab 1:25.000

Der Fokus in diesem Beitrag liegt auf der Modellierung der Gefährdung durch Rutschprozesse und der Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse für Niederösterreich. Im Zuge der Methodenentwicklung wurden zwei Methoden zur statistischen Gefährdungsmodellierung, die Weights of Evidence (WofE) und die generalisierten additiven Modelle (GAM) getestet und verglichen. Die Vorgehensweise bei der Modellierung der Sturzprozesse ist im Betrag von Herwig Proske in diesem Band beschrieben.

Rutschprozesse beinhalten Bewegungen im Lockermaterial, so genannte Schuttrutschungen und Erdrutschungen (nach CRUDEN & VARNES, 1996; DIKAU et al., 1996). Diese treten entlang einer definierten Scherfläche auf (DIKAU & GLADE, 2002). Die Rutschprozesse in Niederösterreich können je nach lithologischer Einheit und topographischen Gegebenheiten unterschiedliche Ausprägungen und Größen annehmen (Abbildung 1).

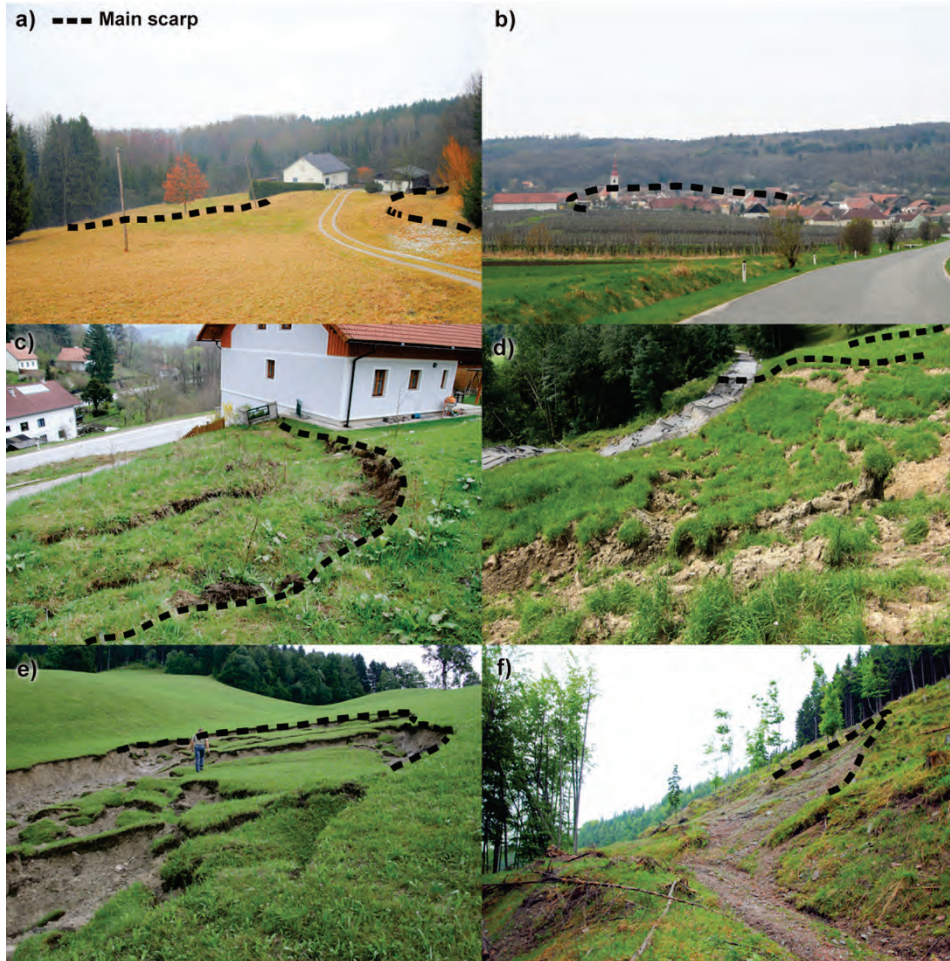


Abb. 1: Beispiele für Rutschprozesse in (a) der Molasse Zone bei Strengberg, (b) im Zellerndorfer Schlier bei Waitzendorf, (c) in der Flyschzone bei Brand, (d) in der Flyschzone bei Stössing, (e) in den nördlichen Kalkalpen mit Kalken und Mergeln bei Dippelreith, (f) in den nördlichen Kalkalpen mit Dolomiten bei Kleinzell (Bildquellen: (a), (b), (c), (f) PETSCHKO (2012, 2010, 2011, 2012), (d) BERTSCH (2009), (e) BGK (2006); Abbildung veröffentlicht in: PETSCHKO et al., 2013)

Gefahrenhinweiskarten sind Kartenwerke die die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses flächendeckend aufzeigen. Diese Karten beinhalten jedoch keine Aussage zur zeitlichen Auftretenswahrscheinlichkeit des einzelnen Prozesses wie dies z.B. bei Gefahrenkarten von Hochwassern die Praxis ist (z.B. 30-jähriges Ereignis). Demzufolge zeigen Gefahrenhinweiskarten, im Gegensatz zu Gefahrenkarten, nur auf wo sich in Zukunft potentiell gravitative Massenbewegungen ereignen können.

2. Der Weg zur Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse für Niederösterreich

Im Zentrum der Gefährdungsmodellierung der Rutschprozesse stand die Entwicklung einer Methode, die besonders auf die heterogenen Bedingungen der Geologie und Topographie in Niederösterreich eingehen kann und gleichzeitig eine Vergleichbarkeit der Gefahrenhinweiskarte über das gesamte Gebiet erlaubt. Auf dieser regionalen Bearbeitungsskala empfiehlt sich die statistische Modellierung besonders, da dafür keine Aufnahme detaillierter bodenmechanischer und hydrologischer Parameter notwendig ist. Die Eingangsdaten für die statistische Modellierung werden üblicherweise aus dem digitalen Geländemodell (DGM) und weiteren flächendeckend vorhandenen Daten (Tektonik, etc.) abgeleitet und sind somit vergleichbar schnell verfügbar.

Daten und Eingangsparameter

Als Daten standen das hochaufgelöste LiDAR (Light Detection And Range) DGM (1 m x 1 m), Daten zum Verlauf von Störungslinien und Deckengrenzen, die geologische Karte (1:200.000), eine Landbedeckungsklassifikation (aus ASTER Daten, erstellt von Joanneum Research, 10 m x 10 m) und Bodenkarten zum Gesamtporenvolumen und zur gesättigten Wasserleitfähigkeit (50 m x 50 m, aus dem Projekt HydroBodNÖ) flächendeckend zur Verfügung. Daraus wurden die in Abbildung 2 aufgelisteten Eingangsparameter mittels SAGA GIS abgeleitet. Dies ergibt die Auswahl von unabhängigen Variablen für die statistische Modellierung, welche das Auftreten von Rutschungen (die abhängige Variable) beschreiben (Abbildung 2).

Die Grundlage der abhängigen Variablen bildet das Inventar zu Anrissen von Rutschprozessen. Die Anrisse von Rutschprozessen wurden auf Basis des LiDAR DGMs und dessen Derivaten (Hangneigungskarte, Schummerungen aus unterschiedlicher Beleuchtungsrichtung und Karte der Höhenlinien) punktförmig kartiert. Dadurch konnte eine sehr hohe Lagegenauigkeit der einzelnen Rutschungspunkte erzielt werden (Glade et al., 2013, 2012; Petschko et al., 2010). Diese Lagegenauigkeit ist im Hinblick auf die Qualität der finalen Gefahrenhinweiskarte sehr wichtig, da die Modellierung pixelbasiert arbeitet. Im Zuge der statistischen Modellierung werden an jedem kartierten Anrisspunkt die topographischen Eigenschaften erhoben. Damit wird bestimmt, welche Eigenschaften der unabhängigen Variablen die Lage der Rutschprozesse beschreiben.

Modellierungsmethoden

Da mehrere statistische Modellierungsmethoden in der Literatur als bewährt angesehen werden, wurden in diesem Projekt die Methode der Weights of Evidence (WofE, BONHAM-CARTER et al., 1989) und die Methode der generalisierten additiven Modelle (GAM, HASTIE & TIBSHIRANI, 1990) hinsichtlich deren Eignung und Ergebnisse für Niederösterreich getestet und verglichen. Das Vorgehen bei der Modellierung ist in Abbildung 2 im Punkt „Gefährdungsmodellierung“ skizziert. Daraus sind auch die Gemeinsamkeiten und Unterschiede im Vorgehen bei der Modellierung mit WofE und GAM ersichtlich. Für beide Modelle standen idente Eingangsvariablen zur Verfügung, woraus dann die für die Methode und das Gebiet am besten geeigneten Variablen ausgewählt wurden. Diese Variablen wurden vorab nach deren geomorphologischen Relevanz im Hinblick auf die Beschreibung des Auftretens von Rutschprozessen sowie der generellen Verfügbarkeit der Variablen ausgewählt.

Die **Gemeinsamkeiten** sind vielfältig. Um die Heterogenität des Gebietes (sehr unterschiedliche geotechnische und topographische Eigenschaften der lithologischen Einheiten) berücksichtigen zu können wird in beiden Ansätzen das Untersuchungsgebiet in 16 Modellierungseinheiten (lithologische Einheiten) unterteilt und für jedes Gebiet einzeln ein Modell angepasst. Diese 16 Einheiten beschreiben geotechnisch und topographisch relativ homogene Bereiche (PETSCHKO et al., 2012). Nach Abschluss der Modellierungen müssen die einzelnen Gefahrenhinweiskarten der 16 Einheiten zusammengeführt werden. Dabei werden die

Unterschiede in der relativen Gefährdung der einzelnen Modellierungseinheiten berücksichtigt, um die Vergleichbarkeit der Gebiete aufrecht zu erhalten (PETSCHKO et al., 2013). Die Modellierung wurde bei beiden Methoden mit einer Rasterweite von 10 m x 10 m durchgeführt. Diese Auflösung stellt einen Kompromiss aus der besonders hohen Auflösung der topographischen Parameter und der eher groben Auflösung der Bodenparameter dar.

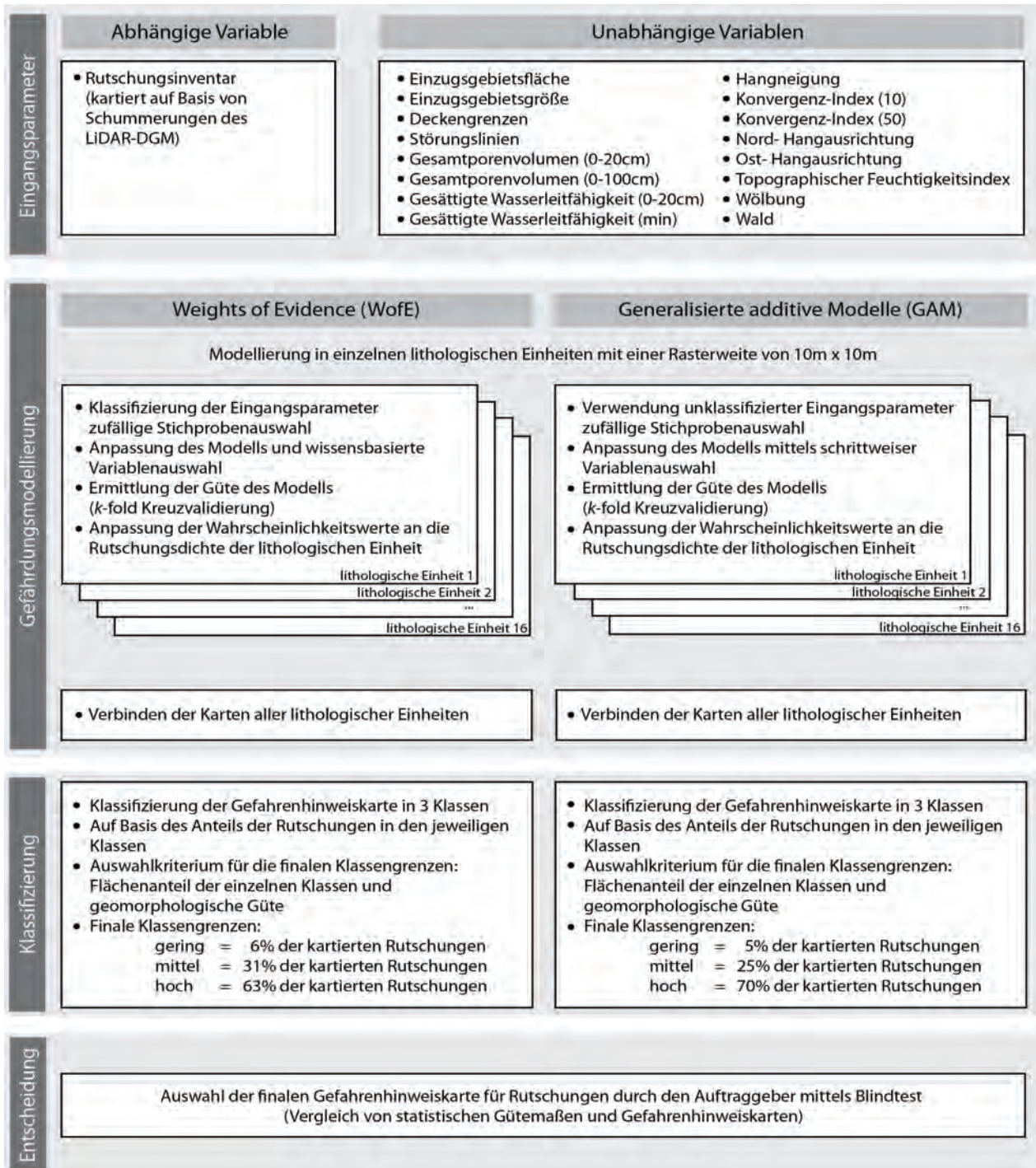


Abb. 2: Übersicht über Ablauf der Analysen und Erstellung von Gefahrenhinweiskarten mittels Weights of Evidence (WofE) und generalisierten additiven Modellen (GAM) im Projekt MoNOE (verändert nach BELL et al., 2013)

Jede Modellierung ist nur dann sinnvoll, wenn auch die Güte des Modells im Zuge der Modellierung erhoben wird. In MoNOE wurde eine umfangreiche Ermittlung der Güte des Modells mittels einer mehrfachen Kreuzvalidierung mit beiden Methoden durchgeführt. Diese

Methode hat den Vorteil, dass die Modellgüte nicht nur anhand einer zufälligen Stichprobe ermittelt wird, sondern anhand von insgesamt 100 Modellläufen. Dadurch wird nicht nur ein

zufälliges Gütemaß bestimmt sondern eine ganze Bandbreite von Gütemaßen aufgezeigt, welche mit der Verwendung der gegebenen Daten und dem Modell (WofE oder GAM) möglich sind, wenn immer wieder zufällig Stichproben aus den Daten gezogen werden und das Modell angepasst und getestet wird (PETSCHKO et al., 2013).

Als statistisches Gütemaß wurde das weit verbreitet genutzte Maß des „Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve“ (AUROC) Wertes verwendet. Zur Berechnung des AUROC Wertes wird ein Vergleich der Lage der Rutschungspunkte und der Nicht-Rutschungspunkte mit der Verteilung der modellierten Gefährdung durch Rutschungen durchgeführt. Dazu wird eine Stichprobe von den Daten zur Modellierung entfernt, welche dann als unabhängige Teststichprobe zur Überprüfung der Modellgüte dient. Der AUROC Wert ist umso höher je mehr Rutschungen sich auch in Bereichen hoher modellierter Gefährdung befinden, und desto mehr Punkte außerhalb von Rutschungen sich in Bereichen geringer Gefährdung befinden. Dieses statistische Gütemaß kann Werte zwischen 0 und 100 annehmen, wobei Werte kleiner 50 bedeuten, dass die Karte sowohl Rutschungspunkte als auch Punkte außerhalb von Rutschungen in Gebieten aufweist, für die eine sehr geringe Gefährdung (Rutschungspunkte), oder auch sehr hohe (Nicht-Rutschungspunkte) modelliert wurde. Die Verteilung der Punkte wäre demnach zufällig und zusammenhangslos. Werte zwischen 70 und 100 zeigen eine gute, Werte nahe 100 eine sehr gute Güte des Modells an. In diesen Fällen stimmen zum einen die Rutschungspunkte sehr gut mit der modellierten hohen Gefährdung und zum anderen die Punkte außerhalb von Rutschungen sehr gut mit der modellierten niedrigen Gefährdung überein (BRENNING, 2005).

Die **Unterschiede** der beiden Modellierungsmethoden liegen in der Aufbereitung der unabhängigen Variablen, in der Auswahl der Variablen und in den Details der Berechnung selbst. Die Eingangsparameter müssen für die Verwendung in der WofE Methode klassifiziert werden, z.B. wurde der Parameter zur Hangneigung in 5° Schritten in Klassen unterteilt. Die Variablenauswahl, also welches Set von Variablen die Gefährdung durch Rutschprozesse am besten beschreibt, erfolgte in der WofE wissensbasiert nach Experteneinschätzung für jede lithologische Einheit.

Im Gegensatz dazu wurden die Eingangsparameter bei beim GAM unklassifiziert in das Modell aufgenommen, da für diese Methode eine Klassifizierung von Nachteil ist. Auch wurde die Variablenauswahl automatisiert vom Modell durchgeführt, um eine gewisse Subjektivität in der Auswahl der Variablen zu vermeiden. Des Weiteren kann so auch die Anzahl von Variablen minimiert werden, sodass das Modell exakt so viele Variablen enthält, wie notwendig sind um eine gute Modellgüte zu erreichen, aber das Modell nicht durch die Aufnahme sehr vieler Variablen zu komplex wird.

Klassifizierung

In der Gefährdungsmodellierung war es das Ziel für die jeweilige Methode die beste Parameterkombination (in jeder Modellierungseinheit) festzustellen und darauf basierend die für NÖ am besten geeignete Karte zu erzeugen. Nach dem Verknüpfen aller einzelnen Karten der lithologischen Einheiten unter Berücksichtigung deren relativer Gefährdung mussten die Karten klassifiziert werden, da diese Gefahrenhinweiskarten auch mit Handlungsempfehlungen vor dem Widmungsvorhaben in Verbindung stehen. In den Projektsitzungen haben sich alle Projektpartner und Auftraggeber auf die Verwendung von drei Klassen geeinigt, da so mit jeder Klasse eine klar unterscheidbare Handlungsempfehlung abgegeben werden kann.

Zur besseren Orientierung und einfacheren Interpretation der Karten wurde für jede Klasse auch der Anteil von kartierten Rutschungsanrissen ermittelt. Die Auswahl der Klassengrenzen hatte zum Ziel den Anteil von Rutschungen in der geringen Gefährdungsstufe so gering als möglich und den Anteil von Rutschungen in der höchsten Gefährdungsstufe so groß wie

möglich zu halten. Gleichzeitig sollten aber die hoch gefährdeten Flächen einen möglichst geringen Flächenanteil in Niederösterreich einnehmen. So wurden verschiedene Klassengrenzen getestet und auch visuell hinsichtlich deren geomorphologischen Güte beurteilt. Geomorphologische Güte meint, dass die Karten aus der Gebietskenntnis der Geomorphologen/Geologen sinnvoll erscheinen, also keine hoch gefährdeten Bereiche auf flachen Gebieten oder Kämmen liegen. Des Weiteren mussten die Karten auch raumplanerisch sinnvoll und einfach anwendbar erscheinen. Hier wurden größere, geschlossene Flächen, welche einer einzelnen Klasse zugeordnet sind, kleineren Flächen mit einem hohen Grad der Zerstückelung und vielen vereinzelt Pixeln vorgezogen. All dies wurde in 17 Prüfgebieten verstreut über alle lithologischen Einheiten überprüft und verglichen.

Die Benennung der drei Gefährdungsklassen erfolgte nach der Handlungsanweisung für die Bürgermeisterin, den Bürgermeister:

- „Nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung“ – dies entspricht der geringsten Gefährdung
- „Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung“ – dies entspricht einer mittleren Gefährdung
- „Genaue Erkundung unverzichtbar“ – dies entspricht einer hohen Gefährdung

Diese Klassen geben Auskunft über die korrekte Vorgehensweise vor Widmungs- oder Baumaßnahmen. Wobei auch die Zuständigkeiten für die unterschiedlichen Handlungen geklärt werden. Für Vorbegutachtungen ist der geologische Dienst (Amt der NÖ Landesregierung) zuständig wohingegen für genaue Erkundungen Gutachten erforderlich sind, die durch eine/n zertifizierte/n Fachmann/frau für Geologie und/oder Geotechnik erstellt werden müssen.

Blindtest

Die Gefahrenhinweiskarte die nach den Tests zur Klassifizierung für die jeweilige Modellierungsmethode erstellt wurde, wurde in einem Blindtest den Auftraggebern präsentiert. Im Zuge dieses Blindtests wurden die Modellierungsmethoden mit Farben anstatt von Namen versehen, so dass die Identität der Methode nicht offensichtlich war. Die Auftraggeber sollten sich anhand der statistischen Gütemaße, der geomorphologischen Güte der Karten und deren Anwendbarkeit in der Raumplanung und anhand der lokalen Geländekennntnis der dargestellten Kartenausschnitte für eine der beiden Methoden entscheiden. Dazu wurden alle 17 Prüfgebiete von den Auftraggebern betrachtet und detailliert ausgewertet.

3. Ergebnisse

Die Modellierung der Gefahrenhinweiskarte konnte für jede Methode in jeder lithologischen Einheit erfolgreich angepasst und durchgeführt werden. Die Ergebnisse zeigen, dass in jeder lithologischen Einheit unterschiedliche unabhängige Variablen die charakteristischen Eigenschaften des Auftretens von Rutschungen beschreiben konnten. Einzig die Variable zur Hangneigung wurde in allen Einheiten in beiden Modellansätzen verwendet. Weitere wichtige Eingangsparameter waren die Wölbung, der topographische Feuchtigkeitsindex, die Einzugsgebietsgröße, die euklidische Distanz zu Deckengrenzen und das Gesamtporenvolumen (0cm-20cm) (BELL et al., 2013).

Die finalen Klassengrenzen wurden für WofE und GAM unterschiedlich als am besten für NÖ geeignet von den jeweiligen Modellierern ausgewählt. In den Gefahrenhinweiskarten der WofE sind 6% der Rutschungsanrisse in der geringsten Gefährdungsklasse und 63% der Rutschungsanrisse in der höchsten Gefährdungsklasse. Bei den aus der Verwendung von GAM resultierenden Gefahrenhinweiskarten liegen 5% der Rutschungsanrisse in der geringsten Gefährdungsklasse und 70% der Rutschungsanrisse in der höchsten Gefährdungsklasse. Diese Gefährdungsklassen bedecken in beiden Modellierungsansätzen jeweils 75% (gering) und 6% (hoch) des gesamten Untersuchungsgebiets. Daraus kann man schließen,

dass es mittels GAM gelungen ist deutlich mehr Rutschungsanrisse in die gleich große Fläche der höchsten Gefährdungsklasse zu fassen.

Die Ergebnisse der mehrfachen Kreuzvalidierung zeigen, dass generell beide Modelle mit den gegebenen Daten in jeder lithologischen Einheit eine gute Modellgüte aufweisen. Der Median des AUROC Wertes berechnet für alle lithologischen Einheiten gesamt liegt für WofE bei 89,1 und für GAM bei 91,1. Dies zeigt das statistisch gesehen beide Modelle eine ähnlich gute Performance aufweisen. Dies bedeutet, dass es mit beiden Modellen gelungen ist, die Rutschungen, welche in der unabhängigen Teststichprobe enthalten waren, „vorherzusagen“.

Dementsprechend war beim Blindtest die geomorphologische und raumplanerische Plausibilität der Karten entscheidend. Die Raumplaner und Geologen der NÖ Landesregierung haben sich dabei u.a. aufgrund der besseren Darstellung von homogenen Flächen je Klasse für die Gefahrenhinweiskarten resultierend aus der Methode der generalisierten additiven Modelle (GAM) entschieden (Abbildung 3). Dieses Ergebnis resultiert aus der Berücksichtigung der besonderen Gegebenheiten in Niederösterreich und ist daher gegebenenfalls nur in Bezug auf dieses Untersuchungsgebiet in dieser Form gültig.

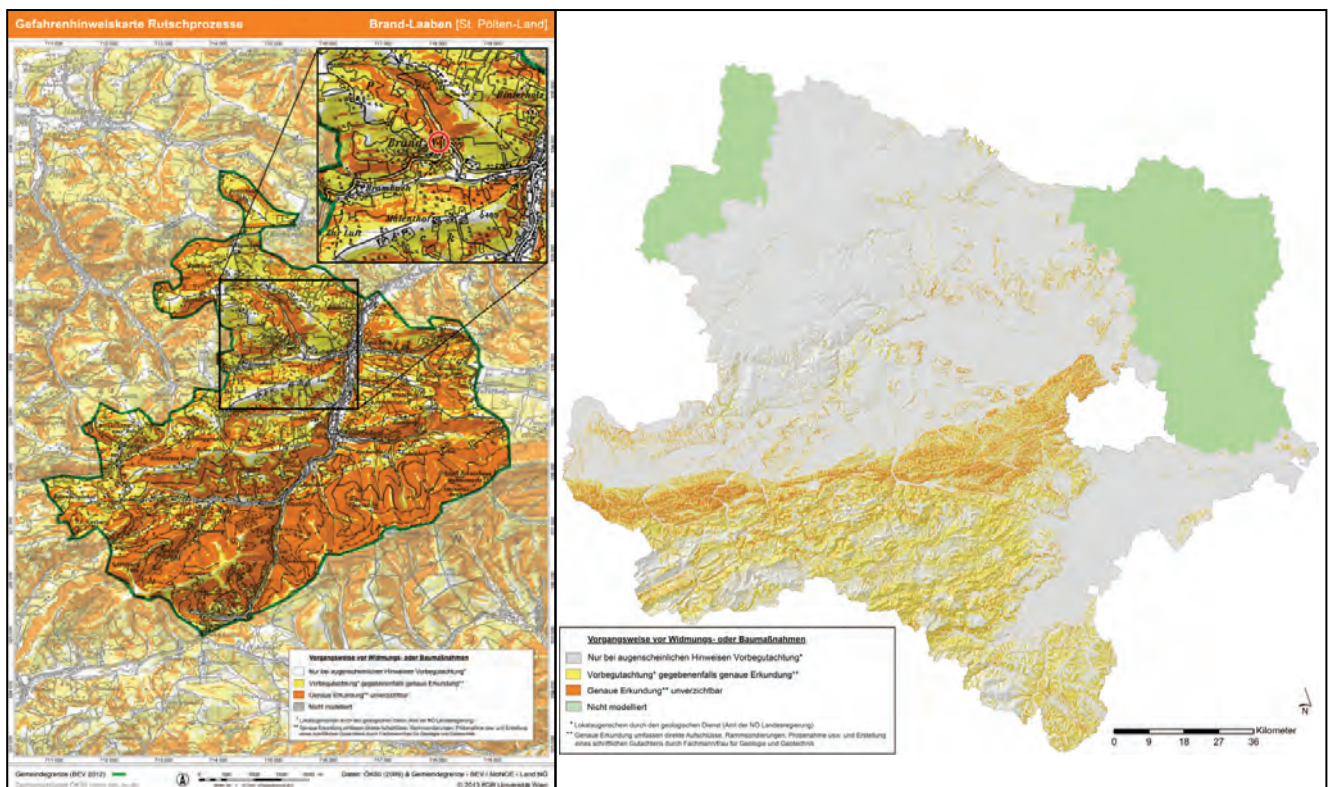


Abb. 3: Links: Beispiel der finalen Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse für die Gemeinde Brand-Laaben im Bezirk St. Pölten Land. Der rote Kreis markiert eine Rutschung aus dem Jahr 2010 (GLADE et al., 2013). Rechts: Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse in Niederösterreich (Bearbeitungsstand März 2013, bis Frühjahr 2014 sollen auch die übrigen Bezirke modelliert werden)

4. Was ermöglicht die Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse, und was ermöglicht sie nicht?

Die Limitierungen der Gefahrenhinweiskarte sind vielfältig, da diese Modellierung, wie auch jede andere Modellierung, mit Unsicherheiten und Annahmen in Verbindung steht. In diesem Beitrag werden einige Limitierungen aber auch Stärken bezüglich des Einsatzes in der Praxis aufgeführt, die besonders bei der Interpretation der Karten berücksichtigt werden müssen.

Daten: Jedes Modell ist nur so gut wie die zugrundeliegenden Daten. Hier spielt vor allem die Vollständigkeit einerseits des Inventars und andererseits der unabhängigen (erklärenden) Variablen eine große Rolle (GUZZETTI et al., 2006). Die Frage der Vollständigkeit der Inventare wird in der Wissenschaft immer noch viel untersucht, da besonders die Art und Lokalität der Unvollständigkeit von großem Interesse ist. Eine Einschränkung aller Inventare ist, dass diese nur Rutschungen enthalten können welche auch dokumentiert wurden oder zum Zeitpunkt der Aufnahme noch sichtbar sind (MALAMUD et al., 2004). So wurde in Waidhofen/Ybbs festgestellt, dass einige Rutschungen schon innerhalb eines Jahres nicht mehr auf den Schummerungen es LiDAR DGMS sichtbar sind und diese daher nicht kartiert werden können, wenn nur diese Datenbasis verfügbar ist (BELL et al., 2012). Dies hat aber nur dann Auswirkungen auf die Modellierung, wenn dieses „Verschwinden“ der Rutschungen verstärkt in einem begrenzten Gebiet, oder in einer lithologischer Einheit auftritt. Wenn dies der Fall wäre, würden die Modellierungsergebnisse dadurch verzerrt (PETSCHKO et al., 2013). Leider sind dazu aber keine Informationen oder Daten verfügbar. Daher kann nur angenommen werden, dass das Inventar unvollständig ist. Vor allem Inventare, die direkt in Folge von Rutschereignissen entstehen, (z.B. wie nach Juni 2009) und eine hohe Lagegenauigkeit und Information zur Lage des Punktes aufweisen sind hier von großem Vorteil. Derlei Inventare können sehr gut für weiterführende Analysen unter anderen zu Niederschlagsschwellenwerten des Auftretens von Rutschprozessen verwendet werden.

Wirkungsbereich: Trotz dieser vermuteten Lücken kann durch die Modellierung in weiten Bereichen wo keine Rutschprozesse bekannt sind eine Gefährdung gegenüber Rutschprozessen aufgezeigt werden. Jedoch ist der Wirkungsbereich (der Ablagerungsbereich) von Rutschungen nur bedingt in den Gefahrenhinweiskarten abgedeckt. Es wird deshalb eine Betrachtung der Gefährdung der Gebiete hangaufwärts bzw. hangabwärts empfohlen.

Gefährdung: Die Ergebnisse der Klassifikation der Karte zeigen deutlich, dass selbst in der Klasse der geringsten Gefährdung 5% der Rutschungen kartiert sind und somit auch in dieser Klasse Rutschungen auftreten können. Es wird betont, dass die Gefahrenhinweiskarten über das Vorhandensein einer Gefährdung weder eine verbindliche Auskunft geben noch eine Gefährdung verbindlich ausschließen können.

Detailgrad: Des Weiteren kann die Gefahrenhinweiskarte räumlich flächendeckend aufzeigen wo Rutschprozesse potenziell auftreten können, jedoch ist aufgrund der Bearbeitungsmethode eine Interpretation der Karten auf dem Detailgrad einzelner Parzellen nicht zulässig. Dies geht auf die bestehenden Unsicherheiten im Modell und auch in der Klassifizierung der Karte zurück. Ihre Aussage wurde für den Maßstab 1:25.000 optimiert und beschränkt sich darauf. Auch eine Vergrößerung eines Kartenausschnitts ändert nichts an der Aussagekraft. Zusätzlich ersetzt die Gefahrenhinweiskarte kein Gutachten über die Hangstabilität eines einzelnen Hanges (welche üblicherweise im Maßstab 1:1.000 erstellt werden).

Größe und Zeitpunkt: Die Gefahrenhinweiskarten geben ausschließlich darüber Auskunft, wo zukünftig mit Rutschungen zu rechnen ist. Eine Aussage über die Größe des Ereignisses oder den Zeitpunkt des Eintretens des Ereignisses ist nicht ableitbar.

5. Schlussfolgerungen

Trotz der bestehenden Einschränkungen und der in den Gefahrenhinweiskarten enthaltenen Unsicherheiten tragen diese Karten wesentlich dazu bei, potenziell gefährdete Gebiete flächendeckend zu erfassen und darauf basierend bei korrekter Anwendung der Karten erfolgreich die zukünftigen Risiken und Schäden zu minimieren oder sogar ganz zu vermeiden. Des Weiteren sind diese Karten ein wichtiger Schritt in Richtung einer Bewusstseinsbildung gegenüber der Gefährdung von Rutschungen.

6. Literatur

- BELL, R., PETSCHKO, H., RÖHRS, M. & DIX, A. (2012): Assessment of landslide age, landslide persistence and human impact using airborne laser scanning digital terrain models. *Geogr. Ann. Ser. Phys. Geogr.* 94, 135–156.
- BELL, R., PETSCHKO, H., PROSKE, H., LEOPOLD, P., HEISS, G., BAUER, C., GOETZ, J.N., GRANICA, K. & GLADE, T. (2013): Methodenentwicklung zur Gefährdungsmodellierung von Massenbewegungen in Niederösterreich MoNOE - Vorläufiger Endbericht (Projektbericht). Universität Wien, Wien.
- BONHAM-CARTER, G.F., AGTERBERG, F.P. & WRIGHT, D.F. (1989): Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential. In: *Statistical Applications in Earth Sciences*. Geological Survey of Canada, Canada, pp. 171–183.
- CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996): Landslide types and processes. In: TURNER, A.K., SCHUSTER, R.L. (Eds.), *Landslides, Investigation and Mitigation*. National Academy Press, Washington, D.C., pp. 36–75.
- DIKAU, R. & GLADE, T. (2002): Gefahren und Risiken durch Massenbewegungen. *Geogr. Rundsch.* 54, 38–45.
- DIKAU, R., BRUNSDEN, D., SCHROTT, L. & IBSEN, M.L. (Eds.) (1996): *Landslide recognition: identification, movement, and causes*. Wiley, Chichester.
- GLADE, T., PETSCHKO, H., BELL, R., BAUER, C., GRANICA, K., HEISS, G., LEOPOLD, P., POMAROLI, G., PROSKE, H. & SCHWEIGL, J. (2012): Landslide susceptibility maps for Lower Austria - Methods and Challenges. In: KOBOLTSCHNIG, G., HÜBL, J. & BRAUN, J. (Eds.), *Interpraevent Conference Proceedings*. Presented at the 12th Congress Interpraevent 2012, International Research Society INTERPRAEVENT, Grenoble, France, pp. 497–508.
- GLADE, T., PETSCHKO, H., BELL, R., LEOPOLD, P. & PROSKE, H. (2013): "MoNOE" - Das Projekt: Gefahrenhinweiskarten für gravitative Massenbewegungen in NÖ. *Raumdialog - Mag. Für Raumplan. Reg. Niederösterreich* 2, 14–17.
- GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., ARDIZZONE, F., CARDINALI, M. & GALLI, M. (2006): Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81, 166–184.
- HASTIE, T. & TIBSHIRANI, R. (1990): *Generalized additive models*, Monographs on Statistics and Applied Probability. Chapman & Hall/CRC, London.
- KOCIU, A., KAUTZ, H., TILCH, N., GRÖSEL, K., HEGER, H. & REISCHER, J. (2007): Massenbewegungen in Österreich. In: *Jahrbuch Der Geologischen Bundesanstalt, Festschrift Zum 65. Geburtstag von HR Univ.-Prof. Dr. Hans Peter Schönlaub*, Direktor Der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Bundesanstalt, Wien, pp. 215–220.
- MALAMUD, B.D., TURCOTTE, D.L., GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. (2004): Landslide inventories and their statistical properties. *Earth Surf. Process. Landforms* 29, 687–711.
- PETSCHKO, H., GLADE, T., BELL, R., SCHWEIGL, J. & POMAROLI, G. (2010): Landslide inventories for regional early warning systems. In: MALET, J.P., GLADE, T., CASAGLI, N. (Eds.), *Presented at the Mountain Risks: Bringing Science to Society*, CERIG Editions, Strasbourg.
- PETSCHKO, H., BELL, R., BRENNING, A. & GLADE, T. (2012): Landslide susceptibility modeling with generalized additive models - facing the heterogeneity of large regions. In: EBERHARDT, E., FROESE, C., TURNER, A.K. & LEROUEIL, S. (Eds.), *Landslides and Engineered Slopes, Protecting Society through Improved Understanding*. Presented at the 11th International Symposium on Landslides and 2nd North American Symposium on Landslides, Taylor & Francis, Banff, Alberta, Canada, pp. 769–777.

PETSCHKO, H., BRENNING, A., BELL, R., GOETZ, J.N. & GLADE, T. (2013): Assessing the quality of landslide susceptibility maps - case study Lower Austria. Nat Hazards Earth Syst Sci Discuss. 1, 1001–1050.

POMAROLI, G., BELL, R., GLADE, T., HEISS, G., LEOPOLD, P., PETSCHKO, H., PROSKE, H. & SCHWEIGL, J. (2011): Darstellung der Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen im Bundesland Niederösterreich als Grundlage der Raumplanung. Wildbach- Lawinenverbau Z. Für Wildbach- Lawinen- Erosions- Steinschlagschutz, Gefahrendarstellungen für Massenbewegungen 74, 198–212.

RUDOLF-MIKLAU, F. (2007): Austrian Service for Torrent and Avalanche Control. Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Vienna.

SCHWEIGL, J. & HERVÁS, J. (2009): Landslide Mapping in Austria (JRC Scientific and Technical Reports No. EUR23785EN - 2009), JRC Scientific and Technical Reports. European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Italy.

SCHWENK, H. (1992): Massenbewegungen in Niederösterreich 1953 - 1990. In: Jahrbuch Der Geologischen Bundesanstalt. Geologische Bundesanstalt, Wien, pp. 597–660.