

Berichte der Geologischen Bundesanstalt, Band 100



NÖ GEOTAGE

„Geogene Gefahren und Raumordnung“

19. und 20. September 2013

Rabenstein an der Pielach

 Geologische Bundesanstalt

 **FORUM** **ROHSTOFFE**
MINERALISCHE
BASIS UNSERES LEBENS

Titel: Geogene Gefahren und Raumordnung

Berichte der Geologischen Bundesanstalt <ISSN 1017-8880>, **100**

Impressum:

Alle Rechte für das In- und Ausland vorbehalten

© Geologische Bundesanstalt, Wien

Redaktion: Harald Steininger

Medieninhaber, Herausgeber und Verleger:

Geologische Bundesanstalt

Neulinggasse 38

A 1030 Wien

www.geologie.ac.at

Druck: Riegelnik, Offsetschnelldruck, A 1080 Wien, Piaristengasse 19

Ziel der „*Berichte der Geologischen Bundesanstalt* <ISSN 1017-8880>“ ist die Verbreitung wissenschaftlicher Ergebnisse durch die Geologische Bundesanstalt.

Die „*Berichte der Geologischen Bundesanstalt*“ sind nicht im Handel erhältlich.

Inhalt

Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen Michael LOTTER & Alexandra HABERLER.....	5
Beispiele aus Niederösterreich: Felssturz Dürnstein/ Wachau – Das schwere Erbe der Biratalwand Martin MÜLLEGGER.....	18
Beispiele aus Niederösterreich: Hangbewegungen Regelsbrunn, Gemeinde Scharndorf Andreas HAUSENBERGER & Dietmar ADAM	21
Beispiele aus Niederösterreich: Die Steinschlagalerie Hohe Wand Alfred FASCHING	28
Gefahr, Risiko, Schaden... – Klärung der Begriffe Rainer POISEL.....	29
Nutzung der Landschaft – Raumordnung und gravitative Naturgefahren Arthur KANONIER.....	35
Der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung Helmut AIGNER	40
Gefahren(hinweis)karten für gravitative Massenbewegungen (Hangrutschungen und Hangmuren) – Herausforderungen, Limitierungen, Chancen Nils TILCH, Leonhard SCHWARZ & Edmund WINKLER.....	47
Gefährdungsmodellierung bei gravitativen Massenbewegungen Rainer BELL, Helene PETSCHKO & Thomas GLADE.....	54
Modellierung der Hangrutschungsgefährdung unter dem Aspekt von Klimaänderungen am Beispiel Nördlicher Wienerwald Bettina NEUHÄUSER, Bodo DAMM & Birgit TERHORST	61
Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, Beispiele aus Österreich: Burgenland Philip LEOPOLD & Peter ZINGGL.....	66
Beispiele aus Österreich: Kärnten - Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten für Steinschläge und Rutschungen als Werkzeug für nachhaltige Raumplanung in Kärnten Richard BÄK.....	70
MoNOE – Modellierung der Rutschprozesse Helene PETSCHKO, Rainer BELL, Thomas GLADE, Jason GOETZ, Gerhard HEISS & Philip LEOPOLD.....	77
MoNOE – Modellierung der Sturzprozesse Herwig PROSKE & Christian BAUER.....	87
MoNOE – geogene Gefahrenhinweiskarten für NÖ – Umsetzung, Erfahrungen und Ausblick Joachim SCHWEIGL & Gilbert POMAROLI.....	93

Verzeichnis der ReferentInnen	97
Programm	102

Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen

Michael LOTTER & Alexandra HABERLER

1. Geogene Naturgefahren in Österreich

Österreich ist ein Land mit einer erdgeschichtlich überwiegend jungen und fortlaufenden Reliefentwicklung, bedingt durch die alpidische Gebirgsbildung wie auch durch die damit verknüpften Folgen der klimatischen Entwicklung im Quartär (eiszeitliche und postglaziale Überprägung). Das daraus resultierende alpine Relief und die damit zusammenhängende Landschaftsentwicklung des alpinen Vorlandes sind die wichtigsten Grundvoraussetzungen für eine naturgegeben hohe Disposition für geogene Naturgefahren.

In erster Linie sind hier die gravitativen Massenbewegungen (z. B. Felssturz, Steinschlag, Rutschungen, Hangmuren, Kriechmassen/Sackungen) zu nennen, die nicht nur in den Ost- und Südalpen, sondern auch in der Böhmisches Masse und in der Hügellandschaft der inner- und randalpinen Tertiärgebiete (z. B. Teile der Molassezone, Steirisches Becken) eine wesentliche gefahrenrelevante Prozessgruppe darstellen.

Aber auch andere natürliche Phänomene und Prozesse stehen direkt mit dem geologischen und tektonischen Bau unserer Landschaft im Kontext. Diese können zudem einen ursächlichen Einfluss auf gravitative Massenbewegungen haben.

Dazu gehören vor allem die seismisch aktiven Zonen entlang der großen Störungssysteme in den Ostalpen (v. a. Inntal, Lavanttal, Ennstal, Mur-/Mürztal), die Grenze zum Südalpin in den Karawanken (Periadriatisches Lineament), aber auch außeralpine Zonen wie die Störungssysteme im südlichen Wiener Becken oder am Ostrand der Böhmisches Masse (Dien-dorfer Störung). Neben durchaus häufigen leichten Erdbeben können sich, zwar eher selten, gerade auch in Niederösterreich stärkere Erdbeben ereignen (z. B. Schwadorf 1927, Seebenstein 1972; siehe auch die Homepage der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: www.zamg.ac.at). Diese können, neben den primär durch die Erdbebenwellen verursachten Schäden, gravitative Massenbewegungen induzieren bzw. unmittelbar auslösen, wie z. B. beim Puchberg-Erdbeben 1939 (Felssturz Losenheim; HAMMERL & LENHARDT, 1997) oder bei den bekannten Beispielen der Friaul-Starkbeben von 1348 (Dobratsch-Bergsturz Rote Wand; GÖRLICH et al., 1948, ROHR, 2007, TILL, 1907) und von 1976 (zahlreiche, meist kleinere Felsstürze auch im Grenzgebiet zu Kärnten).

Eine weitere, direkt geologisch bedingte Naturgefahr ist die Erdfall-Problematik durch physikalische oder chemische Verwitterungsprozesse im Untergrund. So ist z. B. im Westen Österreichs – im Tiroler Außerfern wie auch im Unterinntal – die Auslaugung gipsführender Gesteine („Gipskarst“) von durchaus baugeologischer Brisanz. Rein anthropogen bedingt hingegen ist die Tagbruch-Problematik von Stollen und Hohlräumen als Folge bergmännischer Abbaue, wobei auch diese die Entwicklung gravitativer Massenbewegungen in vielfältiger Weise begünstigen können.

Nur mittelbar mit den geologischen Verhältnissen in Verbindung stehen rein Wetter- bzw. Klima-induzierte Naturgefahren wie Hochwasser-, Sturm- und Lawinenereignisse. Anzumerken ist, dass auch bei diesen Prozessen vielfach ein Kontext zu gravitativen Massenbewegungen besteht:

- Der linienhafte (Erosion) und flächenhafte (Denudation) Bodenabtrag durch Wasser wird neben grundsätzlichen geologischen und pedologischen Voraussetzungen (z. B. häufig in Löss- bzw. Lösslehm-Bedeckungen oder in Verwitterungsdecken tertiärer feinklastischer Gesteine) auch durch den anthropogenen Faktor der Landnutzung (z. B. Wald/Buschwerk vs. landwirtschaftlicher Nutzflächen) gesteuert. Bei vorliegender geolo-

gischer Grunddisposition sind gerade bei Starkniederschlagsereignissen die plötzliche Sedimentausspülung, der schnelle Transport und die unkontrollierte Akkumulation der Sedimentfracht eine nicht zu unterschätzende Naturgefahr.

- Auch durch rezenten Lawinen- und Schneeschurf werden Lockersubstrat erodiert und erhebliche Hangschuttmassen umgelagert (z. B. „Lawinenwälle“). Diese Abtragsprozesse treten auch in Kombination mit flachgründigen Rutschungen auf.
- Starke Stürme (z. B. das Sturmtief „Paula“ 2008 und die Orkane „Emma“ 2008 und „Kyrill“ 2007) haben in jüngster Zeit u. a. in Niederösterreich, Oberösterreich, in der Steiermark und in Kärnten enorme Waldschäden durch Windwurf angerichtet. Auch bei derartigen Ereignissen können Steine und größere Blöcke durch Baum- bzw. Wurzelbewegungen herausgelöst werden und Steinschlag, Blockschlag und kleinere Felsstürze zur Folge haben.

Komplexe Zusammenhänge bestehen ferner zwischen dem als Regen oder Schnee fallenden Niederschlag mit Hochwässern und gravitativen Massenbewegungen. Bei Hochwässern als rein hydrologische Prozesse sind im Wesentlichen die mit lokalen Starkniederschlägen verbundene Wildbach- bzw. Muren-Problematik (teils extrem kurze Anlaufzeit der Scheitelwelle) und die mit längeren und großräumigeren Niederschlägen verbundene Hochwasser-Problematik der Alpenhaupttäler (z. B. Inn, Enns) sowie vor allem des Vorlandes (Donau, March) zu differenzieren. Die verschiedensten Typen gravitativer Massenbewegungen (z. B. Felsstürze, Rutschungen, Hangmuren) wiederum werden in unterschiedlichster Dimension durch die Menge, die Intensität und die Dauer des Niederschlages entweder unmittelbar ausgelöst oder – vielfach unbemerkt – längerfristig getriggert. Direkte Wechselwirkungen der gravitativen Massenbewegungen mit Hochwässern (z. B. Anstieg Hang-/Grundwasserspiegel, Hangunterschneidung durch fluviale Erosion) bestehen hier ebenfalls.

2. Systematik der gravitativen Massenbewegungen

Zur Klassifikation von gravitativen Massenbewegungen findet sich in der Fachliteratur eine Vielzahl an unterschiedlichen Ansätzen (ZANGERL et al., 2008; siehe dort die diesbezügliche Diskussion und weitere Literatur), welchen beispielsweise geomorphologische Kriterien, die Art der Bewegung (Kinematik) oder die Hangaktivität (Bewegungsgeschwindigkeit) als primäres Kriterium zugrunde liegen.

Gerade im deutschen Sprachraum existieren daher sehr unterschiedliche Begriffsbenennungen, die bei ihrer Verwendung in einschlägigen Pressemeldungen häufig zu einem für den Laien nur mehr schwer verständlichen „Wirrwarr“ an Bezeichnungen führen. Selbst innerhalb der Geowissenschaftler herrscht häufig Uneinigkeit über das diesbezügliche Fachvokabular.

Ein typisches Beispiel hierfür ist die uneinheitliche Definition des allgemein bekannten Begriffes „Bergsturz“, der im deutschsprachigen Raum in aller Regel zum kleineren „Felssturz“ über die Kubatur (Volumen) abgegrenzt wird (die maßgebliche englischsprachige Literatur kennt diese Unterscheidung beispielsweise nicht). ABELE (1974) definiert Bergstürze als „Fels- und Schuttbewegungen, die mit hoher Geschwindigkeit (in Sekunden oder wenigen Minuten) aus Bergflanken niedergehen und im Ablagerungsgebiet ein Volumen von über einer Million Kubikmeter besitzen oder eine Fläche von über 0,1 km² bedecken“. GOTTSCHLING (2006) hingegen, der Beispiele signifikanter Massenbewegungen in Niederösterreich beschreibt, definiert den „Bergsturz“ bei gleichem Prozessablauf wie auch bereits SCHWENK (1992; mit zahlreichen Beispielen gravitativer Massenbewegungen in Niederösterreich) ab einer Kubatur von „lediglich“ mehr als 10.000 Kubikmeter Gestein. Wiederum anders sieht es LATELTIN (1997), für den der „Bergsturz“ bei mehr als 100.000 Kubikmeter beginnt. Hier zeigt sich, dass selbst unter Experten, wohl nicht zuletzt in Abhängigkeit vom eigenen Erfahrungsschatz, eine sehr unterschiedliche Wahrnehmung existiert.

Ebenfalls typisch für den uneinheitlichen deutschsprachigen Fachwortschatz ist die Verwendung deskriptiv-geomorphologischer Begriffe wie „Sackung“ oder „Talzuschub“ (z. B. STINI, 1941, ZISCHINSKY, 1969, POISEL, 1998, WEIDNER, 2000) die teilweise auch zur Beschreibung kinematischer Aspekte herangezogen werden (vgl. Diskussion in ZANGERL et al., 2008). Diese Begriffe finden sich im angloamerikanischen Fachwortschatz entweder gar nicht oder mehr oder weniger (un)glücklich übersetzt (z. B. „sagging“, „valley close-up“). Allerdings können diese Begriffe genauso wie die Bezeichnungen „Bergzerreißung“ (AMPFERER, 1939) oder „Geomechanik-System Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988, 1989) – und natürlich auch der „Bergsturz“ – der international letztendlich maßgeblichen prozessorientierten Klassifikation von Massenbewegungen unter- bzw. zugeordnet werden.

Die unten angeführte prozessorientierte Klassifikation von Massenbewegungen beruht im Wesentlichen auf den Arbeiten von VARNES (1978), HUTCHINSON (1988) sowie CRUDEN & VARNES (1996). Sie unterscheidet zum einen nach der Art des Materials (Fels oder Boden im geotechnischen Sinne) und zum anderen nach dem Bewegungstyp, wobei hier

- Fallen (Stürzen)
- Kippen
- Gleiten (translatorisch, rotatorisch)
- Driften
- Fließen (inklusive Kriechen)
- Komplexe Bewegungen (Kombination von mindestens zwei der voranstehend genannten Prozesse)

zu differenzieren sind (Abb. 1).

TYPE OF MOVEMENT		TYPE OF MATERIAL		
		BEDROCK	ENGINEERING SOILS	
			Predominantly coarse	Predominantly fine
FALLS		Rock fall	Debris fall	Earth fall
TOPPLES		Rock topple	Debris topple	Earth topple
SLIDES	ROTATIONAL	Rock slide	Debris slide	Earth slide
	TRANSLATIONAL			
LATERAL SPREADS		Rock spread	Debris spread	Earth spread
FLOWS		Rock flow (deep creep)	Debris flow	Earth flow (soil creep)
COMPLEX		Combination of two or more principal types of movement		

Abb. 1: Typen gravitativer Massenbewegungen, vereinfacht nach VARNES (1978); aus USGS Fact Sheet 2004-3072 (2004).

2.1. Fallen (auch: Stürzen; engl.: Fall)

Sturzprozesse entstehen durch Ablösen von Fest- und/oder Lockergestein von einer steilen Hangfläche, wobei keine oder nur geringe Scherbewegungen auftreten (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 2). Charakteristisch ist der Bewegungsablauf mit vorwiegend freiem Fall, Springen und Rollen des Materials bei hoher Geschwindigkeit. Der initiale Ablösevorgang aus dem Gesteinsverband vom einzelnen Kluftkörper bis zu größeren zusammenhängenden Felsmassen ist dabei häufig durch kippende oder gleitende Versagensmechanismen gekennzeichnet.

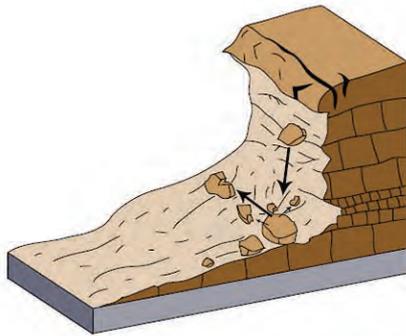


Abb. 2: Schematische Darstellung von Stein-/Blockschlag bzw. eines kleineren Felssturzes (HIGHLAND & BOBROWSKY 2008).

Zu den Sturzprozessen gehören Stein-/Blockschlag mit wenig bis keiner Interaktion zwischen den einzelnen Steinen/Blöcken sowie Felssturz und Bergsturz, jeweils mit mechanischer Interaktion respektive Fragmentierung einer anfangs zusammenhängenden Gesteinsmasse zu Steinen und Blöcken während des Sturzvorganges. Bereits HEIM (1932) unterteilt den Prozessraum in Abbruchgebiet (= Ablöse-/Herkunftsbereich), Sturzbahn (= Transportbereich) und Ablagerungsgebiet (= Akkumulationsbereich).

Am Beispiel „Bergsturz“ wurde die Problematik der Abgrenzung dieser Prozesse über mehr oder weniger exakte Angaben der Kubatur bereits erläutert. In den meisten Fällen spielt sich Stein-/Blockschlag im dm^3 - bis 10er m^3 -Bereich ab. Felsstürze sind dementsprechend durch Kubaturen von 10er m^3 bis mehrere 100.000 m^3 gekennzeichnet. Erst ab einer Größenordnung von 1 Mio. m^3 Gestein sollte tatsächlich von einem Bergsturz gesprochen werden, da nur bei sehr großen Kubaturen die charakteristischen großen Reichweiten auftreten. Diese sind vermutlich verbunden mit speziellen Bewegungsmechanismen der progressiven Materialzertrümmerung in der Masse während des Sturzvorganges (dynamische Fragmentierung; POLLET & SCHNEIDER, 2004, zitiert in GRUBER et al., 2009).

2.2. Kippen (engl.: Topple)

Kippen ist das Herauslösen von einer Fest- oder Lockergesteinsmasse durch Rotation aus dem Hang, wobei der Masseschwerpunkt über der Rotationsachse der kippenden Masse liegt (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 3). Kipp-Prozesse können auch durch Wasser- und Eisdruck sowie plastische Verformungen unterlagernder Gesteine ausgelöst werden. In Abhängigkeit der Topographie und der Raumstellung des Trennflächengefüges können sich Folgeprozesse wie Fallen oder Gleiten anschließen.

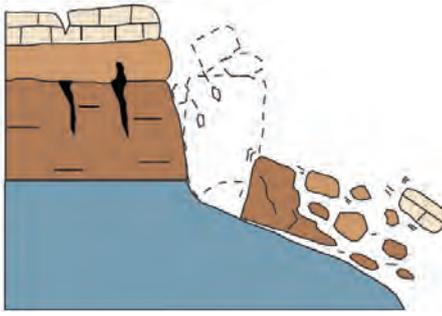


Abb. 3: Schematische Darstellung eines Kipp-Prozesses (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Wichtige Voraussetzung für die Entwicklung eines Kipp-Prozesses ist die Existenz einer dominanten, steil stehenden und (sub)parallel zum Hang streichenden Trennflächenschar. Prinzipiell wird zwischen Biegekippen (flexural toppling) inklusive Hakenwurf und Blockkippen (block toppling) unterschieden. Ersteres ist häufig in kristallinen Gesteinen (REITNER & LINNER, 2009; REITNER et al., 1993) oder in dünngebankten, mechanisch inkompetenten (resp. tektonisch beanspruchten) Sedimentgesteinen (GRUBER & LOTTER, 2012) vorzufinden. Letzteres tritt häufig am Rand der spröden Deckplatten im Geomechanik-System „Hart auf Weich“ auf (POISEL & EPPENSTEINER, 1989; siehe auch Kapitel 4).

2.3. Gleiten (engl.: Slide)

Gleitungen bzw. Rutschungen sind durch die Hangabwärtsbewegung von Locker- oder Festgestein entlang einer oder mehrerer diskreter Bewegungsflächen oder -zonen gekennzeichnet, in denen der Hauptanteil der Hangdeformation stattfindet (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 4 und Abb. 5). Unterschiedliche interne mechanische Eigenschaften der Trennflächen und/oder des Materials wie auch variierende Kluft- bzw. Porenwasserdrücke bedingen bei fortschreitender Bewegung Interndeformationen (Zerrstrukturen, Stauchungen, Teilabrisse/-überschiebungen), die zur Ausbildung von Teilschollen unterschiedlicher Geometrie und Bewegungsaktivität führen. Die Bewegung entlang einer zusammenhängenden Gleitzone entsteht dabei nicht plötzlich, sondern durch progressive Bruchprozesse, ausgehend von lokalen Schwächezonen. Im fortgeschrittenen Stadium können Gleitungen in Fließprozesse übergehen oder auch Fließprozesse (z. B. Erd- oder Schuttströme) als sekundäre (Teil-)Prozesse ausbilden.

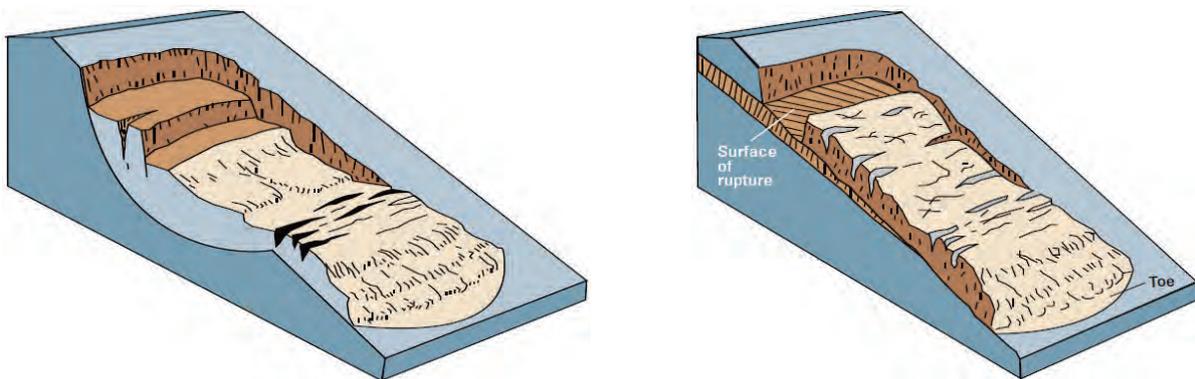


Abb. 4: Schematische Darstellung einer Rotationsgleitung (**links**) und einer Translationsgleitung (**rechts**) (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Gleitungen treten in unterschiedlichsten Dimensionen auf und können sich über wenige Meter bis hin zu einigen Kilometern erstrecken und Tiefgänge in der Größenordnung von einem Dezimeter bis mehrere 10er Meter (oder gar weit über hundert Meter) entwickeln. Genauso variabel ist die Bewegungsrate von wenigen Millimetern pro Jahr bis mehrere 10er Meter pro Sekunde.

ZANGERL et al. (2008) geben einen detaillierten Überblick über die unterschiedlichen Arten des Gleitens (Abb. 5), wobei die beiden Grundtypen Rotationsgleitung und Translationsgleitung als Endglieder aller Übergänge fungieren.

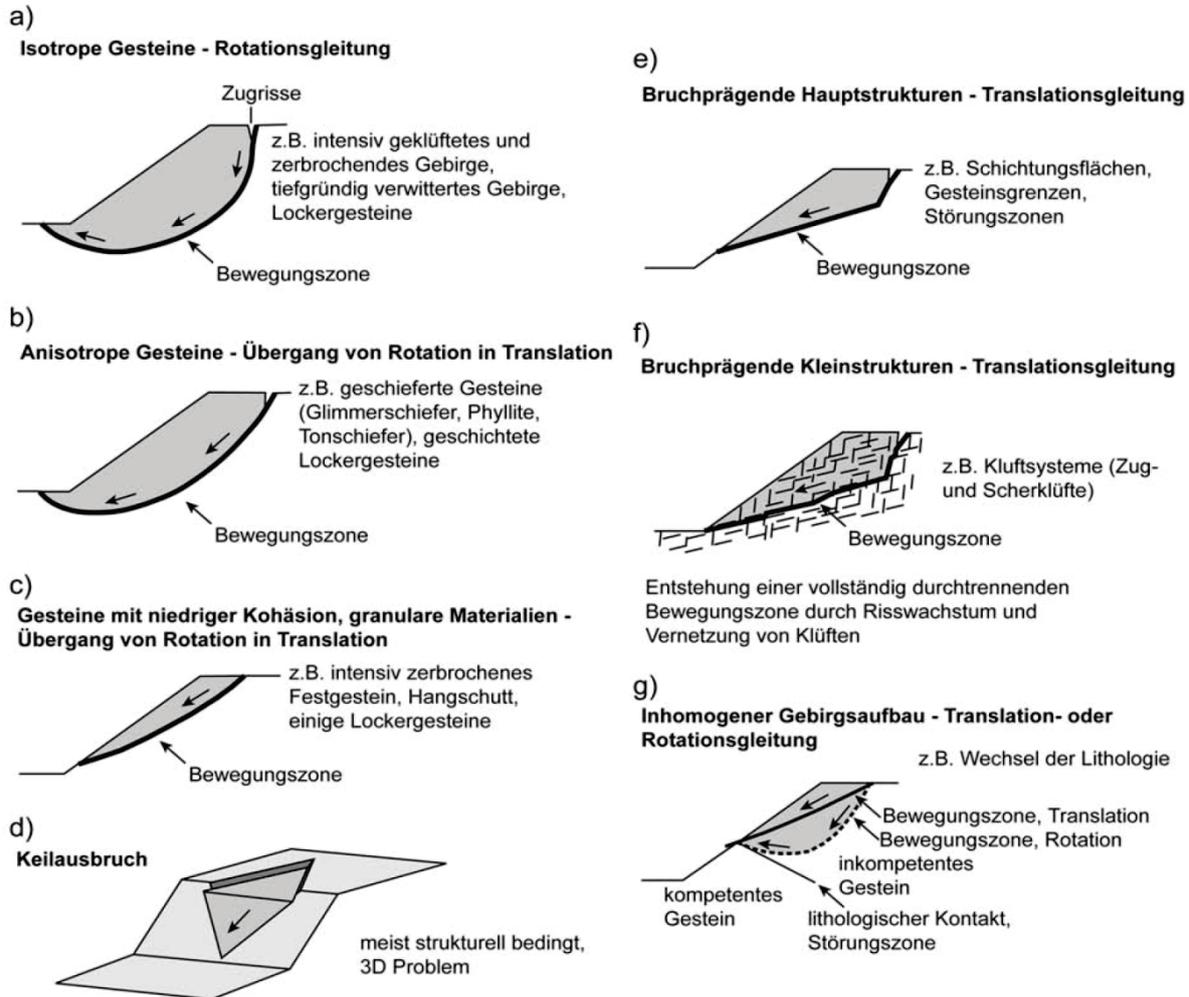


Abb. 5: Unterschiedliche Arten des Gleitens (ZANGERL et al., 2008; modifiziert und ergänzt nach HUDSON & HARRISON, 1997).

2.4. Driften (engl.: Lateral Spread)

Driften ist definiert als die laterale Dehnung oder Extension einer kohäsiven Lockergesteins- oder relativ kompetenten Felsmasse auf einem weichen Substrat, wobei zusätzlich zur horizontalen Verschiebung auch Setzungen auftreten können (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 6). Dadurch zerbricht die kompetente Masse entlang steilstehender Zugrisse bzw. Trennflächen und plastisch deformierbares Substrat presst sich von unten in die Spalten zwischen die Blöcke bzw. Schollen des kompetenten Materials. Durch die bei fortschreitender Deformation zunehmende Zerlegung des kompetenten Materials werden die offenen Spalten von oben durch Blöcke und Schutt aufgefüllt.

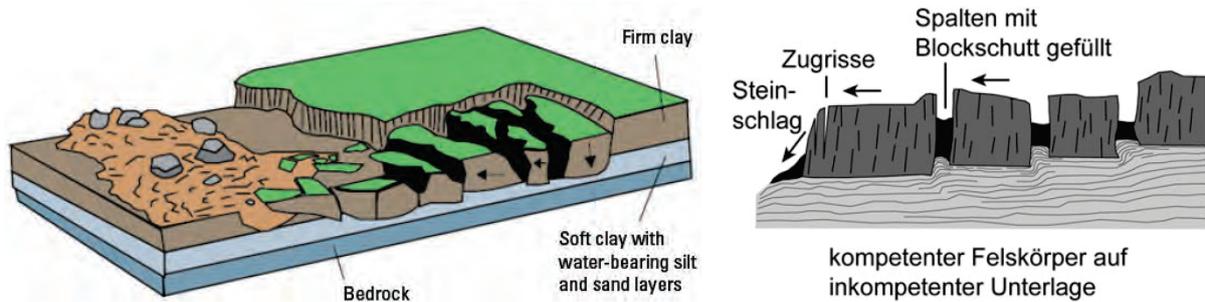


Abb. 6: Schematische Darstellung des Driftens im Locker- und Festgestein; **linkes Bild:** im kohäsiven Lockermaterial mit einer typischen Bodenverflüssigung (engl.: ground liquefaction) einer unterlagernden Bodenschicht (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008); **rechtes Bild:** als lateraler Extensionsprozess mit Bildung von Zugrisse und Spalten im System „Hart auf Weich“ gemäß POISEL & EPPENSTEINER, 1989 (ZANGERL et al., 2008).

Der reine Driftprozess läuft als plastische Deformation oder Bodenverflüssigung ohne Bildung von Bruchflächen bzw. diskreter Scherzonen an der Basis oder im weichen Unterlager ab. Jedoch dürften in der Realität im Falle der plastischen Deformation des Unterlagers an der Basis des kompetenten Auflagers bzw. im Unterlager selbst praktisch immer zusätzlich auch Übergänge zu bzw. Kombinationen mit Gleit- und/oder Kriechprozessen bestehen.

2.5. Fließen (engl.: Flow)

Fließprozesse sind durch eine hohe interne Teilbeweglichkeit der bewegten Gesteinsmassen gekennzeichnet, wobei potentielle Gleitzonen entweder gar nicht auftreten oder dicht angeordnet, kurzlebig und meist nicht erhalten sind (ZANGERL et al., 2008; HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008; Abb. 7 und Abb. 8). Fließprozesse haben ein extrem breites Geschwindigkeitsspektrum von sehr langsam (wenige Millimeter pro Jahr; z. B. „Kriechen“ im Locker- und Festgestein) bis zu sehr schnell (mehrere Meter pro Sekunde; z. B. Sturzströme oder Hangmuren). Die bewegte Masse ist durch eine kontinuierliche Abnahme der Geschwindigkeit mit der Tiefe charakterisiert (ähnlich einer viskosen Flüssigkeit), ohne dass es (im Idealfall) zu „Geschwindigkeitssprüngen“ (= Entwicklung diskreter Gleitzonen) kommt. Häufig ist in der Natur aber genau dies der Fall, nämlich eine Kombination von Fließ- und Gleitprozessen, wobei eine Abgrenzung meist nur schwer vorgenommen werden kann.

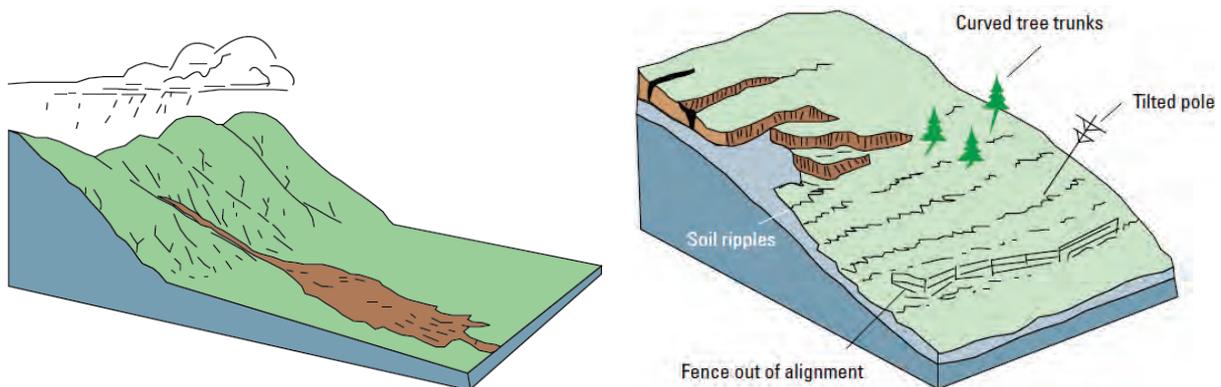


Abb. 7: Schematische Darstellung von Fließprozessen im Lockergestein (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008); **linkes Bild:** sehr schneller Schuttstrom bis Murgang; **rechtes Bild:** langsames, relativ flachgründiges Bodenkriechen oder Hang(schutt)kriechen.

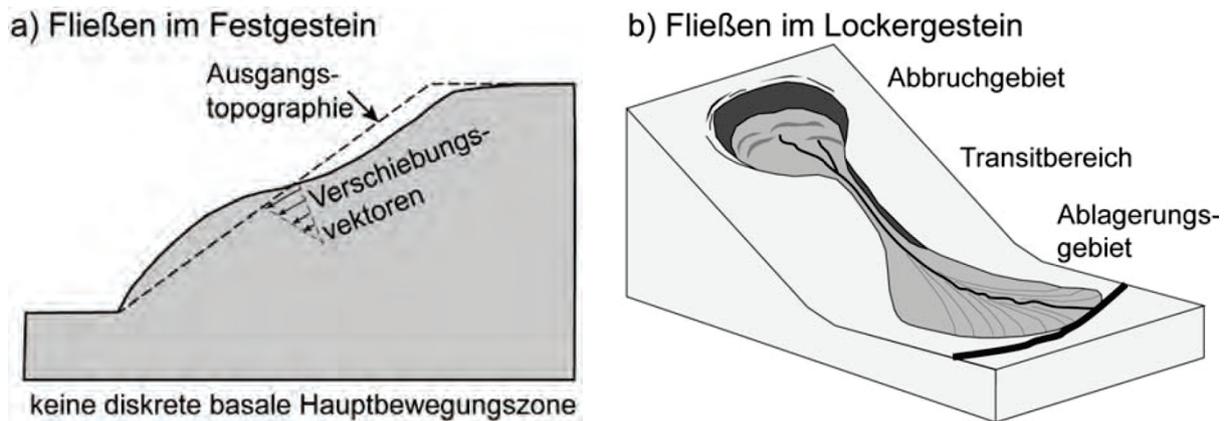


Abb. 8: Schematische Darstellung von Fließprozessen (ZANGERL et al., 2008); **a)** sehr langsames, tiefgreifendes Fließen im Festgestein über die gesamte Hangflanke, keine zusammenhängende Bewegungszone („Felskriechen“); **b)** relativ langsames bis sehr schnelles Fließen im Lockergestein (z. B. Erd- oder Schuttstrom, Hangmure, Mure).

Fließprozesse umfassen Locker- und Festgesteine und sind daher – wie auch aufgrund des breiten Geschwindigkeitsspektrums – sehr vielfältig. Sehr schnelle Fließprozesse sind z. B. Sturzströme (trockenes Schuttfließen), die sich aus sehr großen Felsstürzen bzw. Felsgleitungen oder Bergstürzen entwickeln können. Schnelle Fließprozesse im Lockergestein mit hohem Wasseranteil sind beispielsweise Hangmuren. Das sehr langsame Fließen im Festgestein wird als Felskriechen oder als „Sackung“ (im kinematischen Sinne; siehe Diskussion und Literatur eingangs zu Kapitel 2) bezeichnet. Langsame Fließprozesse im Lockergestein werden z. B. als Hang(schutt)kriechen, Bodenkriechen, Schuttstrom und Erdstrom bezeichnet, wobei die beiden letztgenannten in Phasen erhöhter Aktivität durchaus auch „mittlere“ Geschwindigkeiten von mehreren Metern pro Tag erreichen können.

3. Typische Ursachen von gravitativen Massenbewegungen

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben, sind die Ursachen für gravitative Massenbewegungen vielfältig und teils komplex miteinander verknüpft. Auch in diesem Fall sind in der Fachliteratur unterschiedliche Gliederungsansätze zu finden. Beispielsweise unterscheidet der U.S. Geological Survey (USGS, 2004) grundsätzlich geologische, morphologische und anthropogene Ursachen und nennt zusätzlich als die weltweit drei wichtigsten Faktoren katastrophaler Massenbewegungen den Einfluss von Wasser (Niederschlag, Schneeschmelze, Grundwasserschwankungen, etc.), seismischer und vulkanischer Aktivität.

Basierend auf der Bearbeitung von gravitativen Massenbewegungen in Niederösterreich unterscheidet SCHWENK (1992) drei Gruppen, nämlich geologische Voraussetzungen, natürliche und anthropogene Ursachen sowie natürliche und anthropogene auslösende Ereignisse. Da jedoch die dort genannten Faktoren vielfach ineinander übergreifen bzw. sich überschneiden, wird hier nur ein zusammenfassender Überblick typischer Faktoren (respektive Ursachen) ohne konsequente systematische Gliederung gegeben.

Bei den teils schon erwähnten natürlichen Faktoren wie auch den geologischen Grundvoraussetzungen (geogene Grunddisposition) sind im Wesentlichen zu nennen:

- „Geeignetes“ Relief als Folge der Gebirgsbildung(en)
- Auflockerung durch glaziale Be- und Entlastung (inklusive Permafrostwirkung und spät- bis postglaziale Permafrostschmelze)
- Glaziale und fluviatile Erosion (Hangübersteilung, Hangunterschneidung, etc.)
- Aufbau einer Lockermaterialbedeckung durch Verwitterungsprozesse (speziell auch unter Permafrostbedingungen im Periglazialraum)
- Akkumulation von Lockermaterial durch glazigene und fluviatile Prozesse

- Bodenmechanische und tonmineralogische Eigenschaften der Lockergesteine
- Fels- bzw. festigkeitsmechanische Eigenschaften der Festgesteine (insbesondere auch die Ausbildung und die Raumstellung des Trennflächengefüges)
- Mechanische Eigenschaften der veränderlich festen Gesteine in Abhängigkeit vom Wassergehalt.

Wichtige natürliche externe Faktoren können wie folgt zusammengefasst werden:

- Niederschlag mit der Folge von Porenwassersättigung/-überdruck in Lockergesteinen oder Kluftwasserschub in Festgesteinen; ausschlaggebend sind hier v. a. die Intensität und die Dauer, also z. B. kurze Starkniederschläge vs. länger anhaltendem Landregen, aber auch die Vorfeuchte im Lockermaterial, weiters Schneemenge, Schneeschmelze, etc.
- Temporäre fluviale Erosion oder der Anstieg von Hang- bzw. Grundwasser durch Hochwasserereignisse als Folge großer Niederschlagsmengen
- Trockenheit („Versiegelungseffekt“ oder auch Trockenrisse mit Folgen für das Abflussverhalten v. a. bei Starkniederschlägen)
- Seismische Aktivität (Erdbeben) als dynamische Belastung von Hängen
- Stürme und Orkane im Sinne einer Beeinflussung bzw. Veränderung der Vegetation, z. B. Windwurf
- Klimatisch bedingter Aufbau oder Rückzug der Vegetation im Sinne einer stabilisierenden Wirkung des Wurzelraumes in der Lockermaterialbedeckung und Veränderungen des Niederschlags-Abflussverhaltens.

Letztendlich kann auch der Mensch einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung gravitativer Massenbewegungen haben. Als wichtigste anthropogene Faktoren sind zu nennen:

- Alle Eingriffe des Menschen, die an einem aufgrund natürlicher Faktoren instabilen bzw. sich hinsichtlich seiner Stabilität im Grenzgleichgewicht befindlichen Hang vorgenommen werden und eine zusätzliche destabilisierende Wirkung haben (künstliche Böschungsversteilungen z. B. durch Wege, Baugruben, Rohstoffabbau, Leitungsbau)
- Unkontrollierte bzw. unbeabsichtigte Wassereinleitungen, z. B. Wasserrohrbrüche
- Bodenverdichtung und Bodenversiegelung mit nicht berücksichtigten bzw. nicht erkannten Veränderungen des Abflussverhaltens bzw. des Wasserhaushalts (Niederschlag, Oberflächenabfluss/Gerinne, Grundwasser)
- Landnutzung bzw. deren Veränderung (z. B. Rodungen von natürlich sensiblen Hängen, Monokulturen) durch die Landwirtschaft mit Erosionsfolgen bzw. verstärktem oder geändertem Wassereintrag in Boden und Fels
- Statische Auflasten (Gebäude, Anschüttungen) wie auch dynamische Belastungen (Erschütterungen oder Sprengungen z. B. bei Baumaßnahmen oder Abbauen) an natürlich sensiblen Hängen
- Veränderungen der natürlichen hydrologischen Systeme und Abflüsse z. B. durch Wasserkraftwerksbauten (inklusive Speicherbauwerke, Ab- und Zuleitungen mit Folgen für den Hangwasserspiegel) oder durch Beschneiungsanlagen.

4. Regionale Bedeutung der gravitativen Massenbewegungen in NÖ

Bereits in der durchaus als wegweisend zu bezeichnenden Arbeit von SCHWENK (1992), der ein umfangreiches Inventar gravitativer Massenbewegungen in Niederösterreich zusammengestellt hat, erfolgt eine prozessorientierte Untergliederung im Wesentlichen nach den in Kapitel 2 genannten Kriterien. Diese Arbeit zeigt zudem, dass auch in nicht-hochalpinen Regionen bei moderater Hangneigung, aber „anfälliger“ Geologie, die geogene Disposition für gravitative Massenbewegungen sehr hoch sein kann. Eine entsprechend hohe Anzahl und Dichte diesbezüglicher Prozessräume sind daher regional unter Dominanz bestimmter Prozess-typen feststellbar.

So sind neben den Prozessen Fallen (Steinschlag, Blockschlag, Felssturz) und Fließen/Kriechen (z. B. Hangschuttkriechen, Schutt-/Erdstrom) vor allem das Gleiten im Fest- oder Lockergestein (Felsgleitung; Translations- oder Rotationsrutschung) von Relevanz im Osten Österreichs (Abb. 9 und Abb. 10). Während sich beispielsweise Steinschlag an jeder ausreichend steilen und hohen Felsschrofe/-wand ereignen kann, zeigen vor allem die peninische Flyschzone und die Klippenzonen z. B. im Raum Scheibbs – Gresten – Waidhofen a. d. Ybbs mit ihren verwitterungsempfindlichen Festgesteinen eine hohe natürliche Anfälligkeit für großflächige Rutschprozesse. Charakteristisch dafür sind die mechanischen Eigenschaften veränderlich fester Gesteine bis hin zur Ausbildung teils mächtiger Verwitterungsschuttdecken mit reinem Lockergesteinscharakter des involvierten Substrats. Nicht zu vergessen ist auch die offensichtlich hohe geologische Grunddisposition bestimmter Regionen (z. B. in der Buckligen Welt mit den Verwitterungsdecken des ostalpinen Kristallins) für kleinräumige Lockergesteinsrutschungen und Hangmuren bei Starkniederschlägen (Abb. 11). Diese weisen aufgrund ihrer spontanen Entstehung, dem häufig (relativ) schnellen Ablauf und dem sehr schwer abzuschätzenden räumlichen Auftreten ein hohes Gefahrenpotential auf.

Nur wenig bis gar keine regionale Bedeutung haben die Prozesse Kippen (z. B. Kippen von großen Felstürmen) oder Driften (z. B. laterales Zerreißen/„Auspressen“ als Folge plastischer Deformation des Untergrundes), die typischerweise das „Geomechanik-System Hart auf Weich“ (POISEL & EPPENSTEINER, 1988, 1989) prägen. Dieses System beschreibt das Aufliegen spröde-kompetenter Gesteine auf einem mehr oder weniger mächtigen duktilinkompetenten Unterlager und damit verbundene Massenbewegungen. Eine „klassische“ Prozesskette ist hier das laterale Zerreißen (Bergzerreißen) der spröden Deckplatte durch plastische Deformation des weichen Untergrundes (Prozess „Driften“), Felsstürze (Prozessgruppen „Fallen“ und „Kippen“) am Rand der Deckplatte und daran anschließende Schuttströme (Prozessgruppe „Fließen“) im Blockschutt, vermischt mit Material des Unterlagers. Gesamtheitlich betrachtet sind diese Teilprozesse bereits den komplexen Massenbewegungen zuzuordnen. Eine typische Region hierfür ist beispielsweise das oberösterreichische Salzkammergut, wo diese Konstellation u. a. durch das Aufliegen von Plassenkalk oder Tressensteinkalk über Haselgebirge oder Zlambachschichten erfüllt ist (LOTTER & ROHN, 2012).

Grundsätzlich den komplexen Massenbewegungen zuzuordnen sind die bereits in Kapitel 2 diskutierten Begriffe „Talzuschub“ und „Sackung“ (wenn letztgenannter Begriff geomorphologisch und nicht rein kinematisch als „Kriechen“ verstanden wird), meist auch in Verbindung mit Phänomenen der Bergzerreißen im Kammbereich. Talzuschübe dürften in den meisten Fällen eine Prozess-Kombination aus „Kriechen“ (auch als Initialprozess zu verstehen) und (progressiv fortschreitendem) „Gleiten“ darstellen. Hinzu können (sekundäre) Sturz- und Gleitprozesse im Bereich der Talzuschubstirn oder der Abrisskante(n) kommen. In Niederösterreich sind derartige komplexe Massenbewegungen mangels Relief und/oder mangels lithologischer Disposition (vorzugsweise in mechanisch „schwachen“ kristallinen Gesteinen wie Glimmerschiefer und Phylliten) praktisch ohne Bedeutung.



Abb. 9: linkes Bild: Felssturz von 1961 (initiales Gleiten) im Marmor (Moldanubikum) bei Spitz a. d. Donau aufgrund anthropogener Hangunterschneidung/Steinbruchbetrieb (vgl. SCHWENK, 1992); rechtes Bild: Steinschlag-Schutznetze an der Donau in Aggsbach-Dorf.

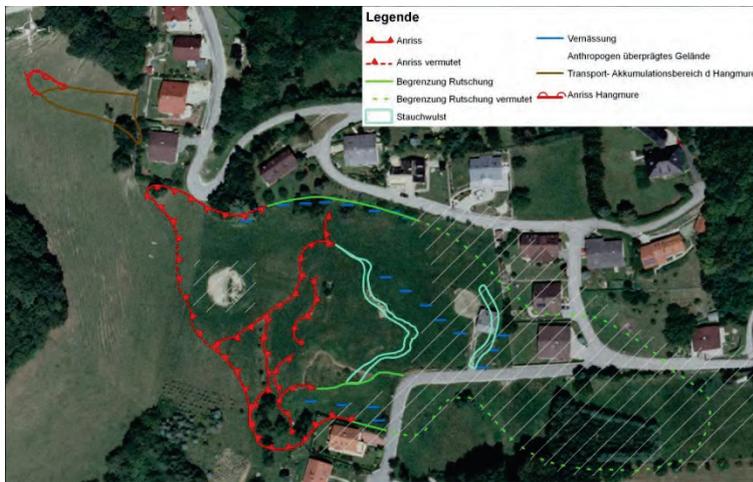


Abb. 10: Rutschung mit Lockermaterialcharakter in stark verwitterten, veränderlich festen Gesteinen der Grestener Klippenzone (JOCHUM et al., 2008); linkes Bild: Kartierung auf Orthofotobasis; rechtes Bild: Laserscan (DOM) des zentralen Rutschungsbereichs.



Abb. 11: Zahlreiche kleine und flachgründige Rutschungen (linkes Bild) und Hangmuren (rechtes Bild) infolge von Starkniederschlägen im Juni 2009 in Klingfurth (Bucklige Welt) im Verwitterungsschutt ostalpiner kristalliner Gesteine (TILCH & SCHWARZ, 2010).

5. Ausblick

Das geforderte hohe Schutzniveau des Niederösterreichischen Raumordnungsgesetzes (NÖ ROG, 1976) hat zu der Erkenntnis geführt, dass geeignete Kartenwerke zur Darstellung der Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen als Grundlage einer zeitgemäßen Raumplanung erforderlich sind (POMAROLI et al., 2011). POMAROLI et al. präferieren einen geostatistischen Ansatz, der die für das Land Niederösterreich besonders relevanten stürzenden („Fallen“), rutschenden („Gleiten“) und kriechenden („Kriechen/Fließen“) Massenbewegungsprozesse erfasst und mittels verschiedener Modellierungsmethoden regionalisiert.

Ziel ist letztendlich die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für gravitative Massenbewegungen hinsichtlich der genannten Prozesse in allen dafür relevanten Regionen Niederösterreichs. Die Resultate sind ein zentrales Thema dieser Niederösterreichischen Geotage 2013.

6. Literatur

ABELE, G. (1974): Bergstürze in den Alpen.- Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, 25, 230 S., München.

AMPFERER, O. (1939): Über einige Formen der Bergzerreissung.- Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien, mathem.-naturwiss. Kl., Abt. I, 148, 1-14, Wien.

CRUDEN, D.M. & VARNES, D.J. (1996): Landslide Types and Processes.- In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (eds.): Landslides, Investigations and Mitigation, Nat. Res. Council., Spec. Rep. 247, 36-75.

GÖRLICH, W., TAUSCHE, E. & WURZER, R. (1948): Das große Erdbeben zu Villach Anno 1348.- 24 S., Villach.

GOTTSCHLING, P. (2006): Massenbewegungen.- In: WESSELY, G. (Hrsg.): Geologie der Österreichischen Bundesländer: Niederösterreich.- 416 S., Wien (Geol. B.-A.).

GRUBER, A. & LOTTER, M. (2012): Bericht 2010 – 2011 über die Aufnahme ausgewählter gravitativer Massenbewegungen und deren geologischen Rahmen auf Blatt 114 Holzgau.- Jb. Geol. B.-A., 152/1-4, 252-257, Wien (Geol. B.-A.).

GRUBER, A., STRAUHAL, T., PRAGER, C., REITNER, J.M., BRANDNER, R. & ZANGERL, C. (2009): Die „Butterbichl-Gleitmasse“ – eine große fossile Massenbewegung am Südrand der Nördlichen Kalkalpen (Tirol, Österreich).- Swiss Bulletin für angewandte Geologie, Vol. 14/1+2, 103–134.

HAMMERL, CH. & LENHARDT, W. (1997): Erdbeben in Österreich.- Leykam Verlag, Wien, Graz.

HEIM, A. (1932): Bergsturz und Menschenleben.- Beiblatt zur Vierteljahresschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, Jahrg. 77, 20, 218 S., Zürich.

HIGHLAND, L.M. & BOBROWSKY, P. (2008): The landslide handbook – A guide to understanding landslides.- Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129 S.

HUDSON, J.A. & HARRISON, J.P. (1997): Engineering rock mechanics.- 444 S., Elsevier Science Ltd., UK.

HUTCHINSON, J.N. (1988): General report: Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology.- Proc. 5th Int. Symp. Landslides, Lausanne, 1, 3-35, Rotterdam (Balkema).

JOCHUM, B., LOTTER, M., OTTNER, F. & TIEFENBACH, K. (2008): Geophysikalische und ingenieurgeologische Methoden zur Untersuchung von durch Massenbewegungen bedingte Bauschäden in Niederösterreich – Endbericht zur Fallstudie Gresten (NÖ).- BBK-Projektbericht NC-62/F, II+109 S., Wien (Geol. B.-A.).

LATELTIN, O. (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten.- BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft, 42 S., Bern.

LOTTER, M. & ROHN, J. (2012): Geogene Naturgefahren – Ingenieurgeologie.- In: MANDL, G.W., VAN HUSEN, D. & LOBITZER, H.: Erläuterungen zu Blatt 96 Bad Ischl, 135-151, Wien (Geol. B.-A.).

POISEL, R. (1998): Kippen, Sacken, Gleiten – Geomechanik von Massenbewegungen und Felsböschungen.- Felsbau 16, 3, 135-140, Essen.

POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 1: Geomechanik des Systems "Hart auf Weich".- Felsbau 6, 4, 189-194, Essen.

POISEL, R. & EPPENSTEINER, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung Teil 2: Massenbewegungen am Rand des Systems "Hart auf Weich".- Felsbau 7, 1, 16-20, Essen.

POLLET, N. & SCHNEIDER, J.-L. (2004): Dynamic desintegration processes accompanying transport of the Holocene Flims sturzstrom (Swiss Alps).- Earth and Planetary Science Letters, Vol. 221, 433-448, Amsterdam.

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- und Lawinenverbau 166, 198-212.

REITNER, J.M. & LINNER, M. (2009): Formation and Preservation of Large Scale Toppling Related to Alpine Tectonic Structures – Eastern Alps.- Austrian Journal of Earth Sciences 102/2, 69-80.

REITNER, J.M., LANG, M. & VAN HUSEN, D. (1993): Deformation of high slopes in different rocks after würmian deglaciation in the Gailtal (Austria).- Quaternary International 18, 43-51.

ROHR, CH. (2007): Extreme Naturereignisse im Ostalpenraum: Naturerfahrung im Spätmittelalter und am Beginn der Neuzeit.- Umwelthistorische Forschungen, Bd. 4, 640 S., Köln/Weimar/Wien.

SCHWENK, H. (1992): Massenbewegungen in Niederösterreich 1953-1990.- Jb. Geol. B.-A., 135/2, 597-660, Wien.

STINI, J. (1941): Unsere Täler wachsen zu.- Geol. u. Bauwesen 13, 3, 71-79, Wien (Springer).

TILCH, N. & SCHWARZ, L. (2010): Erstellung von Dispositionskarten für Massenbewegungen.- Vortrag Innsbrucker Hofburggespräche, Innsbruck.

TILL, A. (1907): Das große Naturereignis von 1348 und die Bergstürze des Dobratsch.- In: BÖHM, A. (Red.): Mitteilungen der K.K. Geographischen Gesellschaft in Wien, Bd. 50, 534-645, Wien.

USGS (U.S. GEOLOGICAL SURVEY) (2004): Landslide Types and Processes.- Fact Sheet 2004-3072, 4 S.

VARNES, D.J. (1978): Slope movement types and processes.- In: SCHUSTER R.L. & KRIZEK R.J. (Eds.): Landslides, analysis and control.- Transportation Research Board, Sp. Rep. No. 176, Nat. Acad. of Sciences, 11-33, Washington, DC.

WEIDNER, S. (2000): Kinematik und Mechanismus tiefgreifender alpiner Hangdeformationen unter besonderer Berücksichtigung der hydrogeologischen Verhältnisse.- Diss. Univ. Erlangen-Nürnberg, X+246 S., Erlangen.

ZANGERL, C., PRAGER, C., BRANDNER, R., BRÜCKL, E., EDER, S., FELLIN, W., TENTSCHEIT, E., POSCHER, G. & SCHÖNLAUB, H. (2008): Methodischer Leitfaden zur prozessorientierten Bearbeitung von Massenbewegungen.- Geo.Alp, Volume 5, 1-51.

ZISCHINSKY, U. (1969): Über Sackungen.- Rock Mechanics, 1, 30-52, Wien.

Beispiele aus Niederösterreich Felssturz Dürnstein/ Wachau – Das schwere Erbe der Biratalwand Martin MÜLLEGER

Der Felssturz vom Juli 2009

Am 7. Juli 2009 kurz nach 21:00 Uhr ereignete sich im Bereich der Biratalwand nördlich der Ortschaft Dürnstein in der Wachau/ Niederösterreich ein Felssturz, bei dem die Gleisanlage der Donauuferbahn stark beschädigt wurde. Die Bahntrasse war auf einer Länge von ca. 30 m von bis zu mehrere Zehnerkubikmeter großen Blöcken verschüttet, die Gleisanlage war in diesem Abschnitt völlig zerstört. Das Gesamtvolumen des Felssturzes betrug mindestens ca. 11.000 m³, der größte Sturzblock wies ein Volumen von rd. 1.000m³ auf. Einzelne, kleinere Trümmer stürzten bis auf die zwischen Eisenbahnlinie und Donau gelegene Landesstraße B3 bzw. den zwischen Bahnlinie und Straße verlaufenden Radweg (Abb. 1).



Abb. 1: Felssturz Dürnstein/ Wachau, Niederösterreich

Glücklicherweise beschränkten sich die Auswirkungen des Felssturzes auf Sachschäden. Eine Totalsperre der Bahnlinie, der Landesstraße B3 und des Radweges war aus Sicherheitsgründen vorübergehend notwendig. Während die Landesstraße und der Radweg nach Abklärung der Situation wieder frei gegeben werden konnten, musste die Bahnlinie bis zur Ausführung von Sicherungsmaßnahmen für mehrere Monate gesperrt bleiben. Als Sofortmaßnahme wurden kleinere, unmittelbar Absturz gefährdete Kluffkörper durch Absprengung entfernt und die Felswand von losem Gesteinsmaterial beräumt. Danach erfolgte eine geologisch-geotechnische Kartierung der Felswand sowie eine detaillierte Geländevermessung mittels einer terrestrischen Laser-scanning- und Bildaufnahme. Ziel der Erkundungen und Vermessungen war die Schaffung der notwendigen Grundlagen zur Abklärung der Ursachen

und Auslöser des Felssturzes, die Bewertung der Standsicherheit der vom Felssturz betroffenen Felswand und schließlich die Erarbeitung von Maßnahmen zur dauerhaften Stabilisierung der Felswand, bzw. zur Sicherung der Gleisanlagen.

Ursachen und Auslöser des Felssturzes

Die Ursachen für den Felssturz sind sowohl natürlichen, als auch anthropogenen Ursprungs: Die insgesamt etwa 100 m hohe, senkrechte bis überhängende, nach Westen exponierte Felswand besteht aus feinkörnigem Gneis (Gföhler Gneis/Böhmische Masse). Unmittelbar südlich des Projektgebietes verläuft die „Diendorfer Störung“, eine steil stehende, NE- SW streichende Großstörungszone. Neben dieser Hauptstörungsrichtung existiert ein zweites, dominantes Störungssystem, das ebenfalls sehr steil steht und etwa NW- SE streicht. Zusammen ergeben diese beiden Hauptstörungssysteme ein konjugiertes System, dessen Geometrie sich im Trennflächengefüge in der Biratalwand exakt widerspiegelt. Die Schieferungsflächen fallen ca. 40° steil nach Westen ein. Dieses Trennflächengefüge bildet mit der Felswand einen ungünstigen Verschnitt, der ein Blockgleiten entlang von aus der Felswand fallenden Schieferungsflächen begünstigt. Der Gebirgsverband ist generell stark aufgelockert.

Während die Trennflächengeometrie von Natur aus gegeben ist, sind die steile Böschungsgeometrie und die starke Auflockerung vom Menschen verursacht: In der Biratalwand wurde bis 1903 ein Steinbruch betrieben, der eine bis zu 130 m hohe und bis zu sieben Meter überhängende Felswand hinterließ. Im Zuge des Baus der Lokalbahn Krems- Grein im Jahr 1909, deren Trasse unmittelbar am Fuß der Felswand geplant war, wurde eine „gründliche Abräumung“ der absturzgefährdeten Teile der Felswand durch eine Kammerminensprengung beschlossen. Am 4. Mai 1909 wurde mit der Zündung von ca. 3700kg Dynamit eine Felsmasse von rd. 80.000 m³ abgesprengt (Abb. 2).

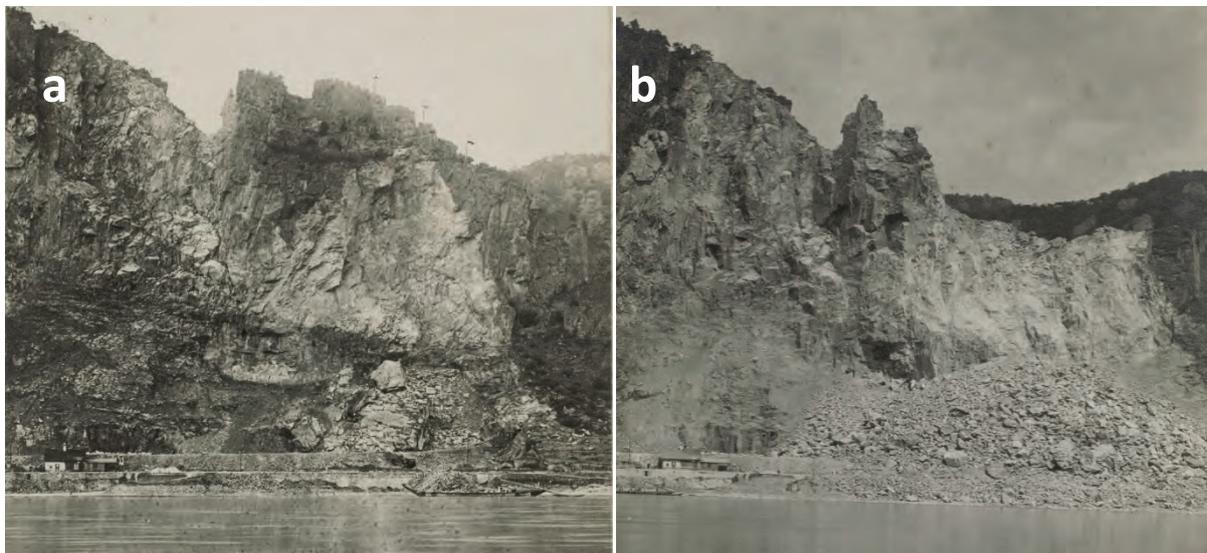


Abb. 2: Zustand der Felswand vor (a) und nach der Sprengung vom 4. Mai 1909 (b). Autor unbekannt, Blickrichtung von der Donau Richtung Osten

Durch die Sprengung wurden zwar die Überhänge im oberen Teil der Felswand entfernt, der Gebirgsverband wurde allerdings durch die Sprengung stark aufgelockert, bestehende Trennflächen wurden aufgeweitet und neue Risse erzeugt. Dadurch kam es im folgenden Jahrhundert immer wieder zu Felssturzereignissen. Alle historisch dokumentierten Felssturzereignisse wie auch der Felssturz im Jahr 2009, traten jeweils nach besonders niederschlagsreichen Perioden auf, weshalb Starkniederschläge als Hauptfaktor für die Auslösung von Felssturzereignissen vermutet wurden. Diese Vermutung wurde durch geotechnische Messungen im Verlauf des Projekts bestätigt, wobei die Niederschläge vermutlich zu einer

Reduktion der Reibung entlang der Gleitflächen und damit zu einer Überschreitung des labilen Gleichgewichtszustandes führten.

Sanierung

Nach Ausführung von Sofortmaßnahmen zur Sicherung der Felswand wurde ein Konzept zur mittel- bzw. langfristigen Sanierung des vom Felssturz betroffenen Areals entwickelt, um die Sicherheit der Gleisanlagen wieder herstellen und langfristig gewährleisten zu können. Es wurde eine Kombination aus aktiven Schutzmaßnahmen in der Felswand und passiven Schutzmaßnahmen unterhalb der Felswand geplant und umgesetzt. Zwischen Wandfuß und Bahnlinie wurde ein Schutzdamm errichtet um einen Ablagerungs- und Sturzraum als Retentionsraum für weitere gezielte Abtragungen bzw. zukünftige Felsstürze zu schaffen. Im Schutz des teilweise fertig gestellten Damms konnte nach nur rund 3 Monaten Bauzeit der Schienenverkehr auf der Strecke wieder aufgenommen werden (Abb. 3).



Abb. 3: Wiederinbetriebnahme der Bahnstrecke

Schließlich wurden im Schutz des Damms alle größeren, langfristig potenziell absturzgefährdeten, bzw. unter Beobachtung stehenden Felsmassen, die bei einem Versagen die Aufnahmekapazität der Schutzmaßnahmen überschreiten können, abgetragen und der Retentionsraum hinter dem Damm wieder ausgeräumt. Ein kleinerer Felssturz der sich noch während der laufenden Abtragarbeiten ereignete, wurde vom Schutzdamm zurückgehalten, zwang allerdings zu einer neuerlichen Änderung des Abtragskonzepts und verzögerte damit die Bauarbeiten. Insgesamt wurden nach dem Abtrag rund 8.000 m³ Material hinter dem Schutzdamm ausgeräumt. Die Sanierungsarbeiten wurden im Herbst 2012 abgeschlossen. Die Gesamtkosten des Sanierungsprojekts werden von der NÖVOG mit rund 2 Mio. Euro beziffert.

Beispiele aus Niederösterreich Hangbewegungen Regelsbrunn, Gemeinde Scharndorf Andreas HAUSENBERGER & Dietmar ADAM

1. Einleitung

An einem besiedelten Hang an der Südflanke des Donautales in der Ortschaft Regelsbrunn, Gemeinde Scharndorf (östlich von Wien) traten im Sommer 2009 Hangbewegungen auf. Diesem Ereignis waren intensive Niederschläge (Rekordereignis im Juni 2009) vorausgegangen. Als Folge entstanden Risse im Gelände und an Bauwerken. Bereits 1996 war der Hang von einer Rutschung betroffen, auch in der näheren Umgebung wurden Hangbewegungen beobachtet.

Angeregt vom Amt der NÖ Landesregierung erfolgte mit Unterstützung der Wildbach- und Lawinenverbauung sowie der Gemeinde Scharndorf eine detaillierte Untersuchung im Rahmen einer Diplomarbeit an der Technischen Universität Wien. Die gegenständliche Kurzfassung bietet eine Übersicht über die durchgeführten Untersuchungen und zeigt einige ausgewählte Ergebnisse und die daraus abgeleiteten Schlussfolgerungen.

2. Übersicht und Schadensbild

Der betroffene Hang befindet sich im nördlichen Ortsgebiet von Regelsbrunn und fällt mit einer Höhe von rund 40 m, bei einer mittleren Neigung von ca. 15°, nach Norden zu einem Nebenarm der Donau ab (siehe Abb. 1).

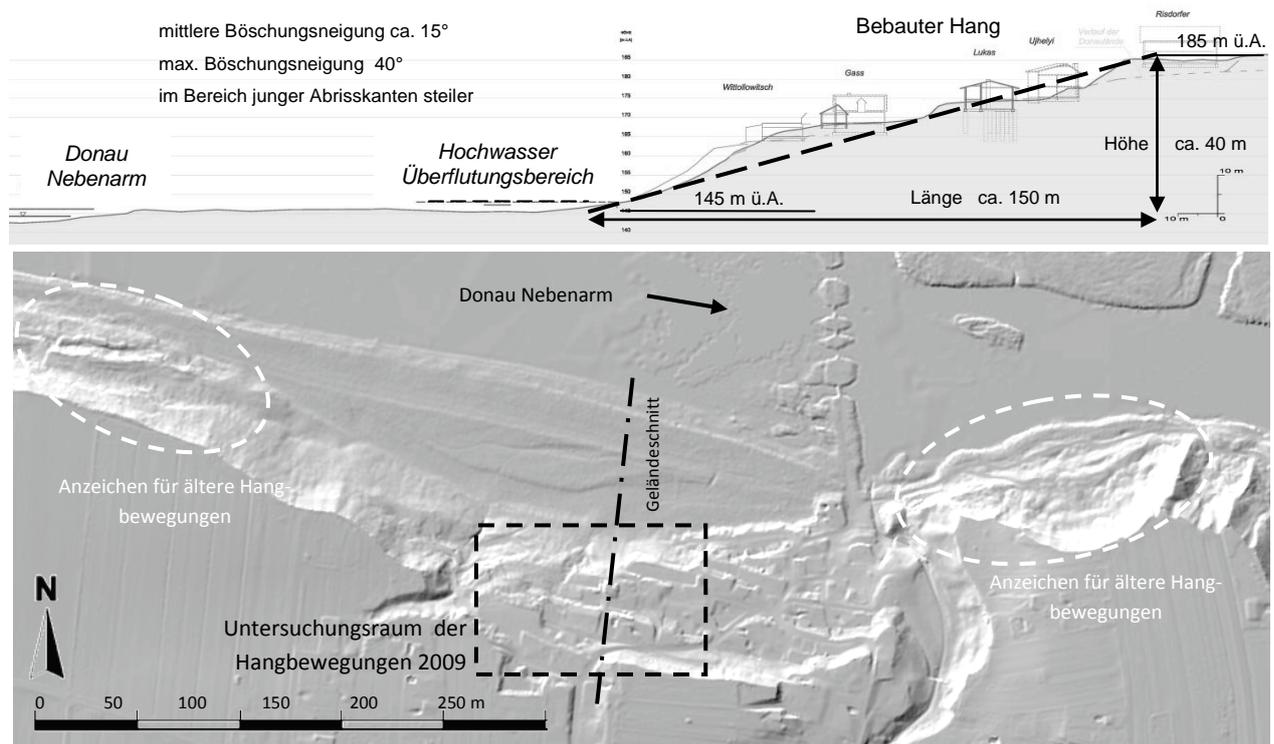


Abb. 1: Oben: Geländeschnitt des betrachteten Hanges und der besiedelten Terrassen (nicht überhöht) [1]

Unten: Laser-Shading der Geländestruktur mit dem Untersuchungsraum (Aufnahme 2008 [2])

Neben dem öffentlichen Gut (Straße, Zufahrtswege, ein Spielplatz) waren vier Grundstücke im Bereich der oberen Donaulände von den Hangbewegungen und Folgeschäden betroffen. Die aufgetretenen Geländeformungen wurden in einer geomorphologischen Karte dokumentiert (siehe Abbildung 2) und stellten sich wie folgt dar:

- Aktivierung einer oberflächennahen Rutschung (von rund 10 m Breite, 15 m Länge)
- Entstehung von zahlreichen Abrisskanten mit horizontalem und vertikalem Versatz in der Größenordnung von rund 10 bis 15 cm
- Entstehen von zahlreichen offenen Zugrissen im Gelände
- Auftreten von schwerwiegenden strukturellen Schäden an Wohnhäusern (Rissbildungen am Mauerwerk)
- Rissbildungen an Grenz- und Stützmauern sowie im Bereich von Zufahrtswegen und der Donaulände

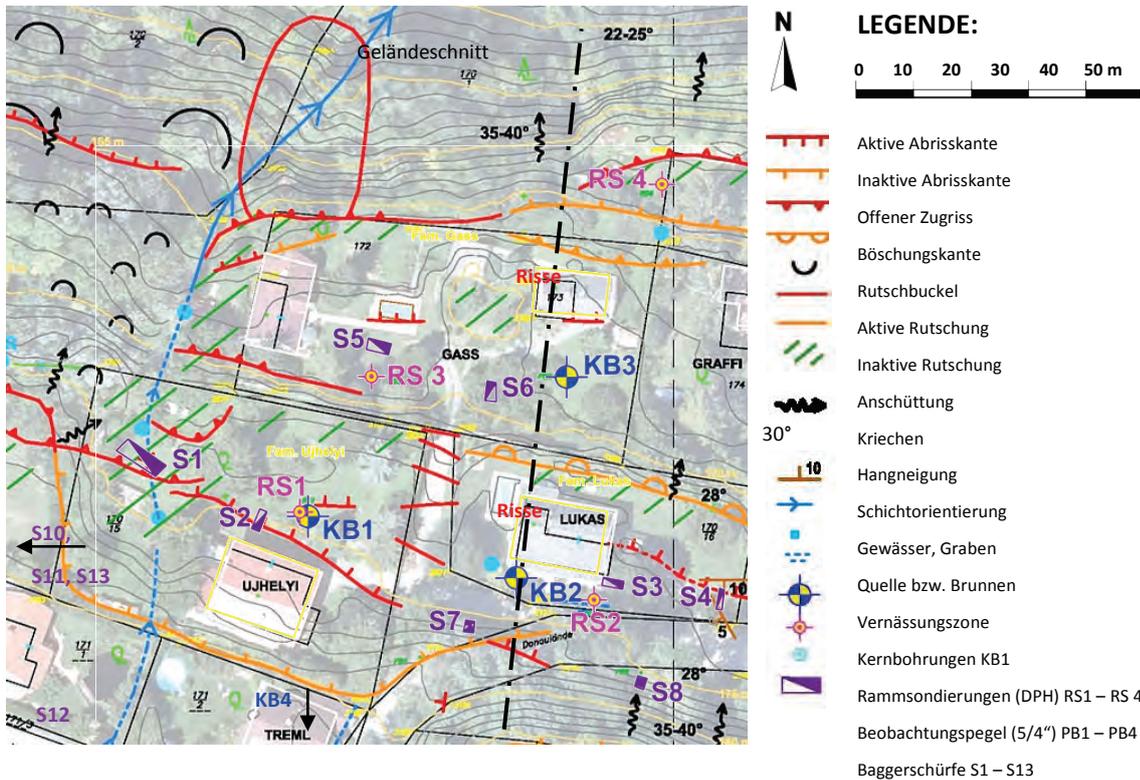


Abb. 2: Geomorphologische Karte mit Lage der Bodenaufschlüsse und des Geländeschnitts (Ausschnitt) [1].

3. Untersuchungen

Zur Analyse und Beurteilung der Ereignisse im Zusammenhang mit den Hangbewegungen wurde in einem ersten Schritt ein Vermessungsnetz mit Messpunkten an Bauwerken und im Gelände durch das Land NÖ aufgebaut. Weiters wurden in den beiden betroffenen Wohnhäusern Rissmonitore zur Überwachung der Risse installiert, um die auftretenden Verformungen beobachten zu können. Seitens des Geologischen Dienstes des Landes NÖ und der TU Wien wurden von Februar 2010 bis April 2012 folgende Untersuchungen durchgeführt bzw. in Auftrag gegeben:

- Geomorphologische, ingenieurgeologische Geländekartierung
- Direkte und indirekte Bodenaufschlüsse im März bzw. August 2010 zur Bestimmung der Untergrundverhältnisse:
 - ⊕ Herstellung von 11 Schürfen mit einer Tiefe von bis zu rund 5 m unter Geländeoberkante (GOK)
 - ⊕ Kernbohrungen mit einer Tiefe von 25 bis 30 m u. GOK sowie SPT-Tests in den Bohrlöchern
 - ⊕ Rammsondierungen mit der Schweren Rammsonde (DPH) mit einer Tiefe von rund 11 m bzw. 16 m u. GOK
- Bodenphysikalische Laboruntersuchungen an entnommenen Bodenproben

- Herstellung von 4 Grundwassermesspegeln mit einer Tiefe bis zu ca. 7 m u. GOK und Beobachtung der Grund- und Schichtwasserverhältnisse an Pegeln und Hausbrunnen
- Geodätische Vermessungen (Nullmessung Dezember 2009 mit vierteljährlichen Messungen über einen Zeitraum von 28 Monaten)
- Beobachtung der Rissmonitore (Nullmessung Dezember 2009 mit vierteljährlichen Messungen über einen Zeitraum von 28 Monaten)
- Ausbau der 4 Kernbohrungen mit Inklinometerrohren und Durchführung von Inklinometermessungen (Nullmessung Ende August 2010, Folgemessungen über einen Zeitraum von 18 Monaten bis Februar 2012)

Parallel dazu wurden vorhandene Daten aus der Umgebung zu Niederschlägen sowie den Grund- und Oberflächenwasserpegeln (Donau Nebenarm) ausgehoben und analysiert. Eine wesentliche Informationsgrundlage bildete die digitale Luftbildvermessung des Landes NÖ, welche die Daten für Luftbilder, Lagepläne, Lasershadings (siehe Abb. 1) sowie ein digitales Höhenmodell lieferte. Weitere Informationen wurden aus Bauplänen und den Auskünften der Gemeinde und der Anrainer gewonnen.

4. Ergebnisse der Untersuchungen

4.1. Geologie und Untergrundverhältnisse

Die jungtertiären Sedimente des Pannon, bestehend aus Wechsellagen von schluffigen Feinsanden, sandigen Schluffen und tonigen Schluffen bilden im Hangbereich ab einer Tiefe von rund 9 bis 16 m unter der Geländeoberkante das Liegende. Diese Beckenfüllungen werden von den quartären Sedimenten der Donau (überwiegend Sande und Kiese) überlagert. Die sandigen Kiese weisen dabei variierende Mächtigkeiten von bis zu mehreren Metern auf bzw. fehlen zu Gänze. Unter den Donauschottern befinden sich mehrere Meter mächtige (Fein-)Sandschichten mit schluffigen Zwischenlagen. Die Böden im Übergangsbereich zwischen Quartär und Tertiär sind generell wassergesättigt und zeigten sich lokal stark aufgeweicht. Den Abschluss zur Geländeoberfläche bilden Deckschichten aus feingeschichteten Lössen bzw. Lösslehmen im Bereich der höheren Siedlungsterrassen bzw. von unterschiedlich mächtigen Auböden (Ausande und Auschluffe) in Gewässernähe. Die natürlichen Böden sind im Großteil des Hangbereichs von heterogenen anthropogenen Auffüllungen überlagert, die Mächtigkeiten von bis zu mehreren Metern aufweisen.

Die Art der Entstehung der Böden im Hangbereich durch Sedimentation unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, sei es als Meeres-, Fluss- oder als Windablagerungen, führte zu Ausbildung eines feingeschichteten Bodenaufbaus mit einer ausgeprägten Wechsellagerungen von grob- bzw. gemischtkörnigen und feinkörnigen Böden. Neben einer entsprechend starken Variation der Wasserdurchlässigkeit wurde auch eine große Bandbreite in der Lagerungsdichte und Konsistenz der einzelnen Schichten festgestellt. Die Lagerungsdichte der primär kiesigen bzw. sandigen Böden ist (sehr) locker bis dicht und nimmt mit der Tiefe generell zu. Die Konsistenz feinkörniger Schichten schwankt in einem breiten Spektrum von (sehr) weich bis fest. Bei den sehr heterogenen anthropogenen Auffüllungen und Anschüttungen ist generell von einer (sehr) lockeren Lagerung auszugehen, bei deren bindigen Komponenten eine weiche bis steife Konsistenz ermittelt worden ist. In den Laboruntersuchungen wurden im Wiener Routine-Scherversuch für die kiesigen und sandigen Böden übliche Reibungswinkel in der Größenordnung von 31° bis 34,5° ermittelt. Für die feinkörnigen Böden (tonige bis feinsandige Schluffe) lagen die Reibungswinkel im Bereich von 20° bis 29° (im Mittel 25°). In Einzelfällen wurde dabei ein Abfallen des Restscherwinkels bis auf 20° bis 22° registriert. Sehr niedrige Reibungs- bzw. Restscherwinkel wurden in den entnommenen Proben damit nicht vorgefunden, sind aber in tonreichen Zwischenschichten prinzipiell denkbar.

4.2. Grundwasserverhältnisse

Die quartären Kiese bzw. tiefer gelegenen (fein)sandigen Böden bilden den obersten Grundwasserhorizont, wobei aufgrund der geohydrologischen Verhältnisse von keinem zusammenhängenden Grundwasserkörper auszugehen ist, sondern von einzelnen Wasseradern in verschiedenen Tiefen. Der in den Kernbohrungen, Hausbrunnen und Pegeln beobachtete Grund- und Schichtwasserstand am Hang befindet sich in Tiefen von rund 3,5 bis 6 m unter der Geländeoberkante. Die relativ stark durchlässigen, kiesigen Schichten stellen bevorzugte Wegigkeiten für Schichtwässer dar. Lokal kommt es zur Ausbildung von Quellen an Austrittsstellen dieser Schichten am Hang. Im oberen Horizont anstehende feinkörnige Schichten bilden einen natürlichen Stauer für oberflächennahe Schichtwässer. Im Tertiär, dessen feinsandige Schluffe und Tone grundsätzlich grundwasserstauend wirken, sind zahlreiche fein- bis mittelsandige Schichten von höherer Wasserdurchlässigkeit vorhanden, die zumindest in geringem Ausmaß wasserführend sind und in denen prinzipiell auch gespannte Grundwasserhorizonte vorhanden sein können.

4.3. Verformungsmessungen

Die geodätische Vermessung bestätigte hangabwärts gerichtete Bewegungen (Richtung Nord bis Nordost) an der Geländeoberfläche und an Gebäuden (siehe Abbildung 3 links). Die Größenordnung der Verformungen lag nach einem Messzeitraum von etwa 28 Monaten (Nullmessung Dezember 2009) innerhalb von 5 cm (bis zu 2 cm pro Jahr). Die Verformungen weisen im niederschlagsarmen Jahr 2011 einen abgeflachten zeitlichen Verlauf auf; ab 2012 ist eine tendenzielle Zunahme festzustellen.

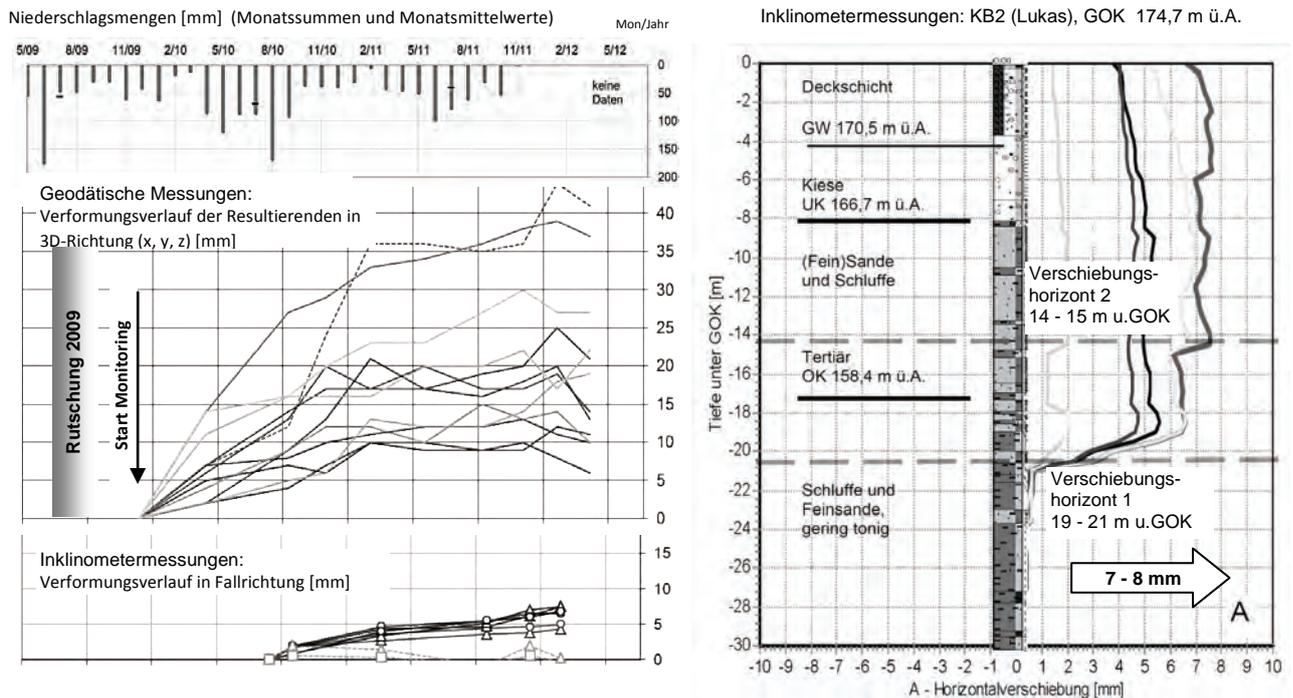


Abb. 3: Links: Vergleich Niederschlag und Verformungen (Geodätische Messungen und Inclinometermessungen) in Millimetern 2009 – 2012 [1]. Rechts: Verformung von Inclinometer KB 2 (in Millimeter ca. in Fallrichtung) [1].

Auch die Rissmonitore bestätigten das Vorhandensein von Hangbewegungen. Innerhalb von etwa 28 Monaten wurde eine Zunahme der Rissverformungen in den Gebäuden in der Größenordnung von 2 mm bis etwa 15 mm registriert.

Die Inclinometermessungen wiesen am Hang mehrere Gleithorizonte im Tiefenbereich von rund 4 bis 20 m u. GOK nach. Innerhalb von etwa 18 Monaten wurden dabei Verschiebun-

gen von bis zu 8 mm in Fallrichtung (d. h. einige Millimetern pro Jahr) gemessen. Die Nullmessung erfolgte rund ein Jahr nach dem Ereignis vom Sommer 2009.

Abbildung 3 (rechts) zeigt die Messergebnisse von Inklinometer KB 2, situiert im Nahbereich des stark geschädigten Wohnhauses Lukas: Seit Beginn der Beobachtung wurden Bewegungen in der Größenordnung von 7 bis 8 mm in Fallrichtung gemessen. Die Verschiebungen treten in zwei Tiefenbereichen von rund 20 m u. GOK bzw. rund 15 m u. GOK auf.

Der Bereich der Böschungskrone scheint stabil zu sein, ist aber weiterhin zu beobachten.

5. Modellbildung

Auf Grundlage der Kernbohrungen, Rammsondierungen sowie ausgewählter Schürfe wurde ein geologisch-geotechnisches Modell des Hanges erstellt. Ausgehend vom Hangprofil (Höhenschichtlinien aus Laserscan und Luftbild) flossen in dieses Modell die Erkenntnisse über die grundlegenden geologischen Verhältnisse (Hangbildung durch die Donau, quartäre Terrassenbildung, Abgrenzung des Tertiärs), die Bodenprofile der Bodenaufschlüsse (Kernbohrungen, Schürfe, Rammsondierungen [DPH, SPT]), die bodenphysikalischen Laboruntersuchungen, die Vermessungsdaten der Hangbewegungen, die Lage der aktiven und inaktiven Abrisskanten sowie offener Risse an der Geländeoberkante des Hanges, beobachteter Grund- bzw. Schichtwasserstand sowie die Lage der Verschiebungshorizonte aus den Inklinometermessungen ein (siehe Abbildung 4).

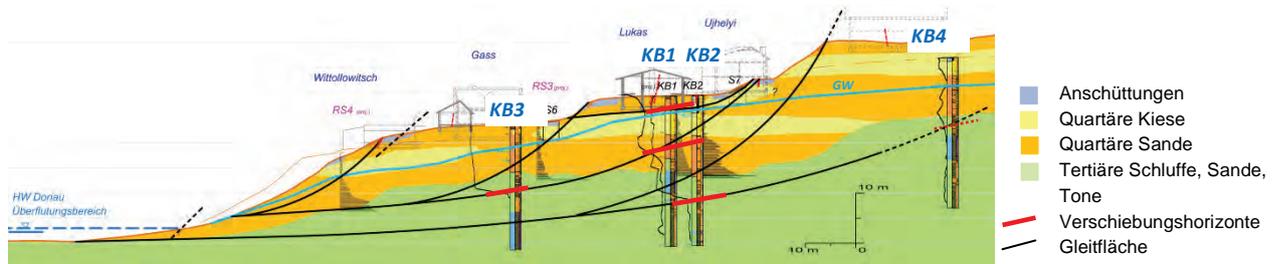


Abb. 4: Geologisches Hangprofil (nicht überhöht) mit den Verschiebungshorizonten [rot] aus den Inklinometermessungen und der angenommenen Lage der Gleitflächen [schwarz] [1].

In Abb. 4 dargestellt ist der angenommene Schichtverlauf der tertiären Sedimente im Liegenden (Schluffe, Feinsande und Tone des Pannon, grün), der quartären Kiese, Sande und Schluffe (gelb und orange) und vorhandenen Anschüttungen (grau) sowie die Lage des Grundwasser- bzw. Schichtwasserspiegels gemäß den gesammelten Daten. Tonige Schluffe von größerer Schichtmächtigkeit wurden in den Bohrprofilen hellblau hinterlegt. Auf Basis der gesamten Erkenntnisse wurde die Lage der Gleitflächen konstruiert und anhand vereinfachter Modellrechnungen zur Hangstabilität auf Plausibilität geprüft.

6. Resümee

Die Untersuchungsergebnisse lassen auf eine (komplexe räumliche) Rutschung entlang von vorrangig gekrümmten und teilweise ebenen Gleithorizonten (Gleitflächen) schließen. Man kann dabei von einem „Gleitschollenteppich“ sprechen. Die Hangbewegungen, die diesem relativ schnell ablaufenden Ereignis nachfolgten und die seit Dezember 2009 messtechnisch überwacht wurden, haben die Charakteristik von Kriechbewegungen mit einer sehr langsamen und mehr oder wenigen stetigen Verformungsrate.

Auf der Suche nach den Ursachen für die Hangbewegungen sind folgende Einflussfaktoren hervorzuheben:

Einflussfaktor Geologie

Zusammenfassend stellen die geologischen, morphologischen und hydrogeologischen Verhältnisse des Hanges die primäre Ursache für die Hangbewegungen dar. In den quartären und tertiären Sedimenten wurden Wechsellagerungen von feinkörnigen und grob- bzw. gemischtkörnigen Bodenarten mit unterschiedlichen bodenmechanischen Eigenschaften

(Scherparameter und Wasserdurchlässigkeit) nachgewiesen. Zudem besitzt die betreffende Talflanke aufgrund des Einschnitts der Donau während der Talbildung ein übersteiltes Profil.

Einflussfaktor Wasser

Durch Wasserzutritt kommt es in den primär bindigen Schichten zu einer Verschlechterung der Konsistenz hin zu weich bis breiig. Bei Feinsanden kommt es zumindest lokal über stauenden Schichten zum Verlust der Korn-zu-Korn-Reibung bzw. bei stark feinsandigen Schluffen zu einer Aufweichung und Entfestigung. Beim Aufbau von (großen) Porenwasserdrücken werden bis zu dessen Abbau die Reibungskräfte zwischen den Körnern nahezu bzw. quasi zur Gänze aufgehoben, womit die Scherfestigkeit nur noch durch die Kohäsion bestimmt wird. Durch Störung z. B. extreme Regenereignisse (Wasserzutritt, Auflast) kommt es durch die Wassersättigung zu einer Lasterhöhung, wodurch Kriech- und Rutschbewegungen begünstigt werden können. Bei bereits vorhandenen Hangbewegungen (aktiven Rutschungen) tritt eine Beschleunigung auf.

Somit bilden die Wasserverhältnisse im Hang den primären Auslöser für Hangbewegungen. Der maßgebliche Einfluss des Hangwassers auf die Hangstabilität wurde anhand von Parameterstudien zur Böschungsbruchsicherheit bestätigt. Verstärkt auftretende Hangwässer, beispielsweise durch lang anhaltende intensive Niederschläge, wirken auf den zeitlichen Verlauf der Verformungen als auslösender bzw. beschleunigender Faktor und können somit wieder ein ähnliches Rutschungsereignis wie im Jahre 2009 auslösen.

Einflussfaktor Mensch

Neben der Geologie wurden auch anthropogene Einflüsse in Form von Anschüttungen und Auffüllungen zur Einebnung bzw. Erweiterung der Siedlungsterrassen festgestellt, welche im gegenständlichen Fall Hangbewegungen begünstigen. Anthropogene Veränderungen spielen eine lokale Rolle als oberflächennaher Auslöser, insbesondere wenn es dadurch zu einer Veränderung der hydrogeologischen Verhältnisse (insbesondere der Wasserwegigkeiten) kommt.

7. Sanierungsmöglichkeiten und Ausblick

Die Analyse sämtlicher Ergebnisse und eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung führten zur Einschätzung, dass eine Stabilisierung des Hanges durch Baumaßnahmen nur durch einen unverhältnismäßig hohen technischen Aufwand zu erreichen wäre und dass die beiden beschädigten Wohnhäuser als Totalschaden zu betrachten sind. Auch bei der bautechnisch „besten“ Lösung, dem Abriss der Gebäude und einer Neuerrichtung auf einer massiven Fundamentbodenplatte, bliebe ein Restrisiko bestehen. Aufgrund des Ausmaßes der Hangbewegungen kann keine Garantie dafür gegeben werden, dass zukünftig keine neuen Schäden auftreten werden. Daher wurde in weiterer Folge unterschieden zwischen der langfristigen Sanierung des Hanges selbst und kurzfristigen lokalen Sicherungsmaßnahmen, welche die Schäden auf den Grundstücken Anrainer beheben sollen.

Zur Verbesserung der Hangstabilität kommt aus technisch-wirtschaftlicher Sicht nur eine hydrogeologische Sanierung in Frage, um den Einflussfaktor Wasser in seiner Wirkung auf die Verformungen auf ein „erträgliches“ Maß zu reduzieren. Ziel ist es, den Hang durch eine Kombination von Drainagebohrungen und -gräben zu entwässern, wobei die Drainageelemente möglichst ohne Energie- und Wartungsaufwand (kein Pumpbetrieb) funktionieren. Dabei handelt es sich um eine langfristig angelegte Sanierungsmethode, für deren effektive Umsetzung einerseits Detailuntersuchungen der komplexen Grund- und Schichtwasserverhältnisse am Hang und andererseits begleitende messtechnische Beobachtungen unerlässlich sind (siehe [4]).

Daher wird das Monitoring der Hangbewegungen in Regelsbrunn zunächst bis 2015 fortgesetzt. Dabei erfolgen zweimal jährlich eine geodätische Vermessung und Kontrolle der Rissmonitore durch die Abteilung Hydrologie und Geoinformation sowie Inklinometermessungen durch die Abteilung Brückenbau des Landes Niederösterreich. Weiters sorgen die Anrainer im Eigeninteresse für eine „Eigenüberwachung“, mit Fokus auf die Beobachtung alter Risse und neuer Rissbildungen an Gebäuden und im Gelände insbesondere nach lang anhaltenden Niederschlägen. Derartige Dokumentationen anhand von Fotos, Markierungen etc. stellen wertvolle ergänzende Informationen dar, die neben den messtechnischen und wissen-

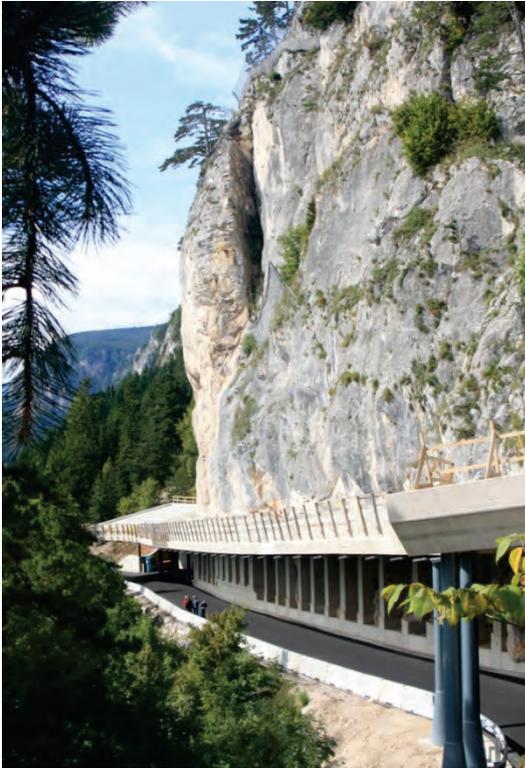
schaftlichen Analysen bei einer zukünftigen Interpretation und Beurteilung des Verformungsverhaltens sehr hilfreich sein werden.

8. Literatur

- [1] HAUSENBERGER, A.: Untersuchung und Analyse der Hangbewegungen in Regelsbrunn, Gemeinde Scharndorf, NÖ: Diplomarbeit am Institut für Geotechnik, Forschungsbereich Grundbau, Boden- und Felsmechanik, Technische Universität Wien; November 2012.
- [2] Unterlagen zum Untersuchungsraum (Luftbilder, Lasershading, DTM): Land NÖ Abteilung Hydrologie und Geoinformation (2008 - 2012).
- [3] CRUDEN, D. M., VARNES D. J.: „Landslide Types and Processes“, aus TURNER, A. K., SCHUSTER, R. L.: „Landslides Investigation and Migration“, Special Report 247; National Research Council, Washington DC, National Academy Press; 1996.
- [4] Hydrogeologie und Sanierungsmethoden durch Drainage: Leitfaden des Bundesamtes für Umwelt, BAFU Schweiz, Abt. Gefahrenprävention Stand 2010.

Beispiele aus Niederösterreich Die Steinschlagalerie Hohe Wand Alfred FASCHING

Projektbeschreibung



Latente Steinschlaggefahr im Bereich km 1,85 der L L4188 Hohe Wand Straße veranlasste das Amt der Niederösterreichischen Landesregierung im Jahr 2002 geologisch – geotechnische Untersuchung von möglichen Schutzbauten in Auftrag zu geben. Als Optionen wurden eine Tunnellösung, ein talseitig fundiertes Schutzdach, ein teilweise frei auskragendes Schutzdach sowie Schutzmaßnahmen in Form eines Verbaus mit Steinschlag-schutznetzen definiert. Als Ergebnis der Variantenuntersuchung, die neben geotechnischen Aspekten zahlreiche andere Gesichtspunkte wie u. A. Naturschutz und Landschaftsbild zu berücksichtigen hatte, wurde die Lösung mit einem teilweise frei auskragenden Schutzdach ermittelt.

Im Zuge der Variantenuntersuchung und der daran anschließenden Planungsphase wurden baugelogeologische Geländeaufnahmen sowie Kern- und Ankerbohrungen und Laborversuche durchgeführt. Die geologischen und geotechnischen Bearbeitungen erfolgten durch das Büro 3G Gruppe Geotechnik Graz ZT GmbH und umfasste, nach den Baugrunderkundungsarbeiten für

die Variantenstudie, die Ermittlungen von geotechnischen Planungsgrundlagen, geotechnische Planungsarbeiten und in die baubegleitende Dokumentation und Beratung bei der Herstellung der Ankerbohrungen und der Fundamente für das Schutzdach. Die technische Planung erfolgte durch das Ingenieurbüro Pauser in Wien, heute pcd-zt GmbH.

Im Zuge der geologischen Erkundungsarbeiten wurde besonderes Augenmerk auf die Gebirgseigenschaften im Bereich der Felsböschung hinsichtlich der Injizierbarkeit von Ankern und der Felsqualität im Bereich ihrer Haftstrecken bzw. auf mögliche Versagensmechanismen von Klüftkörpern gelegt. Durch die Interpretation der an der Felswand abgeteufte Hammerschlag- bzw. Kernbohrungen wird vorwiegend von etwa wandparallel streichenden verkarsteten, offenen bzw. zum Teil mit Rotlehm verfüllten Klüften und Hohlräumen sowie von wandparallelen Zonen mit stärker zerlegtem bis zerrüttetem Kalkstein ausgegangen. Im Bereich der Straße wurden die Untergrundverhältnisse hinsichtlich der talseitigen Fundierung des Schutzdachs beurteilt. Für die Dimensionierung des Schutzdachs und die Planung von temporären Sicherungssystemen für die Arbeitsplatzsicherheit wurden Steinschlagsimulationen durchgeführt.

Untergrundverhältnisse

Das Bauwerk liegt im Kontaktbereich zwischen den Gesteinen der Grünbach – Neue Welt – Mulde (Gosau) und den Karbonatgesteinen der Hohen Wand. Die Wandbereiche werden von ungeschichteten Kalkkonglomeraten sowie Kalksteinen aufgebaut. Bereichsweise sind die Kalksteine aufgrund einer intensiven tektonischen Überprägung zum Teil in Störungsbrekzien umgewandelt. Entsprechend den Bohrergebnissen schließen talseitig an die Karbonate tektonisierte Mergel und Sandsteine der Gosau an, die von mehrere Meter mächtigem Hangschutt und Anschüttung überlagert werden. Die Störungsgesteine weisen Lockergesteinseigenschaften auf, wobei aufgrund des hohen Feinkornanteils die Eigenschaften eines bindigen Lockergesteins überwiegen.

Gefahr, Risiko, Schaden... – Klärung der Begriffe

Rainer POISEL

Einleitung

Gefahrenzonenpläne, Gefahrenkarten, Raumordnungspläne, Georisikokarten usw. sind Dokumente mit enormen Auswirkungen auf einzelne Menschen, die Gesellschaft, die Wirtschaft usw. Sie müssen daher auf klaren Begriffsbestimmungen basieren, weil sie sich sonst ihrem Anspruch, ordnend einzugreifen, selbst entziehen. Im Folgenden werden daher Begriffsbestimmungen nach verschiedenen Quellen aufgelistet.

Gefahr

Laut Duden ist eine Gefahr ein drohendes Unheil oder die Möglichkeit, dass jemandem etwas zustößt, dass ein Schaden eintritt.

Eine Gefahr (mittelhochdeutsch gevare „Hinterhalt, Betrug“) ist eine Situation oder ein Sachverhalt, der zu einer negativen Auswirkung führen kann. Diese negative Auswirkung einer Gefährdung kann Personen, Sachen, Sachverhalte, Umwelt oder Tiere treffen (wikipedia).

Eine Gefahr ist ein Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden entstehen kann (PLANAT, 2009).

Eine Gefahr beschreibt den Umstand, dass aus einem Prozess ein Schaden für Personen und / oder Sachgüter resultieren kann. Die Gefahrenbeurteilung erfolgt prozessgruppen- oder prozessartspezifisch unter Einbeziehung der Intensität und der Eintrittswahrscheinlichkeit (GeolBA).

Gefahrenzonenplan

Laut der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne sind die Einzugsgebiete von Wildbächen und Lawinen, die durch Wildbäche oder Lawinen gefährdeten Bereiche (Gefahrenzonen) sowie jene Bereiche, deren Freihaltung für spätere Schutzmaßnahmen von den Dienststellen für erforderlich erachtet wird oder die wegen ihrer Schutzfunktion hinsichtlich Wildbach- oder Lawinengefahren besonders zu bewirtschaften sind (Vorbehaltsbereiche) Gegenstand der Darstellung im Gefahrenzonenplan (GZP). Hinweise auf Ergebnisse der Erhebungen, die nicht im unmittelbaren Zusammenhang mit den oben angeführten Bereichen stehen, sowie auf die Beschaffenheit von Gelände und Boden, soweit durch diese Beschaffenheit eine Schutzfunktion beeinflusst wird, sind zulässig (Hinweisbereiche). Die Dienststellen haben in den Einzugsgebieten die Plangrundlagen zu erheben. Diese Erhebung hat insbesondere die Erkundung der Gefahrenursachen unter Berücksichtigung der geologischen, hydrogeologischen, hydrologischen, meteorologischen, klimatischen und biologischen Verhältnisse sowie der landeskulturellen und der übrigen anthropogenen Einflüsse zu umfassen. Auf der Gefahrenzonenkarte sind die nachstehend näher bezeichneten Gefahrenzonen unter Zugrundelegung eines Ereignisses mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von zirka 150 Jahren (Bemessungsereignis) sowie die Vorbehaltsbereiche abzugrenzen.

Bei der kartografischen und textlichen Darstellung der GZP und bei der Quantifizierung der Kriterien für die Darstellung der Gefahrenzonen ist auf den jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und auf die Erfahrung entsprechend Bedacht zu nehmen.

Gefahrenhinweiskarte

Laut den Definitionen seitens der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt, Wien (GEOLBA, 2013) kompiliert die Gefahrenhinweiskarte Prozessinformationen (z. B. Abrissbereich und Schadensraum) aus vorhandenen Katastern und Karten, die per Expertenwissen zu gesamthaften Prozessbereichen zusammengefasst werden. Dabei werden ausschließlich jene Prozesse berücksichtigt, aus denen eine Gefahr resultieren könnte. Die Bewertung der gefahrenrelevanten Prozessinformationen erfolgt per Expertenwissen je nach Prozessart/-gruppe auf Basis der vorhandenen Prozessinformationen (z. B. Ereigniszeitpunkt, Aktivität, Entwicklungsstadium), gegebenenfalls auch auf Basis ergänzender Erhebungen.

Gefahrenpotentialkarte

Eine Gefahrenpotentialkarte liefert eine für einen definierten Raum flächendeckende Information zum relativen Gefahrenpotential für eine oder mehrere Schadensobjektgruppen aufgrund einer Prozessgruppe/Prozessart. Die Bewertung des Gefahrenpotentials wird per Experte im Gelände und/oder per Modellierung auf Basis der Prozessinformationen und/oder diversen, räumlich variablen Standortfaktoren (z. B. Geologie, Vegetation, Morphologie) vorgenommen. Dies erfolgt für eine Prozessart/-gruppe unter Berücksichtigung der relativen Wahrscheinlichkeit (z. B. eher, weniger, nicht vorhanden) des Auftretens und des potentiellen Prozessraumes sowie unter Angabe der potentiellen Schadensobjektgruppe(n) (z. B. Gefahrenpotential „Fallen/Stürzen“ relational Straßen). Es handelt sich daher um zukunfts- und raumorientierte qualitative bis semiquantitative Prozessinformationen, ohne Aussagen zur Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit des Prozesses (GEOLBA, 2013).

Gefahrenkarte

Eine Gefahrenkarte weist prozessgruppen- oder prozessartspezifische Gefahren aus. Im Gegensatz zur Gefahrenpotentialkarte werden zukunfts- und raumorientierte quantitative Prozessinformationen zur Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit gegeben (GEOLBA, 2013).

Schaden

Laut Duden verändert ein Schaden die Gegebenheiten oder die bestehende Situation in einer negativen, nicht wünschenswerten Weise. Diese Veränderung kann Menschen und Sachwerte betreffen und wird z.B. bei Risikobeurteilungen in Menschenleben oder in Geldmengen ausgedrückt.

In der Versicherungsbranche wird versucht, den finanziellen Gegenwert eines Schadens festzustellen (wikipedia).

Ein Schaden beeinträchtigt das Wohlergehen der Betroffenen. Als Schaden gilt grundsätzlich ein Schaden für die Betroffenen, unabhängig davon, ob dieser Schaden versichert ist oder andere von diesem Schaden profitieren (PLANAT, 2009).

Eintrittswahrscheinlichkeit

bezeichnet den statistischen Erwartungswert oder die geschätzte Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines bestimmten Ereignisses in einem bestimmten Zeitraum in der Zukunft (wikipedia).

Der Eintrittszeitraum ist jene Zeitspanne, in der sich ein bestimmter Vorfall (Lawine, Mure) im Mittel wiederholt. Bei Vorfällen, die nur einmal auftreten, wie z.B. das Versagen einer Böschung, ist der Eintrittszeitraum die Zeitspanne, an deren Ende das Versagen spätestens erwartet wird. Die Eintrittswahrscheinlichkeit ist der Reziprokwert des Eintrittszeitraums und hat die Dimension 1 pro Zeiteinheit (meist pro Jahr).

Die Versagenswahrscheinlichkeit von 1 % im Bezugszeitraum von einem Jahr bedeutet, dass in einem Jahr 1 von 100 Böschungen versagt. Diese Aussage ist rein statistisch gleichbedeutend mit der Aussage, dass das Versagen einer Böschung in 100 Jahren zu erwarten ist. Damit wäre aus der Versagenswahrscheinlichkeit der Eintrittszeitraum und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelbar. Dabei wird aber z.B. die Reduktion der Festigkeit über die Zeit nicht berücksichtigt, die den Eintrittszeitraum und damit die Eintrittswahrscheinlichkeit wesentlich beeinflusst (POISEL, 2007).

Der Eintrittszeitraum eines Böschungsversagens muss daher aus einer Extrapolation von Messergebnissen (z.B. FUKUZONO, 1985) abgeleitet werden. Ist dies nicht möglich, weil die Messergebnisse keine Tendenz zeigen, muss die Eintrittswahrscheinlichkeit z.B. aus der Wahrscheinlichkeit von Erdbeben, die ein Böschungsversagen einer bestimmten Größe auslösen können, u.a. abgeleitet werden, falls die Eintrittswahrscheinlichkeit für Risikoabschätzungen oder für Kosten-Nutzen-Rechnungen benötigt wird.

Risiko

Umweltwissenschaftler, Planer und Sicherheitsingenieure (z.B. Kernenergie) bezeichnen mit Risiko das Produkt von Eintrittshäufigkeit bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit und Ereignisschwere bzw. Schadensausmaß (wikipedia).

Gemäß einer Definition des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (<http://www.lfu.bayern.de>) sind Georisiken Ereignisse, die lokal mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten auftreten und aus denen ein Schaden für Leib und Leben von Personen bzw. für Sachwerte entstehen kann. Zu den Georisiken mit erdwissenschaftlichem Bezug zählen in Bayern vor allem die Hangbewegungen und das Einstürzen von unterirdischen Hohlräumen.

Diskussion der Begriffe

Gefahr

Der Begriff Gefahr hat eine außerordentlich umfassende Bedeutung. Der Duden und wikipedia verbinden Gefahr nur mit einem möglichen Schaden, während z.B. VARNES (1984) die Intensität einer Gefahr nur über Eintrittswahrscheinlichkeiten (welche? Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Massenbewegung? Wahrscheinlichkeit der Beschädigung eines Objekts durch einen Steinschlagblock?) klassifiziert. Umgangssprachlich wird aber ein großer Schaden, dessen Eintreten sehr unwahrscheinlich ist, kaum als große Gefahr empfunden. Auch wenn die Wahrscheinlichkeit, einen Euro zu verlieren, sehr groß ist, wird dies im Allgemeinen nicht als große Gefahr gesehen werden. Im allgemeinen Sprachgebrauch bedeutet daher eine große Gefahr die Möglichkeit eines großen Schadens mit einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit. Das Kombinieren von Intensität (Maß für möglichen Schaden?) und Eintrittswahrscheinlichkeit in der Definition von Gefahr durch die Fachabteilung Ingenieurgeologie der GeolBA (GEOLBA, 2013) besteht daher zu Recht.

Gefahrenzonenplan

Gefahrenzonenpläne existieren für den Siedlungs- und Wirtschaftsraum in Österreich nahezu flächendeckend. Der Gefahrenzonenplan (GZP) ist ein Planungsinstrument für die Gemeinden, das von der Wildbach- und Lawinerverbauung, einer Dienststelle des BMLFUW, im Rahmen ihrer hoheitlichen Aufgaben erstellt wird. Dabei wird in Abstimmung mit den Gemeinden der „raumrelevante Bereich“ definiert, der den bestehenden Siedlungs-, Wirtschafts- und Verkehrsraum innerhalb des Gemeindegebietes inklusive in näherer Zukunft zu erschließende Flächen beinhaltet. Für diesen „raumrelevanten Bereich“ werden die Gefahrenzonen für Wildbäche und Lawinen, die braunen Hinweisbereiche für Rutschungen und Steinschlag sowie diverse andere Bereiche (Vorbehaltsflächen für künftige Schutzmaßnahmen etc.) dargestellt (MÖLK et al., 2010).

Im GZP werden für die Prozessgruppen Lawine und Wildbachprozesse jeweils rote und gelbe Gefahrenzonen ausgeschieden, die aufgrund von prognostizierten Einwirkungen (Fließhöhen, Lawinendrucke, Staudruck etc.) für das Bemessungsereignis eines 150-jährlichen Schadereignisses abgegrenzt werden.

Für die Prozessgruppen Steinschlag und Rutschungen werden im GZP im Rahmen einer Kannbestimmung braune Hinweisbereiche ausgeschieden, die mögliche Wirkungsbereiche dieser Prozesse im raumrelevanten Bereich ausscheiden können. Die „Kann-Bestimmung“ der Verordnung führt jedenfalls dazu, dass andere als von Wildbach- und Lawinen verursachte Naturgefahren nicht vollständig ausgewiesen werden müssen.

Gefahrenhinweiskarte, Gefahrenpotentialkarte, Gefahrenkarte

Gemäß den Definitionen erfolgt die Bewertung der gefahrenrelevanten Prozessinformationen per Expertenwissen je nach Prozessart/-gruppe auf Basis der vorhandenen Prozessinformationen (z. B. Ereigniszeitpunkt, Aktivität, Entwicklungsstadium), gegebenenfalls auch auf Basis ergänzender Erhebungen.

Die Morphologie der Südflanke des Reisskofels (Kärnten) deutet auf große, rasche Bewegungen hin. Messungen der Großluftgassenweiten haben aber gezeigt, dass sich die Weiten in den letzten 25 Jahren nicht verändert haben. Ohne Monitoring sind verlässliche Aus-

sagen über das Gefahrenpotential kaum möglich. Wem nützt die Aussage, dass aus einem Prozess eine Gefahr resultieren könnte?

Die Großhangbewegung Lärchberg-Galgenwald bei Murau (POISEL et al., 2009) befindet sich in der gleichförmig aufgebauten, gleichmäßig geneigten, orografisch rechten Flanke des Rantenbachtals bei Murau. Offenbar haben geringfügige Unterschiede im Trennflächengefüge oder in den hydrogeologischen Verhältnissen usw. dazu geführt, dass nur jener Bereich instabil wurde, der sich derzeit mit dm/Jahr bewegt. Wo verfügen wir über eine ausreichende Informationsdichte, um präzise Voraussagen über Gefahren machen zu können? Hätte eine Karte, in der die gesamte orografisch rechte Flanke des Rantenbachtals als potentiell gefährlich bezeichnet würde, einen Wert?

Raumplaner verfügen im Allgemeinen über zu wenig Wissen auf dem Gebiet der Massenbewegungen, um aus kompilierten Prozessinformationen, die zu gesamthaften Prozessbereichen zusammengefasst werden und gegebenenfalls durch Erhebungen ergänzt werden, Nutzen ziehen zu können. Darüber hinaus werden ausschließlich jene Prozesse berücksichtigt, aus denen eine Gefahr resultieren könnte. Bezieht sich das auf Gefahren für bestehende oder erst zu errichtende Objekte (welche)?

Dies alles bedeutet, diese Karten können nur von einem Experten interpretiert und weiter genutzt werden.

Schaden

Grundsätzlich muss ein möglicher Schaden im Einflussbereich einer möglichen Massenbewegung direkt in Form von Menschenleben oder einer Geldmenge abgeschätzt werden. Die Ermittlung des Einflussbereiches einer möglichen Massenbewegung kann z.B. mittels Numerischer Methoden, wie z.B. PFC (POISEL et al., 2008a) und DAN (POISEL et al., 2008b) erfolgen. Die Verknüpfung von der Zahl von Personen oder Objekten, die einem Risiko ausgesetzt sind, mit deren Vulnerabilität ist nur für sehr große Beeinflussungsbereiche sinnvoll. Einen Schaden in einem Ort mit wenigen Häusern im Einflussbereich einer Mure mittels der Verknüpfung von der Zahl von Personen oder Objekten, die möglicherweise durch eine Mure Schaden erleiden, und deren Vulnerabilität ist in einem solchen Fall nicht zielführend.

Risiko

Der Begriff „Risiko“ im Sinn von Schaden mal Eintrittswahrscheinlichkeit (ausgedrückt in Menschenleben oder € pro Jahr) spielt nicht nur im täglichen Leben (oft unbewusst) sondern z.B. auch bei der Beurteilung der Gefährdungen von Staaten eine bedeutende Rolle. Die norwegische Risikomatrix (DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP, 2011) bringt dies deutlich zum Ausdruck. Eine Pandemie, deren Schaden und deren Eintrittswahrscheinlichkeit (und damit das Risiko daraus) groß eingeschätzt werden, stellt die größte Gefahr für die Norwegische Gesellschaft dar. Eine sicherheitspolitische Krise (z.B. ein Krieg) würde zwar einen größeren Schaden hervorrufen, seine Wahrscheinlichkeit (und damit das Risiko daraus) wird aber als gering eingestuft.

Im Bereich von Massenbewegungen wird die Definition „Schaden mal Eintrittswahrscheinlichkeit“ weitgehend angewandt. Grundsätzlich kann daher ein Risiko nur dort bestehen, wo es ein oder mehrere gefährdete Objekte gibt. Die Berechnung eines Risikos oder der Reduktion eines Risikos erfolgt oft in Zusammenhang mit einer Kosten – Nutzen – Rechnung. Die Kosten sind dabei die Kosten, mit der eine bestimmte Risikoreduktion (= Nutzen) erreicht werden kann. Sind die Kosten geringer als die damit erreichbare Risikoreduktion, ist die Investition ökonomisch sinnvoll. In jenen Fällen, in denen nur ein materieller Schaden droht, ist diese Entscheidung relativ leicht.

Im Fall der Großhangbewegung Lärchberg – Galgenwald bei Murau konnte die Gefahr für Leben ausgeschlossen werden (POISEL et al., 2009). Mittels einer PFC3D-Simulation konnte gezeigt werden, dass das größte Felsvolumen, dessen Annäherung an einen Abbruch durch das Monitoringsystem nicht erfasst würde, sicher vom Schutzdamm für die Rantentalstrasse zurückgehalten werden kann. Die Entscheidung, welche Stabilisierungsmaßnahmen ökonomisch sinnvoll wären, wurde auf Basis einer Kosten – Nutzen (= Risikoreduktion) – Rechnung getroffen. Der Schaden bei Abgang der Großhangbewegung mit einem Volumen von 10 Mio m³, dessen Eintrittswahrscheinlichkeit mit 1/1.000 Jahre geschätzt wird, würde etwa € 37 Mio betragen, weil durch den Abgang eine Bundesstraße unterbrochen und der Ranten-

bach aufgestaut würde, woraus ein Großmurenereignis bzw. eine Flutwelle ausgelöst werden könnte. Das Risiko beträgt daher € 37.000 / Jahr. Maßnahmen zur Risikominderung, wie zum Beispiel ein Entwässerungsstollen, ein Umleitungsstollen oder eine Gegenschüttung, deren jährliche Kosten zufolge Durchführung und Erhaltung deutlich über dem genannten Betrag liegen, erscheinen daher derzeit als nicht wirtschaftlich.

Drohen Verluste von Menschenleben, ist die Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen wesentlich schwieriger. Dabei sind eine Gegenüberstellung von Risiken (ausgedrückt in Menschenleben pro Jahr) als Entscheidungsgrundlage oder die Angabe eines akzeptablen Todesfallrisikos möglich, ohne den Geldwert eines Menschenlebens angeben zu müssen. Ein Arbeitskreis der Österreichischen Gesellschaft für Geomechanik arbeitet derzeit eine Empfehlung betreffend die akzeptierte Todesfallwahrscheinlichkeit (Schutzziel) im Zusammenhang mit gravitativen Naturgefahren in Österreich aus (ähnlich der schweizer Empfehlung PLANAT, 2009).

Abbildung 1 zeigt die Risikomatrix, nach der in Hong Kong Entscheidungen betreffend Investitionen in Schutzmaßnahmen getroffen werden. Dabei wird offenkundig, dass bereits bei diesen „einfachen“ Überlegungen gesellschaftliche Ansichten und politische Entscheidungen eine Rolle spielen, weil Ereignisse mit über mehreren tausend Toten, aber einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit als nicht akzeptabel bezeichnet werden, obwohl Ereignisse mit nur wenigen Toten und einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit und daher mit demselben Risiko als tolerierbar bezeichnet werden (POISEL et al., 2012).

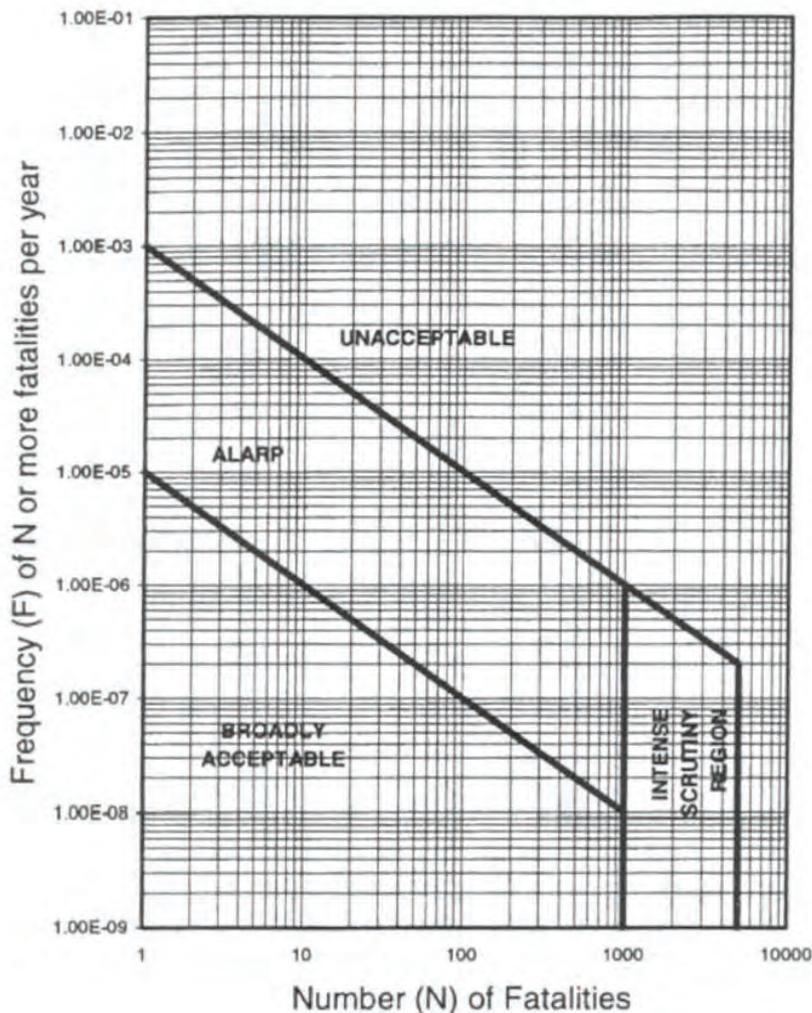


Abb. 1: Risikomatrix Hong Kong (Hong Kong Geotechnical Engineering Office, 1998; aus: HUNGR & EBERHARDT, 2006); ALARP: As low as reasonably possible

Schlussbemerkungen

In Anbetracht der enormen Auswirkungen von Gefahrenhinweiskarten usw. ist eine fundierte Auseinandersetzung der damit Befassten mit dem Stand der Technik auf den Gebieten der Geologie, der Hydrogeologie, der Ingenieurgeologie, der Hydrologie, der Boden- und Felsmechanik, der Meteorologie, der Biologie usw. einzufordern. Wie in der Verordnung GZP ausgeführt, ist bei der kartografischen und textlichen Darstellung der GZP und bei der Quantifizierung der Kriterien für die Darstellung der Gefahrenzonen auf den jeweiligen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und auf die Erfahrung entsprechend Bedacht zu nehmen. Dies kann nur in Zusammenarbeit mehrerer Personen geschehen, weil einzelne den Stand der Wissenschaft auf allen genannten Gebieten nicht beherrschen können. Pläne, die nur einzelne Aspekte der Problematik berücksichtigen, sind in Anbetracht der Konsequenzen abzulehnen.

Literatur

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft : Auszug aus der Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne.

DIREKTORATET FOR SAMFUNNSSIKKERHET OG BEREDSKAP (2011): Rapport – Nasjonal sarbarhets-og beredskapsrapport (NSBR). ISBN: 978-82-7768-246-4

FUKUZONO, T. (1985): A new method for predicting the failure time of a slope. Procs.Fourth International Conf. and Field Workshop on Landslides, Tokyo, pp. 145-150.

GEOLBA (2013): Definitionen seitens der Fachabteilung Ingenieurgeologie der Geologischen Bundesanstalt, Wien.

HUNGR, O. & EBERHARDT, E. (2006): Analysis in Slope Hazards Engineering: Current Practice and New Advances. Handout: Basics of Landslide Hazard and Risk Management. Sea to Sky Geotechnique 2006, Vancouver B. C.. 59th Canadian Geotechnical Conference. Vancouver.

MÖLK, M., SAUSGRUBER, T., BÄK, R. & KOCIU, A. (2010): Standards and methods of hazard assessment for rapid mass movements (rockfall and landslide) in Austria. - Wildbach- und Lawinenverbau - 74. Jg, August 2010, Heft Nr. 166.

PLANAT (Plattform Naturgefahren) (2009): Strategie Naturgefahren Schweiz, Umsetzung des Aktionsplans PLANAT 2005-2008 /2009-2011, Projekt B 2.2: Schutzziel-Modell, Schlussbericht Phase 2, 29. Mai 2009.

POISEL, R. (2007): Böschungen und Hänge im Festgestein - Versagensmechanismen, Berechnungsmodelle, Versagenswahrscheinlichkeiten. Unterlagen zum Kurs "Risiko von Naturgefahren" an der Technischen Universität Wien, 17. bis 21. September 2007.

POISEL, R., PREH, A. & KOC, O. (2008a): Punta Thurwieser Rock Avalanche and Frank Slide – a comparison based on PFC3D run out models. Proc. Of the 2007 Int. Forum on Landslide Disaster Management, Hong Kong Landslide Runout Analysis Benchmarking Exercise 2007. Vol. II, pp. 1059-1078.

POISEL, R., PREH, A. & HUNGR, O. (2008b): Run Out of Landslides – Continuum Mechanics versus Discontinuum Mechanics Models. Geomechanik & Tunnelbau 1, S. 358-366.

POISEL, R., ANGERER, H., PÖLLINGER, M., KALCHER, T. & KITTL, H. (2009): Mechanics and velocity of the Lärchberg-Galgenwald landslide (Austria). Engineering Geology, doi:10.1016/j.enggeo.2009.01.002

POISEL, R., HOFMANN, R. & MÖLK, M. (2012): Risikobewertung als Basis für Investitionsentscheidungen. Geomechanik und Tunnelbau 5, S. 597-604.

VARNES, D.J. (1984): Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. Unesco. Paris.

Nutzung der Landschaft – Raumordnung und gravitative Naturgefahren

Arthur KANONIER

Nutzung der Landschaft

Der Umgang mit der Inanspruchnahme von Landschaft und Boden zählt zu den zentralen Anliegen der Raumplanung auf örtlicher, regionaler und landesweiter Ebene. So wird der haushälterische Umgang mit Grund und Boden und speziell die Zersiedlungsabwehr werden als Aufgaben der Raumordnung angesehen. Verschiedene Instrumente sollen die raumplanerischen Ziele zum Flächensparen umsetzen, wobei zunächst restriktive Nutzungsvorgaben Bautätigkeiten eingeschränkt werden sollen. Weitere Maßnahmen, etwa solche zur Baulandmobilisierung, Innenverdichtung oder Revitalisierung von Brachflächen, sollen den Siedlungsdruck auf Grünland zu reduzieren.

Die fortgesetzte Ausdehnung der Siedlungsgebiete und das Entstehen von Bebauungssplittern verdeutlicht, dass wesentliche Raumordnungsziele hinsichtlich sparsamen Bodenverbrauches nur schwer umsetzbar sind. Wenn die Verwendung der Landschaft und des Bodens für Siedlungstätigkeiten anhaltend hoch ist, wird die Reduktion der verfügbaren Flächenreserven negativ bewertet, zumal die limitierten Ressourcen Boden und Landschaft reduziert werden. Negative Auswirkungen durch Flächeninanspruchnahme werden durch den Begriff „Zersiedelung“ vermittelt. So vertritt der VwGH schon 1974, 1014/73, 5.4.1974, die Ansicht, „dass sich Zersiedelung als eine Negativform menschlicher Siedlung erweist“, schränkt diese negative Einschätzung aber auf jene Art von Bauführungen ein „soweit sie nicht aus funktionellen Gründen vorgesehen ist“ Auch in der aktuellen Judikatur wird bezüglich Zersiedelung auf die Funktionen der Baulichkeiten abgestellt und Zersiedelung definiert als eine „ohne funktionales Erfordernis oder ohne ortsplanerische Konzeption vorgenommene Bebauung außerhalb geschlossener Siedlungen“ (VwGH 1999/10/0014, 16.12.2002).

Flächenverbrauch in Österreich

Der seit Jahren beklagte Befund des anhaltend hohen Flächenverbrauches hat sich in aktuellen Untersuchungen nicht wesentlich verändert.

Im 12. ÖROK-Raumordnungsbericht, S 31, werden im Zusammenhang mit dem Flächenverbrauch „bedeutsame Herausforderungen“ (für die örtliche Raumplanung) gesehen, „insb. auch deshalb, weil die Zuwachsraten bei der Flächeninanspruchnahme über denjenigen der Bevölkerung und der Wirtschaft lagen.“ So weist der Bericht, S 29, darauf hin, dass im Zeitraum 2005-2007 die Bevölkerung Österreichs um 0,6%, die Haushalte um 1,2% und der „Verbrauch“ an Verkehrs- und Siedlungsflächen um über 3% zunahm. Umweltbundesamt (<http://www.umweltbundesamt.at/umweltschutz/raumordnung/flaechenverbrauch/>): *„Trotz geringem Bevölkerungswachstum (+ 1,2 % in den letzten 3 Jahren) steigt die Flächeninanspruchnahme (+ 5,2 % in den letzten 3 Jahren) weiter stark an, sowohl in den ländlichen als auch in den stadtnahen Gebieten. Der tägliche Verbrauch für Siedlungs- und Verkehrstätigkeit liegt bei 10 Hektar und der Gesamtflächenverbrauch (inkl. Sportflächen, Abbauflächen usw.) bei 24 Hektar (Durchschnitt der 3 Jahres-Periode 2008–2011) und damit noch immer um das Zehnfache über dem Reduktionsziel der Nachhaltigkeitsstrategie.“*

Bei allen statistischen Unsicherheiten über aktuelle Flächennutzungszahlen lässt sich insgesamt unschwer festhalten, dass die aktuellen Entwicklungen nicht dazu beitragen, das von der Bundesregierung 2002 in der Österreichischen Strategie zur nachhaltigen Entwicklung vorgegebene Ziel der Reduktion des Zuwachses dauerhaft versiegelter Flächen auf maximal ein Zehntel des heutigen Wertes bis zum Jahr 2010 „von rd. 20 ha/Tag Neuverbrauchsrate (Bau- und Verkehrsflächen) auf 2 ha/Tag“ zu erreichen.

Unterschiedliche Ursachen

Der enorme Landschaftsverbrauch der letzten Jahre hat offensichtlich seine Ursachen weniger in wachsenden Bevölkerungs- und Arbeitszahlen. Durch die ständig steigenden (baulichen) Bedürfnisse und Nutzungswünsche sehen sich die Gemeinden veranlasst, Siedlungserweiterungen sowie Baulandsplitter auszuweisen. Gründe dafür sind die mangelnde Verfügbarkeit von Bauflächen innerhalb des Siedlungsgebietes. Trotz großzügigster Baulandausweisungen kann die Nachfrage nach Bauland nicht befriedigt werden, da infolge Baulandhortung bebaubare Flächen nur in geringfügigem Maße zum Kauf angeboten werden. Der völlig erstarrte Bodenmarkt und der steigende Nachfragedruck veranlassen die kommunalen Entscheidungsträger, neuen Umwidmungen zuzustimmen. Vielfach muss dort gewidmet und gebaut werden, wo Liegenschaften überhaupt an Bauwillige abgegeben werden, und das ist oft in Randlagen.

Für Großbauten, wie Industrie- und Gewerbebetriebe oder Einkaufszentren, sind Standorte abseits bestehender Siedlungsgebiete vor allem aus finanziellen Aspekten und infolge geringerer Interessenskonflikte attraktiv. Maßnahmen gegen weitere Zersiedlung sind insbesondere für diese Nutzungen zu setzen, da der Flächenbedarf für wirtschaftliche Nutzungen deutlich dynamischer als jener für Wohnzwecke eingeschätzt wird.

Knapper Dauersiedlungsraum und Naturgefahren

Insgesamt sind rund 31,4% der Landesfläche als potentieller Dauersiedlungsraum anzusehen, wobei österreichweit bereits rund 13,5% des Dauersiedlungsraumes durch Bau- und Verkehrsflächen genutzt werden. Infolge der naturräumlichen Gegebenheiten ist die Flächenverfügbarkeit für potentielle Siedlungsaktivitäten in den Bundesländern und Gemeinden ungleich verteilt. Der Dauersiedlungsraum macht etwa in Tirol lediglich 11,9% der Landesfläche und in rund 50 Gemeinden Österreichs unter 5 % der Gemeindefläche aus.

Zu den zentralen Aufgaben der räumlichen Planung zählen die Ausweisung von Bauland in geeigneten Bereichen sowie – umgekehrt – das Freihalten von Bereichen, die aufgrund ihres Gefährdungspotentials für eine Bebauung nicht geeignet sind. Wesentlicher Steuerungsansatz der Raumplanung ist es, Überlagerungsbereiche von Gefährdungszonen einerseits und Siedlungszonen andererseits möglichst gering zu halten.

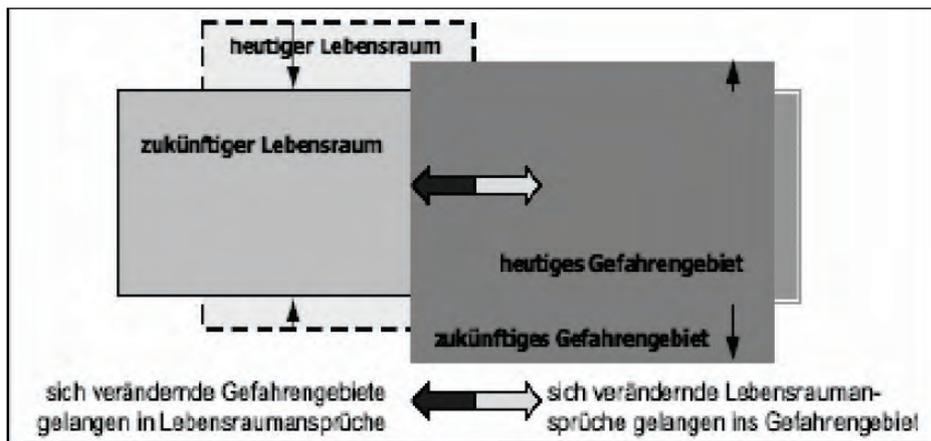


Abb. 1: Übersicht: Überlagerung von Lebensraum und Gefahrengebiet (Quelle: Bundesamt für Raumentwicklung, 2005, Bern):

In verstärktem Maße ist allerdings festzustellen, dass bestehende Bauten und Anlagen sowie gültige Bauland-Widmungen durch Naturgefahren beeinträchtigt werden. In den letzten Jahren haben Siedlungs- und Bautätigkeiten verstärkt in – aus Sicht der Gefahrenprävention – ungeeigneten Gebieten stattgefunden. In vielen Regionen Österreichs ist es nicht (mehr)

oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich, Siedlungs- und Gefahrenbereiche weitgehend räumlich zu trennen. Zunehmend überlagern sich Siedlungsbereiche („Lebensräume“) und Gefahrengebiete, wobei aus Sicht der Naturgefahrenmanagements vor allem diese Überlagerungsbereiche Herausforderungen darstellen.

Für diese Bereiche, in denen Siedlungsaktivitäten durch Naturgefahren bedroht sind, besteht somit ein besonderer planerischer Handlungsbedarf, wobei die (rechtlichen) Möglichkeiten insb. für Gemeinden unterschiedlich, in der Regel aber limitiert sind. Der Grundsatz der präventiven Gefahrenvermeidung – weitgehendes Freihalten von Gefährdungsbereichen durch raumplanerische Festlegungen – trifft in der Realität auf ein vielschichtiges Gebilde von Sicherheitsanstrengungen, dynamischen Gefahrensituationen, knappen Dauersiedlungsräumen und vielfältigen Nutzungswünschen, die komplexe Abwägungsentscheidungen erfordern. Während das Freihalten unbebauter Gefährdungsbereiche leichter realisierbar erscheint, obwohl in einzelnen Regionen der Siedlungsdruck auf solche unbebauten Flächen nach wie vor hoch ist, ist der Umgang mit bestehenden Bauten und Nutzungsrechten in (wachsenden) Gefährdungsbereichen weitaus schwieriger. Für Gefährdungsbereiche, die bereits bebaut sind, greifen präventive Maßnahmen in der Regel zu kurz, zumal die Eingriffsmöglichkeiten in den Bestand beschränkt sind.

Raumordnung und gravitative Naturgefahren

Gravitative Naturgefahren, insb. Berg- und Felsstürze, Rutschungen sowie Muren, haben einen engen Bezug zur Raumplanung (und zum Bauwesen), zumal bei einer Gefährdung die dauerhafte Nutzung von Liegenschaften sowie Gebäuden erheblich beeinträchtigt wird. Demzufolge enthalten die Raumordnungsgesetze und Bauordnungen der Bundesländer umfangreiche Vorgaben und Beschränkungen für räumlich abgrenzbare geologische Gefahrenbereiche.

Auch wenn in den letzten Jahren in Österreich anderen Naturgefahren (vor allem Hochwasser) verstärkt – auch rechtliche – Bedeutung beigemessen wurde und Massenbewegungen eher vereinzelt (z.B. Gschlifgraben bei Gmunden oder Hangbewegungen in Sibratsgfall) planerisch überkommunale Beachtung gefunden haben, sind die Herausforderungen in der planungs- und baurechtlichen Praxis beträchtlich: Welche Standorte und Bereiche konkret gefährdet und in der Folge von Widmungs- und Bauverboten betroffen sind, ist erhebungsaufwendig und auslegungsbedürftig, wobei die Orientierung an den Inhalten von Gefahrenzonenplänen gängige Praxis und weniger rechtliche Verpflichtung ist. Die Umsetzung der (braunen) Hinweisbereiche des Gefahrenzonenplans in der überörtlichen und örtlichen Raumpläne bzw. im Baubewilligungsverfahren ist in der Regel nicht näher und spezifisch geregelt, sondern lediglich aus den generellen Regelungssystematik bezüglich Naturgefahren abzuleiten. Neben der Erfassung der rechtlich relevanten Gefahrenbereiche bei Massenbewegungen erweist sich die Auslegungen der spezifischen planungs- und baurechtlichen Bestimmungen in der Praxis als aufwendig. Die Regelungsvielfalt und -dichte – umfangreiche Verbote und Beschränkungen für Widmungen und Bauvorhaben, die in verschiedenen Verfahren angewendet bzw. überprüft werden müssen – bei gleichzeitiger Unbestimmtheit erschweren die rechtliche Anwendung, zumal Ausnahmeregelungen die Verbotswirkungen zusätzlich relativieren.

Widmungs- und Bauverbot für durch Massenbewegungen gefährdete Bereiche

Die Kompetenzverteilung bezüglich Raumplanung und Bauwesen – Gesetzgebungskompetenz der Länder für die allgemeine Raumplanung und das Bauwesen – bewirkt, dass in Österreich neun unterschiedliche gesetzliche Grundlagen für die Raumplanung und das Bauwesen im Allgemeinen und für Widmungen und Baubewilligungen im Besonderen bestehen.

Die Raumordnungsgesetze enthalten Grundsätze und -ziele, durch welche die zentralen Anliegen der Raumordnung vorgegeben werden. Die Umsetzung dieser Ziele erfolgt durch ein

hierarchisches Planungsinstrumentarium, das unterschiedliche Raumpläne auf überörtlicher und kommunaler Ebene umfasst. Raumplanerische Nutzungsvorgaben werden im Rahmen der Hoheitsverwaltung in der Regel als Verordnungen des Gemeinderates (örtliche Raumpläne) bzw. der Landesregierung (überörtliche Raumpläne) festgelegt, wobei die konkrete Anwendung der raumplanerischen Festlegungen durch die in den Bauordnungen (BO) geregelte Baubewilligungs- oder Anzeigeverfahren erfolgt.

Raumordnungsgesetze regeln unterschiedlich den Umgang mit Naturgefahren, wobei sie Massenbewegungen als eine Gefahrenart mit einschließen und nur teilweise massenbewegungsspezifische Vorschriften enthalten.

Überörtliche Raumplanung

Als mögliche Inhalte in überörtlichen Planungsinstrumenten werden Maßnahmen gegen Naturgefahren kaum ausdrücklich in den ROG angeführt. Lediglich das neue TROG 2010 enthält eine Ergänzung des § 7 dahingehend, dass gemäß Abs. 2 lit a in überörtlichen Raumordnungsprogrammen festgelegt werden kann, dass Grundflächen für bestimmte Zwecke freizuhalten sind, wie z.B. für Maßnahmen zum Schutz vor Lawinen, Hochwasser, Wildbächen, Steinschlag, Erdbeben oder anderen gravitativen Naturgefahren. Somit können laut TROG auch Maßnahmen im Zusammenhang mit Massenbewegungen ausdrücklich Inhalt überörtlicher Raumpläne sein. Auch wenn in den anderen ROG vergleichbare demonstrative Aufzählungen von naturgefahrenrelevanten Inhalten für überörtliche Raumpläne fehlen, kann daraus nicht der Schluss gezogen werden, dass entsprechende Festlegungen ausgeschlossen sind.

Gemeinsam ist den meisten überörtlichen Raumplänen, dass sie keine planerischen Festlegungen oder räumliche Darstellungen, beispielsweise in Form von überörtlichen Bauverbotsbereichen, oder Ersichtlichmachung von Hinweisbereichen enthalten. Infolge der Kleinräumigkeit der Gefährdung durch Massenbewegungen besteht vielfach überwiegend eine örtliche Betroffenheit, was überörtliche Planungsmaßnahmen entbehrlich macht. Bei Gemeindegrenzen übergreifenden Gefährdungen bzw. umfassendem Naturgefahrenmanagement auf regionaler Ebene wäre freilich die überörtliche Planung verstärkt gefordert, verbindliche Nutzungsbeschränkungen auch im Zusammenhang mit Massenbewegungen festzulegen.

Örtliche Raumplanung

Im raumplanungsrechtlichen Umgang mit Naturgefahren allgemein und mit Massenbewegungen speziell ist die örtliche Planungsebene von besonderer Bedeutung, wobei vor allem dem Flächenwidmungsplan (Flwp) Bedeutung zukommt. Die ROG bestimmen den Flwp als zentrales Instrument der örtlichen Raumordnung, der das Gemeindegebiet nach räumlich-funktionalen Erfordernissen zu gliedern und verbindliche Widmungs- bzw. Nutzungsarten festzulegen bzw. kenntlich zu machen hat. Wenn nachfolgend der Schwerpunkt auf den Flwp gelegt wird, ist zu beachten, dass das örtliche Entwicklungskonzept als strategisches Planungsinstrument für die Gemeindeentwicklung an Bedeutung gewonnen und der Bebauungsplan hinsichtlich der konkreten Nutzung von Liegenschaften erhebliche Bedeutung haben können.

Die ROG bestimmen im Zusammenhang mit Naturgefahren allgemein vor allem für die Widmungskategorie „Bauland“ bei fehlender Eignung Widmungsbeschränkungen und -verbote. Für „Verkehrsflächen“ und „Grünland“ sehen die ROG weniger Beschränkungen vor, obwohl auch diese Widmungskategorien rechtliche Grundlage für die Situierung erheblichen Schadenspotentials in gefährdeten Bereichen sein kann. Bauland setzt nach allen ROG grundsätzlich eine hinreichende Eignung der jeweiligen Flächen voraus. Allgemein ist eine Baulandwidmung unzulässig, wenn sich die betreffende Fläche wegen der natürlichen Verhältnisse für eine zweckmäßige Bebauung nicht eignet. Massenbewegungen stellen Naturgefahren dar, die in den meisten ROG eine Baulandwidmung grundsätzlich ausschließen. So dürfen etwa gemäß § 28 Abs. 3 Sibg ROG Flächen nicht als Bauland ausgewiesen werden, die

im Gefährdungsbereich von Hochwasser, Lawinen, Murgängen, Steinschlag udgl gelegen sind. § 15 Abs. 3 NÖ ROG bestimmt, dass Flächen nicht als Bauland gewidmet werden dürfen, die rutsch-, bruch-, steinschlag-, wildbach- oder lawinengefährdet sind.

Die Auslegungspraxis der gesetzlichen Widmungsverbote durch die Planungs- und Aufsichtsbehörden ist in den Ländern unterschiedlich. Dies vor allem deshalb, da rechtlich – im Unterschied zur roten und gelben Gefahrenzonen – Hinweisbereiche keine Einschätzung des Gefahrenausmaßes oder systematisierte Gefährdungsinterpretation für Siedlungen vorliegt. Ob Baulandwidmungen und in der Folge Baulichkeiten ausgeschlossen, eingeschränkt oder (mit Auflagen) zulässig sind, ist aus den Hinweisbereichen nicht ableitbar, sondern ist durch zusätzliche Gutachten zu klären. Freilich fehlen auch bei allfälligen Gutachten generelle Beurteilungskriterien und -maßstäbe für Widmungs- und Bauverbote.

Infolge der beträchtlichen Gefährdungspanne sowie der unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von Massenbewegungen sehen die ROG Ausnahmen von Widmungsverbote vor. So bestimmt § 37 Abs. 1 S1b9 ROG etwa, dass Flächen, deren Ausweisung als Bauland Widmungsverbote entgegenstehen, trotzdem ausgewiesen (und als Aufschließungsgebiete gekennzeichnet) werden können, wenn der widmungsverhindernde Umstand durch wirtschaftlich vertretbare Maßnahmen nachweislich behebbar ist und dieser Umstand in absehbarer Zeit wegfallen wird. In anderen Ländern gelten Ausnahmen für Baulandwidmungen in Gefahrenbereichen allerdings nur für Hochwasser und nicht für Massenbewegungen.

Resümee

Das Raumordnungs(- und das Bau)recht bietet unterschiedliche Instrumente und Maßnahmen, die es ermöglichen, Baulichkeiten in durch Massenbewegungen gefährdeten Bereichen einzuschränken oder auszuschließen - Eine entsprechende Durchsetzungsbereitschaft der Entscheidungsträger vorausgesetzt! Planungs- und baurechtliche Einschränkungen setzen freilich voraus, dass hinreichende Informationen über die räumliche Abgrenzung der Gefahrenbereiche vorliegen, was insb. bei Massenbewegungen nicht immer möglich ist.

Bezüglich Massenbewegungen fehlen in der Regel Auslegungskriterien und -maßstäbe, die das kommunale Ermessen bei Widmungs- und Bauentscheidungen systematisch strukturieren. So wird zwar mit den braunen Hinweisbereichen zwar auf Steinschlag und Rutschungen hingewiesen, eine Bewertung dieser Gefahren ist allerdings im Widmungs- und Bauverfahren zu treffen.

Der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung

Helmut AIGNER

1. Rechtsgrundlagen

Der Landeshauptmann hat auf Vorschlag der Dienststelle der WLV (FG 1975 § 102 Abs. 1 lit. a) und nach Anhörung der Landwirtschaftskammer die Einzugsgebiete der Wildbäche und Lawinen durch Verordnung festzulegen (FG 1975 § 99 (5)).

Verordnung des Landeshauptmannes von Niederösterreich über die Einzugsgebiete der Wildbäche und Lawinen im Land Niederösterreich (Stammverordnung 130/98, ausgegeben am 28. August 1998)

„Wildbacheigenschaft“ von Fließgewässern ist im § 99 (1) des Forstgesetzes 1975 geregelt:

(1) Ein Wildbach ist ein dauernd oder zeitweise fließendes Gewässer, das durch rasch eintretende und nur kurze Zeit dauernde Anschwellungen Feststoffe aus seinem Einzugsgebiet oder aus seinem Bachbett in gefahrdrohendem Ausmaße entnimmt, diese mit sich führt und innerhalb oder außerhalb seines Bettes abgelagert oder einem anderen Gewässer zuführt.

Kriterien für einen „Wildbach“ sind die höhere Reliefenergie, der erhöhte Anteil von Geschiebe und Wildholz bei Katastrophenereignissen und die Vielfalt von Szenarien, die bei einer Wildbachkatastrophe möglich sind – Unterschiede der Gefahrenzonenpläne der WLV zu den Gefahrenzonenplänen bzw. Abflussuntersuchungen im Bundeswasserbau.

Die Gefahrenzonenplanung der Wildbach- und Lawinenverbauung basiert auf den Regelungen im Forstgesetz 1975.

§11: Gefahrenzonenpläne (gekürzte Fassung)

(1) Zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne und deren Anpassung an den jeweiligen Stand der Entwicklung ist der Bundesminister für LFUW unter Heranziehung von Dienststellen gemäß § 102 Abs. 1 zuständig.

(2) Im Gefahrenzonenplan sind die gefährdeten Bereiche und deren Gefährdungsgrad darzustellen.

(3) Der Entwurf des Gefahrenzonenplanes ist dem Bürgermeister zu übermitteln und von diesem durch vier Wochen in der Gemeinde zur allgemeinen Einsicht aufzulegen. Die Auflegung ist öffentlich kundzumachen.

(4) Jedermann, der ein berechtigtes Interesse glaubhaft machen kann, ist berechtigt, innerhalb der Auflegungsfrist schriftlich Stellung zu nehmen.

(5) Der Entwurf ist durch eine Kommission auf seine fachliche Richtigkeit zu überprüfen.

(6) Die Kommission fasst ihre Beschlüsse durch einfache Stimmenmehrheit.

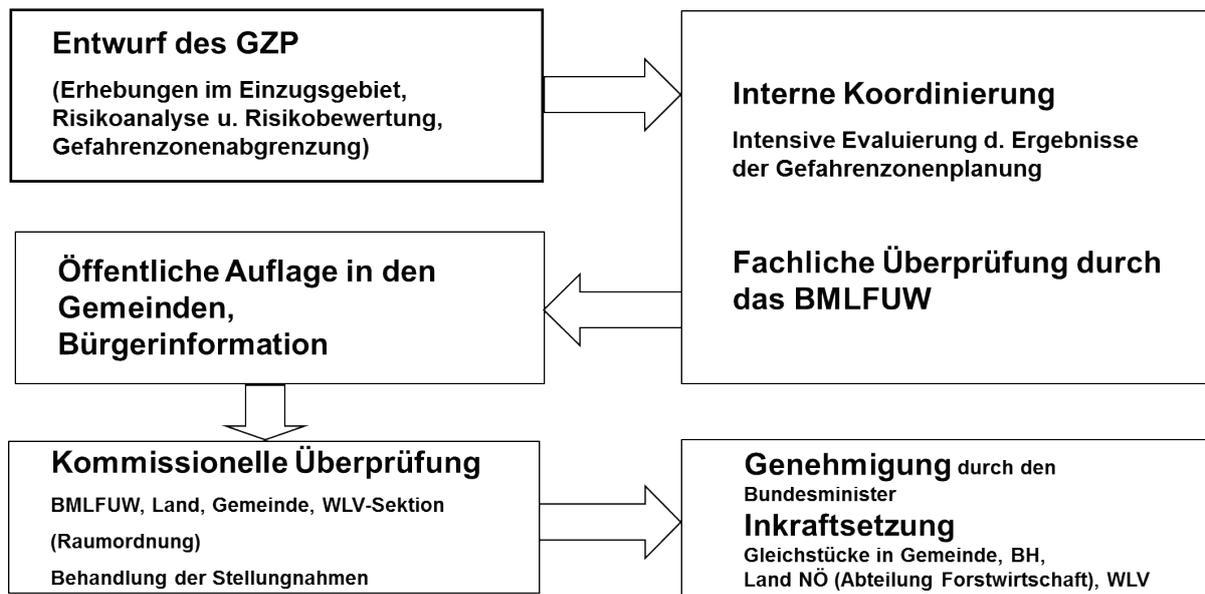
(7) Der Bundesminister hat den von der Kommission geprüften Entwurf zu genehmigen, wenn die Bestimmungen dieses Abschnittes dem nicht entgegenstehen.

(8) Die Dienststellen haben die genehmigten Gefahrenzonenpläne zur Einsicht- und Abschriftnahme aufzulegen. Je ein Gleichstück ist den betroffenen Gebietskörperschaften und Bezirksverwaltungsbehörden zur Verfügung zu stellen.

(9) Im Falle der Änderung der Grundlagen oder ihrer Bewertung ist der Gefahrenzonenplan an die geänderten Verhältnisse anzupassen.

Details über Inhalt und Ausstattung der Gefahrenzonenpläne der Wildbach- und Lawinerverbauung sind in der Verordnung vom 30. Juli 1976 über die Gefahrenzonenpläne, (BGBl. Nr. 436/1976) geregelt.

2. Ablaufschema der Gefahrenzonenplanung



Bei der Gefahrenzonenplanung der WLW ist eine Bürgerbeteiligung gesetzlich vorgeschrieben. Der Gefahrenzonenplan ist in der Gemeinde über einen Zeitraum von 4 Wochen öffentlich aufzulegen. Betroffene BürgerInnen können während dieser Frist zum Gefahrenzonenplan schriftlich Stellung nehmen. Die Stellungnahmen sind im Rahmen der Kommissionellen Überprüfung zu behandeln.

Gleichstücke des Gefahrenzonenplanes befinden sich in jeder betroffenen Gemeinde, In der zuständigen BH, dem Land NÖ sowie bei den Dienststellen der WLW. Die Gefahrenzonen der WLW sind auch auf www.naturgefahren.at bzw. im NÖ-Atlas dargestellt.

3. Der Gefahrenzonenplan der WLW ist ein dynamisches Planungsinstrument

Der Gefahrenzonenplan ist einer laufenden Kontrolle und Anpassung an geänderte Verhältnisse zu unterziehen.

Wenn sich die Verhältnisse seit der Erstellung des Gefahrenzonenplanes geändert haben (Änderungen im Naturraum, Anpassung von Bewertungsmethoden) und dadurch eine Auswirkung auf das Gefährdungspotenzial gegeben ist, ist er einer Revision zu unterziehen.

4. Inhalt und Ausstattung der Gefahrenzonenpläne

Gefahrenzonenpläne bestehen aus einem textlichen Teil (Beschreibung des Plangebietes, Wildbach- und Lawinenblätter, Datenblätter „Sonstige Naturgefahren“) und einem kartographischen Teil (Gefahrenkarte und Gefahrenzonenkarte). In der Gefahrenkarte ist neben der Darstellung der Einzugsgebiete insbesondere auf besondere Gefahrenursachen hinzuweisen.

5. Gefahrenzonen, Vorbehalts- und Hinweisbereiche im Gefahrenzonenplan

Auf der Gefahrenzonenkarte sind die nachstehenden Gefahrenzonen unter Zugrundelegung eines Ereignisses mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von zirka 150 Jahren (Bemessungsereignis) sowie die Vorbehaltsbereiche nach folgenden Kriterien abzugrenzen (GZP-Verordnung vom 30. Juli 1976):

a) die **Rote Gefahrenzone** umfasst jene Flächen, die durch Wildbäche oder Lawinen derart gefährdet sind, dass ihre ständige Benützung für Siedlungs- und Verkehrszwecke wegen der voraussichtlichen Schadenswirkungen des Bemessungsereignisses oder der Häufigkeit der Gefährdung nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist;

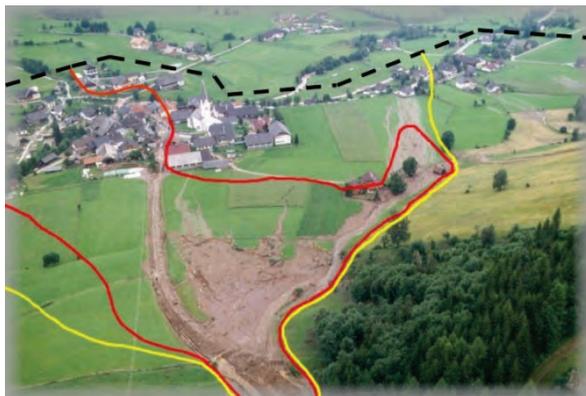
b) die **Gelbe Gefahrenzone** umfasst alle übrigen durch Wildbäche oder Lawinen gefährdeten Flächen, deren ständige Benützung für Siedlungs- oder Verkehrszwecke infolge dieser Gefährdung beeinträchtigt ist;

In den Gefahrenzonenkarten erfolgt eine nachvollziehbare Abgrenzung der Gefahrenzonen innerhalb des "Raumrelevanten Bereiches" aufgrund definierter Kriterien gegliedert in Bemessungsereignis und häufiges Ereignis !

Kriterien	Zonen	Bemessungsereignis	Häufiges Ereignis
1) Stehendes Wasser	WR	Wassertiefe $\geq 1,5\text{m}$	Wassertiefe $\geq 0,5\text{m}$
	WG	Wassertiefe $< 1,5\text{m}$	Wassertiefe $< 0,5\text{m}$
2) Fließendes Wasser	WR	Höhe der Energielinie $\geq 1,5\text{m}$	Höhe der Energielinie $\geq 0,5\text{m}$
	WG	Höhe der Energielinie $< 1,5\text{m}$	Höhe der Energielinie $< 0,5\text{m}$
3) Erosionsrinnen	WR	Tiefe $\geq 1,5\text{m}$	Erosionsrinnen möglich
	WG	Tiefe $< 1,5\text{m}$	Abfluss ohne Erosionsrinnen, daher Kriterium 2)
4) Geschiebeablagerungen	WR	Ablagerungshöhe $\geq 0,7\text{m}$	Geschiebeablagerung möglich
	WG	Ablagerungshöhe $< 0,7\text{m}$	keine Geschiebeablagerung, daher Kriterium 2)

5) Nachböschung infolge Tiefen-/Seitenerosion	WR	Oberkante der Nachböschungsbereiche	-
	WG	Sicherheitsstreifen	
6) Mur- und Erdströme	WR	Rand der ausgeprägten Murablagerungen	-
7) Rückschreitende Erosion	WR	mögliches Ausmaß	keine Beurteilung
	WG	Kriterien 3) und 5) beachten	
Anmerkungen:			
zu Kriterium 1): Tümpel, Weiher, Brunnen, kleine Mulden werden nicht dargestellt			
zu Kriterium 5): Begründung für die Breite des Sicherheitsstreifens im Einzelfall			
WR = Rote Gefahrenzone Wildbach, WG = Gelbe Gefahrenzone Wildbach			

Kriterien	ne c	Bemessungsereignis	Häufiges Ereignis
1) Druck (p)	LR	$p \geq 10 \text{ kN/m}^2$	$p \geq 10 \text{ kN/m}^2$
	LG	$1 < p < 10 \text{ kN/m}^2$	$1 < p < 10 \text{ kN/m}^2$
LR = Rote Gefahrenzone Lawine, LG = Gelbe Gefahrenzone Lawine			



In den Gefahrenzonen werden verschiedene Prozesse wie Hochwasserabfluss, Geschiebe / Murablagerung, Nachböschungen, Auflandungen, Verklausungen, etc. berücksichtigt

Die Gefahrenzonen der Wildbach- und Lawinerverbauung umfassen die Summe aller möglichen Ereignisse.

c) die **Blauen Vorbehaltsbereiche** sind Bereiche, die

1. für die Durchführung von technischen oder forstlich-biologischen Maßnahmen der Dienststellen sowie für die Aufrechterhaltung der Funktionen dieser Maßnahmen benötigt werden oder

2. zur Sicherstellung einer Schutzfunktion oder eines Verbauungserfolges einer besonderen Art der Bewirtschaftung bedürfen. Unbeschadet der Bestimmungen des § 6 der GZP-Verordnung dürfen im Gefahrenzonenplan die nachstehend näher bezeichneten Hinweisbereiche nach folgenden Kriterien ausgewiesen werden:

a) die **Braunen Hinweisbereiche** sind jene Bereiche, hinsichtlich derer anlässlich von Erhebungen festgestellt wurde, dass sie vermutlich anderen als von Wildbächen und Lawinen hervorgerufenen Naturgefahren, wie Steinschlag oder nicht im Zusammenhang mit Wildbächen oder Lawinen stehende Rutschungen, ausgesetzt sind;

b) die **Violetten Hinweisbereiche** sind Bereiche, deren Schutzfunktion von der Erhaltung der Beschaffenheit des Bodens oder Geländes abhängt.

6. Der Gefahrenzonenplan der WLW als Grundlage des Naturgefahrenmanagements

GZP-Verordnung vom 30. Juli 1976, BGBl. Nr. 436/1976

Interne Planungen:

§ 1. (1) Die Gefahrenzonenpläne sind insbesondere eine Grundlage für die

a) Projektierung und Durchführung von Maßnahmen sowie für die Reihung dieser Maßnahmen entsprechend ihrer Dringlichkeit und

b) Tätigkeit der Angehörigen der Dienststellen als Sachverständige.

Externe Planungen:

(2) Planungen auf den Gebieten der Raumplanung, des Bauwesens und des Sicherheitswesens (Evakuierungen, Verkehrsbeschränkungen).

Gefahrenzonenpläne sind flächenhafte Gutachten, welche nach einem eingehenden Prozess der Ausarbeitung, der Überprüfung und Bürgerbeteiligung vom Bundesminister in Kraft gesetzt werden. Es kommt ihnen keine unmittelbar normative Wirkung zu. Jedoch nehmen einige Landesgesetze auf die Gefahrenzonen Bezug.

NÖ Raumordnungsgesetz 1976 (Auszug):

§ 15 Widmungen, Kenntlichmachungen und Widmungsverbote

(2) Im Flächenwidmungsplan sind kenntlich zu machen:

2. Flächen, für die auf Grund von Bundes- und Landesgesetzen Nutzungsbeschränkungen bestehen (... , Gefahrenzonen und dergleichen) ...

(3) Flächen, die auf Grund der Gegebenheiten ihres Standortes zur Bebauung ungeeignet sind, dürfen nicht als Bauland gewidmet werden, insbesondere:

3. Flächen, die rutsch-, bruch-, steinschlag-, wildbach- oder lawinengefährdet sind;

(4) Ausgenommen von Abs. 3 Z. 1 bis 5 sind Flächen für Bauwerke, die auf Grund ihrer Funktion an bestimmten Standorten ungeachtet der in Abs. 3 Z. 1 bis 5 angeführten Mängel errichtet werden müssen sowie Flächen innerhalb eines geschlossenen Ortsgebietes.

§ 22 Änderung des örtlichen Raumordnungsprogrammes

(2) Ein örtliches Raumordnungsprogramm ist abzuändern, wenn sich herausstellt, dass eine als Bauland gewidmete und noch nicht bebaute Fläche von Gefährdungen gem. § 15 Abs. 3 Z. 1 bis 3 und 5 tatsächlich betroffen ist und die Beseitigung dieser Gefährdungen nicht innerhalb einer Frist von 5 Jahren sichergestellt werden kann.

§ 23 Bausperre

(2) Der Gemeinderat hat durch Verordnung eine Bausperre unter Angabe des besonderen Zweckes zu erlassen, wenn

b) sich herausstellt, dass eine als Bauland gewidmete und unbebaute Fläche von Gefährdungen gemäß § 15 Abs. 3 Z. 1 bis 3 und 5 bedroht ist.

§ 24 Ersatz von Aufwendungen

(1) Die Gemeinde ist verpflichtet, dem Grundeigentümer eine angemessene Entschädigung für jene vermögensrechtlichen Nachteile zu leisten, die durch Änderungen von Baulandwidmungsarten in andere Widmungsarten unter folgenden Bedingungen entstanden sind:

c) Die natürliche Baulandeignung darf nicht durch Hindernisse im Sinne von § 15 Abs. 3 Z. 1 bis 3 und 5 bedroht gewesen sein.

Gefahrenzonenpläne sind eine wichtige Grundlage bei der Erstellung der **Hochwasserrisikomanagementpläne** i.S. des § 55 WRG.

6.1. Gefahrenzonenplan – Naturgefahrenmanagement → Bauwesen

Bedeutung von „Wildbach Rot“ ?

Bei ortsüblicher Bauweise ist mit der Zerstörung von Gebäuden oder Gebäudeteilen zu rechnen. Auch innerhalb der Gebäude besteht für Personen Lebensgefahr.

Hinweis für die Baubehörde: In dieser Zone wird von der Errichtung von Objekten, die dem Aufenthalt von Menschen oder Tieren dienen, dringend abgeraten. Bei allen anderen baulichen Herstellungen ist ein Gutachten der Wildbach- und Lawinerverbauung einzuholen.

Bedeutung von „Wildbach Gelb“ ?

Die Beschädigung von Objekten ist möglich, jedoch sind Gebäudezerstörungen nicht zu erwarten, wenn bestimmte Auflagen erfüllt werden. Gefahr für Personen ist in derart gesicherten Gebäuden unwahrscheinlich, außerhalb der Gebäude aber in unterschiedlichem Ausmaß gegeben.



Bedeutung von „Braunen Hinweisbereichen“ ?

Hinweis für die Baubehörde: Im Falle einer Bebauung solcher Flächen ist ein Gutachten etwa eines Geologen, Bodenmechanikers oder anderer zuständiger Stellen einzuholen.

6.2. Gefahrenzonenplan – Naturgefahrenmanagement → Sicherheitswesen

Der Gefahrenzonenplan der WLV wird im Sicherheitswesen als Grundlage für Einsatzplanungen (Straßensperren, Zufahrtsmöglichkeit zu Objekten, Evakuierungsplanungen, etc.) verwendet.

7. Richtlinien Hinderungsgründe

Laut diesen Richtlinien (Zahl 52.240/03-VC7/80) macht das Lebensministerium die Widmung der Förderungsmittel für Wildbach- und Lawinenverbauung unter anderem von der Berücksichtigung der Gefahrenzonenpläne, Gutachten und anderer Planungen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung abhängig.

Werden diese nicht berücksichtigt oder wird auf die Einholung von Gutachten des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung verzichtet und ergibt sich daraus eine nachteilige Beeinflussung des Schutzes vor Wildbächen und Lawinen, entsteht im betreffenden Einzugsgebiet ein Hinderungsgrund für den Einsatz von Förderungsmitteln des Bundes für Wildbach- und Lawinenverbauungen.

Gefahren(hinweis)karten für gravitative Massenbewegungen (Hangrutschungen und Hangmuren)

Herausforderungen, Limitierungen, Chancen

Nils TILCH, Leonhard SCHWARZ & Edmund WINKLER

1. Einleitung

Informationen zur räumlich variablen Neigung/Veranlagung (Disposition) der Hänge hinsichtlich der Entstehung spontaner (u.a. im Zuge von Extremereignissen) gravitativer Massenbewegungen und den daraus resultierenden Gefahren im Prozessraum sind sehr wichtig, um präventive Maßnahmen zwecks Schutz von Menschenleben und die Vermeidung/Reduktion von Schäden gezielter planen zu können.

Als mögliche Planungsgrundlagen lassen sich hierbei Prozessdispositions-karten (bzw. Gefahrenhinweiskarten oder Gefährdungskarten) und Gefahrenkarten unterscheiden.

Im Fall der Prozessdispositions-karten werden auf Basis von verfügbaren Standortbeschreibender Parameterkarten und von Prozessdaten - die je nach der betrachteten Region und des Kenntnisstandes unterschiedliche Qualitätsmerkmale haben können - unter der Anwendung von verschiedenen möglichen Methoden der Dispositionsanalyse - Bereiche unterschiedlicher/vergleichbarer relativer Disposition ausgewiesen. Hierfür stehen qualitative Methoden (z.B. heuristische Analyse) und quantitative Methoden (z.B. statistische, prozessbasierte oder numerische Analysen) zur Verfügung.

Prozessdispositions-karten geben keine Information dahingehend, wann und wo unter welchen zeitlich-räumlich variablen Bedingungen (z.B. Niederschlag, Bodenfeuchte) tatsächlich eine gravitative Massenbewegung entsteht. Vielmehr handelt es sich um eine Abschätzung der räumlichen Variabilität der Disposition der Hänge für eine Prozessentstehung (wo kann ein Prozess auftreten?). Es handelt sich somit um Karten, deren Aussage mit jenen der HRU-Karten (hydrological response units mit Informationen zu Bereichen mit gleichen/unterschiedlichen dominanten Abflussbildungsprozessen) im Rahmen der Niederschlag-Abfluss-Modellierung vergleichbar ist.

Im Rahmen einer Gefahrenanalyse werden häufig sowohl die mittels Dispositionsanalyse erzielten Ergebnisse (räumliche Variabilität der Prozessdispositionen), als auch Informationen zur Eintrittswahrscheinlichkeit der Prozesse und deren Magnitude berücksichtigt (Wann oder wie häufig kann ein Prozess einer bestimmten Magnitude wo auftreten?). Je nach der für die Gefahrenanalyse verwendeten Methode, Datenlage und Annahmen werden Gefahrenkarten mit unterschiedlichen Informationsinhalten und -Qualitäten erzeugt. Gefahrenkarten beinhalten Informationen zu Parametern, die für eine Gefahrenbeurteilung von Prozessen einer bestimmten Eintrittswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrzeit von Bedeutung sind (z.B. potentielle Prozessräume, Prozess-Reichweite, Geschwindigkeit/Energie).

Es handelt sich somit um Karten, deren Aussagen mit den Produkten der Niederschlag-Abfluss-Modellierung (z.B. Wasserstand/Abflusshöhe, Fließgeschwindigkeit) vergleichbar sind.

Die katastrophalen Regionalereignisse der letzten Jahre in Österreich (z.B. Nordoststeiermark, Vorarlberg und Tirol im August 2005, Oststeiermark und Niederösterreich im Juni 2009 und Obersteiermark im Juli 2012) haben deutlich gezeigt, dass dringend Grundlagen in Form von Prozessdispositions-karten und/oder Gefahrenkarten für raumplanerische Zwecke im Rahmen der Gefahrenprävention benötigt werden. Insbesondere den Hangmuren kommt hierbei eine große Bedeutung zu, da diese aufgrund der zumeist spontanen Entstehung, der hohen Materialtransportgeschwindigkeit insbesondere in steilen Hanglagen und der daraus resultierenden großen Reichweite eine große Gefahr für hangabwärts befindliche Menschen und Sachgüter darstellen (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Hangmuren im Juni 2009 in der Gemeinde Klingfurth (südliches Niederösterreich).

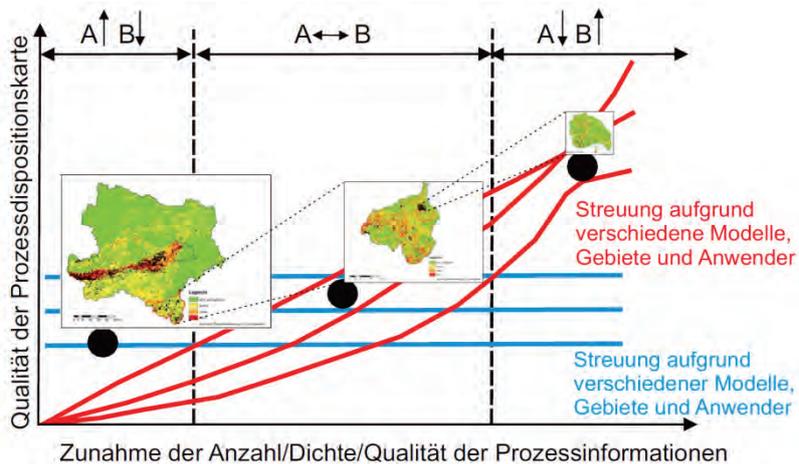


Abb. 2: Schematische Darstellung einer Arbeitshypothese hinsichtlich der allgemeinen Abhängigkeit der Qualität von Dispositionskarten (y-Achse) von der zur Verfügung stehenden Datenlage (x-Achse; z.B. Heterogenität der Datenqualität) und Art der angewendeten Modellierungsmethode (hier der Vergleich der Ergebnisse heuristischer (blaue Linien) und statistischer Methoden (rote Linien)). Weitere Erläuterung der Abbildung im Text. Abbildung nach TILCH et al. (2011).

So sind beispielsweise in der Gemeinde Gasen (Nordoststeiermark) im August 2005 allein aufgrund von Hangmuren zwei Menschenleben zu beklagen gewesen sowie enorme Sachschäden an Häusern und anderen Bauwerken (Straßen, Quellfassungen) entstanden. Dieses Beispiel zeigt, dass viele der Schäden und Gefahren innerhalb eines Siedlungsraumes und der raumplanungsrelevanten Bereiche ihre Ursache in relativ weit entfernten Massenbewegungen haben können. Aus diesem Grund wurde für die Gemeinde Gasen erstmals in Österreich ein sogenannter „ganzheitlicher“ Gefahrenzonenplan erstellt, welcher Informationen zu den Gefahrenzonen aufgrund von Hochwasser und gravitativer Massenbewegungen beinhaltet (TILCH et al., 2009). Hierbei erfolgte die Ausweisung der Gefahrenzonen hinsichtlich gravitativer Massenbewegungen einerseits auf Basis eines digitalen Prozesskatasters (= Inventarkarte = Ereigniskataster), welches auch aufgrund der nahezu vollständigen Dokumentation der Ereignisse im August 2005 Informationen zu mehr als 1000 Massenbewegungen beinhaltete. Für eine Abschätzung der Gefahrenzonen mussten andererseits aber auch all jene Hangbereiche beurteilt werden, die bisher vermeintlich stabil wa-

ren, von denen aber zukünftig unter anderen Rahmenbedingungen eine Gefahr ausgehen könnte. Deshalb wurden, unter Einbeziehung des erstellten digitalen Prozesskatasters, detaillierte Kartierungen an den für die raumplanungsrelevanten Bereiche bedeutsamen Hängen durchgeführt. Dies erfolgte vor allem per Expertenwissen anhand räumlicher Analogieschlüsse, in dem von den signifikanten Standortmerkmalen bisher instabiler Hangbereiche auf die relative Instabilität/Stabilität bisher vermeintlich stabiler Hangbereiche geschlossen wurde.

Die so erzielten Ergebnisse wurden bereits in der Revision des Gefahrenzonenplanes für die Gemeinde Gasen in Form braun-roter (RUR) und braungelber (RUG) Hinweisbereiche berücksichtigt. Damit kann in der Gemeinde Gasen die Siedlungsentwicklung in wenig gefährdete Bereiche gelenkt werden.

Allerdings sollte im Fall derartig erstellter Gefahrenzonenpläne berücksichtigt werden, dass die Gefahrenanalyse ausschließlich per Expertenbeurteilung, und somit subjektiv erfolgt, so dass eine Personen- und Gebiet-übergreifend konforme Beurteilung kaum/nicht möglich ist. Aus diesem Grund wäre der Einsatz von objektiveren, nachvollziehbaren Methoden mit reproduzierbaren Ergebnissen im Rahmen der Dispositions- und Gefahrenanalyse äußerst sinnvoll.

2. Generelle Herausforderungen im Rahmen der Dispositionsanalyse

Im Vergleich zur hydrologischen Niederschlag-Abfluss-Modellierung, mittels derer sich beispielsweise Bereiche unterschiedlicher/vergleichbarer Wasserstände oder Überflutungsbereiche unterschiedlicher Jährlichkeit bzw. Wiederkehrzeit ausweisen lassen, ergeben sich im Rahmen der Dispositions- und Gefahrenanalyse bezüglich gravitativer Massenbewegungen diverse Herausforderungen, die u.a. in folgenden Aspekten begründet sind:

- Prozesswissen zu den komplexen Ursachen, Faktoren und Prozessgefügen gravitativer Massenbewegungen,
 - raum-zeitliche Varianz der Standortbedingungen (Gebietsheterogenität),
 - raum-zeitliche Varianz der auslösenden Ereignisse (z.B. Niederschlagsereignisse),
 - raum-zeitliche Varianz der auslösenden komplexen Prozesse (v.a. hydro(geo)logische Prozesse),
- physikalische Transformation des System-Inputs (Wasser: Niederschlag -> Abflusskomponenten) in einen gefahrenrelevanten System-Output (Feststoff: mobilisierte Gesteinsmasse). Im Vergleich dazu sind im Rahmen der Niederschlag-Abflussmodellierung System-Input und -Output gleich (Wasser -> Wasser).
- Singularität der Ereignisse im Fall spontaner gravitativer Massenbewegungen (jeder Prozess kann in gleicher Weise nur einmal an einem Standort stattfinden, so dass kaum/keine Zeitreihen vorhanden sind). Im Gegensatz dazu können hydrologische Prozesse in gleicher Weise wiederholt an einem Standort stattfinden (siehe HRU-Ansatz). An bekannten Prozessstandorten können Zeitreihen gemessen werden (z.B. Wasserstand mittels Pegelmessung).
- Wo befindet sich ein potentieller Prozessraum und Gefahrenraum? Im Gegensatz zu Überflutungsbereichen im Nahbereich bekannter abflusswirksamer Tiefenlinien (Bachläufe, Talsohlen) müssen potentielle Prozess- und Gefahrenräume gravitativer Massenbewegungen flächendeckend und möglichst flächendetailliert abgeschätzt werden. Deshalb reichen im Fall hydrologischer Betrachtungen zumeist gebietsintegrale Betrachtungen aus, während im Fall gravitativer Massenbewegungen immer flächendetaillierte Ansätze erforderlich sind.
- Informations- und Datenqualität? Für alle Betrachtungen gilt im Allgemeinen gleichermaßen: Je größer das betrachtete Gebiet ist, umso
 - schlechter sind die Datenqualität und das Expertenwissen,
 - heterogener sind die Gebietseigenschaften und -Voraussetzungen,
 - größer sind die Prozessvielfalt und -Komplexität.

3. Methoden und Ergebnisse (Beispiele) einer Dispositionsanalyse

Eine Dispositionsanalyse kann mittels unterschiedlicher Methoden erfolgen (s.o.). Die jeweils zur Anwendung kommende Methode sollte unter der Berücksichtigung der Qualität der zur Verfügung stehenden Daten (Prozessdaten und standortbeschreibende Parameterkarten) ausgewählt werden. Dies wäre wichtig, da vor allem bei schlechterer Datenlage einfachere Modelle (z.B. heuristische Modelle) zu eher ehrlichen, der Datenlage entsprechenden Ergebnissen, häufig sogar zu besseren Ergebnissen führen können, als vergleichsweise statistische Modelle (vgl. Abb. 2). Die Anwendung einer anspruchsvollen Methodik würde dann eine bessere Ergebnisqualität suggerieren, als diese tatsächlich vorhanden ist. Dies liegt vornehmlich darin begründet, dass beispielsweise im Fall statistischer Analysen (Modelle) möglichst viele Prozessdaten hoher Datenqualität (möglichst vollständige Prozesskataster) als Modelltrainings- und Ergebnisvalidierungsdaten benötigt werden (vgl. Abb. 3). Ansonsten würden im Fall eines Modelltrainings zu viele Standorte mit verschiedenen standortbeschreibenden Parameterausprägungen so trainiert werden, als wäre dort keine Massenbewegung gewesen, obwohl dort bereits eine Massenbewegung erfolgte. Ebenso wäre auch der Fehler im Rahmen der Ergebnisvalidierung groß, was unter Umständen zu zufällig gut oder zufällig schlecht validierten Ergebnissen führen kann. Demzufolge wäre dann auch keine Aussage zur Qualität des Ergebnisses möglich. Ebenso hat auch die Qualität der zur Verfügung stehenden Daten hinsichtlich der standortbeschreibenden Parameter einen deutlichen Einfluss auf die Qualität der erzeugbaren Dispositionskarte.

Um den Einfluss der Prozessdatenlage auf die Qualität der Dispositionskarten und deren Validierung zu untersuchen, wurden seitens der Geologischen Bundesanstalt (GBA) für die Gemeindegebiete von Gasen und Haslau statistische Methoden (Neuronale Netze, logistische Regression) und eine einfache heuristische Methode (GBA-Modell RUDI^{HM}) eingesetzt (vgl. TILCH et al., 2011). Die angewendete heuristische Methode benötigt Prozessdaten nur als Validierungsdaten, so dass alle jeweils zur Verfügung stehenden Prozessdaten als Validierungsdaten benutzt werden können (TILCH & SCHWARZ, 2010). Im Fall der statistischen Methoden steht nur etwa ein Drittel der Prozessdaten zur Verfügung, da alle anderen Daten als Modelltrainings- und Modellkalibrierungsdaten benötigt werden. Im Rahmen der Modellrechnungen wurden Methoden-übergreifend die gleichen Prozessdaten berücksichtigt, wobei die Validierungen sowohl mit den gleichen Prozessdaten, als auch mit den Methodenspezifisch zur Verfügung stehenden Prozessdaten erfolgten. Zwecks Vergleich des Einflusses der Prozessdatenlage wurden die Prozessdaten im Zuge aufeinanderfolgender Modellrechnungen sukzessive hinsichtlich ihrer Anzahl reduziert.

Die erzielten Ergebnisse zeigen deutlich auf, dass die Validierungsergebnisse der statistischen Methoden nur bei guter Datenlage (mehr als ca. 40% der Prozessdaten; n = ca. 70) durchweg besser sind, als jene der angewendeten heuristischen Methode (vgl. Abb. 4). Bei schlechterer Datenlage können die Ergebnisse der statistischen Methoden je nach den anteilig berücksichtigten Prozessdaten zufällig besser oder schlechter sein, als jene der angewendeten heuristischen Methode. Eine Aussage ist dann hinsichtlich der Qualität der erzielten Dispositionskarte nicht möglich (Bereich großer Unsicherheit).

Ferner wurde am Beispiel der unterschiedlich großen und unterschiedlich beschaffenen Gebiete (i) Niederösterreich, (ii) niederösterreichischer Bereich der Bucklige Welt-Wechseland („BUWELA“) und (iii) das innerhalb des Bereiches BUWELA befindliche Einzugsgebiet des Klingfurth Baches („Klingfurth“) untersucht, in welcher Weise sich eine unterschiedliche Datenqualität der standortbeschreibenden Parameterkarten und Prozessdatensätze auf die Dispositionskarten und Validierungsergebnisse der einfachen heuristischen GBA-Methode auswirkt. Als Validierungsdaten wurden hierbei einerseits die seitens der GBA gesamthaft verfügbaren Prozessdaten mit unterschiedlicher Qualität, andererseits für (partielle) Validierungen im Gebiet „Klingfurth“ zahlreiche hochqualitative Prozessdaten einer GBA-Ereignisdokumentation zur Katastrophe im Juni verwendet.

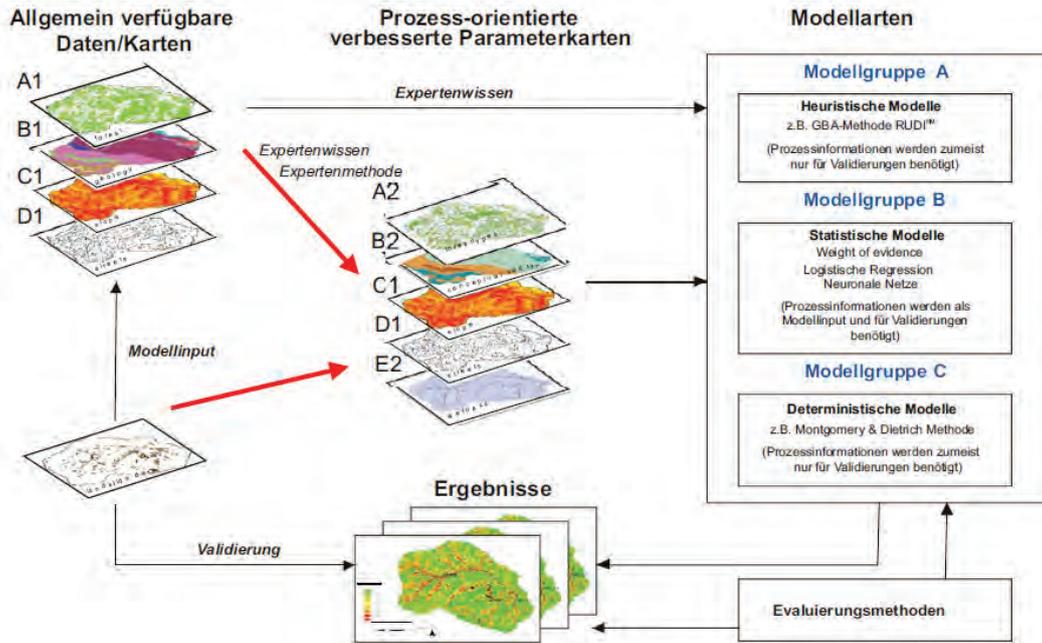


Abb. 3: Schematische Darstellung des generellen Datenflusses im Rahmen einer Dispositionsanalyse mittels verschiedener möglicher Methoden. Im Fall heuristischer Methoden werden nicht zwangsläufig Prozessdaten als Modelltrainingsdaten- oder -Kalibrierungsdaten benötigt. Auch im Fall fehlender Prozessdaten können heuristische Methoden eingesetzt werden, allerdings sind dann die Ergebnisse nicht validierbar/plausibilisierbar, so dass keine Aussage zur Qualität der Dispositionskarte möglich ist. Abbildung nach TILCH et al. (2011).

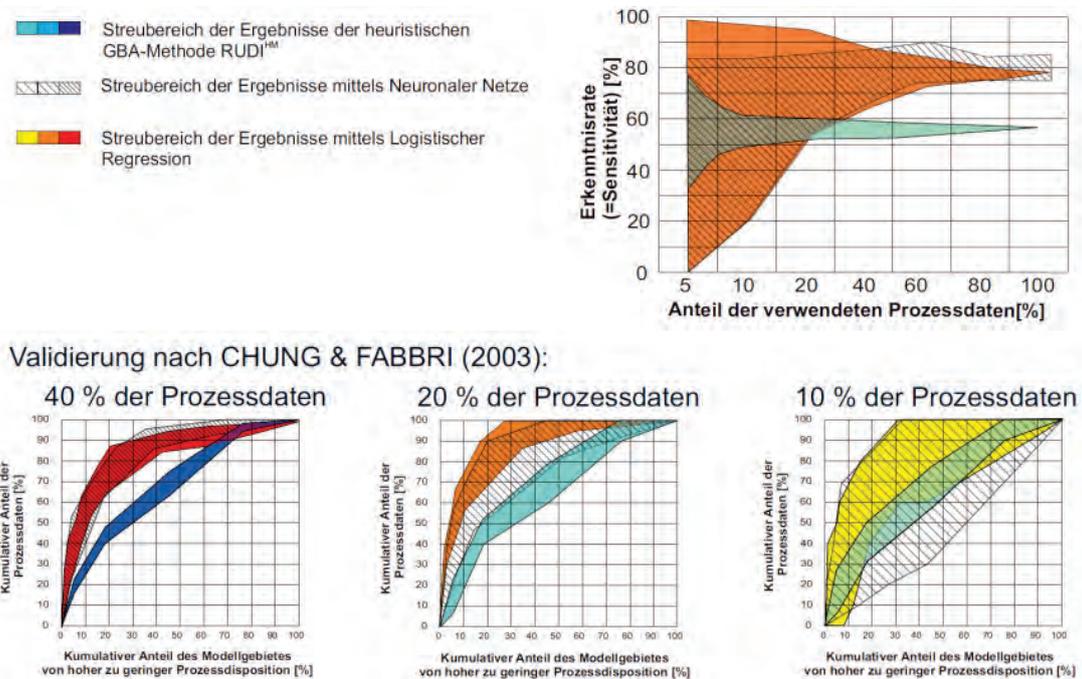


Abb. 4: Validierungsergebnisse mittels Erkenntnisrate/Sensitivitätsrate (Anteil der Validierungsdaten in hohen Dispositionsklassen, Abb. oben rechts) und Methode nach CHUNG & FABBRI (2003), welche anhand Neuronaler Netze, logistischer Regression und einfacher heuristischer GBA-Methode für die Region Gasen-Haslau unter Verwendung vollständiger Prozessdaten und schrittweise reduzierter, unvollständiger Prozessdaten erzielt wurden. Alle Validierungen erfolgten hinsichtlich eines Methoden-übergreifenden Vergleichs mittels der schrittweise Methoden-spezifisch zur Verfügung stehenden Validierungsdaten. Abbildung nach TILCH et al. (2011).

Hierbei hat sich gezeigt, dass im kleinen Gebiet „Klingfurth“ mit höherer Datenqualität (z.B. Flächendetailliertheit und Inhalt der Parameterkarten, Vollständigkeit und Lagegenauigkeit der Prozessdaten) bessere gebietsintegrale Validierungsergebnisse erzielt werden (z.B. Erkenntnisrate/Sensitivitätsrate von 89%, während diese für Niederösterreich 60% und für das BUWELA 50% beträgt). Dennoch sind die für alle drei Gebietsgrößen erzielten gesamthaften Validierungsergebnisse als relativ gut zu bewerten. Dies wurde aber nur erreicht, weil die Rasterweite der jeweiligen Dispositionskarte der jeweiligen Datenqualität angepasst wurde (schlechtere Datenlage => größere Rasterweite = angepasste räumliche Aussagegenauigkeit).

Werden nun die Dispositionskarten der beiden größeren Gebiete einer partiellen Validierung nur im Bereich des Gebietes Klingfurth unterzogen, so wird der Qualitätsunterschied der Dispositionskarten sehr deutlich: Während dort die für Niederösterreich erstellte Dispositionskarte durchweg schlechte Validierungsergebnisse liefert, sind jene des Gebietes BUWELA vergleichsweise etwas besser, auch wenn noch viele ehemals instabile Bereiche als stabil erklärt werden. Aber die im Gebiet „Klingfurth“ erzeugte Dispositionskarte liefert mit Abstand die besten Validierungsergebnisse.

4. Schlussfolgerungen: Chancen und Limitierungen

Am Beispiel der in der Region Gasen-Haslau angewendeten Methoden konnte aufgezeigt werden: Sollen Dispositionskarten hoher Qualität erzielt werden, sind trainingsbedürftige Methoden (z.B. Logistische Regression, Neuronaler Netze) einzusetzen. Dafür ist aber auch eine gute Prozessdatenlage essenziell, da die Prozessdaten auch als Modelltrainingsdaten benötigt werden. Für alle Methoden wird eine gute Prozessdatenlage auch zur Ergebnisvalidierung zwecks seriöser Qualitätsaussagen benötigt. Für beide Zwecke werden signifikante, repräsentative, bestenfalls vollständige Prozessdatensätze benötigt, da ansonsten zufällig gute oder zufällig schlechte Validierungsergebnisse erzielt werden. Gesamthaft wird somit deutlich, dass möglichst vollständige Prozessdatensätze, die beispielsweise im Zuge flächendeckender Ereignisdokumentationen erhoben werden können, sehr wichtig sind. Zukünftig sollten ähnliche Untersuchungen auch in anderen Regionen durchgeführt werden, um quantitative Aussagen zum methodenspezifischen Datenanspruch und dessen Auswirkung auf die Ergebnisqualität machen zu können.

Mittels „einfacher heuristischer GBA-Methode“ wurden Dispositionskarten hinsichtlich spontaner Massenbewegungen im Lockergestein für unterschiedlich große, in sich verschachtelte Gebiete Niederösterreichs erstellt. Der Vergleich gebietsintegraler und partieller Validierungen zeigt deutlich, dass scheinbar gute gebietsintegrale Validierungen des jeweils größeren Gebietes vorliegen können, partiell dies aber nicht der Fall sein muss. Besonders im Fall großer Gebiete liegt dies sowohl in der räumlichen Variabilität der Qualität der standortbeschreibenden Parameterkarten, als auch in der zufälligen, selektiven und nicht für alle Teilbereiche repräsentativen Prozessdatenmenge und –Qualität begründet. Dies bedeutet, dass eine Anwendung und Aussage großräumig erstellter Dispositionskarten für kleinskalige und großmaßstäbige Fragestellungen äußerst fragwürdig ist bzw. überprüfungswert erscheint. In jedem Fall sollten die Rasterweiten der modellierten Dispositionskarten der verfügbaren Parameterkarten- und Prozessdatenqualität (z.B. im Zuge der Kalibrierung) angepasst werden, wobei dies sich eher an den Teilbereichen schlechterer Datenqualität orientieren sollte. Dies ist sehr wichtig, um Fehlnutzungen (z.B. unzulässiges „hineinzoomen“) und -interpretationen (z.B. Ableitung quantitativer Aussagen) vorzubeugen.

Bei sachgemäßer Anwendung der Modellierungsmethoden entsprechend der zur Verfügung stehenden Datenqualität können somit objektive Datengrundlagen geschaffen werden, auf Basis derer per Experten/Expertin im Gelände unter der Einbeziehung weiterer, nicht im Rahmen der Modellierung berücksichtigter Standortverhältnisse und –Bedingungen (z.B. Drainagesysteme, Wassereinleitungen) eine objektivere Abschätzung der Prozessdisposition erfolgen kann. So ermöglichen insbesondere statistische Verfahren, durch die im Vergleich zur einfachen heuristischen GBA-Methode viele standortbeschreibende Parameter einbezogen werden können, eine Berücksichtigung nicht linearer Zusammenhänge, die vom Exper-

ten im Gelände nicht objektiv nachvollziehbar und konform beurteilt werden können (z.B. kombinierte Disposition von Hanggefälle, Hangform und potentieller Standortfeuchte). In jedem Fall sollte immer bedacht werden, dass eine gewünschte Qualität für eine zu erzielende Dispositionskarte auch eine entsprechende Datenqualität und angemessene Modellierungsmethoden erfordert. So lassen sich beispielsweise trotz anspruchsvoller Modellierungstechniken basierend auf einer eher schlechten Datenlage (z.B. räumlich sehr variablen Datenqualität) nicht zwangsläufig Dispositionskarten hoher Qualität erzeugen. Diese sind dann eher zufällig gut oder schlecht. Derartige Karten sind somit nicht überall als großmaßstäbige Planungsgrundlage geeignet.

5. Literatur

CHUNG, C.J. & FABRI, A.G. (2003): Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30, pp. 451-472.

TILCH, N. & SCHWARZ, L. (2010): Erstellung von Dispositionskarten für Massenbewegungen.- Vortrag im Rahmen der Innsbrucker Hofburggespräche; Innsbruck.

http://bfw.ac.at/050/pdf/IHG260510_Tilch_Schwarz.pdf (abgerufen am 06.09.2013)

TILCH, N., KOCIU, A., RIBITSCH, R., SCHMID, F., PROSKE, H., ANDRECS, P., HAGEN, K., LANG, E., HERMANN, S. & LOIZENBAUER, J. (2009): Abschätzung der Risikodisposition für Rutschungen und Hangbewegungen am Beispiel Gasen/Haslau (Stmk).- FloodRisk II - Vertiefung und Vernetzung zukunftsweisender Umsetzungsstrategien zum integrierten Hochwassermanagement. Ergebnispräsentationsveranstaltung 29./30.06.2009, Wien; Poster.

http://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/pdf/poster/poster_2009_floodrisk_II.pdf

(abgerufen am 06.09.2013)

TILCH, N., SCHWARZ, L. & WINKLER, E. (2011): Einfluss der Prozessdatenqualität auf die mittels Neuronaler Netze, Logistischer Regression und heuristischer GBA-Methode erstellten Dispositionskarten hinsichtlich spontaner gravitativer Massenbewegungen im Lockergestein und die Ergebnisvalidierung.- Poster im Rahmen des Geoforums Umhausen, 20./21.10.2011, Niederthai.

http://www.geologie.ac.at/fileadmin/user_upload/dokumente/pdf/poster/poster_2011_geoforum_umhausen_tilch_etal_01.pdf (abgerufen am 06.09.2013)

Gefährdungsmodellierung bei gravitativen Massenbewegungen

Rainer BELL, Helene PETSCHKO & Thomas GLADE

1. Einleitung

Die Gefährdungsmodellierung gravitativer Massenbewegungen dient der Analyse der Anfälligkeit bzw. der Gefährdung (engl.: susceptibility) einer Region gegenüber gravitativen Massenbewegungen (z.B. Rutschungen, Stürze und Muren). Das Ergebnis ist eine Aussage über die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit von gravitativen Massenbewegungen bei gegebenen geologischen und geographischen Umweltbedingungen (GUZZETTI, 2005). Die Gefährdungsmodellierung gibt somit Auskunft darüber, wo ein Ereignis auftreten kann, aber nicht, wann es auftreten wird. D.h. die zeitliche Dimension wird nicht berücksichtigt. Diese ist Gegenstand der Gefahrenanalyse, die hier nicht betrachtet wird.

Die Gefährdungsmodellierung setzt sich im Allgemeinen aus den folgenden Schritten zusammen: (1) Erstellung von Ereignisinventaren, die Auskunft über die bisher aufgetretenen gravitativen Massenbewegungen geben, (2) Erhebung von Geodaten, die die vergangenen Ereignisse erklären können, (3) Durchführung der Gefährdungsmodellierung und (4) Validierung der Modellierungsergebnisse und Klassifizierung der finalen Gefahrenhinweiskarte. Die jeweiligen Schritte sind an den untersuchten Prozesstyp der gravitativen Massenbewegung anzupassen, so sind für Stürze und Muren andere methodische Ansätze notwendig als für Rutschungen. Der Fokus dieses Beitrags liegt auf der Gefährdungsmodellierung von Rutschungen.

2. Methodische Ansätze zur Gefährdungsmodellierung

Um Aussagen über die Gefährdung durch gravitative Massenbewegungen für eine Region machen zu können, müssen zuerst idealerweise sämtliche Informationen über vergangene Ereignisse zusammen getragen werden. Quellen hierfür sind z.B. Kataster/Datenbanken der Geologischen Dienste der einzelnen Bundesländer, sowie der Geologischen Bundesanstalt (z.B. GEORIOS, KOCIU et al., 2007), Luftbilder/digitale Orthofotos, hochaufgelöste digitale Geländemodelle, Geländekartierungen, Literaturstudien und historische Archive. Die Erstellung hochwertiger Inventare zu gravitativen Massenbewegungen ist meist sehr zeitaufwendig aber unerlässlich, um zuverlässige Aussagen über die existierenden Gefährdungen zu bekommen.

Dabei stellen die **Inventarkarten** gravitativer Massenbewegungen bereits eine erste und einfache Form der Gefährdungskarte dar, da sie Auskunft über die räumliche Verteilung kartierter gravitativer Massenbewegungen gibt. Jedoch geben diese keine Informationen darüber, wie die Gefährdung in den Bereichen zwischen den kartierten Ereignissen ist, auch fehlt häufig eine Aussage über den Aktivitätsstatus der kartierten gravitativen Massenbewegungen. Die Erstellung der Ereignisinventare ist mit Unsicherheiten und Fehlern verbunden. Eine Studie von ARDIZZONE et al. (2002) hat sich genau damit befasst. Sie konnten zeigen, dass die räumlichen Diskrepanzen in den Inventaren, welche von drei unterschiedlichen Geomorphologengruppen unabhängig voneinander in einem Untersuchungsgebiet in Italien erstellt wurden, bis zu 80% betragen (siehe Abb. 1). Würden diese Karten als Gefährdungskarten implementiert, hätte dies sehr unterschiedliche Konsequenzen für die raumplanerische Weiterentwicklung dieser Region zur Folge, mit dem Risiko gravierender Fehlentscheidungen. Eine umfassende Darstellung zur Erstellung von Inventaren zu gravitativen Massenbewegungen ist in GUZZETTI et al. (2012) enthalten.

Eine Weiterentwicklung stellen **Dichtekarten** von gravitativen Massenbewegungen dar, die zumindest teilweise Aussagen über die nicht kartierten Bereiche zulassen und darüber hinaus auch eine gewisse Information über die Frequenz der Ereignisse enthalten (GUZZETTI, 2005). Dies wurde von ARDIZZONE et al. (2002) für das italienische Untersuchungsgebiet durchgeführt, wodurch die Unstimmigkeiten zwischen den verschiedenen Inventaren auf 21-

25% reduziert werden konnten. Nach Einsatz einer statistischen Modellierung, auf die weiter unten näher eingegangen wird, konnten die Unstimmigkeiten noch weiter auf 15% reduziert werden.

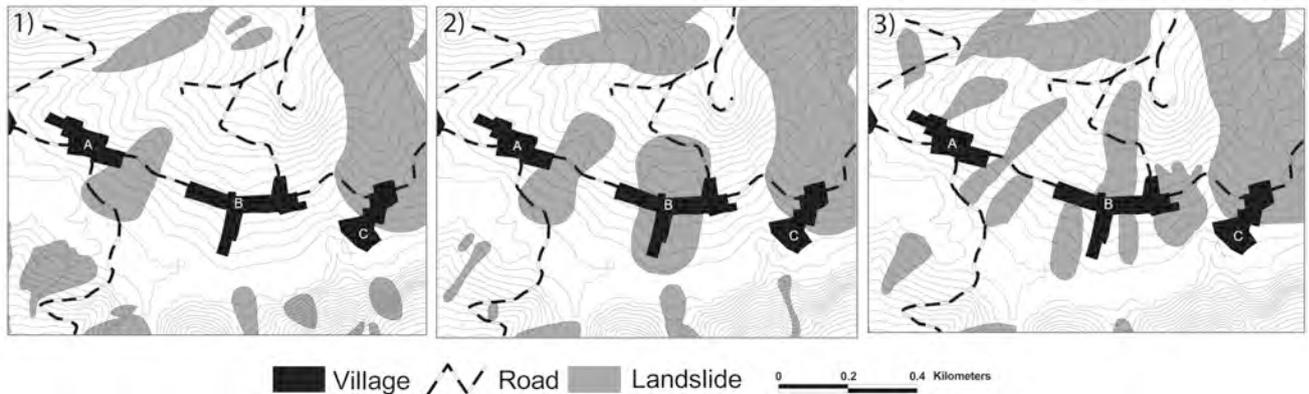


Abb. 1: Unterschiede in Rutschungsinventaren (1-3), die durch drei unterschiedliche Geomorphologengruppen in einem italienischen Untersuchungsgebiet erstellt wurden (ARDIZZONE et al., 2002, verändert durch BELL, 2007)

Im Rahmen der **heuristischen Analyse** erfolgt die Gefährdungseinschätzung mittels Expertenwissens. SOETERS & VAN WESTEN (1996) unterscheiden zum einen die geomorphologische Analyse (z.B. KIENHOLZ et al., 1984 und CARDINALI et al., 2002) und die Verschneidung qualitativer Karten (z.B. DIKAU & GLADE, 2003 und PETLEY et al., 2005). Bei letzterer werden die Variablen, welche die Entstehung der gravitativen Massenbewegung erklären können, klassifiziert und ggf. gewichtet miteinander kombiniert. Der größte Nachteil der heuristischen Analyse ist das hohe Ausmaß der Subjektivität, welches die Ergebnisse schwer nachvollziehbar machen kann. Ein Vorteil dieses Ansatzes ist, dass ein Experte, der das Untersuchungsgebiet sehr gut kennt, komplexe Zusammenhänge unter Umständen erfassen und in der Analyse berücksichtigen kann, während andere Methoden aufgrund diesbezüglich fehlender Eingangsdaten versagen (BELL, 2007).

Am häufigsten werden bei der Gefährdungsmodellierung von gravitativen Massenbewegungen und hier v.a. bei Rutschungen **statistische Ansätze** verwendet. Unter der Annahme, dass zukünftige Ereignisse unter ähnlichen Bedingungen auftreten werden wie die vergangenen, wird versucht, die Faktoren (Hangneigung, Feuchtigkeitsindex, Geologie, Gesamtporenvolumen, etc.) zu ermitteln, die in der Vergangenheit zu Rutschungen geführt haben. Die sich dabei ergebenden statistischen Beziehungen zwischen den jeweiligen Faktoren und den Rutschungen aus dem Ereignisinventar werden dann auf das gesamte Gebiet übertragen, um so die gefährdeten Gebiete auszuweisen. Es gibt sehr viele verschiedene Methoden zur statistischen Gefährdungsmodellierung von gravitativen Massenbewegungen, von denen im Folgenden exemplarisch einige aufgelistet werden sollen:

Bivariate Analyse (z.B. AYALEW et al., 2004, STEGER, 2012), Weights of Evidence (z.B. CHUNG & FABBRI, 1999, KLINGEISEN & LEOPOLD, 2006, NEUHÄUSER et al., 2011), Likelihood Ratio (z.B. CHUNG & FABBRI, 2005), logistische Regression (z.B. ATKINSON & MASSARI, 1998, DAI et al., 2004, BRENNING, 2005 und BELL, 2007), Generalisierte additive Modelle (z.B. GOETZ et al., 2011, PETSCHKO et al., 2013a) und Neuronale Netzwerke (z.B. FERNANDEZ-STEGER et al., 2002, SCHWARZ & TILCH, 2008).

Die Vorteile der statistischen Gefährdungsmodellierung liegen v.a. in der Objektivität des Ansatzes, wobei gewisse subjektive Einflussnahmen nach wie vor enthalten sind, v.a. bei der

(expertengesteuerten) Auswahl der Eingangsfaktoren und bei der Klassifikation der finalen Gefahrenhinweiskarte. Limitierungen ergeben sich v.a. aus Unsicherheiten und Fehlern im Rutschungsinventar, sowie der Nichtverfügbarkeit notwendiger Daten bzw. von Daten in ausreichender Auflösung bzw. Maßstab (so ist z.B. die Geologie für größere Gebiete häufig nur im Maßstab 1:200.000 verfügbar). Ein weiterer Nachteil ist, dass die Ergebnisse der Modellierung nicht ohne weiteres auf andere Gebiete übertragbar sind (FELL et al., 2008).

Die Gefährdungsmodellierung gravitativer Massenbewegungen mittels **prozessbasierter und numerischer Analysen** erfolgt mittels Modellen, die weitestgehend auf physikalischen Gesetzmäßigkeiten beruhen. Das Ergebnis ist eine quantitative Aussage zur Hangstabilität in der Region, oft angegeben als Sicherheitsfaktor (Factor of Safety - FoS). Vorteile dieses Ansatzes liegen in der Möglichkeit, dass neue Erkenntnisse über die Ursachen der gravitativen Massenbewegungen gewonnen werden können (CARRARA et al., 1992). Der größte Nachteil ist, dass je komplexer die Modelle sind, desto mehr Eingangsparameter (zu bodenmechanischen und hydrologischen Parametern des Hanges) erforderlich werden, die häufig für große Untersuchungsgebiete nicht zu erheben sind. SOETERS & VAN WESTEN (1996) weisen darauf hin, dass diese Ansätze nur in relativ homogenen Untersuchungsgebieten einsetzbar sind und bei einfachen Typen von gravitativen Massenbewegungen. Für den regionalen Einsatz ist nur das Infinite Slope Model verfügbar, mit dem nur flachgründige Translationsrutschungen modelliert werden können (z.B. THIEBES et al., 2007, TOBLER & KRUMMENACHER, 2004, TOBLER et al., 2011a). Nur wenige Arbeiten existieren, die nach der Modellierung der Hanginstabilität auf regionaler Skala die Reichweite modellieren und diese in die Gefährdungsmodellierung einbinden (z.B. TOBLER et al., 2011b).

Die unterschiedlichen Ansätze können nur auf bestimmten Skalen sinnvoll eingesetzt werden. Eine Übersicht dazu bietet Tab. 1.

Maßstab	Qualitative Methoden		Quantitative Methoden	
	Inventar	Heuristische Analyse	Statistische Analyse	Prozessbasierte und numerische Analyse
<1:10.000	Ja	Ja	Ja	Ja
1:15.000 – 1:100.000	Ja	Ja	Ja	Ja
1:125.000 – 1:500.000	Ja	Ja	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich
>1:750.000	Ja	Ja	Nein	Nein

Tab. 1: Übersicht über die Einsatzbereiche der unterschiedlichen Ansätze zur Gefährdungsmodellierung von gravitativen Massenbewegungen (nach GLADE & CROZIER, 2005, basierend auf SOETERS & VAN WESTEN, 1996)

Eine Limitierung der meisten Ansätze ist, dass oft nur die Anrissbereiche der gravitativen Massenbewegungen modelliert werden und nicht der komplette Prozessbereich. Allerdings zeigt sich, dass bei der Gefährdungsmodellierung von Anrissbereichen von Rutschungen häufig dennoch große Teile des gesamten Prozessbereichs abgedeckt werden. Dies ist bei Stürzen und Muren anders, sodass dort die Modellierung in zwei Schritten durchgeführt werden muss: Ausweisung der Startbereiche und Modellierung der Reichweite. Letztere kann entweder empirisch (über zuvor ermittelte Reichweitenwinkel) oder deterministisch erfolgen.

3. Validierung der Gefährdungsmodelle

Um Aussagen über die Qualität der Gefährdungsmodellierung bzw. der finalen Gefahrenhinweiskarte zu erhalten muss eine Validierung durchgeführt werden. Sehr deutlich drücken das CHUNG & FABRI (2003, S. 460) aus: „Without some kind of validation, the prediction model and image are totally useless and have hardly any scientific significance“. Zur Validierung sollte das Inventar der gravitativen Massenbewegungen in zumindest einen Trainings- und Testdatensatz aufgeteilt werden. Diese Aufteilung kann zufällig, räumlich oder zeitlich erfolgen. Bei der zeitlichen Aufteilung nimmt man alle Ereignisse bis zu einem gewissen Jahr, führt die Modellierung durch und validiert das Modell im Anschluss mit den jüngeren Ereignissen, die nicht in die Modellierung eingeflossen sind. Analog verhält es sich beim Vorgehen der zufälligen bzw. räumlichen Aufteilung. Wichtig ist, dass die Daten die zur Validierung genutzt werden nicht schon in der Erstellung des Modells genutzt wurden.

Der einfachste Weg zur Validierung ist eine Konfusionsmatrix, in der die modellierten und beobachteten gravitativen Massenbewegungen gegenüber gestellt und ausgewertet werden (Tab. 2). Anzustreben ist hier ein hoher Wert der korrekt modellierten vorhandenen Ereignisse (richtig positiv) und ein niedriger Wert bei vorhandener Rutschung, die nicht modelliert wurde (falsch negativ). Die zwei anderen Kategorien sind etwas problematischer, v.a. jene der falsch positiven Fälle. Dies hängt damit zusammen, dass das Ziel der Gefährdungsmodellierung von gravitativen Massenbewegungen ja eben ist, auch gefährdete Gebiete auszuweisen, in denen bisher noch kein Ereignis aufgetreten ist, welches aber von der Disposition her aber möglich ist. Ein Problem bei der Validierung mittels Konfusionsmatrix ist, dass irgendwo ein Schwellenwert festgelegt werden muss, d.h. je nach Klassenanzahl der finalen Gefahrenhinweiskarte muss entschieden werden, welche Gefährdungsklassen der Kategorie „Rutschung modelliert“ und welche der Kategorie „Keine Rutschung modelliert“ zugewiesen werden.

	Rutschung vorhanden	Keine Rutschung vorhanden
Rutschung modelliert	Richtig positiv	Falsch positiv
Keine Rutschung modelliert	Falsch negativ	Richtig negativ

Tab. 2: Konfusionsmatrix zur Validierung von Gefahrenhinweiskarten

Daher sind Verfahren vorzuziehen, die unabhängig von solchen Schwellenwerten sind und zudem direkt die Gefährdungsmodelle validieren können. Ein häufig verwendetes statistisches Gütemaß ist der AUROC-Wert (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve). Es ist ein Maß für die Modellgüte. Beim AUROC-Wert wird die Lage der Rutschungs- und Nicht-Rutschungspunkte in Bezug gesetzt zur Verteilung der modellierten Gefährdung. Der AUROC-Wert ist umso größer, desto mehr gravitative Massenbewegungen in Bereichen hoher Gefährdung liegen und desto mehr Punkte außerhalb von gravitativen Massenbewegungen sich in Bereichen niedriger Gefährdung befinden. Die AUROC-Werte liegen zwischen 0 und 1. Werte von 0,7 bis 1 zeigen eine gute, Werte nahe 1 eine sehr gute Güte des Modells. Werte unter 0,5 zeigen eine zufällige Verteilung von Rutschungs- und Nicht-Rutschungspunkten im gesamten Spektrum der modellierten Gefährdungswerte an und damit eine schlechte Güte des Modells.

Eine detaillierte Beschreibung der Validierung von Gefährdungsmodellen befindet sich in BEGUERIA (2006). Eine neuere Entwicklung im Bereich der Validierung von Gefährdungsmodellen von gravitativen Massenbewegungen ist die *k*-fold (mehrfache) Kreuzvalidierung, bei der nicht nur jeweils ein einziger Trainings- und Testdatensatz verwendet wird, sondern die Datensätze viel häufiger und wiederholt zufällig oder räumlich aufgeteilt werden, umso z.B. 100 Validierungen durchzuführen und eine genauere Aussage über die Güte des Modells zu erhalten (z.B. PETSCHKO et al., 2013a)

Neben der statistischen Validierung des Gefährdungsmodells und der Gefahrenhinweiskarte, muss aber auch darauf geachtet werden, dass insbesondere die Gefahrenhinweiskarte aus geomorphologischer Perspektive plausibel ist und die hohen Gefährdungen auch dort ausgewiesen werden, wo mit gravitativen Massenbewegungen zu rechnen ist (z.B. in den hangbereichen anfälliger Lithologien) und geringe Gefährdungen dort, wo dies nicht der Fall ist (z.B. in den flachen Bereichen der Flussauen).

Generell kann festgehalten werden, dass es Sinn macht, sowohl die Güte des Gefährdungsmodells zu validieren als auch die Qualität der finalen Gefahrenhinweiskarte.

4. Klassifizierung und Implementierung der Gefahrenhinweiskarten

Wie bereits im vorherigen Kapitel erwähnt ist es notwendig, die Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung zu klassifizieren, um dadurch die finale Gefahrenhinweiskarte zu erhalten. Dazu stehen verschiedene Vorgehensweisen zur Verfügung. Der Wertebereich des Gefährdungsmodells kann z.B. in gleiche Intervalle eingeteilt werden (z.B. GUZZETTI et al., 2006 und BELL, 2007). Dies setzt aber voraus, dass die Werte auch plausibel über den gesamten Wertebereich verteilt sind. Eine Alternative ist die Natural Break – Methode, bei der stärkere Veränderungen im Histogramm analysiert werden und an entsprechenden Stellen die Klassengrenzen gesetzt werden.

Ein durchaus vielversprechender Ansatz ist, die Klassengrenzen in Abhängigkeit des Anteils der in diesen Klassen befindlichen gravitativen Massenbewegungen zu definieren. So kann man die Klassen z.B. so setzen, dass sich 80% aller gravitativen Massenbewegungen in der höchsten Klasse befinden, 15 % in der mittleren und nur 5 % in der niedrigsten. Dieses Vorgehen erleichtert die Nachvollziehbarkeit der Klassengrenzen für die Implementierung in der Raumplanung. Die Festlegung der jeweiligen Klassengrenzen ist demnach ein Aushandlungsprozess mit den involvierten Akteuren (z.B. Raumordnungsbehörde, Geologischer Dienst, Bürgermeister, die für die untersuchte Region zuständig sind).

Im Zuge der Implementierung der Gefahrenhinweiskarten treten häufig neue Fragen auf, die ebenfalls zu beantworten sind, um die bestmögliche Anpassung der Karte an den Bedarf zu ermöglichen und damit die Akzeptanz und die Anwendung der Karten zu optimieren: Wieviel Gefährdungsklassen werden benötigt bzw. sind sinnvoll? Welche Farben soll diesen Klassen zugewiesen werden? Wie sollen die Gefährdungsklassen bezeichnet werden? Welche Handlungsempfehlungen sind mit den Gefährdungsklassen zu verknüpfen? Für Niederösterreich finden sich Antworten auf diese Fragen in PETSCHKO et al., 2013b. Diese sind aber nicht allgemeingültig und nicht ohne weiteres auf andere Regionen und Bundesländer übertragbar, sondern sollten jeweils in Abhängigkeit der Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung für das entsprechende Gebiet neu ausgehandelt werden.

5. Schlussfolgerungen

Die Art und Weise der Gefährdungsmodellierung bei gravitativen Massenbewegungen ist abhängig von dem zu modellierendem Prozesstyp (z.B. ob Rutschung, Sturz oder Mure). In allen Fällen sind hochqualitative und umfangreiche Informationen zu vergangenen Ereignissen erforderlich, die im Rahmen der Erstellung von Ereignisinventaren zusammengetragen werden müssen. Es stehen vielfältige Optionen zur Gefährdungsmodellierung zur Verfügung. Die Auswahl sollte v.a. auf Basis der für die jeweilige Modellierung benötigten und verfügbaren Daten getroffen werden. Am häufigsten wird v.a. bei Rutschungen die statistische Modellierung eingesetzt. Unabhängig von der Wahl des Modellierungsansatzes sind alle Ergebnisse und Gefahrenhinweiskarten einer umfassenden Validierung zu unterziehen. Sollen die Gefahrenhinweiskarten in die Raumordnung implementiert werden, so sind einige weitere Fragen zu beantworten, damit die Karten nicht am Bedarf der Akteure vor Ort vorbeigeplant und erstellt werden und die Akzeptanz der Karten erhöht wird.

6. Literatur

- ARDIZZONE, F., CARDINALI, M., CARRARA, A., GUZZETTI, F. & REICHENBACH, P. (2002): Impact of mapping errors on the reliability of landslide hazard maps. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, S. 3-14.
- ATKINSON, P.M. & MASSARI, R. (1998): Generalised linear modelling of susceptibility to landsliding in the Central Apennines, Italy. *Computers & Geosciences*, 24(4), S. 373-385.
- AYALEW, L., YAMAGISHI, H. & UGAWA, N. (2004): Landslide susceptibility mapping using GIS-based weight linear combination, the case in Tsugawa area of Agano River, Niigata Prefecture, Japan. *Landslides*, 1, S. 73 - 81.
- BEGUERÍA, S. (2006): Validation and Evaluation of Predictive Models in Hazard Assessment and Risk Management, *Natural Hazards*, 37(3), S. 315–329.
- BELL, R. (2007): Lokale und regionale Gefahren- und Risikoanalyse gravitativer Massenbewegungen an der Schwäbischen Alb. Dissertation, Universität Bonn, 305 S.
<http://hss.ulb.uni-bonn.de/2007/1107/1107.htm>, abgerufen am 06.09.2013.
- BRENNING, A. (2005): Spatial prediction models for landslide hazards: review, comparison and evaluation. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, S. 853-862.
- CARDINALI, M., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., ANTONINI, G., GALLI, M., CACCIANO, M., CASTELLANI, M. & SALVATI, P. (2002): A geomorphological approach to estimate landslide hazards and risk in urban and rural areas in Umbria, Central Italy. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, S. 57-72.
- CARRARA, A., CARDINALI, M. & GUZZETTI, F. (1992): Uncertainty in assessing landslide hazard and risk. *ITC Journal, The Netherlands*, 2, S. 172-183.
- CHUNG, C.-J.F. & FABBRI, A.G. (1999): Probabilistic prediction models for landslide hazard mapping. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(12), S. 1389-1399.
- CHUNG, C.J.F. & FABBRI, A.G. (2003): Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), S. 451-472.
- CHUNG, C.-J.F. & FABBRI, A.G. (2005): Systematic procedures of landslide-hazard mapping for risk assessment using spatial prediction models. In: GLADE, T., ANDERSON, M. & CROZIER, M.J. (Hrsg.), *Landslide hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, S. 139-174.
- DAI, F.C., LEE, C.F., THAM, L.G., NG, K.C. & SHUM, W.L. (2004): Logistic regression modelling of storm-induced shallow landsliding in time and space on natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Bulletin of Engineering Geology and Environment*, 63, S. 315-327.
- DIKAU, R. & GLADE, T. (2003): Nationale Gefahrenhinweiskarte gravitativer Massenbewegungen. In: LIEDTKE, H. MÄUSBACHER, R. & SCHMIDT, K.-H. (Hrsg.), *Relief, Boden und Wasser*. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, S. 98-99.
- FELL, R., COROMINAS, J., BONNARD, C., CASCINI, L., LEROI, E. & SAVAGE, W.Z. on behalf of the JTC-1 Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (2008): Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology* 102(3-4), S. 99–111.
- FERNÁNDEZ-STEEGER, T.M., ROHN, J. & CZURDA, K. (2002): Identification of landslide areas with neural nets for hazard analysis. In: RYBÁR, J., STEMBERK, J. & WAGNER, P. (Hrsg.), *Landslides*, 24-26 June 2002. A.A. Balkema, Prague, Czech Republic, S. 163-168.
- GLADE, T. & CROZIER, M.J. (2005): A review of scale dependency in landslide hazard and risk analysis. In: GLADE, T., ANDERSON, M. & CROZIER, M.J. (Hrsg.), *Landslide hazard and risk*. Wiley, Chichester, S. 75-138.
- GOETZ, J.N., GUTHRIE, R.H. & BRENNING, A. (2011): Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology* 129, S. 376-386.

- GUZZETTI, F. (2005): Landslide hazard and risk assessment. Dissertation, Universität Bonn, Bonn, 276 S.
- GUZZETTI, F., REICHENBACH, P., ARDIZZONE, F., CARDINALI, M. & GALLI, M. (2006): Estimating the quality of landslide susceptibility models. *Geomorphology* 81, S. 166–184.
- GUZZETTI, F., MONDINI, A.C., CARDINALI, M., FIORUCCI, F., SANTANGELO, M. & CHANG, K.-T. (2012): Landslide inventory maps: New tools for an old problem. In: *Earth-Science Reviews*, 112, S. 42–66.
- KIENHOLZ, H., HAFNER, H., SCHNEIDER, G. & ZIMMERMANN, M. (1984): Methods for the assessment of mountain hazards and slope stability in Nepal. *Erdwissenschaftliche Forschung*, XVIII, S. 147–160.
- KLINGSEISEN, B. & LEOPOLD, P. (2006): Landslide Hazard Mapping in Austria. *GIM International*, Vol. 20, Nr. 12, S. 41–43.
- 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*, S. 215–220.
- NEUHÄUSER, B., DAMM, B. & TERHORST, B. (2012): GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the Weights-of-Evidence model. In: *Landslides*, 9, S. 512–528.
- PETLEY, D.N., HEARN, G.J. & HART, A. (2005): Towards the Development of a Landslide Risk Assessment for Rural Roads in Nepal. In: GLADE, T., ANDERSON, M. & CROZIER, M.J. (Hrsg.), *Landslide hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd., Chichester, S. 597–619.
- PETSCHKO, H., BRENNING, A., BELL, R., GOETZ, J., & GLADE, T. (2013a): Assessing the quality of landslide susceptibility maps – case study Lower Austria, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 1, 1001–1050, doi:10.5194/nhessd-1-1001-2013.
- SCHWARZ, L. & TILCH, N. (2008): Möglichkeiten und Limitierungen der Regionalisierung mittels Neuro-analer Netze am Beispiel einer Rutschanfälligkeitskarte für die Region Gasen-Haslau. In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G.: *Angewandte Informatik 2008, Beiträge zum 20. AGIT-Symposium, Salzburg*, S. 643–648.
- SOETERS, R. & VAN WESTEN, C.J. (1996): Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: TURNER, A.K. & SCHUSTER, R.L. (Hrsg.), *Landslides: investigation and mitigation. Special Report*. National Academy Press, Washington, D.C., S. 129–177.
- STEGER, S. (2012): Räumliche Analyse und Gefährdungsmodellierung von Rutschungen in der rheno-danubischen Flyschzone (NÖ). Diplomarbeit. Institut für Geographie und Regionalforschung, Universität Wien.
- THIEBES, B., BELL, R. & GLADE, T. (2007): Deterministische Analyse flachgründiger Hangrutschungen mit SINMAP - Fallstudie an der Schwäebischen Alb. In: KELLERER-PIRKLBAUER, A., KEILER, M., EMBLETON-HAMANN, C. & STÖTTER, J. (Hrsg.): *Geomorphology for the future - Joint Meeting of the Commission on Geomorphology of the Austrian Geographical Society and the IAG Working Group on Geomorphology and Global Environmental Change*. Obergurgl, Austria, September 2–7, 2007. Conference Proceedings, Innsbruck University Press, Innsbruck, S. 177 – 184.
- TOBLER, D. & KRUMMENACHER, B. (2004): Modellierung von Anrissgebieten für flachgründige Rutschungen und Hangmuren. In: *Proceedings of the 2nd Swiss geoscience meeting, Lausanne*
- TOBLER, D., RINER, R. & PFEIFER, R. (2011a): Modeling potential shallow landslides over large areas with SliDisp+. In: MARGOTTINI, C., CANUTI, P. & SASSA, K. (Eds.): *Landslide Science and Practice, Vol. 1: Landslide Inventory and Susceptibility and Hazard Zoning*. Heidelberg.
- TOBLER, D., RINER, R. & PFEIFER, R. (2011b): Runout Modelling of Shallow Landslides Over Large Areas with SliDepot. In: MARGOTTINI, C., CANUTI, P. & SASSA, K. (Eds.): *Landslide Science and Practice, Vol. 1: Landslide Inventory and Susceptibility and Hazard Zoning*. Heidelberg.

Modellierung der Hangrutschungsgefährdung unter dem Aspekt von Klimaänderungen am Beispiel Nördlicher Wienerwald

Bettina NEUHÄUSER, Bodo DAMM & Birgit TERHORST

1. Einleitung

Der Nördliche Wienerwald gehört geologisch betrachtet zur Flyschzone, welche aufgrund ihrer petrographischen Zusammensetzung sowie durch den Wechsel von wasserstauenden und durchlässigen Schichten höchst rutschanfällig ist (WESSELY, 2006). Neben dem anstehenden Flysch-Gestein ist insbesondere das Auftreten von Löss und quartären Sedimentdecken, die weite Bereiche des Anstehenden bedecken, für die aktuelle Hangdynamik entscheidend (DAMM et al., 2008, TERHORST & DAMM, 2009). Ziel der Forschungsarbeiten ist es, die Rutschanfälligkeit im Bereich des Nördlichen Wienerwaldes zu quantifizieren sowie neue Erkenntnisse über die Steuerungsfaktoren und die Prozesse zu erlangen. Darüber hinaus sollen regionale Gefährdungskarten zur Verfügung gestellt und in kleinräumigen Modellierungen der Einfluss der Feuchtebedingungen auf die Hangstabilität untersucht werden. Das Ergebnis der regionalen Modellierung ist in NEUHÄUSER et al. (2012a, 2012b, 2012c) ausführlich beschrieben. Der vorliegende Beitrag ist dem Einfluss der prognostizierten Klimaänderung auf die Hangstabilität gewidmet, was in einem ausgewählten Testgebiet, dem Hagenbachtal bei St. Andrä-Wördern, untersucht wurde. Detaillierte sedimentologische und geomorphologische Arbeiten sowie Laboruntersuchungen (vgl. DAMM et al., 2008, DAMM & TERHORST, 2010) liefern in diesem Raum eine ausgezeichnete Datenlage über die Substrat-eigenschaften der Hänge, die geotechnischen und hydrologischen Parameter sowie die Hangdynamik.

Die Erfahrungen aus dem Bereich der GIS-basierten Dispositionsmodellierung der letzten Jahre haben gezeigt, dass trotz des großen Methodenrepertoires noch konkreter Forschungsbedarf besteht (vgl. u.a. ALEOTTI & CHOWDURY, 1999, KANUNGO et al., 2008). In diesem Zusammenhang wird das in vielen Dispositionsmodellen inhärente Grundprinzip „the past and present are keys to the future“ durch den Einbezug des Klimawandels obsolet (CROZIER & GLADE, 2006). Dieses Prinzip beinhaltet die Annahme, dass zukünftige Ereignisse unter gleichen oder ähnlichen Bedingungen und Ursachen wie bisher entstehen. Veränderte Lufttemperatur und Niederschlagsmengen können jedoch die Entstehungsbedingungen für Rutschprozesse signifikant verändern (vgl. u.a. SOLDATI et al., 2004, JAKOB & LAMBERT, 2009).

In einer Vielzahl von Anwendungen basiert die Beurteilung der Rutschanfälligkeit auf Steuerungsfaktoren, welche als konstant oder als über lange Zeiträume veränderlich angesehen werden (z.B. NEUHÄUSER et al. 2012a). Die Disposition für Massenbewegungen ist jedoch zeitlich höchst veränderlich, weshalb neben der konstanten Grunddisposition auch eine variable Disposition zu berücksichtigen ist (ZIMMERMANN et al., 1997). Diese Variabilität wird maßgeblich von klimatischen und meteorologischen Faktoren gesteuert, welche den Bodenwasserhaushalt beeinflussen und folglich die Hangstabilität steuern (ALEXANDER, 1992, KLOSE et al., 2012). Meteorologische Größen wie Lufttemperatur und Niederschlagsmenge stehen mit den boden- und felsmechanischen Parametern, wie Kohäsion und Porenwasserdruck, in einem physikalischen Zusammenhang. Grundsätzlich führt Durchfeuchtung zu Veränderungen in der Konsistenz und zu einer Reduzierung der Scherfestigkeit im Substrat. Neben intensiven und lang anhaltenden Niederschlägen als Folge kurzfristiger Wetterlagen steuern auch langfristige Feuchtebedingungen die Rutschungsaktivität (u.a. SOLDATI et al., 2004, JAKOB & LAMBERT, 2009). Allerdings wird dieser Aspekt noch unzureichend in Dispositionsmodellierungen berücksichtigt. Diesbezüglich wird in der vorliegenden Arbeit die Entwicklung der Feuchtebedingungen an Rutschungsstandorten im Jahresverlauf und für Klimaszenarien untersucht. Ziel ist es, den Einfluss von Klimaänderungen auf die Hangstabilität zu beurteilen. Als zentrale Fragestellung wird geprüft, inwieweit dieser Einfluss quantifizierbar ist.

2. Methode

Die Hangstabilität wird in Abhängigkeit von den Feuchtebedingungen im Substrat modelliert, wobei sowohl kurzfristige als auch mittelfristige meteorologische Bedingungen berücksichtigt werden. Dazu werden unterschiedliche Feuchteszenarien entwickelt, um in einem anschließenden Vergleich der Modelle potentielle Veränderungen in der Hangstabilität zu untersuchen.

- **Szenariengruppe „langfristige Disposition (aktuell)“** - Diese Szenariengruppe untersucht die Hangstabilität im jahreszeitlichen Verlauf unter durchschnittlichen, monatlichen Feuchtebedingungen. Um typische Feuchtebedingungen zu untersuchen, welche zudem mit den prognostizierten klimatischen Veränderungen vergleichbar sind, wurden Langzeit-Mittelwerte auf monatlicher Basis, sogenannte Klimanormalwerte einbezogen (ZAMG, 2010). Klimanormalwerte stellen Referenzwerte für einen „Normalzustand“ dar, welche mit klimatologischen Trends verglichen werden können.
- **Langfristige Disposition (Klimaänderungen)** - Um Klimaänderungen in die Berechnungen mit einzubeziehen, wurden die Vorhersagen der regionalen Klimamodelle, die im Forschungsprojekt “Research for Climate Protection: Model Run Elevation“ (LOIBL et al., 2007, FORMAYER et al., 2009) erarbeitet wurden, herangezogen.
- **Kurzfristige Disposition (Extremereignis):** Für die kurzfristige Entwicklung der Hangstabilität wurde ein extremes Starkregenereignis mit einer Intensität von 60mm/h herangezogen, dass dem 50-jährigen Bemessungsniederschlag für das Untersuchungsgebiet entspricht (eHYD, 2011).

Die durchgeführten Stabilitätsberechnungen basieren auf der Methode „Slope Stability Index Mapping (SINMAP)“ nach PACK et al. (2005), welche auf dem infiniten Stabilitätsmodell beruht. Diese Methode wird adaptiert und um eine monatliche Wasserbilanzberechnung nach STEENHUIS & VAN DER MOLEN (1986) und MCCABE & MARKSTROM (2007) zur Abschätzung des Grundwasserzuflusses erweitert. Hierdurch können neben Niederschlag und Lufttemperatur weitere wesentliche Komponenten im hydrologischen Zyklus miteinbezogen werden, wie Evapotranspiration, Bodenwasserspeicher und Schneeschmelze. Eine weitere Modifikation erfolgt in der vorliegenden Untersuchung durch die Implementierung eines Prozess-Regionen-Konzeptes anstelle der bisher verwendeten Kalibrierungsregionen. Diese Prozessregionen grenzen Bereiche mit unterschiedlicher Gleitflächentiefe ab und repräsentieren zum einen flachgründige Instabilitäten in den quartären Sedimenten und zum anderen mittel- bis tiefgründige Bewegungen im anstehenden Flyschgestein und seinen Verwitterungsprodukten. Grundlage für die vorgenommene Prozessabgrenzung stellt das Hangentwicklungsmodell nach DAMM & TERHORST (2010) dar.

3. Ergebnisse

3.1. Einfluss von Klimaänderungen auf die Hangstabilität

Sommerszenarien: Vergleicht man die aus Daten der Klimanormalperiode abgeleitete Substratfeuchte an den untersuchten Rutschungsstandorten mit jener, unter Berücksichtigung der prognostizierten Klimaänderung (LOIBL et al., 2007) berechneten, so zeigt sich ein positiver Effekt auf die Hangstabilität. Die prognostizierte durchschnittliche Erhöhung der Lufttemperatur um 2.5°C hat in Kombination mit einem Rückgang der durchschnittlichen Niederschlagsmenge um 15% eine erhöhte Trockenheit im Substrat zur Folge, woraus eine erhöhte Stabilität resultiert. Folglich weiten sich die stabilen Bereiche um insgesamt rund 10%, bezogen auf die Fläche des Untersuchungsgebietes, aus. Die instabilen Bereiche verringern sich diesem Betrag entsprechend. Dieser Effekt des Klimaszenarios ergibt sich im Modell durch erhöhte Evapotranspiration, den dadurch verringerten Grundwasserzufluss und folglich der verringerten topographischen Feuchte, die sich positiv auf die Hangstabilität auswirkt.

Winterszenarien: Das Winterszenario, welches auf der prognostizierten Klimaänderung (LOIBL et al., 2007) basiert, zeigt einen negativen Effekt auf die Hangstabilität im Vergleich zu dem Winterszenario, das auf den Bedingungen der Klimanormalperiode (ZAMG, 2010) beruht. Die durchschnittliche Erhöhung der Lufttemperatur um 2° in Kombination mit einer um 30% erhöhten Niederschlagsmenge in den Wintermonaten führt im Modell zu einer Erhöhung des Grundwasserzuflusses um 7% gegenüber dem langjährigen Durchschnitt. Durch diesen erhöhten Zufluss zeigt das zukünftige Winterszenario eine leicht erhöhte topographische Feuchte. Trockene Bereiche gehen flächenmäßig um 3% zurück, teilweise feuchte Bereiche und Zonen mit Sättigungstendenz nehmen um insgesamt 8% zu. Diese Feuchtigkeitszunahme führt dazu, dass sich die stabilen Bereiche um rund 3% verkleinern und sich die instabilen Bereiche um etwa den gleichen Betrag ausweiten.

3.2. Einfluss von Starkregen auf die Hangstabilität

In einem Szenario, welches die kurzfristige Disposition untersucht, wird der zeitlich limitierte Einfluss eines Starkregens modelliert. Für dieses Szenario ergibt sich ein stark verändertes Bild der Hangdynamik (vgl. Abbildung 1). Starkregen bewirkt eine fast flächendeckende Durchfeuchtung der quartären Sedimentdecken und großteils auch der verwitterten Oberfläche des anstehenden Gesteins. Dies führt im Modell zu einer Ausdehnung der instabilen Bereiche um 28% gegenüber dem „normalen“ Zustand im Sommer.

4. Schlussfolgerungen

Einfluss der prognostizierten Klimaänderung auf die Hangstabilität: Hangstabilitätsberechnungen auf Basis der prognostizierten Klimaänderung (LOIBL et al., 2007) lassen den Schluss zu, dass eine leichte Veränderung der Hangstabilität im Monatsdurchschnitt möglich ist. Im Winterszenario ist eine Ausdehnung der instabilen Bereiche um 3% festzustellen. Diese leicht erhöhte Instabilität kann dazu führen, dass bereits geringere Niederschlagsmengen bzw. Intensitäten einzelner Regenereignisse eine Überschreitung der Grenzwerte im Stabilitätsgleichgewicht verursachen.

Im Sommerszenario ist unter Berücksichtigung der prognostizierten Klimaänderungen eine Verringerung der instabilen Bereiche um 10% zugunsten der stabilen Zonen festzustellen. Allerdings ist künftig, trotz insgesamt verringerter monatlicher Niederschlagsmengen, eine Zunahme der Niederschlagsintensitäten wahrscheinlich (vgl. FREI et al., 2006, FORMAYER & KROMP-KOLB, 2006, HOFSTÄTTER et al., 2010). In diesem Zusammenhang lassen die Modellierungsergebnisse den Schluss zu, dass häufiger mit einer kurzfristig drastisch erhöhten Rutschanfälligkeit durch Starkregen zu rechnen ist.

Quantifizierung der Substratfeuchte im Zuge von Klimaänderungen: In der vorliegenden Untersuchung lässt sich Einfluss von jahreszeitlich schwankenden meteorologischen Größen unter Berücksichtigung prognostizierter Klimaänderungen (LOIBL et al., 2007) auf die Hangstabilität darlegen. Als Ergebnis der berechneten Szenarien wirken sich die variablen meteorologischen Größen auf die Substratfeuchte aus, welche in einem direkten physikalischen Zusammenhang zur Hangstabilität steht. Die Änderung der Substratfeuchte lässt sich trotz oder gerade durch die Verwendung von langfristigen Monatsmittelwerte und der damit verbundenen starken Glättung und geringen zeitlichen Auflösung quantifizieren. Die Modellierungsergebnisse untermauern die Bedeutung der langfristigen Entwicklung der Substratfeuchte für die Hangstabilität. Diese beeinflusst neben kurzfristigen Wetterlagen wesentlich die Rutschungsaktivität.

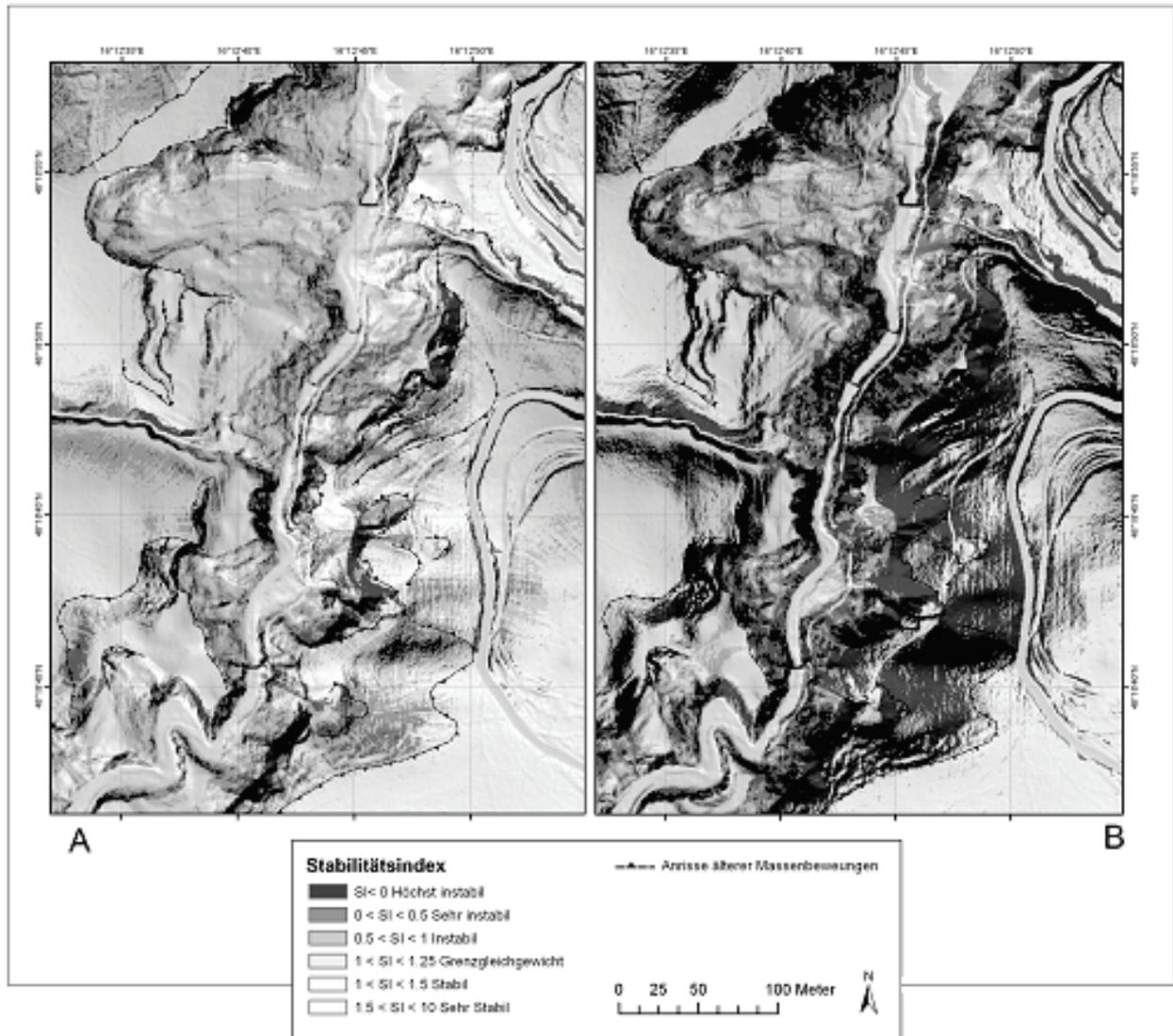


Abb. 1: Hangstabilitätsindex für das Untersuchungsgebiet im Hagenbachtal:

(A) Sommerszenario basierend auf den Langzeit-Mittelwerten, den sogenannten Klimanormalwerten für Lufttemperatur und Niederschlag der Periode 1961-1990 für die Station Mariabrunn (ZAMG, 2010).

(B) Extremereignis-Szenario basierend auf einer Niederschlagsintensität von 60mm/h (eHYD, 2011).

Im Vergleich zu (A) zeigt sich eine Ausdehnung der instabilen Bereiche in (B) um 28%.

6. Literatur

ALEOTTI, P. & CHOWDHURY, R. (1999): Landslide hazard assessment: Summary, review and new perspectives. *Bulletin of Engineering Geology & Environment* 58: 21-44.

ALEXANDER, D. (1992): On the causes of landslides: Human activities, perception, and natural processes. *Environmental Geology and Water Sciences* 20: 165-179.

CROZIER, M.J., & GLADE, T. (2006): Landslide hazard and risk: Issues, concepts and approach. *Landslide hazard and risk*. Wiley, West Sussex, 1-40.

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., KÖTTRITSCH, 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.
- eHYD (2011): Das Portal für hydrographische Daten Österreichs im Internet. Abteilung VII/3 des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. <http://ehyd.gv.at>
- FORMAYER, H., CLEMENTSCHITSCH, L., HOFSTÄTTER, M. & KROMP-KOLB, H. (2009): Vor Sicht Klima! Klimawandel in Österreich, regional betrachtet (Endbericht Global 2000). BOKU-Met Report 16. www.boku.ac.at/met/report/BOKU-Met_Report_16_online.pdf (abgerufen am 06.09.2013).
- FREI, C., SCHÖLL, R., FUKUTOME, S., SCHMIDL, J. & VIDALE, P.L. (2006): Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *Geophysical Research - Atmospheres* (1984-2012) 111: D06105.
- HOFSTÄTTER, M., MATULLA, C., WANG, J. & WAGNER, S. (2010): PRISK-CHANGE. Veränderung des Risikos extremer Niederschlagsereignisse in Folge des Klimawandels. Projektbericht. www.zamg.ac.at/cms/de/dokumente/klima/dok_projekte/prisk-change/endbericht-prisk-change (abgerufen am 06.09.2013).
- JAKOB, M. & LAMBERT, S. (2009): Climate change effects on landslides along the southwest coast of British Columbia. *Geomorphology* 107(3): 275-284.
- KANUNGO, D.P., ARORA, M.K., SARKAR, S. & GUPTA, R.P. (2012): Landslide susceptibility zonation (LSZ) mapping – A review. *Journal of South Asia Disaster Studies* 2(1): 81-105.
- KLOSE, M., DAMM, B., GEROLD, G. (2012): Analysis of Landslide Activity and Soil Moisture in Hillslope Sediments Using Landslide Database and Soil Water Balance Model. *Geo-Öko* 33: 204-231.
- LOIBL, W., BECK, A., DORNINGER, M., FORMAYER, H., GOBIET, A. & SCHÖNER, W. (2007): reclip:more - research for climate protection: model run elevation. Endbericht, ARC-sys-0123, Austrian Research Centres GmbH, Wien.
- MCCABE, G.J. & MARKSTROM, S.L. (2007): A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1088: 1- 6.
- NEUHÄUSER, B., DAMM, B. & TERHORST, B. (2012a): GIS-based assessment of landslide susceptibility on the base of the weights-of-evidence model. *Landslides* 9(4): 511-528.
- NEUHÄUSER, B., TERHORST, B., DAMM, B. (2012b): Identification and modelling in Flysch areas of the European Alpine Foreland. *Zeitschrift für Geomorphologie NF, Supplement* 56(4): 115–146.
- NEUHÄUSER, B., SCHWEIGL, J., DAMM, B. & TERHORST, B. (2012c): Rutschprozesse im Wienerwald in NÖ und Wien. *Journal für Wildbach-, Lawinen-, Erosions- und Steinschlagschutz* 169: 294-303.
- PACK, R.T., TARBOTON, D.G., GOODWIN, C.N. & PRASAD, A. (2005): A stability index approach to terrain stability hazard mapping, technical description and user guide for version 2.0., Utah State University.
- SOLDATI, M., CORSINI, A. & PASUTO, A. (2004): Landslides and climate change in the Italian Dolomites since the Late glacial. *Catena* 55(2): 141-161.
- STEENHUIS, T.S. & VAN DER MOLEN, W.H. (1986): The Thornthwaite-Mather procedure as a simple engineering method to predict recharge. *Journal of Hydrology* 84: 221-229.
- TERHORST, B. & DAMM, B. (2009): Slope stability and slope formation in the Flysch Zone of the Vienna Forest (Austria). *Journal of Geological Research* 2009: 1-10.
- WESSELY, G. (2006): Niederösterreich. *Geologie der Österreichischen Bundesländer*. Geologische Bundesanstalt, Wien.
- ZAMG (2010): Klimanormalwerte Österreich 1961-1990. Klimaübersichten. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik des Bundesministeriums für Wissenschaft und Forschung. <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klimauebersichten> (abgerufen am 06.09.2013).
- ZIMMERMANN, M., MANI, P., GAMMA, P., GSTEIGER, P., HEINIGER, O. & HUNZIGER, G. (1997): Murgefahren und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. Schlussbericht NFP 31“, vdf Verlag, Eidgenössische Technische Hochschule, Zürich: 1-162.

Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, Beispiele aus Österreich: Burgenland

Philip LEOPOLD & Peter ZINGGL

Das Bundesland Burgenland war das erste Bundesland in Österreich, das eine flächenhafte Darstellung der räumlichen Gefährdung durch Hangrutschungen basierend auf modernen statistischen Modellierungsmethoden umgesetzt hat. So wurde bereits im Jahr 2005 ein entsprechender Forschungsauftrag an die AIT Austrian Institute of Technology GmbH (damals seibersdorf research) mit dem Titel „Forschungsprojekt Massenbewegungen in den Bezirken Jennersdorf und Güssing: Ursachenanalyse und Gefahren-Hinweiskarte“ vergeben. Hintergrund war, dass seitens der zuständigen Behörden der Burgenländischen Landesregierung in den Jahren zuvor ein verstärktes Auftreten von Schäden an Gebäuden und Infrastruktur durch Massenbewegungen registriert wurde. Für die Zunahme von Schäden durch Massenbewegungen sind verschiedenste Gründe anzuführen. Einerseits kommt es durch regionale Veränderungen des Klimas verstärkt zu Starkregen- und Gewitterereignissen, welche Massenbewegungen oftmals unmittelbar auslösen. Andererseits begünstigt die Geologie des Burgenlandes vor allem in den Lockersedimenten der Beckenlandschaften generell die Ausbildung von rutschungsgefährdeten Hängen. Auch die stetige Ausdehnung der Siedlungsstrukturen in vielen burgenländischen Gemeinden innerhalb der letzten Jahrzehnte erhöhte das Schadenspotential, welches auf Massenbewegungen zurückgeht.

Dieses erste Forschungsprojekt hat gezeigt, dass in großen Teilen der bearbeiteten Bezirke ein Gefahrenpotential durch Massenbewegungen (Rutschungen) auch im Hinblick auf die Widmung von neuen Baulandflächen besteht. Daher wurden ergänzend und vertiefend zu diesem Projekt Datenbestände auf einer größeren Maßstabsebene (1:25.000) auch für konkrete Anwendungsbereiche der Raumordnung (Baulandwidmungen, Rutschungs- und Massenbewegungs-Vorbeurteilungen...) erarbeitet. Seit dem Jahr 2005 wurden weiterführend durch die AIT Austrian Institute of Technology GmbH Gefahren-Hinweiskarten für Massenbewegungen für alle politischen Bezirke des Landes erstellt. Die erzeugten Gefahren-Hinweiskarten im Maßstab 1:25.000 decken stets einen Bezirk ab und sind gemäß der Schweizer Empfehlung „Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten“ (LATELTIN, 1997) eine Grundlage für die Richtplanung, welche eine grobe Übersicht über die Gefährdungssituation geben. Der Informationsgehalt der Gefahren-Hinweiskarte wird somit als wesentliche Grundlage bei Entscheidungsfindungsprozessen der Landesregierung in Bezug auf geogene Gefahren, räumliche Entwicklung und Sicherheit herangezogen.

Aus wissenschaftlicher Sicht gestaltet sich die Erstellung von Gefahren-Hinweiskarten im Burgenland insofern besonders schwierig, da das Land Burgenland über keine Dokumentation des Inventars bereits aufgetretener Massenbewegungen verfügt. Für eine weiterführende Gefährdungsmodellierung stellt das Inventar bereits aufgetretener Massenbewegungen die wichtigste Grundlage dar. Erste Schritte in Richtung einer Dokumentation wurden erst nach Starkregenereignissen mit über 100 Schadensfällen durch Hangrutschungen im Sommer 2009 gesetzt. Seit Mitte des Jahres 2011 steht nun auch für viele Bezirke ein ALS-DGM mit 1 m Auflösung zur Verfügung. Wie von SCHULZ (2004) beschrieben, vereinfacht die Ausweisung von Massenbewegungen im ALS-DGM die Erstellung eines Inventars deutlich bzw. wird in bewaldeten Gebieten die Kartierung überhaupt erst ermöglicht. Zuvor war es nötig, das Inventar an vorhandenen Massenbewegungen durch Geländearbeit im Feld zu kartieren. Dabei zeigte sich, dass im Burgenland besonders häufig der Bewegungstyp „Kriechen“ in Lockersedimenten auftritt. Nach HIGHLAND & BOBROWSKY (2008) ist „Kriechen (..) eine unmerkliche langsame, kontinuierlich hangabwärts gerichtete Bewegung von gebirgsbildenden Lockersedimenten oder Fels“, eine weiterführende Diskussion des Begriffes findet sich in LEOPOLD (2012).

Geotechnische Labor- und Felduntersuchungen, Inklinometermessungen und deren Interpretation in Profilschnitten erlauben die Zuordnung der Kriechbewegungen zum Bewegungsmechanismus des „Massenkriechens“ (tiefgründiges, kontinuierliches Kriechen), nach HUTCHINSON (1968), wobei häufig Übergänge zum „progressiven Kriechen“ bestehen. Dabei kommt es aus geotechnischer Sicht bereits zum Bruch des Untergrundmaterials und damit zur Ausbildung von durchgehenden Scherflächen. Die Kriechbewegungen werden deshalb auch als Initialstadium für schnellere Massenbewegungen gemäß dem Prozess Rutschen/Gleiten und Fließen (Prozesse nach VARNES, 1958, 1978) interpretiert. Die erwähnten Prozesse sind in Zusammenhang mit Kriechbewegungen auch oftmals als Sekundärbewegungen im Gelände beobachtbar (LEOPOLD, 2012). Die kartierten Kriechbewegungen eignen sich daher sehr gut, um als Inventar für eine weiterführende Modellierung zu dienen. Tabelle 1 fasst die aufgenommenen Bewegungen für die drei Beckenlandschaften des Burgenlandes Eisenstädter, Oberpullendorfer und Steirisches Becken zusammen.

	Eisenstädter Becken		Oberpullendorfer Becken		Steirisches Becken (Bgl.)		Gesamt	
	Anzahl	mittlere Fläche 1000 m ²	Anzahl	mittlere Fläche 1000 m ²	Anzahl	mittlere Fläche 1000 m ²	Anzahl	mittlere Fläche 1000 m ²
<i>Für die Bewegung verantwortliche lithostratigraphische Einheit</i>								
Karpatium	4	23,5	7	17,04	5	14,5	16	17,86*
Badenium; Sandschaler-Zone	7	357,34					7	357,4
Badenium, Sarmatium, Grenzbereiche	13	56,9	10	40,51	16	61,2	39	54,46*
Pannonium			3	47,23	172	28,86	175	29,17*
Summe	24		20		193		237	

Tab. 1: Anzahl der kartierten Kriechbewegungen für jede lithostratigraphische Einheit gegliedert nach Teiluntersuchungsgebieten und für das gesamte Burgenland sowie mittlere Fläche der Bewegungen innerhalb einer lithostratigraphische Einheit, aus LEOPOLD (2012).

* Bezogen auf die Summe der Einzelflächen

Aus Tabelle 1 lässt sich weiterführend ableiten, dass im Eisenstädter Becken wenige aber großflächige Bewegungen mit bis zu 1 km² Ausdehnung und 10 Mil. m³ bewegtem Volumen dominieren, die vor allem an die extrem feinkörnigen Sedimente der Sandschaler-Zone des mittleren Badeniums gebunden sind. Im Vergleich dazu ist das Steirische Becken durch sehr häufige, kleinräumige Bewegungen geprägt, deren Ausbildung wesentlich durch die Wechsellagerung von grob- und feinkörnigen Sedimenten des mittleren Pannoniums beeinflusst ist. Die hohe Anzahl der Bewegungen im Steirischen Becken wird durch eine höhere Niederschlagsintensität und ein steileres Gelände im Vergleich zu den übrigen Beckenlandschaften begünstigt (LEOPOLD, 2012).

Statistische Analysen zur Gefährdungsberechnung (Gefährdungs- oder Anfälligkeitsberechnung) basieren auf der Annahme, dass das Auftreten von zukünftigen Massenbewegungen von gleichen oder ähnlichen Auslösefaktoren beeinflusst wird, wie bereits aufgetretene Massenbewegungen. Um herauszufinden, wo es potenziell zu Massenbewegungen kommen kann, werden solche raumbezogenen Daten verwendet von welchen bekannt ist, dass sie Einfluss auf die Auslösung von Massenbewegungen haben. Für die statistische Gefährdungsmodellierung im Burgenland wurde und wird die Weights of Evidence (WofE) Methode angewendet. WofE ist ein statistisches Konzept, das auf dem Ansatz von Bayes beruht und auf der Kombination mehrerer raumbezogenen Daten (Prädiktor-Variablen) basiert (BONHAM-CARTER, 1994). Die Methode wurde bereits mehrfach erfolgreich für Gefährdungsberechnungen von Massenbewegungen und im besonderen Rutschungen eingesetzt, u.a. von

NEUHÄUSER & TERHORST, 2006 und KLINGSEISEN & LEOPOLD, 2006. Als Endergebnis liefert die WofE Methode eine Karte mit Eintrittswahrscheinlichkeiten zukünftiger Ereignisse (in gegenständlichen Fall dem Auftreten von Hangrutschungen) aufgrund bekannter Ereignisse und deren Einflussfaktoren (BONHAM-CARTER, 1994). Zur Modellierung wurde in den ersten Jahren der ArcSDM (Spatial Data Modeller) benutzt. Dabei handelt es sich um eine frei zugängliche Erweiterung von ArcGIS, welche von der University of Capinas (Sao Paulo, Brasilien) entwickelt wurde. Aufgrund von Einschränkungen die sich mit dieser Software ergeben, hat AIT in einer Kooperation mit der University of Waterloo (Kanada), Department Geography and Environmental Management eine eigene Software zur WofE-Modellierung neu entwickelt. Diese Software basiert auf dem Statistikprogramm „R“ und ist GIS-kompatibel, sie wird seit dem Jahr 2012 angewendet. Für die Modellierungen im Burgenland wurden folgende Prädiktor-Variablen eingesetzt:

- Kartierte Massenbewegungen (meist Kriechbewegungen)
- Geologie / Lithologie
- Landbedeckung (Corine Landcover oder eigens erzeugte Datensätze aus Satellitendaten)
- Aus dem DGM abgeleitet Parameter wie Hangneigung, Hangausrichtung, Rauigkeit, etc.

Die finale Klassifizierung der berechneten, flächenhaften Eintrittswahrscheinlichkeit zu Gefahrenzonen einer Gefahren-Hinweiskarte erfolgte durch Expertenwissen auf Basis der umfangreichen Geländearbeiten. Zumeist wurden 4 Gefahrenzonen abgegrenzt, die Bezeichnungen werden aber zurzeit überarbeitet. Abbildung 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer Gefahren-Hinweiskarte im burgenländischen Anteil des Steirischen Beckens. Für die Stabsstelle Raumordnung der Burgenländischen Landesregierung hat AIT auch weiterführend Empfehlungen für die Flächenwidmung in Form einer Empfehlungsmatrix erstellt. Dabei werden mögliche Widmungsfälle und die Gefahrenzonen verknüpft und es werden Empfehlungen zu Vorgehensweisen vor der Flächenwidmung abgegeben.

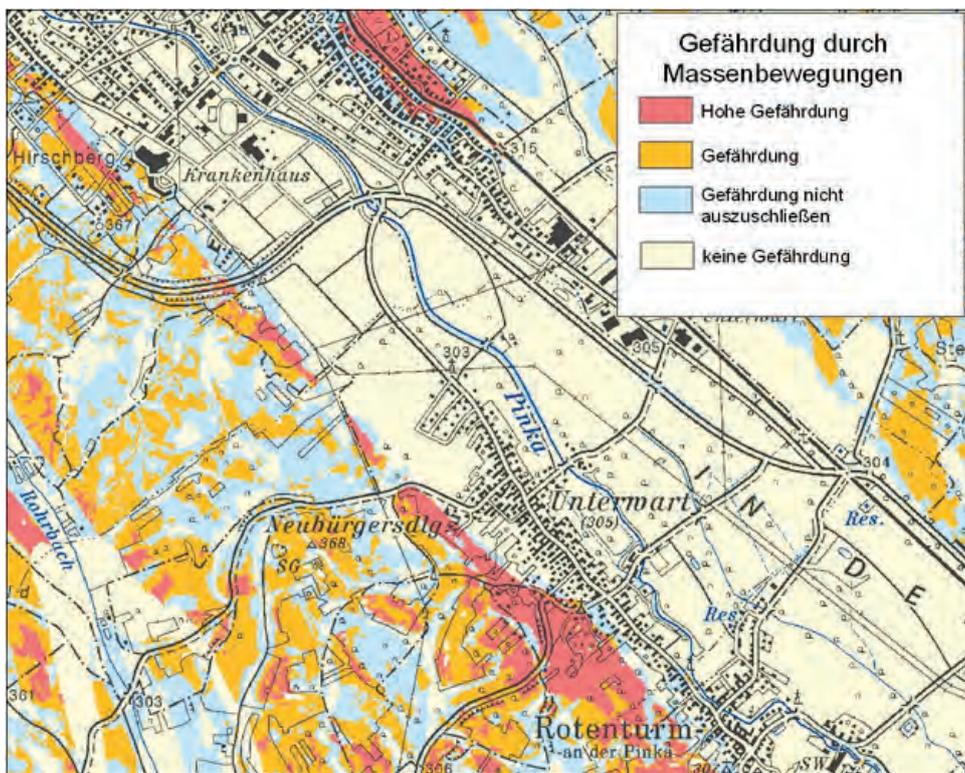


Abb. 1: Ausschnitt aus der Gefahren-Hinweiskarte im burgenländischen Anteil des Steirischen Beckens

Gemäß § 14 Abs. 1 Bgld. Raumplanungsgesetz sind als Bauland nur solche Flächen vorzusehen, die sich auf Grund natürlicher Voraussetzungen für die Bebauung eignen. Gebiete, die sich wegen der Bodenverhältnisse für die Bebauung nicht eignen, dürfen nicht als Bauland gewidmet werden. Die Gefahren-Hinweiskarten werden in der Vollzugspraxis des raumordnungsrechtlichen Genehmigungsverfahrens seit mehreren Jahren angewendet. Dabei werden die jeweiligen Umwidmungsfälle im Zuge des aufsichtsrechtlichen Verfahrens von der Landesgeologie des Amtes der Burgenländischen Landesregierung den entsprechenden Gefahrenzonen zugeordnet. Besondere Brisanz erlangt naturgemäß die Einstufung „Hohe Gefährdung“, ist diesfalls doch - nach der angewendeten Nomenklatur - vor der Umwidmung ein Gutachten zum Nachweis vorzulegen, dass die Fläche aufgrund der vorherrschenden Bodenverhältnisse für die Bebauung geeignet ist.

Aus der mittlerweile mehrjährigen Verwaltungspraxis sollen zwei Beispiele der Vorgehensweise bei Vorliegen der Einstufung „Hohe Gefährdung“ und deren Folgen bei Routinesachverhalten kurz dargestellt werden: Im ersten Fall wurde die Errichtung eines Wildunterstandes in einer derartigen Zone durch die Forderung eines entsprechenden Gutachtens verhindert. Im zweiten Fall lag ein großer Teil einer Siedlung in einer Zone mit der Einstufung „Hohe Gefährdung“. Es sollte ein kleines Stück verbliebenes Grünland zwecks Errichtung eines Car-Ports in Bauland umgewidmet werden. Hier wurde von der Forderung eines Gutachtens abgesehen und die Widmungsänderung genehmigt. Allerdings wurde die Gemeinde als Baubehörde von der Gefährdungslage informiert und zu entsprechenden Maßnahmen aufgefordert.

Literatur

- BONHAM-CARTER, G. (1994): Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS (Vol. 13). Pergamon press, Onatrio.
- HIGHLAND, L.M. & BOBROWSKY, P. (2008): The Landslide Handbook - A Guide to Understanding Landslides. U.S. Geological Survey Circular, 1325, 129 p., Reston, Virginia.
- HUTCHINSON, J.N. (1968): Mass Movement. In: FAIRBRIDGE, R.W. (Ed.): Encyclopedia of Geomorphology, p. 688-695, Reinhold, New York.
- KLINGSEISEN, B. & LEOPOLD, PH. (2006): Landslide Hazard Mapping in Austria. GIM International, 20(12), p. 41-43, Reed Business Geo, Lemmer.
- LATELTIN, O. (1997): Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Raumplanung, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bundesamt für Umwelt, Wald und LANDSCHAFT; 42 p., Bern.
- LEOPOLD, PH. (2012): Kriechbewegungen in den neogenen Beckensedimenten des Burgenlandes: Verbreitung, Vergleich natürlicher Einflussfaktoren, Bewegungsmechanismen und Auslöser. Diss. d. Fakultät f. Geowissenschaften, Geographie und Astronomie, 196 p., Wien.
- NEUHÄUSER, B. & TERHORST, B. (2006): Landslide susceptibility assessment using weights of evidence applied on a study site at the Jurassic escarpement of the Swabian Alb (SW Germany). Geomorphology. 86: p. 12- 24.
- SCHULZ, W.H. (2004): Landslides mapped using LIDAR imagery, Seattle, Washington. US Geological Survey Open-File Report 2004-1396, 11 p., U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Washington D.C.
- VARNES, D.J. (1958): Landslide Types and Processes. In: ECKEL, E.D. (Hrsg.): Landslides and Engineering Practice. Highway Research Board Special Report, 29, p. 20-47, National Research Council, Washington D.C..
- VARNES, D.J. (1978): Slope movement Types and Processes. In: SCHUSTER, R.L. & KRIZEK, R.J. (Hrsg.): Landslides - Analysis and Control. Transportation Research Board Report, 176, p. 11-33, National Research Council, Washington D.C.

Beispiele aus Österreich: Kärnten

Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten für Steinschläge und Rutschungen als Werkzeug für nachhaltige Raumplanung in Kärnten

Richard BÄK

Einleitung

Naturgefahren wie Überschwemmungen, Lawinen, Steinschläge und Rutschungen verursachen in alpinen Regionen regelmäßig große Schäden (Abb.1). Im Schadensfall sind Experten hinsichtlich verbleibendem Gefahrenpotenzial und Empfehlungen zu Sofortmaßnahmen abzugeben. Das Wissen um die Anfälligkeit alpiner Hänge für Steinschlag und Rutschungen erfordert eine flächenmäßige Darstellung gefährdungsrelevanter Bereiche, damit die zukünftige Raumnutzung auf dieses Gefahrenpotenzial Bedacht nehmen kann und damit bei Bestehen von sensibler Infrastruktur in solchen Bereichen die Prioritäten bzgl. weiterführender Maßnahmen festlegen zu können.

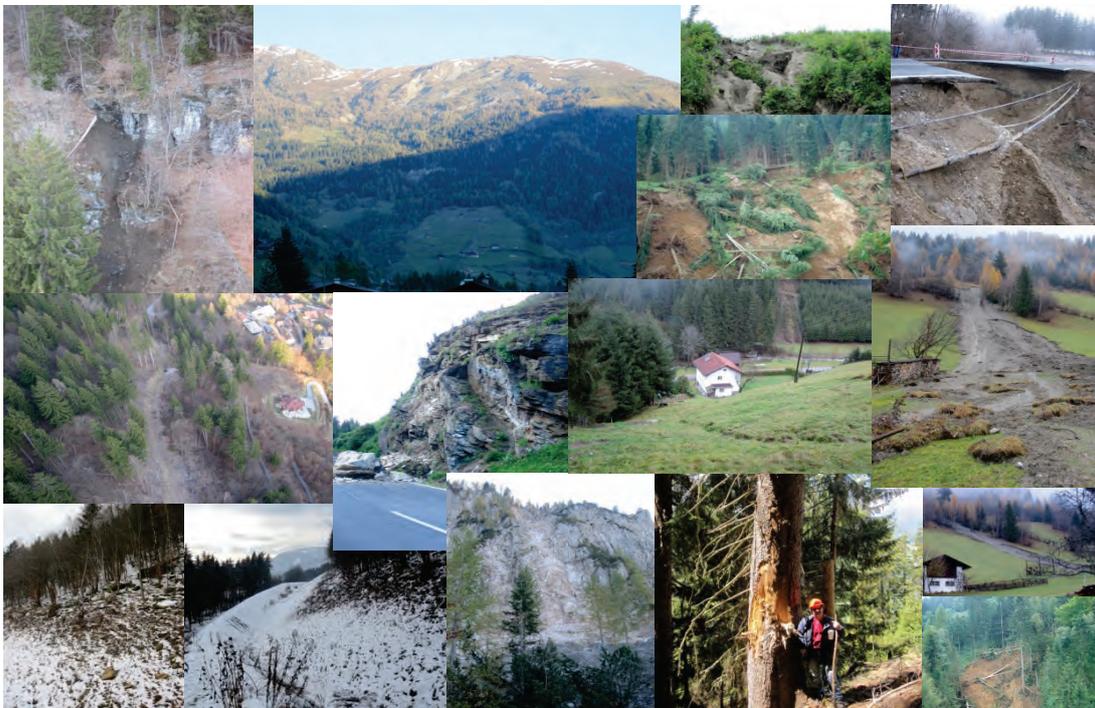


Abb.1: Beispiele von Schadensereignissen – Gründe für die Erstellung von GHK

Im Schadensfall benötigt der von der Einsatzleitung beigezogene Fachmann für die Beurteilung des Gefahrenpotenziales (Festlegung von Sofortmaßnahmen zur Vermeidung von Folgeschäden) ingenieurgeologische Informationen über Altereignisse, Hinweise über alte Massenbewegungsstrukturen und lithologische Eigenschaften. Nach den Bestimmungen des Kärntner Raumordnungsgesetzes, Gemeindeplanungsgesetzes und der Bauvorschriften darf eine Baulandausweisung nur erfolgen, wenn keine Gefährdung durch Naturgefahren (Hochwasser, Muren, Steinschläge) bzw. nur eine Gefährdung vorliegt, die mit einem dem Vorhanden angemessenen technisch – wirtschaftlichen Aufwand beherrschbar ist.

Die Republik Österreich hat als Mitglied der Alpenkonvention u.a. das Protokoll Bodenschutz ratifiziert, in dem sich die Mitgliedsstaaten zur Kartierung der gefahrenrelevanten Gebiete verpflichtet haben. Gefahrenhinweiskarten (Karten im regionalen Maßstab) und Gefahrenkarten (Karten im lokalen Maßstab) stellen Werkzeuge für eine qualifizierte Bewertung des Gefahrenpotenziales und Anpassung der Raumnutzung an das angezeigte Gefahrenpo-

tenzial dar. Demnach ist aus sachlichen und rechtlichen Gründen die Erstellung von Gefahrenhinweis- und Gefahrenkarten notwendig.

Da die Gefahrenausweisung zumeist mit Nutzungseinschränkung verbunden ist, müssen die Ergebniskarten zudem objektiv vergleichbar sein. Die Erstellung der Karten muss durch Einhaltung von Mindestanforderungen für Grundbesitzer und Entscheidungsträger transparent und nachvollziehbar sein.

Gefahrenhinweiskarten im regionalen Maßstab bilden zudem die Basis für eine Prioritätsreihung für detailliertere Untersuchungen zur Gefahrenbewertung und Maßnahmenplanung.

Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten

Gefahrenzonenpläne für Hochwasser und Lawinen sind in Österreich Stand der Technik. Die Gefährdungsbereiche werden auf Basis von Wiederkehrperioden und Intensität ausgewiesen. Während beim Hochwasser auf Basis von Messreihen Wiederholbarkeit und Bemessungsereignisse festgelegt werden können, stehen bei Steinschläge und Rutschungen kaum Messreihen (lange Wiederkehrperioden, unterschiedliche Intensitäten) zur Verfügung, so dass für die Klassifizierung des Gefahrenpotenziales ein anderer Weg beschritten werden muss.

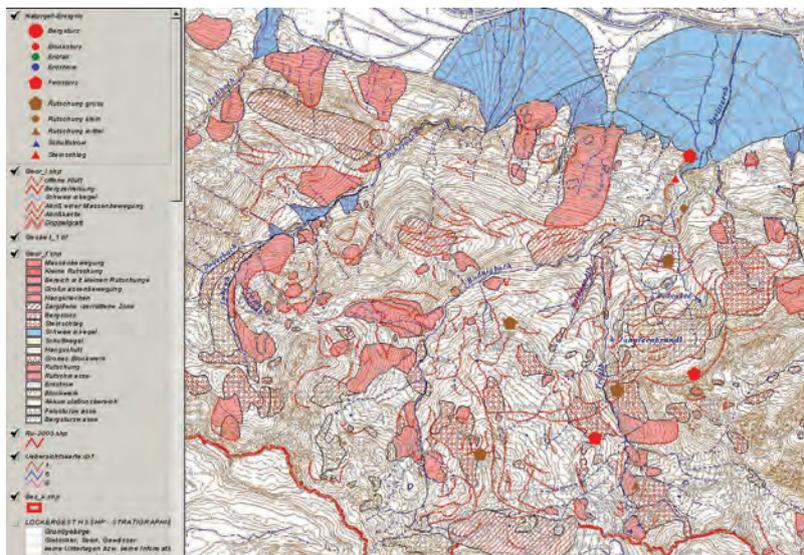


Abb. 2: Überlagerung von Ereigniskataster und Karte der Phänomene im Arc GIS

Wegen fehlender Regeln wurden in mehreren Schritten Werkzeuge entwickelt, die den Fachmann bei der Gefahrenbeurteilung unterstützen: Zwischen 2003 und 2006 wurde vorhandenes Datenmaterial gesichtet und im Kärntner Geographisches Informationssystem (KAGIS digital) zur Verfügung gestellt (Ereigniskataster und Karte der Phänomene, Abb.2), 2007 bis 2009 wurden zwei Modellgebiete ingenieurgeologisch kartiert und die Erstellung von Hinweiskarten versucht. Die Kooperation mit Friaul und Veneto (2008 – 2013) führte zur Definition der Mindestanforderungen zur Erstellung von GHK. Aufbauend auf diesen Leitfaden wurde begonnen, regionale GHK zu erstellen.

Digitaler Ereigniskataster und Karte der Phänomene im KAGIS

Im Rahmen des interdisziplinären Projektes „Naturgefahren Kärnten“ – eine Kooperation von Landes- und Bundesdienststellen (Wasserwirtschaft, Forstwirtschaft, Raumplanung, Landesgeologie, Wildbach- u. Lawinenverbauung) – wurde ein digitaler Ereigniskataster (EK) erstellt, in dem die vom geologischen Landesdienst in den letzten 50 Jahren dokumentierten Schadensereignisse nach den 5 W-Fragen (was, wann, wo, warum ereignet und von wem

dokumentiert) georeferenziert erfasst wurden. Die in den geologischen Karten enthaltenen Hinweise auf Massenbewegungen wurden in einer Karte der Phänomene dargestellt und im Kärntner geographischen Informationssystem (KAGIS) den öffentlichen Dienststellen zur Verfügung gestellt. Mit der Erstellung des digitalen Ereigniskatasters und der Karte der Phänomene war die Geologischen Bundesanstalt, Abt. Ingenieurgeologie beauftragt.

Es wurden im EK die im geologischen Landesarchiv dokumentierten Ereignisse erfasst (Abb. 3); diese Ereignisse betrafen vor allem den Dauersiedlungsraum. Für die Bereiche außerhalb dieses Gebietes fehlen entsprechende Dokumente. Schadenseinwirkungen auf den Dauersiedlungsraum haben ihre Ursache auch in Massenbewegungen außerhalb des Dauersiedlungsbereiches. Diese Massenbewegungen sind für eine nachhaltige Sicht (Festlegung von Schutzwald, Festlegung von Wildbachverbauungen) zu erfassen. Meist sind Waldgebiete betroffen. Die Kenntnis ist wesentlich, um das Schutzwaldkonzept auf die Erfordernisse abstellen zu können. Die Wildbacheinzugsgebiete liegen ebenfalls meist außerhalb des Dauersiedlungsraumes. Die Kenntnis von Massenbewegungen ist im Hinblick auf das Geschiebepotential mit Wirkung auf den Dauersiedlungsraum wesentlich.

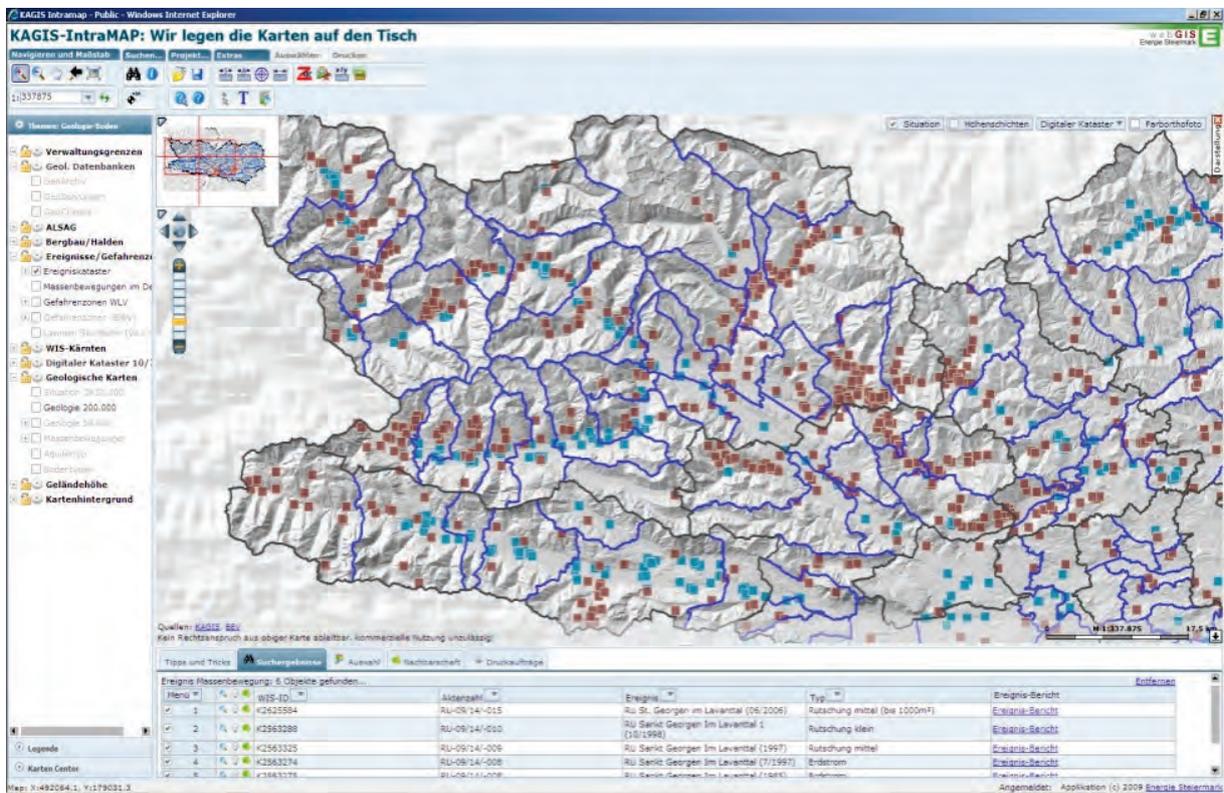


Abb. 3: Darstellung der georeferenzierten Schadensfälle in KAGIS IntraMap (braun – Rutschungen, Steinschläge; blau – Hochwasser)

Da die dokumentierten Ereignisse nur den Dauersiedlungsraum betreffen, nur „gemeldete“ Ereignisse erfasst wurden und in den im Maßstab 1 : 50000 vorliegenden geologischen Karten viele ingenieurgeologisch relevanten Fakten nicht dargestellt sind, weisen diese Bausteine Informationslücken auf, so dass diese Werkzeuge nur eine eingeschränkte Aussagekraft besitzen. Die Verschneidung der Karte der Phänomene und des Ereigniskatasters ergibt aber eine „Hinweiskarte“, die die gutachtliche Beurteilung der Gefährdung durch Massenbewegungen erleichtert und die Qualität der gutachtlichen Beurteilung verbessert.

Definition von Mindestanforderungen für Gefahrenhinweiskarten (GHK)

In der Folge wurden Modellgebiete systematisch untersucht, um die Mindestanforderungen betr. Erhebung, Darstellung in GHK und Bewertung des Gefahrenpotenziales definieren zu können. Im Rahmen des INTERREG IV A -Projektes „Mindeststandard zur Erstellung von Gefahrenkarten zu Rutschungen und Steinschlägen als Werkzeug für vorbeugende Katastrophenvermeidung“ (Acronym Massmove) wurden in einer Kooperation der Regionen Kärnten, Friaul-Julisch Venetien und Veneto Mindestanforderungen für die Erstellung von Suszeptibilitäts(Anfälligkeits)karten im regionalen Maßstab und Gefahrenkarten im lokalen Maßstab sowie Maßnahmenplanung in einem Leitfaden festgelegt.

Datenerhebung	Reg. Maßstab	Input		Output
Daten	Direkte Information	Sammlung u. Analyse	Erforderliche Genauigkeit	Karten
DTM-AL	Topographie	Hangneigung Neigungsrichtung Profile	GRID ≤30m	Neigungskarten Richtungskarten
Geologische Karten		Lithologie		Geol. Karten Lith. Karten
Daten zu Rutschungen u. Steinschlägen		Historische Ereignisse		Ereigniskarte Suszeptibilitätsk. GHK
Topograph. Karten, Orthophoto		Landnutzung Vegetation Strukturen Verifikation		
Landnutzung				Landnutzungskarte

Abb. 4: Mindestanforderungen für regionale GHK (Grundlagedaten, abgeleitete Eingangsdaten und Ergebniskarten)

Es wurden in den genannten Regionen insgesamt 12 Projektgebiete untersucht, in denen Rutschungen und Steinschlagsereignisse dokumentiert sind. Die Untersuchungen in diesen Gebieten umfassten eine Evaluierung der Archivdaten vergangener Ereignisse, eine ingenieurgeologische Kartierung mit besonderem Augenmerk auf Massenbewegungen, Fernerkundungen (Laserscan und Luftbilder) sowie Simulationen mit verschiedenen Software-Programmen. Zu den Basisdaten zählten unter anderem digitale Geländemodelle, die für morphologische Analysen herangezogen wurden, luftgestützte und terrestrische Laserscan-Daten, digitale Orthophotos, digitale Straßennetzdaten zur Entfernung von anthropogenen

Lineamenten, digitale Katasterpläne, Informationen zur Landnutzung, geologische und topographische Karten sowie Informationen über Massenbewegungen aus

geologischen Karten (Prozesshinweiskarten). Daten über dokumentierte Massenbewegungen wurden aus unterschiedlichen Archiven erhoben und dokumentiert, um eine für die Bewertung der Massenbewegungsanfälligkeit notwendige, detaillierte Beschreibung (Topographie, Struktur, Lithologie und Hinweise auf alte Ereignisse/Prozesse) zu erhalten (Abb. 4).

Während die italienischen Kollegen sich auf die Entwicklung von Gefahrenkarten im lokalen Maßstab konzentrierten, wurden in Kärnten Untersuchungen im regionalen Maßstab vorgenommen.

GHK als Werkzeug für nachhaltige Raumplanung und –nutzung

Aufbauend auf den im Projekt Massmove entwickelten Leitfaden wurden für einige Gemeinden in Kärnten Gefahrenhinweis- bzw. Suszeptibilitäts(Anfälligkeits)karten im regionalen Maßstab erstellt (Auftragnehmer Joanneum Research GmbH., Institut für Wasser, Energie und Nachhaltigkeit) bzw. wird derzeit an einer methodischen Verbesserung gearbeitet.

Die Verschneidung der Gefahrenhinweiskarten mit dem bestehenden Schutzgutkatalog von Kärnten ergibt die gefährdungsrelevanten Gebiete. Diese Gebiete werden im „Gemeindesteckbrief“ (Abb. 5) eingearbeitet, der den Gemeinden für die Festlegung ihrer Prioritäten zur Verfügung gestellt wird.

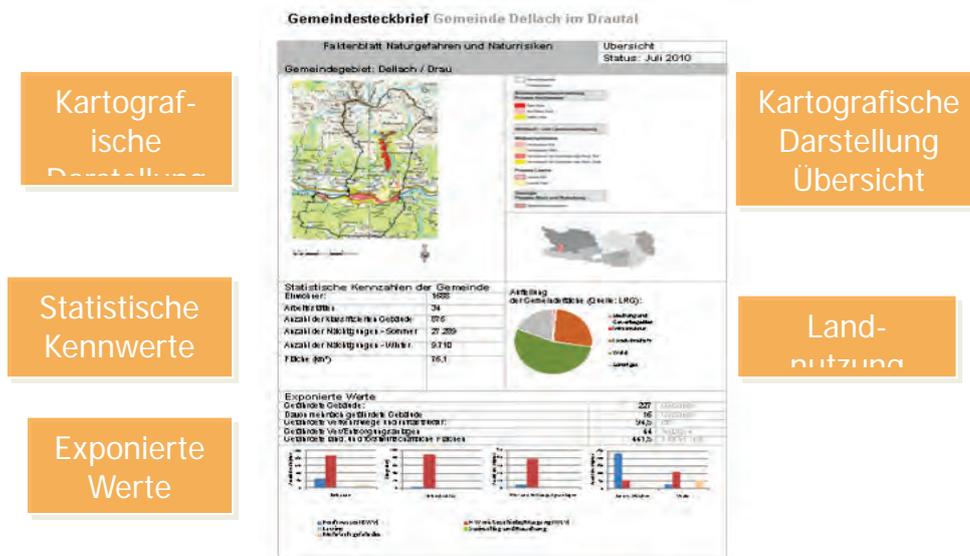


Abb. 5: Gemeindesteckbrief: Lagemäßige Darstellung der gefährdungsrelevanten Bereiche (Hochwasser, Lawinen, Steinschläge, Rutschungen) mit Auswertung der gefährdeten Werte

Die Gefahrenhinweiskarten, bestehend aus Dispositionskarte (Anbruchgebiete) und kartenmäßige Darstellung des Wirkungsraumes, ergeben den Hinweis für die weitere Vorgangsweise: Die Inventarkarten (digitales Höhenmodell, Ereigniskataster, Ereigniskarte, Luftbilder) ermöglichen dem Fachmann eine qualifizierte Vorbegutachtung, während dem Entscheidungsträger über die zu erstellende „Ampelkarte“ die gefahrenrelevanten Gebiete des Gemeindegebietes angezeigt werden, in denen bei Bestand weiterführende Untersuchungen angebracht und für neue Vorhaben durch den Bauwerber geotechnische Gutachten einzuholen sind. Die GHK beinhalten keine Informationen über Eintrittswahrscheinlichkeit und zu erwartender Ereignisintensität, so dass für die Festlegung von erforderlichen Maßnahmen weiterführende Untersuchungen notwendig sind.

Schlußfolgerung und Ausblick

Die Erstellung von Gefahren- und Risikokarten betreffend Rutschungen und Steinschläge für größere zusammenhängende Gebiete (regionaler Maßstab) war bis jetzt noch nicht zufriedenstellend gelöst und stellte eine Herausforderung für die Gesellschaft dar. Auf Grund der Größe der zu bearbeitenden Gebiete sind daher vorerst auf der Basis bestehender Unterlagen Gefahrenhinweiskarten zu erstellen, die den Fachmann und die Entscheidungsträger bei ihrer Entscheidungsfindung wesentlich unterstützen können.

Ziel ist es, gemeinsam mit dem forsttechnischen Dienst der WLW, Forstwesen des Landes und Raumplanung für ganz Kärnten eine Gefahrenhinweiskarte zu entwickeln, die die Basis für eine gutachtliche Gefahrenbewertung bildet und eine Priorisierung des weiteren Handlungsbedarfes ermöglicht.

Ein im Arc GIS entwickelter Modellansatz erlaubt eine halbautomatische, nachvollziehbare und kostensparende Verarbeitung der vorliegenden Datengrundlagen für die Darstellung gefährdungsrelevanter Bereiche im regionalen Maßstab. Für Steinschläge können mit dem Modellansatz Gefahrenhinweiskarten (Abb. 6) erarbeitet werden, für Rutschungen ist die Darstellung von Anbruchgebieten auf Arc GIS Basis bereits möglich. Mit Herbst 2014 wird auch ein Modellansatz für die Darstellung des Wirkungsraumes seichter Rutschungen zur Verfügung stehen, so dass auch die GHK für Rutschungen für den Gemeindesteckbrief erstellt werden kann. Mit Hilfe dieser Applikationen sollen schrittweise die GHK für die Gemeinden erstellt werden, wobei die betrachteten Bereiche nach geologisch-morphologischen Kriterien ausgewählt werden sollen.

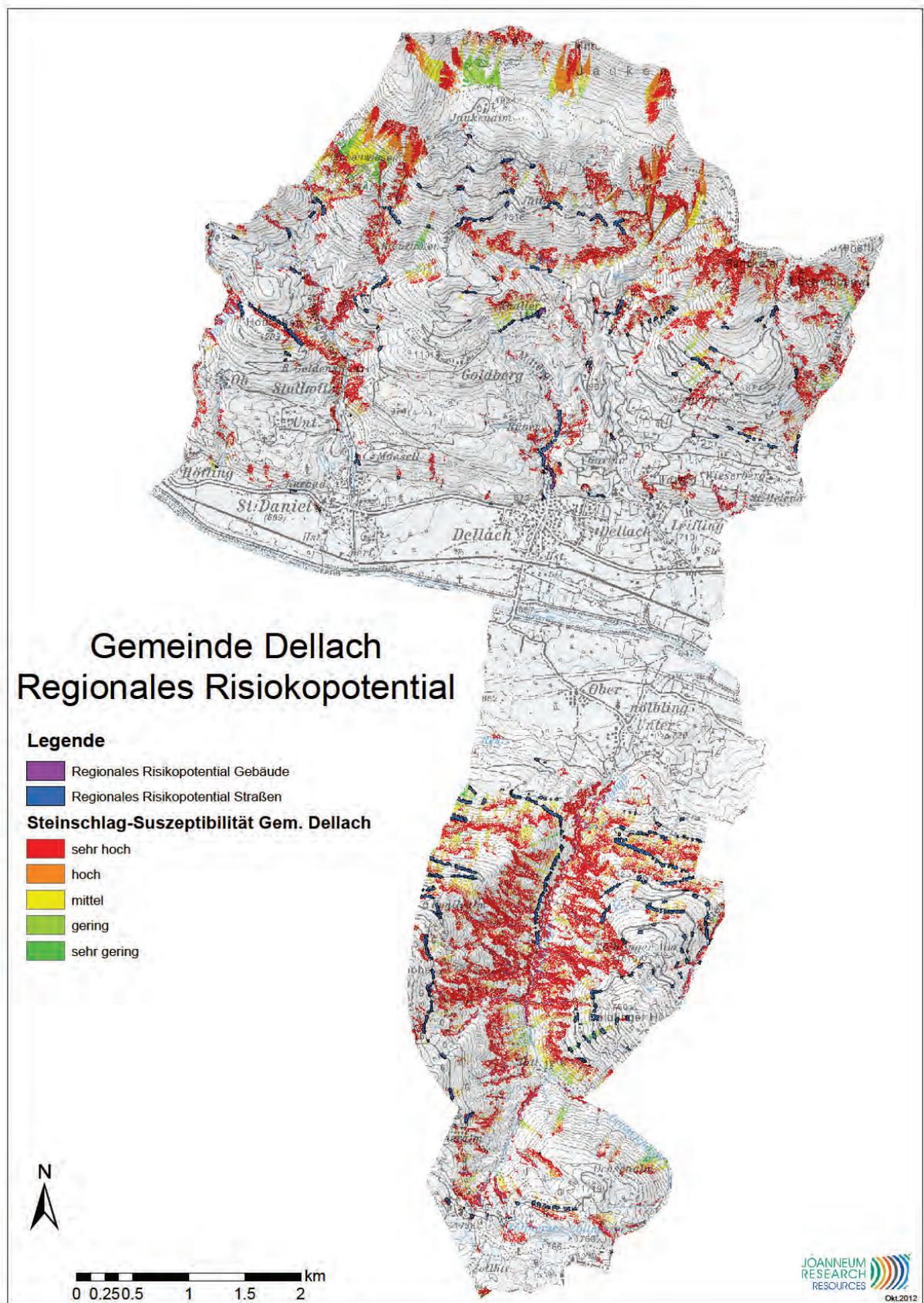


Abb. 6: GHK für Steinschlag im Gemeindegebiet Dellach mit Darstellung der möglicherweise gefährdeten Infrastrukturen (Straße, Gebäude)

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 Baugrunderkennungskataster (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).

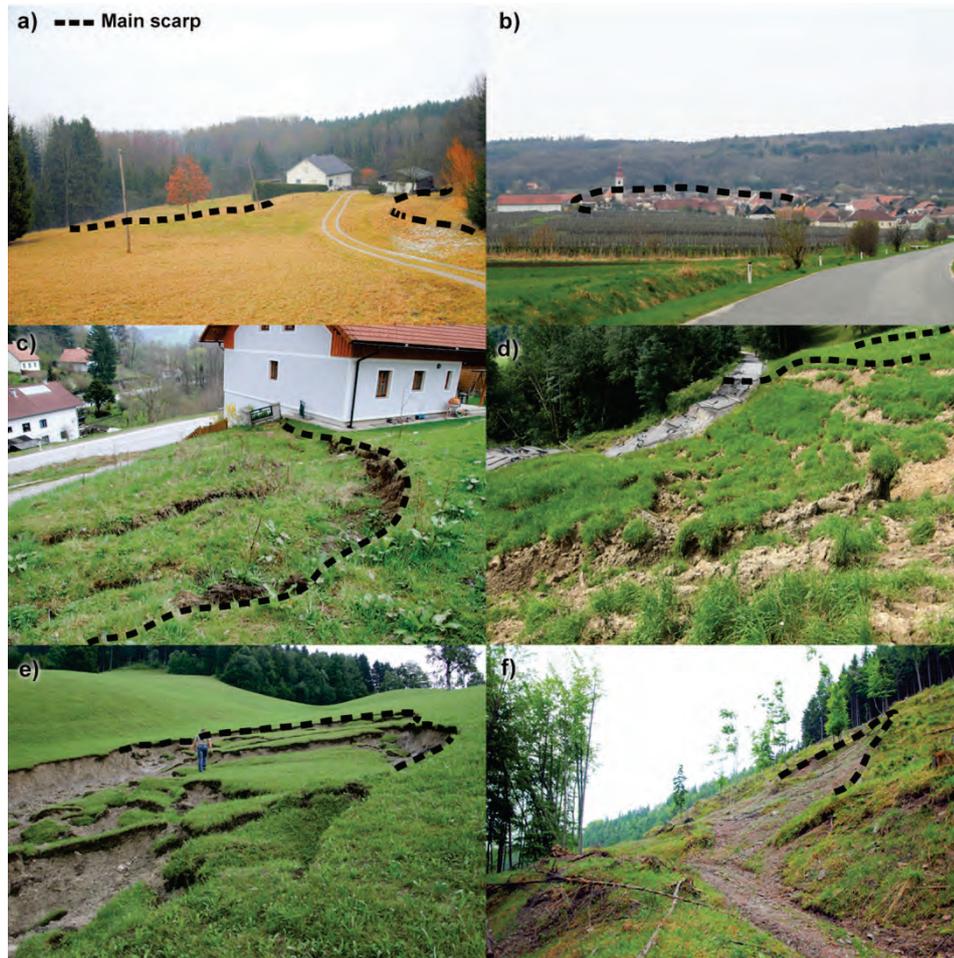


Abb. 1: Beispiele für Rutschprozesse in (a) der Molasse Zone bei Strengberg, (b) im Zellerndorfer Schlier bei Waitzendorf, (c) in der Flyschzone bei Brand, (d) in der Flyschzone bei Stössing, (e) in den nördlichen Kalkalpen mit Kalken und Mergeln bei Dippelreith, (f) in den nördlichen Kalkalpen mit Dolomiten 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.

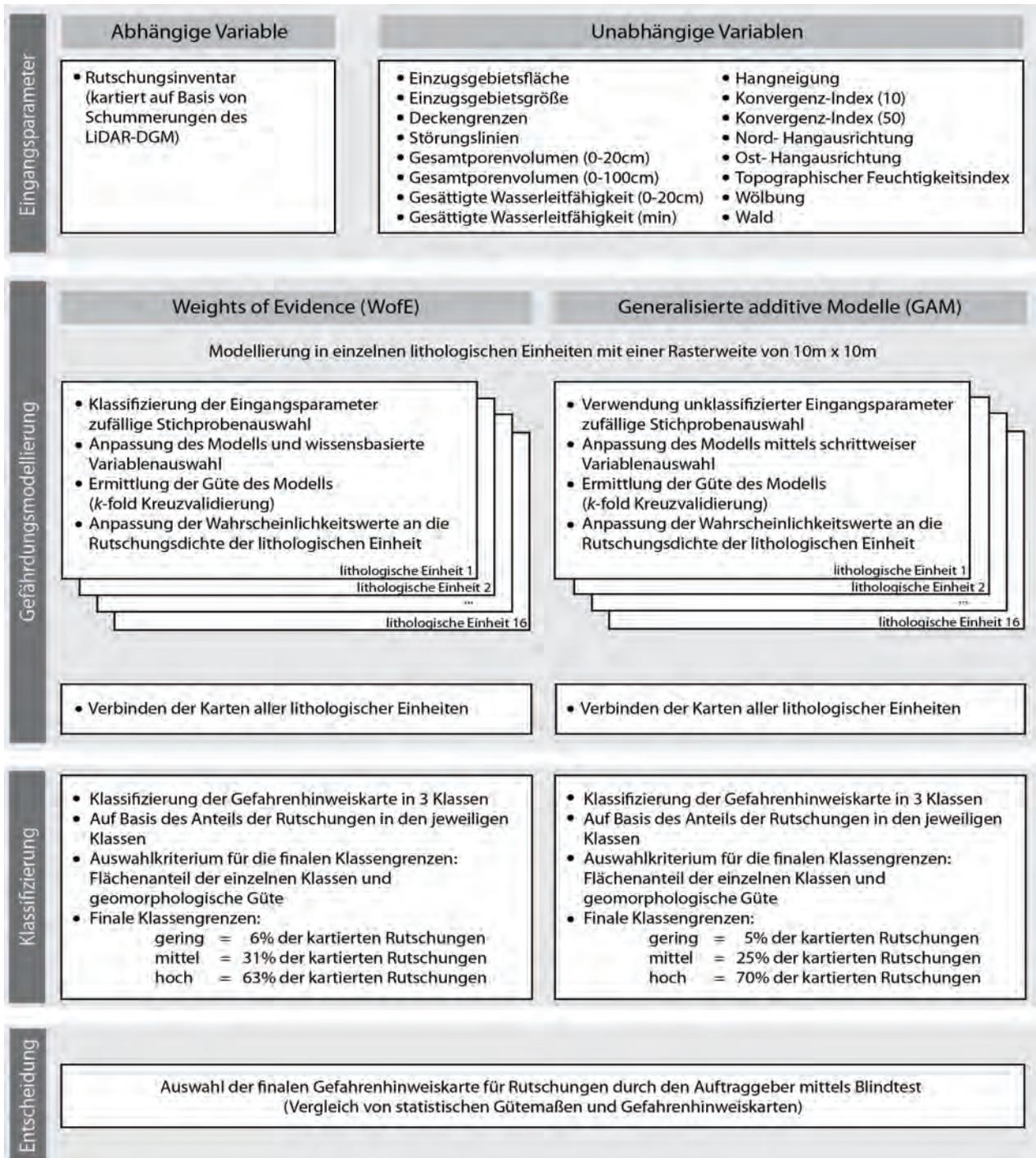


Abb. 2: Übersicht über Ablauf der Analysen und Erstellung von Gefahrenhinweiskarten mittels Weights of Evidence (WofE) und generalisierten additiven Modellen (GAM) im Projekt MoNOE (verändert nach BELL et al., 2013)

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.

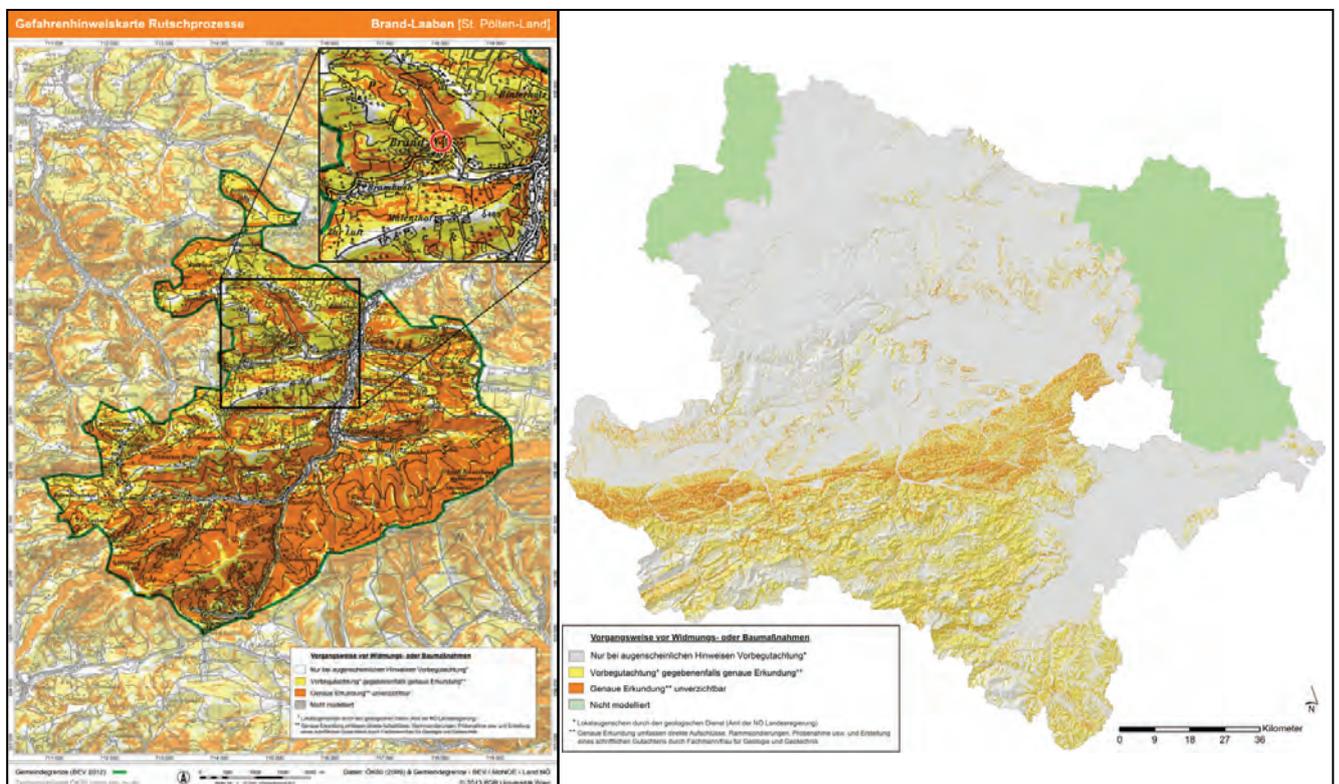


Abb. 3: Links: Beispiel der finalen Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse für die Gemeinde Brand-Laaben im Bezirk St. Pölten Land. Der rote Kreis markiert eine Rutschung aus dem Jahr 2010 (GLADE et al., 2013). Rechts: Gefahrenhinweiskarte für Rutschprozesse in Niederösterreich (Bearbeitungsstand März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

MoNOE – Modellierung der Sturzprozesse Herwig PROSKE & Christian BAUER

1. Einleitung

Steinschlag- und Felssturzereignisse stellen aufgrund ihrer hohen zerstörerischen Energie und meist kurzen Vorwarnzeit eine große Gefahr für Menschenleben und Sachwerte dar (siehe z.B. GUZZETTI, 2000, CROSTA & AGLIARDI, 2003). Eine der Vorgaben des Projekts MoNOE war es, durch Modellierung von Sturzprozessen auf der regionalen Ebene (Zielmaßstab 1:25.000) eine Planungsgrundlage für die Raumplanung zu schaffen und kritische Bereiche für Detailuntersuchungen auf der lokalen Ebene zu identifizieren. Dadurch werden große Anforderungen an die Modellierung gestellt, um den Bearbeitungsaufwand trotz des Ausmaßes der zu bearbeitenden Fläche (ca. 15.800 km²) in einem finanzierbaren Rahmen zu halten.

Für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten für Sturzereignisse müssen sowohl die Disposition für die Auslösung des Prozesses (Abbruchgebiete) als auch die Reichweiten (Sturzbahnen und Ablagerungsgebiete) modelliert werden. Ein entsprechender zweistufiger Modellierungsansatz gewährleistet, dass die resultierenden Gefahrenhinweiskarten den gesamten Wirkungsbereich der Sturzprozesse (Ablösung, Transit, Ablagerung) darstellen.

2. Dispositionsmodellierung

Für die Disposition im Hinblick auf die Auslösung von Steinschlägen und Felsstürzen sind in erster Linie die geologische Situation, die topographischen Verhältnisse sowie die Vegetationsbedeckung ausschlaggebend (MEISL, 1998). Sturzprozesse können in allen steilhangbildenden Festgesteinen, aber auch in Lockergesteinszonen (z.B. Sturzmaterial, Hangschutt, Moränen), auftreten. Das Volumen der potenziellen Sturzmassen ist dabei stark von der Lithologie - vor allem von der Verwitterungsanfälligkeit des Gesteins - abhängig. Eine große Rolle spielt darüber hinaus das Trennflächengefüge und damit die tektonische Beanspruchung der Gesteine. Neben den geologischen gibt es auch zahlreiche topographische Faktoren, welche die Auslösung von Sturzprozessen begünstigen. In erster Linie entscheiden Hangneigung, Reliefausprägung und Oberflächenrauigkeit, ob eine abgelöste Felsmasse in Bewegung geraten kann (JOHN & SPANG, 1979). Aber auch andere Faktoren, wie etwa die Hangwölbung, wirken sich auf die Disposition aus: konvexe Bereiche sind erhöhten Zugspannungen ausgesetzt, wodurch sich die Wahrscheinlichkeit für Sturzprozesse erhöht; konkave Hangbereiche stützen sich dagegen ab.

Der im Projekt MoNOE gewählte methodische Ansatz der Dispositionsmodellierung basiert auf der empirischen Definition von Grenzneigungswinkeln – das sind jene Minimal-Winkel, ab denen es zur Ablösung von Sturzblöcken kommen kann (siehe Tab. 1). Auf dieser Grundlage erfolgt dann die Ausscheidung potenzieller Abbruchzonen durch Verschneidung mit dem hoch aufgelösten Geländemodell auf Basis von Laserscanneraufnahmen.

Geologische Einheit	GNW
Massige kristalline Gesteine der Böhmisches Masse (Pluton)	50°
Schiefrige kristalline Gesteine der Böhmisches Masse (inkl. autochthone Bedeckung)	48°
Unter- und mittelostalpine schiefelige kristalline Gesteine	47°
Quarzite und Schiefer des Zentralalpinen Permomesozoikums	44°
Oberostalpine Kalke und Dolomite und Kalke des zentralalpinen Permomesozoikums	42°

Mergelige Gesteine der Nördlichen Kalkalpen	46°
Klippen-, Flysch- und Molassezone	46°
Hangschutt & glaziale Ablagerungen	38°

Tab. 1: Grenzneigungswinkel (GNW) für die in Niederösterreich auftretenden geologischen Großeinheiten

Für die Kalibrierung und die Verifizierung der Grenzneigungswinkel war es erforderlich, für jeden der definierten lithologischen Homogenbereiche (siehe Tab. 1) möglichst „flache“ Abbruchzonen (d.h. eindeutig als Steinschlag-Herkunftsbereich fungierende Hangabschnitte mit möglichst geringen Hangneigungen) zu identifizieren und im Gelände oder auf Basis von Orthofotos und Geländemodell entsprechend zu vermessen. Spezielle topographische und tektonische Verhältnisse (das betrifft insbesondere ausgeprägte Geländekanten und Störungszonen) wurden über Korrekturwerte für diese Grenzneigungswinkel berücksichtigt. Auch für die Kalibrierung dieser Korrekturwerte sind Daten aus dem Gelände bzw. von Orthofotos wesentlich.

3. Ermittlung repräsentativer Sturzblockgrößen

Für die Erstellung von Gefahrenhinweiskarten ist die Definition der repräsentativen Größe von Einzelblöcken, die sich aus einem Abbruchgebiet lösen können (Bemessungsereignis) eine weitere wesentliche Voraussetzung. Dafür wurden unter Berücksichtigung des regional-geologischen Rahmens und der geotechnischen Gebirgsfazies der potenziellen Abbruchgebiete Blockgrößen gewählt, die eine für die jeweilige Lokalität angemessene und repräsentative Größe darstellen. Als repräsentatives Ereignis wurde dabei nicht die in den Ablageungsgebieten auf den Sturzhalden maximal zu beobachtende Blockgröße herangezogen, sondern eine Sturzblockgröße, die einer „erheblichen Wahrscheinlichkeit“ von etwa 95% entspricht. Durch die nachfolgende Klassifizierung der Blockgrößen in nur vier Klassen (siehe Tab. 2) besitzt diese Definition für Bemessungsereignisse aber schlussendlich nur mehr relativ geringe Konsequenzen für das Ergebnis der Modellierung. Die Bandbreite der ermittelten Volumina von Blöcken mit einer „erheblichen“ Abbruchwahrscheinlichkeit im Untersuchungsgebiet beträgt ungefähr 0,001 – 5,0 m³.

Volumenklasse	Volumen (cm ³)	Kantenlänge (cm)	Beispiele
I	> 125.000	> 50	Wettersteinkalk, Dachsteinkalk, Gföhler Gneis
II	8.001 – 125.000	20 – 50	Wettersteindolomit, Hauptdolomit, Reiflinger Kalk
III	1.001 – 8.000	10 - 20	Gesteine der Flyschzone
IV	< 1.000	< 10	Hangschutt, quartäre Terrassen

Tab. 2: Volumenklassen und relevante Größenmaße

4. Reichweitenmodellierung

Die Reichweite der Sturzblöcke hängt von zahlreichen Faktoren ab, welche die Eigenschaften der Sturzmasse selbst (Gesamtvolumen; Form, Größe und Materialeigenschaften der Einzelblöcke), die Oberflächenbeschaffenheit des Hanges (Rauigkeit, Plastizität der

Sturzbahn, Hindernisse in der Sturzbahn) und die topographischen Verhältnisse (Böschungshöhe, Fallhöhe, Hangneigung, vertikale Wölbung) betreffen (MEIßL, 1998).

Für die Modellierung der Reichweiten von Sturzereignissen können entweder empirische oder prozessbasierte Verfahren eingesetzt werden. Empirische Methoden basieren auf Zusammenhängen von topographischen Faktoren und der Auslaufdistanz dokumentierter Ereignisse. Diese Methoden führen erfahrungsgemäß zu pessimistischeren Aussagen, also zu größeren Gefahrenhinweisbereichen (DORREN & SEIJMONSBERGEN, 2003). Empirische Ansätze haben vor allem dann ihre Berechtigung, wenn die physikalischen Zusammenhänge nicht ausreichend bekannt sind oder wenn zu wenige Daten zu ihrer Modellierung zur Verfügung stehen - was auf Arbeiten im regionalen Maßstab fast immer zutrifft.

Prozessbasierte Simulationsmodelle beschreiben die Bewegung einzelner Sturzkomponenten nach physikalischen Grundsätzen. Alle Simulationen erfordern möglichst detaillierte Daten über die Hangeigenschaften, um die richtige Dimensionierung der vom Programm verwendeten Parameter zu erlauben. Aufgrund der Leistungsfähigkeit moderner Rechner und der flächendeckenden Verfügbarkeit detaillierter Gelände- und Oberflächenmodelle können einige dieser prozessbasierten Methoden nun auch für regionale Anwendungen eingesetzt werden.

Im Rahmen des Projekts MoNOE wurden je eine empirische und eine prozessbasierte Methode ausführlich getestet, wobei als empirische Methode die Software CONEFALL 1.0 (JABOYEDOFF, 2003) und als prozessbasierte Methode das SAGA Modul RockHazardZone (WICHMANN, 2006) ausgewählt wurden. Nach diesen Tests wurde mit der Abt. für Raumordnung und dem Geologischen Dienst des Landes Niederösterreich vereinbart, die Reichweitenmodellierung für die Gefahrenhinweiskarte ausschließlich auf Basis empirischer Methoden vorzunehmen. Die Ergebnisse der prozessorientierten Modellierung wurden als zu detailliert für den Anwender in der Praxis empfunden. Auch die bremsende Wirkung des Waldes soll in der Modellierung in dieser Phase nicht berücksichtigt werden, wodurch in den Gefahrenhinweiskarten ein „worst case“-Szenario dargestellt wird. Kurzfristige Änderungen der Waldbedeckung, etwa durch Windwurf oder Rodungen, erfordern damit auch keine Neumodellierung.

Für die empirische Reichweitenmodellierung wurde die Software CONEFALL 1.0 (JABOYEDOFF, 2003) verwendet. Das Prinzip der CONEFALL-Methode ist relativ einfach und basiert auf dem Pauschalwinkelansatz. Die Maße zur Beschreibung der Reichweite von Felsstürzen leiten sich dabei in erster Linie aus dem Verhältnis zwischen vertikalem und horizontalem Versatz des von der Massenbewegung betroffenen Materials ab. Diese zwei Strecken spannen einen Winkel auf, der zwar nicht konstant ist, für Bewegungen ähnlichen Typs aber einen eingeschränkten charakteristischen Wertebereich aufweist. Der Pauschalwinkelansatz ist in der Literatur ausführlich beschrieben (z.B. EVANS & HUNGR, 1993, MEIßL, 1998, WIECZOREK et al., 1999). Um empirische Sturzmodelle bestmöglich zu kalibrieren, werden Beobachtungen bezüglich vergangener repräsentativer Sturzprozesse (vor allem Sturzhalden und -blöcke) herangezogen.

Eine möglichst zutreffende Dispositionsmodellierung (Modellierung der potenziellen Abbruchzonen) ist eine entscheidende Voraussetzung. Die dadurch definierten Startpunkte stellen einen der beiden zentralen Eingangsdatensätze für die Reichweitenmodellierung dar. Für diese Startpunkte wird ein Rasterdatensatz generiert. Der zweite Eingangsdatensatz ist ein ebenfalls im Rasterformat vorliegendes flächendeckendes Digitales Geländemodell. Darüber hinaus müssen in der Eingabemaske der Kegelwinkel und die Blockmasse definiert werden. Der Kegelwinkel liegt generell in einem Bereich zwischen 27 und 37° (MEIßL, 1998, JABOYEDOFF, 2003). Im Projekt MoNOE wurde nach zahlreichen Tests und umfangreichen Geländeverifizierungen schließlich ein Winkel von 33° verwendet.

Das Ergebnis der Modellierung erlaubt eine erste Einschätzung der betroffenen Flächen und der Transitdichten. Darüber hinaus ermöglichen einfache mathematische Beziehungen zusätzlich die Abschätzung der erreichten Geschwindigkeiten und der freigesetzten Energien der Sturzkörper (siehe JABOYEDOFF, 2003).

Die Modellierung erfolgte getrennt für die einzelnen Volumenklassen (siehe Tab. 2). Die daraus resultierenden vier Einzelergebnisse wurden für die Darstellung in der Gefahrenhinweiskarte zusammengeführt und anschließend klassifiziert.

5. Klassifizierung

Angelehnt an das Schweizer Risikokonzept für Naturgefahren (WINKLER et al., 2009) erfolgte die Ausweisung der einzelnen Gefährdungsklassen für die Sturzprozesse auf Basis der modellierten Intensität, d.h. der Energie mit der die stürzenden Blöcke auf ein mögliches Hindernis einwirken (in kJ). In der höchsten Gefährdungsklasse sind Stürze mit hohen Intensitäten von mehr als 30 kJ zu erwarten, in der mittleren Gefährdungsklasse Stürze mit niedrigen Intensitäten von weniger als 30 kJ. In der geringsten Gefährdungsklasse sind keine Stürze zu erwarten, aber auch nicht ganz auszuschließen. Durch diese Klassifizierung in nur drei Klassen ist allerdings ein beträchtlicher Informationsverlust im Vergleich mit den ursprünglichen Modellierungsergebnissen in Kauf zu nehmen.

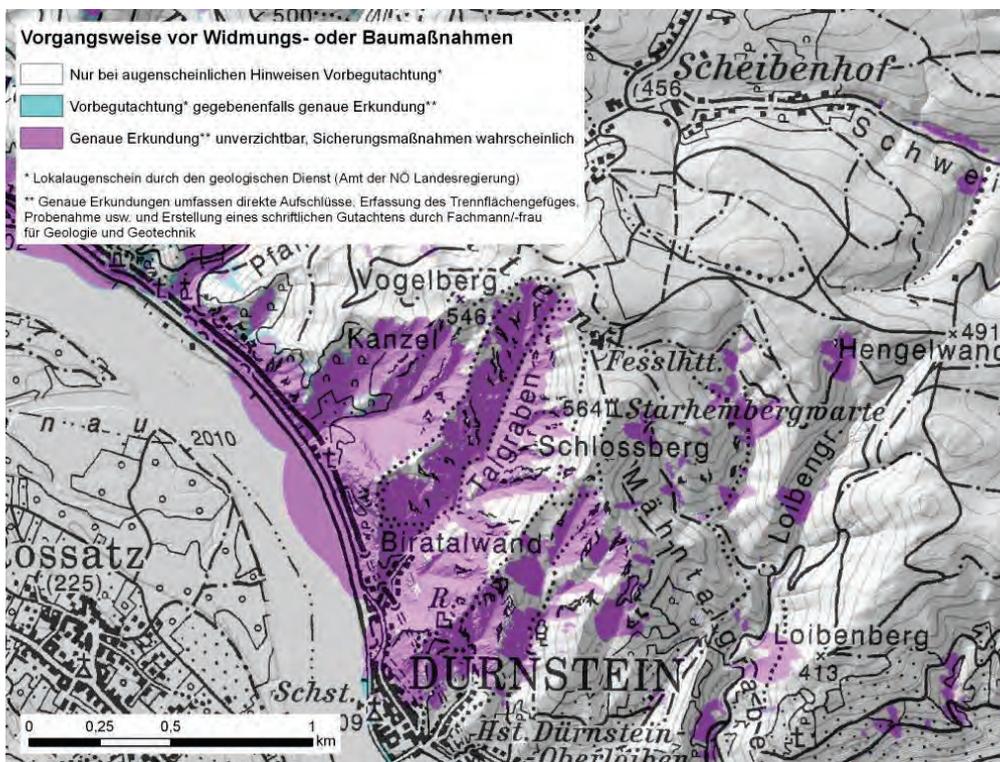


Abb. 1: Ausschnitt aus der Gefahrenhinweiskarte für Sturzereignisse im Raum Dürnstein. Neben der Bahnlinie und der Bundesstraße liegen auch Teile der Stadt Dürnstein innerhalb potenzieller Ablagerungszonen.

In der **Klasse 1 (weiß)** ist zu prüfen, ob augenscheinliche Hinweise auf Sturzprozesse vorhanden sind. Das können am Grundstück oder in der näheren Umgebung liegende Steinbrocken, eine steile Felswand im oder am Rand (hangaufwärts) des Grundstücks oder in Archiven (Baugrunderkater) dokumentierte Sturzprozesse sein. Sofern solche Hinweise nicht bestehen, kann davon ausgegangen werden, dass eine Gefährdung nicht besteht. Andernfalls ist der Geologische Dienst hinzuzuziehen, der dann über die weitere Vorgangsweise entscheidet. Diese Klasse entspricht einer geringen Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche Auftreten einer Gefährdung.

In der **Klasse 2 (blau)** wird empfohlen, sich unmittelbar an den geologischen Dienst zu wenden, der nach einem Lokalaugenschein darüber befindet, ob genauere Erkundungen erforderlich sind. Diese Klasse entspricht einer mittleren Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche Auftreten einer Gefährdung.

In der **Klasse 3 (violett)** ist die Wahrscheinlichkeit einer tatsächlichen Steinschlaggefahr so hoch, dass von der planenden Gemeinde als Grundlage für die Flächenwidmung eine Expertise eines einschlägigen Fachmanns / einer Fachfrau einzuholen ist. Nur wenn darin eine Eignung festgestellt wird, kann eine Baulandwidmung (oder auch spezielle Grünlandwidmung) erfolgen. In solcherart dargestellten Gebieten ist damit zu rechnen, dass mehr oder weniger aufwendige Sicherungsmaßnahmen erforderlich sein werden. Diese Klasse weist auf eine hohe Wahrscheinlichkeit für das tatsächliche Auftreten einer Gefährdung hin.

6. Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sturzgefährdungsmodellierung können nach Überprüfung mit dem Sturzinventar und umfangreichen Geländeverifizierungen als sehr gut eingestuft werden. Die Gefahrenhinweiskarten können demnach die Gefährdungen im Gelände sehr gut darstellen. Durch die Kombination eines Modells für die Modellierung potenzieller Abbruchzonen und eines Reichweitenmodells für die Modellierung potenzieller Transit- und Ablagerungszonen werden die gesamten Wirkungsbereiche erfasst.

Die Gefahrenhinweiskarte gibt flächendeckend Auskunft über den Grad der Gefährdung durch Sturzprozesse (Steinschlag und Felssturz). In der höchsten Gefährdungsklasse („Genaue Erkundung unverzichtbar“) befinden sich ca. 5% der Fläche aller untersuchten Gemeinden, in der mittleren Gefährdungsklasse („Vorbegutachtung, gegebenenfalls genaue Untersuchung“) ca. 1% und in der niedrigsten Klasse („Nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung“) ca. 94%. Der relativ geringe Anteil an Flächen in der mittleren Gefährdungsklasse ist auf die Wahl der Klassengrenze bei einem Energiewert von 30 kJ entsprechend dem Schweizer Risikokzept für Naturgefahren zurückzuführen. Als potenzielle Abbruchzonen wurde etwa 1% der Fläche des Untersuchungsgebiets klassifiziert. Die höchsten Gefährdungen finden sich in hoher Dichte in den wandbildenden Kalken und Dolomiten der Nördlichen Kalkalpen sowie in geringerer Dichte in den massigen kristallinen Gesteinen entlang der tief eingeschnittenen Haupttäler in der Böhmisches Masse im Waldviertel.

Es ist darauf hinzuweisen, dass aufgrund des gewählten Modellierungsverfahrens eher pessimistische Ergebnisse in die Gefahrenhinweiskarte einfließen, welche die tatsächliche Gefährdungssituation in manchen Fällen überschätzen und dass auch die schützende Wirkung der aktuellen Waldbedeckung nicht berücksichtigt wird.

Eine Einschränkung, auf die noch hinzuweisen ist, ergibt sich aus der Verwendung des Laserscanner-Geländemodells, das lokal Geländestrukturen zeigt, welche in der Natur nicht vorkommen. In diesen Gebieten ist die Modellierung der Abbruchzonen und demzufolge die Reichweitenmodellierung unter Umständen nicht ganz vollständig. Dabei handelt es sich jedoch generell um sehr kleinräumige Strukturen.

7. Literatur

CROSTA, G.B. & AGLIARDI, F. (2003): A Methodology for Physically-based Rockfall Hazard Assessment.- Natural Hazards and Earth System Sciences (4), 583 – 598.

DORREN, L.K.A. & SEIJMONSBERGEN, A.C. (2003): Comparison of three GIS-based models for predicting rockfall runout zones at a regional scale.- Geomorphology 56(1-2), 49 – 64.

EVANS, S.G. & HUNGR, O. (1993): The Assessment of Rock Fall Hazards at the base of Talus Slopes.- Canadian geotechnical Journal (30/4), 620 – 636.

GUZZETTI, F. (2000): Landslide Fatalities and the Evaluation of Landslide Risk in Italy.- Eng. Geol. (58), 89 – 107.

JABOYEDOFF, M. (2003): CONEFALL 1.0: A program to estimate propagation zones of rockfall based on cone method. Quanterra, (<http://www.quanterra.ch>)

JOHN, K.W. & SPANG, R.M. (1979): Steinschläge und Felsstürze. Voraussetzungen – Mechanismen – Sicherungen.- Vortrag UIC-Tagung, Kandersteg.

MEIBL, G. (1998): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen – Fallbeispiele zur GIS-gestützten Gefahrenbeurteilung aus dem Bayerischen und Tiroler Alpenraum.- Innsbrucker Geographische Studien (28), 249 S., Innsbruck.

WICHMANN, V. (2006): Modellierung geomorphologische Prozesse in einem alpinen Einzugsgebiet – Abgrenzung und Klassifizierung der Wirkungsräume von Sturzprozessen und Muren mit einem GIS.- Eichstätter Geographische Arbeiten, 15, Profil, München, Wien.

WIECZOREK, F.G., MORRISSEY, M.M., IOVINE, G. & GODT, J. (1999): Rockfall Potential in the Yosemite Valley, California, U.S. Geological Survey Open-File Report 99 – 578.

WINKLER, C., BURCHARD, U. & BRÜNDL, M. (2009): Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Anwendung des Risikokonzepts: Prozess Sturz.- Schweizer Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT.

MoNOE – geogene Gefahrenhinweiskarten für NÖ Umsetzung, Erfahrungen und Ausblick Joachim SCHWEIGL & Gilbert POMAROLI

Motivation

Naturräumliche Gefährdungen beschäftigen die Raumplanung in Österreich schon seit ihren Anfängen. Das Vorliegen von Naturgefahren bewirkt in der Regel, so auch in Niederösterreich, ein Verbot der Widmung von Bauland. Trotz dieser harten Konsequenz, gab es diesbezüglich lange Zeit keine oder nur unvollständige fachliche Beurteilungsgrundlagen für die Akteure in Raumordnungsprozessen. Die kommunalen Entscheidungsträger und die von diesen beauftragten Planungsexperten, beides in der Regel geologische Laien, hatten selbst zu entscheiden, in welchen Fällen ein Experte für Geologie hinzugezogen werden musste. Bei der Aufsichtsbehörde war das im Prinzip nicht anders. Die steigende Verfügbarkeit von relevanten Fachinformationen, wie etwa der geologischen Karte oder der elektronischen Bodenkarte haben diese Situation nur teilweise verbessert. Diese Lücke wird nun mit den geogenen Gefahrenhinweiskarten (GHK) aus dem Projekt MoNOE geschlossen.

Neben der Anwendung in der Raumplanung ist die Nutzung von diesen Karten für Bauprojekte, sei es für Wohngebäude im gewidmeten Bauland oder für den Bau von Infrastrukturen, wie z.B. Straßen, Leitungen, Kanäle oder Anschüttungen, sinnvoll und möglich. Auch in diesen Fällen, muss der geologische Laie (z.B. die Baubehörde) entscheiden, ob ein Geologe oder Geotechniker beigezogen werden soll oder nicht. Dabei sollen ihn nun besagte Karten unterstützen.

Umsetzung

Raumordnung ist eine Querschnittsmaterie. Unterschiedlichste Aspekte sind in Betracht zu ziehen, einander gegenüberzustellen und eine ausgewogene Planungsentscheidung ist zu treffen. Für die einzelnen relevanten Materien sollen daher relativ einfache Modalitäten ihrer Berücksichtigung gefunden werden. Die eigentliche Komplexität der Raumordnung ergibt sich aus der Vermischung der Themen. Aus diesem Grund war von Seiten des Landes NÖ gewünscht, dass die GHK nur eine geringe Anzahl von Klassen aufweisen darf. Diese Beschränkung war deshalb erforderlich, weil jeder Klasse eine klar unterscheidbare Handlungskonsequenz zugeordnet werden sollte. Welcher sinnvolle Unterschied in den Konsequenzen für die Raumordnung ließe sich denn daraus ableiten, wenn etwa einmal ein Standort zu betrachten ist, der eine „hohe“ Gefährdungswahrscheinlichkeit aufweist und ein anderes Mal ein Standort mit einer „sehr hohen“ Gefährdungswahrscheinlichkeit für eine Baulandwidmung in Betracht gezogen wird?

Auch der Begriff „Gefährdung“ sollte in der Legende vermieden werden. Das hat zwei Gründe:

- Zum einen kann die GHK gar nicht über den Grad der Gefährdung Auskunft geben, dazu ist der methodische Ansatz zu großflächig.
- Zum anderen zieht der Umstand einer Gefährdung laut NÖ Raumordnungsgesetz gleich eine strenge Konsequenz nach sich (das Verbot einer Baulandwidmung).

Somit wurde in die Legende direkt die Handlungsanleitung für die weitere Vorgangsweise aufgenommen. Der Gliederung liegt dabei das Bild einer „Untersuchungskaskade“ zu Grunde: je nach der errechneten Wahrscheinlichkeit der Gefährdung, wird eine andere Stelle zur Erkundung der tatsächlichen Gefährdung angesprochen:

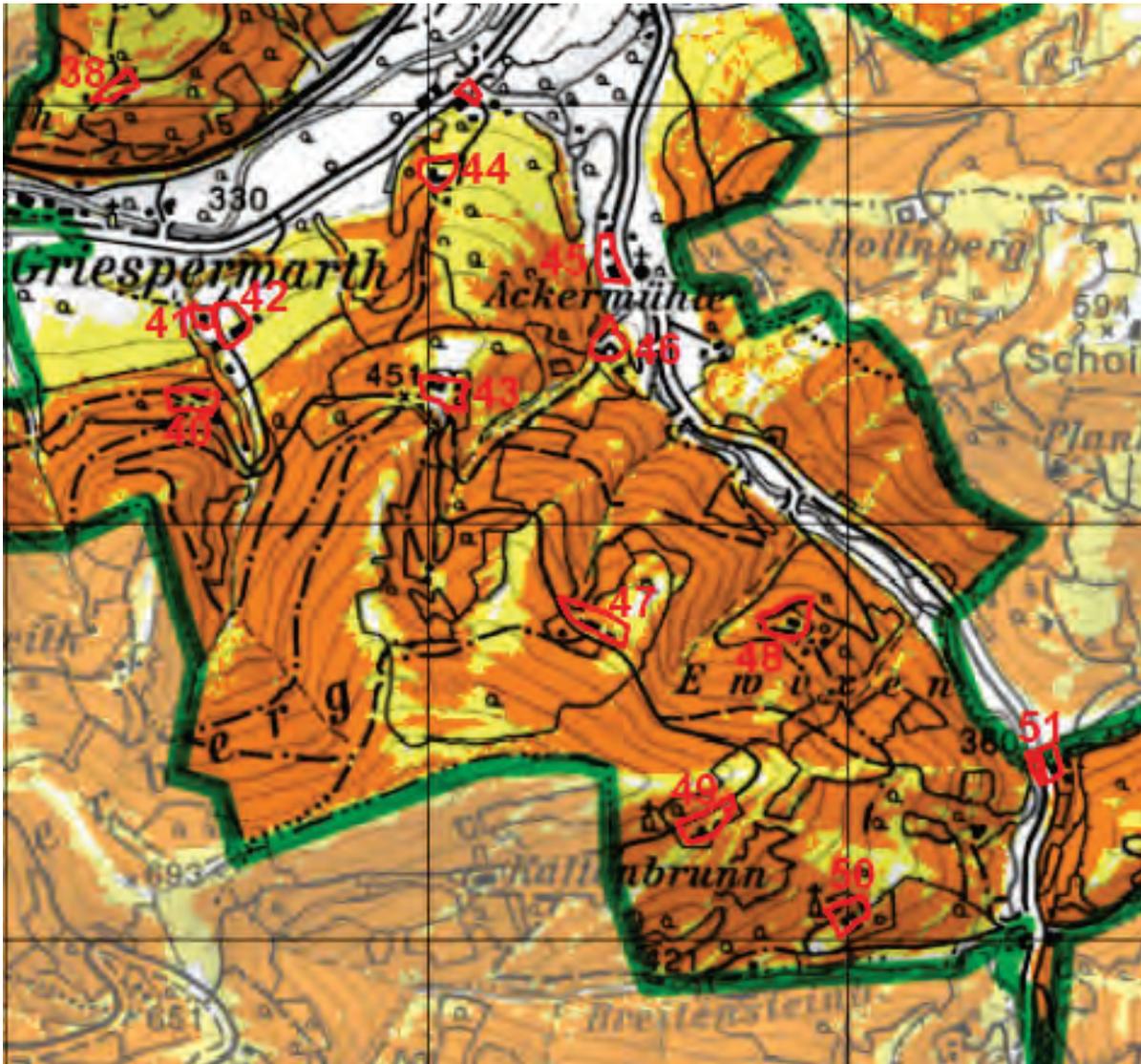
Bezeichnung der Klassen in der Kartenlegende			
Arbeitsschritt	Nur bei augenscheinlichen Hinweisen Vorbegutachtung	Vorbegutachtung gegebenenfalls genaue Erkundung	Genaue Erkundung unverzichtbar
Ersteinschätzung	Lokalausweis Raumplaner	Lokalausweis Geologischer Dienst	Expertise ZT/TB* für Geologie
→ gegebenenfalls 2. Stufe	Lokalausweis Geologischer Dienst	Expertise ZT/TB* für Geologie	
→ gegebenenfalls 3. Stufe	Expertise ZT/TB* für Geologie		

*ZT/TB für Geologie: ZiviltechnikerIn oder Technisches Büro für Geologie und/oder Geotechnik

Mit dieser Gestaltung der Karte sollen auch die Ressourcen des geologischen Diensts effizient eingesetzt und Anreize zur vorausschauenden Vermeidung der Bereich mit der höchsten Wahrscheinlichkeit geschaffen werden. Die externen Expertisen müssen nämlich von den Gemeinden selbst bezahlt werden.

Erfahrungen und Ausblick

Im Laufe dieses Jahres wurden und werden die Karten der bereits fertig gestellten Bezirke (die Bezirke Gänserndorf, Gmünd und Mistelbach folgen im nächsten Jahr) im Rahmen der bezirksweise organisierten Bürgermeisterkonferenzen den Gemeinden präsentiert und übergeben. Erste Rückmeldungen von Gemeinden und Raumplanungsexperten zeigen, dass auf Grund des Parzellenbezugs der Raumordnungsentscheidungen auch bei der GHK die Versuchung besteht, ihr eine Genauigkeit beizumessen, die diese bei einem Maßstab 1:25.000 nicht haben kann. Hier ist noch eine entsprechende Bewusstseinsbildung erforderlich, die die Anwender der Karte hinsichtlich der angemessenen Interpretation schult. In der Praxis hat sich bisher gezeigt, dass viele Anwender krampfhaft versuchen das betroffene Grundstück auf der Gefahrenhinweiskarte zu finden und punktgenau festzustellen in welchem Gefährdungsbereich sie liegen. Für diese Vorgangsweise sind die Gefahrenhinweiskarten nicht geeignet. Man kann auf der Gefahrenhinweiskarte nur einen Bereich von mehreren hundert Metern definieren, in welchem das betroffene Grundstück oder Gebäude liegt, und ermitteln, welche Farbe (Gefährdungsklasse) diesen Bereich dominiert. Als nächstes gilt es zu berücksichtigen, ob sich das Grundstück mitten oder am Rand des Bereiches befindet. Befindet es sich mitten, dann gilt die dominierende Farbe für diesen Bereich. Befindet es sich am Rand, dann gilt dominierende Farbe des Randbereiches. Die folgende Abbildung soll dies verdeutlichen:



Die Fläche mit der Nummer 48 liegt auf dem ersten Blick in der gelben Farbe, in der Umgebung (Radius von 100 bis 300 m) dominiert jedoch eindeutig die orange Farbe in dem betroffenen Bereich. Daher ist von der höchsten Gefährdungsklasse auszugehen. Die Fläche mit der Nummer 38 liegt am Rand der orangen Farbe und ist hauptsächlich von einer gelben Farbe umgeben. Daher ist die gelbe Klasse relevant. Im Zweifel ist immer die höher Klasse zu wählen. Beispielsweise liegt die Fläche mit der Nummer 46 teils in der weißen und in der gelben Klasse. Es ist nicht ganz klar, welche Farbe in dem Bereich von mehreren hundert Meter dominiert, also ist die gelbe Farbe relevant.

Die Fläche mit der Nummer 45 liegt in der weißen Farbe im Talbodenbereich am Rand eines orange gefärbten Hanges. Es dominiert jedoch in der Umgebung die weiße Farbe. Diese ist somit relevant für die weitere Vorgangsweise.

In manchen Fällen ist es für den geologischen Laien nicht möglich zu entscheiden in welcher Klasse der Bereich (samt dem Grundstück) zuzuordnen ist. In den Fällen kann er sich an den geologischen Dienst wenden, wo fachlich versierte, detaillierte Kriterien zu Verfügung stehen um die Gefährdungsklasse zu bestimmen, z.B. der Baugrunderkennung. Zeigt dieser, dass es auf dem Nachbargrundstück bereits eine Rutschung gegeben hat, so ist hier die höchste Gefährdungsklasse gegeben (orange Farbe). Dieser Fall ist bei der Fläche mit der Nummer 47 gegeben.

In weiterer Folge liegen die Herausforderungen für die Zukunft vor allem in zwei Bereichen:

- Zum einen ist ein effizientes System für die Verwaltung der eingeholten Expertisen aufzustellen. Wenn in einem Bereich, für den die höchste Wahrscheinlichkeit einer Gefährdung errechnet wurde, schon ein Gutachten auf Basis einer Erkundung vorliegt, braucht ein solches Gutachten nicht unbedingt ein weiteres Mal beauftragt werden.
- Zum anderen müssen schlüssige Kriterien dafür gefunden werden, ab wann eine Fläche auf Grund einer Rutschgefahr nicht zur Bebauung geeignet ist (ähnlich der Hundertjährigkeit beim Hochwasser).

Will jemand in einem bereits gewidmeten Bauland ein neues Gebäude errichten oder ein bestehendes erweitern, welches in einer Gefährdungsklasse liegt, so soll durch die Beurteilung durch einer/einem Sachverständigen geklärt werden, ob gebaut werden kann oder nicht und welche Auflagen gegebenenfalls vorgeschrieben werden müssen. Diese Auflagen helfen dann die Gebäude so sicher zu gründen und zu bauen, dass in Zukunft keine Katastrophenschäden durch Massenbewegungen vorkommen können. Natürlich gibt es auch Bauwerke, deren Gewicht und Größe und Einfluss auf den Untergrund dermaßen gering sind, dass dafür kein geologisches, geotechnisches Gutachten notwendig ist, z.B. ein Carport für ein einzelnes Auto, ein kleine Gerätehütte für den Garten.

Bei der Planung von Infrastrukturen, z.B. Straßen, helfen die Gefahrenhinweiskarten schon im Vorfeld eine preisgünstigere Trasse zu wählen ohne kostspielige geologische Untersuchungen durchführen zu müssen. Für die Genehmigung von Anschüttungen, vor allem auf landwirtschaftlichen Flächen zur Verbesserung der maschinellen Bearbeitung, helfen die Gefahrenhinweiskarten den Juristen und Forsttechnikern im Vorfeld mögliche Gefahrenflächen zu erkennen und angemessen zu agieren. In der Vergangenheit gab es zahlreiche Rutschungen von Anschüttungen in schwierigen Böden, da vorher nicht geologisch untersucht oder nicht fachgerecht hergestellt wurden.

Verzeichnis der ReferentInnen

Dipl. Ing. Helmut AIGNER
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung
Sektion Wien NÖ und Bgld
Marxergasse 2/HP
1030 Wien
01/53391470
helmut.aigner@die-wildbach.at

Dr. Rainer BELL
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalforschung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277-48654, 0664-60277-48654
rainer.bell@univie.ac.at

Dr. Richard BÄK
Amt der Kärntner Landesregierung
Abt. 8 Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz Geologie und Bodenschutz
Flatschacher Strasse 70
9020 Klagenfurt
0664/805361803
richard.baek@ktn.gv.at

Mag. Dr. Alfred FASCHING
3G – Gruppe Geotechnik Graz
Triester Strasse 478 A
8055 Graz Seiersberg
0316/3377990
Fasching@3-g.at

Prof. Dr. Thomas GLADE
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalforschung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277-48650
thomas.glade@univie.ac.at

Ing. Andreas HAUSENBERGER
Technische Universität Wien, Institut für Geotechnik
Karlsplatz 13
1040 Wien
01/ 58801 – 22111
0699/10451501
andreas.hausenberger@tuwien.ac.at

Ass.Prof. Dr. Arthur KANONIER
Technische Universität Wien
Department für Raumentwicklung, Fachbereich Rechtswissenschaften
Argentinierstraße 8
1040 Wien
01/ 58801 - 280 113
Kanonier@law.tuwien.ac.at

Mag. Dr. Christoph KOLMER
Amt der Oberösterreichischen Landesregierung
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
Kärntnerstraße 10-12
4021 Linz
0732/-12841
christoph.kolmer@ooe.gv.at

Dr. Bernhard KRUMMENACHER
GEOTEST AG
Promenade 15
7270 Davos Platz
041-81 41030 10
bernhard.krummenacher@geotest.ch

Mag. Dr. Philip LEOPOLD
Austrian Institute of Technology
Dep. Health and Environment
Konrad-Lorenz-Str. 24
3430 Tulln
050550-3494, 0664/6207635
philip.leopold@ait.ac.at

Dr. Michael LOTTER
Geologische Bundesanstalt Wien
Fachabteilung Ingenieurgeologie
Neulinggasse 38
1030 Wien
01/7125674-391
michael.lotter@geologie.ac.at

Mag. Dr. Martin MÜLLEGGER
IC consulenten Ziviltechniker GesmbH
Zollhausweg 1
A-5101 Salzburg/Bergheim
0664/60169-515
m.muellegger@ic-group.org

Dipl. Ing. Bettina NEUHÄUSER
Stipendiatin der Österr. Akademie d. Wissenschaften, Univ. Würzburg, Instit. f. Geogr. u.
Geologie
Am Hubland
97074 Würzburg
0699/19254782
bettina.neuhaeuser@gmx.at

Mag. Helene PETSCHKO
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalplanung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277 48628
0699/12256131
helene.petschko@univie.ac.at

Prof. Dipl. Ing. Dr. Rainer POISEL
Technische Universität Wien
Inst. für Geotechnik
Karlsplatz 13
1040 Wien
01/58801-20319
rainer.poisel@tuwien.ac.at

Dipl. Ing. Gilbert POMAROLI
Amt NÖ Landsregierung,
Raumordnung – örtliche Raumordnung
02742/9005-14282
gilbert.pomaroli@noel.gv.at

Mag. Herwig PROSKE
Joanneum Research
Inst. für Informations- und Kommunikationstechnologien
Steyrergasse 17
8010 Graz
0316/876-1389
herwig.proske@joanneum.at

Mag. Dr. Joachim SCHWEIGL
Amt NÖ Landsregierung,
Baudirektion-Geologischer Dienst
Landhausplatz 1
3109 St. Pölten
02742/9005-14282
joachim.schweigl@noel.gv.at

Dr. Nils TILCH
Geologische Bundesanstalt Wien
Fachabteilung Ingenieurgeologie
Neulinggasse 38
1030 Wien
01/7125674-392
nils.tilch@geologie.ac.at

Mag. Peter ZINGGL
Amt der Burgenländischen Landesregierung
LAD-Raumordnung und Wohnbauförderung
Europaplatz 1
7000 Eisenstadt
057/600-2670
post.ro@bglld.gv.at

Dipl. Ing. Helmut AIGNER
Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und
Lawinerverbauung
Sektion Wien NÖ und Bgld
Marxergasse 2/HP
1030 Wien
01/53391470
helmut.aigner@die-wildbach.at

Dr. Richard BÄK
Amt der Kärntner Landesregierung
Abt. 8 Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser
und Naturschutz Geologie und Bodenschutz
Flatschacher Strasse 70
9020 Klagenfurt
0664/805361803
richard.baek@ktn.gv.at

Prof. Dr. Thomas GLADE
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalfor-
schung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277-48650
thomas.glade@univie.ac.at

Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Arthur KANO-
NIER
Technische Universität Wien
Department für Raumentwicklung, Infrastruk-
tur- und Umweltplanung
Karlsplatz 13
1040 Wien
01/ 58801 - 280 113
arthur.kanonier@tuwien.ac.at

Dr. Bernhard KRUMMENACHER
GEOTEST AG
Promenade 15
7270 Davos Platz
041-81 41030 10
bernhard.krummenacher@geotest.ch

Dr. Michael LOTTER
Geologische Bundesanstalt Wien
Fachabteilung Ingenieurgeologie
Neulinggasse 38
1030 Wien
01/7125674-391
michael.lotter@geologie.ac.at

Dr. Rainer BELL
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalfor-
schung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277-48654, 0664-60277-48654
rainer.bell@univie.ac.at

Mag. Dr. Alfred FASCHING
3G – Gruppe Geotechnik Graz
Triester Strasse 478 A
8055 Graz Seiersberg
0316/3377990
Fasching@3-g.at

Ing. Andreas HAUSENBERGER
Technische Universität Wien, Institut für
Geotechnik
Karlsplatz 13
1040 Wien
01/ 58801 – 22111
0699/10451501
andreas.hausenberger@tuwien.ac.at

Mag. Dr. Christoph KOLMER
Amt der Oberösterreichischen Landesregie-
rung
Abteilung Grund- und Trinkwasserwirtschaft
Kärntnerstraße 10-12
4021 Linz
0732/-12841
christoph.kolmer@ooe.gv.at

Mag. Dr. Philip LEOPOLD
Austrian Institute of Technology
Dep. Health and Environment
Konrad-Lorenz-Str. 24
3430 Tulln
050550-3494, 0664/6207635
philip.leopold@ait.ac.at

Mag. Dr. Martin MÜLLEGGER
IC consulenten Ziviltechniker GesmbH
Zollhausweg 1
A-5101 Salzburg/Bergheim
0664/60169-515
m.muellegger@ic-group.org

Dipl. Ing. Bettina NEUHÄUSER
Stipendiatin der Österr. Akademie d. Wis-
senschaften, Univ. Würzburg, Instit. f. Geogr.
u. Geologie
Am Hubland
97074 Würzburg
0699/19254782
bettina.neuhaeuser@gmx.at

Mag. Helene PETSCHKO
Universität Wien
Institut für Geographie und Regionalplanung
Universitätsstraße 7
1010 Wien
01/4277 48628
0699/12256131
helene.petschko@univie.ac.at

Prof. Dipl. Ing. Dr. Rainer POISEL
Technische Universität Wien
Inst. für Geotechnik
Karlsplatz 13
1040 Wien
01/58801-20319
rainer.poisel@tuwien.ac.at

Dipl. Ing. Gilbert POMAROLI
Amt NÖ Landsregierung,
Raumordnung – örtliche Raumordnung
02742/9005-14282
gilbert.pomaroli@noel.gv.at

Mag. Herwig PROSKE
Joanneum Research
Inst. für Informations- und Kommunika-
tionstechnologien
Steyrergasse 17
8010 Graz
0316/876-1389
herwig.proske@joanneum.at

Mag. Dr. Joachim SCHWEIGL
Amt NÖ Landsregierung,
Baudirektion-Geologischer Dienst
Landhausplatz 1
3109 St. Pölten
02742/9005-14282
joachim.schweigl@noel.gv.at

Dr. Nils TILCH
Geologische Bundesanstalt Wien
Fachabteilung Ingenieurgeologie
Neulinggasse 38
1030 Wien
01/7125674-392
nils.tilch@geologie.ac.a

Mag. Peter ZINGGL
Amt der Burgenländischen Landesregierung
LAD-Raumordnung und Wohnbauförderung
Europaplatz 1
7000 Eisenstadt
057/600-2670
post.ro@bglld.gv.at

PROGRAMM

19. September 2013

09:00 **Begrüßung**

Ing. Kurt Wittmann, Bürgermeister der Marktgemeinde Rabenstein
Mag. Robert Wasserbacher, WKO Steine u. Erden
Direktor Dr. Peter Seifert, Geologische Bundesanstalt
Dipl. Ing. Walter Steinacker, stv. Landesbaudirektor
Eröffnung durch einen Vertreter von Landeshauptmann Dr. Erwin Pröll

Block 1 – Massenbewegungen

09:30 **Geogene Naturgefahren – gravitative Massenbewegungen und ihre Ursachen**
Michael Lotter, Geologische Bundesanstalt, Abt. Ingenieurgeologie

09:55 **Beispiele aus Niederösterreich: Felssturz Dürnstein**
Martin Müllegger, iC consulenten ZT GmbH

10:20 **Beispiele aus Niederösterreich: Hangbewegungen Regelsbrunn, Gemeinde Scharndorf**
Andreas Hausenberger, Dietmar Adam, Techn. Univ. Wien, Inst. f. Geotechnik

10:45 **Beispiele aus Niederösterreich: die Steinschlaggalerie Hohe Wand**
Alfred Fasching, 3G – c Gruppe Geotechnik Graz

11:05 – 11:30 Pause

Block 2 – Geogene Naturgefahren und Umwelt

11:30 **Gefahr, Risiko, Schaden...– Klärung der Begriffe**
Rainer Poisel, Techn. Univ. Wien, Inst. f. Geotechnik

11:55 **Nutzung der Landschaft – Raumordnung und Naturgefahren**
Arthur Kanonier, Techn. Univ. Wien, Dep. f. Raumentwicklung, Infrastruktur und Umweltplanung

12:20 – 13:40 Mittagspause

Block 3 – Ausweisung und planliche Darstellung

13:40 **Der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung**

Helmut Aigner, Wildbachverbauung W, NÖ, Bgld

14:00 **Gefahren(hinweis)karten für gravitative Massenbewegungen – Herausforderungen, Limitierungen, Chancen**

Nils Tilch, Geol. B.-A., Abt. Ingenieurgeologie

14:25 **Gefahrenhinweiskarten und Gefahrenkarten für gravitative Massenbewegungen: Erfahrungen in der Schweiz**

Bernd Krummenacher, GEOTEST AG, Davos

14:50 – 15:15 Pause

Block 4 – Erstellung von Gefahrenhinweiskarten, Beispiele aus Österreich

15:15 **Gefährdungsmodellierung**

Rainer Bell, Univ. Wien, Inst. für Geographie und Regionalforschung

15:40 **Modellierung der Hangrutschungsgefährdung unter dem Aspekt von Klimaänderungen am Beispiel Nördlicher Wienerwald**

Bettina Neuhäuser, ÖAW und Univ. Würzburg, Inst. f. Geographie und Geologie

15:55 **Gefahrenkarten und Gefahrenhinweiskarten, internationale Beispiele**

Thomas Glade, Univ. Wien, Inst. für Geographie und Regionalforschung

20. September 2013

08:30 **Beispiele aus Österreich: Burgenland**

Philip Leopold, Austrian Institute of Technology, Dep. Health and Environment
Peter Zinggl, Amt d. burgenländischen Landesregierung, LAD-Raumordnung und Wohnbauförderung

09:05 **Beispiele aus Österreich: Oberösterreich – das Projekt geogenes Baugrundrisiko**

Christoph Kolmer, Amt Oberösterr. Landesregierung, Abt. Grund- und Trinkwasserwirtschaft

09:30 **Beispiele aus Österreich: Kärnten, Entwicklung von Gefahrenhinweiskarten für Steinschläge und Rutschungen als Werkzeug für nachhaltige Raumplanung in Kärnten**

Richard Bäk, Amt Kärntner - Landesregierung, Abt. 8 Kompetenzzentrum Umwelt, Wasser und Naturschutz – Geologie und Bodenschutz

Block 5 – Das Projekt MoNOE

09:55 **MoNOE – Modellierung der Rutschprozesse**

Rainer Bell, Thomas Glade, Helene Petschko, Univ. Wien, Inst. für Geographie und Regionalforschung

10:20 – 10:45 Pause

10:45 **MoNOE – Modellierung der Sturzprozesse**

Herwig Proske, Joanneum Research - Digital

11:10 **MoNOE – Umsetzung, Erfahrungen, Ausblick**

Joachim Schweigl, Amt der NÖ Landesregierung, BD1 – Geologischer Dienst, und
Gilbert Pomaroli, Amt der NÖ Landesregierung, RU2 – Örtliche Raumordnung

11:35 Abschlussdiskussion – Allfälliges

ca. ab 11:45 Mittagspause

Exkursion

13:00 Busabfahrt

- Hainfeld – Kämpfgraben, Verbauungsprojekt der Wildbach- und Lawinenverbauung (Eduard Kotzmaier/Heinrich Grünwald)
- Die Gefahrenhinweiskarte am Beispiel der Umgebung des Güterweges Hebergerberg, Stössing (Joachim Schweigl, Harald Steininger)
- Stössing/Michelbach – Ein regionales Projekt: Wiederbelebung einer einmaligen Tradition „Die Elsbeere“ (Fam. Mayer)

ca. 17.00 Rückkehr nach Rabenstein