

# 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

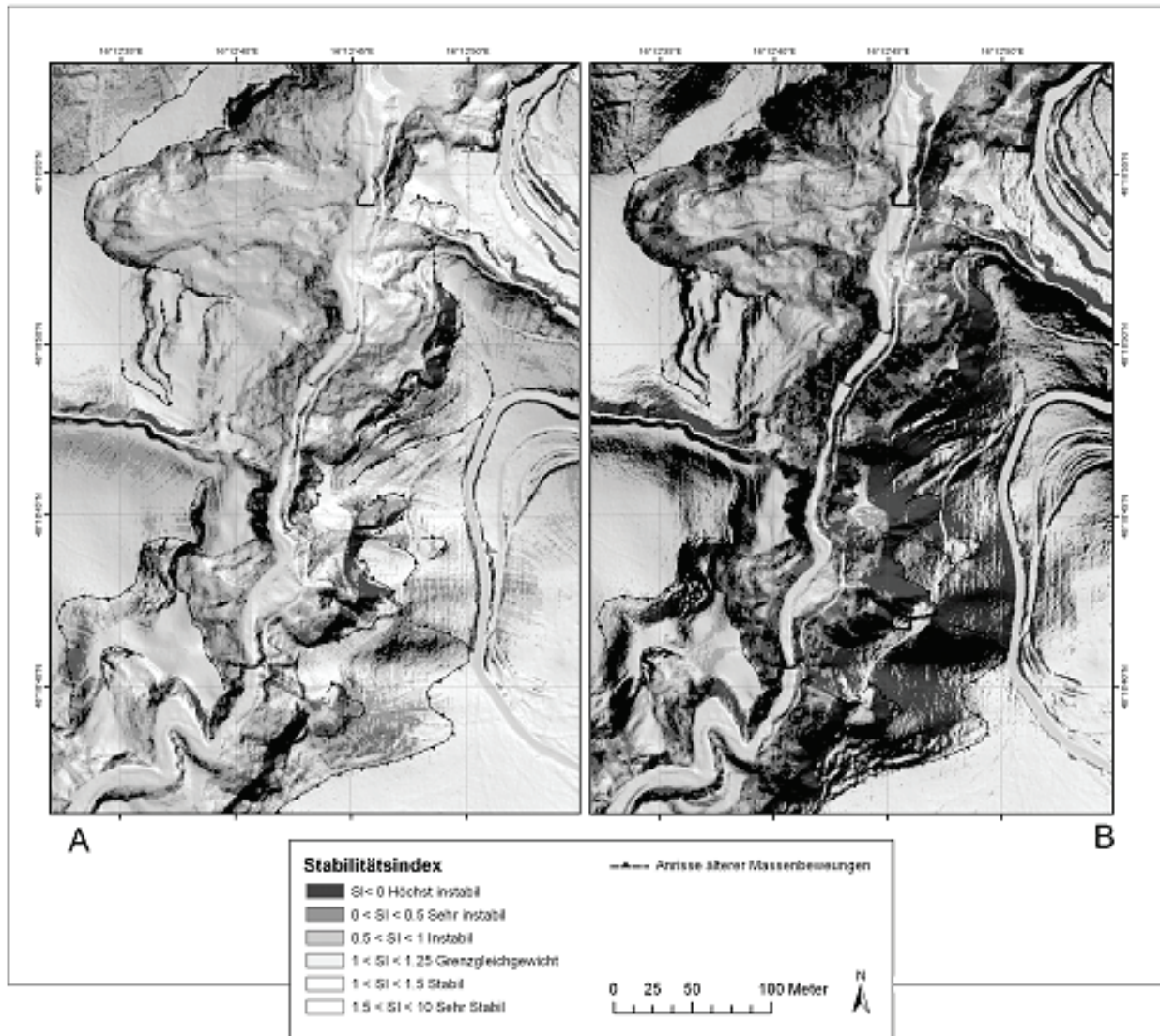
In einem Szenario, welches die kurzfristige Disposition untersucht, wird der zeitlich limitierte Einfluss eines Starkregens modelliert. Für dieses Szenario ergibt sich ein stark verändertes Bild der Hangdynamik (vgl. Abbildung 1). Starkregen bewirkt eine fast flächendeckende Durchfeuchtung der quartären Sedimentdecken und größtenteils 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. & MAYRHOFFER, 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](http://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.at/cms/de/dokumente/klima/dok\\_projekte/prisk-change/endbericht-prisk-change](http://www.zamg.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.