

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).

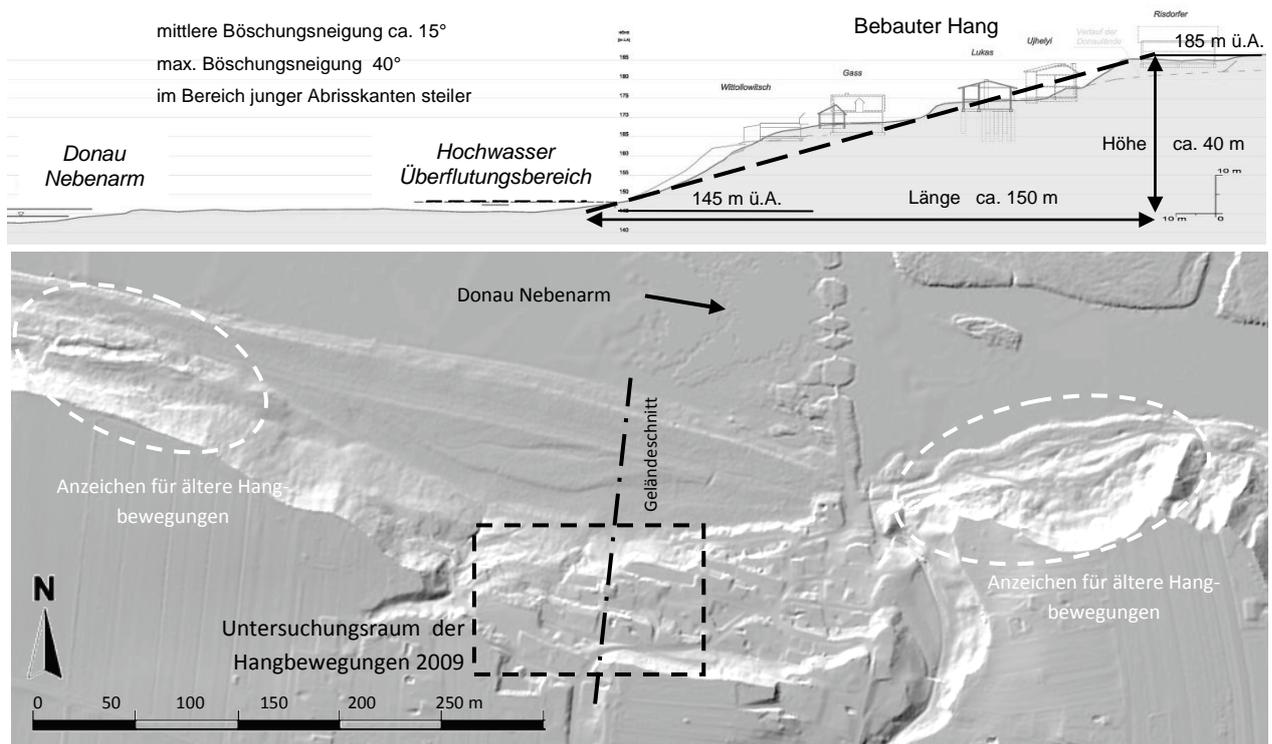


Abb. 1: Oben: Geländeschnitt des betrachteten Hanges und der besiedelten Terrassen (nicht überhöht) [1]

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 Geländeformverformungen 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

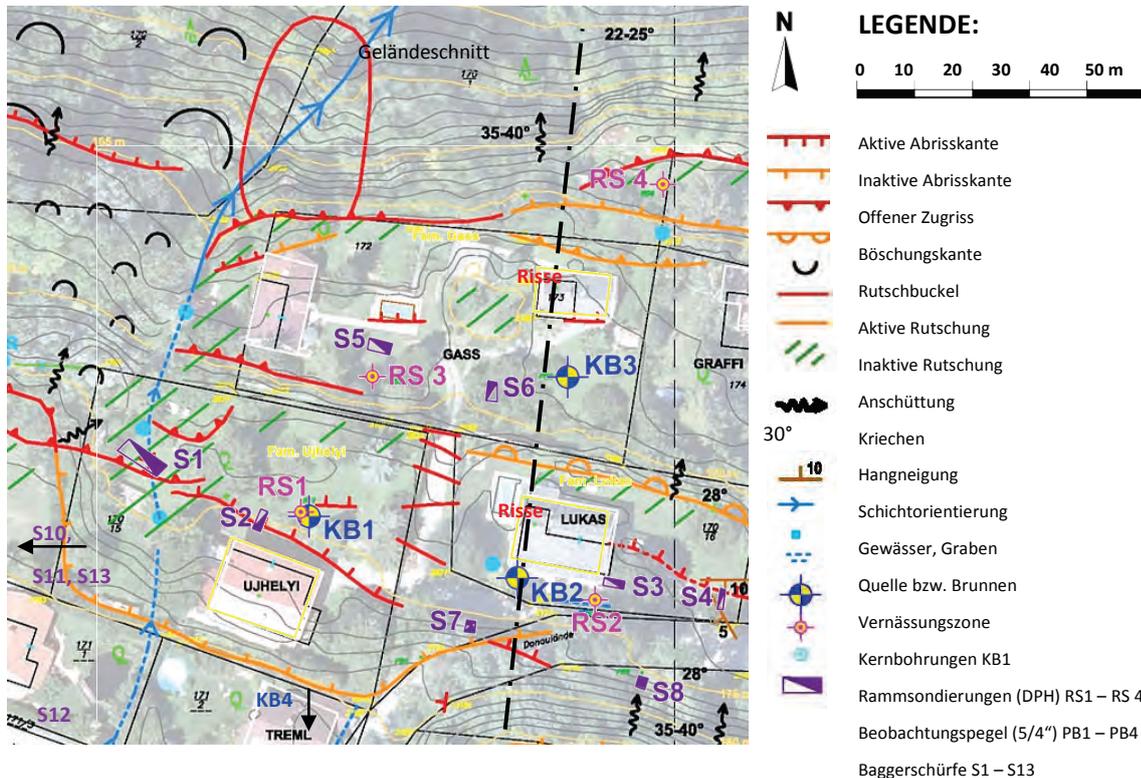


Abb. 2: Geomorphologische Karte mit Lage der Bodenaufschlüsse und des Geländeschnitts (Ausschnitt) [1].

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.

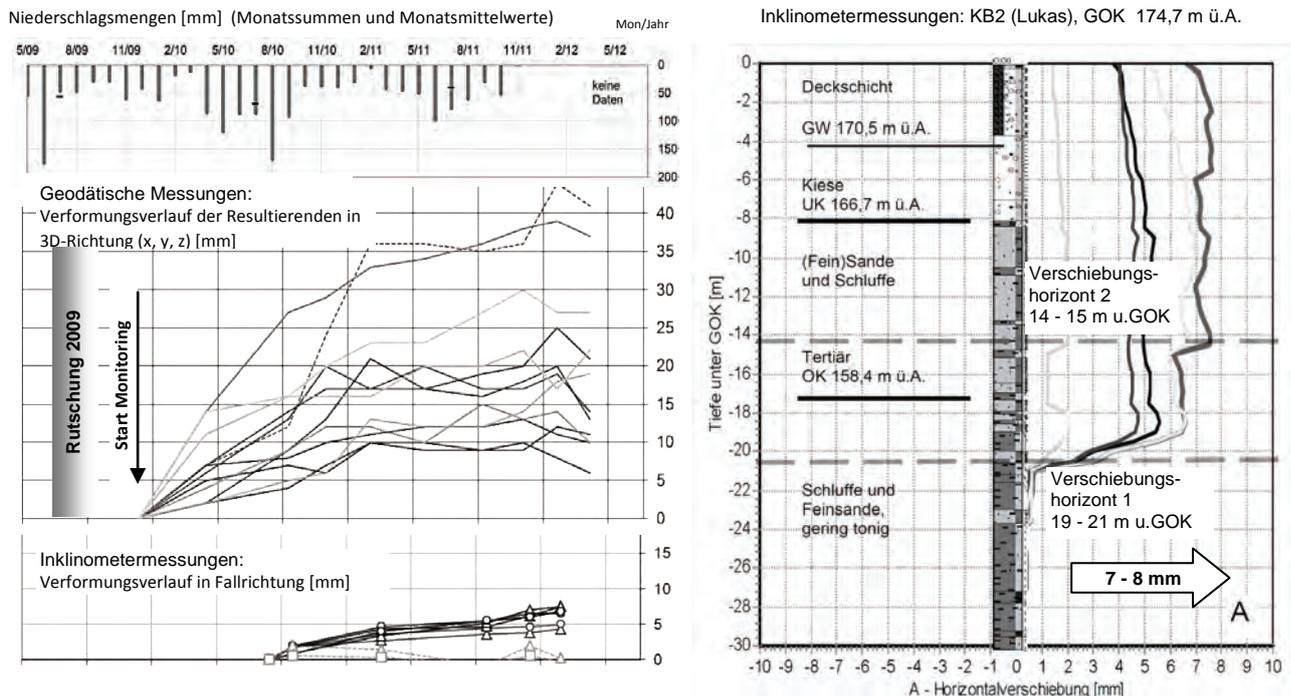


Abb. 3: Links: Vergleich Niederschlag und Verformungen (Geodätische Messungen und Inclinometermessungen) in Millimetern 2009 – 2012 [1]. Rechts: Verformung von Inclinometer KB 2 (in Millimeter ca. in Fallrichtung) [1].

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).

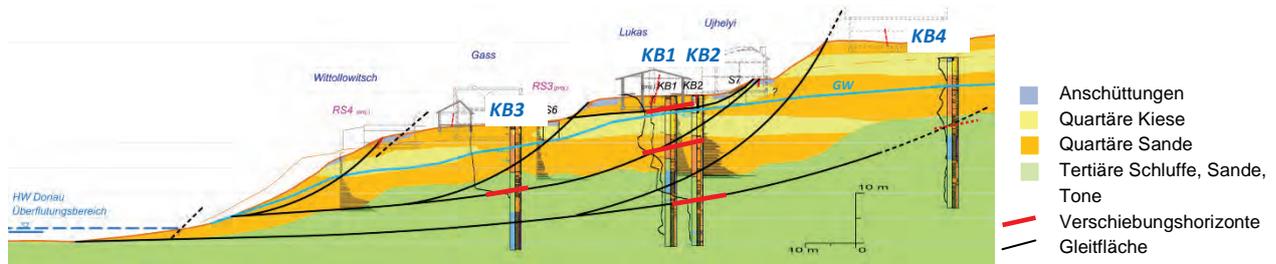


Abb. 4: Geologisches Hangprofil (nicht überhöht) mit den Verschiebungshorizonten [rot] aus den Inklinometermessungen und der angenommenen Lage der Gleitflächen [schwarz] [1].

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.