

Geoelektrisches Monitoring von Naturgefahren

BIRGIT JOCHUM (1), DAVID OTTOWITZ (1), ALEXANDER RÖMER (1), STEFAN HOYER (1),
ROBERT SUPPER (1), STEFAN PFEILER (1) & STEFANIE GRUBER (1)

2002 hat die Geologische Bundesanstalt (GBA) das geoelektrische Monitoringgerät GEOMON4D entwickelt, mit den Anforderungen einer möglichst schnellen Datenakquisition, einem automatischen Datentransfer und der Möglichkeit, das Messgerät aus der Ferne zu warten. Nach dem ersten Einsatz auf einer Rutschung in Vorarlberg (Rindberg, JARITZ et al., 2004) wurde es stetig weiterentwickelt, bis ein neues Monitoringsystem im Rahmen des EU FP7 Projektes SafeLand 2009 am Gschlifgraben aufgebaut wurde. Ab 2010 wurde das Messnetz im Rahmen des FWF-Projektes TEMPEL (Abb. 1) auf weitere Lokationen ausgedehnt. Das Ziel des Monitorings ist die Evaluierung der zeitlichen Änderungen des spezifischen elektrischen Widerstandes als möglichen Indikator für eine Reaktivierung der Hangrutschung. Ein wichtiges Werkzeug dafür ist die 4D-Inversion, die gemeinsam mit Jung-Ho Kim vom Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources entwickelt wurde (KIGAM, KIM et al., 2009).

Für das geoelektrische Monitoring ist die Kombination mit anderen Messgeräten, die hydrolo-

gische oder bewegungsanzeigende Daten liefern, von hoher Relevanz.

Das anschließend auf dem Monitoringnetzwerk sowie den dadurch generierten Messdaten aufbauende ÖAW-Projekt LAMOND hat zum Ziel, mit den gemessenen Widerstandsänderungen ein hydrologisches Untergrundmodell zu erstellen. Dadurch sollten entscheidende Untergrundprozesse erkannt sowie deren Wechselwirkungen untersucht werden, um die Auswirkungen auf die Hangstabilität bei extremen Niederschlagsereignissen zu berechnen.

Geoelektrisches Monitoring wird an der GBA, neben der Beobachtung von Hangrutschungen, auch zur Messung von Zwischenabflüssen auf künstlich bewässerten Hängen sowie vereinzelt auf Dämmen eingesetzt.

Hangrutschungen

Ein gutes Wissen über Struktur, Dynamik, Auslöser, Geschichte und mögliche Größenordnung von Hochrisikohangrutschungen ist eine wichtige Aufgabe, um aktuelle Gefahren zu bewerten und

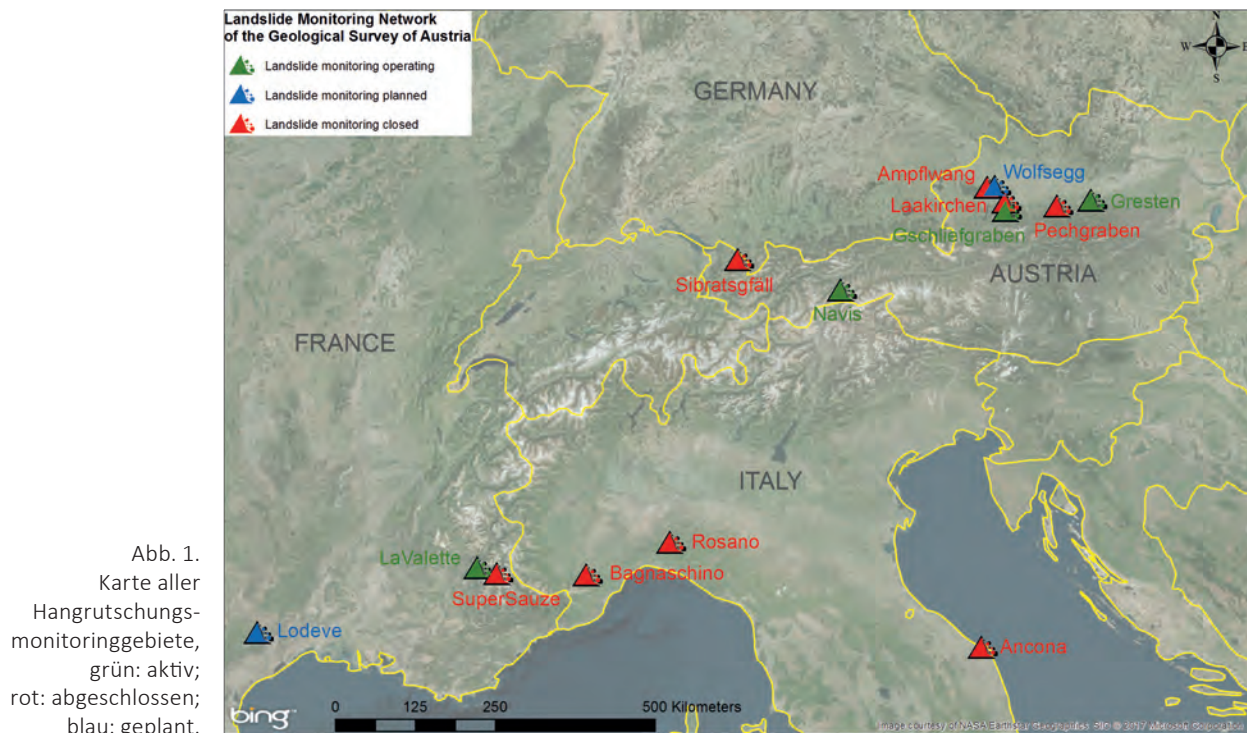


Abb. 1.
Karte aller
Hangrutschungs-
monitoringgebiete,
grün: aktiv;
rot: abgeschlossen;
blau: geplant.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. birgit.jochum@geologie.ac.at

schließlich die Menschen vor einem katastrophalen Ereignis im Voraus zu warnen. Dieses Wissen ist nur durch einen komplexen Ansatz möglich, der aus Untersuchungen durch viele verschiedene interdisziplinäre Methoden und Techniken, eine langjährige kontinuierliche Überwachung von Deformations- und Auslösefaktoren sowie durch die Etablierung von Frühwarnsystemen/Zentren besteht. Die am häufigsten verwendeten Frühwarnparameter sind Porenwasserdruck und Bewegung. Allerdings hat die jüngste Forschung gezeigt, dass es andere Parameter gibt, die Hinweise auf die bevorstehende Auslösung sogar zeitlich länger im Voraus geben können, bevor eine tatsächliche Verschiebung messbar ist.

Da die meisten Erdbebenereignisse eng mit dem Niederschlag und dem Einfluss von unterirdischem Wasser auf die Hangstabilität (Porenwasserdruck, Änderung des Wasserströmungsregimes, Sättigung) zusammenhängen, ist die zeitliche Änderung der elektrischen Parameter eine vielversprechende Methode zur Überwachung von Erdbeben. Innerhalb der letzten Jahre sind

geoelektrische Multielektrodenmessungen zum erfolgreichsten geophysikalischen Verfahren geworden, um die Untergrundstruktur von Hangrutschungen zu untersuchen.

Exemplarisch werden zwei Messergebnisse von Hangrutschungen (Österreich und Italien) präsentiert (SUPPER et al., 2013).

Ampflwang

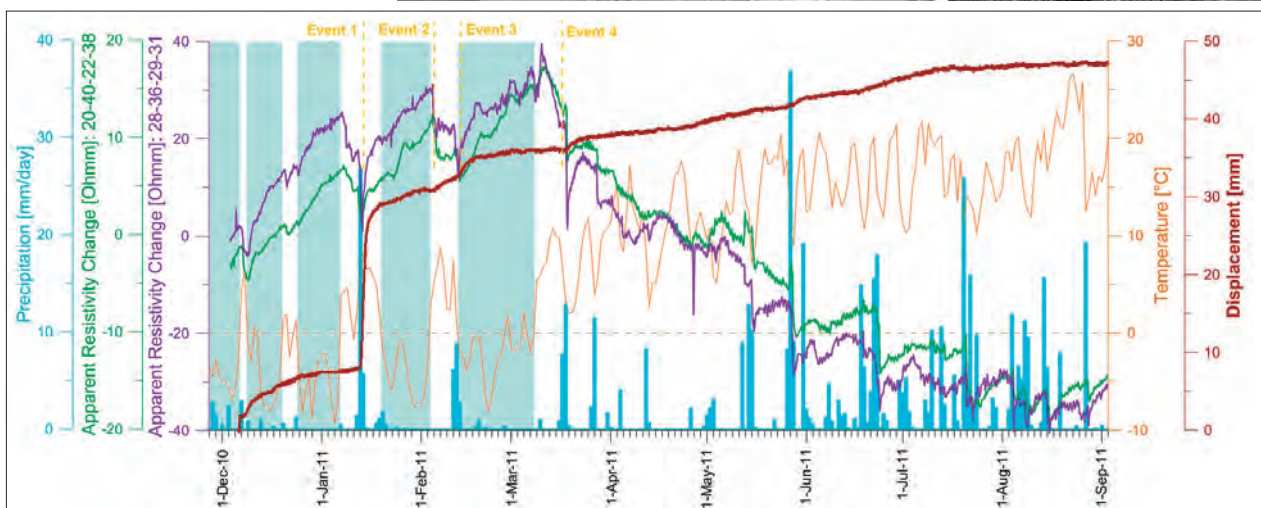
Das Messgebiet Ampflwang liegt im Hausruck, einem Gebiet, das sehr anfällig für Rutschungen ist. Die Ursache dieser Massenbewegungen ist, dass die im Verband abgerutschten Kiese der Hausruck- bzw. Kobernaußerwald-Formation auf den wasserstauenden Kohletonschichten der Ampflwang-Formation gleiten (RUPP, 2008). Untersucht wurde eine kleine Hangrutschung mit einer Fläche von 0,4 ha, die im März 2010 als Teil einer älteren bekannten, tiefgreifenden Rutschmasse reaktiviert wurde.

Betroffen war ein Wohnhaus mit der dazugehörigen Infrastruktur (Abb. 2). Ein geoelektrisches Monitoring wurde gemeinsam mit zwei auto-

Abb. 2. (rechts) Lage des Untersuchungsgebietes Ampflwang (a) sowie ein von der Rutschung betroffenes Wohnhaus (b).



Abb. 3. (unten) Kumulierte Bewegung des Rutschhanges (dunkelrot), Niederschlag (dunkelrot), Niederschlag (blau) sowie scheinbarer spezifischer elektrischer Widerstand in zwei Tiefen (grün: 1,5 m, violett: 3,5 m).



matischen Inklinometern im Dezember 2010 installiert. Es zeigte sich, dass die Rutschung selbst nicht tiefgründig ist (2–3 m unter GOK), und dass die Bewegung vor allem im Winter während kurzer Auftauphasen sehr deutlich mit den Niederschlägen korreliert (Abb. 3).

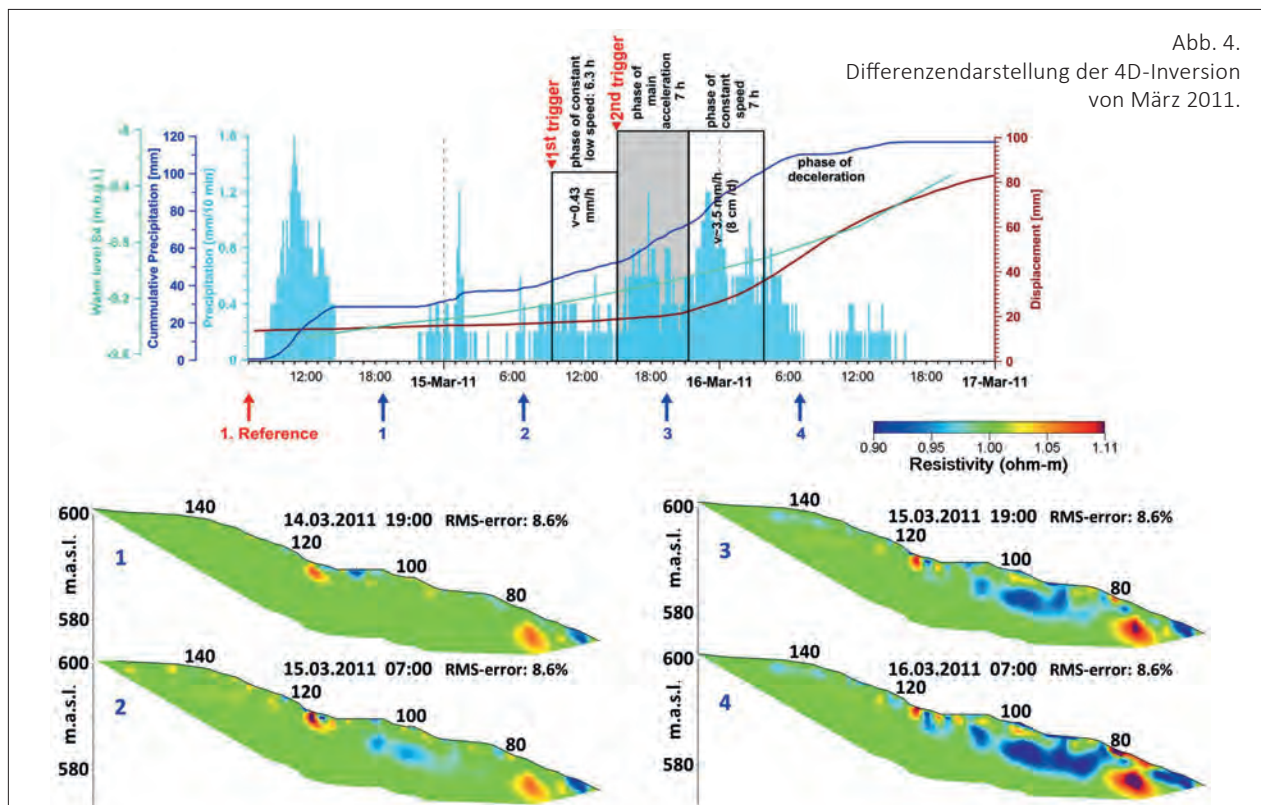
Alle großen Bewegungsereignisse (Event 1–4 in Abbildung 3) zeigen eine signifikante Abnahme des scheinbaren spezifischen elektrischen Widerstandes. Das Hauptereignis wurde am 13. und 14. Januar 2011 nach einer Schneeschmelze aufgezeichnet, begleitet von sehr starkem Niederschlag. Der scheinbare spezifische elektrische Widerstand verringerte sich in diesem Beispiel fast zwei Tage vor der Beschleunigung des Erdrutsches, höchstwahrscheinlich aufgrund der Infiltration durch die Schneeschmelze. Eine weitere, noch stärkere Abnahme korreliert mit dem Beginn des Niederschlags, der schließlich die Bewegung auslöste. Die Tatsache, dass noch stärkere Niederschlagsereignisse im späten Frühjahr und Sommer 2011 nicht in der Lage waren, eine Bewegung auszulösen, lässt darauf schließen, dass die Vorbefeuchtung des Untergrundes durch die Schneeschmelze der entscheidende Auslöser für diese Hangrutschung war. Aufgrund von Sanierungsmaßnahmen musste dieses Monitoring nach acht Monaten wieder abgebaut werden.

Bagnaschino

Die Rutschung Bagnaschino liegt in der Provinz Cuneo im Piemont und richtete zuletzt 1994 einen großen Schaden an der Landesstraße an. Auf Basis der Messungen von mehreren automatischen Inklinometern kann die Rutschung in einen sich schnell bewegenden Rutschhorizont in 9 m Tiefe und eine tieferliegende, über die gesamte Länge des Inklinometers gehende Kriechbewegung unterteilt werden (LOVISOLO, 2011).

Im Oktober 2010 wurde an dieser Lokation das geoelektrische Monitoring aufgebaut. Bei dieser Installation kam erstmals als Energieversorgung eine Kombination aus Brennstoffzelle und Solarpanel zum Einsatz.

Während des geoelektrischen Monitorings kam es zu einer starken Rutschung mit einer Bewegung von 90 mm innerhalb von 70 Stunden. Trotz starker Niederschlagsereignisse gab es während der restlichen Monitoringperiode ein eher unauffälliges Bewegungsverhalten. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen Differenzbilder der 4D-Inversion von zwei verschiedenen Perioden mit gleichem Niederschlag, die jedoch eine unterschiedliche Infiltration des Niederschlages und der damit verbundenen Hangbewegung aufweisen. Abbildung 4 zeigt, dass das oben genannte starke Bewegungsereignis mit einer vorhergehenden



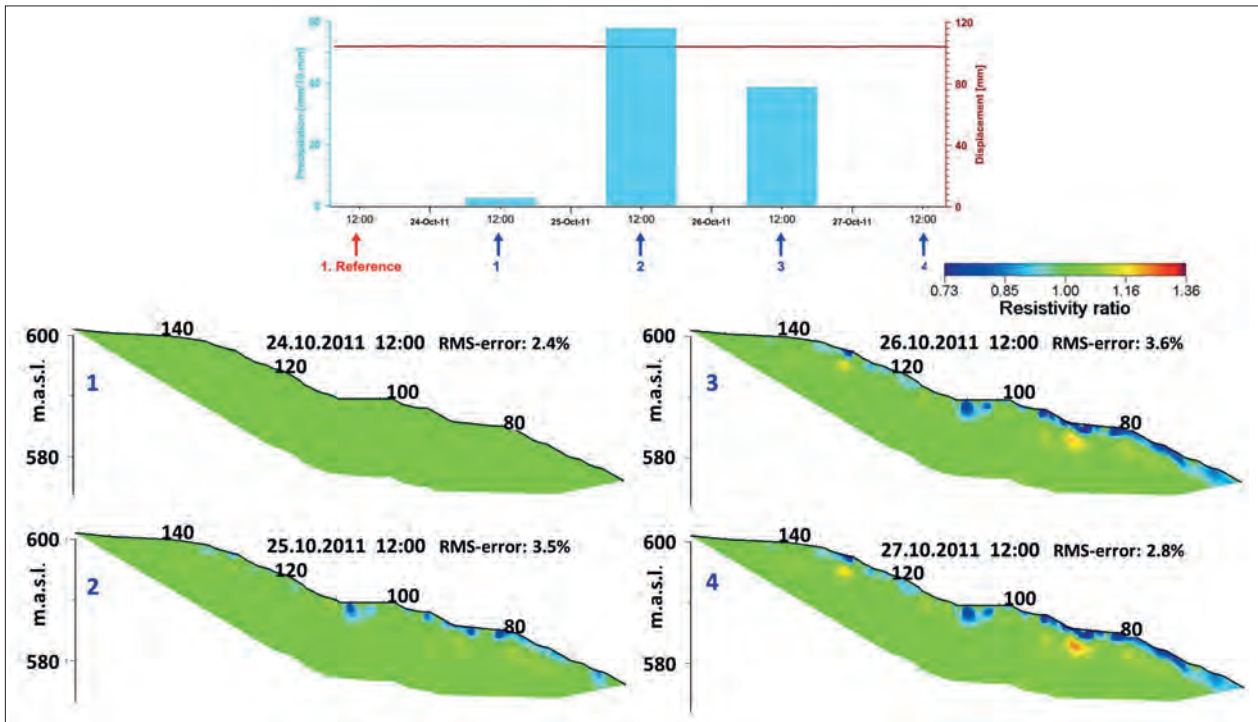


Abb. 5.
Differenzendarstellung der 4D-Inversion von
Oktober 2011.

Verringerung des spezifischen elektrischen Widerstandes verbunden ist, was auf eine tiefere Wasserinfiltration schließen lässt.

Abbildung 5 zeigt, dass bei einem gleich starken Regenereignis nur eine oberflächliche Anfeuchtung bzw. ein ausschließlich oberflächennaher Abfluss des Niederschlagswassers stattfindet, und dass gleichzeitig hier keine Bewegung erfolgt.

Die oben dargestellten Beispiele zeigen zum Teil eine starke Korrelation der großteils niederschlagsbedingten Bewegung mit der Verringerung des spezifischen elektrischen Widerstandes. Tonig-siltige Rutschungen haben jedoch fast denselben spezifischen elektrischen Widerstand wie Niederschlag, sodass eine Infiltration des Regens in den Untergrund nicht beobachtet werden kann. Aus diesem Grund soll im Rahmen des FWF-Projektes „Hydroslide“ die IP-Messung angewendet werden.

Hochwasser Interflow

In größeren Einzugsgebieten spielen langanhaltende, advective Niederschlagsereignisse bei der Hochwasserentstehung eine zentrale Rolle. Solche Dauerregenereignisse waren in den letzten Jahren wiederholt Auslöser von Schadensereignissen. Hierbei gewinnen Zwischenabflussprozesse

in Relation zum Oberflächenabfluss stark an Bedeutung. Zur Verfolgung der Tracerausbreitung kamen dabei Berechnungen unterschiedlicher Intensitäten (100–600 m² Flächengröße), bodenphysikalische Analytik, geoelektrische Messungen zur Beschreibung der Untergrundstrukturen sowie geoelektrisches Monitoring zum Einsatz.

Dazu waren Messungen auf der Plot- und der Hangskala an gebietsrepräsentativ ausgewählten Standorten notwendig.

Im Rahmen des Projektes „Shallow Interflow“ wurden in fünf Testgebieten (Bromberg – Bucklige Welt (NÖ), Brixenbachtal (T), Truppenübungsplatz Wattener Lizum (T), Längental (T) und Ruggbach (Vlbg.)) umfangreiche Untersuchungen zu folgenden Themenbereichen durchgeführt:

- Methodenerprobung und Erfassung konkreter Messdaten für seichten Zwischenabfluss – Ableitung von Bandbreiten von Abstandsgeschwindigkeiten für verschiedene Substrate.
- Skizzierung von Vorgangsweisen zur Umsetzung dieser Messdaten in Regionalisierung.

Abbildung 6 zeigt das Beispiel einer Ausbreitung der Infiltration, anhand derer der seichte Zwischenabfluss berechnet werden kann.

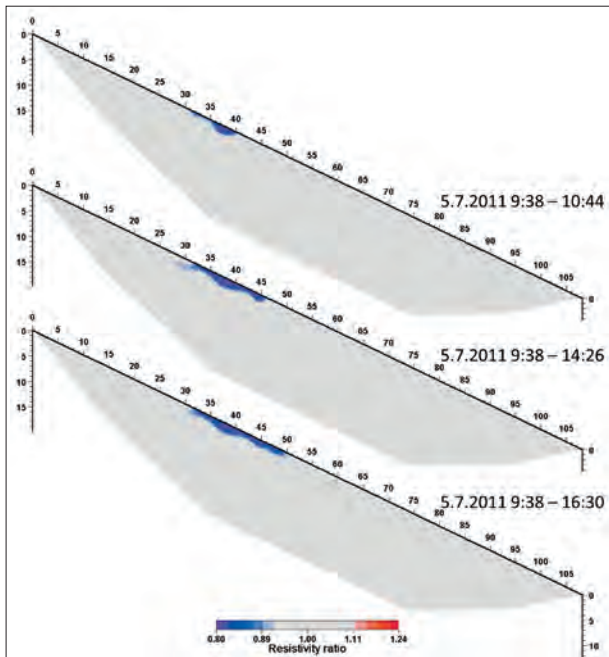


Abb. 6.
4D-Inversionsergebnisse des geoelektrischen Monitorings bei einer künstlichen Beregnung im Brixenbachtal. Darstellung der Differenzen der speziellen elektrischen Widerstände.

Schutzdämme

2013 wurden erste geoelektrische Messungen an Schutzdämmen durchgeführt, um zu überprüfen, ob Zonen erhöhter Wasserdurchlässigkeit bestimmt werden können. Eine Änderung des spezifischen elektrischen Widerstandes während eines Hochwassers würde auf eine Durchfeuchtung eines Dammbereiches hindeuten. Eine erste Testreihe wurde am rechten Donaugraben bei Korneuburg realisiert, hier zeigte sich, dass der spezifische elektrische Widerstand nach Rückgang des Hochwassers an einer bereits bekannten undichten Stelle stärker stieg, als im angrenzenden Bereich (Abb. 7).

Bei einem Monitoring am Donauschutzdamm bei Krems hatte das Hochwasser kaum einen Einfluss auf den spezifischen elektrischen Widerstand des Dammkörpers ausgeübt. Daraus lässt sich folgern, dass es zu keiner nennenswerten Infiltration von Flusswasser an der Untersuchungsstelle gekommen ist.

Allerdings muss man feststellen, dass bei dammparallelen Profilen die Änderung des Wasserspiegels einen viel stärkeren Effekt auf die Messungen hat, als eine mögliche Infiltration selbst (3D-Effekt). Diesen Effekt gilt es bei der Wahl der Messkonfiguration und der Profilgeometrie zu berücksichtigen.

Literatur

JARITZ, W., REITERER, A. & SUPPER, R. (2004): Landslide Rindberg (Vorarlberg): Multidiscipline Research. – Proceedings of the 10th Interpraevent Congress, 173–184, Riva del Garda.

KIM, J.-H., YI, M.-J., PARK, S.-G. & KIM, J.G. (2009): 4-D inversion of DC resistivity monitoring data acquired over a dynamicaly changing earth model. – Journal of Applied Geophysics, **68**, 522–532, Amsterdam.

LOVISOLO, M. (2011): Bagnaschino Landslide: From early warning to site-specific kinematic analysis. – Berichte der Geologischen Bundesanstalt, **82**, 68 S., Wien.

RUPP, C. (2008): Geologische Karte der Republik Österreich 1:50.000, Blatt 47 Ried im Innkreis. – 1 Bl., Geologische Bundesanstalt, Wien.

SUPPER, R., OTTOWITZ, D., JOCHUM, B., KIM, J.H., RÖMER, A., BARON, I., PFEILER, S., LOVISOLO, M., GRUBER, S. & VECCHIOTTI, F. (2013): Geoelectrical monitoring: an innovative method to supplemented landslide surveillance and early warning. – Near surface geophysics, **12**/1, 133–150, Houten. DOI: <https://dx.doi.org/10.3997/1873-0604.2013060>

Abb. 7.
Differenzendarstellung des 4D-Inversionsergebnisses der Messungen während und nach dem Hochwasserereignis am Hochwasserschutzdamm bei Tuttendörf.

