

Geophysikalische Untersuchungen am Gschlifgraben

DAVID OTTOWITZ (1), EDMUND WINKLER (1), IVO BAROŇ (2), ANDREAS AHL (1), STEFAN PFEILER (1), PETER SLAPANSKY (1), BIRGIT JOCHUM (1), ALEXANDER RÖMER (1) & ROBERT SUPPER (1)

Einführung und Geologie

Im Gschlifgraben liegt ein tektonisches Fenster des Ultrahelvetikums (UHV) zwischen der penninischen Rhenodanubischen Flyschzone (RFZ) im Norden und den oberostalpinen Nördlichen Kalkalpen (NKA) im Süden vor (Abb. 1). Die Flysch-Hauptdecke umfasst Quarzsandsteine, glimmerreiche Sandsteine, Siltsteine, Tonsteine und -mergel sowie Kalksandsteine und -mergel. In den NKA finden sich überwiegend Karbonate, untergeordnet Haselgebirge, Kieselschiefer und Mergel. Das UHV setzt sich hauptsächlich aus stark deformierten bunten Mergeln und Kalkmergeln der Buntmergelerde (BMS) zusammen. Der oberste Abschnitt des Gschlifgrabens wird durch Moränen und eine quartäre Hangschuttbrekzie, die sich in Riesenblöcke auflöst, überlagert. Durch unterschiedliche Verfügbarkeit des Materials im Laufe der Zeit und durch unterschiedliche Transport- und Ablagerungsbedingungen entstand ein intern inhomogen aufgebauter Schuttkegel mit im Bereich des Schwemmkegels nebeneinanderliegenden Paketen von weniger bzw. stärker durchlässigem Material und einer Wechsellage-

rung von bindigen und weniger bindigen Materialien (G. MOSER, nach GASPERL, 2010: 49). Im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojektes (2004–2007) der Österreichischen Akademie der Wissenschaften (ÖAW) wurden umfassende geologisch-geophysikalische Untersuchungen der Gschlifgrabensedimente (MILLAHN et al., 2008) durchgeführt. Der Schwerpunkt der geophysikalischen Messungen lag bei seismischen und geoelektrischen Verfahren (NIESNER & WEIDINGER, 2008; WEIDINGER et al., 2007).

Ergiebige Niederschläge aktivierten im April 2006 eine rasch ablaufende Umlagerung von Gestein und Erdstrommaterial in den Akkumulationsbereich des Gschlifgrabens und Ende November 2007 setzten sich die akkumulierten Erdmassen (3,8 Mio. m³ Erdstrommaterial) in Bewegung. In dem folgenden Katastropheneinsatz leitete die Wildbach- und Lawinenverbauung (WLV) mit einem Expertenstab die umfangreichen Sanierungsmaßnahmen. Nach dem Abschluss der Sanierungsarbeiten wurde von der Geologischen Bundesanstalt (GBA) im September 2009 zur Erkundung und Überwachung der Massenbewegung ein detailliertes Untersuchungsprogramm (Abb. 2) begonnen. Mit den Multiparameter-Daten aerogeophysikalischer Befliegungen 2009 (Abb. 3) und 2016 wurde ein großräumiger Überblick der geologischen Situation ermittelt. Die in mehreren Einsätzen in den Jahren 2008 bis 2010 gemessenen 13 Geoelektrik Profile dienen zur Verifizierung der aereoelektromagnetischen (AEM) Daten, der Bestimmung der Struktur des Rutschkörpers bzw. dessen Ausdehnung, als auch zusammen mit den von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) durchgeführten vier Georadar-Profilen zur Lokalisierung der geeigneten Positionen für zwei geoelektrische Monitoring-Profilen und ein automatischer Inklinometer (Abb. 2).

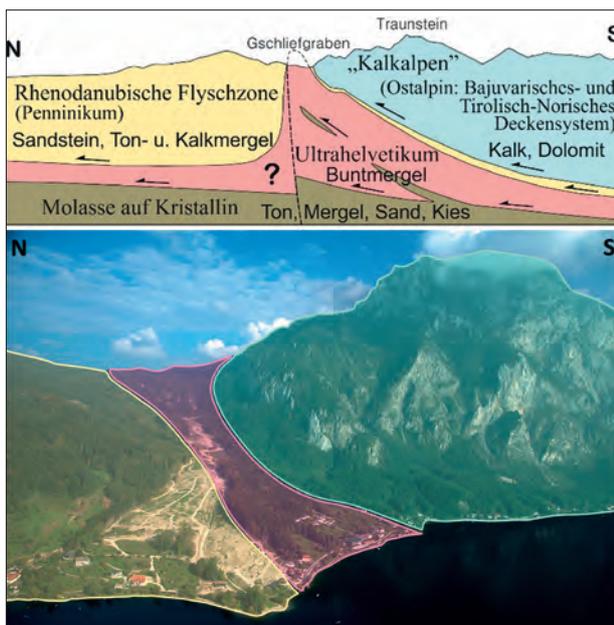


Abb. 1. Gschlifgraben-Rutschgebiet von Westen mit einem schematischen N–S-Profil des tektonischen Baues.

(1) Geologische Bundesanstalt, Neulinggasse 38, 1030 Wien. david.ottowitz@geologie.ac.at

(2) Naturhistorisches Museum Wien, Burgring 7, 1010 Wien.

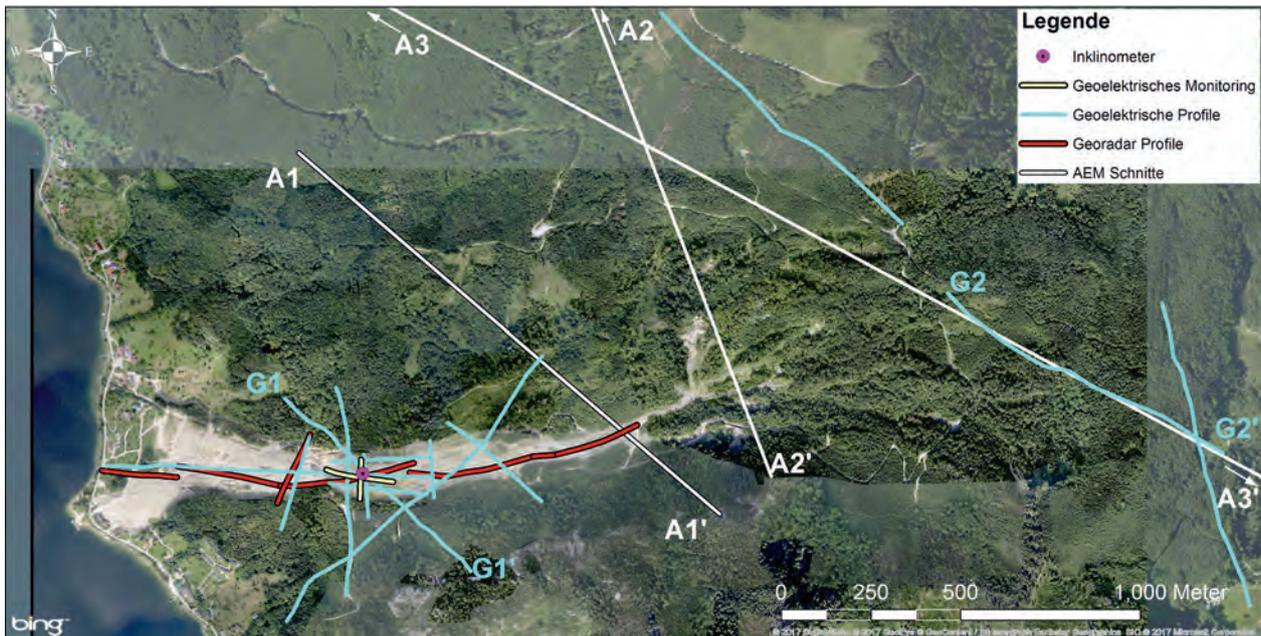


Abb. 2.
Lage von Inklinometer, Goelektrik, Georadar und Monitoring-Profilen und drei AEM-Profileschnitten.

Aerogeophysik und Goelektrik

Die für aerogeophysikalische Messungen relevanten physikalischen Eigenschaften von Mineralien bzw. Gesteinen sind unter anderem die elektrische Leitfähigkeit, die magnetische Suszeptibilität, Gammastrahlung radioaktiver Isotope und Bodenfeuchte. Bei den mit einem Hubschrauber des Bundesheeres durchgeführten aerogeophysikalischen Messungen werden folgende physikalischen Parameter des Untergrundes bestimmt:

- Der spezifische elektrische Widerstand bis zu Tiefen von mehreren 10er Metern mit einem Inversionsprogramm aus den Messwerten des AEM Systems mit vier Frequenzen;
- der Gehalt an den natürlichen Radionukliden Kalium, Uran, Thorium und dem anthropogenen Cäsium-137 wird aus der mit einem Gammastrahlenspektrometer gemessenen Gammastrahlung der oberflächennahen Gesteine und Böden ermittelt;
- die Totalintensität des erdmagnetischen Feldes durch ein Absorptionszellen-Magnetometer vom Typ Scintrex CS-2. Dargestellt wird die Anomalie der magnetischen Totalintensität;
- die Bodenfeuchte der obersten Zentimeter des Erdbodens in Prozent-Wassergehalt. Um den Wassergehalt berechnen zu können, wird mit einer passiven L-Band-Antenne die

vom Untergrund bei 1,4 GHz reflektierte Strahlung gemessen und zusätzlich

- die Oberflächentemperatur des Erdbodens mit einem Infrarotsensor bestimmt.

Die goelektrischen Messungen wurden mit dem von der GBA entwickelten Messgerät Geomon4D durchgeführt (siehe Abstract „Entwicklung des goelektrischen Messsystems der GBA“, RÖMER et al., 2017). Die Elektrodenabstände variieren bei den einzelnen Profilen je nach erforderlicher maximaler Eindringtiefe und reichen von 2,5 bis 10 m, womit die Verteilung des spezifischen elektrischen Widerstandes bis zu einer Tiefe von etwa 150 m abgebildet werden kann.

Aus Goelektrik und AEM-Messungen werden Verteilungen des spezifischen elektrischen Widerstandes im Untergrund berechnet. Da der spezi-

Abb. 3.
Fluglinien der Aerogeophysik 2009 (Amap Fly 5.0).



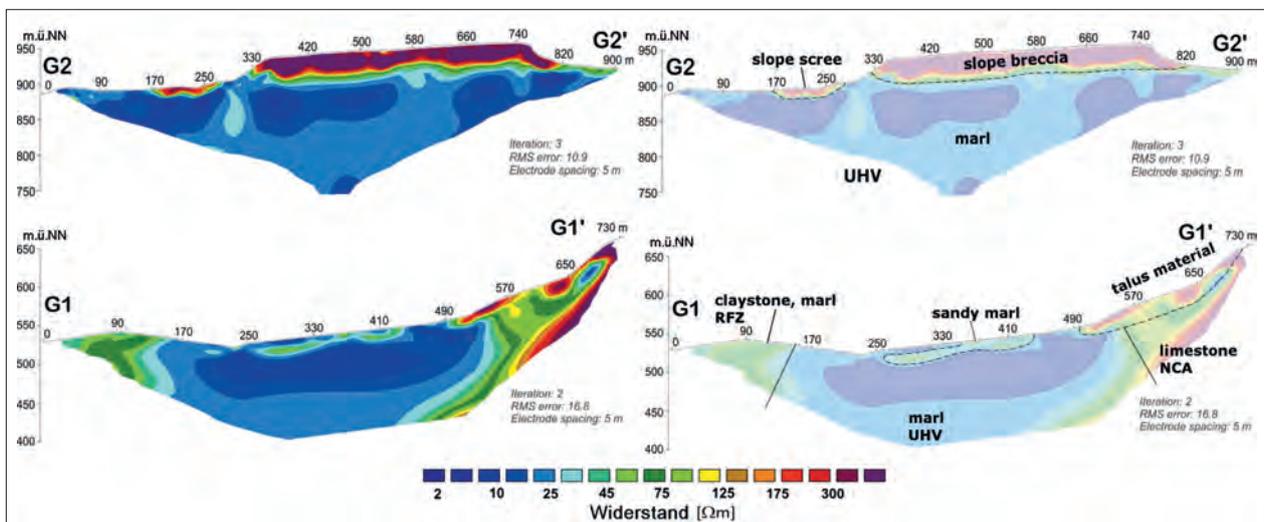
fische elektrische Widerstand von Gesteinen am stärksten vom Wassergehalt (neben Porosität, Tongehalt etc.) beeinflusst wird, Durchfeuchtung wiederum einen großen Einfluss auf die Hangstabilität hat und damit ein Hauptfaktor bei der Entstehung von Rutschungen ist, eignen sich die Methoden der Geoelektrik und Elektromagnetik besonders, um die Struktur von Rutschkörpern und deren Umgebung zu untersuchen. Mitunter können sie durch die gewonnenen Informationen über hydrologische Verhältnisse des Untergrundes auch ein besseres Verständnis für Auslösefaktoren der Massenbewegung liefern.

Im Gschlifgraben lassen sich die Tongesteine der BMS und deren Verwitterungsprodukte in den Widerstandsprofilen dem Widerstandsbe- reich 2–30 Ωm zuordnen. Im Norden und Osten werden die niederohmigen Bereiche der BMS von Bereichen mit mittlerem (50–100 Ωm) und hohem (> 150 Ωm) Widerstand, die verschiedenen lithologischen Einheiten (Tonstein und Mergel bzw. zwischengelagerte Sandsteinschichten) der RFZ zuzu- ordnen sind, begrenzt (Abb. 4: Profil G1; Abb. 5: Profile A1, A2). Die hochohmigen Bereiche im Sü- den stellen kalkalpines Material dar. Am Ostende des UHV, am Hochkamriedel (Abb. 4: Profil G2), liegt über dem niederohmigen Widerstandsbe- reich der BMS eine hochohmige (> 300 Ωm) bis zu 40 m mächtige Schicht Hangschuttbrekzie, die auch im AEM Profil A3 bei Profilmeter 2.700 (Abb. 5) zu erkennen ist. Der Vergleich von Geo- elektrik-Profil G2 und dem AEM-Profilschnitt A3 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung in den Wi- derstandsverteilungen, wenngleich die Geoelek- trik, hier bei einem Elektrodenabstand von 10 m, eine bessere Auflösungs Genauigkeit hat. Die AEM

liefert zwar eine geringere Auflösung, hat aber den Vorteil, dass mit relativ wenig Aufwand groß- flächig Daten aufgezeichnet werden und, sofern diese vorliegen, im besagten Bereich beliebi- ge Tiefenschnitte generiert werden können, die wichtige Informationen für das Verständnis re- gionaler geologischer Strukturen zur Verfö- gung stellen. Der AEM-Profilschnitt A2 in Abbildung 5 beginnt im Norden am Hochgschirr, quert den obersten Teil der Gschlifgrabenrutschung und endet am Nordhang des Traunsteins im Kalkalpin. Im Norden gibt der Widerstandstiefenschnitt An- lass zur Vermutung, dass die BMS-Einheit unter die RFZ am Gaisbühel abtaucht. Auch MILLAHN et al. (2008) folgern aus einem in der Nähe von Profil A2 liegendem Geoelektrik-Profil, dass der Gaisbü- hel durch eine mehrere Zehnermeter mächtige, niederohmige, instabile Schicht unterlagert wird. Im Weiteren geben die Widerstandsverhältnisse am südlichen Ende der Profile A1 und A2 einen Hinweis auf ein Abtauchen der BMS auch unter das Kalkalpin. Auch in weiteren hier nicht gezei- gten AEM-Profilschnitten lässt sich dieses Abtau- chen der BMS unter die sie im Norden und Süden begrenzenden Einheiten der RFZ und der NKA ver- muten.

Ein interessanter Detailaspekt ist, dass sich Pro- fil G1 und das Monitoring-Profil überkreuzen und ein Vergleich dieses Bereiches unter Berücksich- tigung der unterschiedlichen Eindringtiefe bzw. Auflösung eine gute Übereinstimmung bringt. Im Geoelektrik-Profil G1 (10 m Elektrodenabstand)

Abb. 4. Inversionsergebnisse und geologische Interpretation der Geoelektrik-Profile G1 und G2.



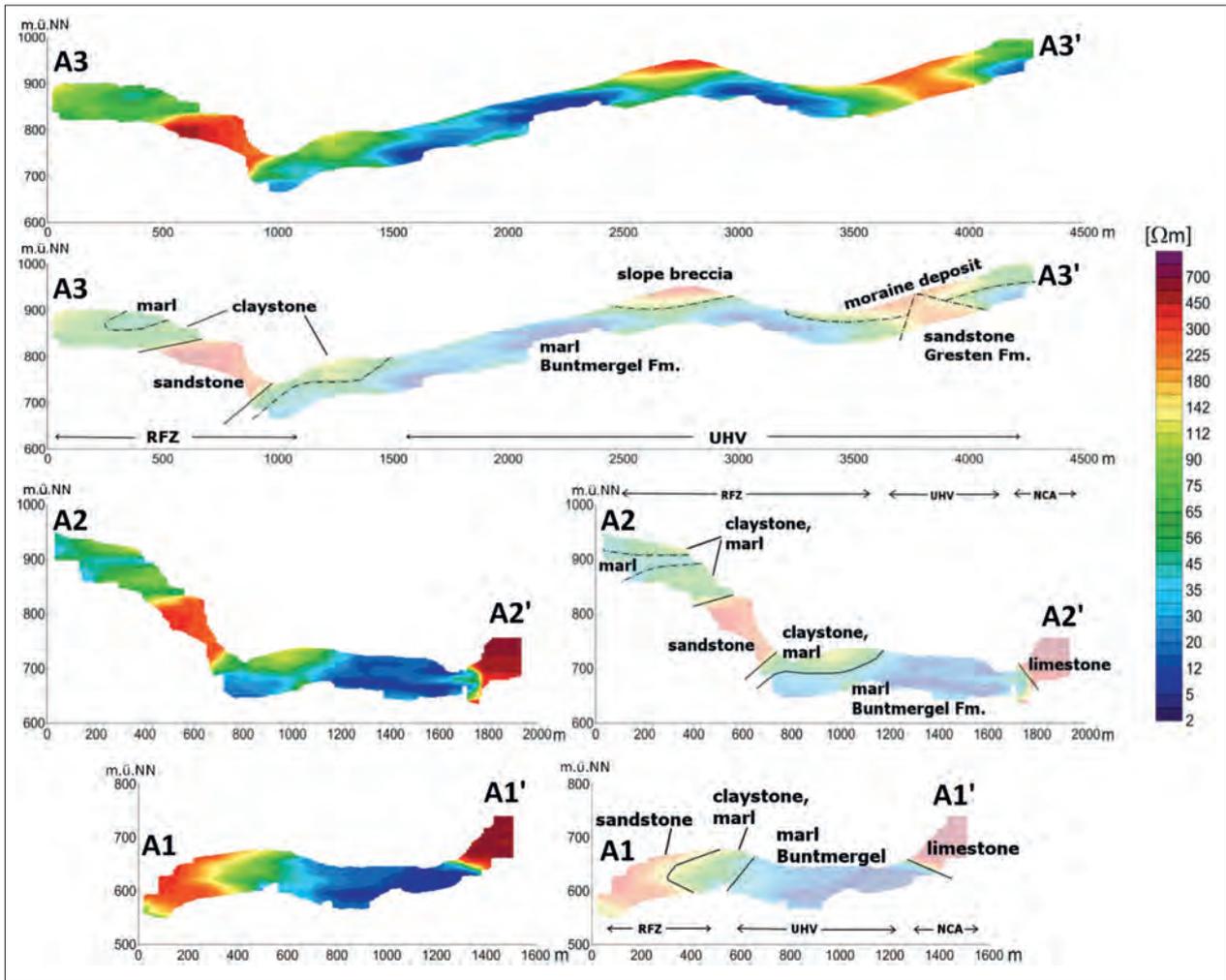
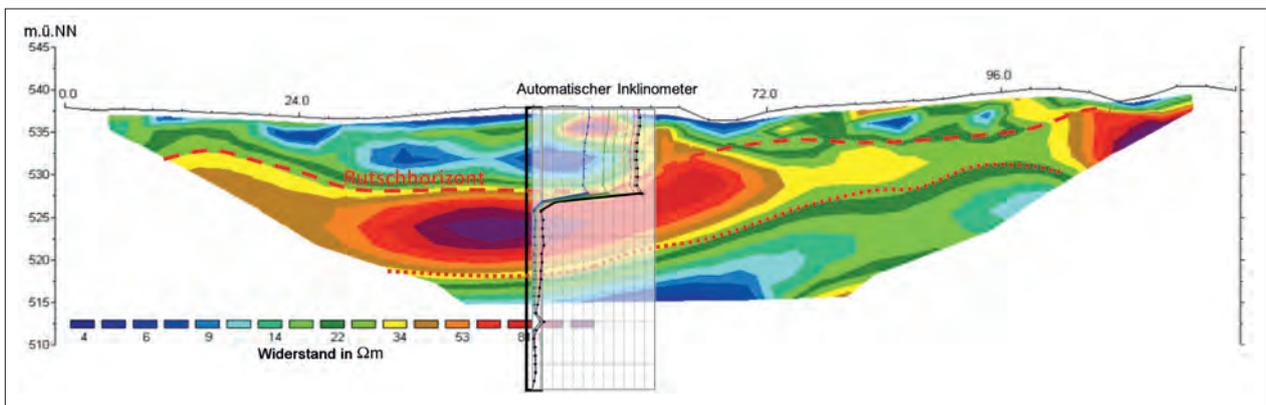


Abb. 5. Inversionsergebnisse AEM 2009 und geologische Interpretation – Profilschnitte (Lage siehe Abbildung 2).

ist von Profilmeter 250 bis 430 ansatzweise eine höherohmigere Schicht, die als sandiger Mergel interpretiert wird, zu erkennen (Abb. 4). Diese zeigt sich auch im Monitoring-Profil (3 m Elektrodenabstand), wobei die obere Grenzfläche dieser Schicht anhand der Inklinometer-Ergebnisse als aktiver Rutschhorizont auszuweisen ist (Abb. 6). Dieses Ergebnis zeigt exemplarisch, inwiefern die mittels Geoelektrik oder auch AEM erhalte-

Abb. 6. Monitoring-Querprofil: Korrelation der Widerstandsstruktur mit der tiefenabhängigen Horizontalverschiebung des Inklinometers.

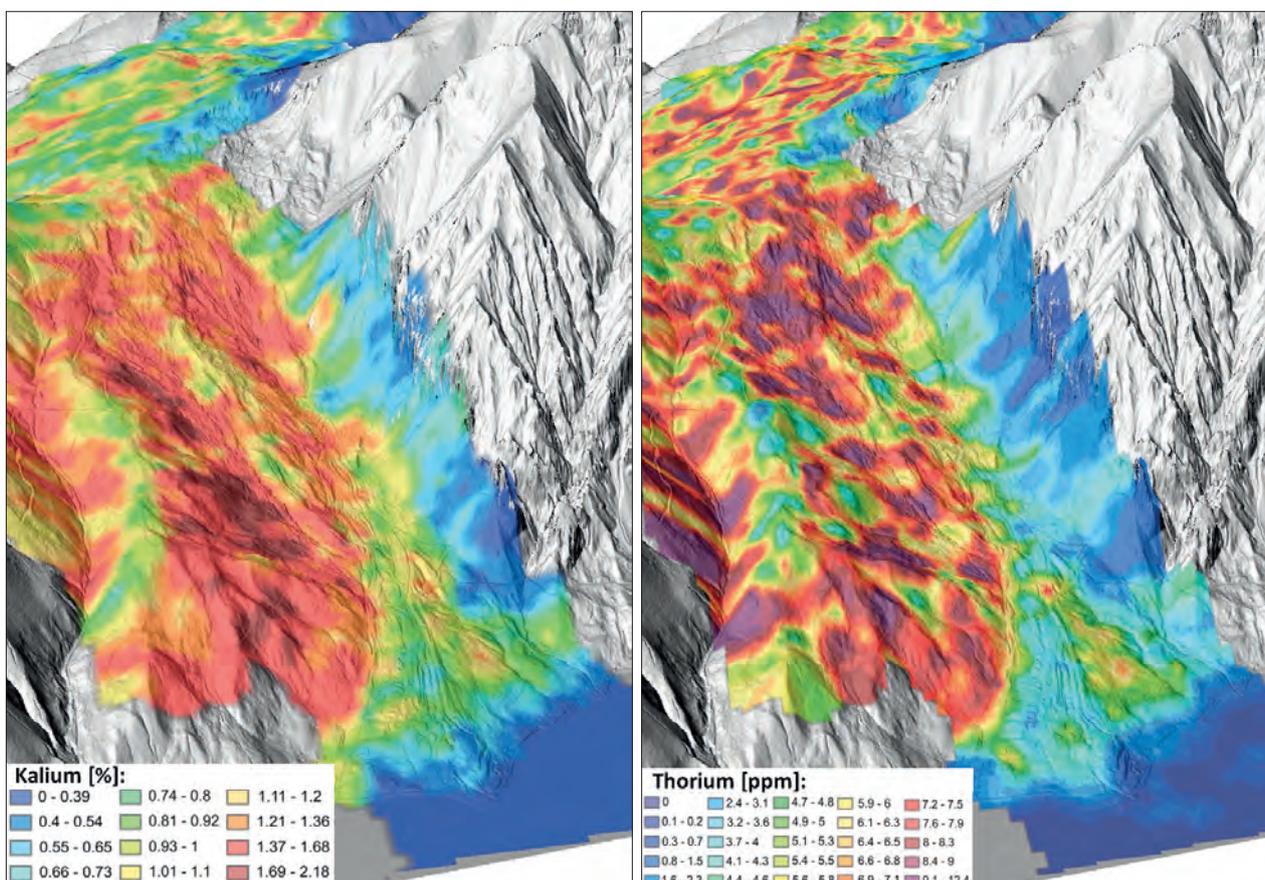


ne Widerstandsstruktur des Untergrundes mit geotechnischen Daten korreliert und für entsprechende weiterführende Interpretationen genutzt werden kann. Eine detaillierte Betrachtung der Monitoring-Ergebnisse erfolgt im Beitrag „Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschlifgraben“ von JOCHUM et al. (2017). An dieser Stelle soll nur die Übereinstimmung der beiden sich kreuzenden Profile hervorgehoben werden, um die geologische Interpretation von Profil G1 zu untermauern.

Die Verteilungen von Kalium und Thorium der aeroradiometrischen Messdaten im Gschlifgrabengebiet zeigen ähnliche Grundstrukturmuster und sind hauptsächlich von der Lithologie des Herkunftsmaterials bestimmt (Abb. 7). Im Allgemeinen finden sich hohe Konzentrationen an Kalium und Thorium in Ton, Mergel und Tonstein der UHV und RFZ, wobei der absolute Wert vom Verwitterungsgrad der Gesteine abhängt. Stark verwitterte Tone oder Mergel zeigen höhere Werte als Bereiche mit Mergel und Tonstein. Die höchsten

Werte treten in den kolluvialen Ablagerungen alter oder nicht aktiver Hangrutschungen in der RFZ und in den aktiven oder alten Hangrutschungsbereichen des UHV auf. Niedrige Werte finden sich in Bereichen mit kalkalpinem Material und an einigen Stellen mit anstehendem Sandstein der RFZ, der quartären Hangschuttbrekzie im Osten und dem Schuttkegel des Gschlifgraben-Erdstroms. In den Thorium- und Kalium-Verteilungen lassen sich Areale rezenter Rutschungsvorgänge durch ihre unterschiedliche Charakteristik unterscheiden. Niedrige Werte in der „Reiseten Schütt“ am Ostende des Gschlifgrabens weisen darauf hin, dass hier die Tone der UHV von mobilisiertem Material der Hangschuttbrekzie des Hochkampriedels oder von kalkalpinem Hangschutt des Traunsteins überlagert werden. Westlich davon zeigen hohe Werte, dass in diesem Bereich das Oberflächenmaterial von stark verwittertem Ton und Mergel des UHV dominiert wird. Im mittleren Teil des jüngsten Rutschungsbereiches kann die wechselnde Abfolge von Bereichen mit hohen und niedrigen Werten (hauptsächlich im Thorium) durch abwechselndes Einströmen von UHV (hohe Werte) und NKA-Material (niedrige Werte) erklärt werden. Ein scharfer Kontrast von niedri-

Abb. 7. Kalium- und Thorium-Konzentrationen 2009, 3D-Ansicht von West.



gen zu hohen Werten grenzt am westlichen Ende des Gschlifgrabens den Bereich der jüngsten Rutschung von historischen Rutschungsbereichen im Norden ab.

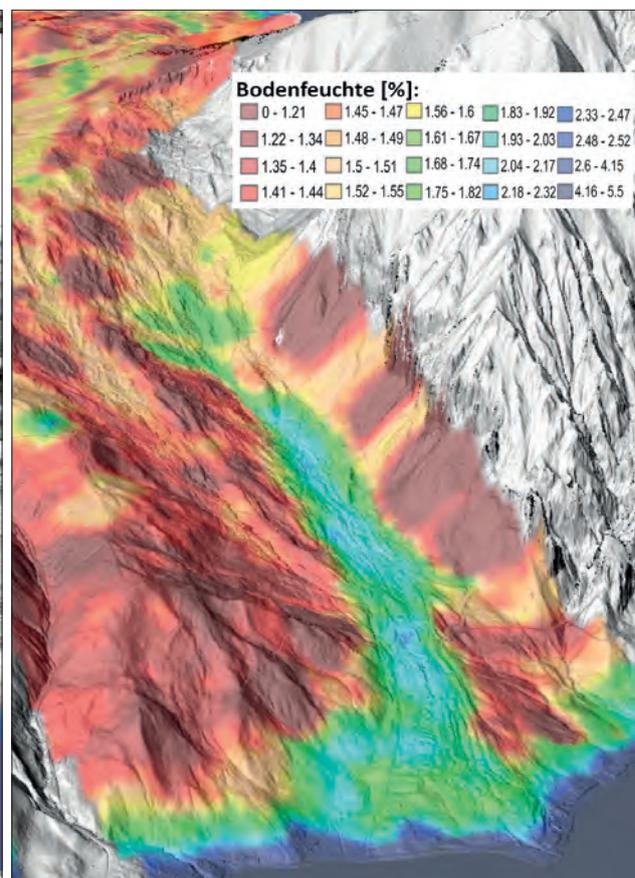
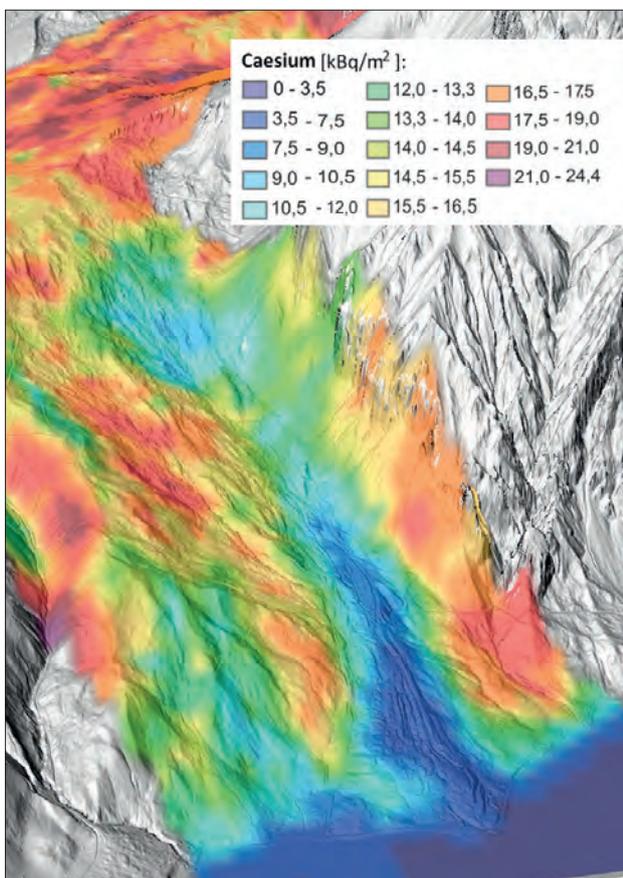
Das beim Reaktorunfall von Tschernobyl (Ukraine) im Jahr 1986 freigesetzte radioaktive Isotop Cäsium-137, mit einer Halbwertszeit von 30 Jahren, ist in österreichischen Böden noch immer weit verbreitet. In tonreichen, ungestörten Böden binden sich die Cäsium-Ionen fest an illitische Tonminerale und sind aufgrund der Fixierung in den Kristallgittern der Tonminerale vor Auswaschung in tiefere Bodenschichten geschützt. Durch den offenen, gelockerten Boden in aktiven Rutschungsbereichen und das Fehlen einer Pflanzendecke wird die oberflächennahe Feinfraktion bei Niederschlagsereignissen bevorzugt ausgewaschen. Dies vermindert in der oberflächennahen Schicht den Gehalt an Tonmineralen im Vergleich zu den Karbonaten und Quarz in der stabilen Grobfraktion, und reduziert damit den Cäsiumgehalt. Die Verteilung der Flächenaktivität von Cäsium-137 korreliert sehr gut mit Flächen, bei denen aufgrund von Rutschungsvorgängen oder Sanierungsmaßnahmen die oberste Bodenschicht entfernt bzw. gestört wurde (Abb. 8). Die Ausdeh-

nung rezenter Rutschungsereignisse lässt sich mit dieser Methode einfach abgrenzen.

Beim Vergleich der magnetischen Totalintensität des Erdmagnetfeldes und der Cäsium-Flächenkonzentration in den Befliegungen 2009 und 2016 zeigte sich sowohl eine signifikante Abnahme der Anomalie der magnetischen Totalintensität bis zu 10 nT, als auch eine über den natürlichen Zerfall hinausgehende Abnahme des Cäsiumgehalts im Bereich der Großrutschung 2007–2008 gegenüber den Randbereichen des Gschlifgraben-Rutschgebietes. Im Gschlifgrabengebiet haben nur Gesteine mit einem hohen Anteil an Tonmineralen eine nennenswerte magnetische Suzeptibilität und an Tonminerale in den Böden des Rutschgebietes wird Cäsium fix gebunden. Eine mögliche Interpretation dieser Ergebnisse ist eine signifikante Reduzierung des Tonmineralgehaltes in der Rutschmasse im Zeitraum von sieben Jahren.

In der flächenhaften Darstellung der Bodenfeuchte (Abb. 8) treten die höchsten Werte im Bereich der jüngsten Erdströme, in Zonen mit noch

Abb. 8.
Caesium-Flächenaktivität und Bodenfeuchte 2009,
3D-Ansicht von West.



signifikanten Rutschungsbewegungen entlang des Fußes der NKA, auf. Dies könnte ein Hinweis auf das Einströmen von Karstwasser der NKA sein. Da aktive Rutschungen häufig mit hohem Wassergehalt in den obersten Erdschichten zusammenhängen und ein erhöhter Anteil an Bodenfeuchte ein Auslöser für eine Massenbewegung sein kann, ist eine Kartierung der Bodenfeuchte ein vielversprechender Indikator für aktive und potenzielle Massenbewegungen.

Fazit

Die hier exemplarisch dargestellten Ergebnisse der geophysikalischen Untersuchungen am Gschlifgraben zeigen, inwiefern die angewendeten Methoden die geologisch lithologischen Unterschiede des Gebietes anhand von unterschiedlichen Parametern (spezifischer elektrischer Widerstand, Konzentration radioaktiver Isotope, Bodenfeuchte) abbilden. Dies kann einerseits dazu verwendet werden, geologische Karten zu verfeinern und andererseits können für die Hangrutschung und deren Entwicklung interessante Bereiche identifiziert werden, die dann gezielt mit höherauflösenden geophysikalischen oder geotechnischen Methoden genauer untersucht werden können.

Literatur

- GASPERL, W. (2010): Katastrophenbewältigung und Maßnahmen im Gschlifgraben Gmunden/Oberösterreich. – In: WEIDINGER J.T. & G. KÖCK (Hrsg.): ÖAW-Gschlifgraben-Symposium, Proceedings vom 1. April 2009. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 45–58, Wien.
- JOCHUM, B., OTTOWITZ, D., GRUBER, S., SUPPER, R. & ITA, A. (2017): Geophysikalisches und Geotechnisches Monitoring am Gschlifgraben. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 202–203, Wien.
- MILLAHN, K., GRASSL, H., HYDEN, W., KERSCHNER, F., MORAWETZ, R., NIESNER, E., SCHMID, C., WEBER, F. & WEIDINGER, J.T. (2008): Geophysical research in the Gschlifgraben near Gmunden/Upper Austria featuring its mass-movement-system (in German language). – Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt, **148/1**, 117–132, Wien.
- NIESNER, E. & WEIDINGER, J.T. (2008): Investigation of a historic and recent landslide area in Ultrahelvetic sediments at the northern boundary of the Alps (Austria) by ERT measurements. – *The Leading Edge*, **27/11** (Special Section: Near-surface), 1498–1509, Tulsa.
- RÖMER, A., SUPPER, R., KREUZER, G., JOCHUM, B., OTTOWITZ, D. & PFEILER, S. (2017): Entwicklung des geoelektrischen Messsystems der GBA. – Tagungsband zur Arbeitstagung der Geologischen Bundesanstalt 2017, 213–214, Wien.
- WEIDINGER, J.T., NIESNER, E. & MILLAHN, K. (2007): Interpretation angewandt geologisch-physikalischer Untersuchungen in der Gschlifgraben-Rutschung am Traunsee-Ostufer (Gmunden/Oberösterreich). – Arbeitstagung 2007 der Geologischen Bundesanstalt, Grünau im Almtal, Ried im Innkreis, 57–72, Wien.