

Kurzbericht:

**Einrichtung eines
Goelektrik-Permafrost-Monitorings
an der Zugspitze**

Auftraggeber:

LFU / Dr. A. v. Poschinger

Auftragnehmer:

M. Krautblatter, M.A.

Abkürzungen:

ERT Elektrische Resistivitäts-Tomographie

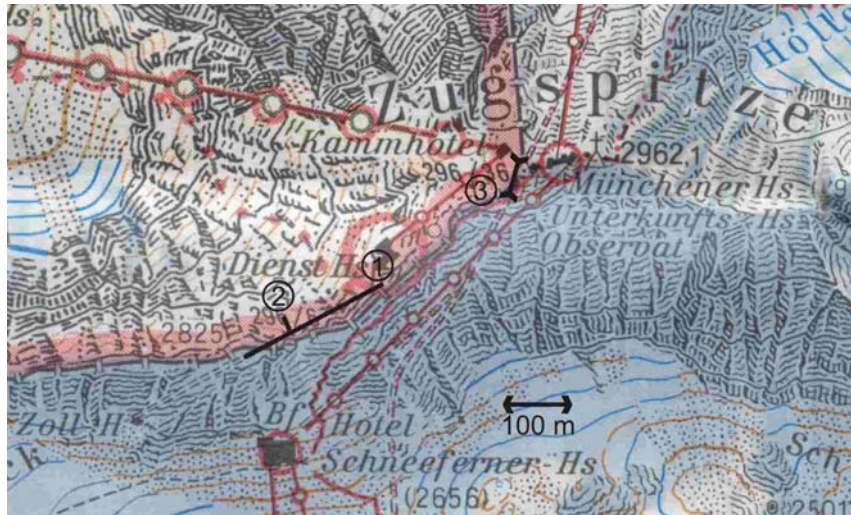


Abb. 1: Überblick über die Position der fünf ERT-Transekte. Die Bereiche, in denen Elektroden installiert wurden, sind schwarz gekennzeichnet. Vier Transekte befinden sich in dem unterirdischen Stollen, der vom Diensthaus zum Schneefernerhaus führt. Der Eingang von der Diensthausseite wurde mit Nr. 1 bezeichnet; der Nordwandausgang des Seitenganges mit Nr. 2. Nr. 3 markiert das westexponierte Außentransekt.

Methodik

Fünf Geoelektrik-Monitoring-Transekte wurden im Gipfelbereich der Zugspitze installiert. Die Transekte dienen dem Monitoring von gefrorenen Felsbereichen. Da die Leitfähigkeit von Felsen wesentlich von der elektrolytischen Leitfähigkeit des Porenwassers gesteuert wird, zeichnen sich gefrorene Felsbereiche in Tomographien als Bereiche mit deutlich erhöhter Resistivität ab (Krautblatter and Hauck accepted). Messreihen von Wettersteinkalken und alpinen Muschelkalken im Karwendel (Sass 2004 and personal comm.) belegen einen Frostübergang bei ca. 20 k Ω m. Testmessungen im Wettersteinkalk der Zugspitze unterstützen diese Messungen und zeigen dass oberflächlich gefrorener Fels Resistivitätswerte von 20-100 k Ω m aufweist; der Phasenübergang müsste demnach zwischen 20 und 30 k Ω m stattfinden.

Alle Transekte wurden mit einer ABEM SAS 300C Geoelektrik mit 41 Elektroden gemessen. Ergänzt wurde die Apparatur durch einen ABEM Booster, der die angelegten Spannungen im Bedarfsfall auf bis zu 800 V steigern kann und so die Messgenauigkeit erhöht. Eingesetzt wurden ausschließlich Wenner-Konfigurationen mit 190 Kombinationen, da sich diese unter schwierigen Messbedingungen in gefrorenen Medien als besonders zuverlässig erwiesen haben (Hauck 2001). Invertiert wurden die Ergebnisse mit der Software Res2DInv (Loke and

Barker 1996). Um den hohen Resistivitätsdifferenzen Rechnung zu tragen, wurde das Invertierungsmodell verfeinert („mesh refinement“) und die Daten im Modus „robust inversion“ invertiert. Die hohen Resistivitätsgradienten führen zu RMS-Fehlern im Bereich von 10-20 %, da schon geringe räumliche Differenzen von scheinbarer Resistivitätsverteilung und Inversionsmodell zu starken Resistivitätsdifferenzen führen.

Übersichtstransecte im Schneefernerhaus-Tunnel

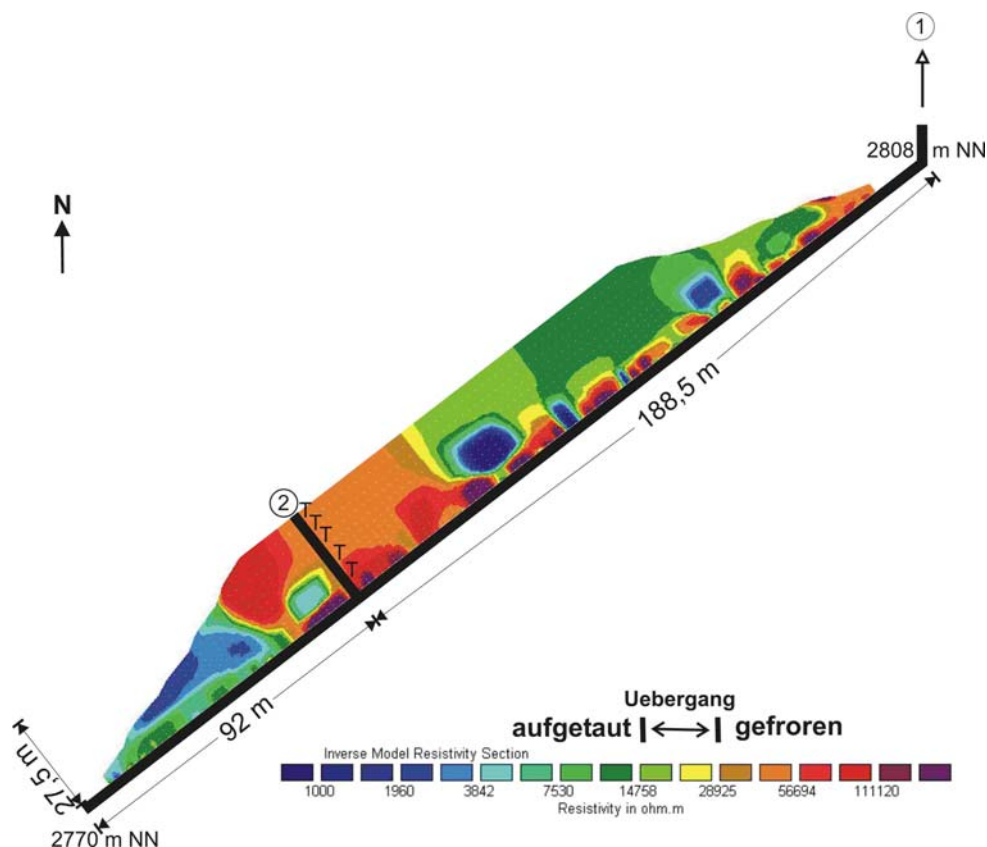


Abb. 2: Kombinierte Übersichtstomographie aus zwei „Wenner-Arrays“ im Schneefernerhaus-Tunnel. Nr. 1 und 2 entsprechen der Beschriftung in Abb. 1. „T“ steht für die Positionen, die mit Temperaturloggern ausgestattet wurden. Gemessen am 22. und 23.2.2007.

Abb. 2 zeigt zwei Typen gefrorener Felsbereiche. (i) Gefrorene Bereiche an der Tunnelwand deuten auf saisonale Abkühlung der tunnelnahen Bereiche durch die im Gang herrschenden Lufttemperaturen unter 0°C hin. (ii) Im Bereich des Seitenganges befindet sich ein ausgedehnter gefrorener Festkörper, der aufgrund seiner Ausdehnung und seiner Geländecharakteristika (ganzjährig Dezimeter dickes Eis im Mittelbereich des Seitentunnels) im Kern als Permafrostkörper identifiziert werden muss. Die Entwicklung dieses Frostkörpers wird wahrscheinlich durch den nordexponierten, steilen und somit ganzjährig schneefreien Außenwandbereich bei Gangfenster Nr. 2 begünstigt (siehe Abb. 3).

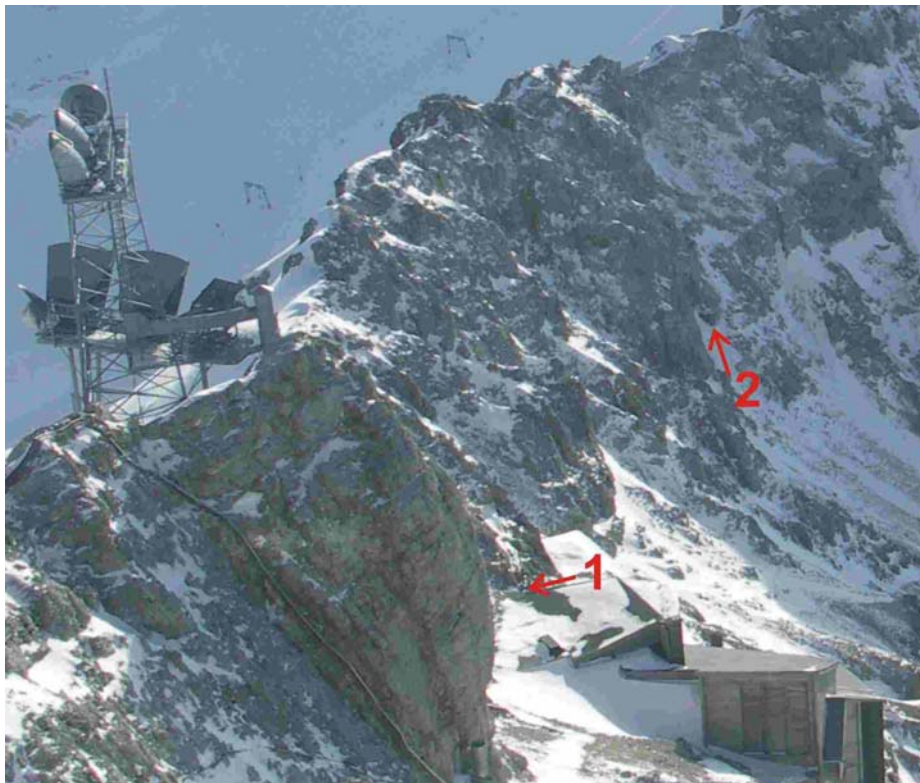


Abb. 3: Außenansicht des Gangtransekts von Abb. 2. Die Beschriftungen entsprechen denen aus Abb. 1 und 2.

Detailtransekte im Gangbereich

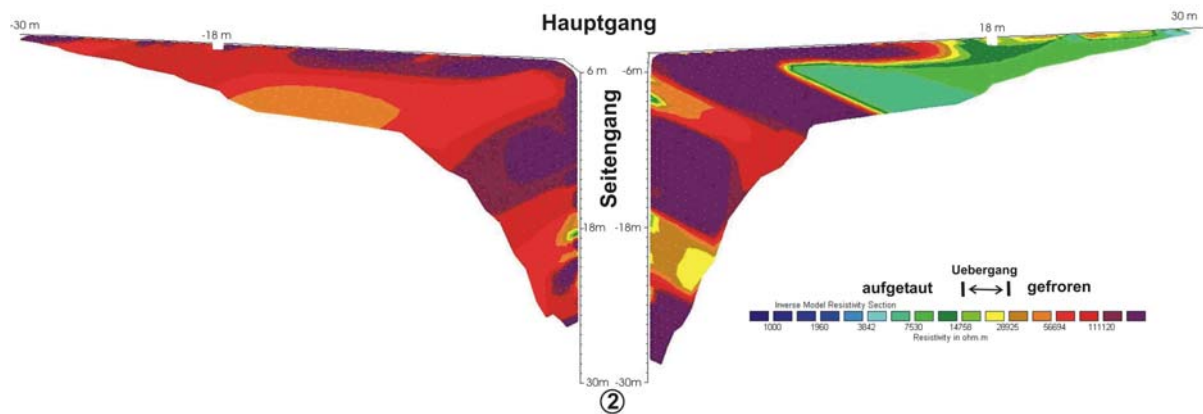


Abb. 4: Zwei Detailtransekte des Nebengangbereichs bei Gangfenster Nr.2 (siehe Abb. 1-3). Gemessen am 23. (links/östlich) und 24.2.2007 (rechts/westlich) mit einem RMS-Error von 12,7 % und 16,8 %.

Der Seitengangbereich ist fast komplett gefroren. Im Seitengang bei (18m bzw. -18 m) zieht eine wenige Meter breite, stark zerlegte Störungszone durch, die niedrigere Resistivitätswerte aufweist; möglicherweise auch die advective Zuführung von Kluftwasser begünstigt. Eine weitere ausgedehnte Störungszone verläuft westlichen (Abb. 4 rechten) Gangteil ab ca. 16 m.

Westexponiertes Außentranssekt (2945 m NN)

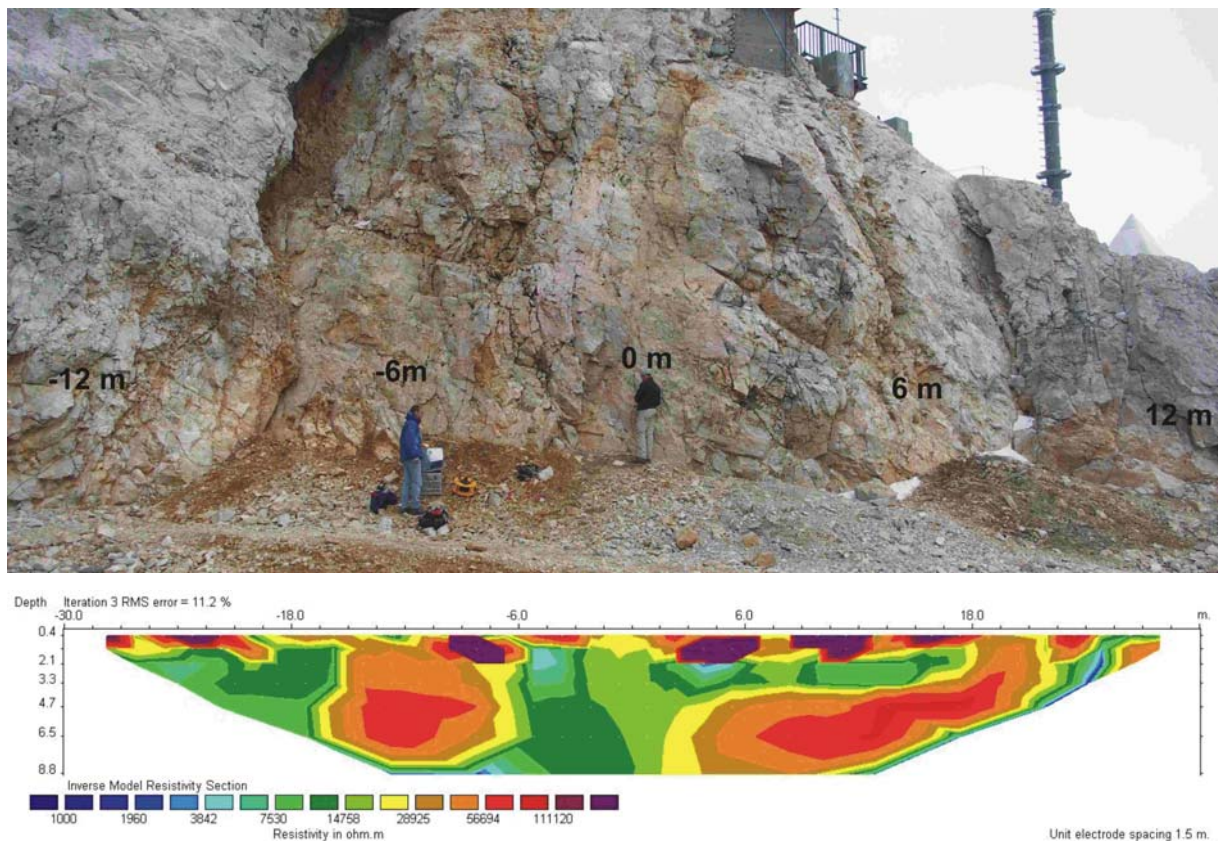


Abb. 5: ERT-Messung des westexponierte Außentranssekt am 23.10.2006 mit einem RMS Error von 11,2%.

Das westexponierte Außentranssekt an der Gipfelstation der österreichischen Zugspitzbahn zeigt zwei hochresistive Bereiche im kompakten schneefreien Fels, bei denen es sich um Permafrostkörper handeln könnten. Über die Persistenz dieser Körper müssen weitere Messungen Aufschluss geben.

Installation Felstemperaturlogger



Abb. 6: Im Seitengang installierter Minilogger. Direkt rechts daneben ist eine überreifte Elektrode platziert.

Fünf UTL-Minilogger wurden im Nebengang im Abstand von 2,5 m, 5 m, 10 m, 15 m und 20 m von der Außenwand installiert (Position siehe Abb. 2). Das Profil greift das durch äußere Einflüsse am wenigsten gestörte Temperaturprofil ab und dient gleichzeitig zur Kalibrierung der Elektrikdaten. Die Messspitzen der Minilogger greifen stündlich Felstemperaturen in 40 cm Tiefe ab.

Messprogramm

Die ERT-Messungen sollen im zweimonatigen Abstand wiederholt werden. Nachfolgende Tomographien können mittels einer „Time-Lapse“-Inversion mit dem gleichen Modell invertiert werden und somit können relative und absolute Resistivitätsänderungen festgestellt werden. Die Minilogger liefern Temperaturwerte zum Kalibrieren und Validieren der Modelle. Zur Kalibrierung von Temperatur-Resistivitätskurven im Labor wurden Proben von Wettersteinkalken entnommen.

Interpretation der Messungen

In allen fünf Transekten wurden hochresistive Bereiche festgestellt, die deutlich im Wertebereich von gefrorenen Felsen liegen. Ausmaß, Lage und Feldbefunde (Begehung im Oktober) deuten darauf hin, dass es sich in jedem Fall bei dem Schneefernerhaus-Seitengang, wahrscheinlich auch beim westexponierten Außentranspekt um Permafrostkörper handelt. Die Lage der hochresistiven Körper ist streng an Felswände gebunden, deren Steilheit die Akkumulation von Schnee verhindert. Einen restriktierenden Einfluss auf diese Körper scheinen zerlegte Klüftzonen zu besitzen, was durch Folgemessungen abgesichert werden muss. Die Befunde lassen vermuten, dass nordexponierte Steilwandbereiche, zumindest oberhalb 2800 m NN, eventuell auch west- und ostexponierte Steilwandbereiche im Gipfelbereich Permafrostvorkommen aufweisen.

Literatur

Hauck, C. (2001). "Geophysical methods for detecting permafrost in high mountains." Mitt. Versuchsanst. Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, PhD-thesis ETH Zürich **171**: 1-204.

Krautblatter, M. and C. Hauck (accepted). "Electrical resistivity tomography monitoring of permafrost in solid rock walls." Journal of Geophysical Research.

Loke, M. H. and R. D. Barker (1996). "Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method." Geophysical Prospecting **44**(1): 131-152.

Sass, O. (2004). "Rock moisture fluctuations during freeze-thaw cycles: Preliminary results from electrical resistivity measurements." Polar Geography **28**(1): 13-31.