

## **Geophysikalische Untersuchungen auf Hangbewegungen - Fallbeispiele aus Österreich**

**R. ARNDT, A. RÖMER, W. SEIBERL**

### **Zusammenfassung**

Neben den klassischen Methoden der angewandten Geologie und der geotechnischen Ansprache zur Beurteilung von Massenbewegungen stellen auch die Methoden der Geophysik eine Möglichkeit zur Klärung dieser Fragestellung dar. Durch instrumentelle Weiterentwicklungen und neue methodische Erkenntnisse bietet die Ingenieurgeophysik Werkzeuge zur Kartierung von Massenbewegungen an, um Arbeiten an Detailfragen, z.B. laterale Begrenzung der Rutschung, Lokalisierung von Abrißkanten, Mächtigkeit des Rutschkörpers, Internbau der Rutschmassen, Kartierung von Hangwasserregimen, Relief der autochthonen Basis begleitend zu unterstützen.

Anhand von zwei Fallbeispielen, Klein Sölk (Steiermark) und Naßfeld (Kärnten), werden Ergebnisse aus der Refraktionsseismik und der kartierenden Elektromagnetik vorgestellt.

Das Ergebnis aus den geophysikalischen Meßkampagnien auf Massenbewegungen zeigt, daß nur eine gleichzeitige Anwendung von mindestens zwei verschiedenen Verfahren die nötige Aussagesicherheit erbringt.

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat sich der Aufgabenschwerpunkt der angewandten Geophysik von der reinen Lagerstättenprospektion zu Anwendungen im Bereich der Geotechnik gewandelt. Gemäß den Fragestellungen in der Ingenieurgeophysik wurden die klassischen Prospektionswerkzeuge der angewandten Geophysik, z.B. Seismik, Elektromagnetik, Gleichstromverfahren, zu hochauflösenden Methoden verfeinert und auf Hangrutschungen von verschiedenen Autoren erfolgreich angewandt: BRÜCKL (1977), BOGOSLOVSKY *et al.* (1977), MUELLER (1977), FIGDOR *et al.* (1990), CARIS & VAN ASCH (1991), COTTON & LAWRENCE, (1991). Als aktuelle Literaturzitate sind die Arbeiten von GOROSABEL & PONSATI (1995) und CAMPAGNOLI & SANTARATO (1995) zu nennen. Neben diesen reinen geophysikalischen Bodenmessungen finden auch die Verfahren der Aerogeophysik - hierbei wird ein Hubschrauber als Geräteträger für verschiedene geophysikalische Instrumente eingesetzt - Anwendung für die Kartierung von Rutschmassen (SEIBERL *et al.*, 1995). Neben diesen Fallstudien wurden die gängigen Methoden der angewandten Geophysik von MCCANN & FORSTER (1990) speziell für Hangrutschungen evaluiert.

Prinzipiell bieten geophysikalische Verfahren die Möglichkeit der „in-situ Interpolation“: Ausgehend von niedergebrachten Bohrungen (eindimensionale Informationen) lassen sich aus geophysikalischen Profilen bzw. Flächenmessungen (zweidimensionale Information) und, unter dem Einsatz ausgesuchter Interpretationswerkzeuge, dreidimensionale Modelle gewinnen. Grundsätzlich unterstützen die Methoden der angewandten Geophysik die Kartierung von Hangrutschungen in folgenden Detailbereichen:

- Laterale Begrenzung der Rutschung,
- Nachweis und Lokalisierung von Abrißkanten,
- Mächtigkeit des Rutschkörpers,
- Internbau der Rutschmassen,

- Hangwasserregime,
- Lage der möglichen bzw. tatsächlichen Gleitflächen,
- Klassifikation Nebenrutschung / Anstehendes,
- Relief der autochthonen Basis.

Anhand von zwei Fallbeispielen aus Österreich soll die Eignung von geophysikalischen Messungen auf Hangbewegung aufgezeigt werden. Die geographische Position der beiden Fallstudien, Klein Sölk (Steiermark) und Naßfeld (Kärnten) ist aus Abb. 1 ersichtlich.



Abb. 1.: Geographische Position der diskutierten Fallstudien Klein Sölk und Naßfeld.

## 2. Geophysikalische Messmethoden

Ziel einer geophysikalischen Messung ist es, das gesuchte Detail der Hangbewegung durch eine geophysikalische Anomalie darzustellen. Die Planung einer geophysikalischen Aufnahme geht immer von einer geologischen Modellvorstellung und den gesteinsphysikalischen Annahmen aus, nach denen sich dann die Wahl des Verfahrens und die Meßstrategie richtet (WALACH & WEBER, 1984). Jede geophysikalische Methode wird, bedingt durch fundamentale physikalische Randbedingungen, durch vier Nebenbedingungen kontrolliert: (1) Eindringteufe, (2) Auflösungsvermögen, (3) Signal / Rausch Abstand und (4) Kontrast der petrophysikalischen Kennwerte. Um eine mögliche Vieldeutigkeit der gewonnenen Ergebnisse zu

verhindern, werden verschiedene geophysikalische Methoden innerhalb einer Meßkampagne in einem Gebiet angewendet - dieses Konzept wird in der Geophysik als „*Komplexe Interpretation*“ bezeichnet. Durch eine geeignete Kombination verschiedener geophysikalischer Messungen können die methodischen Stärken der einzelnen Verfahren für die Lösung der geologischen Fragestellung gebündelt werden. Geophysikalische Messungen dürfen jedoch nie als einzige Informationsquelle gesehen werden - erst in einer gemeinsamen Auswertung mit Ergebnissen aus der geologischen Kartierung, der Ingenieurgeologie und der Bodenmechanik lassen sich verfeinerte Modelle für die untersuchte Massenbewegung ableiten.

Für die Erkundung von Rutschungen in Österreich werden von den Autoren hauptsächlich folgende Verfahren angewendet:

- **Refraktionsseismik**

Durch künstlich Anregung, z.B. durch Hammerschlag, entweder auf eine Metallplatte am Boden oder durch Sprengungen, werden elastische Wellen erzeugt. Beobachtet wird die an physikalischen Unstetigkeit gebrochene Grenzwellenlänge. Die Wellen breiten sich entlang der Schichtgrenzen mit der für das Liegende spezifischen Geschwindigkeit aus. Die Geschwindigkeiten der einzelnen Schichten lassen sich aus der Wellenankunftszeit an den seismischen Aufnehmern (Geophon) beobachten. In einer nachfolgenden Interpretation werden dann die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten wie auch das Relief der Grenzschichten herausgearbeitet.

- **Elektromagnetische Messungen**

In den Boden werden Wirbelströme eingebracht, deren Ausbreitung vom Primärfeld sowie von den geoelektrischen Bedingungen im Untergrund (z.B. die Verteilung des elektrischen Widerstandes) abhängig ist. Mittels einer Induktionsspule wird dieses Magnetfeld beobachtet und je nach Verzerrung der Amplitude und der Phase kann eine Widerstandsverteilung abgeleitet werden.

- **Geoelektrik**

Der Spannungsabfall zwischen zwei Stromelektroden in einem künstlich erzeugten Gleichstromfeld wird gemessen; dieser ist, basierend auf dem Ohmschen Gesetz, vom Widerstand der Gesteinsschichten abhängig. Durch eine Abstandsvergrößerung bei den Meßelektroden können immer tiefere Schichten in den Meßraum einbezogen werden (elektrische Sondierung). Wird jedoch der Boden mit einer festen Meßgeometrie abgetastet, so wird immer der gleiche Halbraum bestrichen und der Widerstand in einem Schichtpaket mit konstanter Mächtigkeit ermittelt (elektrische Kartierung).

- **Induzierte Polarisation**

Bestimmte Minerale, z.B. Tonminerale, weisen eine spezielle elektrische Ladungsverteilung an ihrer Oberfläche auf. Wird nun ein elektrisches Feld angelegt, so kommt es zu einer ungleichen Ladungsverteilung im Untergrund. Wird der Strom abgeschaltet, klingen die verschiedenen Ladungskonzentrationen innerhalb einer bestimmten Zeit wieder ab und aus den gemessenen Abklingkurven können Rückschlüsse auf Korngröße bzw. Mineralverteilung im Untergrund gezogen werden.

### **3. Fallstudie 1 - Klein Sölk (Steiermark)**

Am NW Hang des Kammes vom Elmegg-Zinken zum Speiereck, im Bereich des Gastingwaldes, unmittelbar südlich des Überleitungstollens zum Stausee Groß Sölk, tritt eine große Hangrutschung auf. Während der letzten Jahre konnten Absenkungen entlang einer Wegtrasse in der Größenordnung von 20 m beobachtet werden.

### 3.1 Geologische Situation

Das gesamte Gebiet des Gastingwaldes, d.h. zwischen Ahornrinne und Gastingrinne, liegt im Bereich des Wölzer Kristallins. Die auftretenden Gesteine sind Glimmerschiefer, teilweise phyllitische Glimmerschiefer mit Einschaltungen von Amphiboliten und Marmoren. Letztere sind im Zusammenhang mit der Rutschung zweifellos zu beachten, da verkarstete Karbonathorizonte zu verstärkter Wasserführung und damit als möglicher Auslöser der Hangrutschung angesprochen werden können. Der gesamte Hang ist tiefgründig verwittert und mit mächtigen Hangschuttlagen überdeckt. Die Blöcke des Hangschuttes können einige Dekam<sup>3</sup> erreichen. Teilweise führen die Klüfte erheblich Wasser.

### 3.2 Geophysik

Zur Erfassung der Hangschuttmassen und zur Kartierung der Gleithorizonte wurden sechs seismische Profile im Rutschungsbereich ausgewählt und mit Refraktionsseismik vermessen. Die Lage aller Profile aus Abb. 2 ersichtlich. Anschließend werden die Profile 2, 4 und 6 diskutiert:

#### • Refraktionsseismikprofil 2/Abb. 3

Dieses Profil verläuft entlang eines Güterweges, der die Rutschmasse etwa in halber Höhe überquert. Entlang dieser Wegtrasse wurden 3 Bohrungen abgeteuft, die eine unmittelbare Kontrolle der seismischen Teufen ermöglichte. Dieses Profil stellt einen typischen seismischen 3-Schichtfall dar und zeichnet sich durch ein ruhiges Relief aus. Das Profil wird durch eine breite Rinne, das Bett des Rutschkörpers, dominiert. Die Geschwindigkeit des ersten Horizontes ist einheitlich  $300 \text{ ms}^{-1}$  und mit einer Mächtigkeit bis zu 3 m kann er als sog. Auflockerungszone angesprochen werden. Die Geschwindigkeit des zweiten Horizontes beträgt  $1400 - 1600 \text{ ms}^{-1}$  und mit bei einer Mächtigkeit bis zu 25 m

repräsentiert er die eigentliche Hangschuttlage. Die geringe Varianz der seismischen Geschwindigkeit in dieser Schicht läßt Schlüsse auf eine weitgehend homogene Internstruktur dieser rutschgefährdeten Masse zu.

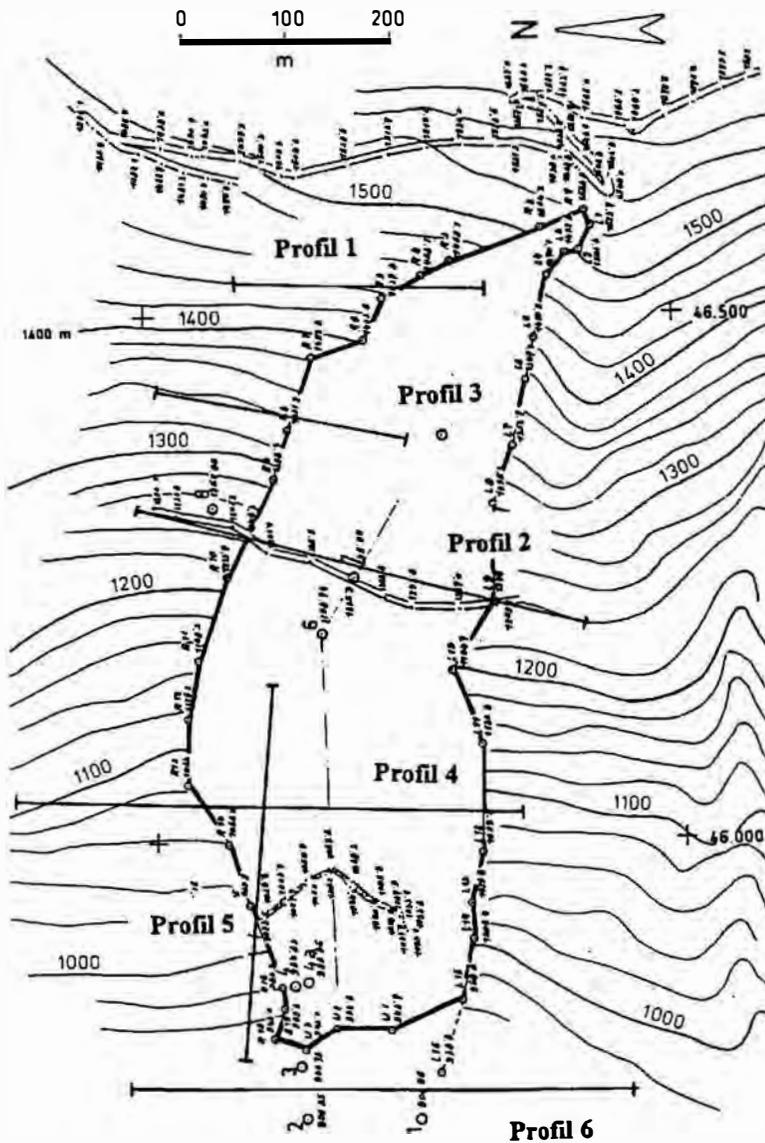
- **Refraktionsseismikprofil 4/Abb. 4**

Der in diesem Profil vorliegende 3-Schichtfall gliedert sich in Auflockerungsschicht,  $250\text{-}600\text{ ms}^{-1}$  mit Mächtigkeit bis ca. 3 m , darunter im Liegenden eine Schicht mit einer Mächtigkeit von ca. 20 m und seismischen Geschwindigkeiten zwischen  $1200$  und  $1400\text{ ms}^{-1}$ , die ebenfalls als Hangschuttlage gedeutet wird und schließlich darunter der unverwitterte, autochthone Untergrund mit einer auffallend hohen seismischen Geschwindigkeit von  $4300\text{-}4400\text{ ms}^{-1}$  ab. Er wird geologisch als unverwitterter Glimmerschiefer angesprochen.

- **Refraktionsseismikprofil 6/Abb. 5**

Durch das Nichterreichen (zu kurze Auslagegeometrie) des unverwitterten Untergrundes liegt hier nur ein seismischer 2-Schicht Fall vor: In beiden Schichten können, verglichen mit den oben besprochenen Profilen, wesentlich höhere Geschwindigkeiten der jeweiligen geologischen Einheit entnommen werden. Diese größere Geschwindigkeiten reflektieren den höheren Anteil an wassergesättigten Feinklasitika am Hangfuß.

Mit der Refraktionsseismik konnte durch eine entsprechende Meßgeometrie (Mehrfachüberdeckung) die Oberfläche des autochthonen Untergrundes sehr gut erfaßt werden.



Plan von Prof. L.BECKER

Abb. 2: Klein Sölk: Schematische Darstellung der Refraktionsseismik-Profile am Rutschhang

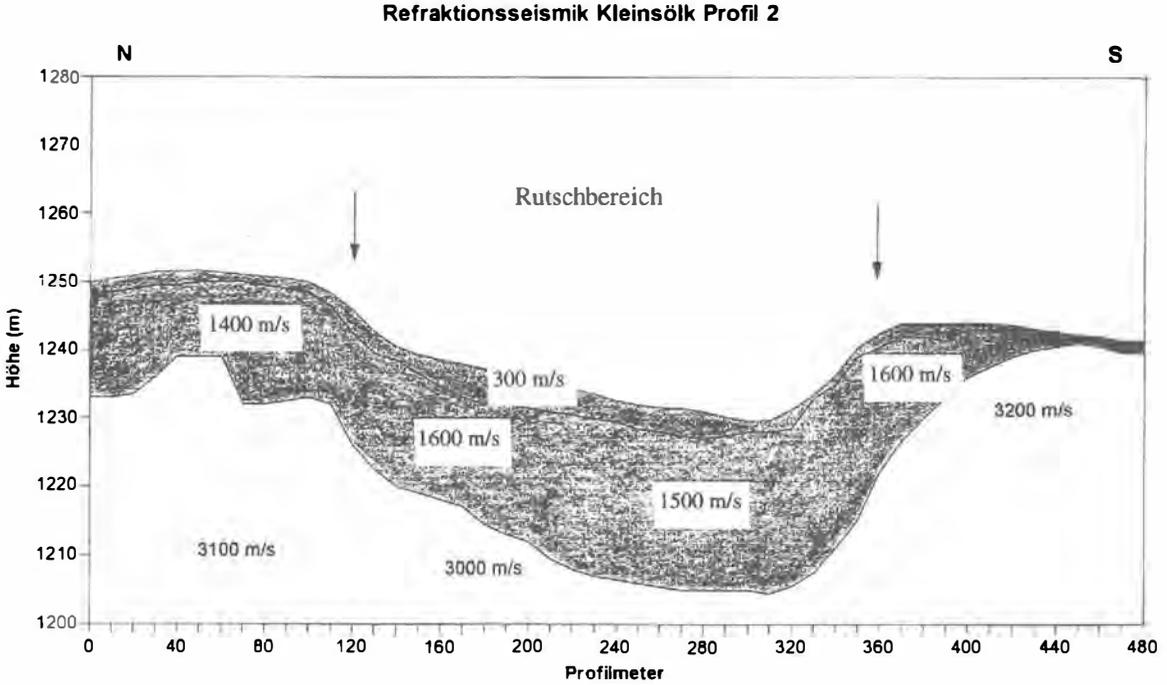


Abb. 3: Klein Sölk: Refraktionsseismikprofil 2

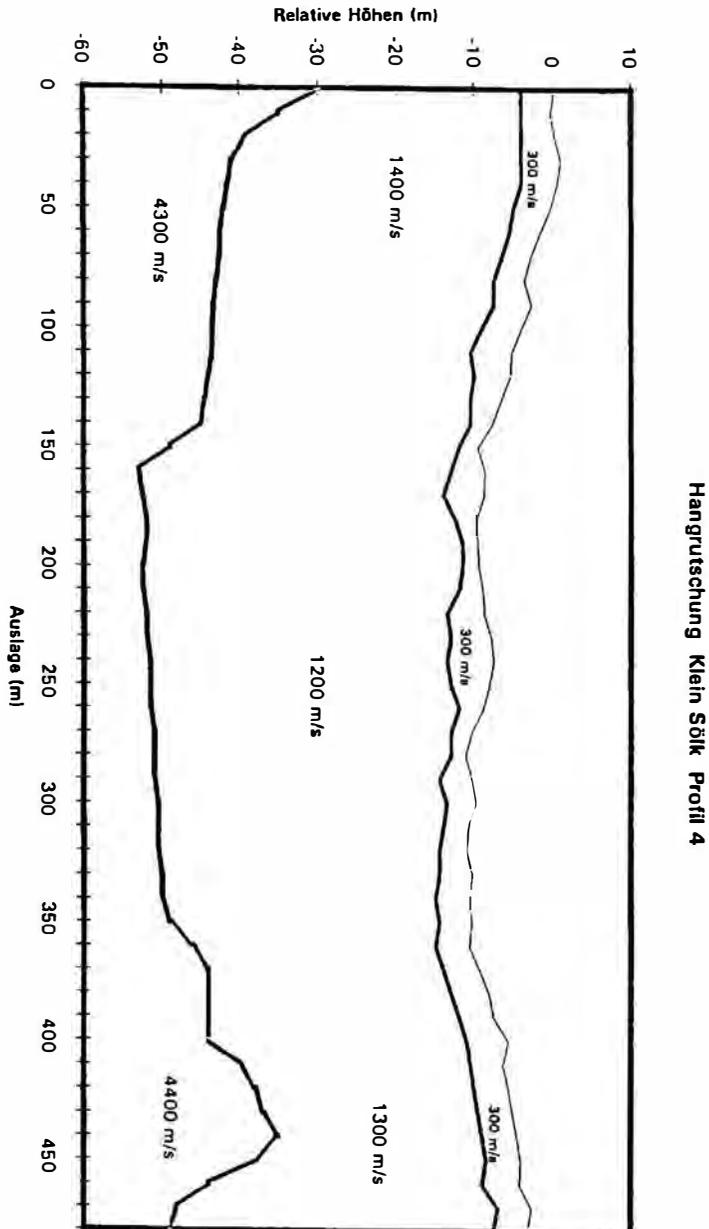


Abb. 4: Klein Sölk: Refraktionsseismikprofil 4

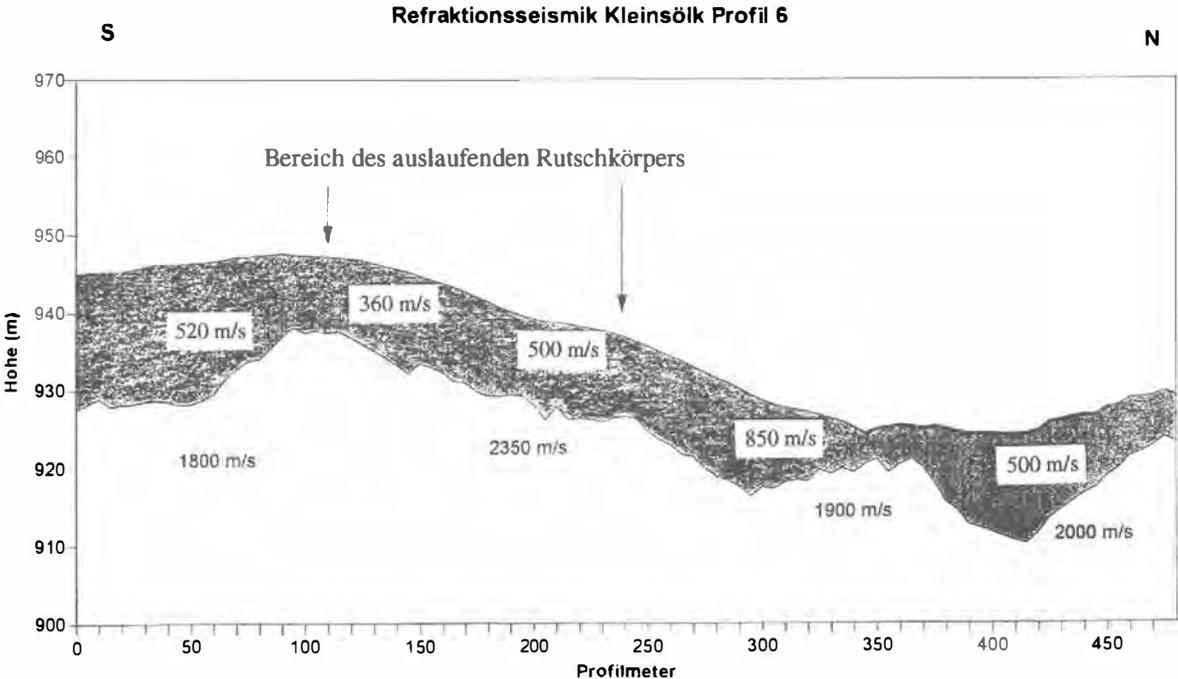


Abb. 5: Klein Sölk: Refraktionsseismikprofil 6

Um eine komplexe Interpretation durchführen zu können, wurde als zweite Methode die Elektromagnetik eingesetzt. Mit einem Instrument der Firma Geonics, Typ EM 31<sup>1</sup>, wurden über 200 Punkte im 10 m Raster vermessen. Abb. 6 zeigt die Leitfähigkeitsverteilung über dem Hangschuttkörper sowie der Lage der elektromagnetischen Meßprofile. Wie aus dieser Abbildung zu ersehen ist, variiert die elektrische Leitfähigkeit zwischen 0.3 und 1.3 mS m<sup>-1</sup>, wobei sich entlang der Rutschung eine Zunahme hangabwärts feststellen läßt. Diese wird mit der Zunahme des Wassergehalts und dem Anteil der Feinklastika im Hangfuß gedeutet. Beachtenswert ist weiterhin, daß auch quer zum Streichen Zonen mit geringerer Leitfähigkeit auftreten - diese werden als größere Inhomogenitäten in der Rutschmasse angesprochen.

Um eine Abschätzung der Mächtigkeit der Rutschmasse zu erhalten, wurde von der Arbeitsgruppe ein neuer Weg der Interpretation beschritten: Mittels konventioneller Methoden der Modellrechnung (MCNEIL, 1979, 1980) wurde zuerst ein Modell der Mächtigkeit entlang eines Referenzprofils (*hier*: Entlang des Güterweges bzw. Refraktionsseismik Profil 2 und in Flucht der drei abgeteufte Bohrungen) ermittelt. Mit diesem Ergebnis wurde ein neuronales Netz trainiert, welches dann in einem zweiten Schritt für die Bearbeitung der anderen Profile herangezogen wurde. Das so entstandene Modell zeigt eine Mächtigkeit der Rutschung bis zu 15 m (Abb. 7). Diese Mächtigkeiten stehen im guten Einklang mit den Ergebnissen in den Bohrungen: Die Verrohrungen der Bohrlöcher sind durch die Massenbewegung in ähnlicher Teufe abgerissen.

---

<sup>1</sup> Das EM 31 Instrument besteht aus einer 3.66 m langen Stange, an deren Enden jeweils die Empfänger- und die Sendespule angebracht sind. Die Arbeitsfrequenz beträgt 9.8 kHz und erlaubt eine Eindringtiefe von ca. 6 m, in günstigen Fällen gar über 10 m. Das Kleingerät wird in Hüfthöhe über das Gelände getragen und erlaubt so bei großen Meßfortschritt eine elektromagnetische Kartierung des Untergrundes.

Leitfähigkeitsverteilung (mS/m) in der Rutschung Kl. Sölkental  
mit Lage der Meßprofile

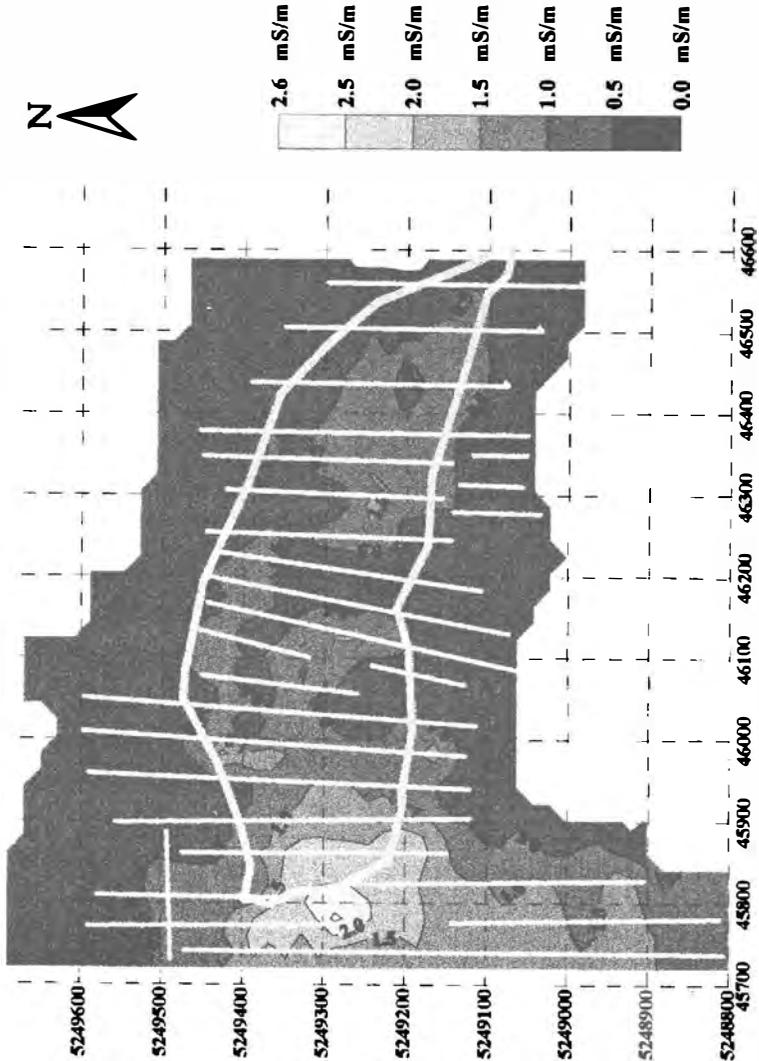


Abb. 6: Klein Sölk: Leitfähigkeitsverteilung über d. Hangschuttmasse

(Die dick gezogene Linie entspricht der Umrandung des Rutschkörpers, welche aus rein geodätischen Messungen abgeleitet wurde. Die dünnen Linien entsprechen der Lage der Meßprofile)

### Rutschungsmächtigkeit (m) / Kl. Söktal

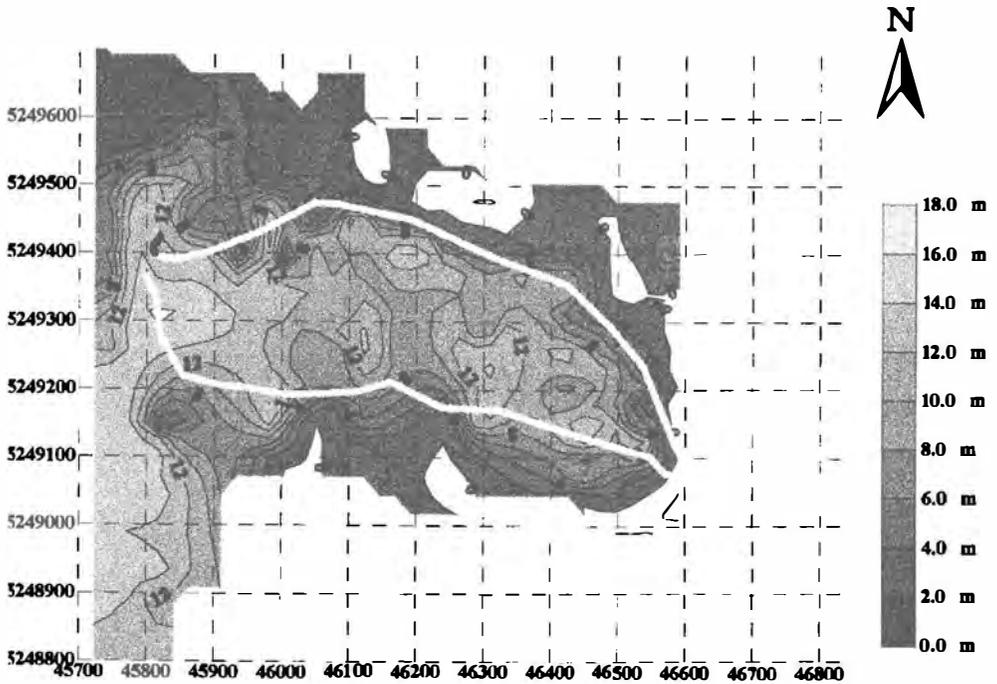


Abb. 7: Klein Sölk: Mächtigkeiten der Hangschuttmasse aus Neuronaler Netz Anwendung

### **3.3 Zusammenfassende Interpretation**

Faßt man die Ergebnisse aus den Bohrungen sowie der geophysikalischen Methoden zusammen, kann folgende zusammenfassende Interpretation vertreten werden:

Die Refraktionsseismik zeigt die ursprünglich angelegte Rinne sehr gut an und dokumentiert, daß das Widerlager des Amphibolitzuges eine ganz entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Geometrie des Rutschkörpers spielt. Die Breite des Rutschkörpers, die in der Seismik mit der Oberfläche des autochthonen Untergrundes begrenzt werden kann, läßt sich aus den Ergebnissen der Elektromagnetik gut bestimmen. In den Leitfähigkeitsverfahren erscheint die Hangrutschlage wesentlich breiter, da der klüftige Übergangsbereich von Glimmerschiefer und Amphibolit niederohmig ist und vom Widerstandsbild dem wassergesättigten Randbereich des Rutschkörpers zugerechnet wird. Ein auffallender Widerspruch in der Tiefe zwischen Refraktionsseismik und den geoelektrischen Verfahren ist dadurch erklärbar, daß die Seismik innerhalb des Rutschkörpers keine Grenzflächen erkennen kann (kein signifikanter Dichtekontrast). Aus der Elektromagnetik läßt sich jedoch eine sekundäre Gleitfläche erkennen, welche in der Tiefe von 12 - 14 m durch Einlagerung feinschluffigen Materials ausgebildet wurde und in Verbindung mit einer Felsschwelle im Bereich des Sekundärabrisses das rezente Gleitgeschehen bestimmt. Diese Schwelle ist morphologisch durch eine Verflachung der Hangneigung sowie der Ausbildung sumpfiger Wiesen gut belegt.

## 4. Fallstudie 2 - Naßfeld (Kärnten)

Das Naßfeld mit den Talzuschüben durch die Reppwand- und Schlanitzenalm-Gleitung stellt aufgrund der geologischen Ausbildung der Festgesteine und der hydrographischen Verhältnisse einen Modellfall für verschiedene Formen der Blockdeformation im Festgestein dar - die Palette beinhaltet Großhangbewegungen, großflächige Bergstürze, Bergzerreibungen und kleine Uferanbrüche. Detaillierte Beschreibungen des Naßfeldgebietes unter geologischer bzw. geotechnischer Sicht finden sich bei GLAWE & MOSER (1990) sowie GLAWE *et al.* (1993). Die geologische Kartierung des Gebietes wurde von SCHÖNLAUB *et al.* (1983) durchgeführt.

### 4.1 Geotechnische Situation und Fragestellung

Typisch für das Naßfeld Gebiet ist eine Wechselfolge von Tonschiefen, Sandsteinen und Konglomeraten. Der ursprüngliche Schichtverband der oberkarbonen Auernig-Schichten wird von der klastischen Abfolge aus Sandstein, Schluffen und Schieferthon unterlagert. So entsteht die geotechnischen Konstellation „*Hart auf Weich*“ als Ursache für Bergzerreibung und Blockdeformation. Je nach Position des Blockfeldes und nach Zerlegungsgrad werden am Naßfeld innerhalb der großen Talzuschubmassen von MOSER & GLAWE (1994) folgende Haupttypen der Handbewegung identifiziert:

- Weitgehend noch im Verband befindliches Gebirge
- Grobblockhalden mit Feinanteil
- Feinkörnige Schutthalden der Zuschubstimen

Ziel einer geophysikalischen Kampagne war die Ermittlung der tektonischen Position einzelner Blöcke (anstehend oder bereits im gleitenden Blockfeldverband ?) sowie die Mächtigkeit der Hangschuttmassen.

## 4.2 Geophysik

Basierend auf der oben erwähnten Fragestellung sowie auf durch die Erfahrung von Geologen unterstützten Feldbegehungen wurden die Methoden Refraktionsseismik und Elektromagnetik ausgewählt. Die Positionen der gemessenen Seismikprofile sowie die Lage der flächenhaften Elektromagnetik sind aus Abb. 8 (Falttafel) ersichtlich.

Um der komplizierten Geologie zu genügen, wurden zusätzliche Messungen der Induzierten Polarisation sowie Gleichstromsondierungen, Methode SCHLUMBERGER, im Meßgebiet ausgeführt (WARD, 1990). Beispielhaft werden hier die Ergebnisse der Profile 1 und 4 sowie der Elektromagnetik diskutiert:

### • Refraktionsseismikprofil 4/Abb. 9

Um die Ergebnisse der Seismik geologisch ansprechen zu können, wurde in Rücksprache mit den betreuenden Geologen ein seismisches Referenzprofil mit einer Gesamtlänge von 960 m über autochthone Verhältnisse gelegt und vermessen. Die Geländebeobachtung zu beiden Seiten des Profils, d.h. nach Westen und nach Osten, zeigen mit terrassenförmigen Abtreppungen die allmähliche Auflösung des Gebirgskammes an. Der Untergrund besteht hier aus Schichten des Oberkarbons (Auernig) mit teilweise mächtig eingeschalteten Kalken. Die Aufschlüsse im Kambereich zeigen auch in diesem Bereich eine starke tektonische Beanspruchung. Das Refraktionsprofil ergibt einen seismischen 3-Schicht Fall: Zu oberst liegt ein dünner Verwitterungsschleier und darunter liegt, erkennbar an seismischen Geschwindigkeiten von  $1000 - 1500 \text{ ms}^{-1}$ , der Hangschuttkörper mit Mächtigkeiten bis zu 15 m. Die kartierten Mächtigkeitsänderungen des Hangschutts korrelieren mit der Lithologie des Liegenden - in Bereichen, wo Phyllite den Aufbau der Auernigschichten dominieren, sind die Mächtigkeiten groß, in Zonen der quarzreichen Konglomerate dagegen gering. Da bis zu einer seismischen Sondierungsteufe von ca. 200 m die ermittelten seismischen Geschwindigkeiten der dritten Schicht kaum variieren, läßt sich die Aussage treffen, daß

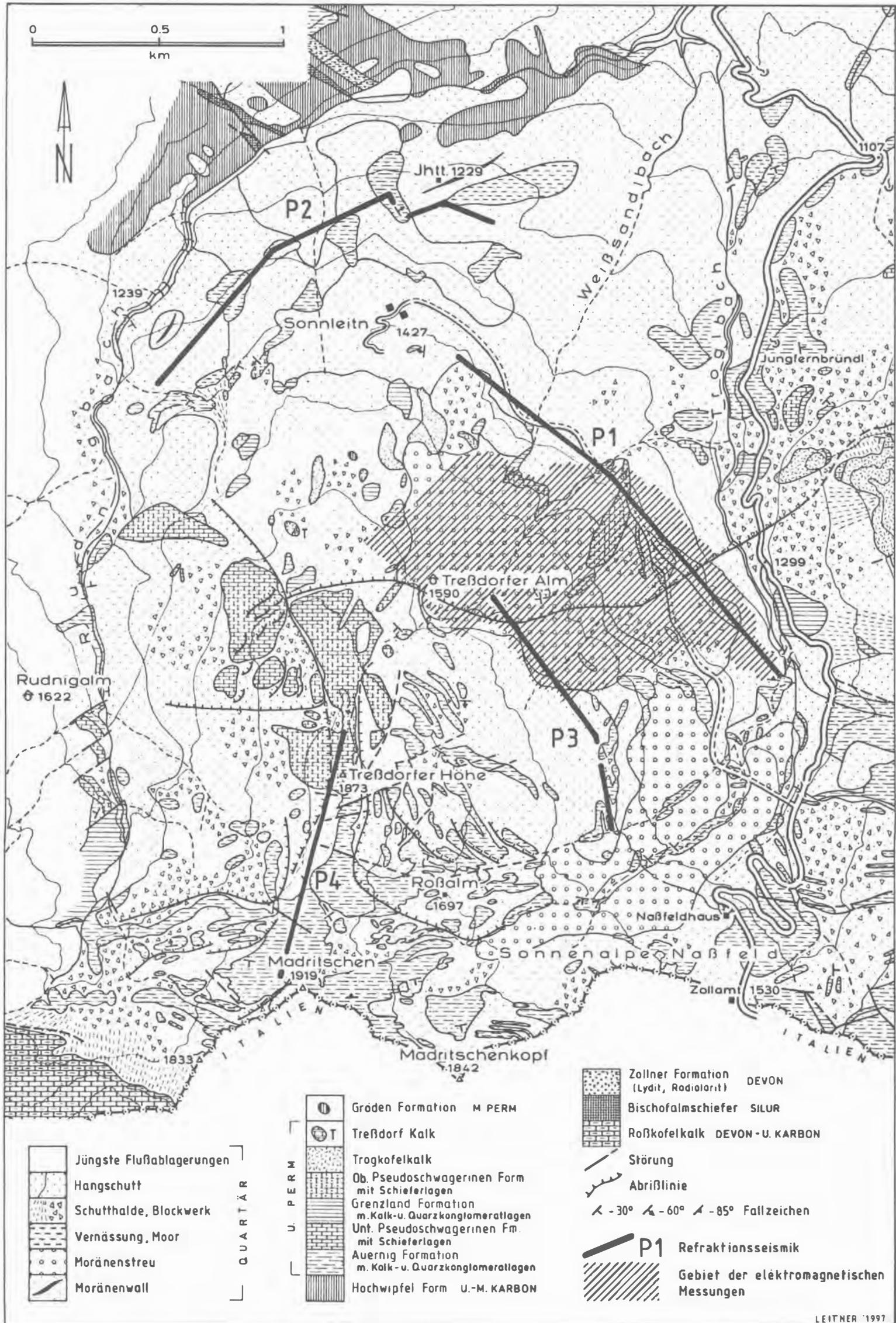
die so kartierten Auernigsschichten tatsächlich als autochthon angesprochen werden können.

- **Refraktionsseismikprofil 1/Abb. 10a, b**

Ausgehend vom Trögelbach, Höhenkote 1300 m, verläuft dieses Profil NNW zur Schlanitzenalm mit einer überdeckten Gesamtlänge von 1560 m. Dieses Profil zeigt einen seismischen 3-Schichtfall. Die oberste Schicht, mit einer seismischen Geschwindigkeit zwischen 300 bis 500  $\text{ms}^{-1}$ , hat eine Mächtigkeit bis zu 3 m und entspricht der Verwitterungsschicht. Darunter befinden sich, ausgezeichnet durch eine seismischen Geschwindigkeit von 1000 bis 2000  $\text{ms}^{-1}$  und einer ungefähren Mächtigkeit von 15 m, die Hangschuttmassen. Die große Streuung dieser seismischen Geschwindigkeit deutet auf weitgehend trockenes Material (Blockfeld) mit Einlagen von wassersaturiertem, feinkörnigem Material hin. Die letzte Schicht, mit einer seismischen Geschwindigkeit zwischen 3500 bis 3800  $\text{ms}^{-1}$ , zeigt die anstehenden Auernigsschichten, Grenzlandschichten sowie die unteren Pseudoschwagerinen Kalke. Die Ergebnisse aus der Refraktionsseismik werden durch die geologische Kartierung von SCHÖNLAUB *et al.* (1983) unterstützt.

- **Elektromagnetische Vermessung/Abb. 11 und 12**

Um eine geophysikalische Komplexinterpretation durchführen zu können, wurde im Bereich der refraktionsseismischen Profile 1 und 3 (Abb. 8) eine elektromagnetische Kartierung durchgeführt. Zur Instrumentierung wurde ein Geonics EM 34 benutzt. Durch eine Veränderung des Spulenabstandes und der Spulenposition konnten pro Meßpunkt verschiedene Eindringteufen erreicht werden. Die Verteilung der Leitfähigkeit zeigt eingebettete Hochzonen mit Werten bis zu 22  $\text{mS m}^{-1}$ . Diese Meßwerte wurden, genau wie in der oben genannten Fallstudie Klein Sölk, verwendet, um ein neuronales Netz für die Ermittlung der Hangschuttmächtigkeit zu trainieren. Abb. 12 zeigt die so ermittelten Ergebnisse - im Zentralbereich des Meßgebietes zeichnen sich Mächtigkeiten über 50 m ab, während im SE



LEITNER 1997

Abb. 8

geringere Mächtigkeiten der Hangschuttmasse ermittelt wurden. Auch diese Beobachtung steht im Einklang mit der geologischen Kartierung von SCHÖNLAUB *et al.* (1983).

Werden die Ergebnisse entlang des seismischen Profils 1 für einen Vergleich mit den Ergebnissen der Elektromagnetik herangezogen, läßt sich eine interessante Anwendung des Prinzips der Komplexinterpretation aufzeigen: Während die Schichtmächtigkeiten, einzig abgeleitet aus der Refraktionsseismik, eher auf eine flachere Lagerung deuten, ergeben die Ergebnisse der Elektromagnetik weit größere Teufen zum Anstehenden. Dieser scheinbare Widerspruch aus geophysikalischen Ergebnissen ist jedoch im Einklang mit der Geologie: Während die Seismik lithologische Grenzen ausweist, wird von der Elektromagnetik die Verteilung der scheinbaren Widerstände kartiert. Diese Verteilung ist u.a. von der wassergesättigten Klüftigkeit des Gebirges abhängig.

## 5. Erfahrung aus den Fallstudien

Die Anwendung von Refraktionsseismik und Elektromagnetik stellt eine gute Methodenkombination dar, um laterale Abgrenzungen von Massenbewegungen zu kartieren, Mächtigkeiten der Rutschmasse abzuschätzen und Aussagen über das Hangwasserregime zu geben. Es ist jedoch entscheidend, daß alle Ergebnisse aus den verschiedenen geophysikalischen Messungen immer im Zusammenhang mit einer geologischen Kartierung und einer geotechnischen Ansprache des Gebietes zu deuten sind. Die Information aus vorhandenen Bohrlöchern ist unbedingt hinzuzuziehen. Der generelle Schluß der Autoren zum Themenkreis Geophysik / Hangrutschung ist, daß die komplizierte geologische Situation einer Hangrutschung nur durch eine Komplexinterpretation seitens der Geophysik zu bearbeiten ist.

# Refraktion Nassfeld Profil 4 (Kammprofil)

Maßstab: Horizontal: 1:5.000, Vertikal: 1:1.000

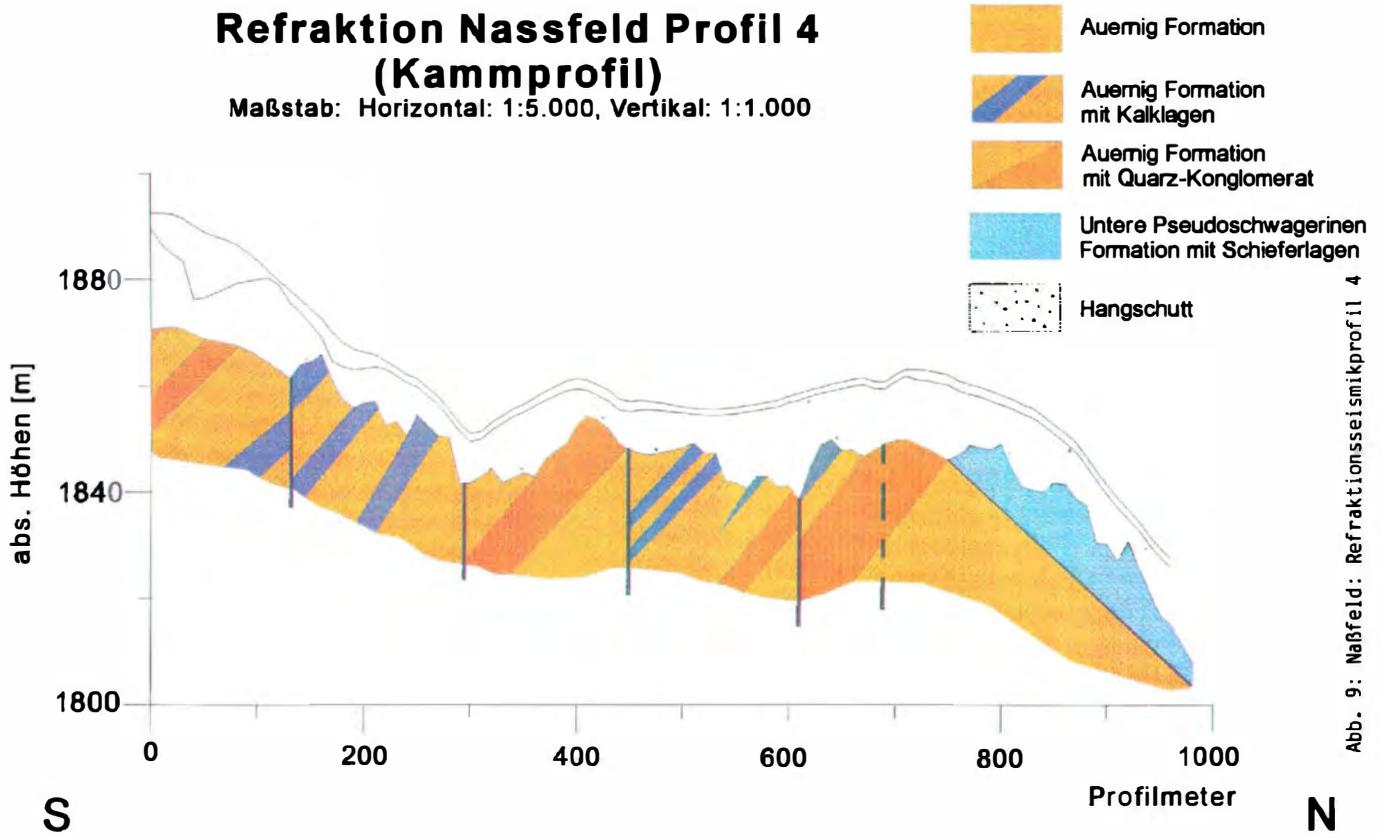


Abb. 9: Nassfeld: Refraktionsseismikprofil 4

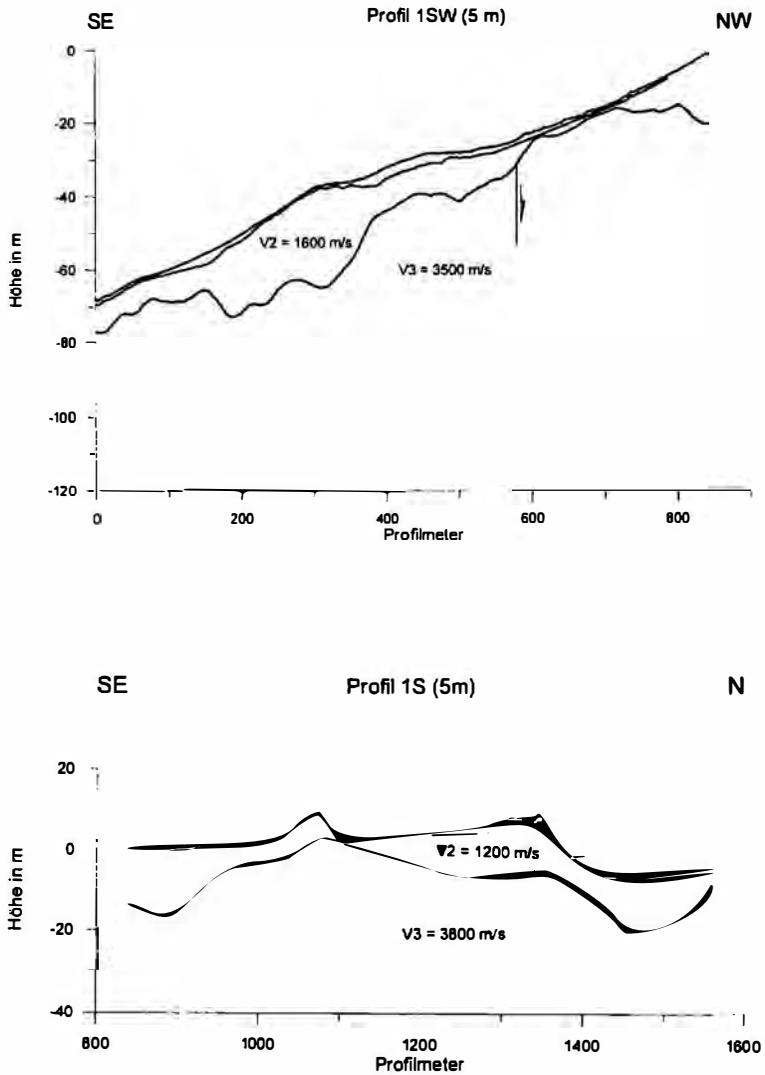


Abb. 10: Naßfeld: Refraktionsseismikprofil 1/  
a: Profilmeter 0-800 (SE Teil); b: 800 - 1600 (NW Teil)

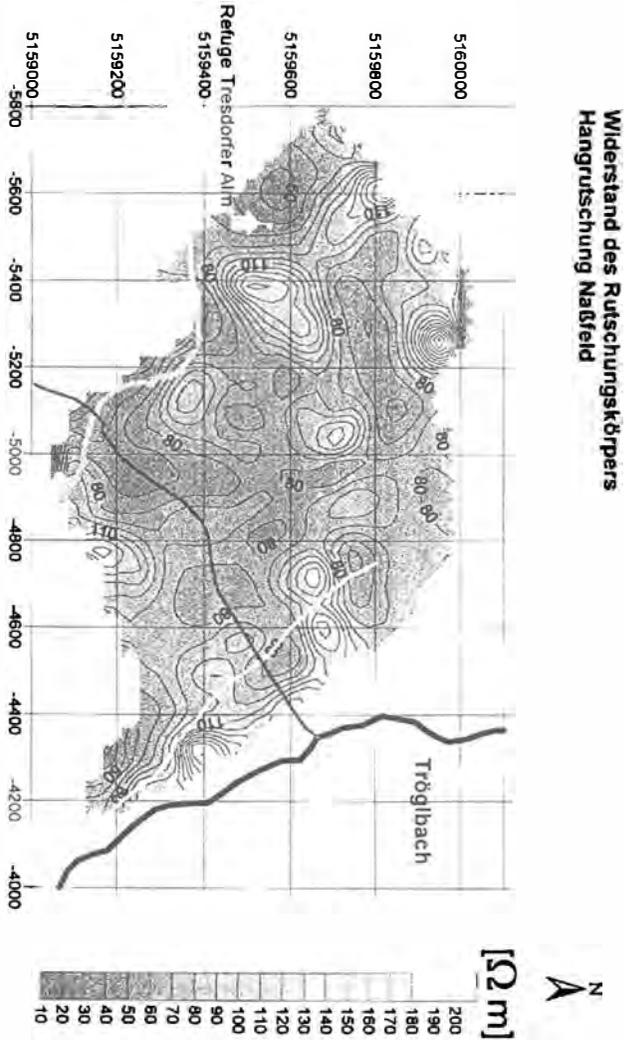


Abb. 11: Naßfeld: Flächendeckende elektromagnetische Vermessung, Darstellung der scheinbaren Widerstände

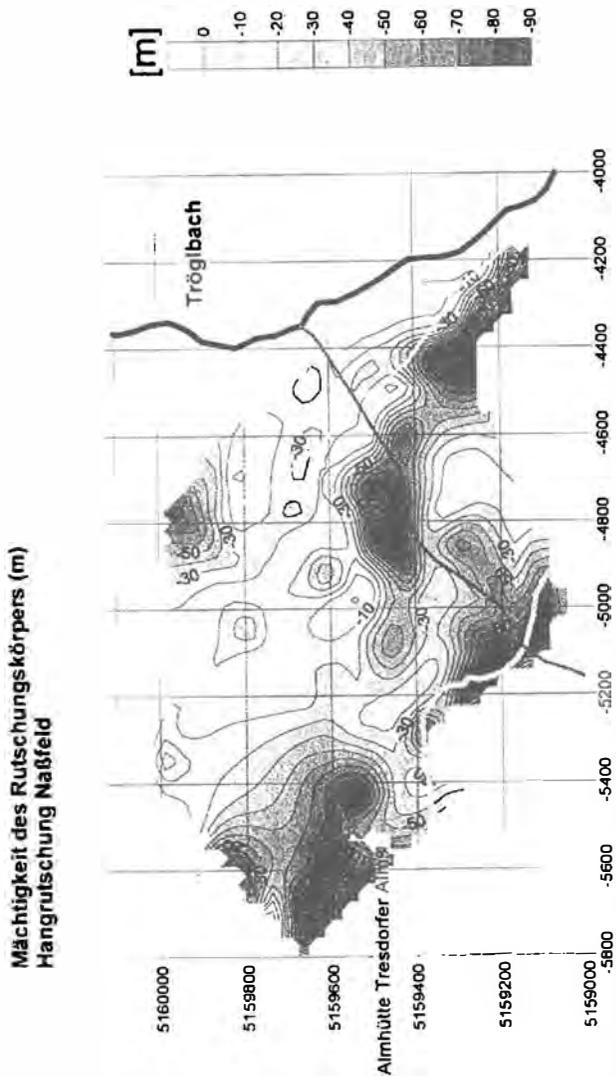


Abb. 12: Naßfeld: Teufenplan abgeleitet aus den scheinbaren Widerständen der flächendeckenden elektromagnetischen Vermessung

## 6. Weitere Forschungsziele

Neben der Erkundung fossiler und rezenter Rutschungen ist eine Überwachung rutschgefährdeter Hänge erforderlich. Dabei liegt die Problematik im frühzeitigen Erkennen sowie in einem quantitativen Erfassen von Gebirgsbewegungen, wobei von den geophysikalischen Untersuchungen eine Aussage erwartet wird, ob die Hänge als stabil, als labil oder als rutschgefährdet anzusprechen sind (MILITZER *et al.*, 1986). Die Arbeitsgruppe wird in den nächsten Jahren die Methoden der Geoakustik (HARDY & KIMLE, 1995) und der elektromagnetischen Emission (KHARKALIS, 1995) zur Beobachtung der dynamischen Parameter von Hangrutschungen wissenschaftlich untersuchen.

## Danksagung

Den Autoren ist es ein wichtiges Anliegen, sich bei den Projektmitarbeitern Prof. Dr. H. J. Mauritsch / Montanuniv. Leoben, Dr. G. Sendlhofer / MU Leoben und Mag. K. Schneiderbauer / MU Leoben für die Mitarbeit und für die Erlaubnis zu dieser Publikation zu bedanken. Dank gilt auch der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, welche dieses Projekt unter „Geophysikalische Erfassung geogener Risikofaktoren“ finanziell unterstützt hat.

## 7 Literatur

### Zitierte Quellen

- BOGOSLOVSKY, V., A., OGILVY, A., A., STRAKHOVA, N. A., 1977: Magnetometric and electrometric methods for the investigation of the dynamics of landslide processes - Geophysical Prospecting, **25**, 280-291;
- BRÜCKL, E., 1977: Die Erfassung von Hangbewegungen im Fels durch geophysikalische Methoden - Straßenforschung, **82**, Bundesministerium für Bauten und Technik, Wien, 1-78;
- CAMPAGNOLI, I., SANTARATO, G., 1995: Monitoring Creep Movements by Seismic Refraction - 1<sup>st</sup> Meeting, Environmental and Engineering Geophysics, Turin/Italy, September 25<sup>th</sup>- 27<sup>th</sup>, 1995, Extended Abstracts, 6-9;
- CARIS, J. P. T.; VAN ASCH, T. W. J., 1991: Geophysical, geotechnical and hydrological investigations of a small landslide in the French Alps - Engineering-Geology, **31(3-4)**, 249-276;
- COTTON, S. A., LAWRENCE, M., G., 1991: Investigation of a Buried Hillside Using Seismic Refraction - Annual Meeting of The Society of Exploration Geophysicists, Houston / Texas, Extended Abstracts, 522-525;
- FIGDOR, H.; ROCH, K. H.; SCHEIDEGGER, A. E., 1990: Geophysikalische und geodätische Untersuchungen an einer Hangrutschung im Flysch - Österreichische-Zeitschrift-für-Vermessungswesen-und-Photogrammetrie, **78(4)**, 212-220;
- GLAWE, U., MOSER, M., 1990: Geotechnische Untersuchungen an den Großhangbewegungen im hinteren Rudnigraben - Naßfeldgebiet / Kärnten - Carinthia II, **180./100.**, 405-425;
- GLAWE, U.; ZIKA, P.; ZVELEBIL, J.; MOSER, M.; RYBAR, J., 1993: Time prediction of a rock fall in the Carnic Alps. - Quarterly Journal of Engineering Geology, **26(3)**, 185-192;

- GOROSABEL, A. C., PONSATI, A., C., 1995: Determination of Water Flow at the Base of a Large Landslide by Resistivity Methods - 1<sup>st</sup> Meeting, Environmental and Engineering Geophysics, Turin/Italy, September 25<sup>th</sup>- 27<sup>th</sup>, 1995, Extended Abstracts, 18-22;
- HARDY, H. R., KIMLE, E. J., 1995: Applications of high-frequency AE/MS techniques to rock slope monitoring - 5th Conference on Acoustic Emission / Microseismic Activity in Geological Structures and materials, Trans. Tech. Publ., 457 - 476, Clausthal-Zellerfeld
- KHARKALIS (1995): Manifestation of Natural Electromagnetic Pulse Emission on Landslide Slopes - Geophys. J. **16**, 437-443
- MCCANN, F. M., FORSTER, A., 1990: Reconnaissance geophysical methods in landslide investigations - Engineering Geology, **29**, 59-78;
- MCNEIL, J.D., 1979: Interpretations aids for use with electromagnetic (non-contacting) ground resistivity mapping - 41<sup>st</sup> European Association of Exploration Geophysicists Meeting, Hamburg
- MCNEILL, J., D., 1980: Electromagnetic Terrain Conductivity Measurements at Low Induction Numbers - Geonic Limited Technical Note, **TN6**, 1-15, Mississauga, Canada
- MILITZER, H., SCHÖN, J., STÖTZNER, U., 1986: Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau, 2. Aufl., VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1-419, Leipzig
- MILLS, H., H., 1990: Thickness and character of regolith on mountain slopes in the vicinity of Mountain Lake, Virginia, as indicated by seismic refraction, and implications for hillslope evolution - Geomorphology, **3(2)**, 143-157;
- MOSER, M., GLAWE, U., 1994: Das Naßfeld in Kärnten - geotechnisch betrachtet - Abh. Geol. B.A., **50**, 319-340, Wien

- MUELLER, K., 1977: Geophysical methods in the investigation of slope failures - Bulletin of the International Association of Engineering Geology, **16**, 227-229;
- SCHÖNLAUB H.P.; FENNINGER, A., VENTURINI, C., 1983.  
Geologische Detailkarte des Naßfeld - Gartnerkofel-Gebietes (Neuaufnahme, 1:10 000) (als Beilage zu) SCHÖNLAUB H.P., 1987: **GÖK 198** Weissbriach - Geologische Bundesanstalt, Wien
- SEIBERL, W., ARNDT, R., ROEMER, R., SUPPER, R., OBERLERCHER, G., 1995: Land-Slide Investigations by Helicopter- 1<sup>st</sup> Meeting, Environmental and Engineering Geophysics, Turin/Italy, September 25<sup>th</sup>- 27<sup>th</sup>, 1995, Extended Abstracts, 514-516;
- WALACH, G., WEBER, F., 1984: Beispiele komplexer gravimetrischer und magnetischer Untersuchungen (in) MILITZER, H., WEBER, F., (Hrsg.)1984: Angewandte Geophysik, **1**, Springer Verlag, 294-345, Wien
- WARD, S. H., (Ed.), 1990: Resistivity and Induced Polarisation Methods - in: Geotechnical and Environmental Geophysics (in) Investigations WARD, S. H., (Ed.), 1990: Geotechnical and Environmental Geophysics (in) Investigations in Geophysics, **5**, 147-189, Tulsa

## 7.2 Verzeichnis der benutzten Jahresendberichte

Der hier veröffentlichte Beitrag basiert auf die innerhalb des Projektes herausgegebenen Jahresberichte. Abbildungen, Textstellen und Ergebnisse wurden diesen Berichten entnommen. Nachfolgend sind diese Quellen pauschal zitiert:

- MAURITSCH, H. J., SCHMÖLLER, R., SEIBERL, W., 1994:  
**Endbericht 1993** - ÖAW Projekt Geophysik der Erdkruste /  
Geophysikalische Erfassung geogener Risikofaktoren - 1-44;

- MAURITSCH, H. J., SCMÖLLER, R., SEIBERL, W., ARIC, K., 1995:  
**Endbericht 1994** - ÖAW Projekt Geophysik der Erdkruste /  
Geophysikalische Erfassung geogener Risikofaktoren - 1-59;
- MAURITSCH, H. J., SEIBERL, W., 1996: **Endbericht 1995** - ÖAW  
Projekt Geophysik der Erdkruste / Geophysikalische Erfassung  
geogener Risikofaktoren - 1-33, Wien/Leoben
- MAURITSCH, H. J., SEIBERL, W., 1997: **Jahresbericht 1996** - ÖAW  
Projekt Geophysik der Erdkruste / Beiträge geophysikalischer  
Untersuchungsmethoden zur Früherkennung von  
Hanginstabilitäten - 1-60;

Autoren:

Univ. Prof. Dr. Wolfgang SEIBERL  
Dipl. Geophys. Dr. Rainier ARNDT  
Mag. Alexander RÖMER

Arbeitsgruppe Montan-  
geophysik, Institute für  
Meteorologie u. Geophysik,  
Nordbergstraße 17  
A-1090 Wien

*bzw.*

Fachabteilung Geophysik,  
Geologische Bundesanstalt,  
Postfach 127  
A - 1031 Wien