

# Geophysikalische Messungen zur Beurteilung von Rutschungen

Autor(en): **Raetzo, Hugo**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **113 (1995)**

Heft 48

PDF erstellt am: **30.06.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-78818>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Hugo Raetzo et al., Fribourg

# Geophysikalische Messungen zur Beurteilung von Rutschungen

**Anhand des Beispiels Falli Hölli wird gezeigt, wie geeignete geophysikalische Messungen mit verhältnismässig kleinem Aufwand eine Beurteilung von Rutschhängen ermöglichen.**

Zur Stabilisierung von Rutschungen sind Kenntnisse der oberflächlichen Ausdehnung und der Mächtigkeit unerlässlich. Sie spielen bei der Wahl von Sanierungsmassnahmen wie Drainagen, Verankerungen oder Stützmauern eine entscheidende Rolle. Zur Bestimmung der Gleithorizonte benötigt man Bohrungen, die für die Anwendung von Klinometersonden mit speziellen PVC-Rohren ausgekleidet werden. Durch Bohrungen erhält man allerdings nur punktuelle Informationen. Ausserdem

kann deren Durchführung bei sehr aktiven Rutschungen problematisch sein (max. Deformation ca. 20 cm).

Mit den geophysikalischen Erkundungsmethoden kann man die Mächtigkeit von Rutschungen ebenfalls bestimmen. Standardmethoden wie Geoelektrik und Refraktionsseismik liefern im allgemeinen nur dann zufriedenstellende Resultate, wenn die verschiedenen Schichten unterschiedlich elektrische bzw. akustische Eigenschaften aufweisen. In der Praxis trifft dies jedoch selten zu, da Rutschungen oft aus tonigen Quartärablagerungen bestehen und somit der Kontrast zu den unterliegenden Mergelschichten (wie z.B. im Flysch) nicht gegeben ist. Neue geophysikalische Methoden wurden daher auf der Rutschung Falli Hölli getestet und später

mit drei Bohrungen kalibriert: Reflexionsseismik mit hoher vertikaler Auflösung und Very Low Frequency-Electromagnetic (VLF-EM). Die Resultate sind vielversprechend und ermöglichen eine erfolgreiche Anwendung dieser Methoden auf anderen Rutschungen.

## Lokalisierung, geologische Situation und Vermessung

Anfang Mai 1994 verursachte die bruske Reaktivierung der Rutschung Falli Hölli Schäden an 41 Gebäuden im Wert von 15 Millionen Fr. Der Anriss befindet sich auf einer Höhe von 1610 m. Über Chlöwena, Falli Hölli und Lantera rutschte eine riesige Erdmasse an der Westflanke des Schwybergs und mündete bei 1000 m ü.M. in den Höllbach, wo sich ein 700 m langer Damm mit einer maximalen Höhe von 25 m bildete, wodurch das Wasser des Höllbachs temporär zu einem See gestaut wurde.

Die Rutschfläche selbst erreichte eine Ausdehnung von 1.5 km<sup>2</sup> und eine Mächtigkeit von bis zu 60 m, womit das Volumen

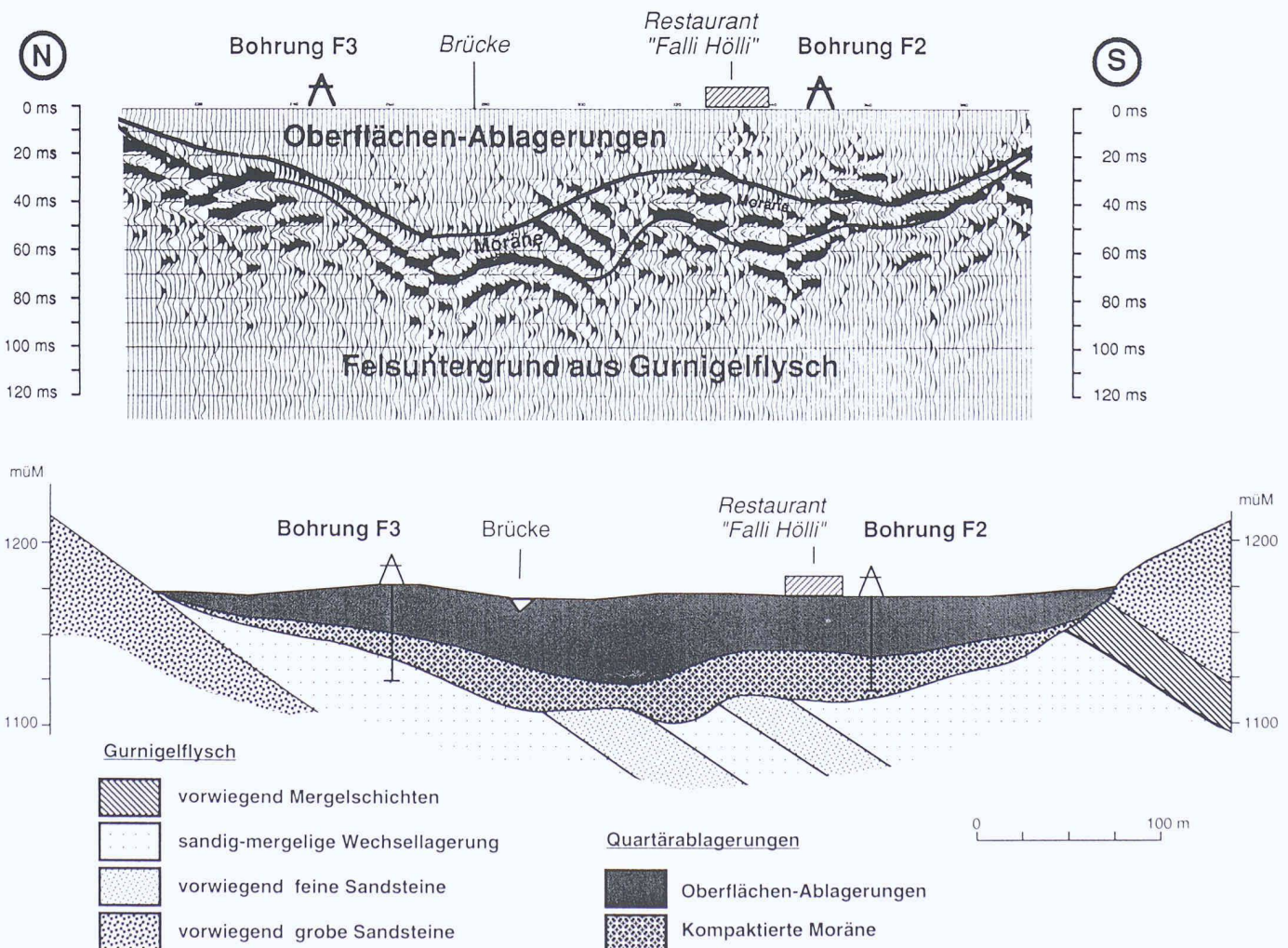


Bild 1. Seismisches Profil und Geologische Interpretation

in der Grössenordnung von 40 Millionen  $m^3$  liegt. Zudem sind der Rutschung andere Arten von Hanginstabilitäten, insbesondere Steinschlag und Murgänge, überlagert.

Die Verschiebungen an der Oberfläche wurden mit Theodoliten und dem Global Positioning System (GPS) an zirka 100 Punkten gemessen. In der Ferienhaussiedlung nahm die Geschwindigkeit zwischen Mai und Anfang August 1994 exponentiell zu, es wurden maximale Werte bis zu 6.31 m pro Tag gemessen. In dieser Phase erreichte die Rutschmasse den Höllbach, worauf die Verschiebungswerte sukzessive abnahmen. Die Ferienhäuser ihrerseits haben sich total um knapp 200 m talwärts verschoben.

Der stabile Felsuntergrund aus Gurnigelflysch wird von mächtigen Quartärseimenten, bestehend aus Moräne und oberflächlichen Ablagerungen, überdeckt. Die instabile Masse besteht lediglich aus Quartärablagerungen. In den drei Bohrungen ( $2 \times 50$  m und  $1 \times 15$  m) wurde der Felsuntergrund nur einmal in einer Tiefe von 43 m erreicht. Mit einer Klinometersonde konnte man verschiedene Gleithorizonte in 10 m, 25 m und 37 m Tiefe ermitteln. Zwei Gleitflächen liegen über der kompaktierten Moräne in den oberflächennahen Ablagerungen aus Blockschutt, Murgängen und alten Rutschmassen, die sich schneller bewegen.

### Anwendung hochauflösender Reflexionsseismik

Die Anwendung dieser Methoden auf Hangrutschungen ist im allgemeinen nicht üblich, da wegen der niedrigen seismischen Geschwindigkeiten an der Oberfläche von Rutschmassen die hohen Frequenzen, die für die verlangte Auflösung nötig sind, absorbiert werden. Man kann im allgemeinen von einer Auflösung ausgehen, die einem Viertel der Wellenlänge entspricht: Bei einer Frequenz von 95 Hz und einer mittleren seismischen Geschwindigkeit von 2000 m/s nehmen wir eine vertikale Auflösung von 5,5 m an, was bei tiefgründigen Rutschungen genügend ist.

Die hier angewendete Reflexionsseismik erlaubt eine Interpretation ab einer Tiefe von 10 m mit einer vertikalen Auflösung bis zu 4 m. Zwei verschiedene Methoden der Datenakquisition wurden im Falli Hölli angewendet: Mit der ersten Methode, «Common Offset» genannt, registriert man pro Schuss mit einem definierten Abstand nur über einen Kanal. Bei der zweiten Methode «Common Mid Point» addiert man mehrere Nutzsignale und verbessert so das Nutz-Störsignal-Verhältnis. Diese Methoden wurden für die Erdölindustrie entwickelt.

### Erhebung und Aufbereitung der Daten:

Die Messungen wurden mit einem Gerät des Typs EG&G mit 24 Kanälen durchgeführt (gespeicherte Zeit 500 ms, Messintervall 0,5 ms, Analogfilter BP 25-500 Hz). Die Distanz zwischen den Geophonen betrug 5 m (Offset nominell 5 m). Zur Signalerzeugung wurden Jagdpatronen mit einem Kaliber von 12/65 oder ein 4,5 kg schwerer Hammer eingesetzt.

Die Datenaufbereitung wurde auf einem IBM-kompatiblen PC durchgeführt. Die Mächtigkeit der Verwitterungsschicht ist bei Rutschungen sehr variabel und verursacht Verzögerungen, weshalb die längeren Laufzeiten statisch korrigiert wurden.

### Interpretation des Profils

Das Auffüllmaterial ist mit der hohen Geschwindigkeit von 2000 m/s als kompaktierte Moräne zu interpretieren (Bild 1). Die darüber liegenden Ablagerungen sind deutlich weniger kompaktiert und weisen niedrigere seismische Geschwindigkeiten von weniger als 1500 m/s auf. Die Hauptgleitfläche befindet sich an der Basis dieser Formationen. Am stärksten zeigt sich die Reflexion im Norden des Profils. Der abtauchende Felsuntergrund ist bis unterhalb der Brücke deutlich zu erkennen. An der tiefsten Stelle bei 70 ms (72 m Tiefe) erkennt man einen kuppenförmigen Reflektor. Diese hohe Energie entspricht massiven Sandsteinschichten im Gurnigelflysch. Unter dem Restaurant Falli Hölli erkennen wir eine etwas chaotische Struktur, da starke Reflexionen und Refraktionen durch sekundäre Gleitflächen oder grosse Felsbrocken verursacht werden. Gegen Süden nimmt die Rutschtiefe wieder ab und der Felsuntergrund tritt näher an die Oberfläche.

### Anwendung von VLF-EM auf der Rutschung Falli Hölli

Auf der Rutschung Falli Hölli wurde ein Very Low Frequency-Electromagnetic-Gerät (VLF-EM) zur Bestimmung der Hangstabilität eingesetzt (Bild 2). Das Gerät bestimmt geologische Strukturen durch Messung magnetischer Felder. Diese werden von terrestrischen Radiosendern erzeugt, die im VLF-Bereich von 12 bis 27 kHz ausstrahlen und vornehmlich für die Navigation und Kommunikation mit U-Booten eingesetzt werden.

Die von uns erreichbaren Sender liegen bevorzugt im Norden, z.B. in Skandinavien oder England (Rugby), und im Westen. Herkunft und Zweck ist uns nicht immer genau bekannt, aber auch weniger wichtig, da wir die Qualität und die Richtung des Signals während der Messungen bestimmen.

Das horizontale magnetische Primärfeld  $H_p$  eines Senders Ep induziert entlang geologischer Störungszonen, die in Senderichtung verlaufen, einen Strom  $j$ , der von einem sekundären vertikalen Magnetfeld  $H_s$  begleitet wird. Der Verlauf des Verhältnisses  $H_s/H_p$  dieser beiden Magnetfelder gibt uns Aufschluss über die darunter liegenden geologischen Verhältnisse: Während das Sekundärfeld  $H_s$  in geologisch ungestörten Zonen verschwindet, kann es über stark ausgeprägten Verwerfungen, die im optimalen Winkel von  $90^\circ$  überquert werden, die gleiche Grössenordnung wie das Primärfeld erreichen. Auf einem instabilen Hang wird deshalb quer zum Rutschrand und den stabilen Felsformationen gemessen. In Bild 2 ist die Orientierung der Empfangsantennen schematisch angedeutet.

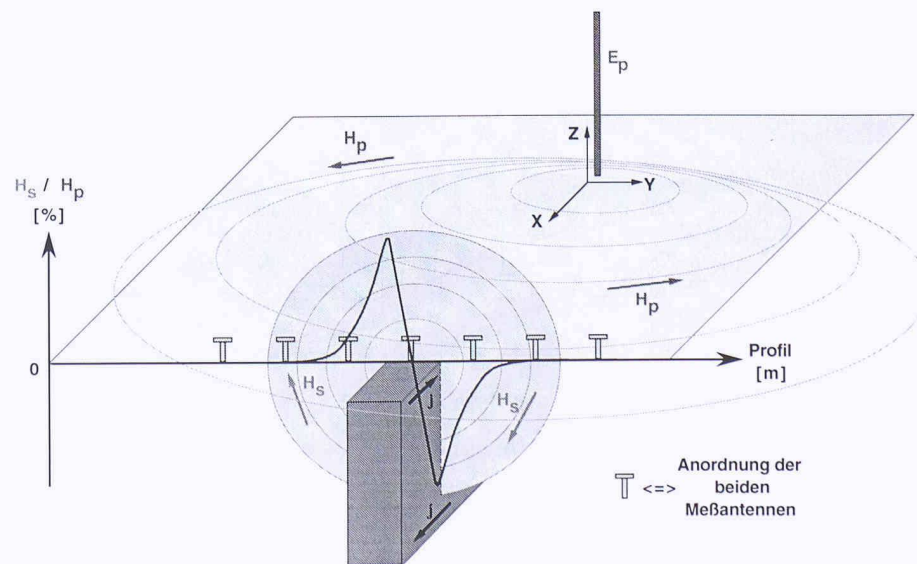


Bild 2.  
Prinzipische Skizze VLF-EM-Methode

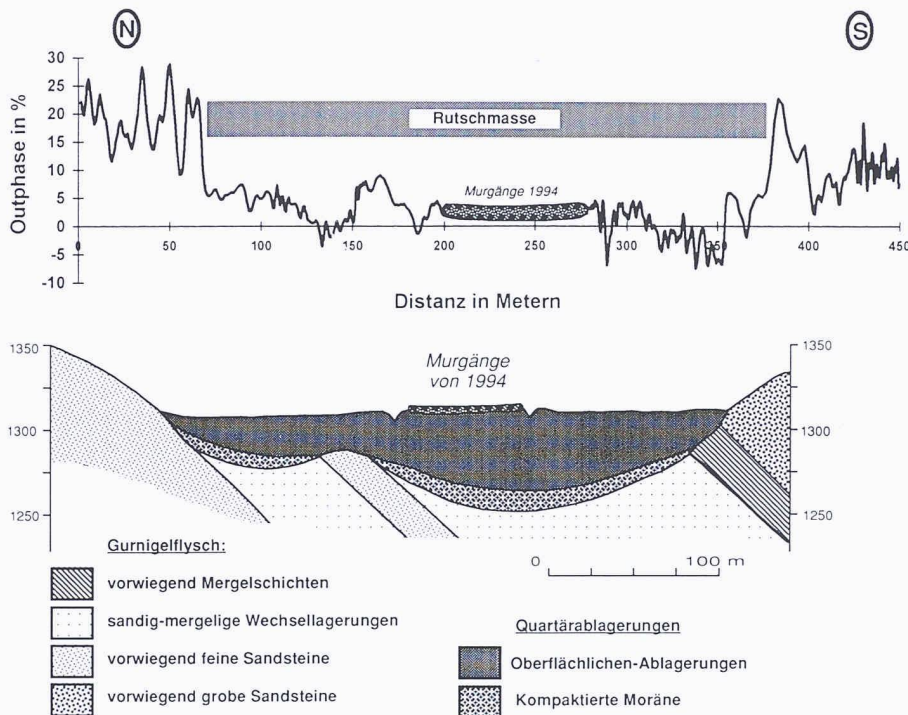


Bild 3.  
VLF-Profil und Geologische Interpretation

### Erhebung und Aufbereitung der Daten:

Der Vorteil des Gerätes liegt in der schnellen kontinuierlichen Aufnahme von Messwerten, da bei diesem Messprinzip kein Bodenkontakt notwendig ist. Die Antenne kann zusammen mit dem Messgerät und dem Datalogger von einer Person getragen werden, so dass der Messaufwand gegenüber seismischen Methoden viel kleiner ist. Nachteil gegenüber seismischen Methoden ist die geringere Auflösung, so dass sich eine Kombination beider Methoden anbietet. Mit Hilfe von VLF-EM können schnell und billig weitere Informationen zwischen existierenden seismischen Profilen gewonnen werden.

In Bild 3 ist der Anteil des Sekundärfeldes, der nicht in Phase mit dem Primärfeld schwingt (Outphase-Komponente), dargestellt. Dieser Anteil ist im allgemeinen besser interpretierbar als der gleichphasige (Inphase-Komponente). Die meisten Querprofile auf der Rutschung Falli Hölli zeigen ein deutliches Signal der Outphase am Rutschrand. Hier dargestellt wird ein Querprofil aus zwei Etappen, die auf einer Höhe von 1300 m gemessen wurden. Der erste Teil des Profils geht vom Nordrand bis zur Mitte der Rutschung. In diesem Bereich haben wir mit einer Senderfrequenz von 16 KHz gemessen. Aus logistischen Gründen wurden auf dem Rutschzentrum die Messungen unterbrochen. Der zweite Teil des Profils, der mit einer Frequenz von 23 kHz gemessen wurde, schliesst in der Mitte an und zieht im Süden rund 100 m in den stabilen Bereich hinein. Da man die

Senderrichtung im allgemeinen nicht kennt und sich das Vorzeichen bei einer Drehung der Antenne um 180° ändert, wurde dieses im zweiten Profiteil umgekehrt. Um durch ungleichmässige Ausrichtung der Antenne verursachte Schwankungen zu verringern, wurden die im Profil dargestellten Daten mit einem Dreiecksfilter geglättet: Der Messwert erhielt ein dreifaches, die Nachbarwerte ein zweifaches und die übernächsten Werte ein einfaches Gewicht.

### Interpretation des Profils

Die ersten 70 m wurden auf einem stabilen Felsgrat mit Outphase-Werten zwischen 10% und 30% gemessen. Nach 70 m sinkt die Outphase genau am Rutschrand von 22% auf 5%. Nur am Südrand der instabilen Masse wurden ebenfalls derart grosse Veränderungen gemessen. Die kleine Spitze zwischen 150 m und 180 m (+10%) entspricht massiven Sandsteinschichten im Untergrund. Zur Lücke bei den Murgangablagerungen: Aus den Resultaten der anderen Profile kann man hier für die Outphase Werte nahe bei Null interpolieren.

Der südliche Profiteil startet auf der Rutschmitte bei 280 m. Die Outphase-Werte liegen im selben Bereich wie am Ende des ersten Profils. Die Variationen sind gering und liegen im Mittel bei 3%. Nach 352 m beobachtet man einen markanten Sprung in der Outphase: von -7% auf +6%. Der an der Oberfläche beobachtbare Rutschrand kommt aber erst bei 365 m, also 13 m weiter südwärts. Ähnlich wie

am Nordrand der Rutschung könnten diese Werte ein Signal für festes Gestein im Untergrund oder für einen Wechsel in der Felslithologie sein. Die steile Spitze bei 380 m ist mit dem Signal der Outphase am gegenüber liegenden Rutschrand absolut vergleichbar. Die Variation beträgt 25%!

Zusammengefasst kann man zu diesem Profil sagen, dass die stabilen Geländeteile Outphase-Werte von über 6% zeigen. Auf der Rutschmasse fallen diese Werte in den Nullbereich ( $\pm 7\%$ ). Besonders leicht erkennbar sind die Rutschränder mit einem jeweiligen Sprung in der Outphase. Dieses Signal beträgt am Nordrand 17% und am Südrand 25%.

### Schlussfolgerungen

Auf der Rutschung Falli Hölli wurden neue geophysikalische Untersuchungsmethoden eingesetzt, um die Geometrie der instabilen Masse zu bestimmen. Die dadurch erhaltenen Resultate wurden später durch drei Bohrungen bestätigt. Mit dem VLF-EM unterscheidet man instabile Rutschmassen von stabilen Felspartien, die an der Oberfläche selten sichtbar sind. Diese Methode erlaubt demzufolge Aussagen über das Rutschpotential und eine fundierte Kartierung. Mit der hochauflösenden Reflexionsseismik erhält man wertvolle Resultate zur Art der Rutschmasse, Tiefe und Form der Felsoberfläche. Innerhalb der Quartärablagerungen konnte man zudem den oberflächlichen Rutschteil von der darunter liegenden kompaktierten Moräne unterscheiden. Die präzise Anwendung dieser Methode erlaubt ein feines Bild der dreidimensionalen Rutschgeometrie.

Die geophysikalischen Untersuchungen auf der Rutschung Falli Hölli zeigen, wie aussagekräftig beide Methoden sind, dies vor allem dann, wenn sie komplementär eingesetzt werden. In der Schweiz kann man VLF-EM und hochauflösende Reflexionsseismik auf zahlreichen Rutschhängen einsetzen, wobei sich das leichte Dispositiv und die günstigen Kosten als zusätzliche Vorteile erweisen. Die neuen Methoden sollten vermehrt zur Untersuchung von Rutschungen eingesetzt werden, da die notwendigen Stabilisierungsmassnahmen stark von der Ausdehnung und der Tiefe einer Rutschung abhängen.

Adresse der Verfasser:

Hugo Raetzo und Olivier Latellin, Dr.sc.nat., Institut de Géologie de l'Université de Fribourg, 1700 Fribourg, André Pugin, Dr. sc.nat., Institut für Geophysik, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich, Willy Stiefelbagen und Imre Müller, Dr.sc.nat., Centre d'Hydrogéologie, Université de Neuchâtel, 2007 Neuchâtel.