



*Hydrochemische und thermografische
Ansätze zur Erkundung und Monitoring
von Massenbewegungen*

Thomas Strauhal & Christoph Prager

alpS GmbH
strauhal@alps-gmbh.com

Innsbrucker Hofburggespräche, 6. April 2017

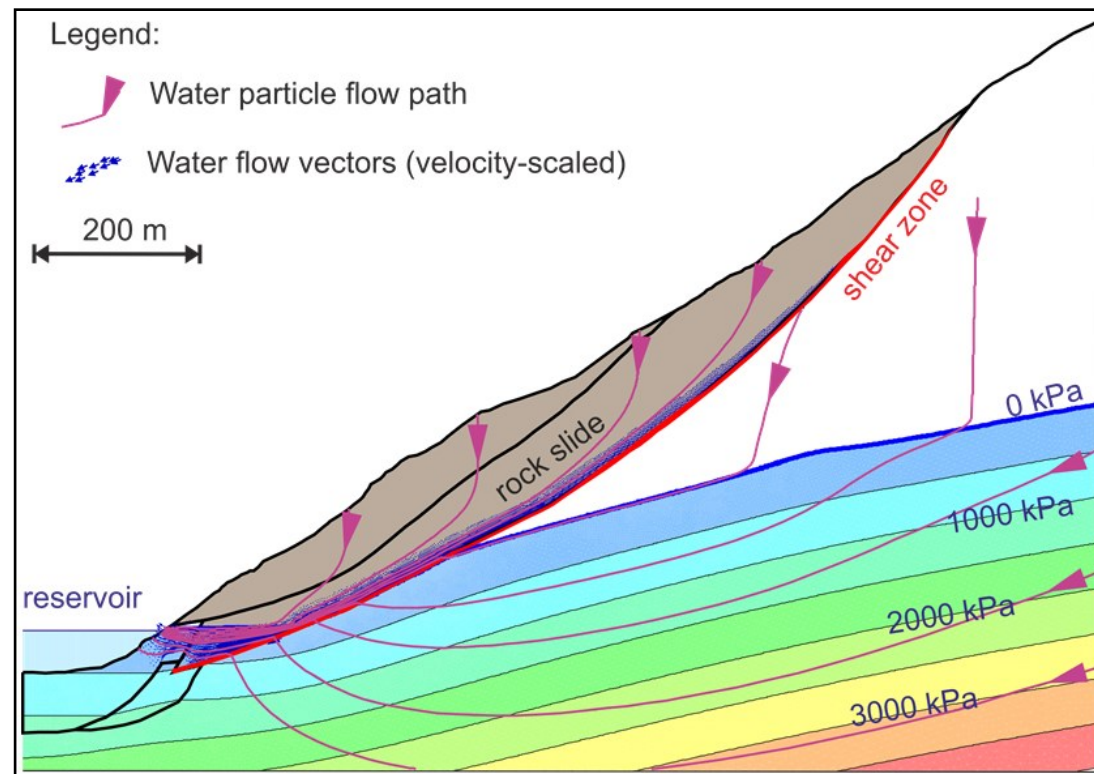


Ausblick

Ausnützung des Einflusses der Internzerlegung von Massenbewegungen (MB) auf das Grundwasser für Erkundung und Monitoring:

→ Auswirkungen auf Verteilung des Grundwassers

→ Auswirkungen auf Gesteins-Wasser Interaktion



Ausblick

Thermografische Ansätze zur Erkundung und Monitoring von MB:

- Erkundung der räumlichen Ausdehnung von MB durch unterschiedliche Lufttemperaturen in Hohlräumen und veränderten Verteilung des Grundwassers in zerlegten MB

Hydrochemische Ansätze zur Erkundung und Monitoring von MB:

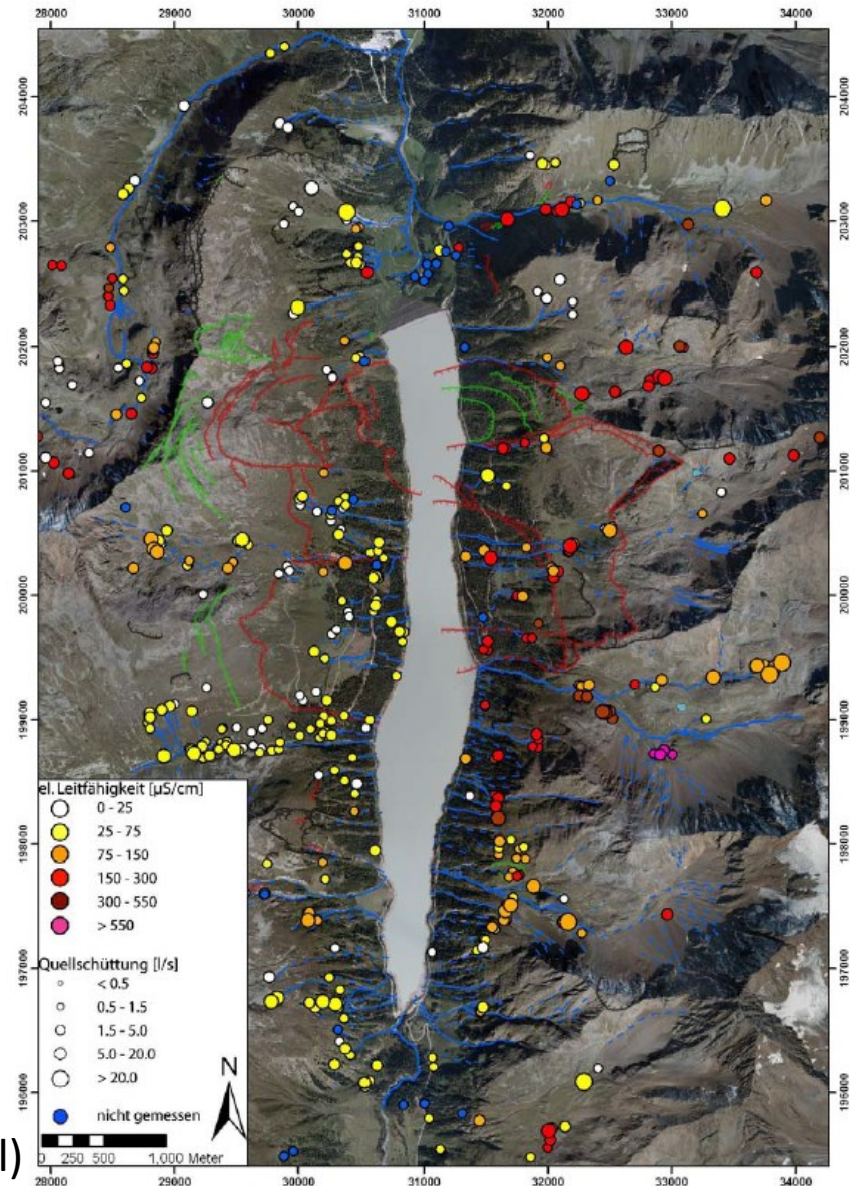
- Erkundung der räumlichen Ausdehnung von MB durch veränderten Wasserchemismus
- Erkennung von Aktivitätsphasen von MB durch Erhöhung der elektr. Leitfähigkeit (Ionengehalt) in nahegelegenen Quellwässern (i.e. Monitoring von Bewegungen)

Einführung

Entwicklung der Auswertungen:

- Multidisz. Untersuchungen in von versch. MB dominierten Gebiet (Kaunertal, Bereich Speicher Gepatsch)
- u.a. auch Quell- und Gerinneaufnahmen
- → unerwartete Zusammensetzung des Wassers in Para-/Orthogneis-dominierten Untersuchungsgebiet (teils hohe Ionengehalte, v.a. Sulfat)
- → Ursachenfindung für die chem. Zusammensetzung des Wassers – Zusammenhang mit MB?

Elektr. Leitfähigkeiten von Quellen (Kaunertal)
 Rote, grüne Linien: Abbruchkanten von MB



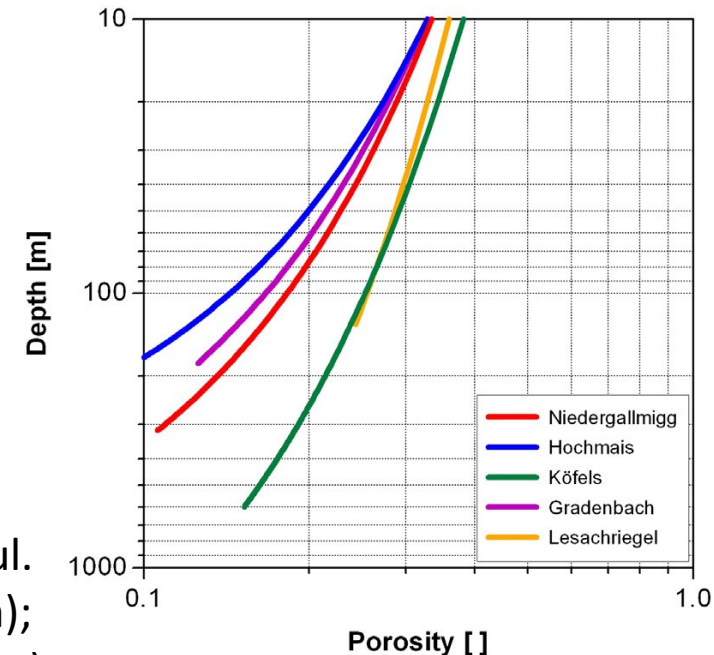
Einführung

Beobachtungen:

- MB (flach- bis tiefgründig): **erhöhte Porosität** durch Interndeformation
 → **höhere hydraul. Durchlässigkeiten**

Strauhal et al. (2016) Hydrogeol. J. , 24 (2)

	Φ [%]	K_S [m/s]
Basal shear zone (fault gouge)	10	$1.2 \cdot 10^{-9}$
Main rockslide mass	13	$8.9 \cdot 10^{-5}$
Secondary rockslide slabs	26	$8.9 \cdot 10^{-5}$
Stable bedrock	0.07	$1.4 \cdot 10^{-7}$



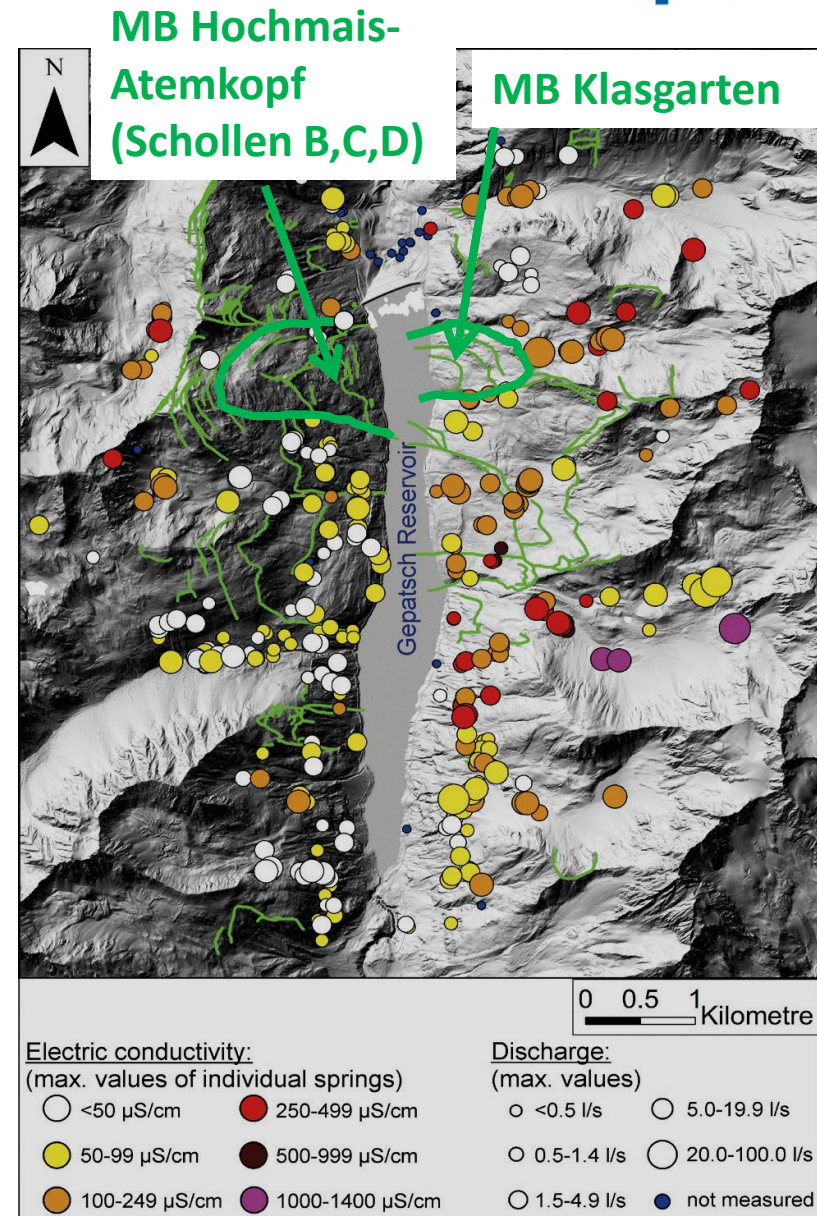
Porositäten, ϕ , und hydraul. Durchlässigkeiten, K_S Bereich Kaunertal(oben); Porosität vs. Tiefe von verschiedenen MB (unten)

Einführung

Beobachtungen:

- MB (flach- bis tiefgründig): erhöhte Porosität durch Interdeformation
 → höhere hydraul. Durchlässigkeiten
 → **Veränderung der „ursprünglichen“ Quellhorizonte**

Punkte: Quellaustritte (Kaunertal)
 Grüne Linien: Abbruchkanten von MB



Thermografie → MB Ausdehnung

Beobachtungen:

- MB (flach bis tiefgründig): erhöhte Porosität durch Interndeformation
- → höhere hydraul. Durchlässigkeiten
- → Veränderung der „ursprünglichen“ Quellhorizonte
→ lokale Heterogenitäten erlauben (häufig) Detektion mittels Thermografie

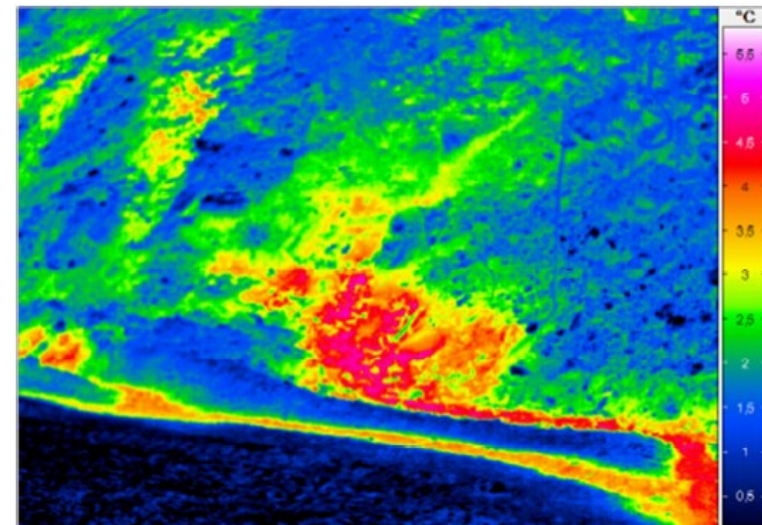
Thermografie → MB Ausdehnung

Beobachtungen:

- Grundwassertemperaturen zeigen generell geringere tägliche/saisonale Schwankungen als Lufttemperatur
- → Wassergesättigte Bereiche besitzen zeitweise andere Temperaturen als ungesättigte

Phänomen ausnutzbar als Analysetool:

- Lokalisierung von Wasseraustritten in potentiell gefährlichen Gebieten
- Detektion Grenze durchlässiger (MB)-gering durchlässiger Bereich (Wasseraustritt häufig an Basis von MB)



Temperaturverteilung Padauner Berg, Wipptal

Thermografie → MB Ausdehnung

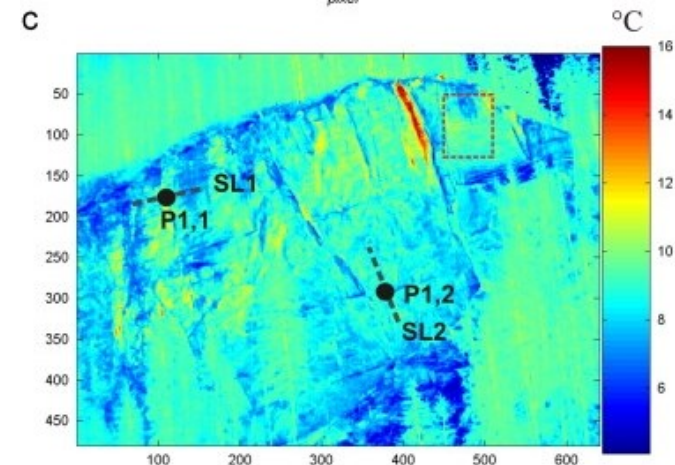
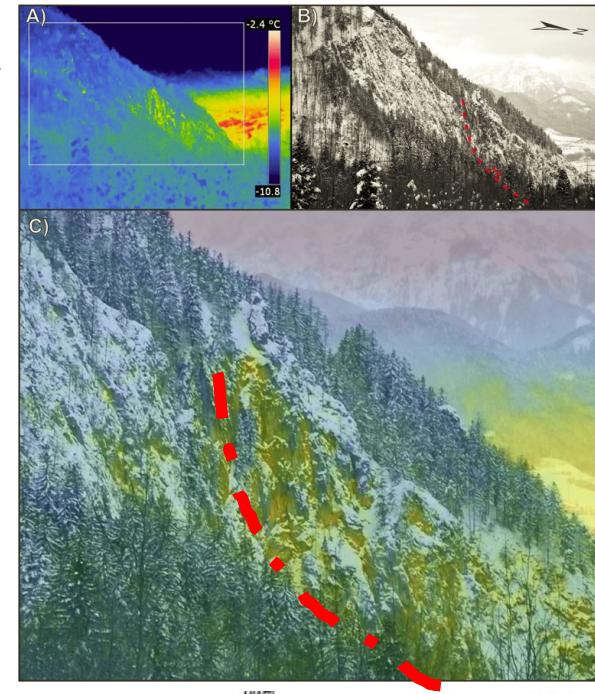
Baron et al. (2014) Landslides 11

Beobachtungen:

Grundwassertemperaturen zeigen generell geringere tägliche/saisonale Schwankungen als Lufttemperatur
 → Wassergesättigte Bereiche besitzen zeitweise andere Temperaturen als ungesättigte
 → Ähnliches Phänomen auch gültig für Lufttemperaturen (z.B. Hohlräume)

Phänomen ausnutzbar als Analysetool:

→ Hinweis auf Dimensionen der MB
 → Lokalisierung von potentiellen Steinschlagablösegebieten/Schwächezonen
 → Detektion von Entstehung von offenen Klüften



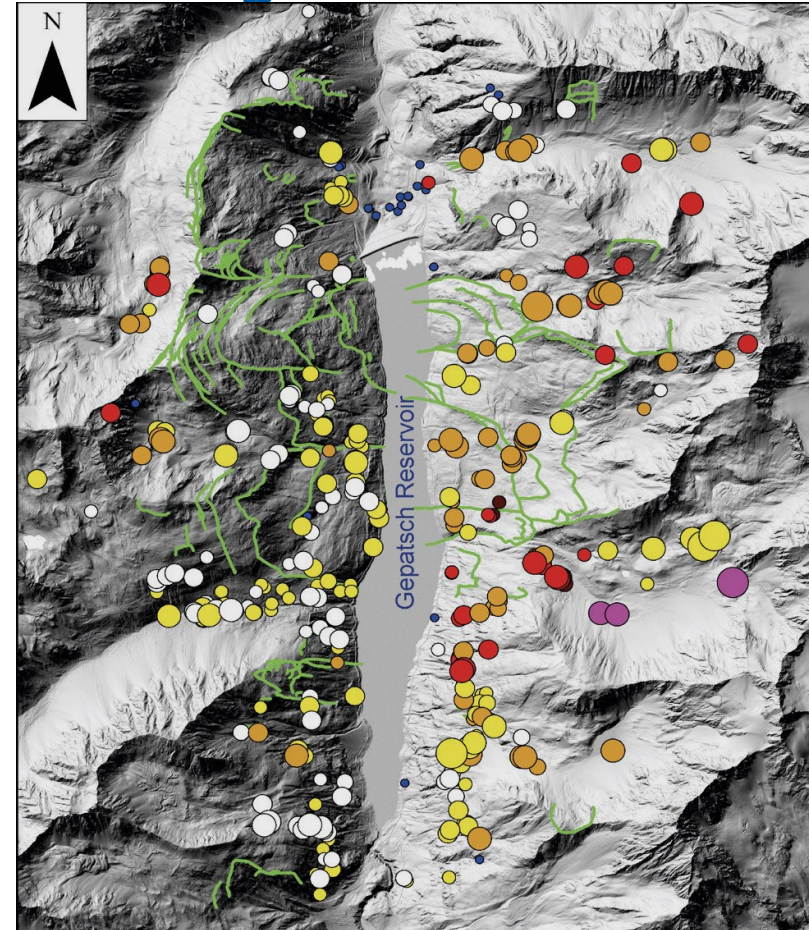
Temperaturverteilung Gschlifgraben (oben),
 Temperaturverteilung Felswand Vicenza, IT (unten)

Teza et al. (2012) Comput. Geosc. 45

Hydrochemie → MB Ausdehnung

Beobachtungen:

- MB (flach bis tiefgründig): erhöhte Porosität durch Interdeformation
→ höhere hydraul. Durchlässigkeiten
→ **Anomalien (idR Erhöhung) in den gelösten Ionen(gehalten) im Bereich von Massenbewegungen**



Elektr. Leitfähigkeiten von Quellen
(Kaunertal): Grüne Linien:
Abbruchkanten von MB

Strauhal et al. (2016) AJES, 109 (1)

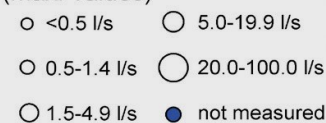
Electric conductivity:

(max. values of individual springs)



0 0.5 1 Kilometre

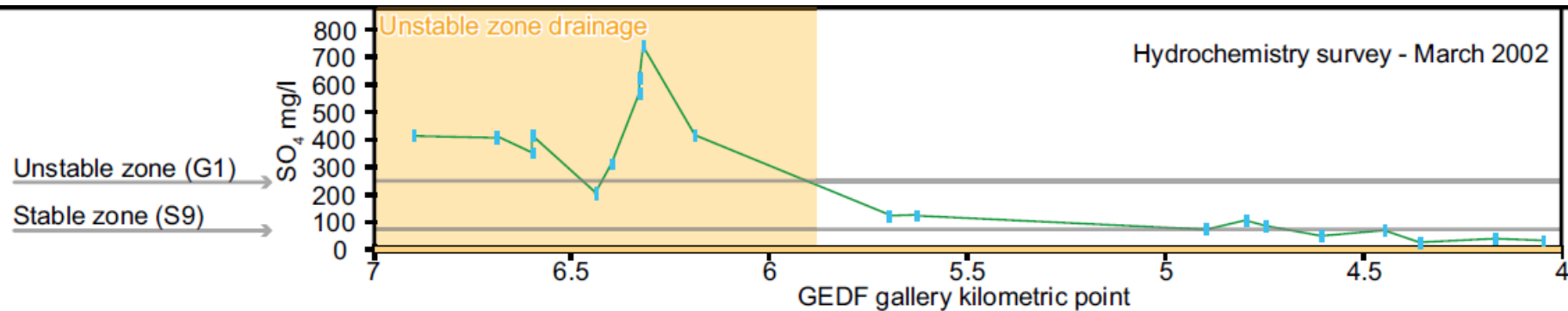
Discharge:
(max. values)



Hydrochemie → MB Ausdehnung

Beobachtungen:

- Erhöhung der gelösten Ionengehalte im Bereich von MB



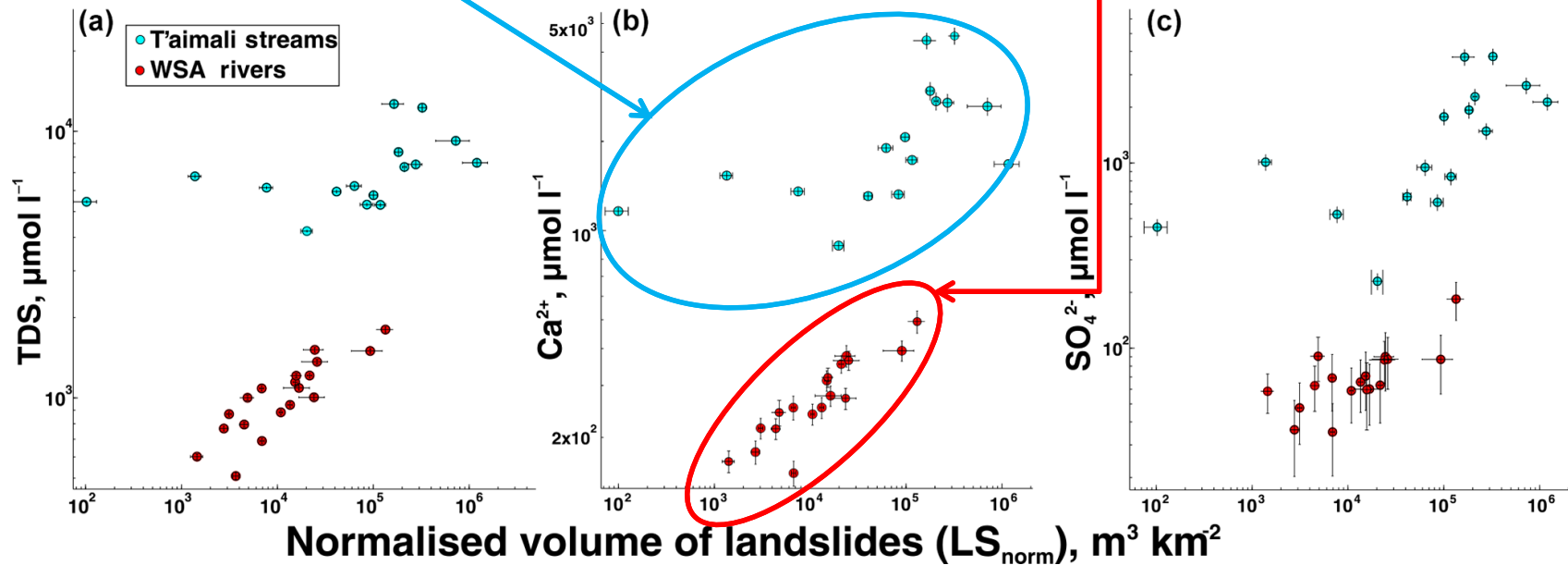
Vallet et al. (2015) Hydrogeol. J. 23

Hydrochemie → MB Ausdehnung

- Detektion von MB durch Gehalt an TDS/Ca/SO₄ in Quellwasser

Untersuchungsgebiet A (silikatische Meta-Sedimente): sehr gute Korrelation (NZL)

Untersuchungsgebiet B (kalkreiche tertiäre Sedimente): deutlich schlechtere Korrelation aufgrund anderer Lösungs-/Verwitterungsprozesse (TWN)



Emberson et al. (2016) Earth Surface Dynamics 4

→ lokalspez. hydrochem. Prozessverständnis notwendig

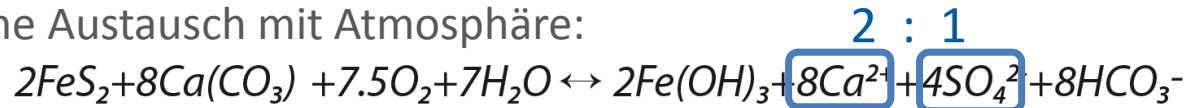
Hydrochemie → MB Ausdehnung

Beobachtungen:

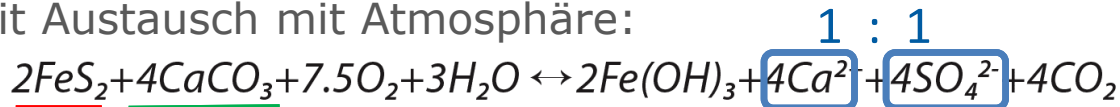
- Unterschiedliche Wasserchemismen: MB vs. anstehend:
Möglichkeit der Interaktion von Grundwasser mit der Atmosphäre kann zu unterschiedlichen Wasserchemismen führen

Beispiel: Kalzitlösung + Pyritoxidation (Kluftminerale von Gneisen im Kaunertal):

ohne Austausch mit Atmosphäre:



mit Austausch mit Atmosphäre:



Phänomen ausnutzbar als Analyse- / Monitoring(?) -tool:

- Abweichende Wasserchemismen in zerlegten Bereichen (i.e. evtl. unentdeckte MB)
- „Umschlagen“ des Wasserchemismus während der Entstehung einer Massenbewegung denkbar

Strauhal et al. (2016) AJES 109

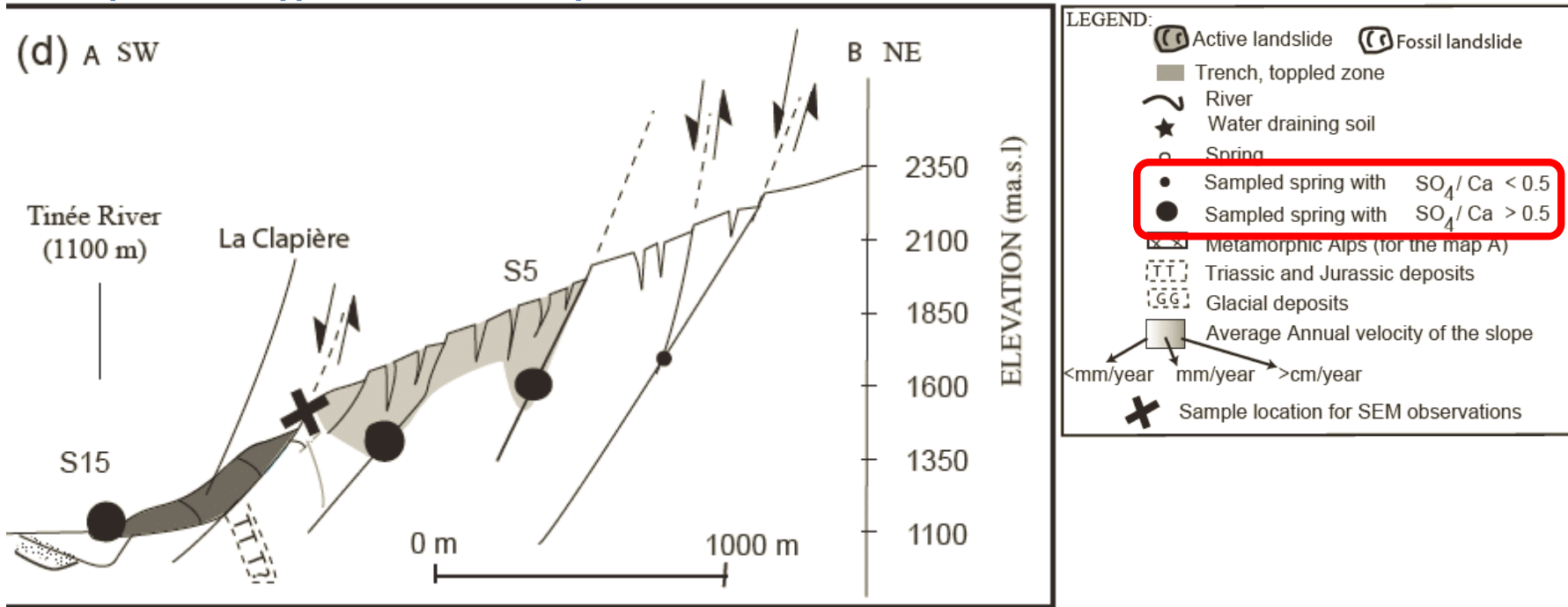
Kluftbeläge auf
Gneisen (Kaunertal)



Hydrochemie → MB Ausdehnung

- Detektion von MB anhand von chem. Zusammensetzung von Quellwässern (z.B. für bewachsene und oder schlecht erkundete Gebiete)

Gleitmasse Toppling anstehend



Hydrochemie → MB Aktivität

Theorie:

Geklüftete Aquifere: Grundwasserfluss entlang von spezif. Fließwegen (z.B. Klüften)
→ Wasser – Gesteins – Interaktion an Kluftoberflächen
Silikatische Minerale kaum wasserlöslich (→ generell geringe elektr. Leitfähigkeit des Wassers), viele Kluftminerale (z.B. Karbonate) dafür sehr

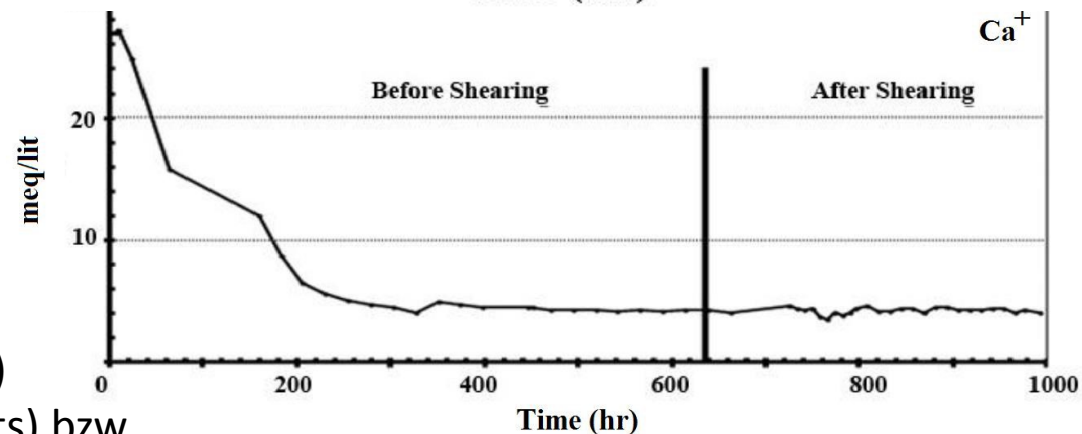
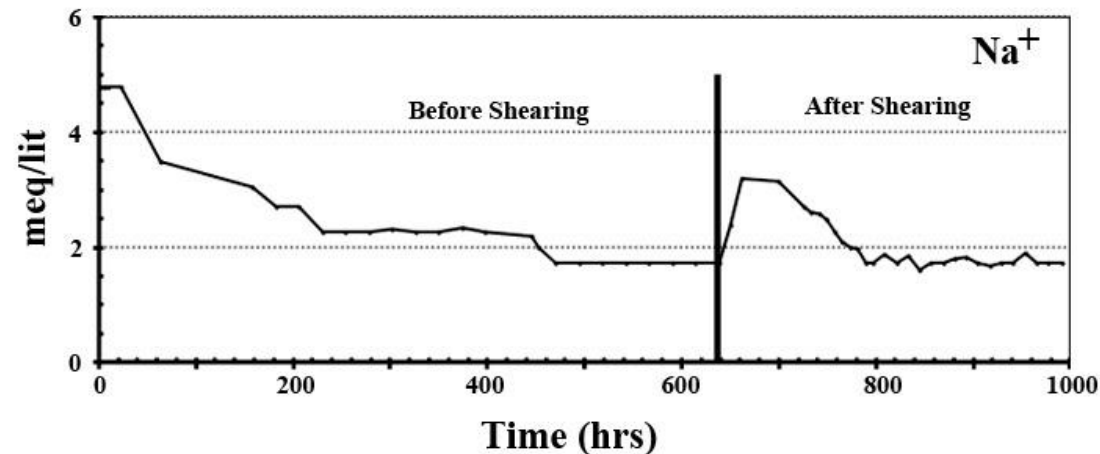
Phänomen ausnutzbar als Frühwarnsystem?

Gravitative (+ tektonische) Bewegungen beginnen mit Vernetzung von Klüften →
Frische Kluftflächen in Kontakt mit Wasser

→ Kurzfristige Erhöhung der Ionengehalte von Quellwässern kurz vor dem
Versagensereignis bzw. Aktivitätsphase

Hydrochemie → MB Aktivität

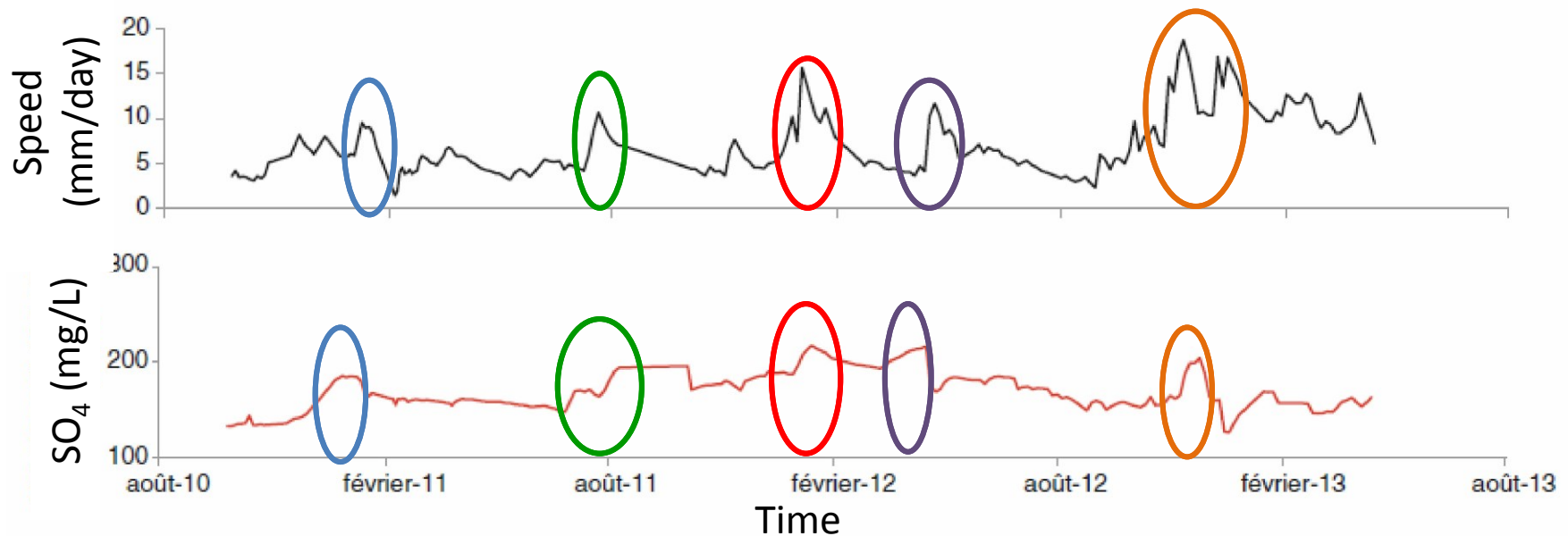
- Korrelation von Ionengehalten im Wasser mit Bewegungsverhalten:
Laborversuch: kontinuierliche „Durchspülung“ einer Böschung aus Lockermaterial
 + künstliche Auslösung
 des Versagens



Labora Aufbau: künstl. Böschung (links)
 Na-Konzentration vs. Zeit (oben rechts) bzw.
 Ca-Konzentration vs. Zeit (unten rechts)

Hydrochemie → MB Aktivität

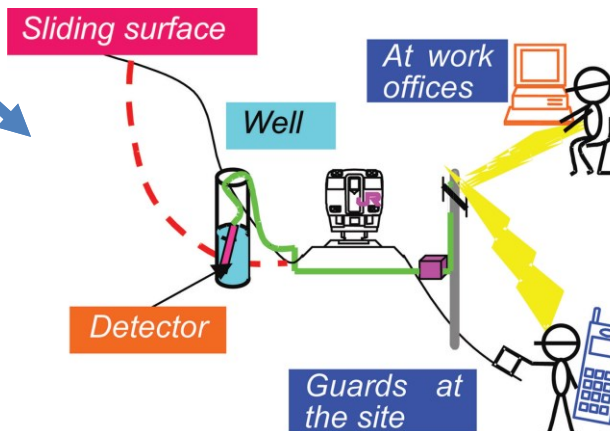
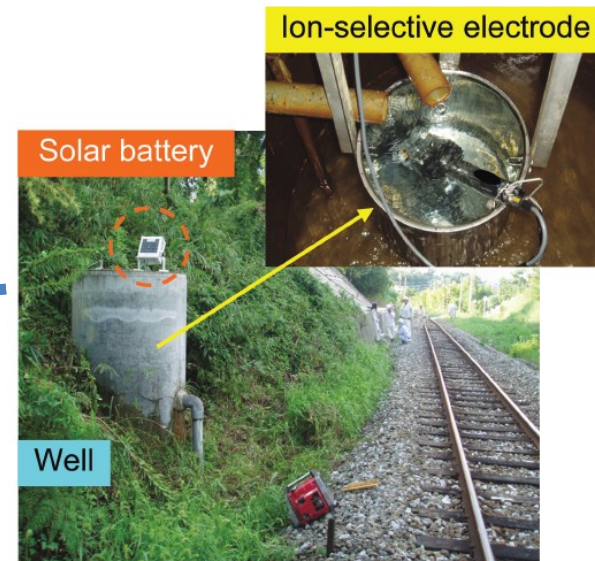
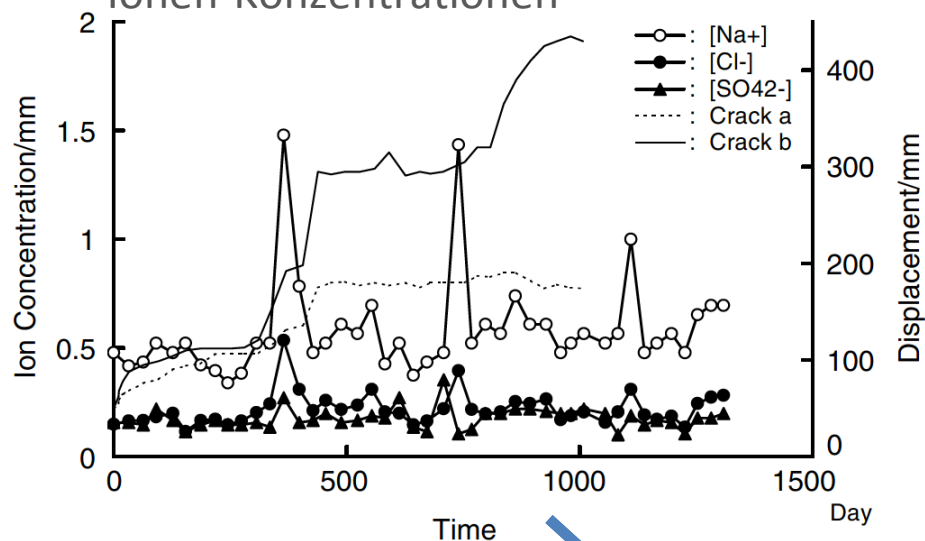
- Korrelation von Gehalt an in Wasser gelösten Substanzen mit Beschleunigungsphasen



MB Séchilienne, FR:
MB-Geschwindigkeit vs. Zeit (oben) bzw.
SO₄-Konzentration vs. Zeit (unten)

Hydrochemie → MB Aktivität

- Monitoring von Aktivierung von Massenbewegungen in Lockergestein durch Ionen-Konzentrationen



Automatisiertes hydrochemisches Monitoring von Hangbewegungen inkl. Frühwarnsystem-Eisenbahntrasse JPN

Schlussfolgerungen

- Internzerlegung von Massenbewegungen hat starken Einfluss auf Grundwasser → Auswirkungen auf Verteilung des Grundwassers (thermografisch detektierbar)
→ Auswirkungen auf Gesteins-Wasser Interaktion (hydrochemisch detektierbar)
- vielfältige Einsatzmöglichkeiten von hydrochemischen Daten
- Rahmenbedingungen jedoch von Fallbeispiel zu Fallbeispiel unterschiedlich → Interpretation nicht immer einfach, i.d.R. nur aufbauend auf bestehenden geodätischen Monitoring sinnvoll (zahlreiche Einflussfaktoren bewirken unterschiedliche Signaturen)
- verhältnismäßig einfach aufzubauendes Monitoringnetzwerk
- flächendeckende Informationen (bis hin zu kontinuierl. Monitoring) möglich von sonst eventuell schlecht vermessbaren Gebieten

Vorgestellte Arbeiten (1/2)

- Baron I., Beckovsky D., Mica L. (2014) Application of infrared thermography for mapping open fractures in deep-seated rockslides and unstable cliffs. *Landslides* 11, 15-27.
- Bertrand C., Vallet A., Mudry J. (2014) Hydrochemical Approach of Mechanical Degradation of the Séchilienne Unstable Slope. *Eng. Geol. Soc. Territ.*, 2137-2140.
- Binet S., Spadini L., Bertrand C., Guglielmi Y., Mudry J., Savia C. (2009) Variability of the groundwater sulfate concentration in fractured rock slopes: a tool to identify active unstable areas. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 13, 2315-2327.
- Emberson R., Hovius N., Galy A., Odin M. (2016) Oxidation of sulfides and rapid weathering in recent landslides. *Earth Surface Dynamics* 4, 727-742.
- Hiebl B. (2016) Analyse von Bodenfeuchte an natürlichen Oberflächen mit Infrarot-Thermographie. Bachelorarbeit, UIBK, 50 S.
- Sakai H., Yamada T. (2007) Monitoring systems using chemical sensors to protect railroad operation from landslide disasters. *Landslide & Climate Change*, 269-274.
- Shoaie Z. (2013) A New Approach to the Landslide Early Warning using the Chemical Composition Fluctuation in the Leakage from Susceptible Slopes. *Ecopersia* 1(3), 219-233.
- Strauhal T., Prager C., Millen B., Spötl C., Zangerl C., Brandner R. (2016) Aquifer geochemistry of crystalline rocks and Quaternary deposits in a high altitude alpine environment (Kauner Valley, Austria). *AJES*, 109 (1), 29-44.

Vorgestellte Arbeiten (2/2)

- Strauhal T., Loew S., Holzmann M., Zangerl C. (2016) Detailed hydrogeological analysis of a deep-seated rockslide at the Gepatsch reservoir (Klasgarten, Austria). *Hydrogeol. J.* , 24 (2), 349-371.
- Teza G., Marcato G., Castelli E., Galgaro A. (2012) IRTROCK: A MATLAB toolbox for contactless recognition of surface and shallow weakness of a rock cliff by infrared thermography. *Comput. Geosc.* 45, 109-118.
- Vallet A., Bertrand C., Mudry J., Bogaard T., Fabbri O., Baudement C., Régent B. (2015) Contribution of time-related environmental tracing combined with tracer tests for characterization of a groundwater conceptual model: a case study at the Séchilienne landslide, western Alps (France). *Hydrogeol. J.* 23, 1761-1779.
- Zangerl C., Chwatal W., Kirschner H. (2015) Formation processes, geomechanical characterisation and buttressing effects at the toe of deep-seated rock slides in foliated metamorphic rock. *Geomorph.*, 243, 51-64.
- Zangerl C., Strauhal T., Fey C., Holzmann M., Perzmaier S. (2017) Insights into deep-seated rockslides in metamorphic rock masses: Lessons learned from field surveys, in-situ investigations and numerical modelling, *Proceedings - WLF 4, Ljubljana*, 8 S.

Besonderer Dank an:

Prager Christoph, Millen Bernard, Spötl Christoph, Zangerl Christian, Rutzinger Martin

