

Donnerstag 19. Oktober 2017

15:00-15:30

## Der Einfluss einer Großmassenbewegung auf das hydrogeologische System Turiawald-Sattnitz, Österreich

Gerfried Winkler<sup>1</sup> & Felix Thalheim<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institut für Erdwissenschaften, Nawi Graz Geozentrum, Karl-Franzens-Universität Graz*

<sup>2</sup>*Wasser Tirol – Wasserdienstleistungs-GmbH, Innsbruck*

### Abstract

The Turiawald plateau (about 6 km<sup>2</sup>) in the Western Sattnitz (Carinthia, Austria) is built up by massive conglomerates with a thickness up to 200 m which are underlain by Miocene fine clastic sediments that act as an aquiclude and slightly incline towards NW. Nearly no overland flow occurs and most of the infiltrating water is drained by the Roach spring, Pleier spring, and Hojoutz spring. The Roach spring at the west of the plateau drains about 75% of the plateau and is influenced by a large-scale mass movement. The Pleier spring situated at the north of the plateau is influenced by smaller mass movements and rockfalls. The Hojoutz spring is supposed to be unaffected by mass movements and represents the Conglomerate aquifer. Air temperature, precipitation rates, discharge, water temperature and electrical conductivity data were applied to characterize the spring catchments and aquifer properties. The results show a clear impact of the mass movement on the hydrogeological system Roach spring and the related aquifer properties.

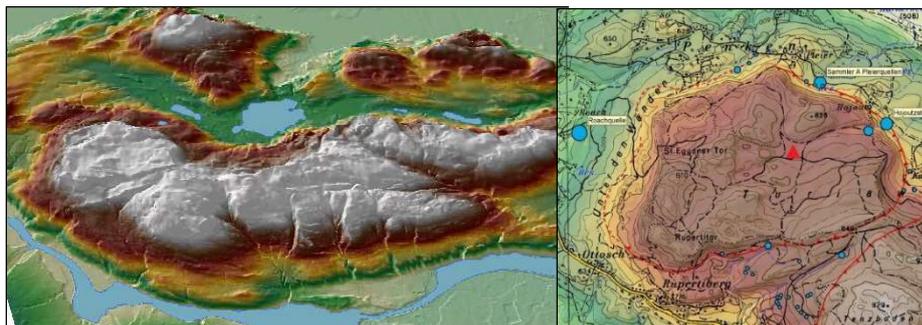
### Einleitung

Der Einfluss von Wasser und Grundwasser auf Massenbewegungen ist vielfach diskutiert und ein breites Forschungsfeld, zahlreiche Studien sind v.a. auf die Auswirkung von Wasser auf die Hangstabilität und damit verbundene Risiken und Prognose gerichtet (z.B. Guzzetti et al., 2008; Ronchetti et al. 2009; u.v.m). Die Auswirkungen von Großmassenbewegungen auf das hydrogeologische System wurde meist im Zusammenhang mit Infrastrukturbauten dokumentiert (z.B. Knittel, 1995; Steidl, 2003; Masset & Löw, 2010; Strauhal et al., 2016). Gerade alpine Regionen sind aber durch eine Vielzahl an Großmassenbewegungen gekennzeichnet, die komplexe Aquifere (z.B. Madritsch & Millen, 2007; Novotný & Kobr, 2009; Strauhal et al., 2016) darstellen, an die sehr oft Einzugsgebiete für Trinkwasserversorgungsanlagen gebunden sind. Welchen Einfluss derartige Großmassenbewegungen auf das hydrogeologische System haben, ist aber bis dato noch recht untergeordnet untersucht. In diesem Beitrag werden daher die Auswirkungen und der Einfluss einer Großmassenbewegung auf das hydrogeologische System am Beispiel der Großmassenbewegung am Westrand des Turiawald-Plateaus in der westlichen Sattnitz (Sattnitz-West) beschrieben.

### Untersuchungsgebiet

Das Sattnitzkonglomerat erstreckt sich als eine Hochfläche (bis über 900 m ü.A.) entlang des gesamten Karawankennordfußes nördlich der Drau, wobei der Westteil (Sattnitz-West) zwischen der Keutschacher Seenfurche im Norden und der Drau im Süden liegt (Abb. 1a). Der Bereich **Turiawald** bildet dabei eine im

Westen vom Rest der Konglomeratplatte abgesetzte, eigene Platte mit ca. 6 km<sup>2</sup> Fläche aus, die allseits von steilen Felsabbrüchen umgeben ist.



**Abbildung 1:** a) Übersichtsreliefkarte der westlichen Sattnitz, die Drau als südliche Begrenzung; ganz im Westen befindet sich das Turiawald-Plateau b) Detailansicht des Turiawald-Plateaus mit der Lage der drei Hauptquellen im Westen (Roach-Quelle) und Norden (Pleier-Quelle/Sammler A und Hojoutz-Quelle, blaue Kreise) sowie der Wetterstation oben auf dem Plateau (rotes Dreieck) (modifiziert nach Poltnig et al., 2007)

Geologisch wird das Sattnitzkonglomerat von altkristallinen, retrograd zu diaphoritischen Schiefen umgewandelten Gesteinen des mittelostalpinen Deckenstockwerkes unterlagert. Innerhalb der diaphoritischen Schiefer finden sich Marmorzüge und im Bereich des Keutschacher Seentals eingeschuppte permotriadische Schichten. Im Bereich **Turiawald** liegen hangend dazu obermiozäne Kohle führende Tone, welche Mächtigkeiten bis 70 m erreichen können. Darüber wurden die vermutlich pliozänen, grobklastischen Sattnitzkonglomerate mit vorwiegend Karbonatgeröllen (bis zu 60%, Griem et al., 1991) abgelagert, welche Mächtigkeiten bis 200 m aufweisen und Verkarstungserscheinungen wie Dolinen und Schwinden zeigen. Die Feinklastika bilden somit im Bereich Turiawald den Stauer an der Basis der Konglomerate. Des Weiteren bewirkte das plastische Verhalten der unterlagernden miozänen Feinsedimentschichten ein großflächiges Zerbrechen der spröden Konglomeratplatte v.a. im Randbereich, was zu einer Anhäufung von Bergsturzmaterial und großen abgeglittenen Konglomerat-schollen im Westen und im Nordwesten des Turiawaldplateaus führte (Fellner, 1993; Staunig, 2011). Die Massenbewegungsform des Turiawaldplateaus kann als Beispiel für „Hart auf Weich“ (Poisel & Eppensteiner, 1988, 1989, Winkler et al., 2008) angesehen werden. Es liegt kein Oberflächenabfluss vor und nahezu das gesamte infiltrierende Wasser des Plateaus entwässert über drei Hauptquellen, die Roach-Quelle im Westen, die Pleier-Quelle im Norden und die Hojoutz-Quelle im Nordosten (Abb. 1b). Die Roach-Quelle (Quellfassung etwa auf 550 m ü. A.) liegt am Fuß einer Großmassenbewegung (Fellner, 1993), etwa 100 m unterhalb des angenommenen Kontaktes zwischen Konglomeraten und den feinklastischen Sedimenten, dem Stauer (Staunig, 2011), und entwässert ca. 75 % des Plateaus (Poltnig et al., 2007). Ca. 1/3 der Einzugsgebietsfläche umfasst der Bereich der Massenbewegung. Die beiden anderen Quellen treten in einer Seehöhe von etwa 650 m ü. A. knapp unterhalb des Stauers aus (Poltnig et al., 2007, Winkler et al., 2008). Die Pleier-Quelle ist nur geringfügig von Massenbewegungen beeinflusst und die Hojoutz-Quelle aufgrund der Stollenfassung ca. 105 m unter den Konglomeraten (Quellkammer aus dem Jahre 1950 (Kahler, 1951)) so gut wie gar nicht.

## Methodik

Die Roach-, Pleier- und Hojoutz-Quelle werden seit 2005 in Bezug auf die Parameter Wasserstand (WL), der basierend auf Wehrgleichungen in Schüttungswerte (Q) umgerechnet wird, Wassertemperatur (WT)

und elektrische Leitfähigkeit (EC) mittels Messsensoren zeitlich hoch aufgelöst gemessen. Mittels Datenlogger werden die Messwerte gespeichert und anschließend die Zeitreihen in einer entsprechenden Software aufbereitet. Zusätzlich werden mittels automatisierter Messsysteme und Datenlogger an einer meteorologischen Station unter anderem der Niederschlag und die Lufttemperatur kontinuierlich seit 2011 direkt am Plateau erfasst (Abb. 1b)

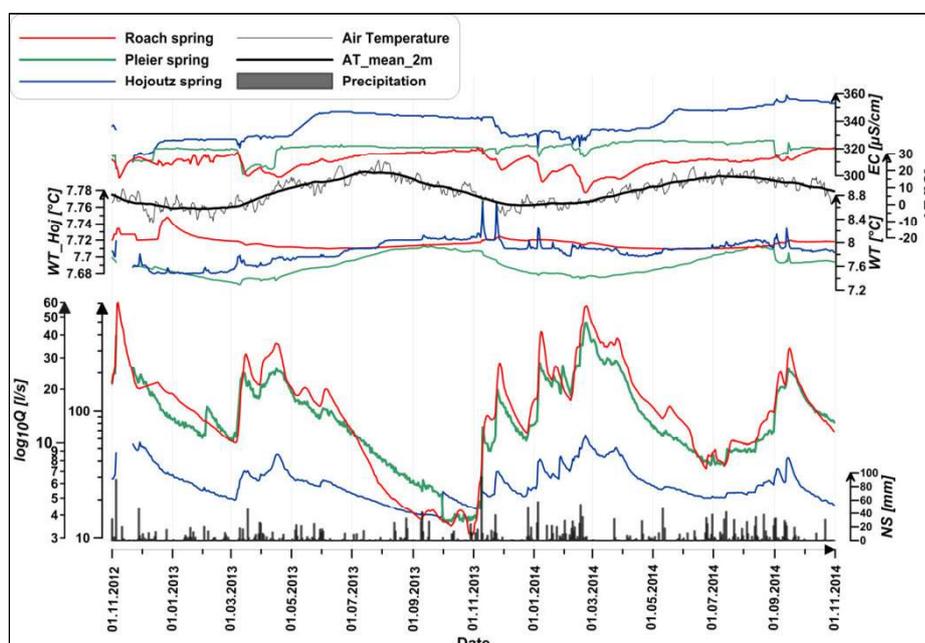
Für die Charakterisierung der Quellen und die Auswertung in Bezug auf Auswirkungen der Massenbewegung wurden nachstehende Methoden angewandt:

- Hydrograph-Analyse, Schüttungsvariabilität, Speichervolumina
- Natürliche Tracer WT und EC in Bezug auf Speicherverhalten
- Auto- und Kreuz-Korrelationen (AT, WT, EC, Wasserstand (WL) bzw. Niederschlag vs. WL aller drei Quellen) um die Unterschiede in der Entwässerungsdynamik der Quellen zu quantifizieren.

Nachfolgend wurde herausgearbeitet, inwiefern sich die drei Quellen in ihrer Entwässerungsdynamik unterscheiden und inwieweit dies durch die Massenbewegungen beeinflusst ist.

## Ergebnisse

Die Ganglinien aller Parameter (WT, EC, Q) der drei Quellen zeigen eine deutlich ausgeprägte Saisonalität, wobei Amplitude, Dynamik und zeitliche Verzögerungen unterschiedlich sind (Abb. 2, Tab. 1), was auf ein unterschiedliches Reagieren auf Grundwasserneubildungsereignisse schließen lässt. Die Schüttungswerte der Roach-Quelle liegen durchschnittlich um ca. eine Zehnerpotenz über jenen der Hojoutz- und Pleier-Quelle (Tab. 1), wobei die Pleier-Quelle ca. 2-3-mal höhere Schüttungswerte aufweist als die Hojoutz-Quelle.



**Abbildung 2:** Vergleich der Schüttung, EC und WT der drei Quellen sowie der Lufttemperatur (AT) (Thalheim, 2016b)

Im Wesentlichen zeigt sich, dass alle hydraulisch rasch (starker Schüttungsanstieg) auf Niederschlagsereignisse reagieren. Unterschiedlich sind jedoch die Verzögerungszeiten, berechnet aus den Ganglinien der maximalen Grundwasserneubildung (max. Steigung des Schüttungsanstiegs) zu den Minima und Maxima der natürlichen Tracer (WT, EC), d.h., wann das Niederschlagswasser an den

Quellen ankommt. Die Pleier- sowie Hojoutz-Quelle reagieren innerhalb weniger Stunden bis eines halben Tages und somit deutlich schneller als die Roach-Quelle mit ca. 2-3 Tagen (Tabelle 1). Des Weiteren zeigt die WT der Roach-Quelle mit ca. 4-6 Monaten den höchsten saisonalen „Shift“ gegenüber der AT (Tab. 1). Die WT der Hojoutz-Quelle weist nur geringfügige Schwankungen im Jahresverlauf ( $\Delta WT$  0,11°C, Tab. 1) auf, Temperaturspitzen treten sehr kurzfristig während erster starker Herbstniederschläge auf, ohne jedoch die saisonale Dynamik zu beeinflussen. Des Weiteren ist das Wasser der Hojoutz-Quelle am höchsten mineralisiert, zeigt aber trotzdem eine Verdünnung durch Niederschlagswasser, welches in einem geringen Prozentsatz innerhalb weniger Stunden an der Quelle ankommt.

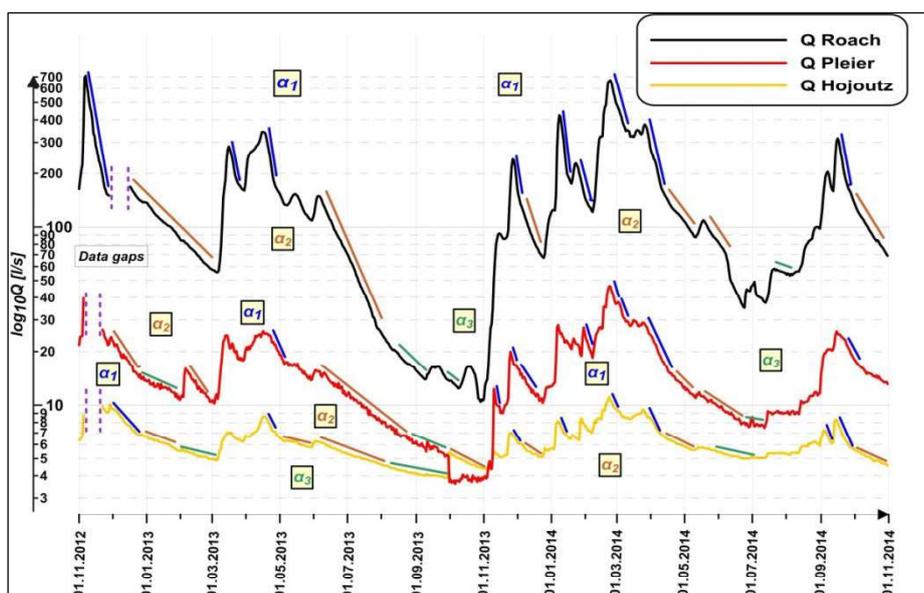
**Tabelle 2:** statistische Kenngrößen der Parameter WT und EC bezogen auf die maximale Grundwasseranreicherung sowie die durchschnittliche Schüttung (Thalheim, 2016b)

<b>Haupt-Parameter</b>		Max	Min	Ø	Saisonaler Shift [Monate]	Timelags [h]	Ø Schüttung [l/s]
Roach-Quelle	WT [°C]	8.18	7.87	8.005	4 to 6	53	130
	EC [µS/cm]	325	287	312		54	
Pleier-Quelle	WT [°C]	8.12	7.15	7.67	1 to 2.5	3	13.4
	EC [µS/cm]	329	297	320		4	
Hojoutz-Quelle	WT [°C]	7.79	7.68	7.708	0 to 4.5	10	5.73
	EC [µS/cm]	355	309	338		4.5	

Alle drei Quellen zeigen 3 unterschiedliche entwässerungsdynamische Komponenten mit unterschiedlichen Auslaufkoeffizienten ( $\alpha$ -Wert), eine rasche und mittlere Abflusskomponente (AK) sowie einen Basisabfluss (Abb. 3, Tab. 2). Das Auslaufverhalten der Roach-Quelle zeigt eine sehr schnelle Komponente, die mittlere AK ist etwas höher als die schnelle AK der beiden anderen Quellen und der Basisabfluss der Roach-Quelle entspricht in etwa dem Mittel der schnellen und mittleren AK der Pleier-Quelle und der Hojoutz-Quelle (Tab. 2). Der theoretisch vorliegende Basisabflusswert aus dem Plateau ( $\alpha$ -Wert in derselben Größenordnung wie bei der Hojoutz-Quelle) konnte bei der Roach-Quelle nicht beobachtet werden, da vorher Neubildungsereignisse auftreten, die ein Entleeren des Basisspeichers überdecken. Dies wird auch durch den Vergleich der Speichervolumina, berechnet aus den Abflusskomponenten, mit den Jahressummen der Schüttungen ersichtlich. Es zeigt sich, dass für die Roach-Quelle lediglich ca. 30% der Schüttungsmenge aus den Koeffizienten errechnet werden kann, für die beiden anderen Quellen jedoch ähnliche Größenordnungen bei beiden Berechnungsmethoden vorliegen.

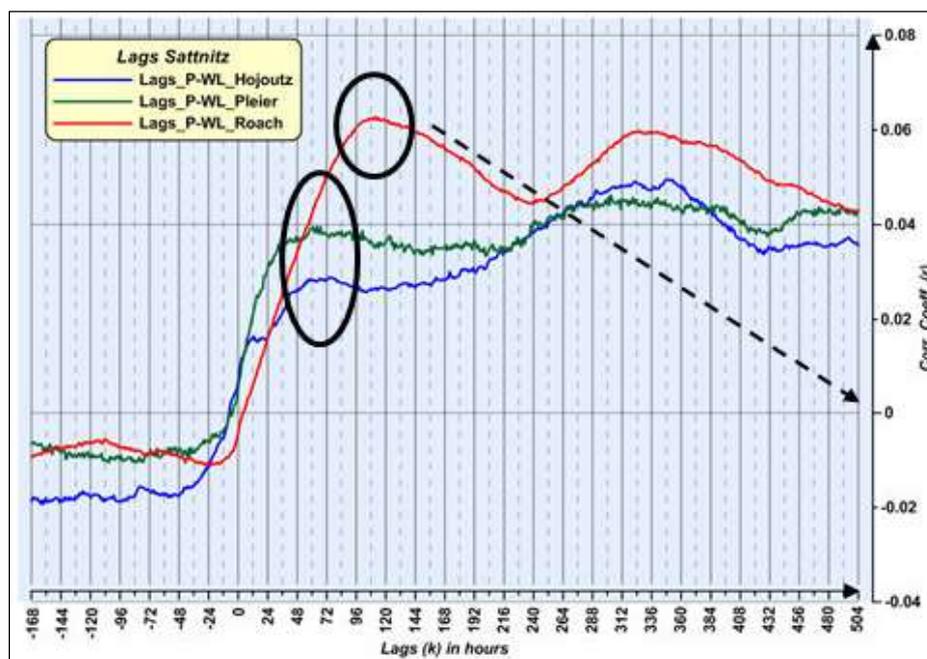
**Tabelle 2:** Auslaufkoeffizienten der Abflusskomponenten (AK) der drei Quellen (Thalheim, 2016b).

	Schnelle AK [1/d]	Mittlere AK [1/d]	Basisabfluss [1/d]
Roach-Quelle	0.079	0.0286	0.0127
Pleier-Quelle	0.024	0.0104	0.0058
Hojoutz-Quelle	0.021	0.0079	0.0031



**Abbildung 3:** Hydrographen der drei Quellen und ihre Entwässerungskomponenten sowie zugewiesenen Auslaufkoeffizienten (Thalheim, 2016b).

Alle Parameter (WT, EC, Q, AT) weisen eine hohe Autokorrelation auf ( $\emptyset$  Korr.Koeff. > 0,7). Zudem wird die in den Ganglinien beobachtet Saisonalität durch eine ausgeprägte Zyklizität in den Autokorrelationen zeitlich bestätigt. Die Ergebnisse der Kreuz-Korrelationen zwischen Wasserstand (WL) und Niederschlag (P) zeigen für alle drei Quellen mindestens zwei Abflusskomponenten, wobei bei der Roach-Quelle Indikationen für einen zusätzlichen separat entwässernden Speicher zu erkennen sind (Abb. 4). Des Weiteren ist bei der Roach-Quelle eine deutliche höhere zeitliche Verzögerung der Reaktion auf Niederschlagsereignisse zu erkennen, was mit den bisherigen Beobachtungen gut übereinstimmt.



**Abbildung 4:** Kreuz-Korrelation zwischen Niederschlag (P) und Wasserstand (WL) bei den Quellen mit unterschiedlichen Zeitverzögerungen der drei Quellen (schwarze Kreise). Schwarzer Pfeil weist auf einen separaten Speicher bei der Roach-Quelle hin.

## **Interpretation und Schlussfolgerungen**

Alle drei Quellen zeigen ein komplexes Auslaufverhalten mit drei Abfluss-komponenten. Die Analyseergebnisse zeigen aber deutliche Unterschiede für die Roach-Quelle zu den beiden anderen Quellen. Die Hojoutz-Quelle repräsentiert im Wesentlichen das Entwässerungs- und Speicherverhalten der Konglomerate des Turiawald-Plateaus. Bezogen auf diese Charakterisierung zeigt sich, dass das hydrogeologische System der Roach-Quelle massiv durch die Großmassenbewegung beeinflusst ist. Die Ergebnisse weisen auf einen separaten Aquifer hin, der im Wesentlichen die Großmassenbewegung repräsentiert und in gewisser Weise dem weitreichenden Aquifer am Plateau von der Entwässerung vorgeschaltet ist. Die sehr rasche hydraulische Anregung nach Niederschlagsereignissen weist auf eine sehr gute hydraulische Durchlässigkeit in der Großmassenbewegung hin, was sehr gut zu den Materialbeschreibungen in Fellner (1993) und Staunig (2011) passt. Die Auswertungen der natürlichen Tracer ergaben aber deutlich längere Verweilzeiten für das Niederschlagswasser zur Roach-Quelle als zu den anderen Quellen. Dies lässt sich mit beckenartigen Strukturen in den stauenden Schichten unter der Großmassenbewegung durch Rotations- und Translationsbewegungen der massiven, großen Konglomeratblöcke erklären. Derartige Deformationen der stauenden Schichten sind aus Dokumentationen im Zuge von Kohlebergbautätigkeiten (z.B. Stollenvortrieb des Eduardstollens im Jahre 1876, beschrieben in Thalheim, 2016) und Geländebeobachtungen anstehender, verkippter Schichtpakete feinklastischer, kohleführender Sedimente bekannt. Zusammengefasst kann gesagt werden, dass die Aquifereigenschaften, die über die Daten der Roach-Quelle erfasst wurden, im Wesentlichen die Großmassenbewegung repräsentieren, was in etwa ein Drittel des Gesamtspeichervolumens des Aquifers der Roach-Quelle ausmacht. Aufgrund der starken Beeinflussung durch die Massenbewegung ist durch die physiko-chemischen Parameter WT, EC und Q die Charakterisierung des Hauptspeichers, der zwei Drittel des Einzugsgebiets umfasst (Plateau), nicht möglich. Ergänzend liegen Ergebnisse aus Isotopenanalysen (Polnig et al., 2007) mit durchschnittlichen Verweilzeiten der Quellwässer der Roach-Quelle von mehreren Jahren vor. Dies bestätigt, dass neben dem in diesem Beitrag beschriebenen Aquifer ein weiterer großer Speicher vorliegen muss.

Im konkreten Fall zeigt sich, dass durch Großmassenbewegungen zusätzliche große Aquifere entstehen können, die sich von den Eigenschaften der ursprünglichen Aquifere deutlich unterscheiden. Am Beispiel Turiawald ist eine deutliche Auflockerung des Untergrunds und damit verbunden eine höhere hydraulische Durchlässigkeit des Untergrunds zu erkennen. Des Weiteren dürfte durch die Bewegungsmechanismen an der Basis der Massenbewegung die Form und Geometrie des Stauers nachhaltig beeinflusst sein, was wiederum zu einer Änderung des Entwässerungsverhaltens führt. Es zeigt sich auch, dass derart komplexe hydrogeologische Gegebenheiten nur durch einen interdisziplinären Ansatz erfasst und quantifiziert werden können.

## **Referenzen**

Fellner, D. (1993): Die Massenbewegungen der Sattnitz (Kärnten, Österreich).- Jb. Geol. B.-A., 136, H.2, 315-325, Wien.

Griem, W., Wolf, S., Sylvester, H., Thiedig, F. (1991): Sedimentologie und Sedimentpetrographie der tertiären Sattnitzkonglomerats zwischen Villach und Klagenfurt (Kärnten, Österreich): Jb. Geol. B.-A., 134, H. 1, 27-36, Wien.

Guzzetti F, Peruccacci S, Rossi M, Stark CP (2008): The rainfall intensity –duration control of shallow landslides and debris flows: an update. *Landslides*, 5, 3–17.

Knittel, A. (1995): Geotechnische Probleme beim Bau des Erkundungsstollen Kaponig Mitteilungen des Institutes für Bodenforschung und Baugeologie 5, 67-102.

Madritsch, H. & Millen, B. (2007): Hydrogeologic evidence for a continuous basal shear zone within a deep-seated gravitational slope deformation (Eastern Alps, Tyrol, Austria). *Landslides*, 4, 149-162.

Masset, O. Loew, S. (2010): Hydraulic conductivity distribution in crystalline rocks, derived from inflows to tunnels and galleries in the Central Alps, Switzerland. *Hydrogeol. J.*, 18, 863-891.

Novotny J., Kobr, M. (2009): Hydrogeological pattern of groundwater flow of landslides in Cretaceous claystones based on long-term groundwater monitoring and hydrologging measurement. *Envir. Geol.*, 58, 25-32.

Poisel, R., Eppensteiner, W. (1988): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 1: Geomechanik des Systems Hart auf Weich. *Felsbau* 6, Nr.4, 189-194, Essen

Poisel, R., Eppensteiner, W. (1989): Gang und Gehwerk einer Massenbewegung, Teil 2: Geomechanik des Systems Hart auf Weich. *Felsbau* 7, Nr.1, 16-20, Essen

Poltnig W., Harum T., Ruch Ch., Winkler G., Leis A., Ortner G., Reichl P. (2007): Hydrogeologie Sattnitzberge – Sattnitzplateau-West KA 42/04.- Unveröff. Ber., Institut für WasserRessourcenManagement, S. 110, Graz.

Ronchetti, F., Borgatti, L., Cervi, F., Gorgoni, C., Piccinini, L., Vincenzi, V., Corsini, A. (2009): Groundwater processes in a complex landslide, northern Apennines, Italy. *Nat. Hazards and Earth Syst. Sci.* 9 (3), 895-904.

Staubig, R. (2011): The Influence of Extensive Slope Tectonics on the Hydrogeological System Roach Spring (Carinthia/Austria). Unveröffentl. Masterarbeit, S. 80, Karl-Franzens-Universität Graz.

Steidl, A. (2003): Engineering geological investigation of Quaternary faulting and deep-seated gravitational slope deformation mechanics – with reference to the Kaponig Pilot Tunnel, Mallnitz, Austria. *Mitteil. der Gruppe Geotechnik Graz*, Heft 20.

Strauhal, T., S. Loew, M. Holzmann, and C. Zangerl. (2016): Detailed hydrogeological analysis of a deep-seated rockslide at Gepatsch reservoir (Klasgarten, Austria). *Hydrogeol. J.*, 24, no. 2 349-371.

Thalheim, F. (2016a): Hydraulic characterisation of a mass movement-influenced aquifer, Turiawald, Sattnitz Mountains, Carinthia. Unveröffentl. Masterarbeit, S. 158, Karl-Franzens-Universität Graz.

Thalheim, F. (2016b): Hydraulische Charakterisierung eines von Massenbewegungen beeinflussten Grundwasserleiters am Beispiel Turiawald, Sattnitz, Kärnten. *Beitr. z. Hydrogeol.*, Bd.60, 97-106.

Winkler, G., Poltnig, W., Schlamberger, J. (2008): Hangtektonische und tektonische Beeinflussung des Grundwassersystems Sattnitz. In: Marschallinger, R., Wanker, W.: *Computeranwendungen in Hydrologie, Hydrogeologie und Geologie, Beiträge zur COG-Tagung Salzburg 2007*, 38-46, Wichmann, Heidelberg.