

# Speicherverhalten und Abflusssdynamik aktiver Blockgletscher am Beispiel „Ölgrube Süd“, Kaunertal

*Storage and discharge dynamics of active rock glaciers, example “Ölgrube Süd”, Kaunertal valley*

K. HEIGERT<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Zusammenfassung der Masterarbeit Kajetan Heigert, erschienen 2018 am Institut für Erdwissenschaften, NAWI Graz Geozentrum, Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 2, 8010 Graz, Österreich; [k.heigert@gmx.de](mailto:k.heigert@gmx.de)

## Zusammenfassung

Während die Forschung an Blockgletschern in den letzten beiden Jahrzehnten einige Aufmerksamkeit erfahren hat, ist die Hydro(geo)logie von Blockgletschern ein relativ unerforschtes Thema. Aktuelle Untersuchungen an reliktschen Blockgletschern zeigen, dass diesen wahrscheinlich eine bedeutende Rolle in alpinen Einzugsgebieten zukommt. Trotz steigender Temperaturen gibt es in Österreich noch eine große Anzahl an aktiven Blockgletschern. Ein umfassendes Verständnis ihrer Abflusssdynamik muss zunächst noch entwickelt werden.

Im Arbeitsgebiet am Ölgrube Süd Blockgletscher im Kaunertal werden bereits seit über 10 Jahren hydrogeologische Messungen und Untersuchungen durchgeführt. Im Zuge dieser Arbeit werden Abflussmessungen, elektrische Leitfähigkeit und Wetterdaten von 2014 bis 2017 ausgewertet und präsentiert. Ergänzt werden diese durch 96 Isotopenproben, die an den 3 Hauptquellen und im Einzugsgebiet genommen wurden.

Die Ganglinie zeigt deutliche saisonale und tägliche Schwankungen, die maßgeblich vom Wetter verursacht werden. Spitzenabflusswerte von mehr als 500 l/s werden üblicherweise zur Schneeschmelze im Frühsommer erreicht. In Perioden fehlender Grundwasserneubildung (Spätsommer / Herbst und Winter) verringert sich die Variabilität. Schließlich wird ein mehrere Monate langes Stadium des Basisabflusses (ca. 10 l/s) beobachtet, welches bis zur nächsten Schneeschmelze anhält.

Die Analyse der „Master Recession Curve“ deutet auf einen heterogenen Aquifer-Aufbau hin. Dieser ist charakterisiert durch sehr gut leitende, bevorzugte Fließwege, über die Niederschläge rasch abgeleitet werden, sowie geringer durchlässige Schichten, die einen ganzjährigen ungefrorenen Speicher bilden.

Diese Dualität des Aquifers wird von den Untersuchungen der elektrischen Leitfähigkeit des Wassers bestätigt. „Event-Wasser“ passiert den Blockgletscher durchschnittlich innerhalb von etwa 4,5 Stunden nach der maximalen Grundwasserneubildung. Es zeigt sich, dass bereits das in den Blockgletscher infiltrierende Wasser sehr unterschiedliche elektrische Leitfähigkeiten von ca. 1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  bis 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$  besitzt.

Die Analyse stabiler Wasserisotope deutet wie die elektrische Leitfähigkeit darauf hin, dass im Blockgletscher eine Durchmischung von verschiedenen Wässern stattfindet und Blockgletschereis abgeschmolzen wird. Zwei Tracerversuche mit 50 % Wiederfindungsraten innerhalb weniger Stunden

fügen sich ebenfalls in das Modell des heterogenen Blockgletscheraufbaus ein. All dies deutet darauf hin, dass die Rückhaltefähigkeiten im Fall von starker Grundwasserneubildung begrenzt sind.

**Schlüsselwörter:** Hydrogeologie von Blockgletschern, Kaunertal, Tirol, Permafrost

**Keywords:** Hydrogeology of rock glaciers, Kaunertal, Tyrol, permafrost

## Geographie und Geomorphologie

Der untersuchte Blockgletscher Ölgrube Süd (ÖGS BG) befindet sich in der Inneren Ölgrube, einem Seitental des Kaunertals ca. 30 km südsüdöstlich der Stadt Landeck in Tirol. Der Tiefpunkt des Einzugsgebiets liegt auf ca. 2340 m ü. A. Hier entspringt der Schiltibach aus den Quellen an der Stirn des Blockgletschers und fällt über eine Stufe weitere 400 Hm in das Kaunertal hinab. Der höchste Punkt des Einzugsgebiets ist die Hintere Ölgrubenspitze mit 3295 m ü. A.

Optisch am auffälligsten im Untersuchungsgebiet ist der aktive Blockgletscher Ölgrube Süd. Dieser besteht aus zwei Zungen, die zusammen eine etwa 880 m lange und 230 m breite Fläche einnehmen. Die größere nördliche Zunge bildet eine markante, 40-45° steile, 70 m hohe Stirn (Krainer, 2015). Neben dem Blockgletscher ist das Gebiet geprägt durch Moränenablagerungen des Hinteren Ölgrubenferners, der sich seit dem letzten glazialen Maximum bis heute auf über 2800 m ü. A zurückgezogen hat (Berger et al., 2004). Diesem Hängegletscher entspringt ein Gletscherbach, welcher nach einigen Zehnermetern in zwei Lacken endet, die keinen oberflächlichen Abfluss haben. Am Fuß eines Moränenwalls sammelt sich im Schutt und Moränenmaterial wieder ein Bach, der in der Wurzelzone des Blockgletschers versickert.

## Methodik

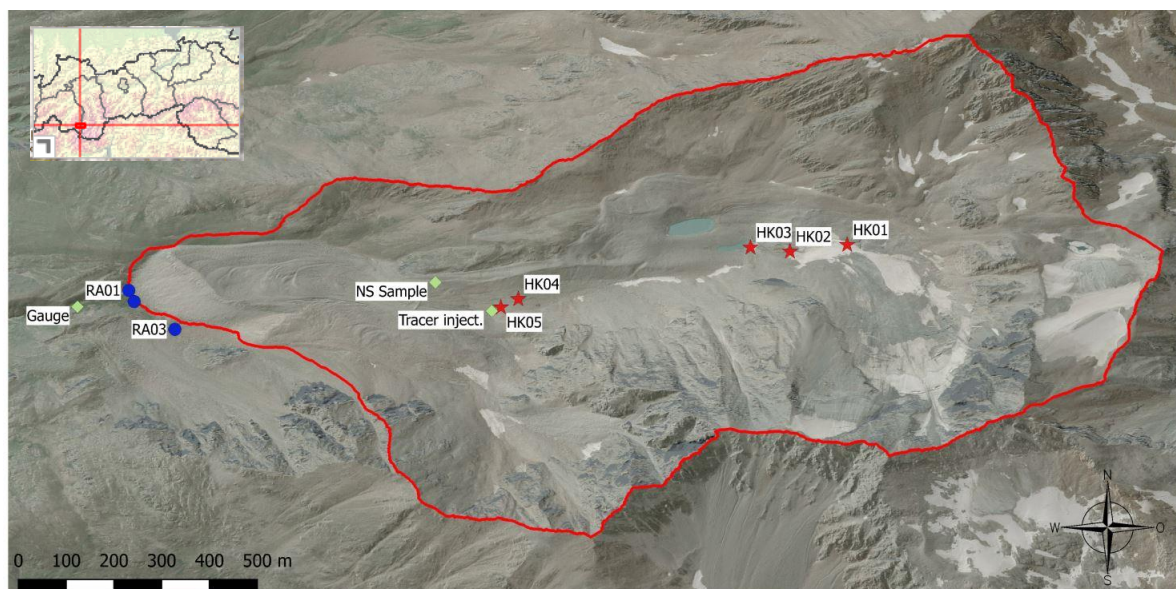


Abbildung 1: Orthofoto überlagert mit Digitalem Geländemodell (DGM) des Untersuchungsgebiets Innere Ölgrube. Das Einzugsgebiet umfasst eine Fläche von ca. 1,83 km<sup>2</sup> (tirisMaps 2018). HK01-05: Probenahmepunkte oberhalb des BG; RA01-03: Probenahmepunkte an Quellen; Gauge: Pegel und Fluorometer; Tracer inject.: Einspeisepunkt des Tracers; NS: Niederschlagsprobe (Sammelprobe 31.07 – 15.09.2017).

Im Untersuchungsgebiet (Abbildung 1) wurden entlang des Bachverlaufs an ausgesuchten Punkten Proben entnommen bzw. Versuche durchgeführt. Insgesamt wurden im Zuge der Arbeit 96 Isotopenproben, Pegelaufzeichnungen von 3 Jahren, zwei Uranin Tracerversuche, sechs Versuche mit der Salzverdünnungsmethode, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und Wetteraufzeichnungen ausgewertet (Abbildung 2).

Mittels der Abflussmessungen mit der Salzverdünnungsmethode wurde für den Pegel am Schiltibach eine neue Schlüsselkurve erstellt. Dadurch lässt sich die Durchflussganglinie am Pegel (= Gesamtabfluss des Einzugsgebiets) erzeugen (z. B. Morgenschweis, 2010).

Mit der Durchflussganglinie wurde mittels eines Excel VBA Skripts (Posavec et al., 2017) eine sogenannte „Master Recession Curve“ (MRC) erstellt. Es handelt sich hierbei um eine künstlich erzeugte Trockenwetterfalllinie, die aus den Rezessionssegmenten der Durchflussganglinie zusammengesetzt wird. Die MRC wurde dann mit der bekannten Maillet-Gleichung (1905) untersucht, um das Auslaufverhalten des Blockgletschers zu analysieren. Mit den ermittelten Auslaufkoeffizienten kann das Speichervolumen zu jedem Zeitpunkt berechnet werden (z. B. Kresic, 2007).

Um weitere Informationen zum Speicherverhalten des Blockgletschers zu erhalten, wurde im Sommer 2017 ein Tracerversuch mit dem Farbstoff Uranin durchgeführt. Der Einspeisepunkt befand sich in der Wurzelzone des Blockgletschers, die Detektion erfolgte in ca. 850 m Entfernung am Grundwasserpegel mit dem Feldfluorometer GGUN-FL30 (Albilla Co.). Außerdem wurde auf Grundlage der neuen Abflussganglinie ein zweiter Tracerversuch aus dem Jahr 2015 von Rieder (2017) neu ausgewertet.

Zusätzlich zu der kontinuierlich am Pegel gemessenen elektrischen Leitfähigkeit wurde bei der Entnahme von Wasserproben zur Untersuchung der stabilen Isotopenverhältnisse ebenfalls die Leitfähigkeit am Probenahmepunkt gemessen. Durch die Kombination von Isotopenverhältnis (Fraktionierung) und elektrischer Leitfähigkeit soll der Ursprung der Wässer bzw. deren Mischungsverhältnis entschlüsselt werden.

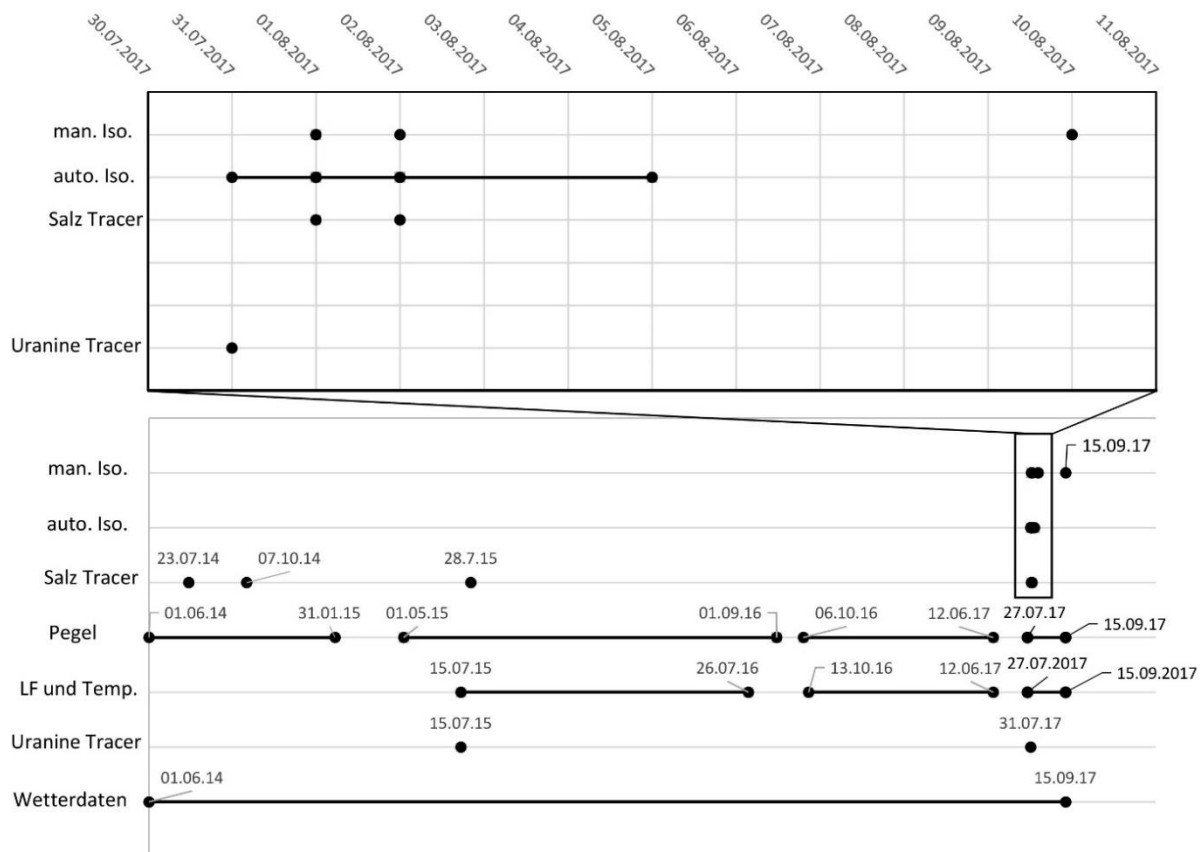


Abbildung 2: Übersicht der verwendeten Datengrundlage. Abkürzungen: händisch genommene Isotopenproben (man. Iso.); mit dem Probensammler genommene Isotopenproben (auto. Iso.); Abflussmessung mittels Salzverdünnungsmethode (Salz Tracer); Wasserstand am Pegel (Pegel); elektrische Leitfähigkeit und Wassertemperatur am Pegel (LF und Temp.).

## Ergebnisse

### Abfluss

Aus den Daten der beiden Datenlogger am Pegel konnte eine Ganglinie von 2014 bis 2017 zusammengesetzt werden. Trotz der Redundanz führten die winterliche Trockenfallen bzw. technische Ausfälle zu zwei jeweils mehrwöchigen Lücken in den Aufzeichnungen. Durch die Korrelation der Pegelaufzeichnungen mit mehreren Abflussmessungen mittels Salzverdünnungsmethode wurde eine Schlüsselkurve erstellt. Das Ergebnis, die Abflussganglinie, ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die Extremwerte des Spitzenabflusses von mehreren hundert Litern pro Sekunde sowie die Werte zur Zeit des Basisabflusses im Winter sind aufgrund fehlender Korrelationsmessungen mit der Salzverdünnungsmethode zu den jeweiligen Zeitpunkten mit Unsicherheit behaftet. Die Zahlen und die Dynamik der neu erstellten Abflussganglinie deckt sich aber mit den Arbeiten von Rieder (2017) und Berger et al. (2004) am ÖGS BG.

Die durchgehende Aufzeichnung eines Basisabflusses im Winter 2015-2016 bzw. 2016-2017 zeigt, dass der Blockgletscher auch in den Wintermonaten nicht komplett durchfriert und kontinuierlich Wasser aus den Quellen an der Stirn austritt.

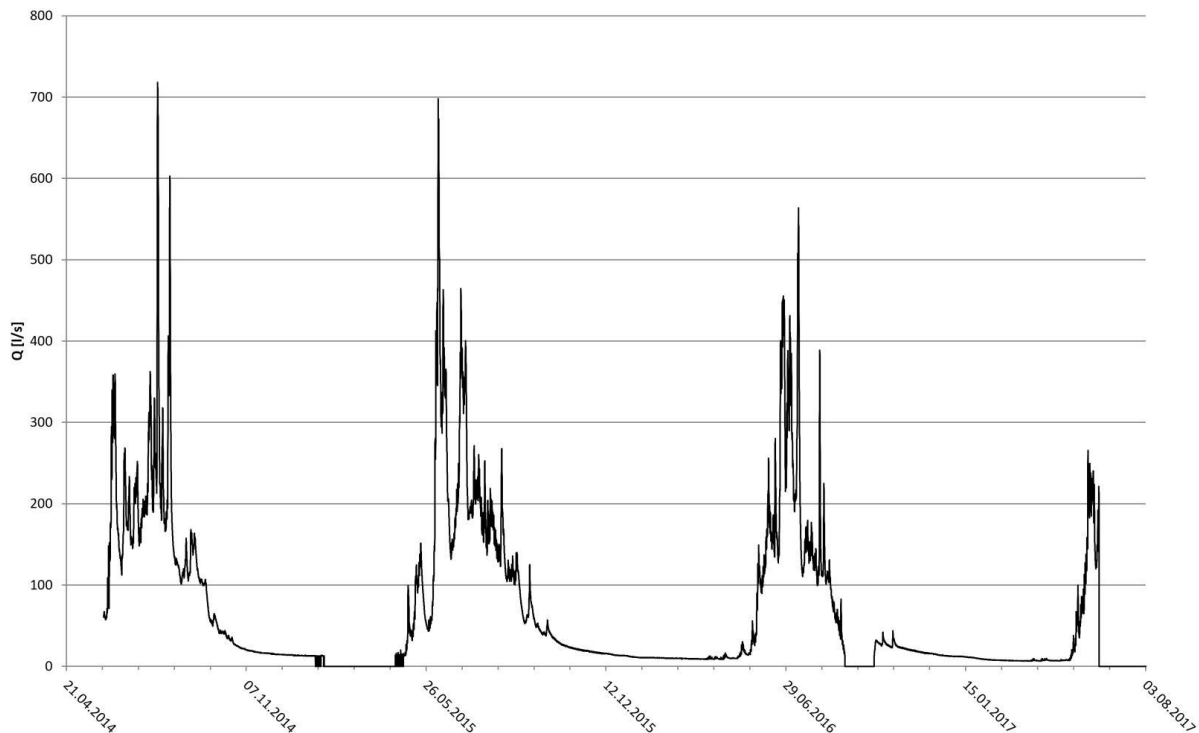


Abbildung 3: Abflussganglinie am Pegel (= Gesamtabfluss) des ÖGS BG. Erstellt aus der Schlüsselfunktion  $y = 0,0339 \cdot t^{1,5541}$  und den stündlichen Pegelaufzeichnungen. Nullwerte entsprechen Datenlücken.

Die Berechnung des Schüttungsquotienten  $Q_{\min}/Q_{\max}$  für die einzelnen hydrologischen Jahre ergibt Werte um 0,012 bis 0,018, welche z. B. typisch für Karstquellen sind (Höiting & Coldewey, 2013). Die Auswertung der MRC mit der Maillet-Funktion (1905) zeigt einen dreigeteilten Aquifer. Die Auslaufkoeffizienten  $\alpha$  [ $d^{-1}$ ] des Eventabflusses betragen mit 0,15  $d^{-1}$  bis 0,47  $d^{-1}$  dabei ein Vielfaches der Auslaufkoeffizienten des Basisabflusses im Winter mit jährlich stabilen Werten von 0,005  $d^{-1}$ . Nach Kresic (2007) lässt sich mit der einfachen Formel  $\alpha = Q_t/V_t$  das Speichervolumen zu jedem Zeitpunkt  $t$  bestimmen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Mittels des Auslaufkoeffizienten  $\alpha$  [ $d^{-1}$ ] berechnete Speichervolumina.  $V_0$ : Volumen zu Beginn der Rezessionsperiode;  $V_{\text{rem}}$ : Verbleibendes Volumen am Ende der Rezession;  $V_{\text{out}}$ : Gesamtabfluss der Periode;  $t$ . A. H.: theoretische Höhe des Aquifers bei einer angenommenen Effektiven Porosität von 0,2 und der Blockgletscherfläche des ÖGS RG von 238029,7  $m^2$ .

Periode:	$V_0$ [ $\cdot 10^6 m^3$ ]	$V_{\text{rem}}$ [ $\cdot 10^6 m^3$ ]	$V_{\text{out}}$ [ $\cdot 10^6 m^3$ ]	$t$ . A. H. [m]
<b>2014/2015</b>	0,704	0,259	0,445	20
<b>2015/2016</b>	0,965	0,302	0,663	15
<b>2016/2017</b>	0,538	0,121	0,417	11

### Uranin Tracerversuch

Bei dem am 31.07.2018 durchgeführten Tracerversuch wurde am vom Einspeisepunkt ca. 850 m entfernten und 290 m tiefer gelegenen Fluorometer (siehe Abbildung 1) erstmals nach 2 h 34 min das Uranin registriert. Die Wiederfindungsrate beträgt  $\geq 85\%$ . Bei einer angenommenen effektiven Porosität des Blockgletschers von  $n_{\text{eff}} = 0,2$  (nach Winkler et. al., 2016) ergibt sich aus den Ergebnissen des Tracerversuchs eine hydraulische Durchlässigkeit  $K = 5,3 \cdot 10^{-2}$  m/s.

## Natürliche Tracer

### Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wurde zum einen von dem Datenlogger am Pegel stündlich aufgezeichnet, zum anderen routinemäßig bei der Entnahme von Wasserproben an den Punkten „HK“ und „RA“ (siehe Abbildung 1) gemessen. Der niedrigste gemessene Wert (Gletscherwasser) bei HK01 beträgt  $1,2 \mu\text{S}/\text{cm}$ , der höchste gemessene Wert beträgt  $505 \mu\text{S}/\text{cm}$  am Punkt HK05 in der Wurzelzone des Blockgletschers.

In Tabelle 2 sind die Messwerte der händischen Messungen dargestellt. Generell ist eine steigende Leitfähigkeit mit abnehmender Höhe ü. A. zu beobachten. Alle Minimalwerte wurden bei der ersten Messung am 01.08.17 gemessen, die Maximalwerte bei der letzten Messrunde am 15.09.17.

Der Vergleich des in den Blockgletscher infiltrierenden Wassers (HK04 und HK05) mit dem an den Blockgletscherquellen austretenden Wassers (RA01-03) deutet auf eine weitere Mischung mit einer Blockgletscher internen Wasserquelle hin.

Tabelle 2: Händisch gemessene elektrische Leitfähigkeit [ $\mu\text{S}/\text{cm}$ ]. HK01 entspricht reinem Gletscherwasser.

Ort:	01.08.17 am	01.08.17 pm	02.08.17	10.08.17	15.09.17	max/min
HK01	1,2	/	1,4	1,6	4	3,3
HK02	27,5	/	34	41	304	11,1
HK03	27,6	32,5	33,6	39,2	296	10,7
HK04	118	121	127,9	150,5	414	3,5
HK05	117	121	126,5	149,6	505	4,3
RA01	90,7	102	96,5	107,6	200	2,2
RA02	97,8	108	101,2	113,9	229	2,3
RA03	136	144	141	145,2	296	2,2

Aus den kontinuierlichen Messungen der elektrischen Leitfähigkeit am Pegel ist ein Tagesgang ersichtlich (Abbildung 4). Zu Zeiten ohne Niederschlag zeigt sich ein etwa gegenläufiger Verlauf der elektrischen Leitfähigkeit zum Abfluss.

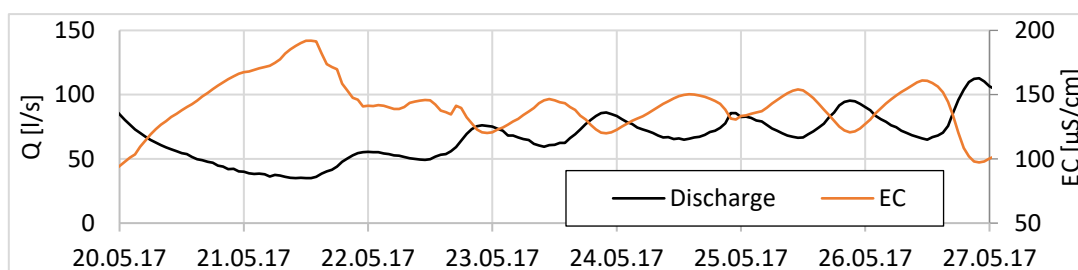


Abbildung 4: Elektrische Leitfähigkeit (EC) und Abflusswerte (Discharge) am Pegel. Es zeigen sich die typischen tageszeitlichen Schwankungen.

Unter der Annahme, dass markante Änderungen der elektrischen Leitfähigkeit auf Niederschlagsereignisse (Events) zurückzuführen sind, konnte aus dem Vergleich des maximalen Anstiegs der Schüttung (hydraulischer Puls) und dem Durchbruch der elektrischen Leitfähigkeit aus insgesamt 45 Events eine durchschnittliche Verzögerung von 4 h 21 min ermittelt werden.

### Stabile Isotope

Die gesammelten Isotopenproben wurden im Labor der JR-AquaConsol in Graz untersucht, die Ergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Daten der Proben folgen der Austrian Meteoric Water Line (AMWL) von Hager & Foelsche (2015). Im Einzugsgebiet zeigen die Punkte HK01-05 mit abnehmender Höhe eine geringere Fraktionierung. Dieser Trend wird jedoch nicht von den noch tiefer gelegenen Punkten RA01-03 fortgesetzt, was wiederum auf die bereits anhand der elektrischen Leitfähigkeit angedeutete zusätzliche, blockgletscherinterne Mischkomponente hindeutet.

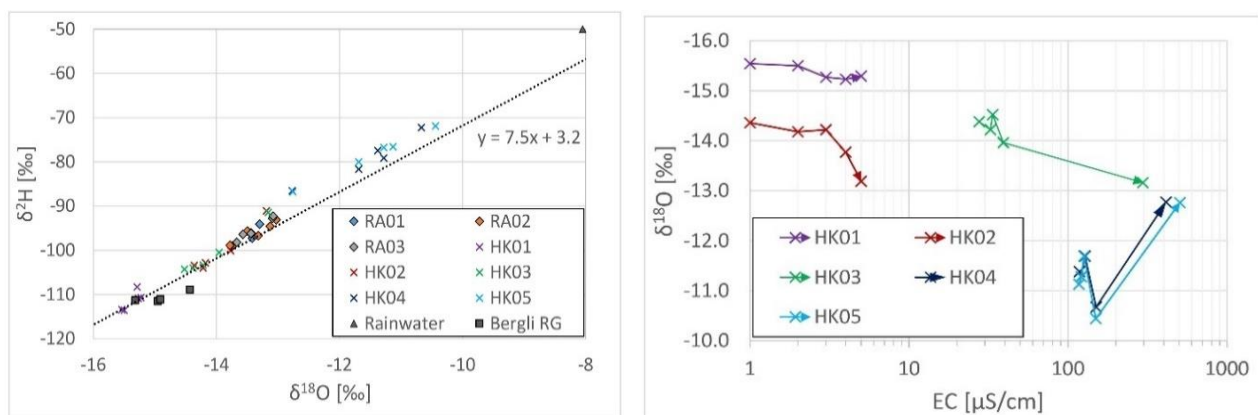


Abbildung 5: **Links:** Isotopendaten (Delta Notation bezogen auf VSMOW – Vienna Standard Mean Ocean Water) und Austrian Meteoric Water Line ( $y = 7,5x + 3,2$ ; Hager & Foelsche, 2015). Zum Vergleich sind aus Blockgletschereis des Bergli BG gewonnene Isotopendaten angegeben. **Rechts:** Halblogarithmische Darstellung der Werte  $\delta^{18}\text{O}$  vs. elektrische Leitfähigkeit der Proben des Einzugsgebiets HK01-05.

Im Vergleich der  $\delta^{18}\text{O}$  Signatur mit der vor Ort gemessenen elektrischen Leitfähigkeit (siehe Abbildung 5, rechts) zeigt sich, dass im Zeitraum zwischen der ersten und letzten Probennahme (01.08.-15.09.2017) die Schwankungen der elektrischen Leitfähigkeit wesentlich ausgeprägter sind als die der Isotopensignatur. Die ersten vier Proben wurden im August (vgl. Tabelle 2) bei ca. 10-15 °C Lufttemperatur genommen. Die Probennahme am 15.09.2017 fand hingegen während einer andauernden Schlechtwetterperiode bei Lufttemperaturen um 0 °C statt. Mit Ausnahme der Probe an HK01 (reines Gletscherwasser) zeigt sich in allen Punkten ein Trend der  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur zu ca. 13 ‰ bei gleichzeitig bis zu 11-mal höherer elektrischer Leitfähigkeit.

Mit dem Ziel tageszeitliche Schwankungen der Wasserzusammensetzung zu untersuchen, wurden am Pegel des Schiltibachs vom 31.07. bis zum 06.08.2017 weitere Wasserproben mittels automatischen Probensammlers genommen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 6a zusammen mit der AMWL dargestellt. Während der weitestgehend niederschlagsfreien Periode zeigt sich ein Trend zu einer leichteren Isotopensignatur (vgl. Abbildung 6a). Wie in den Abbildungen 6c und 6d erkennbar, wird dieser Trend von den tageszeitlichen Schwankungen überlagert, was zu einem spiralförmigen Verlauf (6b) führt.

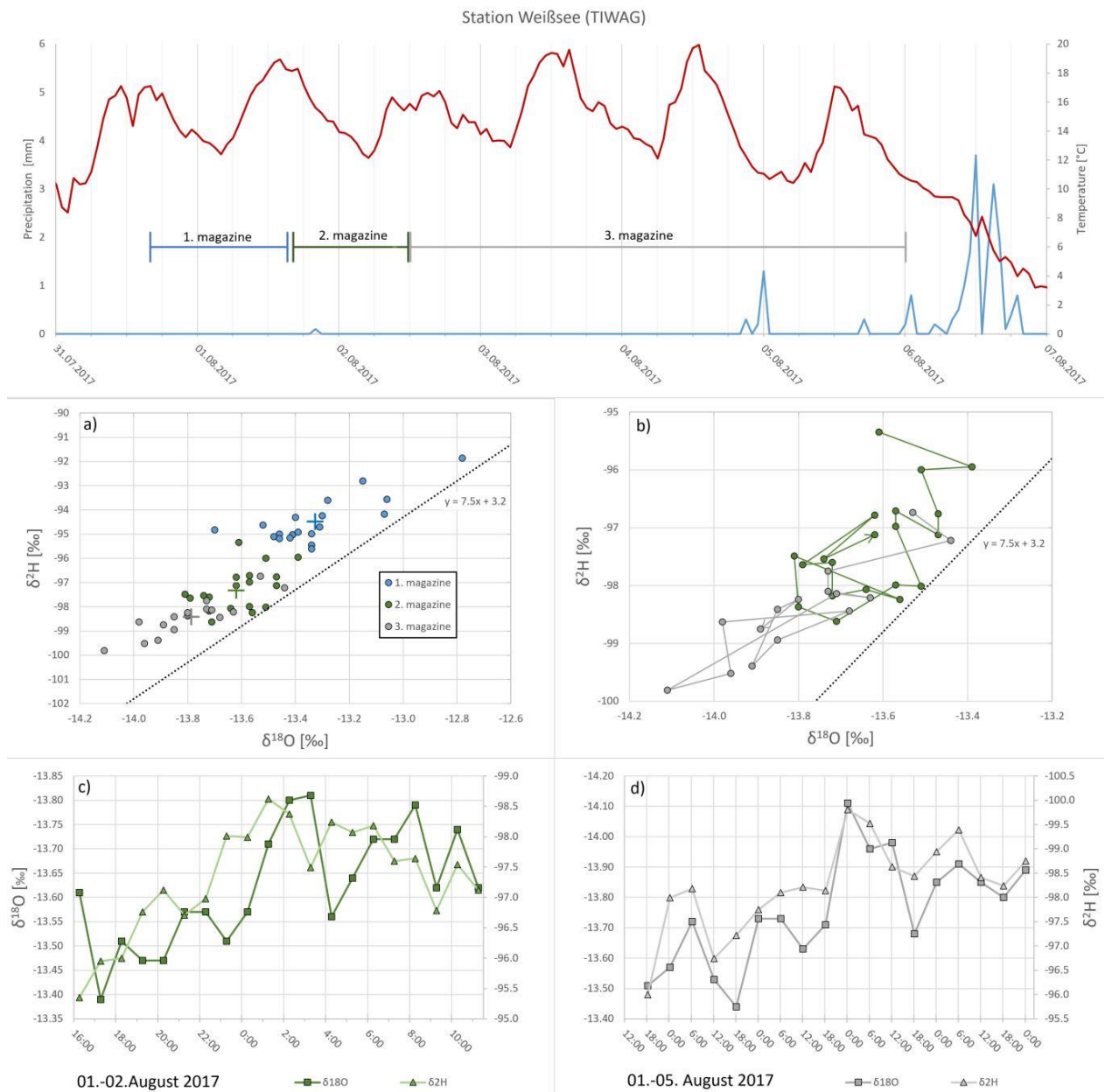


Abbildung 6: **Oben:** Wetterdaten der Wetterstation Weißsee (TIWAG) im hinteren Kaunertal. **a) bis d):** Isotopensignatur der mit dem Probensammler am Schiltbach auf Höhe des Pegels gewonnenen Wasserproben. Magazin 1 und 2 wurden im 1 h, Magazin 3 im 6 h Intervall befüllt.

## Interpretation

Im Allgemeinen sind die im Zuge dieser Arbeit neu erhobenen Daten kohärent mit den bisherigen Erkenntnissen der Hydrodynamik von aktiven Blockgletschern und speziell mit den Ergebnissen der Forschung am ÖGS BG (z. B. Berger et al, 2004; Krainer & Mostler, 2002; Krainer & Mostler, 2009; Rieder, 2017).

Die Quellen des aktiven Blockgletschers sind charakterisiert durch extrem variable Schüttungen. Die maximalen Abflusswerte werden mit mehreren 100 l/s im späten Frühjahr zur Zeit der Schneeschmelze erreicht. Die, durch die Tracerversuche bestätigten, bevorzugten Fließwege sorgen für einen starken Anstieg der Schüttung der Quellen innerhalb weniger Stunden nach einem Niederschlagsereignis. Niederschlagswasser passiert den Blockgletscher innerhalb weniger Stunden



und wird somit nicht nennenswert gespeichert. Der minimale Abfluss (Baseflow) wird hingegen während der Wintermonate mit dann stabilen Werten um ca. 10 l/s erreicht. Dieser wird aus einem vom schnellen System quasi entkoppelten Grundwasserspeicher gespeist.

Anhand der elektrischen Leitfähigkeit zeigt sich, dass Teile des Wassers bereits vor dem Eintritt in den Blockgletscher höher mineralisiert sind. Dies zeigt sich dann, wenn aufgrund niedriger Temperatur wenig Schmelzwasser des Hinteren Ölgrubenferners im Spiel ist (vgl. Tabelle 2 und Abbildung 5). Das deutet darauf hin, dass auch Schutt und Moränenmaterial im Hintergrund des Blockgletschers einen eigenen Grundwasserspeicher bilden.

Dies wird auch durch die Isotopendaten unterstützt. Durch den geringen Einfluss des Schmelzwassers am 15.09.2017 zeigt sich an den Punkten HK02-05 ein Trend der  $\delta^{18}\text{O}$ -Signatur zu ca. -13 ‰. Da die Proben von HK02 und HK03 eine schwerere Signatur zeigen und HK04 sowie HK05 eine leichtere Signatur zeigen, ist dies ein weiterer Hinweis auf eine homogene Quelle des Wassers (Grundwasser).

Für die Punkte HK01-05 gilt der Trend der schwereren Isotopenzusammensetzung mit abnehmender Höhe. Die Proben an den Quellen RA01-03 zeigen trotz ca. 300 Hm tieferer Lage allerdings eine leichtere Zusammensetzung als jene des in den Blockgletscher infiltrierenden Wassers. Des Weiteren zeigt sich eine geringere EC an den Blockgletscherquellen (RA01-03) im Verhältnis zu den infiltrierenden Wässern an der Blockgletscherwurzel. Beides kann auf das Abschmelzen von Blockgletschereis zurückgeführt werden, was einerseits eine Verdünnung der Mineralisierung und andererseits eine Abreicherung der schweren Isotope durch die Isotopensignatur von Eis bedeutet.

Zusammengefasst ist die Hydrodynamik des Blockgletschers Ölgrube Süd das Resultat mehrerer Zyklen. Diese Zyklen sind maßgeblich durch das Wetter bedingt und zeigen sich daher in täglichen und saisonalen Schwankungen und Trends. Es wird gezeigt, dass das lokale Abflusssystem aus mindestens zwei Hauptkomponenten besteht: Auf der einen Seite die bevorzugten Fließwege welche nach Niederschlags- und Schmelzereignissen für rasche Schüttungsanstiege und geringe Verweilzeiten sorgen. Auf der anderen Seite die Grundwasserspeicher des Schutt- und Moränenmaterials sowie des in Verbindung stehenden Blockgletschers, der ganzjährig, aber speziell im Winter für eine stabile Schüttung von wenigen l/s sorgt. Es zeigt sich, dass der Blockgletscher nicht vollständig von den anderen Komponenten des Einzugsgebiets getrennt betrachtet werden kann.

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meinem Betreuer Gerfried Winkler bedanken. Für die immer unkomplizierte und konstruktive Unterstützung der Masterarbeit und dieser Kurzfassung. Weiterhin bedanke ich mich bei allen Helfern im Feld und im Büro, die immer für meine spontanen Fragen Zeit und Rat gefunden haben.

## Referenzen

- Barnett T. P., Adam J. C., Lettenmaier D. P. (2005): Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *nature*, 438, 303-309.
- Berger J., Krainer K., Mostler W. (2004): Dynamics of an active rock glacier (Ötztal Alps, Austria).- *Quaternary Research*, 63, 233-242.
- Hager B., Foelsche U. (2015): Stable isotope composition of precipitation in Austria.- *Austrian Journal of Earth Sciences*, 108 (2), 2-13.
- Hölting B., Coldewey W. G. (2013): *Hydrogeologie, Einführung in die Allgemeine und Angewandte Hydrogeologie*.- Berlin, Heidelberg, Springer.
- Krainer K. (2015): Blockgletscher in den Ötztaler und Stubai Alpen: Eine Übersicht.- In: Schallhart N., Erschbamer B. (ed.): *Forschung am Blockgletscher, Methoden und Ergebnisse*, 198 S., Innsbruck University Press, Innsbruck.
- Krainer K., Mostler W. (2002): Hydrology of Active Rock Glaciers: Examples from the Austrian Alps.- *Arctic, Antarctic and Alpine Research*, 34 (2), 142-149.
- Krainer K., Mostler W. (2009): Blockgletscher und ihre hydrogeologische Bedeutung im Hochgebirge.- *Mitteilungsblatt des Hydrographischen Dienstes in Österreich*, 86, 65 - 78.
- Krainer K., Ribis M. (2012): A Rock Glacier Inventory of the Tyrolean Alps (Austria).- *Austrian Journal of Earth Sciences*. 105 (2), 32 - 47.
- Kresic N. (2007): *Hydrogeology and Groundwater Modeling*.- CRC Press, London, New York.
- Maillet E. (1905): *Mécanique et physique du globe. Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*.- A. Hermann, Paris.
- Morgenschweis G. (2010): *Hydrometrie, Theorie und Praxis der Durchflussmessung in offenen Gerinnen*.-Berlin, Heidelberg, Springer.
- Posavec K., Giacopetti M., Materazzi M., Birk S. (2017): Method and Excel VBA Algorithm for Modeling Master Recession Curve Using Trigonometry Approach.- *Groundwater*, 55 (6), 891-898.
- Rieder A. (2017): *Geologische, geomorphologische und hydrogeologische Untersuchungen im Bereich Ölgrube, Kaunergrat, Ötztaler Alpen*.- Unveröff. MA. Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Innsbruck.
- Winkler G, Pauritsch M., Wagner T., Kellerer-Pirkelbauer A. (2016): Reliktische Blockgletscher als Grundwasserpeicher in alpinen Einzugsgebieten der Niederen Tauern.- *Berichte der Wasserwirtschaftlichen Planung Steiermark*, 87.