

Was kommt nach dem Permafrost? Bedeutung reliktscher Blockgletscher für das Abflussverhalten alpiner Einzugsgebiete

What will occur after permafrost? Relevance of relict rock glaciers for the discharge behaviour of alpine catchments

Gerfried WINKLER, Thomas WAGNER, Marcus PAURITSCH & Andreas KELLERER-PIRKLEBAUER

3 Abbildungen und 1 Tabelle

Zusammenfassung: Reliktische Blockgletscher, also Blockgletscher die aktuell keinen Permafrost mehr beinhalten, sind weitverbreitet im österreichischen Alpenraum und stellen Grundwasserspeicher in alpinen Regionen dar. An der Quelle des reliktschen Schöneben-Blockgletschers in den Seckauer Tauern, Steiermark, wurden mit Hilfe von Quellschüttungsdaten sowie natürlichen und künstlichen Tracerdaten die Entwässerungsdynamik und das Speicherverhalten einer solchen Landschaftsform näher untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass der Grundwasserkörper im Blockgletscher und somit der Abfluss über die Quelle des reliktschen Schöneben-Blockgletschers eine schnelle Abflusskomponente (Verweilzeit von einigen Stunden bis wenigen Tage) und eine langsame Abflusskomponente (Verweilzeit von mehreren Monaten) aufweist. Mit Hilfe von geophysikalischen Untersuchungen (Refraktionsseismik) wurde zusätzlich der Aufbau des Blockgletschers untersucht. Der reliktsche Blockgletscher ist durch eine ca. 10–15 m mächtige feinkörnige Schicht (feinsandig, schluffig) an der Basis und darüber durch eine mehrere Zehnermeter mächtige, grobkörnige Sedimentschicht (Sand bis Blöcke) aufgebaut, welche von einer mehreren Meter mächtigen grobblockigen Deckschicht (Blöcke bis ca. 2 m Durchmesser) überlagert wird. Des Weiteren konnte mit Hilfe eines einfachen Niederschlag-Abflussmodells auf Tagesbasis gezeigt werden, dass der Anteil des Abflusses, der aus den hydrologischen Einzugsgebieten von reliktschen Blockgletschern kommt, in den unterstromigen Gewässern temporär deutlich (mehr als das Vierfache) über dem rein flächenmäßig für das Einzugsgebiet berechneten Abflussanteil liegt. Dies zeigt die Bedeutung dieser Landschaftsformen für das Abflussverhalten in alpinen Einzugsgebieten und ihre wasserwirtschaftliche Bedeutung.

Abstract: Relict rock glaciers which contain no permafrost at present are widespread landforms in the Austrian Alps representing groundwater storages. At the spring of the relict Schöneben Rock Glacier in the Seckauer Tauern Range, Styria, the discharge dynamics and the storage capacity of such a landform was investigated using discharge data and natural and artificial tracer data. The analyses reveal that the discharge of this relict rock glacier aquifer comprises a fast flow component (with a retention time of several hours to a few days) and a base flow component (with a retention time of several months). Based on additional surface geophysical investigations (seismic refraction) the internal structure of this landform was investigated. The relict rock glacier is built up by an approximately 10–15 m thick fine grained base layer (fine sand, silt) and coarse grained main layer (sand to blocks) with a thickness up to several tens of meters. This layer is finally covered by a coarse blocky layer (blocks with a diameter up to 2 m) with a thickness up to several meters. In addition a simple rainfall-runoff model was applied showing that the contribution of the discharge draining the rock glacier catchments is temporally much higher (more than four times) than its areal share. This highlights the importance of these landforms for the flow behaviour of alpine catchments and for the water resources management.

Schlüsselwörter: Reliktischer Blockgletscher; Entwässerungsdynamik; Speicherkapazität; Alpines Einzugsgebiet; Niedere Tauern.

Key Words: Relict rock glacier; Flow dynamics; Storage capacity; Alpine catchment; Niedere Tauern Range.

1. Einleitung

Alpine Regionen sind geprägt durch periglaziale Landschaftsformen wie Blockgletscher, die Indikatoren von Gebirgspermafrost beeinflussten Gebieten darstellen. Aktive Blockgletscher sind gefrorene Schutt- und Eismassen, die sich gravitativ talwärts bewegen und bei geeigneten topographischen Bedingungen stauchungsbedingte, charakteristische wulstartige Erscheinungsformen aufweisen (z. B. BARSCH 1996; HAEBERLI et al. 2006). Ein Klimawandel-bedingtes Ansteigen der alpinen Permafrostuntergrenze führt zum Schmelzen des Eises in aktiven Blockgletschern, wodurch diese zuerst inaktiv (noch Permafrost vorhanden, jedoch keine Bewegung) und schließlich reliktsch (permafrostfrei, Bewuchs) werden können (BARSCH 1996; KELLERER-PIRKLBAUER 2008). Mehr als 1700 reliktsche Blockgletscher wurden in Tirol ausgewiesen (KRAINER & RIBIS 2012). Etwa 1300 kartierte man in Zentral- und Ostösterreich (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2012), wovon 554 in den steirischen Niederen Tauern liegen (z. B. WINKLER et al. 2016a).

Veränderungen im Permafrost haben einen wesentlichen Einfluss auf den hydrologischen Kreislauf alpiner Einzugsgebiete, da die Entwässerung in diesen Regionen

größtenteils vom Abschmelzen des Eises und Schnees dominiert wird (z. B. BARNETT et al. 2005). Reliktische Blockgletscher als Lockersedimentakkumulationen in alpinen Einzugsgebieten ohne Permafrost stellen potentielle Grundwasserkörper dar. Ziel dieses Beitrags ist es, die in jüngster Zeit gewonnenen Erkenntnisse zur Entwässerungsdynamik und dem Speicherverhalten dieser Landschaftsformen und ihre Auswirkungen auf unterstromige Oberflächengerinne zusammengefasst darzulegen.

2. Untersuchungsgebiet

Das diesbezügliche Untersuchungsgebiet ist das Schönebenkar, welches nordnordwestlich des Hochreichharts in den Seckauer Tauern (östlichstes Teilgebiet der steirischen Niederen Tauern) liegt. In diesem Kar befindet sich der reliktsche Schöneben-Blockgletscher (SRG) mit einer Gesamtfläche von 0,17 km².

Beschreibung	Zeitraum	Parameter/Details	Standorte
Monitoring - meteorologische Station (1820 m ü.A.)	Nov. 2011-laufend	AT, AH, P, WD, WV, GR, RB	S-AWS
Monitoring - zusätzliche AT/AH-Station (1909 m ü.A.)	Nov. 2011-laufend	AT, AH	S-ATH
Monitoring - Schneedeckendynamik	Mai 2012-laufend	automatisches Kamerasystem	S-RDC
Refraktionsseismische Messungen am Blockgletscher	Juli 2013	Hammerschlag- und Sprengseismik, 3 Profile	RS-P2, RS-P6, RS-P8
Monitoring der Blockgletscherquelle (1720 m ü.A.)	Sept. 2008-laufend	WT, EC, Q	SEQ
Wasserprobenahme (Quell- und Niederschlagswasser) für Isotopenuntersuchungen	Sept. 2011-Sept. 2014	$\delta^{18}\text{O}$, $\delta^2\text{H}$	SEQ, SEN bei S-AWS
Markierungsversuche	Juni 2009-Mai 2010, Juni 2012-Dez. 2013	Tracer 2009: Uranin, Naphtionat Tracer 2012: Uranin, Eosin und Sulforhodamin B (2012)	T-IP1, T-IP2, T-IP3, SEQ, PLB, PLQ

Tab. 1: Auflistung und Beschreibung der durchgeführten Geländearbeiten und des Monitorings am Schöneben-Blockgletscher. Lufttemperatur (AT), Luftfeuchte (AH), Niederschlag (P), Windrichtung (WD), Windgeschwindigkeit (WV), Globalstrahlung (GR) und Strahlungsbilanz (RB), Wassertemperatur (WT), elektrische Leitfähigkeit des Wassers (EC), Schüttungsmenge der Quelle (Q). Lage der Messstandorte sind Abb. 1 zu entnehmen.

Tab. 1: List and description of the applied field work and monitoring at the Schöneben Rock Glacier. Air temperature (AT), air humidity (AH), precipitation (P), wind direction (WD), wind velocity (WV), global radiation (GR) and net radiation (RB), water temperature (WT), electrical conductivity of the water (EC), discharge of the spring (Q). Locations of the monitoring stations are shown in Fig. 1.

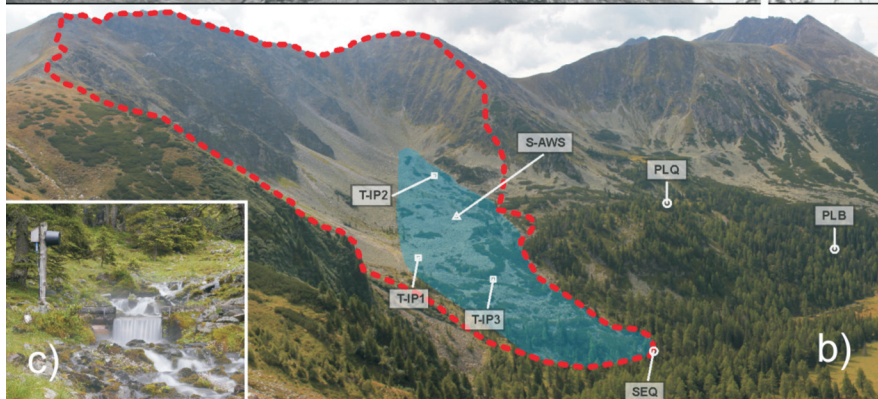
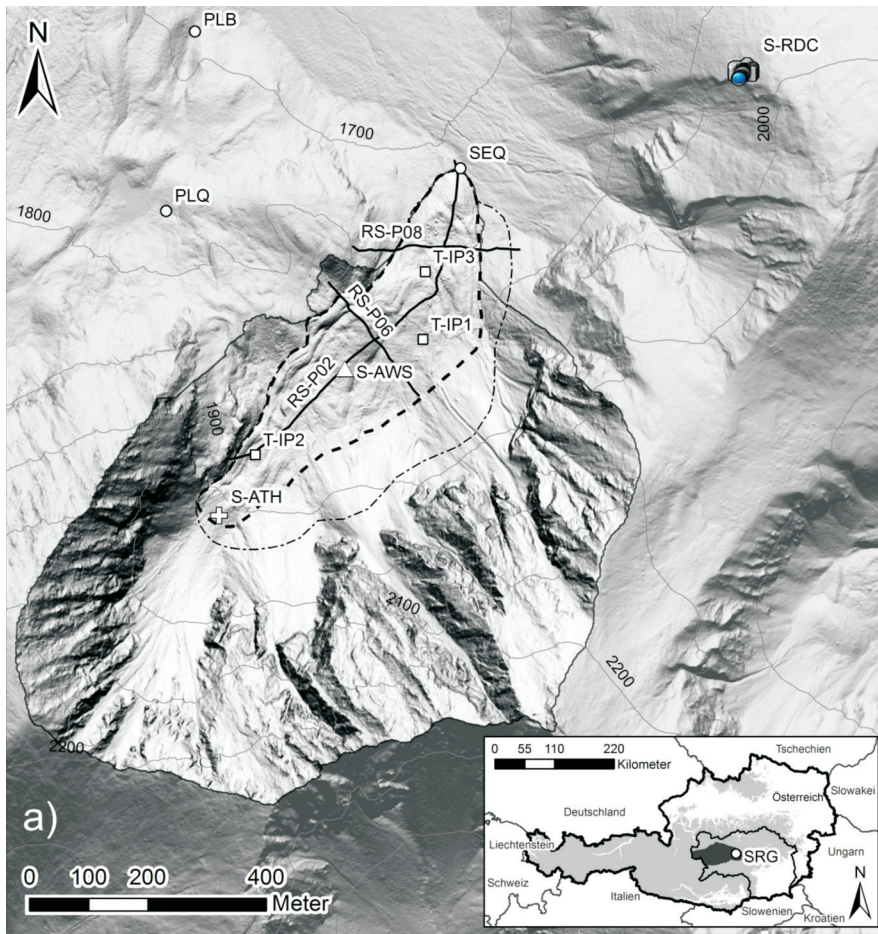


Abb. 1: a) Karte des reliktschen Schöneben-Blockgletschers (SRG) inklusive der Messinstrumentierung und dem dazugehörigen orographischen Einzugsgebiet der Schönebenquelle (SEQ), basierend auf einem Höhenmodell mit einer Auflösung von 1 m resultierend aus Airborne-Laser-scan Daten (modifiziert nach WINKLER et al. 2016a). Dicke, strichlierte Linie: Oberflächenausdehnung des SRG; dünne, strichpunktlinie: eine mögliche Erweiterung unter die Schuttfächer im Südosten; RS-P02, RS-P06 und RS-P08 und die dazu gehörigen Linien: Refraktionsseismikprofile. Rechtecke: Tracer-Einspeisungspunkte (T-IP1, T-IP2 und T-IP3); Dreieck: meteorologische Station (S-AWS); Kreuz: Lufttemperatur und Luftfeuchte Messstation (S-ATH); Kamerasymbol: digitale Kamera (S-RDC); Kreise: Quellen (SEQ: Schönebenquelle, PLQ: Postlleitenquelle) und Probenahmepunkt (PLB: Postlleitenbach). Die regionale Lage ist in der eingefügten Österreichkarte dargestellt in der das dunkelgraue Polygon die Ausbreitung des steirischen Anteils der Niederen Tauern (NiT) darstellt. b) Foto auf das orographische Einzugsgebiet (rote, strichlierte Linie) des reliktschen Schöneben-Blockgletschers (blau eingefärbte Fläche). c) Pegelmessstation SEQ, welche ca. 40 m unterhalb des Quellaustritts installiert wurde.

Fig. 1: a) Map delineating the relict Schöneben Rock Glacier (SRG), the monitoring stations and the hydrological catchment of the Schöneben-spring (SEQ) based on airborne laser scan data with a resolution of 1 m (modified after WINKLER et al. 2016a). The thick dashed line: the surface delineation of the SRG; thin dot-dashed line: possible extend below the talus slopes to the south-east; RS-P02, RS-P06 and RS-P08 shown by solid lines: seismic refraction profiles; rectangles: tracer injection points (T-IP1, T-IP2 and T-IP3); triangle: the weather station S-AWS; cross: the air temperature and humidity station S-ATH; camera symbol: the remote camera (S-RDC); circles: springs (SEQ: Schöneben spring, PLQ: Postlleiten spring) as well as the sampling location (PLB: Postlleitenbach). The inset shows the location of the SRG within Austria and the Styrian part of the Niedere Tauern Range (NiT) in dark grey. b) Photo with the SRG highlighted in blue and its catchment is surrounded by a dashed red line. c) gauging station of SEQ which is installed about 40 m downstream of the spring.

An dessen tiefstem Punkt entspringt die Schönebenquelle, die den Blockgletscher und das gesamte Kar als orographisches Einzugsgebiet mit einer Fläche von 0,67 km² entwässert. Der Blockgletscher wurde mit zahlreichen Messsystemen zur Erfassung unter anderem der Quelldaten wie Quellschüttung, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und meteorologische Daten für die Berechnung der Wasserbilanz ausgestattet (Tab. 1, Abb. 1).

3. Hydraulische Eigenschaften und interne Struktur reliktscher Blockgletscher

Die Untersuchungen umfassen die Analyse des Quellschüttungsverhaltens (Hydrographanalyse) und die Auswertung der natürlichen Tracer Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit und stabile Isotope ($\delta^{18}\text{O}$ und $\delta^2\text{H}$). Zudem wurden in den Jahren 2009 und 2012 zwei Markierungsversuche mit Fluoreszenzfarbstoffen durchgeführt, wobei die Eingabestellen in Abbildung 1 eingezeichnet sind. Zusätzlich wurde mittels refraktionsseismischer Untersuchungen die Geometrie des Schöneben-Blockgletschers und seine Schuttmächtigkeit bestimmt, welche in weiterer Folge in eine numerische hydrau-

liche Modellierung des Blockgletschers eingingen (PAURITSCH et al. 2016). Die Untersuchungsmethoden und die nachstehend zusammengefassten Ergebnisse werden ausführlich in WINKLER et al. (2016a und 2016b) diskutiert. Des Weiteren wurde die Bedeutung einer geeigneten Aquiferbasis auf das Entwässerungsverhalten durch PAURITSCH et al. (2015) untersucht.

Die Untersuchungen am Schöneben-Blockgletscher ergaben ein Abflussverhalten ähnlich dem von Karstquellen mit einer kurzfristig gespeicherten (mehrere Stunden bis Tage) und einer längerfristig gespeicherten (mehrere Monate) Abflusskomponente. In Kombination mit den geophysikalischen Untersuchungen kann auf einen konzeptionellen Aufbau (Abbildung 2) mit einer sehr grobblockigen, mehrere Meter mächtigen Deckschicht (Blöcke bis zu ca. 2 m Durchmesser), einem sandig bis blockigen, hochdurchlässigen Hauptschuttkörper mit mehreren Zehnermeter Mächtigkeit und einer schluffigen bis feinsandigen, geringer durchlässigen Basis mit einer Mächtigkeit bis zu 15 m geschlossen werden.

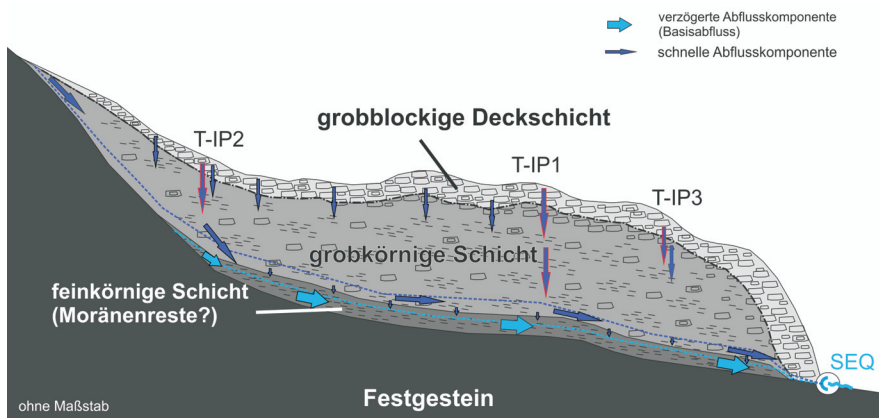


Abb. 2: Konzeptionelles Modell des reliktschen Schöneben-Blockgletschers (Längsprofil) mit einem dreischichtigen Aufbau (nicht maßstabsgetreu). T-IP1–T-IP3: Tracereingabepunkte; SEQ: Blockgletscherquelle. Längserstreckung des SRG ca. 700 m, Mächtigkeit des SRG von einigen Metern bis einige Zehnermeter (modifiziert nach WINKLER et al. 2016a).

Fig. 2: Conceptual model of the relict Schöneben Rock Glacier (longitudinal cross section) with three layers (not to scale). T-IP1–T-IP3: tracer injection points; SEQ: spring of the rock glacier. Length of SRG of about 700 m, thickness of SRG ranges from a few meters up to several tens of meters (modified after WINKLER et al. 2016a).

Aufgrund der gering durchlässigen Basisschicht ergibt sich eine hohe Speicher- bzw. Pufferwirkung des Schöneben-Blockgletschers, was eine wasserwirtschaftliche Bedeutung dieser Schuttformen als Wasserspender in Trockenzeiten bewirkt. Eine Wasserspeicherung bei Starkregenereignissen zur Prävention von Hochwässern ist dann gegeben, wenn die Basisschicht noch nicht vollkommen gesättigt ist, da sonst die

schnellere Abflusskomponente überwiegt und nur eine begrenzte Pufferwirkung des reliktschen Blockgletschers vorliegt. Das dynamische Verhalten der Schönebenquelle ist zusätzlich zum internen Aufbau des Blockgletschers auch stark von der Hangneigung und der Topographie des darunter liegenden Festgesteins abhängig (PAURITSCH et al. 2015, 2016).

4. Auswirkungen auf das Abflussverhalten unterstromiger Gewässer

In weiterer Folge wurden die Auswirkungen dieses Grundwasserkörpers und dessen übergeordneten Einzugsgebiete auf die darunter liegenden Flusssysteme untersucht (Abb. 3; WAGNER et al. 2016; WINKLER et al. 2016b).

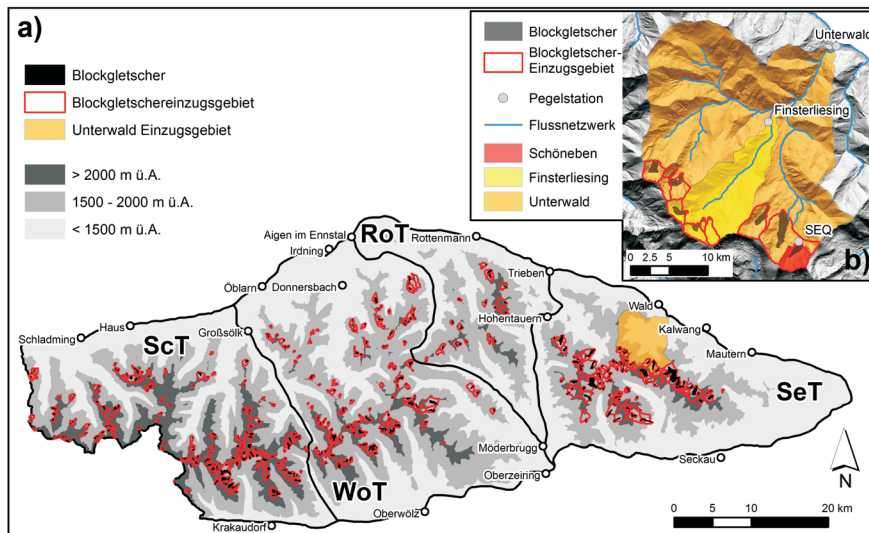


Abb. 3: a) Überblickskarte der steirischen Niederen Tauern (NiT) mit den vier Subeinheiten Schladminger Tauern (ScT), Wölzer Tauern (WoT), Rottenmanner Tauern (RoT) und Seckauer Tauern (SeT), den Blockgletschern (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2014) und den dazugehörigen orographischen Blockgletschereinzugsgebieten (WAGNER et al. 2014) sowie dem orographischen Einzugsgebiet Unterwald. b) Orographische Einzugsgebiete Unterwald, Finsterliesing und Schöneben und die darin enthaltenen orographischen Blockgletschereinzugsgebiete. Lage der NiT innerhalb von Österreich siehe graues Polygon in Abb. 1 (nach WAGNER et al. 2016).

Fig. 3: a) Overview map of the Styrian Niedere Tauern Range (NiT) including the four subunits Schladminger Tauern Range (ScT), Wölzer Tauern Range (WoT), Rottenmanner Tauern Range (RoT) and Seckauer Tauern Range (SeT), the rock glaciers (KELLERER-PIRKLBAUER et al. 2014), the hydrological rock glacier catchments (WAGNER et al. 2014) and the catchments Unterwald. b) Catchments of Unterwald, Finsterliesing and Schöneben and the rock glacier catchments therein. Position of NiT within Austria is shown as a grey polygon in Fig. 1 (after WAGNER et al. 2016).

Mehr als 50 % der Seckauer Tauern und ca. 27 % der Niederen Tauern über 2000 m ü.A. entwässern über Blockgletscher (WAGNER et al. 2014; WINKLER et al. 2016b). Auf regionalem Maßstab konnte die potentielle Speicher- bzw. Pufferwirkung anhand einfacher Niederschlags-Abfluss Modellierungen untermauert werden (WAGNER et al. 2016; WINKLER et al. 2016b). Hierbei wurde ein einfaches konzeptionelles parameterarmes Niederschlags-Abflussmodell (GR4J, modifiziert nach PERRIN et al. 2003) angewandt, welches lediglich Niederschlag und Temperatur als Eingangsparameter und beobachtete Abflussganglinien von Pegelmessstellen zur Kalibration benötigt. Einerseits konnte das Abflussverhalten der Schönebenquelle ausreichend gut simuliert werden und die Parameter des Niederschlags-Abfluss Modells so gedeutet werden, dass der Aquifer des Schöneben-Blockgletschers als Grundwasserspeicher eine wichtige Rolle spielt. Andererseits konnte in einem einfachen semi-distributiven Ansatz der Abfluss aller reliktscher Blockgletscher der Einzugsgebiete Finsterliesing und Unterwald (Abb. 3) explizit berücksichtigt werden. Hierzu wurde der gesamte Abfluss der blockgletscherbeeinflussten Einzugsgebiete mit den Parametern des Schöneben Blockgletscher-einzugsgebiets errechnet und dem restlichen Abfluss der übergeordneten Einzugsgebiete gegenüber gestellt. Diese Analyse ergab, dass auf Tagesbasis der Anteil des Abflusses, der durch die reliktschen Blockgletscher entwässert, in den unterstromigen Gewässern an den Pegelmessstellen Finsterliesing und Unterwald ein Vielfaches (bis hin zu mehr als das Vierfache) des rein flächenmäßig für diese Teileinzugsgebiete berechneten Abflussanteiles liegt (WAGNER et al. 2016).

5. Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen zeigen, dass reliktsche Blockgletscher Grundwasserkörper beinhalten können, die ein komplexes Abflussverhalten und ein hohes Speicherpotential aufweisen, was in ihrem heterogenen, mehrschichtigen Aufbau begründet zu sein scheint. Die hohe Speicherkapazität hat eine wesentliche Bedeutung für das Abflussverhalten alpiner Einzugsgebiete und der unterstromigen Oberflächengerinne, da diese Landschaftsformen einerseits Wasserressourcen in Trockenzeiten zur Verfügung stellen und andererseits eine Pufferfunktion zur Prävention von Hochwässern bei Starkniederschlagsereignissen darstellen können.

Dank

Das Projekt wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und aus Mitteln des Landes Steiermark, Investition in ihre Zukunft, finanziert. Unser Dank gilt dem Hydrographischen Dienst Steiermark, dem Hydrographischen Zentralbüro (HZB), der GIS-Abteilung der Steiermärkischen Landesregierung, der Zen-

tralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) und dem Umweltbundesamt (ANIP-Datenbank), die Daten für das gegenständliche Forschungsprojekt zur Verfügung gestellt haben.

Literatur

- 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.
- BARSCH, D. (1996): *Rock Glaciers: Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments*. – Springer Series in Physical Environment, 16, 331 S., Springer Verlag, Berlin.
- HAEBERLI, W., HALLET, B., ARENSON, L., ELCONIN, R., HUMLUM, O., KÄÄB, A., KAUFMANN, V., LADANYI, B., MATSUOKA, N., SPRINGMAN, S. & VONDER MÜHLL, D. (2006): Permafrost creep and rock glacier dynamics. – *Permafrost Periglacial Processes*, 17(3): 189-214.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2008): *Aspects of glacial, paraglacial and periglacial processes and landforms of the Tauern Range, Austria*. – Unpublizierte Doktorarbeit, 200 S., Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., LIEB, G.K. & KLEINFERCHNER, H. (2012): A new rock glacier inventory in the eastern European Alps. – *Austrian Journal of Earth Sciences*, 105(2): 78-93.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A., WAGNER, T. & WINKLER, G. (2014): *Blockgletscherinventar der Steirischen Niederen Tauern*. – Unpublizierter digitaler Datensatz, Institut für Erdwissenschaften und Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- KRAINER, K. & RIBIS, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria). – *Austrian Journal of Earth Sciences* 105(2): 32-47.
- PAURITSCH, M., BIRK, S., WAGNER, T., HERGARTEN, S. & WINKLER, G. (2015): Analytical approximations of discharge recessions for steeply sloping aquifers in alpine catchments. – *Water Resources Research*, 51(11): 8729-8740.
- PAURITSCH, M., WAGNER, T., WINKLER, G. & BIRK, S. (2016): Investigating groundwater flow components in an Alpine relict rock glacier (Austria) using a numerical model.. – *Hydrogeology Journal*, DOI: 10.1007/s10040-016-1484-x.
- PERRIN, C., MICHEL, C. & ANDRÉASSIAN, V. (2003): Improvement of a parsimonious model for stream-flow simulation. – *Journal of Hydrology*, 279: 275-289.
- WAGNER, T., KELLERER-PIRKLBAUER, A. & WINKLER, G. (2014): *Blockgletschereinzugsgebietsinventar der Steirischen Niederen Tauern*. – Unpublizierter digitaler Datensatz, Institut für Erdwissenschaften und Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- WAGNER, T., PAURITSCH, M. & WINKLER, G. (2016): Impact of relict rock glaciers on spring and stream flow of alpine watersheds: Examples of the Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria). – *Austrian Journal of Earth Sciences*, 109(1): 84-89.

- WINKLER, G., WAGNER, T., PAURITSCH, M., BIRK, S., KELLERER-PIRKLBAUER, A., BENISCHKE, R., LEIS, A., MORAWETZ, R., SCHREILECHNER, M.G. & HERGARTEN, S. (2016a): Identification and assessment of flow and storage components of the relict Schöneben Rock Glacier, Niedere Tauern Range, Eastern Alps (Austria). – *Hydrogeology Journal*, 24(4): 937-953.
- WINKLER, G., PAURITSCH, M., WAGNER, T. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2016b): Grundwasserspeicherung und Entwässerungsdynamik reliktscher Blockgletscher. – *Berichte der wasserwirtschaftlichen Planung*, 87:1-134.

Anschrift der Verfasser:

Gerfried Winkler, Thomas Wagner & Marcus Pauritsch
Karl-Franzens-Universität Graz, NAWI Graz Geozentrum, Institut für Erdwissenschaften,
Heinrichstraße 26, 8010 Graz
gerfried.winkler@uni-graz.at, thomas.wagner@uni-graz.at,
marcus.pauritsch@edu.uni-graz.at

Andreas Kellerer-Pirklbauer
Karl-Franzens-Universität Graz, Institut für Geographie und Raumforschung, Arbeits-
gruppe Alpine Landschaftsdynamik (ALADYN), Heinrichstraße 36, 8010 Graz
andreas.kellerer@uni-graz.at