

Hydrologie und Wasserchemie von Blockgletscherbächen

Ulrike Nickus¹, Hansjörg Thies², Karl Krainer³

¹ Institut für Atmosphären- und Kryosphärenwissenschaften,
Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck

² Institut für Interdisziplinäre Gebirgsforschung,
Österreichische Akademie der Wissenschaften, Technikerstr. 21a, 6020 Innsbruck

³ Institut für Geologie, Universität Innsbruck, Innrain 52, 6020 Innsbruck

Kurzfassung

Seit 2007 werden Hydrologie und Wasserchemie von Abflüssen aus 2 Blockgletschern in den Tiroler Zentralalpen untersucht (Äußeres Hochebenkar – Ötztal, Blockgletscher Krummgampen – Kaunertal). Die Abflüsse vom Hochebenkar zeigen die für Blockgletscherbäche typische Saisonalität mit sehr hohen Werten zur Zeit der Schneeschmelze und abnehmenden Werten zum Herbst hin. Sekundäre Abflussmaxima im Sommer werden durch Niederschlagsereignisse verursacht. Die Konzentration gelöster Stoffe im Abfluss zeigt meistens eine zur Abflussmenge gegenläufige zeitliche Entwicklung, d.h. niedrige Werten während der Schneeschmelze und zunehmende Konzentrationen im Verlauf des Sommers. Die elektrische Leitfähigkeit in Blockgletscherbächen war geprägt von der Konzentration an Sulfat, Magnesium und Kalzium, die etwa 95 bis 99% der Gesamtionensumme ausmachten. Die vom Blockgletscher beeinflussten Bäche im Krummgampental lagen im sauren Bereich mit pH-Werten unter 5 und Schwermetallgehalten, die z.B. für Aluminium und Nickel den jeweiligen Trinkwassergrenzwert deutlich überschritten. Die Abflüsse vom Hochebenkar Blockgletscher waren circumneutral mit Schwermetallkonzentrationen von wenigen µg/L.

Einleitung

Aktive Blockgletscher repräsentieren eine wichtige Form von alpinem Permafrost. Sie sind lappen- oder zungenförmige Körper aus gefrorenem Lockermaterial mit Eiskörpern oder Eislinen. Aufgrund ihres Eisanteils bewegen sie sich langsam hangabwärts (Barsch 1996), was sie von sogenannten inaktiven und fossilen Blockgletschern unterscheidet. In den Tiroler Alpen gibt es laut einem Inventar 517 aktive Blockgletscher, die eine Fläche von etwa 45 km² bedecken (Krainer & Ribis, 2012). Etwa zwei Drittel davon kommen in den Ötztaler und Stubai Alpen vor. Als untere Grenze für verbreitetes Vorkommen von Permafrost kann eine Jahresmitteltemperatur der Luft von -3°C genommen werden, an einzelnen Stellen findet sich Permafrost auch bei einer langjährigen Jahresmitteltemperatur von -1°C (Haerberli et al., 2010). Blockgletscher reagieren durch diese Nähe zur 0°C-Grenze deshalb sehr sensibel auf Klimaveränderungen wie eine Zunahme der Lufttemperatur (Harris et al., 2003).

Aktive Blockgletscher weisen in der Regel eine steile und nicht bewachsene Stirn auf, aus der häufig kleine Bäche entspringen. Der Abfluss von Blockgletscherbächen weist meist starke Schwankungen mit der Tages- und Jahreszeit auf (Krainer & Mostler, 2002, Krainer et al., 2007) und setzt sich aus zeitlich wechselnden Anteilen aus Schneeschmelze, Regenereignissen, Grundwasser und Schmelzwasser vom Eiskörper des

Blockgletschers zusammen. Er unterliegt aber nicht nur quantitativ starken saisonalen Schwankungen, auch qualitativ, d.h. in ihrer chemischen Zusammensetzung können Blockgletscherabflüsse großen zeitlichen Änderungen unterliegen (Thies et al., 2013, Nickus et al., 2015). Veränderungen in der Konzentration von gelösten Stoffen in Blockgletscherbächen können sich auch auf die Wasserchemie von Oberflächengewässern im Hochgebirge auswirken. Das haben z.B. Untersuchungen am Rasass See (2682 m, Italien) gezeigt, wo die elektrische Leitfähigkeit zwischen 1985 und 2005 um den Faktor 18 zugenommen hat (Thies et al., 2007). Die Autoren haben diese Veränderungen in der Seechemie dem vermehrten Freisetzen von Stoffen aus dem Eis eines Blockgletschers im Einzugsgebiet des Rasass Sees als eine Folge des Temperaturanstiegs in den Alpen (Auer et al., 2006) zugeschrieben.

Die Abflüsse von 2 aktiven Blockgletschern in den Tiroler Zentralalpen – im Äußeren Hochebenkar (Ötztal) und im Krummgampental (Kauertal) – werden seit 2007 untersucht. Erste Messungen und Probenahmen fanden 2007 statt und wurden im Rahmen des Projekts *permaqua* (Interreg IV Italien-Österreich, 2012-2015) intensiviert. In dieser Arbeit werden Hydrologie und Wasserchemie der Blockgletscherabflüsse im Äußeren Hochebenkar und im Krummgampental zwischen 2007 und 2013 beschrieben.

Untersuchungsgebiete und Methoden

Äußeres Hochebenkar

Der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar liegt in den Ötztaler Alpen etwa 4.3 km südwestlich von Obergurgl (Abb. 1). Er erstreckt sich zwischen 2360 m und 2840 m Höhe, ist 1550 m lang und bedeckt eine Fläche von ca. 0.4 km². Sein Einzugsgebiet beträgt etwa 1 km². Die Festgesteine im Einzugsgebiet des Hochebenkar Blockgletschers (HK) bestehen aus Paragneiss und Glimmerschiefer und gehören zum Ötztal-Stubai Komplex. Er ist einer der am längsten und intensivsten untersuchten aktiven Blockgletscher in Österreich mit ersten Messungen der Fließgeschwindigkeit

durch Pillewizer im Jahr 1938. Nähere Beschreibungen des Blockgletschers im Äußeren Hochebenkar finden sich in verschiedenen Arbeiten (z.B. Nickus et al., 2015a, b, Krainer et al., 2015, Hartl et al., 2016). Am östlichen Rand des Blockgletschers entspringt in 2575 m Höhe ein Bach. Etwa 100 m vom Quellaustritt entfernt wurde 2007 eine Druckpegelsonde (Logotronic) installiert, mit der stündlich der Wasserstand registriert wird (Abb. 2). Die Eichkurve des Pegels, die den Zusammenhang zwischen Wasserstand und Durchflussmenge zeigt, wurde nach der Salzverdünnungsmethode (QTRACE, Logotronic) bestimmt. Im September 2009 wurde vom Hydrographischen Dienst (Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft) ein Durchflusspegel mit einer automatischen Pegelstation am Hochebenkarbach (HD) in 2220 m Höhe errichtet (Abb. 2 und 3). Der Pegel liefert seit 2011 kontinuierliche Daten während des Sommerhalbjahrs. Wasserproben für die chemische Analyse der Blockgletscherbäche wurden seit 2007 am östlichen Blockgletscherrand (HK-P) und an der Zunge (HK-Z) jeweils zwischen Juli und Oktober entnommen. Ein automatischer Probesammler (HACH LANGE) kam ab 2011 am Pegel HD zum Einsatz, mit dem täglich um 16 Uhr Sommerzeit eine Probenahme erfolgte (Abb. 3). Alle Wasserproben wurden auf pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit, die Konzentration der wichtigsten Anionen und Kationen und stichprobenhaft auf den Gehalt von Schwermetallen untersucht. Die elektrische Leitfähigkeit wurde mit einem tragbaren Messgerät (WTW LF-92) vor Ort oder im Labor bestimmt. Ionenkonzentrationen (Chlorid, Nitrat, Ammonium, Sulfat, Natrium, Kalium, Magnesium und Kalzium) wurden mit Ionenaustausch-Chromatographie (Dionex ICS-1000 und DX-500, Trennsäulen AS11 und CS12A, Leitfähigkeitsdetektion) analysiert. Die Analyse von Schwermetallen erfolgte mit optischer Emissionsspektrometrie mittels induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES, Horiba Jobin Yvon).

Krummgampental

Der Blockgletscher liegt auf der südlichen Talseite im Krummgampental, einem Seitental des Kauertals (Abb. 1). Er erstreckt sich über einen



Abb. 1. Lage der Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar (Ötztal) und im Krummgampental (Kauertal), durch rote Punkte markiert.

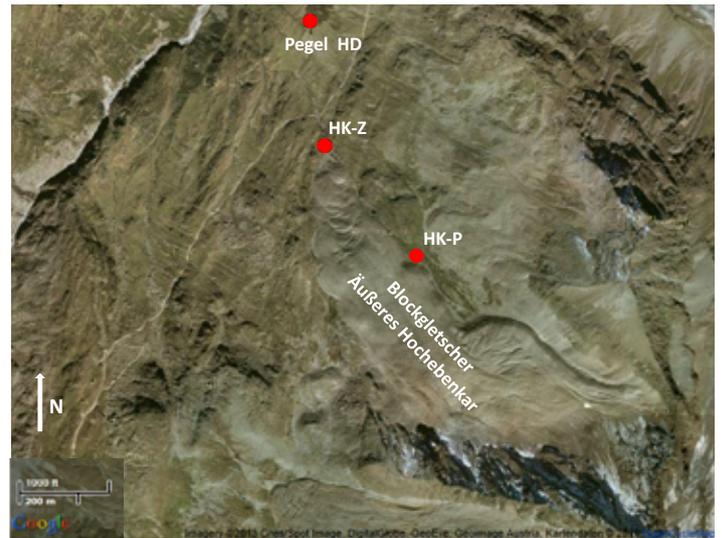


Abb. 2. Lage der Probestellen im Bereich des Äußeren Hochebenkar Blockgletschers: HK-P (2575 m), HK-Z (2360 m) und Abflusspegel HD (2220 m).



Abb. 3. (A) Pegel des Hydrographischen Dienstes (Land Tirol) am Hochebenkarbach (2220 m), (B) Automatischer Probesammler. (Fotos: Hansjörg Thies).

Höhenbereich von 2465 m bis 2700 m und bedeckt eine Fläche von 0.1 km². Die Festgesteine im Einzugsgebiet gehören wie am Hochebenkar zum Ötztal-Stubai-Komplex. Aus der Stirn des Blockgletschers, die den Krummgampentbach zum Teil überfahren hat, treten 3 kleine Blockgletscherbäche aus, die nach etwa 20 bis 30 Metern in den Krummgampentbach münden (Abb. 4 und 5). Auf der gegenüber liegenden Talseite münden mehrere kleine, von keinem Blockgletscher beeinflussten Bäche in den Krummgampentbach.

In dieser Arbeit werden sie als „Referenzbäche“ bezeichnet. Seit 2008 wird die chemische Zusammensetzung der 3 Blockgletscherbäche (KG-1, KG-2, KG-3 in Abb. 4) sowie seit 2011 auch von 3 dieser sogenannten Referenzbäche (KG-R1, KG-R2, KG-R3 in Abb. 4) untersucht. Zwischen 2011 und 2013 wurden zusätzlich Wasserproben mit einem automatischen Probesammler (Abb. 5) entnommen. Die Probenahme sowie die chemische Analyse aller Wasserproben erfolgte gleich wie für das Hochebenkar beschrieben.

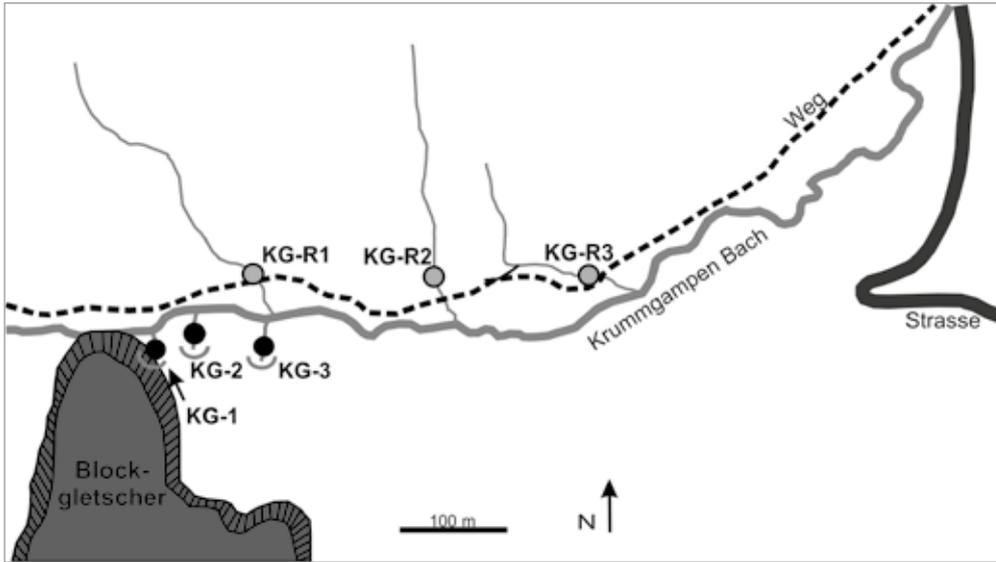


Abb. 4.
Lage der Probestellen im Bereich des Krummgampen Blockglaciers: KG-1, KG-2 und KG-3 sind Blockgletscherabflüsse (2460 m). KG-R1, KG-R2 und KG-R3 sind kleine „Referenzbäche“ ohne Blockgletschereinfluss.



Abb.5. (A) Krummgampenblockgletscher, (B) Automatischer Probesammler am Blockgletscherbach KG-3. (Fotos: Hansjörg Thies).

Ergebnisse

Abfluss

Der Abfluss von Bächen aus einem aktiven Blockgletscher weist in der Regel eine starke Saisonalität auf. Maximale Abflussmengen treten in der Zeit der Schmelze der winterlichen Schneedecke im späten Frühjahr bzw. zu Beginn des Sommers auf. Sekundäre Spitzen, die während der Sommer- und Herbstmonate gemessen werden, sind auf starke Regenereignisse zurückzuführen. Im Verlauf des Herbstes nimmt der Abfluss ab, um oft im

November ganz zu versiegen (Krainer & Mostler, 2002, Krainer et al., 2007). Dieser für Blockgletscherbäche typische Verlauf wurde auch für den Hochebenkarbach gefunden. Als Beispiel soll der Abfluss am Pegel HD für das Jahr 2012 gezeigt werden (Abb. 6). Während der Hauptschmelzphase der Schneedecke, die mit Anfang Juni einsetzte, zeigte der Abfluss am Hochebenkarbach stark ausgeprägte Tagesgänge. Die Maxima, die im Tagesverlauf erst gegen Abend auftraten, lagen im Juni oft über 400 L/s (15-Minuten Daten) mit dem höchsten Wert von ~500 L/s am

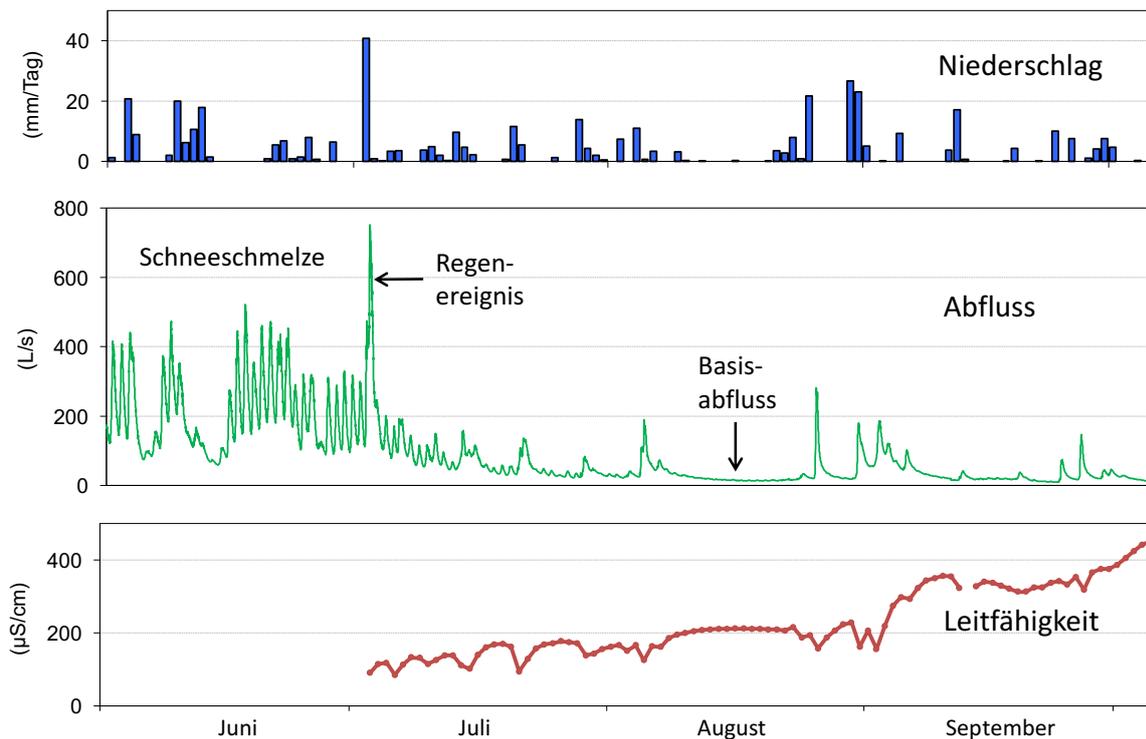


Abb. 6. Tagessummen des Niederschlags in Obergurgl (mm/Tag) (oben), Abfluss des Hochebenkarbachs (2220 m) in L/s als 15-Minuten-Werte (Mitte) und elektrische Leitfähigkeit ($\mu\text{S}/\text{cm}$) im Hochebenkarbach (unten) im Sommer 2012.

17.06.2012. Die Abflussminima wurden während der Schmelzphase am späten Vormittag registriert, der mittlere Tagesgang lag bei etwa 200 L/s. Unterbrochen war die Hauptschmelzphase von einzelnen Kälteperioden, während derer negative Lufttemperaturen und Schneefall in der Höhe des Hochebenkar Blockgletschers zu einem starken Rückgang der Abflusswerte führte. So sank während der kalten Phase vom 09.06.-14.06.2012 der Abfluss auf Werte unter 100 L/s (Abb. 6). Das absolute Maximum im Abfluss am Pegel HD wurde am 02.07.2012 mit einem Wert von ~ 720 L/s gemessen und zeigte den Einfluss von starkem Niederschlag auf die Abflussmenge. An diesem Tag wurden in Obergurgl 41 mm Niederschlag bei einer Tagesmitteltemperatur von 14.5°C gemessen. Niederschlag fiel daher bis in große Höhen in Form von Regen auf Reste der winterlichen, feuchten Schneedecke. Die Kombination aus

starkem Niederschlag und Schmelzen führte zu den am 2. Juli gemessenen extremen Abflussmengen im Hochebenkarbach. Mit dem kompletten Abschmelzen der Schneedecke auch in den höheren Bereichen des Einzugsgebiets verschwanden ab Mitte Juli die zuvor ausgeprägten Tagesgänge im Abfluss (Abb. 6). Kurzfristige Abflussspitzen, die im August und September auftraten, waren immer mit Regenereignissen verbunden. Der am Pegel HD gemessene Abfluss blieb dabei mit einer Ausnahme unter 200 L/s. Einen ganz ähnlichen saisonalen Verlauf zeigten die Abflusswerte in den Jahren 2011 und 2013.

Die Monatsmittel im Abfluss beim Pegel HD lagen in den Jahren 2011-2013 im Juni zwischen etwa 150 und 210 L/s und nahmen bis zum September auf Werte von 20-40 L/s ab (Tab. 1). Wegen des kleineren Einzugsgebiets lagen die Monatsmittel beim Pegel HK-P (Abb. 2) um den Faktor 2 bis 3

Tabelle 1. Monatsmittel der Wasserführung (L/s) an der östlichen Blockgletscherquelle HK-P (2007-2010) und am Pegel Hochebenkarbach HD (2011-2013).

(* Datenquelle: Hydrographisches Jahrbuch von Österreich, 2011-2013).

	HK-P (2575 m)				Pegel HD* (2220m)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Juni		94	107	87	161	207	147
Juli	17	34	57	22	57	92	167
August	24	16	17	22	29	33	50
September	14	12	12	5	39	31	22

niedriger. Im Juni wurden dort Monatsmittel um 100 L/s gemessen, im September lag der mittlere Abfluss bei 10 L/s (Tab. 1).

Die Bäche, die aus dem Blockgletscher Krummgampen entspringen, weisen ein ganz anderes Abflussverhalten als der Hochebenkarbach auf. Die geschätzten Abflussmengen aller 3 Bäche sind mit weniger als 1 L/s sehr gering und zeigen kaum saisonale Veränderungen.

Wasserchemie

Vom Äußeren Hochebenkar werden Abflüsse seit 2007 auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht, von den Abflüssen des

Krummgampenblockgletschers liegen Daten seit 2008 vor, von den Referenzbächen seit 2011. Die einzelnen Proben wurden jeweils über die Sommerperiode verteilt genommen und zu Zeitreihen über mehrere Jahre zusammengefügt.

Die beiden in unmittelbarer Nähe des Blockgletschers am Äußeren Hochebenkar gelegenen Probestellen HK-P und HK-Z wiesen recht unterschiedliche Stoffkonzentrationen auf. Die elektrische Leitfähigkeit (EL), die ein Maß für den gesamten Gehalt an im Wasser gelösten Ionen ist, lag an der höher gelegenen Probestelle HK-P bei 250 µS/cm, erreichte im Bereich der Blockgletscherzunge HK-Z im Mittel aber nur 33 µS/cm. Besonders groß waren die Unterschiede für die Konzentration an Sulfat, die bei HK-Z nicht einmal ein Zehntel des

Tabelle 2. Mittelwerte von elektrischer Leitfähigkeit (EL), pH-Wert und Ionenkonzentrationen an den Probestellen HK-P und HK-Z am Äußeren Hochebenkar sowie im Krummgampental in den Blockgletscherbächen (KG-1, KG-2, KG-3) und Referenzbächen (KG-R1, KG-R2, KG-R3). Einzelproben über den entsprechenden Zeitraum wurden zu Serien zusammengefasst.

	Zeitraum	EL	pH	Cl-	NO3-	SO4=	Na+	K+	Mg2+	Ca2+
		µS/cm		mg/L						
HK-P	2007-2012	250	6.8	0.3	0.8	100	1.4	1.4	14	25
HK-Z	2007-2012	33	6.1	0.1	1.6	9	0.4	1.6	1.2	3
KG-1	2011-2013	287	4.6	0.3	1.1	105	1.5	1.3	11	23
KG-2	2011-2013	391	4.8	0.3	1.3	167	2.1	1.8	19	36
KG-3	2011-2013	376	4.7	0.3	0.9	152	2.4	1.6	22	26
KG-R1	2011-2013	36	7.2	0.1	0.3	3	0.4	0.4	0.4	7
KG-R2	2011-2013	25	6.9	0.1	0.5	3	0.4	0.2	0.3	5
KG-R3	2011-2013	13	6.4	0.1	0.1	2	0.4	0.3	0.4	2

Werts von HK-P erreichte (Tab. 2). Die Abflüsse des Krummgampen Blockgletschers (KG) ähnelten in ihrer chemischen Zusammensetzung mehr dem Bach am östlichen Rand des Hochebenkars (HK-P). Die elektrische Leitfähigkeit lag in den 3 Bächen KG-1, KG-2 und KG-3 im Mittel zwischen 290 und 390 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Entsprechend höher waren auch der Gehalt der meisten Ionen, besonders an Sulfat, Magnesium und Kalzium. Der größte Unterschied zwischen den Abflüssen am Hochebenkar und am Krummgampenblockgletscher lag im Säuregehalt. Während die KG-Bäche alle pH-Werte im sauren Bereich mit $\text{pH} < 5$ aufwiesen, erreichten die HK-Bäche Werte über $\text{pH} 6$ (Tab. 2). Die außerhalb des Einflusbereichs des Blockgletschers Krummgampen gelegenen Referenzbäche KG-R1, KG-R2 und KG-R3 wiesen erheblich niedrigere elektrische Leitfähigkeitswerte und demzufolge auch Ionenkonzentrationen als die Blockgletscherbäche KG-1, KG-2 und KG-3 auf. Zudem waren die Referenzbäche auch circumneutral bis schwach sauer (Tab. 2).

Die Menge an gelösten Stoffen in Abflüssen von Blockgletschern ist jahreszeitlich variabel. Die meisten der hier untersuchten Bäche wiesen eine Zunahme der Ionenkonzentrationen zwischen Schneeschmelze und Herbst auf. So stieg z.B. am Hochebenkar am Pegel HD die Leitfähigkeit zwischen Juli und September 2013 von 190 auf 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Im gleichen Zeitraum verdoppelte

sich die Sulfatkonzentration, während der Gehalt an Magnesium und Kalzium um den Faktor 1.8 zunahm (Tab. 3). Nahezu unverändert blieb dagegen der pH-Wert. Ein ähnliches Verhalten zeigten auch die Konzentrationen an den 2 höher gelegenen Probestellen am Hochebenkar. Der Grund für diese saisonale Zunahme an Stoffkonzentrationen in Blockgletscherabflüssen liegt in den zeitlich variierenden relativen Anteilen, die Schneeschmelze, Grundwasser, Schmelzwasser vom Eiskörper des Blockgletschers sowie starke Regenereignisse zum Gesamtabfluss liefern. Niederschlagswasser, sei es in Form von Schmelzwasser der winterlichen Schneedecke oder in Form von starken Regenereignissen, wirkt dabei verdünnend auf die Stoffkonzentration im Abfluss, da die Ionenkonzentrationen im Niederschlag im Hochgebirge 1 bis 2 Größenordnungen unter den in Blockgletscherabflüssen gemessenen Werten liegen (z.B. Nickus et al., 1998). Ein Anstieg in der Abflussmenge als Folge eines Regenereignisses im Sommer ist daher meistens mit einer Abnahme der Stoffkonzentration und der elektrischen Leitfähigkeit verbunden (Abb. 6).

Im Gegensatz zu den Abflüssen am Hochebenkar lieferten die Stoffkonzentrationen in den Blockgletscherbächen im Krummgampental kein einheitliches Verhalten. Während die Ionenkonzentrationen in KG-1 und KG-3 ähnlich wie am Hochebenkar zwischen Juli und September

Tabelle 3. Monatsmittel der elektrischen Leitfähigkeit (EL), von pH-Wert und Ionen im Hochebenkarbach am Pegel HD und im Blockgletscherbach KG-2, Juli – September 2013.

		EL	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		$\mu\text{S}/\text{cm}$		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
HD	Juli	190	6.9	0.2	0.7	75	0.9	1.6	10	18
	August	262	6.8	0.3	1.0	106	1.1	2.0	13	24
	September	350	6.8	0.5	1.5	156	1.5	2.5	18	32
KG-2	Juli	409	4.6	0.3	1.6	190	2.2	1.9	19	42
	August	343	4.6	0.3	1.1	155	2.0	1.8	15	35
	September	329	4.8	0.3	1.2	149	2.0	1.8	15	33

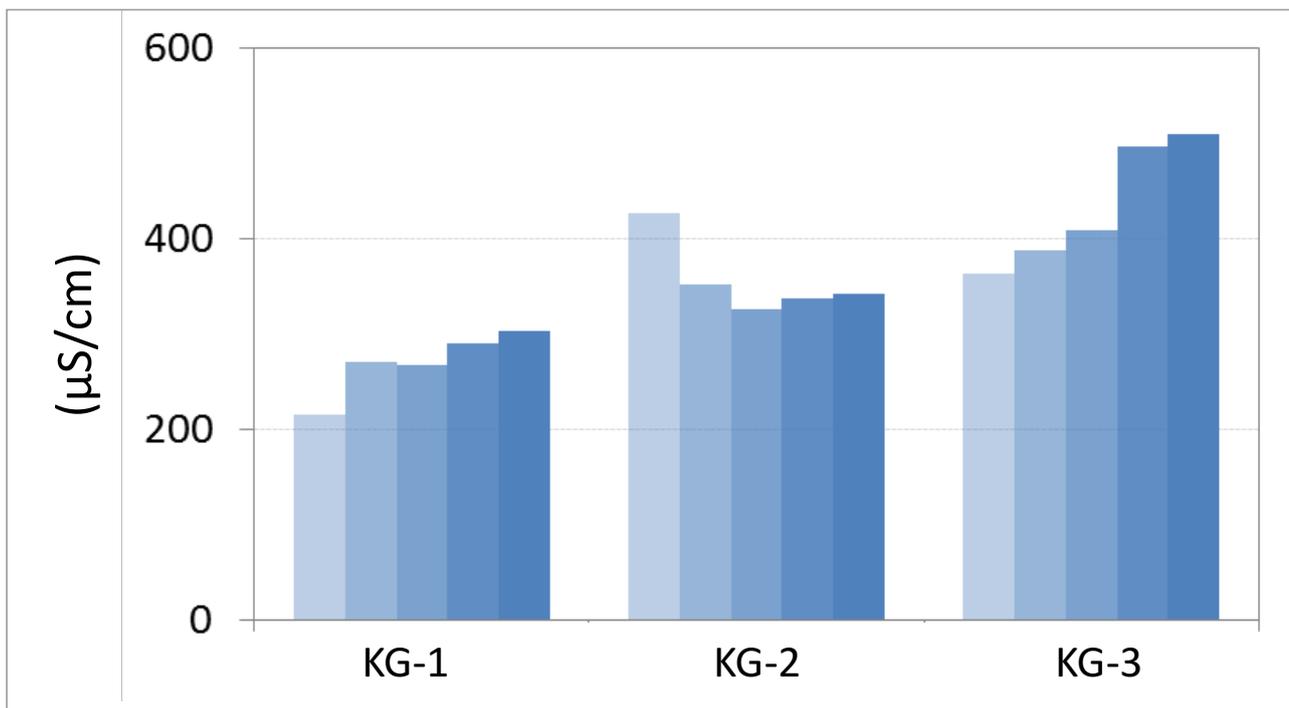


Abb. 7. Elektrische Leitfähigkeit in den Krummgampen Blockgletscherbächen KG-1, KG-2 und KG-3 im Sommer 2013: jeweils Werte vom 17.Juli, 12.August, 29.August, 23.September und 9.Oktober.

zunahmen, erreichten sie in KG-2 im Juli die höchsten Werte und nahmen zum September hin ab (Tab. 3, Abb. 7). Erst gegen Ende September / Anfang Oktober wurden in KG-2 in einzelnen Proben wieder zunehmende Stoffkonzentrationen gemessen. Referenzbäche wiesen keinen jahreszeitlichen Unterschied in der Menge an gelösten Stoffen auf.

Zwischen 2011 und 2013 nahmen im Mittel die Konzentrationen der wichtigsten Ionen im Hochebenkarbach (Pegel HD) deutlich zu. Sulfat, Magnesium und Kalzium lagen 2013 um etwa zwei Drittel höher als im Jahr 2011 (Tab. 4). In Krummgampen zeigten sich dagegen nur geringfügige Änderungen. Die mittleren in KG-2 gemessenen Werte der vorherrschenden Ionen (Sulfat, Magnesium, Kalzium) stiegen von 2011 auf 2012

zwischen knapp 20 bis 40% und sanken von 2012 auf 2013 geringfügig bzw. blieben wie bei Kalzium unverändert (Tab. 4).

Neben ionischen Komponenten wurde auch der Gehalt an Schwermetallen untersucht. In den sauren Blockgletscherabflüssen im Krummgampental wurden z.B. bis zu 3 mg/L Aluminium sowie bis zu 0.2 mg/L Nickel und Mangan gemessen. Für Nickel und Aluminium bedeutet dies eine Überschreitung des EU Grenzwerts für Trinkwasser um bis zu 1 Größenordnung (Abb. 8). In den Abflüssen vom Äußeren Hochebenkar, die im Mittel circumneutrale pH-Werte aufwiesen, lagen die Schwermetallkonzentrationen hingegen im Bereich der Nachweisgrenze (z.B. für Al, Co, Mn, Ni oder Zn).

Tabelle 4. Elektrische Leitfähigkeit (EL), pH-Wert und Ionenkonzentrationen im Hochebenkarbach (HD) und im Blockgletscherbach KG-2. Mittelwerte der Tagesproben Juli - September für die Jahre 2011, 2012 und 2013.

		EL	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
		μS/cm		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
HD	2011	173	6.8	0.2	1.2	74	1.2	2.0	8	18
	2012	232	6.1	0.2	1.3	90	1.1	2.0	12	21
	2013	293	6.8	0.4	1.2	126	1.2	2.1	15	27
KG-2	2011	363	4.9	0.2	1.4	144	1.7	1.6	13	30
	2012	368	4.6	0.2	1.3	169	1.8	1.8	18	37
	2013	351	4.7	0.3	1.2	160	1.9	1.9	16	36

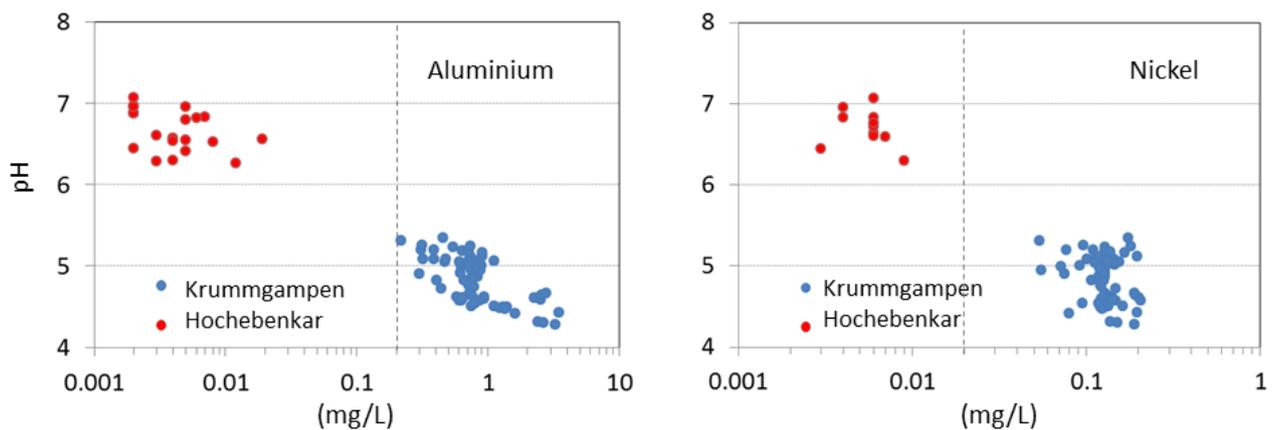


Abb. 8. Aluminium und Nickelkonzentrationen (mg/L) in Blockgletscherbächen, Äußeres Hochebenkar und Krummgampen (2007 - 2010). Vertikal strichlierte Linien: EU-Trinkwassergrenzwerte.

Diskussion und Zusammenfassung

Der Abfluss vom Hochebenkarbach zeigte den für Blockgletscherbäche typischen Verlauf mit maximalen Werten zur Zeit der Hauptschneeschmelze sowie sekundären Spitzen im Sommer, wenn starke Regenereignisse zu einer Erhöhung des direkten Abflusses beitragen. Extrem hohe Abflüsse können auftreten, wenn zu Beginn des Sommers starker Regen auf die feuchte Schneedecke fällt, wie dies am 2. Juli 2012 mit etwa 750 L/s am Hochebenkarbach der Fall war. Zum Herbst hin nimmt der Abfluss stark ab und kommt im November bzw. Winter oft ganz zum Erliegen. Wenig jahreszeitliche Veränderung wurde an den 3 kleinen Abflüssen des Krummgampen Blockgletschers festgestellt. Der geschätzte Abfluss blieb im Bereich von wenigen Litern pro Sekunde. Die untersuchten Blockgletscherbäche unterschieden sich auch in ihrer chemischen Zusammensetzung von Bächen ohne Blockgletschereinfluss. Sie wiesen oft Stoffkonzentrationen auf, die 1-2 Größenordnungen über jenen von sogenannten Referenzbächen, d.h. Bächen ohne Einfluss von Blockgletschern, lagen. Die elektrische Leitfähigkeit in Blockgletscherbächen war geprägt von der Konzentration von Sulfat, Magnesium und Kalzium. Diese 3 Ionen machten etwa 95 bis 99% der Gesamtionensumme aus. Die vom Blockgletscher beeinflussten Bäche im Krummgampental wiesen saure pH-Werte unter 5 auf und Schwermetallgehalte, die z.B. für Aluminium und Nickel über den jeweiligen Trinkwassergrenzwerten liegen. Die Abflüsse vom Hochebenkar Blockgletscher waren circumneutral mit Schwermetallkonzentrationen von nur wenigen µg/L (oft unterhalb der Nachweisgrenze).

Alle Blockgletscherbäche wiesen eine zunehmende Stoffkonzentration im Verlauf des Sommers auf. Die Ausnahme bildete nur einer der 3 Abflüsse im Krummgampental (i.e. KG-2). Eine saisonal starke Zunahme von Ionenkonzentrationen wurde z.B. auch in der Colorado Front Range (US) an einem Blockgletscherabfluss gefunden (Williams et al., 2006). Mit einem hydrologischen Mischmodell wurden dort die relativen Beiträge von Schmelz- und Bodenwasser sowie vom Basisabfluss am gesamten Blockgletscherabfluss abgeschätzt. Im Juni lieferte Schmelzwasser den

überwiegenden Beitrag, von Mitte Juni bis August war Bodenwasser (bzw. der Zwischenabfluss) und ab Mitte September der Basisabfluss der Hauptlieferant zum Gesamtabfluss. Auch Schmelzwasser vom Eiskörper des Blockgletschers, das viele Schmelz-/Gefrierzyklen durchlaufen hat, stellte einen wichtigen Bestandteil vom Basisabfluss des Blockgletschers dar. Der durch mechanische und chemische Verwitterung stark mineralisierte Basisabfluss von Blockgletschern wird zwischen der Schmelzperiode im Frühsommer bis zum Herbst in abnehmendem Ausmaß verdünnt. Zusätzlich können bei aktiven Blockgletschern im Herbst aus dem abschmelzenden Eiskörper gelöste Substanzen freigesetzt werden, worauf Ergebnisse von Isotopenanalysen hindeuten (Williams et al., 2006). Auch Mikroorganismen haben das Potential, durch chemolithotrophe Stoffwechselaktivität Kalzium, Magnesium und Mangan aus dem Gestein freizusetzen und dadurch deren Konzentration in Oberflächenwässern zu erhöhen, was von Sonnleitner et al. (2011) in Laborversuchen mit Gesteinen aus einem von Blockgletschern geprägten Einzugsgebiet nachgewiesen werden konnte.

Die Stoffkonzentration in den Abflüssen vom Hochebenkar Blockgletschernahm zwischen 2011 und 2013 deutlich zu, während in den Krummgampen Blockgletscherbächen keine eindeutige Entwicklung festzustellen war. Dieser Unterschied könnte eine Folge des wesentlich größeren Eiskörpers im Hochebenkar Blockgletscher sein.

Dank

Die finanzielle Unterstützung erfolgte durch das Projekt *permaqua* (Interreg IV Italien-Österreich). Wir danken Richard Tessadri und Mathias Hirnsperger für die ICP-OES Analysen. Abflussdaten vom Hochebenkarbach wurden vom Hydrographischen Dienst, Abteilung Wasserwirtschaft (Land Tirol) zur Verfügung gestellt. Die meteorologischen Daten der Station Obergurgl wurden von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) bereitgestellt.

Literaturverzeichnis

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W. et al. (2006): HISTALP – Historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology* 27: 17-46, DOI: 10.1002/joc.1377.
- Barsch, D. (1996): *Rockglaciers: indicators for the present and former geoecology in high mountain environments*. Springer Verlag, Berlin, 331 p.
- Haerberli W., Noetzli J., Arenson L., Delaloye R. et al. (2010): Mountain permafrost: development and challenges of a young research field. *Journal of Glaciology* 56: 200, 1043-1058.
- Harris, C., Vonder Mühl, D., Isaksen, K. et al. (2003): Warming permafrost in European mountains, *Global Planet. Change* 39 (3-4): 215-225.
- Hartl, L., Fischer, A., Stocker-Waldhuber, M. & Abermann, J. (2016): Recent speed-up of an Alpine rock glacier: an updated chronology of the kinematics of outer Hochebenkar rock glacier based on geodetic measurements. *Geografischer Annaler* 98: 129-141.
- Krainer, K. & Mostler, W. (2002): Hydrology of Active Rock Glaciers: Examples from the Austrian Alps. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 34: 142-149.
- Krainer, K., Mostler, W. & Spötl, C. (2007): Discharge from active rock glaciers, Austrian Alps: a stable isotope approach. *Austrian Journal of Earth Sciences* 100: 102-112.
- Krainer, K. & Ribis, M. (2012): A rock glacier inventory of the Tyrolean Alps (Austria). *Austrian Journal of Earth Sciences* 105/2: 32-47.
- Krainer, K. (2015): Der aktive Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar. In: Schallhart N. & Erschbamer, B. (eds) *Forschung am Blockgletscher – Methoden und Ergebnisse*. AFO Series 4: 55-75.
- Nickus, U., Kuhn, M., Novo, A. & G.C. Rossi G.C. (1998): Major element chemistry in alpine snow along a north-south transect in the Eastern Alps. *Atmospheric Environment* 32:4053-4060.
- Nickus, U., Abermann, J., Fischer, A., Krainer, K., Schneider, H., Span, N. & Thies, H. (2015): Rock glacier Äußeres Hochebenkar – Recent results of a monitoring network. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 47/48:43–62.
- Nickus, U., Krainer, K., Thies, H. & Tolotti, M. (2015): Blockgletscher im Äußeren Hochebenkar – Hydrologie, Wasserchemie und Kieselalgen. In: Schallhart N. & Erschbamer, B. (eds) *Forschung am Blockgletscher – Methoden und Ergebnisse*. AFO Series 4: 117-134.
- Sonnleitner, R., Redl, B. & Schinner, F. (2011): Microbial mobilization of major and trace elements from catchment rock samples of a high mountain lake in the European Alps. *Arctic Antarctic and Alpine Research* 43:465-473.
- Thies, H., Nickus, U., Mair, V., Tessadri, R., Tait, D., Thaler, B. & Psenner, R. (2007): Unexpected response of high alpine lake waters to climate warming. *Environmental Science and Technology* 41: 7424-7429.
- Thies, H., Nickus, U., Tolotti, M., Tessadri, R. & Krainer, K. (2013): Evidence of rock glacier melt impacts on water chemistry and diatoms in high mountain streams. *Cold Regions Science and Technology* 96: 77-85.
- Williams, M.W., Knauf, M., Caine, N., Liu, F. & Verplanck, P.L. (2006): *Geochemistry and Source Waters of Rock Glacier Outflow, Colorado Front Range*. *Permafrost and Periglacial Processes* 17:13-33.

