

## **Photogrammetrische Dokumentation der raumzeitlichen Veränderung von ausgewählten Blockgletschern in der Schobergruppe**

### **Photogrammetric documentation of spatiotemporal changes of selected rock glaciers in the Schober Mountains, Austria**

Thomas MIKL

4 Abbildungen

**Zusammenfassung:** Dieser Beitrag beschreibt die Erfassung der raumzeitlichen Veränderung von drei ausgewählten Blockgletschern (Hinteres Langtalkar, Leibnitzkopf und Weissenkar) in der Schobergruppe, Hohe Tauern, mithilfe von multitemporalen Luftbildern (2002, 2009 und 2012). Für diese Blockgletscher wurden die jährliche horizontale Fließgeschwindigkeit und die Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche flächendeckend innerhalb eines Zeitintervalls (2009–2012 oder 2002–2012) bestimmt und in thematischen Karten visualisiert. Den Ergebnissen zufolge kann bei der Betrachtung eines Zeitintervalls von drei Jahren eine signifikante Fließgeschwindigkeit der Blockgletscheroberfläche größer als 22,5 cm/a [ $3\sigma$ ] nachgewiesen werden.

**Abstract:** This paper describes the detection of spatiotemporal changes of three selected rock glaciers (Hinteres Langtal Cirque, Leibnitzkopf and Weissen Cirque) in the Schober Mountains, Hohe Tauern Range, using multi-temporal aerial photographs (2002, 2009 and 2012). The mean annual horizontal flow velocity of these rock glaciers and their surface height change within one time interval (2009–2012 or 2002–2012) were comprehensively determined and visualized in thematic maps. According to the results it is possible to prove a significant flow rate of the rock glacier surface greater than 22.5 cm/a [ $3\sigma$ ] when considering a time interval of three years.

**Schlüsselworte:** Permafrost; Blockgletscher; Luftbildphotogrammetrie; Schobergruppe; Hinteres Langtalkar; Leibnitzkopf; Weissenkar.

**Key Words:** Permafrost; Rock glacier; Aerial photogrammetry; Schober Group; Hinteres Langtal Cirque; Leibnitzkopf; Weissen Cirque.

## 1. Einleitung

Blockgletscher sind Kriechphänomene des alpinen Permafrosts und treten in vielen Hochgebirgsregionen der Erde auf. Im aktiven Zustand bewegen sie sich mit einer Bewegungsrate von bis zu mehreren Metern im Jahr tal- oder hangabwärts. Blockgletscher reagieren bezüglich ihrer Kinematik auf Klimaveränderungen und können somit als Indikator für den Klimawandel angesehen werden (BARSCH 1996; KELLERER-PIRKLBAUER & KAUFMANN 2012).

Die derzeitigen Beobachtungsmethoden zur Erfassung der raumzeitlichen Veränderung lassen sich in zwei Gruppen unterteilen: (1) Einzelpunktbestimmung und (2) Methoden aus der Fernerkundung (KAUFMANN & KELLERER-PIRKLBAUER 2015). Die Einzelpunktbestimmung kann mithilfe von GPS-Empfängern oder Totalstationen erfolgen. Ein Nachteil der Einzelpunktbestimmung ist, dass nur eine diskrete Menge von Messpunkten aufgenommen werden kann. Das komplexe Fließverhalten der Blockgletscher kann somit nur schwer beschrieben werden. Ein weiterer Nachteil dieser Messmethode ist die oft beschwerliche und aufwändige Durchführung im schwer zugänglichen Hochgebirge. Alternativen zur Einzelpunktbestimmung bilden die verschiedenen berührungslosen Methoden der Fernerkundung, wie z. B. die Luftbildphotogrammetrie. Mit diesen Methoden kann die Kinematik der Blockgletscher, ohne sie eben berühren zu müssen, flächendeckend erfasst werden.

## 2. Studiengebiet

Die drei ausgewählten Blockgletscher (Hinteres Langtalar, Leibnitzkopf und Weissenkar) befinden sich in der Schobergruppe, Hohe Tauern (Abb. 1). Die Kinematik der genannten Blockgletscher wird alljährlich mit geodätischen Messungen aufgenommen (KAUFMANN 2015). Zur Verifizierung der Ergebnisse der photogrammetrischen Auswertung wurden diese mit den geodätischen Ergebnissen verglichen.

## 3. Datengrundlage und Auswertung

Als Datengrundlage für die Quantifizierung und Visualisierung der raumzeitlichen Veränderung der Blockgletscheroberfläche wurden für die schnell fließenden Blockgletscher (Hinteres Langtalar und Leibnitzkopf) Luftbilder aus den Epochen 2009 und

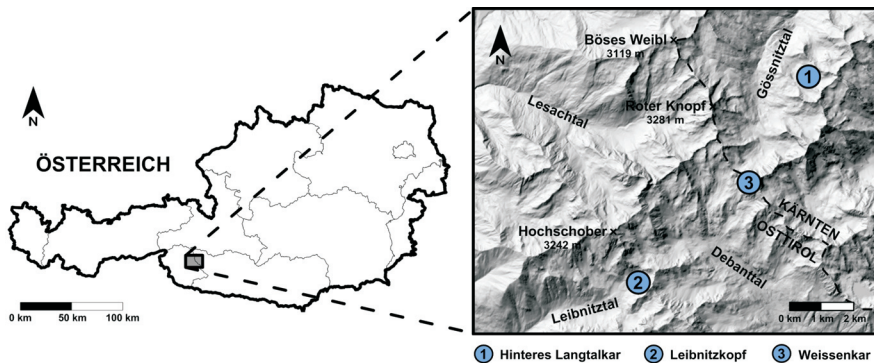


Abb. 1: Lage der drei ausgewählten Blockgletscher in Österreich und in der der Schobergruppe. Hillshade abgeleitet aus einem digitalen Geländemodell (DGM) mit einer Auflösung von  $10 \times 10$  m (Quelle: Kärntner Geoinformationssystem/KAGIS und Tiroler Rauminformationssystem/TIRIS 2014).

Fig. 1: Location of the three selected rock glaciers in Austria and the Schober Mountains. Hillshade is based on a digital elevation model (DEM) with a spatial resolution of  $10 \times 10$  m (Source: KAGIS and TIRIS 2014).

2012 herangezogen, für den langsam fließenden Blockgletscher (Weissenkar) Luftbilder aus den Epochen 2002 und 2012. Die Luftbilder wurden von KAGIS (Kärntner Geoinformationssystem) und TIRIS (Tiroler Rauminformationssystem) bezogen.

Die Erfassung der raumzeitlichen Veränderung wurde in zwei Schritten durchgeführt: (1) Berechnung der horizontalen Fließgeschwindigkeit und (2) Berechnung der Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche. Für die Umsetzung werden Orthophotos und digitale Geländemodelle in zwei Epochen benötigt. Im Zuge des Langzeitbeobachtungsprogramms des Instituts für Geodäsie an der Technischen Universität Graz wurden mit den analogen Luftbilder der Epochen 2002 und 2009 bereits digitale Geländemodelle mit einer Auflösung von  $2,5 \times 2,5$  m und Orthophotos mit einer Bodenauflösung (ground sampling distance) von 20 cm für die drei Blockgletscher erzeugt (KAUFMANN et al. 2006; FILWARYN & WISIOŁ 2012).

Für die lagegenaue Auswertung der digitalen Luftbilder aus der Epoche 2012 wurde ihre Orientierung mithilfe der mitgelieferten Kalibrierungsparameter und Orientierungsparameter vom BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) hergestellt. Auf Grundlage von Stereomodellen mit den orientierten Luftbildern konnten digitale Geländemodelle mit einer Auflösung von  $2,5 \times 2,5$  m erstellt und in weiterer Folge Orthophotos mit einer Bodenauflösung (ground sampling distance) von 20 cm für die Epoche 2012 erzeugt werden. Diese Vorgangsweise hat den Vorteil, dass sich das digitale Geländemodell und die Luftbilder für die Orthophotoerstellung auf den gleichen Zeitpunkt beziehen.

Die Bestimmung der horizontalen Fließbewegung erfolgte schließlich mithilfe eines Matching-Verfahrens unter Verwendung der normalisierten zweidimensionalen Kreuzkorrelation. Bei dieser Methode werden homologe Punkte in zwei Orthophotos von unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkten detektiert. Durch Differenzbildung konnten die mittleren jährlichen horizontalen Verschiebungsvektoren zwischen den Epochen bestimmt werden. Ein diesbezügliches Programm wurde mit der Software Matlab entwickelt (KAUFMANN & KELLERER-PIRKLBAUER 2015).

## **4. Ergebnisse**

Im Zuge der photogrammetrischen Auswertung wurden für die drei Blockgletscher die horizontale Fließbewegung und die Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche bestimmt. Exemplarisch werden in weiterer Folge die Ergebnisse vom Blockgletscher Hinteres Langtalkar präsentiert.

### **4.1. Fließgeschwindigkeit**

Für die flächige Darstellung der Fließgeschwindigkeit wurden die aus den Vektoren abgeleiteten Geschwindigkeiten auf ein regelmäßiges Raster linear interpoliert und mit Isotachen dargestellt (Abb. 2). Die Genauigkeit der horizontalen Fließgeschwindigkeit wurde aus den Messergebnissen stabiler Gebiete abgeleitet. Für den Blockgletscher Hinteres Langtalkar wurde ein Wert von  $\pm 7,5$  cm/a erreicht. Maximale Geschwindigkeiten von bis zu 4 m/a wurden zwischen 2009 und 2012 im unteren Bereich des Blockgletschers festgestellt.

### **4.2. Höhenänderung**

Die Berechnung der Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche erfolgte durch Differenzbildung der multitemporalen digitalen Geländemodelle der verschiedenen Epochen. Die Visualisierung der Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche wurde farbcodiert vorgenommen (Abb. 3). Die Genauigkeit der ermittelten Höhenänderung wurde aus stabilen Gebieten abgeleitet. Aufgrund der Aufnahmegeometrie der verwendeten Luftbilder konnte die vertikale Komponente nicht so genau bestimmt werden wie die horizontale. Für den Blockgletscher Hinteres Langtalkar konnten somit nur Höhenänderungen größer als 20 cm nachgewiesen werden. Ergebnisse zeigen hier für den Zeitraum von 2009 bis 2012 Höhenänderungen von zwischen +4,6 m bzw. -6,8 m im unteren Bereich des Blockgletschers.

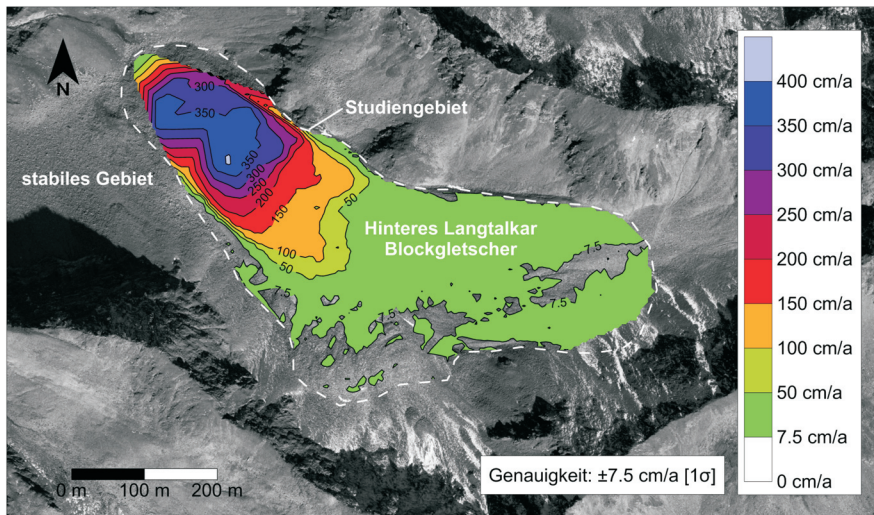


Abb. 2: Mittlere jährliche Fließgeschwindigkeit des Hinteren Langtalkar Blockgletschers zwischen 2009 und 2012. Orthophoto Epoche 1: 8. September 2009, RGB, GSD (ground sampling distance) 25 cm; Orthophoto Epoche 2: 28. August 2012, RGB, GSD (ground sampling distance) 20 cm; Zeitraum 1085 Tage (2,97 Jahre); Genauigkeit:  $\pm 7,5$  cm/Jahr  $[1\sigma]$ . Im Hintergrund Orthophoto von 2012 (Quelle: KAGIS).

Fig. 2: Mean annual flow velocity of the Hinteres Langtal Cirque Rock Glacier between 2009 and 2012. Orthophotograph epoch 1: 8. September 2009, RGB, GSD (ground sampling distance) 25 cm; Orthophotograph epoch 2: 28. August 2012, RGB, GSD (ground sampling distance) 20 cm; time period 1085 days (2.97 years); accuracy :  $\pm 7.5$  cm/year  $[1\sigma]$ . In the background the orthophotograph of 2012 (Source: KAGIS).

## 5. Diskussion und Fazit

Die ermittelten Fließgeschwindigkeiten der untersuchten Blockgletscher wurden mit jährlichen geodätischen Messungen (KAUFMANN 2015) verglichen und sie stimmen mit ihnen im Bereich der erzielten Genauigkeit gut überein (Abb. 4). So wurde für den Zeitraum von 2009 bis 2012 für mehrere markierte Punkte im unteren Bereich des Hinteren Langtalkar Blockgletschers mithilfe der photogrammetrischen Auswertung von Luftbildern ein Wert von 2,51 m/a und mit den jährlichen geodätischen Messungen ein Mittelwert von 2,54 m/a erzielt.

Mit den Ergebnissen der photogrammetrischen Auswertung können folgende Schlussfolgerungen getroffen werden:

(1) Bei der Betrachtung eines Zeitintervalls von drei Jahren ist es möglich eine signifikante Fließgeschwindigkeit größer als 22,5 cm/a  $[3\sigma]$  nachzuweisen. So konnte für die Blockgletscher Hinteres Langtalkar und Leibnitzkopf, welche im Zeitraum von 2009

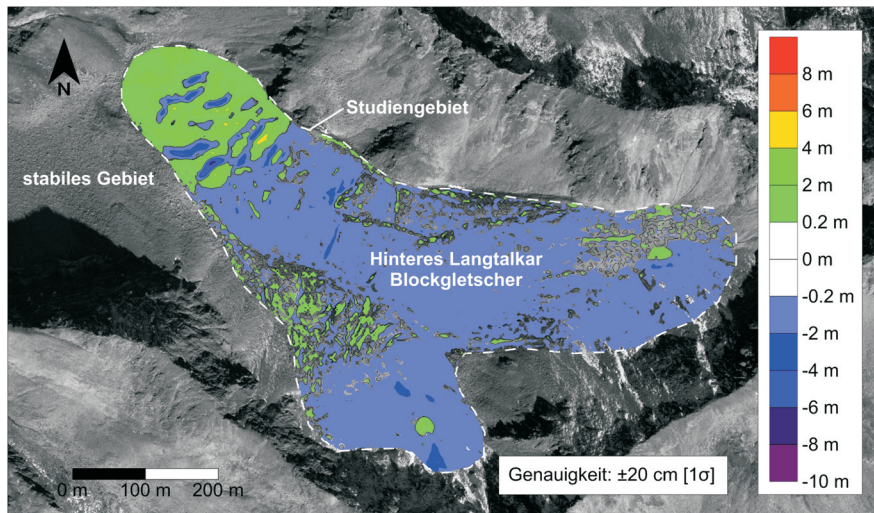


Abb. 3: Mittlere jährliche Höhenänderung der Blockgletscheroberfläche des Hinteren Langtalkar Blockgletschers zwischen 2009 und 2012. Digitale Geländemodelle: 8. September 2009 und 28. August 2012 Auflösung von  $2,5 \times 2,5$  m; Zeitraum 1085 Tage (2,97 Jahre), Genauigkeit:  $\pm 20$  cm/Jahr [ $1\sigma$ ]. Im Hintergrund Orthophoto von 2012 (Datengrundlage KAGIS).

Fig. 3: Mean annual surface elevation change of the Hinteres Langtal Cirque Rock Glacier between 2009 and 2012. Digital elevation models of 8. September 2009 and 28. August 2012; spatial resolution of  $2.5 \times 2.5$  m; time period 1085 days (2.97 years); accuracy :  $\pm 20$  cm/year [ $1\sigma$ ]. In the background the orthophotograph of 2012 (Source: KAGIS).

bis 2012 maximale Fließgeschwindigkeiten von mehreren m/a aufwiesen, die Kinematik signifikant bestimmt werden. Um die Fließgeschwindigkeit von langsam fließenden Blockgletschern, wie für den Blockgletscher Weissenkar, nachweisen zu können, muss ein längerer Zeitraum von 2002 bis 2012 untersucht werden. Mit dieser Vorgangsweise konnten für den genannten Blockgletscher mittlere Fließgeschwindigkeiten größer als 3 cm/a [ $3\sigma$ ] signifikant detektiert werden.

(2) Wegen der beschränkten Genauigkeit der photogrammetrischen Auswertung können prozentuale Änderungen der Fließgeschwindigkeit nur für schnell fließende Blockgletscher (Hinteres Langtalkar und Leibnitzkopf) bestimmt werden.

(3) Aufgrund der Aufnahmegeometrie der verwendeten Luftbilder können nur signifikante Höhenänderungen der Blockgletscheroberfläche größer als 30 cm/a [ $3\sigma$ ] ermittelt werden. Das Signifikanzniveau kann in Zukunft durch Verwendung hochauflösender multitemporaler digitaler Geländemodelle aus ALS-Daten (Airborne Laserscanning) verbessert werden.

Da es sich bei den Projektgebieten um schwer zugängliche alpine Regionen handelt, bietet die photogrammetrische Auswertung multitemporaler Luftbilder neben den



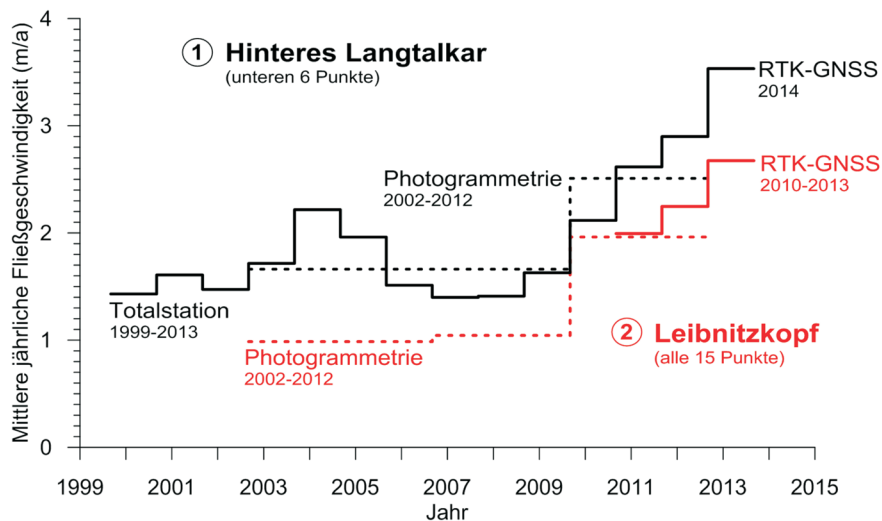


Abb. 4: Zeitlicher Verlauf der photogrammetrisch und geodätisch erfassten mittleren jährlichen Fließgeschwindigkeit markierter Punkte an der Oberfläche des Hinteren Langtalkar und des Leibnitzkopf Blockgletschers seit 1999 (basierend auf KAUFMANN 2015). Der Datenbestand wurde mit den photogrammetrischen Ergebnissen des Zeitintervalls von 2009 bis 2012 ergänzt.  
 Fig. 4: Mean annual horizontal flow velocities of Hinteres Langtal Cirque and Leibnitzkopf rock glaciers since 1999 based on selected observation points using geodetical and photogrammetrically derived data (based on KAUFMANN 2015). The photogrammetrically derived data presented in this study covering the period 2009-2012 have been complemented.

geodätischen Messungen eine effiziente Möglichkeit, um die raumzeitliche Veränderung von aktiven Blockgletschern zu quantifizieren und in weiterer Folge zu visualisieren.

## Literatur

- 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.
- FILWARY, J.O. & WISOL, K. (2012): Quantifizierung der Oberflächendeformation von aktiven Blockgletschern in Osttirol durch photogrammetrische Zeitreihenanalyse. – Unveröffentlichte Bakkalaureatsarbeit, 49 S., Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Graz.

- KAUFMANN, V. (2015): Blockgletschermonitoring Nationalpark Hohe Tauern 2013-2014. – Unveröffentlichter Endbericht, 43 S., Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe für Fernerkundung und Photogrammetrie, Technische Universität Graz, Graz.
- KAUFMANN, V. & KELLERER-PIRKLBAUER, A. (2015): Active Rock Glaciers in a Changing Environment. Geomorphometric Quantification and Cartographic Presentation of Rock Glacier Surface Change with Examples from the Hohe Tauern Range, Austria. – In: KRIZ, K. (ed.): Mountain Cartography. 16 Years ICA Commission on Mountain Cartography (1999-2015). – Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, 21: 179-190.
- KAUFMANN, V., LADSTÄDTER, R. & LIEB, G.K. (2006): Quantitative assessment of the creep process of Weissenkar rock glacier (Central Alps, Austria). – Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, 41: 77-86.
- KELLERER-PIRKLBAUER, A. & KAUFMANN, V. (2012): About the relationship between rock glacier velocity and climate parameters in central Austria. – Austrian Journal of Earth Sciences, 105(2): 94-112.

Anschrift des Verfassers:

Thomas Mikl

Technische Universität Graz, Institut für Geodäsie, Arbeitsgruppe für Fernerkundung und Photogrammetrie, Steyrergasse 30, 8010 Graz  
mikl@student.tugraz.at