

ROGER

EO-based rock glacier mapping and characterisation

| | | | |
|---------------------------------|--|------------------------|---------------|
| Programm / Ausschreibung | Weltraum, Weltraum, ASAP Ausschreibung 2023 | Status | abgeschlossen |
| Projektstart | 01.09.2024 | Projektende | 30.11.2025 |
| Zeitraum | 2024 - 2025 | Projektlaufzeit | 15 Monate |
| Keywords | Rock glacier; Sentinel-1/2; Deep learning; Automated mapping; DInSAR | | |

Projektbeschreibung

Blockgletscher sind zungenförmige, komplexe Landformen, die auf gegenwärtige oder frühere Permafrostbedingungen hindeuten und in vielen höheren Breiten und/oder hoch gelegenen Gebieten zu finden sind. Sie bestehen aus unsortiertem, kantigem Schutt und eisreichen Sedimenten. Informationen über die Lage, Ausdehnung und Eigenschaften von Blockgletschern sind wichtig um z. B. ihre hydrologische Bedeutung als Wasserressource (bspw. für alpine Hütten) und das Gefährdungspotenzial aufgrund ihrer möglichen Destabilisierung infolge des Klimawandels abzuschätzen. Während sich andere Komponenten der Kryosphäre, wie Schnee und Gletscher, spektral vom umgebenden Gelände unterscheiden, sind Blockgletscher auf Erdbeobachtungsdaten nur schwer automatisch zu erkennen und abzugrenzen. Daher werden sie in der Regel durch mühsame subjektive manuelle Interpretation von Erdbeobachtungsdaten kartiert. Dies führt zu inhomogenen, unvollständigen und inkonsistenten Kartierungen mit großen Unterschieden zwischen verschiedenen Regionen. Daher besteht ein Bedarf an einer objektiven, automatisierten und effizienten Methode zur Kartierung von Blockgletschern mithilfe von global verfügbaren Satellitendaten wie Sentinel-1 und Sentinel-2.

Moderne Methoden des maschinellen Lernens, wie Deep Learning (DL), bieten neue Möglichkeiten zur Automatisierung von Kartierungsaufgaben. DL funktioniert durch die Erkennung wiederkehrender Muster und Texturen durch ein künstliches neuronales Netzwerk. Allerdings wurden bisher nur wenige Arbeiten zur Kartierung von Blockgletschern durchgeführt. Darüber hinaus können Landformen, die ähnliche Oberflächenmerkmale wie Blockgletscher aufweisen, durch DL falsch klassifiziert werden. Daher ist eine gründliche Untersuchung der DL-Modellarchitekturen und Eingangsdaten erforderlich, die die besten Ergebnisse für die Kartierung von Blockgletschern liefern.

Das übergeordnete Ziel von ROGER ist die zuverlässige Kartierung und Charakterisierung von Blockgletschern mit Hilfe von optischen und Radar-Erdbeobachtungsdaten. Wir werden die Leistungsfähigkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit von DL-Modellen in Untersuchungsgebieten in Österreich und Svalbard, Norwegen, bewerten und die Genauigkeit der Ergebnisse im Vergleich zu Referenzdaten quantifizieren. Mithilfe der Radarinterferometrie werden Bewegungsraten abgeleitet und Blockgletscher nach ihrem Aktivitätsstatus klassifiziert. ROGER leistet einen wichtigen Beitrag zur Kryosphärenforschung, indem Methoden zur automatischen Detektion und Charakterisierung von Blockgletschern evaluiert werden, die unser Wissen über das Potenzial von DL zur effizienten Kartierung komplexer Naturphänomene mit Erdbeobachtungsdaten

erweitern. Die Projektergebnisse werden dazu beitragen, die Vertrauenswürdigkeit von DL-Methoden zu erhöhen, was für viele Anwendungen und insbesondere für die Kommunikation und Erläuterung der Ergebnisse gegenüber Interessengruppen und Entscheidungsträgern von großer Bedeutung ist.

Abstract

Rock glaciers are tongue-shaped complex landforms that indicate present or past permafrost conditions and are commonly found in many high-latitude and/or high-elevation environments. They consist of poorly sorted angular debris and ice-rich sediments formed by gravity-driven creep. Information about the location, extent and characteristics of rock glaciers is important for several reasons, for example, for estimating their hydrological significance as water resource (e.g., for alpine huts) and the geohazard potential because of rock glacier destabilisation due to climate change. While other cryosphere components, such as snow and glaciers, are spectrally distinct from the surrounding terrain, rock glaciers are spectrally inseparable and, as such, difficult to automatically detect and delineate from Earth observation (EO) data. Thus, rock glaciers are usually mapped through laborious subjective manual interpretation of EO data. This leads to inhomogeneous, incomplete, and inconsistent mapping with large differences among different regions. Therefore, there is a need for objective, automated, and efficient mapping of rock glaciers using globally applicable satellite datasets, such as Sentinel-1 and Sentinel-2.

Modern machine learning methods, such as deep learning (DL), offer new possibilities for automating mapping tasks. DL works by recognising recurring patterns and textures through an artificial neural network. However, very limited work has been done on rock glacier mapping, and there is a lack of consensus regarding the best parameters for this purpose. Moreover, features that share similar surface textures with rock glaciers, such as landslides and avalanche or fluvial deposits, can be misclassified by DL. Therefore, there is a need to conduct a thorough investigation of the DL model architectures and input data types that produce the best results for mapping rock glaciers.

The overall goal of ROGER is to reliably map and characterise rock glaciers using optical and synthetic aperture radar (SAR) EO data. We will assess the performance, robustness, and reliability of DL models for automated EO-based rock glacier mapping in study areas in Austria and Svalbard, Norway, and quantify the accuracy of the results in comparison with reference data. Moreover, we will derive velocity rates of the identified rock glaciers using differential synthetic aperture radar interferometry (DInSAR) and classify them according to their activity status. ROGER represents an important contribution to the field of cryospheric research by evaluating methods for the automated identification and characterisation of rock glaciers and expand our knowledge of the potential of DL to efficiently map complex natural phenomena using EO data. The project findings will contribute to increasing the trustworthiness of DL methods, which is of high importance for many applications and especially when communicating and explaining results to stakeholders and decision makers.

Endberichtkurzfassung

The ROGER project successfully developed and evaluated automated approaches for mapping and characterising rock glaciers using satellite-based Earth Observation data. The project combined deep learning (DL) techniques applied to optical satellite imagery with time series Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) analysis of Sentinel-1 data to assess rock glacier activity. The key findings are summarised below.

Sentinel-2 multispectral imagery combined with terrain derivatives shows high potential for DL-based rock glacier detection.

Imbalanced training data and regional variability remain challenges for DL-based mapping.

Multi-annual Sentinel-1 time series analysis successfully produced line-of-sight velocity fields.

Deformation patterns matched well with mapped rock glacier outlines.

InSAR results enabled refinement of activity classifications (active, transitional, inactive).

Comparisons with ground observations and the European Ground Motion Service confirmed the reliability of InSAR data.

Field surveys supported and confirmed the suitability of InSAR-derived deformations.

The project demonstrated that DL-based mapping and InSAR-based kinematic analysis provides a robust and scalable framework for objective rock glacier mapping. The results can support future applications in climate adaptation, hydrological assessments, and geohazard evaluation.

Projektkoordinator

- Universität Salzburg

Projektpartner

- University of Bergen - Earth Sciences