

**Permafrostindikatoren der besonderen Art**

**Was Blockgletscher bewegt**

*Blockgletscher sind wichtige Indikatoren für Permafrost im Hochgebirge. Ihre Bewegungsveränderungen geben Hinweise auf ihre gegenwärtige Dynamik und erlauben Prognosen über ihre künftige Entwicklung.*

Wir stehen mit einer Studentengruppe vor dem Blockgletscher Muragl im Oberengadin und erläutern die Entstehung dieser typischen Hochgebirgslandform. Wanderer gesellen sich zu uns, lauschen interessiert und rufen plötzlich erstaunt aus: «Das gibts doch nicht! Seit 30 Jahren kommen wir in diese Gegend, und dieser Blockgletscher ist uns noch nie aufgefallen.» Dabei ist der Blockgletscher Muragl mit seiner 40 m hohen Stirn wirklich ein Paradebeispiel – auch wenn er auf den ersten Blick wie ein unstrukturierter Haufen Steine aussieht. Beim bewussten Betrachten erkennt man die typische Zungenform mit der steilen Front und manchmal auch die Kriechstrukturen an der Oberfläche. Der Name «Blockgletscher» ist eigentlich ungeschickt gewählt, denn seine Form hat wenig mit den uns bekannten Gletschern zu tun. Im Inneren enthält ein Blockgletscher zwar eine beträchtliche Menge Eis. Dieses kommt

**Das Paradebeispiel eines Blockgletschers: der aktive Blockgletscher Muragl im Val Muragl, Oberengadin**



Foto: Regula Frauenfelder

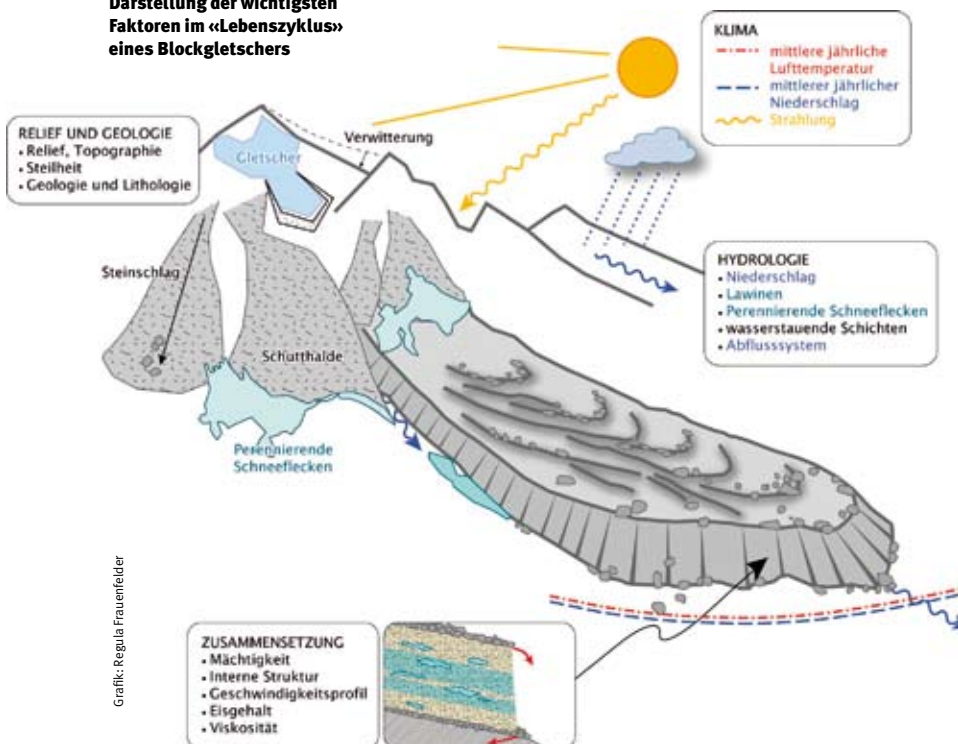
aber meist in Eislinsen oder als gefrorenes Sediment vor.

**«Lebenszyklus» eines Blockgletschers**

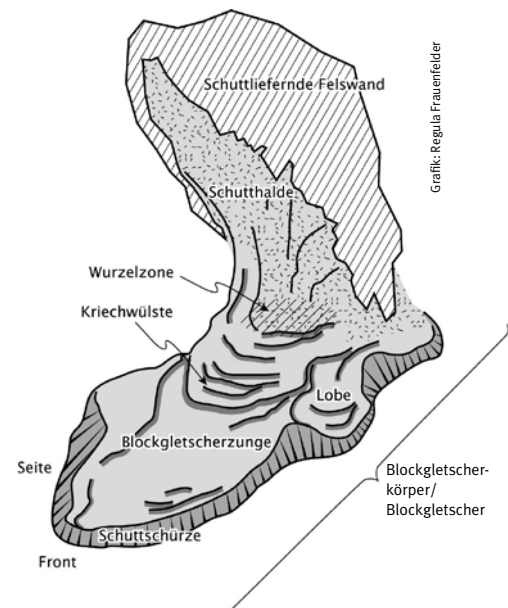
Damit ein Blockgletscher entstehen und sich entwickeln kann, braucht es Permafrost, Lockergestein und eine gewisse Hangneigung. Nur so kann es zur Akkumulation einer eisdurchdrungenen Schuttmasse kommen, die sich bei genügender Mächtigkeit in Bewegung setzt. Für die imposante Form des Muragl-

blockgletschers brauchte es einige tausend Jahre mit bestimmten klimatischen Bedingungen: grösstenteils so kalt, dass das Eis im Blockgletscher erhalten blieb, und trocken genug, dass sich anstelle des Blockgletschers kein Gletscher bilden konnte. Dazu sind noch gewisse geologische Voraussetzungen von Bedeutung. Es finden sich in der Schweiz unzählige Blockgletscher, vor allem in den zentralalpinen, niederschlagsarmen Tälern

**Schematische und vereinfachte Darstellung der wichtigsten Faktoren im «Lebenszyklus» eines Blockgletschers**



Graphik: Regula Frauenfelder



Graphik: Regula Frauenfelder

**Anatomie eines Blockgletschers: die wichtigsten «Körperteile»**



Am Augstbordpass im Matteredal, Wallis, befindet sich eine Vielzahl aktiver Blockgletscher.

Foto: Isabelle Roer

Graubündens und des Wallis. In den feuchteren Regionen, zum Beispiel im Berner Oberland, sind sie seltener, da dort die für die Entstehung günstigen Areale grösstenteils durch Gletscher besetzt sind. Kriecht ein Blockgletscher auf seinem Weg talabwärts in permafrostloses Gelände, schmilzt sein Eis über kurz oder lang. Fortan zeugt er nur noch als spezielle Landschaftsform von seiner Vergangenheit als Permafrostindikator.

### Verschiedene Aktivitätsgrade

Je nach Eisgehalt und Bewegungsrate werden Blockgletscher in aktive, inaktive und relikte Formen eingeteilt. Oft finden sich die verschiedenen Formen in einer Art Kaskade: vom aktiven Blockgletscher in der höchsten Position bis zum relikten Blockgletscher in tieferen Lagen. Diese Anordnung spiegelt die Veränderung der Permafrostverbreitung in den Alpen nach der letzten Vereisung wider.

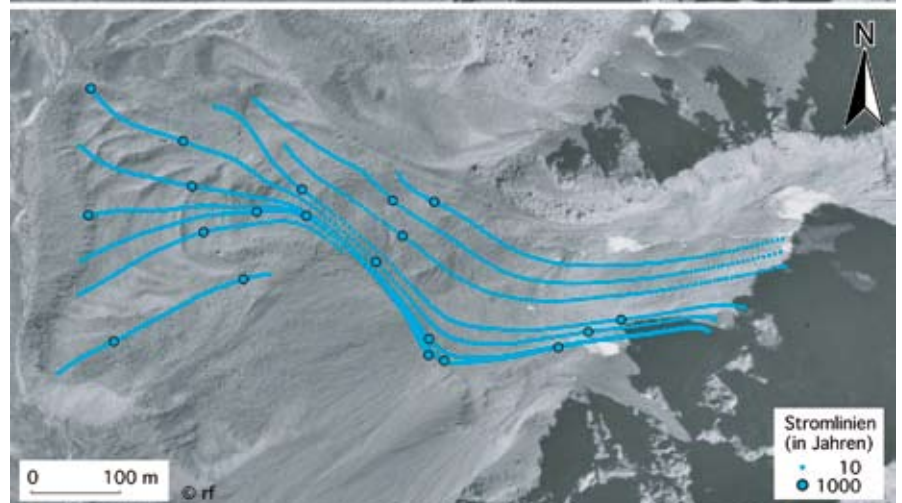
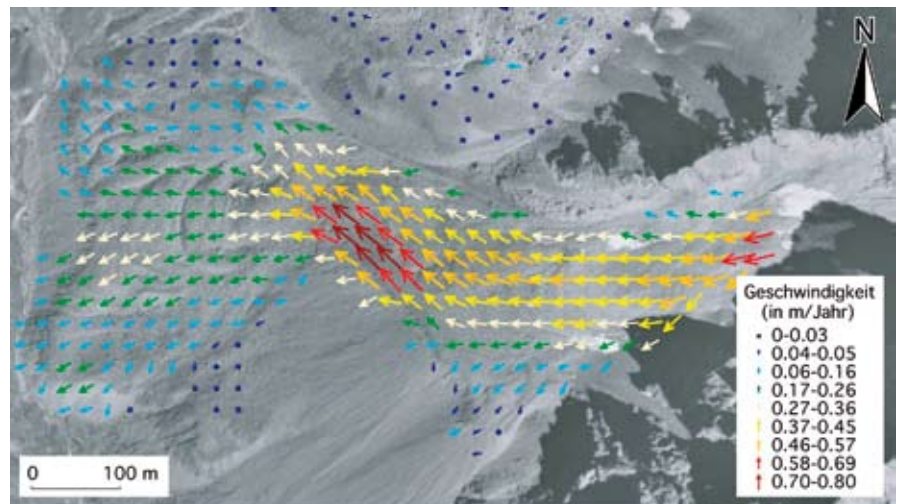
Eine steile Front ( $>35^\circ$ ) mit losen Blöcken und wenig Vegetation zeigt die

Aktivität eines Blockgletschers an. Dagegen weisen inaktive Formen, die zwar noch Eis enthalten, sich aber nicht mehr bewegen, eine weniger geneigte Stirn mit stabilisierten Blöcken und partieller Vegetation auf. Relikte Blockgletscher zeigen oft eine zusammengefallene Struktur infolge des geschmolzenen Eises. In der Landschaft bleiben aber die randlichen

Stirnen sowie Gräben und Rücken deutlich sichtbar. Diese sind oftmals mit dichter Vegetation bis hin zu kleinen Bäumen bewachsen.

### Blockgletscherbewegung

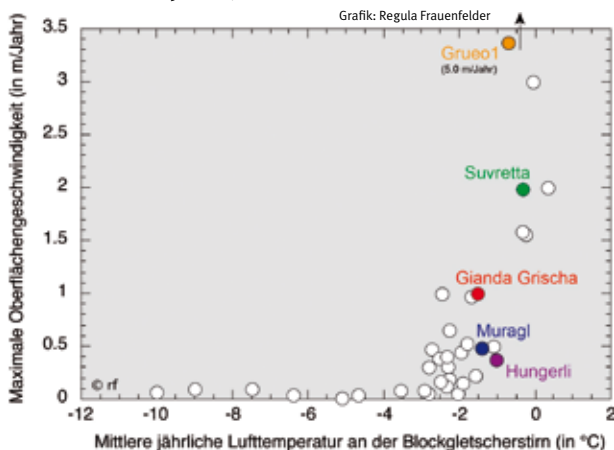
Heute stellt sich die Frage, wie Blockgletscher auf die Klimaänderung reagieren.



Beziehung zwischen der maximalen, gemessenen Oberflächengeschwindigkeit und der mittleren jährlichen Lufttemperatur an der Blockgletscherstirn (als Näherung der meist unbekanntesten Eistemperatur) für

einen globalen Datensatz. Die Blockgletscher mit Temperaturen unter  $-4^\circ\text{C}$  liegen auf Svalbard (Norwegen), die restlichen Blockgletscher in den europäischen Alpen.

Grafik: Regula Frauenfelder



Der Blockgletscher Gianda Grischa an der Westflanke des Piz Julier im Oberengadin: Die Darstellung zeigt die horizontale, mittlere Oberflächengeschwindigkeit zwischen 1971

und 1998 (oben) und die Zeitdauer, die ein Stein benötigen würde, um von der Wurzelzone des Blockgletschers bis zu dessen Stirn transportiert zu werden, wenn er sich während sei-

ner ganzen «Reise» mit der im oberen Bild gezeigten Geschwindigkeit vorwärtsbewegen würde.

Foto: © Aufnahme des Bundesamts für Landestopografie swisstopo; Grafik: Regula Frauenfelder

Um die Blockgletscherbewegung zu quantifizieren, werden die vertikale und die horizontale Verschiebung einzelner Blöcke an der Oberfläche gemessen. Dies geschieht zum einen durch regelmässiges Einmessen markierter Blöcke mittels GPS oder Tachymetrie<sup>1</sup> oder durch den Vergleich von Luftbildaufnahmen (Orthofotos und Höhenmodelle). Die längsten Datenreihen gehen etwa 40 Jahre zurück. In Anbetracht eines mehrtausendjährigen Alters ist das eine kurze Spanne. Trotzdem geben die Bewegungsraten einen entscheidenden Einblick in die Blockgletscherdynamik.

1 Tachymetrie ist eine Methode der geodätischen Vermessung, bei der Winkel und Strecke gleichzeitig aufgenommen werden.

**Der aktive Blockgletscher Suvretta mit kleinen, lateralen Murgängen liegt an der Ostflanke des Piz Julier im Oberengadin.**



Foto: Regula Frauenfelder

Bisher ist man davon ausgegangen, dass sich veränderte Temperaturverhältnisse verzögert auswirken, da die mächtige Schuttschicht das Eis im Inneren des Blockgletschers schützt und als Puffer wirkt. Neue Messdaten zeigen aber starke raumzeitliche Schwankungen der Bewegungen, die auf einen direkteren Zusammenhang zwischen Temperaturanstieg und Bewegung schliessen lassen.

Zu den weiteren Einflussgrössen neben der Temperatur gehören Dauer und Mächtigkeit der Schneedecke sowie das Vorkommen von ungefrorenem Wasser in den Sommermonaten. Viele dieser Faktoren und deren Wirkungen im komplexen System der Blockgletscher sind weitgehend unverstanden. Gegenwärtig werden verstärkt geophysikalische Methoden und Computermodellierungen eingesetzt, um die interne Struktur, das Vorhandensein von Eis und ungefrorenem Wasser sowie das Zusammenspiel dieser Faktoren besser aufzulösen. Diese Erkenntnisse werden später mit den Daten zur Blockgletscherbewegung kombiniert, um die Dynamik dieser Form zu beschreiben.

**«Kalte» und «warme» Blockgletscher**

Feldmessungen und Computermodelle zeigen, dass Blockgletscher je nach Ausgangstemperatur unterschiedlich stark

auf Temperaturerhöhungen reagieren. Während sich «kalte» Blockgletscher relativ träge verhalten und nur langsam reagieren, zeigen «warme» Blockgletscher (Eistemperatur nahe 0 °C) bei höheren Lufttemperaturen zum Teil stark ansteigende Kriechgeschwindigkeiten. Aufgrund physikalischer Gesetzmässigkeiten steigen diese nicht linear mit der Temperatur, sondern folgen einer Exponentialkurve.

So wurde Ende der 1990er-Jahre an zahlreichen Blockgletschern über den europäischen Alpenbogen verteilt eine markante Geschwindigkeitszunahme beobachtet. Diese erreichte im Sommer 2003 ihr Maximum und zeigte im vergleichsweise kühlen Sommer 2004 noch immer eine erhöhte, aber gleichwohl leicht abnehmende Tendenz. In einzelnen Fällen wurden an den Stirnen von Blockgletschern sogar erdrutschartige Instabilitäten beobachtet. Es ist nicht davon auszugehen, dass die Erwärmung alleine zu diesen starken Veränderungen geführt hat. Das weitere Monitoring ist hier von grosser Bedeutung.

**Der aktive Blockgletscher Gianda Grisca an der Westflanke des Piz Julier im Oberengadin**



**Entwicklung einer erdrutschartigen Instabilität auf der Zunge des Blockgletschers Grueo1 im**

**Grüobtälli, Turtmantal, Wallis. Luftbildvergleich der Jahre 1975, 1993 und 2001.**



Fotos 1975 und 1993: © Aufnahmen des Bundesamts für Landestopografie swisstopo. Foto 2001: HRSC-Befliegung, © GRK 437, Universität Bonn. Bearbeitung: Isabelle Roer

## Reaktionsphasen auf höhere Temperaturen

Gemäss Feldbeobachtungen und Computermodellen können Blockgletscher ganz unterschiedlich auf eine Temperaturerhöhung reagieren.

- Viele Blockgletscher reagieren mit erhöhter Kriechgeschwindigkeit.
- Die Zahl der Gesteinsblöcke, die auf der Blockgletscheroberfläche zu deren Front befördert werden, nimmt mit steigender Geschwindigkeit zu. Dies kann dazu führen, dass an der Zunge von Blockgletschern ein beträchtliches Schuttdepot angehäuft wird. In ungünstigen Fällen, zum Beispiel bei einer Zungenposition des Blockgletschers in sehr steilem Gelände, bringt dies die Gefahr der Auslösung eines Murgangs mit sich.
- Eine Geschwindigkeitszunahme kann zu einem Ungleichgewicht zwischen dem Massentransport im Blockgletscherkörper und der Schuttlieferung aus der «nährenden» Felswand führen. Die mangelnde Materialzufuhr könnte zur Inaktivierung mancher Blockgletscher führen.
- Bei anhaltender Erwärmung des Blockgletscherkörpers beginnt das Eis im Innern früher oder später auszu-schmelzen. Ist einmal alles Eis geschmol-

zen, unterscheidet sich der Blockgletscher physikalisch nicht mehr von einer ungefrorenen Schutthalde.

## Permafrostindikatoren im Wandel

Die Blockgletscher stellen im Hochgebirge wichtige Indikatoren für das Vorkommen von Permafrost dar. Aufgrund ihrer vielfältigen Reaktionsmöglichkeiten auf eine Temperaturerhöhung ist eine langfristige Beobachtung solcher Schuttreservoirs in dicht besiedelten Gebieten wie den Schweizer Alpen wichtig. Daher sind sie zentraler Teil des Perma-

frostmonitorings (PERMOS). Es geht dabei sowohl um die frühere und aktuelle Verbreitung von Permafrost in den Alpen, als auch um dessen Dynamik. Da sich derzeit in den Bewegungsraten eine starke Variabilität und teilweise eine Destabilisierung ganzer Blockgletscher zeigt, werden diese Hochgebirgsformen in Zukunft noch verstärkt beobachtet. ▽

Regula Frauenfelder<sup>2</sup> und  
Isabelle Roer<sup>3</sup>

- <sup>2</sup> Institut für Geowissenschaften, Universität Oslo, Norwegen  
<sup>3</sup> Geographisches Institut, Universität Zürich



Foto: Regula Frauenfelder

**Im Val Tschitta im Oberhalbstein, Graubünden, liegt dieser eindrückliche und aktive Blockgletscher.**

**Dieser Blockgletscher im Hungeritälli im Turtmannal ist reliktd, das heisst, er enthält kein Eis und bewegt sich nicht mehr. Die Stirn liegt auf 2580 m.**



Foto: Regula Frauenfelder



Foto: Isabelle Roer