

Macrofabric-Analysen auf Blockgletschern im Gebiet Schöderkogel–Zwieflderseen, Schladminger Tauern (Steiermark)

Von Matthias RODE¹ & Andreas KELLERER-PIRKLBAUER¹

Mit 7 Abbildungen und 1 Tabelle

Angenommen am 14. Oktober 2009

Summary: Macrofabric analyses on rock glacier surfaces in the Schöderkogel – Zwieflderseen area, Schladminger Tauern Range, Styria. – The study presented here was part of a master thesis focussing on the morphodynamics during the Late- and Postglacial period as well as the geomorphology of the Schöderkogel–Zwieflderseen area (12°02'E, 46°15'N) of the Schladminger Tauern Range. The main objective of this work was to analyse the macrofabric of rock blocks in the front area of five rock glaciers (Gamskar, Eisenhut, Sulzkogel, Breiddach and Schöderkogel: one intact, one pseudo-relict, and three relict). Macrofabric is defined here as orientation of clasts visible to the unaided eye. Results of a macrofabric analysis allow conclusions about the deformation history and the kinematics of a given landform. At each of the five studied rock glaciers the measurement point was at the front. At each measurement point the fabric (dip and azimuth of the long axis/A-axis) of 50 individual clasts was determined. The field results were analysed and displayed by using different types of circle diagrams and the eigenvalue method. The results of our analysis show that three rock glaciers have a rather similar macrofabric pattern almost parallel to the (former) flow line. The main orientation of the clasts at the rock glacier Eisenhut is perpendicular to the former flow line. Finally, the macrofabric at the rock glacier Breiddach is very heterogeneous with no dominant orientation of clasts. Reasons for the observed clast orientation patterns are the (former) flow dynamics, the influence of the topography (e.g. slope, obstacle), the size of the rock glacier as well as the movement of blocks during permafrost thawing period caused by ground subsidence. Our results indicate that rock glacier fronts topographically affected by compressive forces hence forming ridges and furrows show a dominant clast orientation perpendicular to the (former) flow line. In contrast, at rock glaciers which were less affected by compressive forces and the dominant clast orientation is parallel to the (former) flow line.

Zusammenfassung: Die hier vorgestellten Untersuchungen wurden im Rahmen einer Diplomarbeit zur Morphodynamik im Spät- und Postglazial sowie rezenter Morphologie im Gebiet Schöderkogel–Zwieflderseen (12°02'E, 46°15'N), Schladminger Tauern durchgeführt. In der gegenständlichen Publikation wurde auf das mit freiem Auge erkennbare Gefüge (Macrofabric) von Gesteinsblöcken im Frontbereich von fünf Blockgletschern (Gamskar, Eisenhut, Sulzkogel, Breiddach und Schöderkogel: einer intakt, einer pseudoreliktisch, drei reliktisch) fokussiert. Bei der Methode der Macrofabric-Analyse wird die Ausrichtung von Klaster bestimmt. Ergebnisse dieser Analyse lassen Aussagen über die Deformationsgeschichte bzw. Kinematik zu. In dieser Studie wurden jeweils Messpunkte an der Blockgletscherfront gewählt und an jedem Punkt die Macrofabric (Einfallrichtung und Einfallswinkel der Längsachse/A-Achse) von 50 Klaster ermittelt. Die Feldergebnisse wurden mit Hilfe unterschiedlicher Kreisdiagrammtypen sowie der Eigenwert-Methode quantitativ analysiert und dargestellt. Die Ergebnisse der Analysen zeigen an drei Blockgletschern zueinander ähnliche Ausrichtungen der Klaster mit einer Hauptausrichtung annähernd parallel zur (ehemaligen) Fließrichtung. An den beiden anderen Blockgletscherfronten sind zum einen eine transversale Ausrichtung der Klaster (Eisenhut-Blockgletscher) und zum anderen keine eindeutige Ausrichtung (Breiddach-Blockgletscher) zu beobachten. Die Gründe hierfür finden sich in der (früheren) Bewegung, im Einfluss der Topographie (z.B. Hindernis, Hangneigung), der Größe der Blockgletscher sowie in der Blockbewegung während der Abschmelzung des Permafrostes durch Setzungserscheinungen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung lassen erkennen, dass bei Blockgletschern, welche im Stirnbereich topographisch bedingt starken Stauchungsprozessen ausgesetzt waren und folglich deutlich ausgeprägte Wulstformen bildeten, die größeren Gesteinsblöcke sich transversal eingeregelt haben. Blockgletscher, an denen Stauchungsprozesse hingegen weniger gewirkt haben und folglich Wulstformen sich nur gering ausbilden konnten, weisen eine vorwiegend parallele Ausrichtung großer Gesteinsblöcke zur (ehemaligen) Fließrichtung auf.

¹ Mag. Matthias RODE und Mag. Mag. Dr. Andreas KELLERER-PIRKLBAUER, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens Universität Graz, Heinrichstrasse 36, A–8010 Graz, E-Mails: matthiasrode@gmx.at; andreas.kellerer@uni-graz.at

1. Einleitung

Das Gefüge eines Elements bzw. die „Fabric“ bezieht sich auf alle richtungsabhängigen Eigenschaften von Sedimenten, einschließlich der Orientierung von Partikeln, Schichten, Falten, Brüchen und erodierten Oberflächen (vgl. DERBYSHIRE & al. 1976). Die sogenannte „Macrofabric“ ist für jene Eigenschaften geeignet, die mit freiem Auge zu erkennen sind. Im Folgenden wird hier auf Klatten und ihre Orientierung im Raum an Hand ihrer Längsachse/A-Achse eingegangen. Solche Analyseergebnisse können Aufschluss über frühere Ablagerungsgebiete und -prozesse, wie etwa die Rekonstruktion der Bewegungsrichtung und Kinematik von Blockgletschern verwendet werden.

In dieser Arbeit wurde die Macrofabric von Gesteinsblöcken im Stirnbereich von den fünf Blockgletschern Gamskar, Eisenhut, Sulzkogel, Breiddach sowie Schöderkogel im Gebiet Schöderkogel–Zwieflerseen, Schladminger Tauern, als Teilaspekt einer Diplomarbeit (RODE 2008) untersucht. Ergebnisse dieser Analyse werden präsentiert und in einem breiteren Kontext diskutiert.

2. Untersuchungsgebiet

Nähert man sich den Schladminger Tauern von Süden, gibt das Gebirge mit seinen runderen Rücken ein für ein Hochgebirge eher sanfteres Formenbild ab. Hier ist von einem typischen glazialen Formenschatz noch nicht viel zu erkennen und periglaziale Formen dominieren. Erst in den hinteren Bereichen der Tallandschaften sind gezackte Felsgrate, steile Kare und mit Schutthalden bedeckte Hänge zu sehen und es wird deutlich, dass neben der periglazialen Landschaftsdynamik auch die Gletscher der kühleren Phasen des Pleistozäns in den Tauern den Formenschatz prägten. Im ausgehenden Pleistozän bzw. Spätglazial sowie im Postglazial bildeten sich in den nunmehr eisfrei gewordenen Ka-

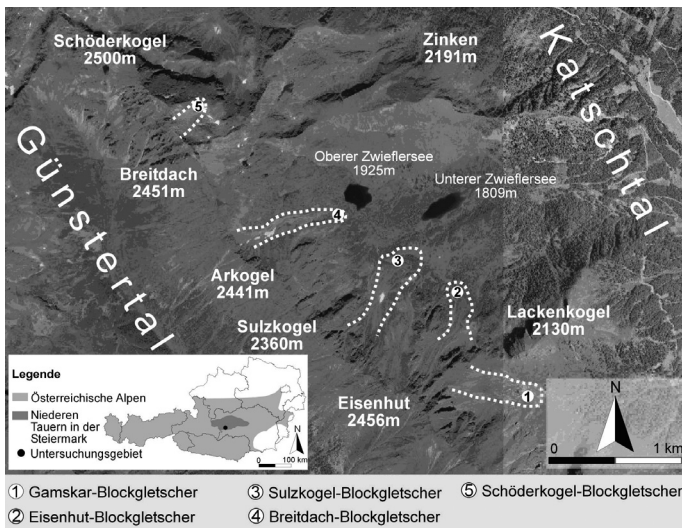


Abb. 1: Übersichtskarte des Untersuchungsgebietes mit den untersuchten fünf Blockgletschern sowie der Lage der jeweiligen Macrofabric Messpunkte. Ein kleiner Blockgletscher nördlich des Lackenkogels war aufgrund der geringen Größe für eine Bearbeitung mit dieser Methodik nicht geeignet (Kartengrundlage: AMT DER STMK, LANDESREGIERUNG).

Overview map of the study area and the five investigated rock glaciers. The location where macrofabric analysis was carried out is indicated for each rock glacier (base map: AMT DER STMK, LANDESREGIERUNG).

ren zahlreiche Periglazialformen wie beispielsweise die zahlreichen Blockgletscher (LIEB 1996).

Einige Arbeiten des letzten Jahrhunderts befassten sich mit dem Zeitabschnitt des Spätglazials und den damit einhergehenden Veränderungen des Landschaftsbildes in den Schladminger und Wölzer Tauern. Im Besonderen sind hier die Arbeiten von LICHTENBERGER 1956, SLANAR 1967, FABIANI 1969 zu erwähnen. Auf Grund des damaligen Forschungsstandes sind Interpretationen in diesen Studien jedoch heute teilweise als nicht mehr aktuell anzusehen. LIEB 1987 weist auf diese Problematik hin und in einigen Arbeiten (z.B. LIEB 1996, KELLERER-PIRKLBAUER 2008c) wurde die Gletscher- und Blockgletschergeschichte ab dem Spätglazial in den Niederen Tauern neu erforscht, interpretiert oder teilweise neu dargestellt. Hinsichtlich der Eisausdehnung sowie des Eisrückzuges ist die Situation, dass die Niederen Tauern eher am Rand des alpinen Pleistozänen Eisstromnetzes lagen, insofern von Bedeutung, als die Sedimente der Stadienabfolge (Bühl, Steinach, Gschnitz, Senders, Daun und Egesen) im Spätglazial sich auf engerem Raum zusammendrängen. Rezent ist das gesamte Gebiet der Schladminger Tauern gletscherfrei und nur wenige nennenswerte perennierende Schneefelder (z.B. Ostflanke des Waldhorns) sind oberflächliche Ganzjahreszeugnisse der Kryosphäre. Die meisten Blockgletscherformen sind heute als reliktsche (ohne rezenten Permafrost) oder pseudoreliktsche (inselhafter bis sporadischer Permafrost in der Wurzelzone) Blockgletscher anzusprechen (LIEB 1987 und 1996, KELLERER-PIRKLBAUER 2008c). Rezent ist auf Basis von Geländemessungen und numerischen Modellierungen nur in sehr geringem Umfang mit Permafrost in den Schladminger Tauern zu rechnen (KELLERER-PIRKLBAUER 2005).

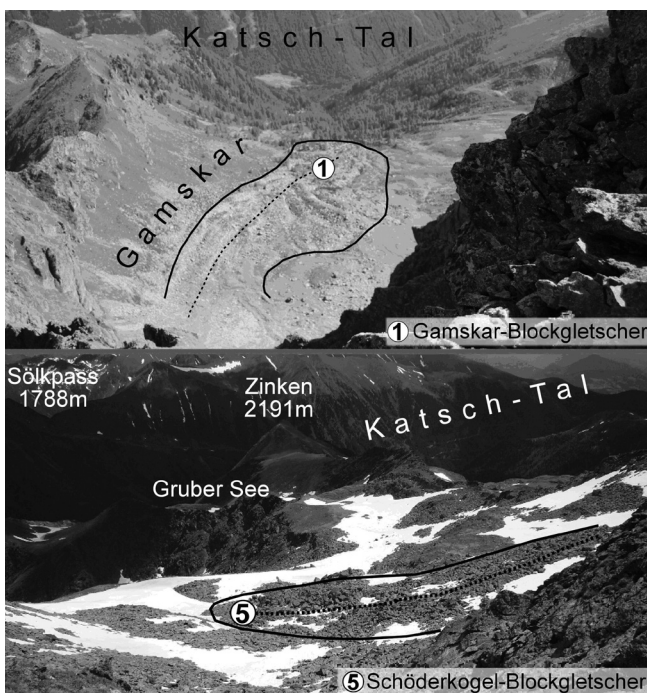


Abb. 2: Die beiden Blockgletscher im Gamskar (oben) sowie im Bereich des Schöderkogels (unten) sowie die Lage des jeweiligen Macrofabric-Analysestandortes (beide Photographien: M. RODE). Terrestrial photographs of the Gamskar (upper image) and Schöderkogel (lower image) rock glaciers as well as the locations on both rock glacier where macrofabric analyses were carried out (both photos: M. RODE).

Im Untersuchungsgebiet befinden sich sechs Blockgletscher, wobei davon drei relik-tisch (Eisenhut, Sulzkogel und Breitdach), ein pseudorelik-tischer (Gamskar) und ein intakter (Schöderkogel) untersucht wurden (Abb. 1). Ein sechster Blockgletscher, nörd-lich des Lackenkogels, war wegen seiner geringen Größe für die angewandten Methoden ungeeignet. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die fünf untersuchten Blockgletscher. Abbildung 2 zeigt die Situation im Gelände exemplarisch für den Gamskar- und Schöderkogelblockgletscher. Die Messpunkte der Macrofabric-Analysen befanden sich alle an der jeweiligen Blockgletscherfront (Abb. 3).

Die drei relik-tischen Blockgletscher enthalten weder Permafrost noch bewegen sie sich. Sie sind daher Vorzeitformen, die unter anderen klimatischen Bedingungen als den heutigen entstanden sind. Sie dürfen somit nicht als Anzeiger rezenten Permafrosts ge-wertet werden. Der pseudorelik-tische sowie der intakte Blockgletscher enthalten zwar Permafrost, eine rezente Bewegungsdynamik ist jedoch durch Messungen (z.B. geodätisch oder photogrammetrisch) nicht belegt.

Tab. 1: Charakteristik der fünf untersuchten Blockgletscher.
Characteristics of the five studied rock glaciers.

Block-gletscher	Latitude	Longitude	Maximale Länge (m)	Mittlere Breite (m)	Fläche (km ²)	Blockgletscher-front (Seehöhe)	Dominante Lithologie
Gamskar	47°14'06"N	14°03'36"E	560	240	0,12	1970 m	Granitgneis
Eisenhut	47°14'25"N	14°03'34"E	190	90	0,02	2010 m	Glimmerschiefer
Sulzkogel	47°14'38"N	14°02'50"E	530	170	0,08	1960 m	Glimmerschiefer
Breitdach	47°14'52"N	14°02'15"E	720	130	0,07	2020 m	Glimmerschiefer
Schöderkogel	47°15'18"N	14°01'44"E	180	70	0,01	2320 m	Granitgneis

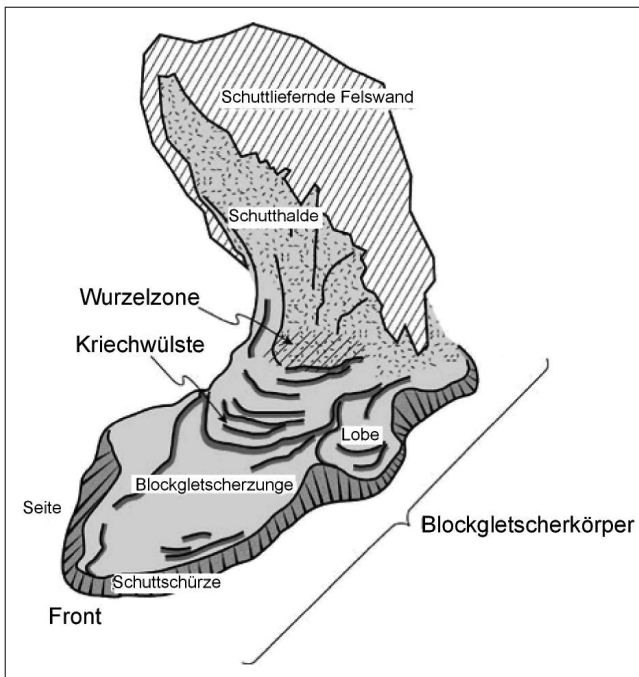


Abb. 3: Gliederung eines Blockgletschers nach PERMOS 2009, verändert.
Different parts of a rock glacier according to PERMOS 2009, modified.

3. Methodik

Ein Großteil der Arbeiten bezüglich Macrofabric-Analysen in geomorphologischen und geologischen Fragestellungen fokussiert auf die Längs- bzw. A-Achse von Klusten (Abb. 4). Unter Krafeinwirkung rotieren Klusten leichter um die längere A-Achse als um die kürzere B-Achse (z.B: GIARDINO & VITEK 1985 und 1988, FIRPO & al. 2005, REDONDO VEGA & al. 2005). Ihre Orientierung bietet daher Informationen über frühere Ablagerungs- und Deformationsprozesse an der Blockgletscheroberfläche (BENN & EVANS 2004).

3.1 Auswahl der Klusten

Für die Untersuchung der Orientierung der A-Achsen werden nur jene Klusten ausgewählt, bei welchen die A-Achse bedeutend länger ist als die B-Achse, denn jene mit ähnlichen Längen sind keine entsprechenden Indikatoren für den Nachweis von Orientierungskräften und -prozessen. Ein allgemeiner Grundsatz besagt, dass die Quotienten von A:B größer als 1,5 sein müssen (MILLS & GRAB 2005). Manche Autoren sehen ihr Limit auch bei einem Verhältnis von 2:1 (ANDREWS 1971, GIARDINO & VITEK 1988). In dieser Arbeit wurde ein A:B-Verhältnis von mindestens 2:1 verwendet, wobei die Länge der A-Achse mindestens 1 m betrug. Ebenso sollten die an einem Standort untersuchten Klusten sich innerhalb eines relativ engen Radius befinden, da ansonsten falsche Daten etwa von anderen Bewegungskomponenten (unterschiedliche Kriechbewegungen des Blockgletschers, Schuttakkumulationen aus rezenten Felsstürzen und Lawinen) in den Datensatz mit aufgenommen werden (BENN & EVANS 2004).

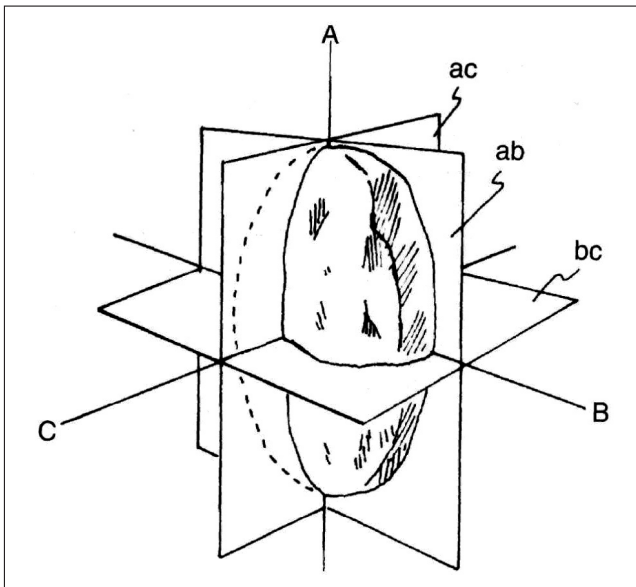


Abb. 4: Definition der Klustenachsen und Klustenebenen. Jede Achse steht normal auf eine Ebene: z.B.: Die A-Achse ist normal auf die bc-Ebene. Das bedeutet, dass die Orientierung einer Ebene spezifiziert werden kann, wenn man den Azimut und die Neigung der Normalen misst (nach BENN & EVANS 2004, Abb. 5.4, unverändert).

Definition of clast axes and planes. Each axis is at a right angle (normal) to a plane: the A-axis, for example, is normal to the bc-plane. This means that the orientation of a plane can be specified by measuring the azimuth and the dip of its normal. (BENN & EVANS 2004, Fig 5.4., unmodified).

3.2 Feldarbeit

An jedem Untersuchungsstandort an der Front der fünf Blockgletscher wurden die Orientierung (Bestimmung des Richtungswinkels) sowie die Neigung von 50 Klasten mit Hilfe eines Kompasses mit Neigungsmesser innerhalb einer Fläche von maximal 20x20 m gemessen. Für jeden Standort wurde zusätzlich die (einstige) Hauptfließrichtung des Blockgletschers aus Orthofotos ermittelt sowie sein Gefälle im Gelände bestimmt. Als nächster Schritt wurden die Orientierungen der ausgewählten 50 Klasten ($A:B \geq 2:1$) gemessen. Um die Neigung der Klasten zu bestimmen, muss man diese von einer ebenen Fläche ausgehend mit dem Neigungsmesser messen. Hierbei ist darauf zu achten ob die Neigung der untersuchten Klasten in der Fallrichtung des Blockgletschers ist oder spiegelverkehrt, d.h. entgegen der Fallrichtung des Blockgletschers gestellt ist.

3.3 Präsentation der Ergebnisse in Form von Kreisdiagrammen

Macrofabric Daten können auf verschiedene Arten dargestellt werden. Die einfachste Form ist das Rosen-Kreisdiagramm (HARRIS & al. 1998, CARR & ROSE 2003, FIRPO & al. 2005, MILLS & GRAB 2005). Die gemessenen Daten fallen in bestimmte Klassen (z.B.: $1^\circ-15^\circ$) und können als Keile oder als Punkte, die durch gerade Linien verbunden sind, dargestellt werden. Rosen-Diagramme können verwendet werden, um entweder die Orientierungen (Azimut) oder die Neigungen zu veranschaulichen. Sie eignen sich besonders für einen Datenüberblick und haben einen hohen visuellen Ausdruck. Weitere Darstellungsmöglichkeiten bieten das flächentreue Kreisdiagramm (NELSON & ARBOR 1985, BERTRAN & TEXIER 1995, FIRPO et al. 2005, MILLS & GRAB 2005), in dem die einzelnen Klasten als Punkte visualisiert sind und die Richtung und Neigung der Klasten zeigen, oder im dem die Klastendichte (in Prozentwerten) dargestellt wird (VINCENT & AHMAD 1995, LARSEN & al. 2004, MILLS & GRAB 2005). In diesem wird mit Hilfe von Isolinien die bevorzugte Richtung der Klasten durch Dichteunterschiede von Punktsammlungen gezeigt. Sämtliche Kreisdiagramme in dieser Arbeit wurden mit Hilfe des Programms „GEOrient“ erstellt (HOLCOMBE COUGHLIN & ASSOCIATES 2008). Die Reihenfolge der Darstellung erfolgt vom südlichsten Blockgletscher im Gamskar über den Eisenhut-Schöderkogelkamm nach Norden zum Schöderkogel-Blockgletscher.

3.4 Präsentation der Ergebnisse durch Eigenwerte

Zur besseren quantitativen Auswertung von Macrofabric-Daten neben den Kreisdiagrammen gibt es verschiedene Methoden. Die am weitesten verbreitete Methode wurde in den letzten Jahren die Eigenwert-Methode (MARK 1974, WOODCOCK 1977, NELSON & ARBOR 1985, GIARDINO & VÍTEK 1988, BENN 1994a und 1994b, MILLS & GRAB 2005). Eigenwerte reduzieren große Datensätze zu simplen deskriptiven Statistiken, welche die Stärke und Orientierung von richtungsabhängigen Eigenschaften der Klasten zeigen und zusätzlich den Vergleich von Macrofabric-Daten aus verschiedenen Standorten ermöglichen (BENN & EVANS 2004).

In den folgenden Absätzen wird das Vorgehen, Eigenvektoren und Eigenwerte von Originaldaten abzuleiten, vorgestellt. Durch die Verwendung der Matrix-Algebra repräsentieren Eigenwerte latent die Charakteristiken der Ausgangswerte in einer quadratischen Matrix. Ein Eigenvektor einer Abbildung ist in der linearen Algebra ein vom Nullvektor verschiedener Vektor, dessen Richtung durch die Abbildung nicht verändert wird. Ein Eigenvektor wird also nur gestreckt, und man bezeichnet den Streckungsfaktor als Eigenwert der Abbildung. Eigenwerte können außerdem als die Längenmaße der Hauptachsen beschrieben werden und die Eigenvektoren als Vektoren der Hauptachsen der Daten. Durch die individuellen Klastenbeobachtungen, welche als Vektoren behandelt werden, werden die

gebündelten Kosinuse l_i, m_i, n_i für die Höhe der „i“-ten Untersuchung einer totalen Anzahl von N Untersuchungen in einer 3×3 Matrix dargestellt (GIARDINO & VÍTEK 1985, 1988):

$$a = \begin{bmatrix} \sum l_i^2 & \sum l_i m_i & \sum l_i n_i \\ \sum m_i l_i & \sum m_i^2 & \sum m_i n_i \\ \sum n_i l_i & \sum n_i m_i & \sum n_i^2 \end{bmatrix}$$

Die normalisierte Form dieser Matrix ist:

$$A = a / N$$

Aus dieser Matrix werden die drei Eigenvektoren von a (V_1, V_2, V_3) und die entsprechenden Eigenwerte $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ errechnet. Nach WATSON 1966 gibt der größte Eigenvektor V_1 aus einer Fülle von Messungen die mittlere Richtung an. Im Gegensatz dazu gibt der kleinste Eigenvektor V_3 , welcher normal auf den größten Eigenvektor steht, das größte Trägheitsmoment an. Der Eigenvektor V_2 steht normal auf die Eigenvektoren V_1 und V_3 .

Die Eigenwerte $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ haben die Eigenschaft:

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = N$$

WOODCOCK 1977 hat diese Theorie weiterentwickelt und festgelegt, dass die Eigenvektoren nützlicher sind, wenn sie normalisiert werden ($S_1 = \lambda_1/N$):

$$S_1 + S_2 + S_3 = 1$$

Das Kontinuum von Fabric-Strukturen kann mit diesen Eigenwerten, die im Programm „GEORient“ berechnet werden können, in einem gleichseitigen Dreiecksdiagramm dargestellt werden (Abb. 9). In dem Excelarbeitsblatt „Spreadsheet for fabric shape“ erstellt auf Basis des „Triangular diagram plotting spreadsheet (TRI-Plot)“ von GRAHAM & MIDGELY 2001 werden die Eigenwerte eingetragen und in einem Dreiecksdiagramm dargestellt (Abb. 5). Die Ausrichtungen der verschiedenen Klasten können nach MARDIA 1972 in vier Beispielen beschrieben werden:

- S_2 ist groß und S_1 ist klein: Unter diesen Bedingungen sind die Klasten gürtel- bis kranzförmig angeordnet.
- S_1 und S_2 sind groß, dafür ist S_3 klein: Die Ausrichtung der Klasten ist unimodal.
- $S_2 = S_3$: Diese Beziehung bestimmt eine annähernd gleiche Rotationssymmetrie um V_1 .
- $S_1 = S_2 = S_3$: Die Verteilung der Klasten ist gleichmäßig und das impliziert, dass die Achsen der Klasten keine bevorzugte Orientierung haben (isotropisch).

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der fünf Macrofabric-Bestimmungen an den fünf Blockgletschern sind in den Abbildungen 6 und 7 dargestellt und in den folgenden Absätzen diskutiert. Auf Abbildung 6 werden die Orientierung und die Neigung der Klasten auf allen fünf Blockgletschern in Kreisdiagrammen visualisiert. Die Ausrichtungen der einzelnen Klasten sind immer in Bezug zur Ausrichtung der Hauptfließrichtung der Blockgletscherfront, die in allen Diagrammen von 0° nach 180° orientiert ist, zu interpretieren. Mit Hilfe der Berechnung der Eigenvektoren der Daten wurde in Abbildung 7 eine Gegenüberstellung aller fünf Macrofabric-Analysen in einem Dreiecksdiagramm vorgenommen.

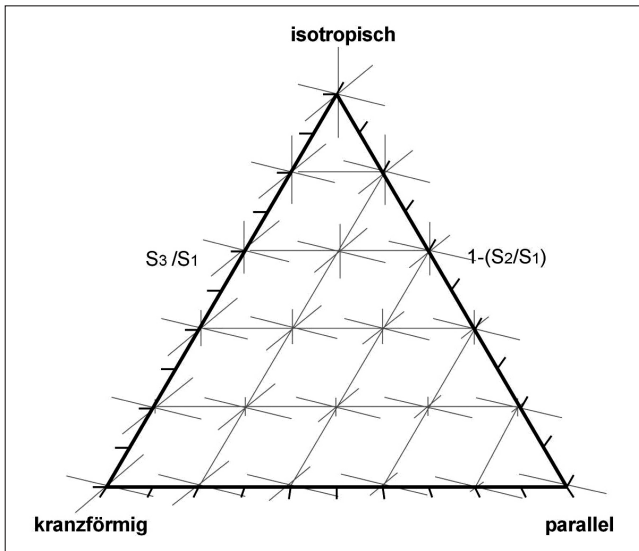


Abb. 5: Kontinuum der Fabric-Strukturen auf einem gleichseitigen Dreiecksdiagramm. Die Größe der normalisierten Eigenwerte S_1 , S_2 und S_3 ist dargestellt durch die Länge der drei orthogonalen Linien in jedem Knotenpunkt des Diagramms (aus BENN & EVANS 2004, Abb. 5.7, verändert). Continuum of fabric shape plotted on an equilateral triangle diagram. The magnitude of the normalized eigenvalues S_1 , S_2 and S_3 is represented by the length of the three orthogonal lines at each node on the diagram (BENN & EVANS 2004, Fig. 5.7, modified).

4.1 Macrofabric-Kreisdiagramme

Um die in Abbildung 6 dargestellten Diagramme besser erfassen zu können, werden im Folgenden exemplarisch die drei Kreisdiagramme am Beispiel des Gamskar-Blockgletschers beschrieben. Das Rosen-Kreisdiagramm zeigt die mittlere Orientierung der Klasten (Schwarzer Pfeil in Abb. 6), die sich auf die Ausrichtung der A-Achsen bezieht, in Bezug zur ehemaligen Hauptfließrichtung an der Blockgletscherfront (Weißer Pfeil in Abb. 6: 0° – 180°). Es ist zu sehen, dass sich die Klasten fast parallel zur Hauptfließrichtung orientiert haben. Es sind zwei Maxima zu erkennen, wobei eines direkt parallel (12 % der Daten) und das andere (16 % der Daten) um ein paar Grade verdreht ist. Es ist jedoch auch anzumerken, dass etwa 8 % der Klasten fast transversal zur Hauptausrichtung liegen. Auffällig ist die mittlere Orientierung der Klasten, die vollkommen mit der Hauptfließrichtung der Blockgletscherfront übereinstimmt. Das 95 %-Konfidenzintervall des mittleren Richtungswinkel ist mit $\pm 56^\circ$ eher größer und zeigt damit keine signifikanten Messunterschiede an.

Bezüglich der Klastenausrichtung und auch deren Neigung, die in den flächentreuen Kreisdiagrammen zu sehen ist, kann beobachtet werden, dass sich die meisten Klasten um 0° und um 180° befinden. Die Neigungswinkel der einzelnen Klasten bewegen sich zwischen $2,5^\circ$ als Minimum und 45° als steilste Neigung. Genau die Hälfte der Klasten liegt in Richtung des Blockgletschergefälles, die andere Hälfte steigt dagegen an. Im Klastendichte-Kreisdiagramm ist mittels der Isolinien sehr gut die stärkste Ansammlung der Klasten in Hauptfließrichtung des Blockgletschers zu erkennen. Die Dichteunterschiede sind in den verschiedenfarbigen Isolinien visualisiert. Mit Hilfe der Eigenvektoren wurde berechnet, dass die Klasten einen geringen Isotropie-Wert (0,1) und auch einen geringen Cluster-Wert (0,32) aufweisen. Damit tendieren sie eher zu einer kranzförmigen Ausrichtung.

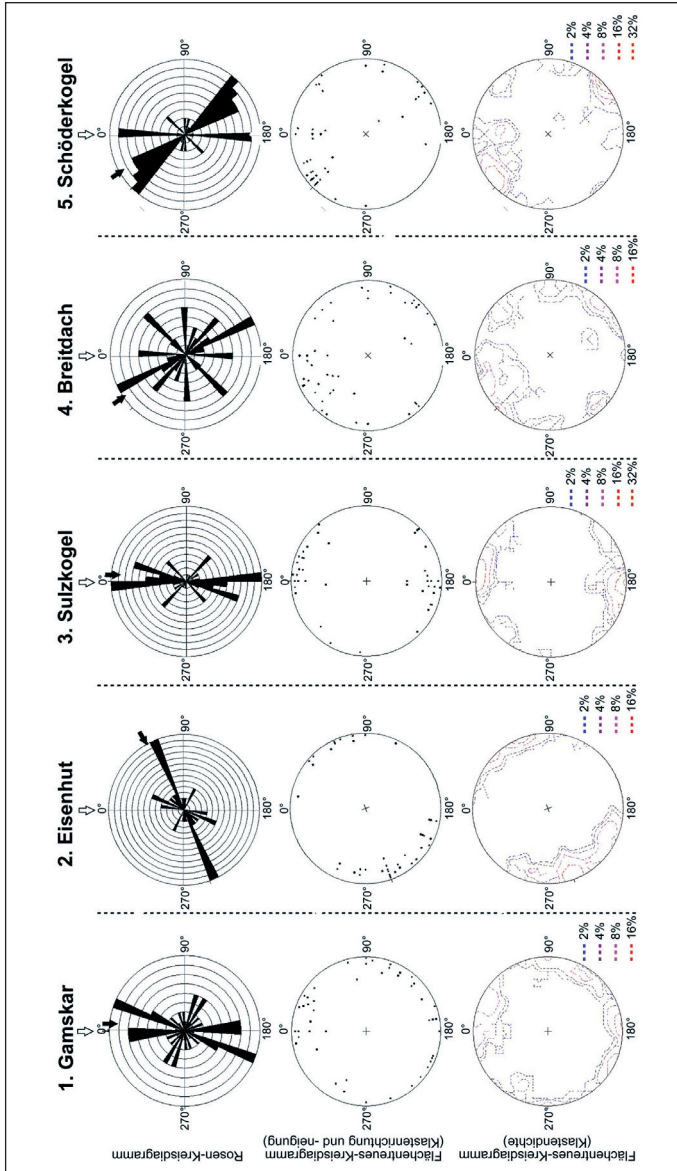


Abb. 6: Darstellung der Macrofabric aller fünf Messpunkte auf den Blockgletschern als Kreisdiagramme. Oben: Rosen-Kreisdiagramm (Orientierung der Klaster A-Achse); Mitte: Flächentreues Kreisdiagramm (Klasterneigung und -neigung); Unten: Umriss flächentreues Kreisdiagramm (Verteilung der Klasterdichte); Legende: Weißer Pfeil: (ehemalige) Blockgletscherfließrichtung an der Front; Schwarzer Pfeil: mittlere Ausrichtung der Klaster an der Blockgletscherfront; Darstellung der Dichteunterschiede durch Isolinien: 2 % (blau), 4 % (violett), 8 % (pink) 16 % (rot) und 32 % (braun).

Presentation of the macrofabric data as circle diagrams for all five measurement locations at the rock glaciers. Above: The orientation of a-axes by using a rose diagram. Middle: Azimuth and dip of clasts by using an equal-area stereonet. Below: The variation of point density through a contoured stereonet. Legend: white arrow: former flow direction at the rock glacier front; black arrow: mean orientation of clasts at the rock glacier front. Presenting of density differences through isolines: 2 % (blue), 4 % (purple), 8 % (pink) 16 % (red) und 32 % (brown).

Betrachtet man dazu die Macrofabric-Ergebnisse an den vier anderen Blockgletscherfronten, zeigt vor allem der Vergleich der Rosen-Kreisdiagramme die größten Unterschiede. Die Ausrichtung der Längsachsen der Klatten ist noch an den beiden Blockgletschern Sulzkogel und Schöderkogel ebenfalls nahezu parallel zur Hauptfließrichtung des Blockgletschers. Hingegen ist am Eisenhut-Blockgletscher sehr deutlich die schon fast transversale Ausrichtung der Klatten zur Hauptausrichtung zu erkennen. Sehr auffällig ist auch das ermittelte Bild der Klattenausrichtungen am Breiddach-Blockgletscher, an dem keine stark bevorzugte Richtung feststellbar ist. Der Vergleich der fünf Umrisskreisdiagramme zeigt, dass die Neigung der Klatten selbst am steilsten am Breiddach- und Schöderkogel-Blockgletscher waren, die selbst auch die steilsten Fronten haben.

4.2 Macrofabric-Eigenwerte

In Abbildung 7 werden die Klattenausrichtungen an den einzelnen Messpunkten mittels der Eigenwerte vergleichend in einem Dreiecksdiagramm dargestellt. Eine deutliche Cluster-Struktur weisen die Klatten an den Fronten des Eisenhut-, Schöderkogel- und Sulzkogel-Blockgletschers auf. Die Klatten am Breiddach-Blockgletscher tendieren zu einer leicht isotropischen Struktur, während am Gamskar eine kranzförmige Orientierung der Klatten zu sehen ist. Die Isotropie-Werte (S_3/S_2) befinden sich zwischen 0,18 und 0,04 und die Cluster-Werte ($1 - (S_2/S_1)$) liegen zwischen 0,79 und 0,32.

5. Interpretation

Die ehemaligen Kriechbewegungen der Blockgletscher zeigen sich nicht nur an äußeren Merkmalen wie den typischen Blockgletscherwülsten. Untersuchungen der Grobklatten entlang von Längsprofilen an den Blockgletscheroberflächen zeigen deut-

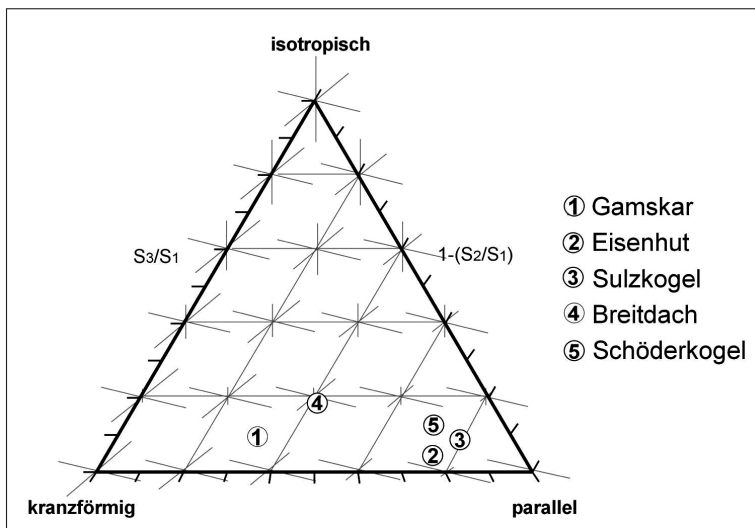


Abb. 7: Darstellung der Macrofabric der Klatten mittels der Eigenvektoren an der Front des Gamskar-Blockgletschers, des Eisenhut-Blockgletschers, des Sulzkogel-Blockgletschers, des Breiddach-Blockgletschers und des Schöderkogel-Blockgletschers in einem Dreiecksdiagramm. Presentation of the macrofabric data by using the eigenvectors at the front of the Gamskar rock glacier the Eisenhut rock glacier, the Sulzkogel rock glacier, the Breiddach rock glacier and the Schöderkogel rock glacier on an equilateral triangle diagram.

liche Unterschiede in den Rundungscharakteristiken der einzelnen Klasten, d.h. im Wurzelbereich sind sehr eckige und kantige Klasten dominierend, die in Richtung Blockgletscherfront aufgrund von Verwitterungsvorgängen abgerundeter werden (RODE 2009). Entlang dieser Längsprofile wurden auch Gesteinshärtemessungen mit einem Schmidt-Hammer durchgeführt.

Der damit ermittelte *R*-Wert gibt die Gesteinshärte und damit den Verwitterungsgrad der Klasten an. Statistisch signifikante Alterszunahmen der Klasten von den Wurzelzonen der Blockgletscher zu deren Fronten konnten an allen fünf untersuchten Blockgletschern nachgewiesen werden (RODE 2009, RODE & al. 2009). Beide Methoden (Rundungscharakteristiken der Grobklasten und Schmidt-Hammer) zeigen den ehemaligen Schutttransport und damit die Morphodynamik in den aktiven Phasen der Blockgletscher. Interessante Einblicke in die Morphogenese der Blockgletscher geben aber auch die Macrofabric Ergebnisse. Die gewonnenen Daten sind ein Produkt aus der noch aktiven Zeit der Blockgletscher, dem Zeitraum des Ansteigens der Permafrostuntergrenze und dem damit einsetzenden Erliegen der Blockgletscherdynamik begleitet von Setzungserscheinungen und den rezenten Einflüssen auf die reliktschen Formen durch Felsstürze und Lawinen.

5.1 Gamskar-Blockgletscher

Die Auswirkungen der ehemaligen Kriechbewegung des Blockgletschers (vgl. Abb. 2) sind nicht nur in den abgelagerten großen Blöcken im Stirnbereich und den transversalen Rücken und Senken im Stauchungsbereich mit grobblockigen Material zu erkennen, sondern auch in der Ausrichtung der A-Achsen auf dem Macrofabric-Messpunkt. Der Großteil der untersuchten Klasten orientiert sich trotz Stauchungsbedingten Prozessen eindeutig in Richtung der Hauptfließrichtung des Blockgletschers. Die Hälfte der Klasten fällt in Richtung der Neigung des Blockgletschers, der andere Teil steht entgegen dieser Neigung. Hierfür liegen die Gründe wohl auch in den später – nach dem Erlahmen der Blockgletscherbewegung – auftretenden oben erwähnten Kräften. Dass die Grobklasten eine bevorzugte Richtung annehmen, zeigt sich auch in der Analyse der Eigenvektoren, die eine kranzförmige Anordnung aller Klasten zeigt.

5.2 Eisenhut-Blockgletscher

Die Ausrichtung der Klasten am Macrofabric-Messpunkt ist im Vergleich zu jenen am Gamskar-Blockgletscher nicht parallel zur Hauptfließrichtung sondern fast transversal. Im Vergleich zu den anderen hier untersuchten Blockgletschern wurde der Frontbereich durch ein topographisches Hindernis wesentlich stärker gestaucht. Diese Stauchung ermöglichte die Ausbildung von deutlichen, für Blockgletscher typischen Wulstformen (vgl. Abb. 3). Ca. 3/4 der Klasten liegen in der Fallrichtung des Blockgletschers. Gründe dafür können in der Hangneigung selbst und im Abschmelzen des Eises im Untergrund des Blockgletschers gefunden werden. Die Eigenvektoranalyse ergibt, dass die Klasten zueinander annähernd parallel liegen.

5.3 Sulzkogel-Blockgletscher

Die Analyse der Orientierung der Klasten am Macrofabric-Messpunkt zeigt ein ähnliches Ergebnis wie jene am Gamskar-Blockgletscher. Hier sind die A-Achsen der Klasten parallel zur ehemaligen Hauptfließrichtung des Blockgletschers orientiert. Die Klasten scheinen hier nicht durch das Abschmelzen des Eises im Untergrund und durch topographische Hindernisse wie am Eisenhut-Blockgletscher gedreht worden zu sein.

5.4 Breiddach-Blockgletscher

Das Hauptmaximum der A-Achsen im Stirnbereich des Blockgletschers liegt leicht abweichend zur Hauptfließrichtung des Blockgletschers. Die Orientierung der restlichen Klasten ist hingegen stark variabel und zeigt keine bevorzugte Richtung an. Die erhobenen Orientierungsdaten der Klasten am Macrofabric-Messpunkt könnten durch die spätere Schutzzufuhr aus einem angrenzenden Felsrücken erklärbar sein. Hier scheinen Klasten, welche durch die Blockgletscherbewegung eine gewisse Ausrichtung erfahren haben, mit solchen gemischt zu sein, die nach der Stabilisierung des Blockgletschers im Postglazial von den seitlichen Felsrücken mit Klasten aus Felsstürzen und Grundlawinen auf der Blockgletscheroberfläche abgelagert wurden. Die Klasten selbst liegen zu 72 % in Richtung der Neigung des Blockgletschergefälles. Der Grund dafür könnte primär im steilen Gelände liegen. Die Zufälligkeit der Orientierung der Klasten zeigen auch die Ergebnisse der Eigenwertanalyse an. Sie ergeben ein leicht isotropisches Bild der Klasten-anordnung.

5.5 Schöderkogel-Blockgletscher

Wegen der deutlichen Abgrenzung des Blockgletschers zur umgebenden Topographie (vgl. Abb. 2) sind auch die Orientierungsdaten am Messpunkt wieder einheitlicher ausgefallen und ähneln jenen vom Gamskar- bzw. Sulzkogel-Blockgletscher. Ein Hauptmaximum der A-Achsen der Klasten ist leicht transversal zur Hauptfließrichtung des Blockgletschers, das zweite Maximum parallel dazu. Die Eigenvektoranalyse bestärkt diese Aussage, denn die Klasten liegen auch zueinander fast parallel. Die Klasten selbst liegen zu 72 % in Richtung des Blockgletschergefälles.

5.6 Vergleich mit anderen Macrofabric-Analysen an Blockgletschern

Detaillierte Studien und Analysen der Macrofabric von Klasten auf Blockgletschern und blockgletscherähnlichen Formen sind relativ selten, es gibt jedoch Studien, die mit der hier vorgestellten Arbeit vergleichbar sind.

REDONDO VEGA & al. 2005 erkannten, dass die Klasten entlang von Blockgletschern in Richtung Blockgletscherfront immer stärker bevorzugte Orientierungen annehmen und an dieser die eindeutigste Klastenausrichtung zu beobachten ist. Diese Beobachtung wird in dieser Arbeit bestätigt (vgl. Abb. 7). Durch die Eigenwert-Methode werden die bevorzugten Orientierungen auf allen fünf Blockgletschern gezeigt (an drei Messpunkten: parallele Anhäufung, an einem Messpunkt: kranzförmige Anhäufung und am fünften Messpunkt: nur leicht isotropisch).

GIRADINO & VITEK 1985 führten Macrofabric-Untersuchungen auf einem relik-tischen Blockgletscher in den Sangre de Cristo Mountains in Süd-Colorado durch. Hier wurden an mehreren Stellen auf der Blockgletscheroberfläche Messpunkte lokalisiert, wobei für diese Arbeit das Ergebnis des Messpunktes an der Blockgletscherfront interessant ist. Die Orientierung ist parallel/leicht transversal zur Hauptausrichtung des Blockglet-schers und zeigt damit ein vergleichbares Ergebnis zu den hier untersuchten Blockglet-schern.

ANDERSON & STEPHENS 1972 kamen ebenfalls zu dem Eindruck, dass Klasten in der Nähe der Blockgletscherfront eher parallel zur Hauptfließrichtung des Blockgletschers orientiert sind und damit eine bevorzugte Richtung annehmen.

Macrofabric-Analysen auf einem aktiven Blockstrom auf dem Kunlun Pass in Qing-hai-Xizang (Tibet) durch HARRIS & al. 1998 zeigen ebenfalls die parallele Ausrichtung der Klasten zur Hauptfließrichtung des Blockstroms. Die Eigenwerte zeigen auch hier wieder eine bevorzugte parallele Anhäufung der Klasten selbst.

Die Ausrichtungen von Klasteren auf Blockströmen in den Ligurischen Alpen waren hingegen auf den tiefer gelegenen Messpunkten durchwegs eher transversal zur Hauptfließrichtung orientiert. Es zeigte sich aber auch hier, dass die Klasteren an den unteren Messpunkten eine bevorzugte Ausrichtung annahmen (FIRPO & al. 2006).

5. Schlussfolgerungen

Unsere Ergebnisse zeigen deutlich, wie stark die ehemalige Blockgletscherdynamik auf die Ausrichtung von Grobklasteren Einfluss hatte. Bei Blockgletschern, welche im Frontbereich topographisch bedingt starken Stauchungsprozessen ausgesetzt waren und folglich deutlich ausgeprägtere Wulstformen bildeten, haben sich die größeren Gesteinsblöcke (Längsachse >1m) transversal eingeregelt (z.B. Eisenhut). Bei Blockgletschern, an denen Stauchungsprozesse weniger gewirkt haben und folglich Wulstformen nur gering bis gar nicht ausgebildet sind, regelten sich größere Gesteinsblöcke vorwiegend parallel zur (ehemaligen) Fließrichtung ein (z.B. Gamskar).

Mit Hilfe einer relativen Datierung mittels der Analyse von Schmidt-Hammer Messungen (vgl. McCARROL 1989, RAE & al. 2004, AOYAMA 2005, FRAUENFELDER & al. 2005, SHAKESBY & al. 2006, KELLERER-PIRKLBAUER & al. 2007, MATTHWES & OWEN 2008, KELLERER-PIRKLBAUER 2008a, KELLERER-PIRKLBAUER 2008b) entlang von Längsprofilen auf allen fünf hier untersuchten Blockgletschern konnte auch eine vorsichtige Altersabschätzung durchgeführt werden.

Durch den angenommenen linearen Zusammenhang zwischen R -Wert und Zeit kann eine Alterskalibrierung errechnet werden. (SHAKESBY & al. 2006, KELLERER-PIRKLBAUER 2008a, KELLERER-PIRKLBAUER 2008b) Die Dauer der aktiven Zeit der Blockgletscher wird auf etwa 7000 bis 11.500 Jahre geschätzt (RODE 2009). Es ist durchaus denkbar, dass die Blockgletscher im Spätglazial, frühestens im Gschnitz Stadial (16.000 BP) und spätestens im Egesen Stadial (11.500 BP; KERSCHNER 2009) entstanden. Die Blockgletscher scheinen bis ins Postglazial hinein aktiv gewesen zu sein, wobei der Schöderkogel-Blockgletscher heute noch relativ weitreichend von Permafrost unterlegt zu sein scheint (KELLERER-PIRKLBAUER 2005). Die vorherrschende Morphologie der Blockgletscher und damit auch die Ausrichtung der Klasteren sind damit hauptsächlich auf Bewegungen während der aktiven Zeit zurückzuführen.

Weitere Beweise für diese Interpretation liefern noch parallel dazu durchgeführte Grobklasteren-Rundungscharakteristik-Untersuchungen auf den Blockgletschern, die ebenfalls die ehemalige Bewegungsdynamik der Blockgletscher zeigen, mit abgerundeten Blöcken an den Fronten und immer eckiger werdenden Blöcken mit zunehmenden Abstand zur Blockgletscherfront (RODE 2009). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass mit der Macrofabric-Analyse im Großen und Ganzen die ehemaligen Bewegungsvorgänge an den fünf hier untersuchten Blockgletschern gut abgeschätzt werden können.

Dank

Prof. Dr. Gerhard Karl LIEB sei für die zahlreichen und hilfreichen Diskussion herzlich gedankt. Das „Spreadsheet for fabric shape“ sowie das „Triangular diagram plotting spreadsheet (TRI-Plot)“ wurden in dankenswerter Weise von Dr. Sven LUKAS, Queen Mary, University of London, zur Verfügung gestellt. Gedankt sei auch sehr herzlich Dr. Thomas UNTERSWEIG, Geologische Bundesanstalt, Wien, für die Begutachtung einer früheren Version der gegenständigen Arbeit.

Literatur

- ANDREWS J. 1971: Techniques of Till Fabric Analysis. – British Geomorphological Research Group Technical Bulletin, Geo Abstracts.
- AOYAMA M. 2005: Rock glaciers in the northern Japanese Alps: palaeoenvironmental implications since the Late Glacial. – *Journal of Quaternary Science* 20: 471–484.
- BENN D. 1994a: Fluted moraine formation and till genesis below a temperate glacier: Slettmarkbreen, Jotunheimen, Norway. – *Sedimentology* 41: 279–292.
- BENN D. 1994b: Fabric shape and the interpretation of sedimentary fabric data. – *Journal of Sedimentary Research* A64: 910–915.
- BENN D. & EVANS J. 2004: A practical guide to the study of glacial sediments. – London, Arnold a member of the Hodder Headline Group, 266 S.
- BERTRAN P. & TEXIER J. 1995: Fabric Analysis: Application to Paleolithic Sites. – *Journal of Archaeological Science* 22: 521–535.
- CARR S. & ROSE J. 2003: Till fabric patterns and significance: particle response to subglacial stress. – *Quaternary Science Reviews* 22: 1415–1426.
- DERBYSHIRE E., MCGOWN A. & RADWAN A. 1976: Total fabric or some till landforms. – *Earth Surface Processes* 1: 17–26.
- FABIANI E. 1963: Morphologische Studien in den südlichen Niederen Tauern mit besonderer Berücksichtigung des Spätglazials. – Unpublizierte Dissertation an der Karl-Franzens Universität Graz, 278 S.
- FIRPO M., GUGLIELMIN M. & QUEIROLO C. 2005: Characteristics of flow structures and pattern of long axis orientation of blocks in the blockfields of the Beigua Massif (Western Liguria). – *Permafrost and Periglacial Processes* 17: 71–78.
- FRAUENFELDER R., LAUSTELA M. & KÄÄB A. 2005: Relative dating of Alpine rockglacier surfaces. – *Zeitschrift für Geomorphologie* 49: 145–166.
- GIARDINO J. & VÍTEK J. 1985: A statistical interpretation of the Fabric of a rock glacier. – *Arctic and Alpine Research* 7: 165–177.
- GIARDINO J. & VÍTEK J. 1988: Interpreting the internal fabric of a rock glacier. – *Geografiska Annaler* 70A: 15–25.
- GRAHAM D. & MIDGLEY D. 2000: Graphical representation of clast shape using triangular diagrams: an Excel spreadsheet method. – *Earth Surface Processes and Landforms* 25: 1473–1477.
- HARRIS A., CHENG G., ZHAO C. & YONGQIN D. 1998: Nature and dynamics of an active block stream, Kunlun Pass. – *Geografiska Annaler*, 80A: 123–133.
- HOLCOMBE COUGHLIN & ASSOCIATES 2008: Structural Geology – Mapping/GIS Software – GEORIENT. http://www.holcombe.net.au/software/rodh_software_georient.htm#download (Zugriff: Dezember 2008).
- KELLERER-PIRKLBAUER A. 2005: Alpine permafrost occurrence at its spatial limits: First results from the eastern margin of the European Alps, Austria. – *Norsk Geografisk Tidsskrift – Norwegian Journal of Geography* 59: 184–193.
- KELLERER-PIRKLBAUER A., WANGENSTEEN B., FARBROT H. & ETZELMÜLLER B. 2007: Relative surface age-dating of rock glacier systems near H'olar in Hjaltdalur, northern Iceland. – *Journal of Quaternary Science* 23: 137–151.
- KELLERER-PIRKLBAUER A. 2008a: The Schmidt–hammer as a Relative Age Dating Tool for Rock Glacier Surfaces: Examples from Northern and Central Europe. – *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost (NICOP)*, University of Alaska, Fairbanks, June 29–July 3, 913–918.
- KELLERER-PIRKLBAUER A. 2008b: Wie alt sind Blockgletscher in den österreichischen Alpen? Das Beispiel der Blockgletscher im Dösenertal, Ankogelgruppe, datiert mit Hilfe der Schmidt–Hammer Methode. – In: Schmidt R., Matulla C., Psenner R. (Hrsg.): *Klimawandel in Österreich – Die letzten 20.000 Jahre ... und ein Blick voraus*. *Alpine Space – man & environment* 6: 65–76.
- KELLERER-PIRKLBAUER A. 2008c: Aspects of glacial, paraglacial and periglacial processes and landforms of the Tauern Range, Austria. – Unpublizierte Dissertation an der Karl-Franzens Universität Graz, 200 S.
- KERSCHNER H. 2009: Gletscher und Klima im Alpenen Spätglazial und frühen Holozän. – In: Schmidt R., Matulla C., Psenner R. (Hrsg.): *Klimawandel in Österreich – Die letzten 20.000 Jahre ... und ein Blick voraus*. *Alpine Space – man & environment* 6: 5–26.
- LARSEN N., PIOTROWSKI J. & KRONBORG C. 2004: A multiproxy study of a basal till: a time-transgressive accretion and deformation hypothesis. – *Journal of Quaternary Science* 19: 9–21.
- LICHTENBERGER E. 1956: Stadiale Gletscherstände in den Schladminger Tauern (Steiermark). – *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 3: 235–244.

- LIEB G. K. 1987: Zur spätglazialen Gletscher- und Blockgletschergeschichte im Vergleich zwischen den Hohen und Niederen Tauern. – Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft 129: 5–27.
- LIEB G. K. 1996: Permafrost und Blockgletscher in den Österreichischen Alpen. – Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich. – Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung 33: 9–125.
- MARDIA K. V. 1972: Statistics of directional data. – Academic Press, New York, 357 S.
- MARK D. 1974: On the interpretation of till fabrics. – Geology 2: 101–104.
- MCCARROL D. 1989: Potential and limitations of the Schmidt–hammer for relative dating. Field tests on Neoglacial moraines, Jotunheimen, southern Norway. – Arctic and Alpine Research 21: 268–275.
- MILLS S. & GRAB S. 2005: Debris ridges along the southern Drakensberg escarpment as evidence for Quaternary glaciation in southern Africa. – Quaternary International 129: 61–73.
- NELSON F. & ARBOR A. 1985: A Preliminary Investigation of Solifluction Macro Fabrics. – Catena 12: 23–33.
- PERMOS, 2009: Was Blockgletscher bewegt. – www.permos.ch/downloads/alpen2007Blockgletscher.pdf (Zugriff: Februar 2009)
- REDONDO VEGA J., GONZALES GITIERREZ R. & GOMEZ VILLAR A. 2005: Environmental and sedimentological characteristics of the relict rock glaciers in gistro range, Cantabrian Mountains. – Sixth International Conference on Geomorphology, Zaragoza (Poster).
- RAE A. C., HARRISON S., MIGHALL T. & DAWSON A. 2004: Periglacial trimlines and nunataks of the Last Glacial Maximum: the Gap of Dunloe, southwest Ireland. – Journal of Quaternary Science 19: 87–97.
- RODE M. 2009: Untersuchungen zur Morphodynamik im Bereich Schöderkogel – Eisenhut in den Schladminger Tauern. – Unpublizierte Diplomarbeit an der Karl–Franzens Universität Graz, 141 S.
- RODE M., KRANABETER R. & KELLERER-PIRKLBAUER A. 2009: The use of the Schmidt–hammer for dating paraglacial and glacial landforms in central Austria. – Geophysical Research Abstracts 11: EGU2009–8043.
- SHAKESBY R., MATTHWES J. & OWEN G. 2006: The Schmidt–hammer as a relative–age dating tool and its potential for calibrated–age dating in Holocene glaciated environments. – Quaternary Science Reviews 25: 2846–2867.
- SLANAR H. 1967: Geomorphologische Untersuchungen in den Wölzer Tauern. – Unpublizierte Dissertation an der Universität Wien, 328 S.
- VINCENT P. & AHMAD S. 1995: Fabric analyses of some Saudi Arabian pediment gravels. – Journal of Arid Environments 30: 371–384.
- WOODCOCK N. 1977: Specification of fabric shapes using an eigenvalue method. – Geological Society of America Bulletin 88: 1231–1236.

Luftbilder

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, 2008: *Digitale S/W–Orthophotos Image–Catalog M31*