

# Aktive Blockgletscher : Bewegung und Prozessverständnis

Autor(en): **Barsch, Dietrich**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern**

Band (Jahr): **59 (1996)**

PDF erstellt am: **27.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-960444>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Aktive Blockgletscher: Bewegung und Prozessverständnis

Dietrich Barsch

## 1. Einleitung

Im Jahre 1968 publizierten Bruno MESSERLI und Max ZURBUCHEN – leider an entlegener Stelle – ihren Aufsatz über die photogrammetrische Bestimmung der Vorwärtsbewegung der Blockgletscher Weissmies (Laggintal) und Grosses Gufer (Aletsch). Mit Hilfe der von ihnen erstmals auf Blockgletschern angewandten Aero-Photogrammetrie eröffneten sie eine neue Phase in der Erfassung des Bewegungsbildes von aktiven Blockgletschern. Die damaligen Ergebnisse sind in die seither stark intensiviertere Blockgletscherforschung eingeflossen und z.B. in überarbeiteter Form (Abb. 1 und 2) im zusammenfassenden Buch von HAEBERLI (1985) erneut publiziert worden.

MESSERLI & ZURBUCHEN konnten zeigen, dass der Blockgletscher Weissmies zwischen 1958 und 1964 trotz deutlicher horizontaler Bewegungskomponente einen nicht unbeträchtlichen Volumenverlust ( $50\,000\text{ m}^3$ ) hinnehmen musste. Heute, mehr als ein Vierteljahrhundert später, sei die Frage erlaubt: was wissen wir wirklich über das Bewegungsbild aktiver Blockgletscher? Und vor allem: wie sieht es mit unserem Prozessverständnis in Bezug auf die Bewegung aus?

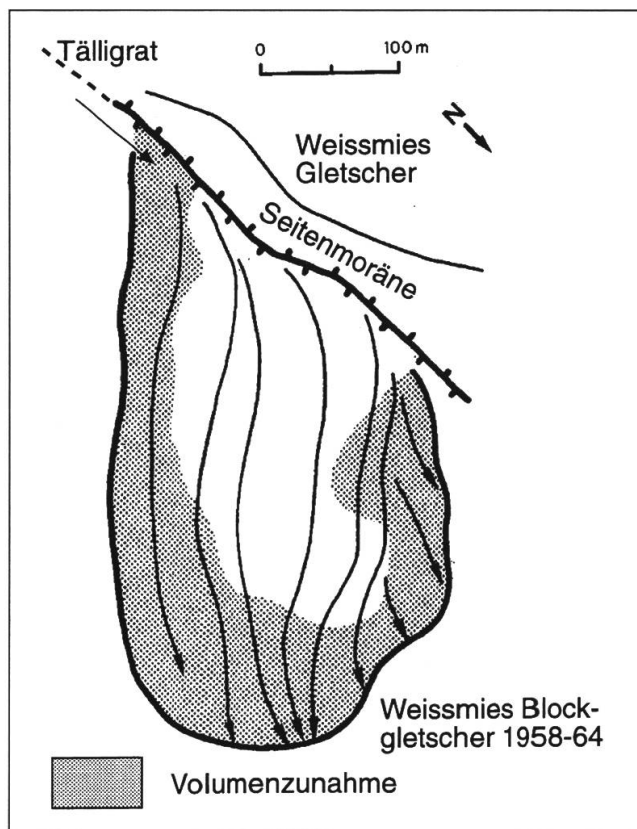


Abb. 1: Stromlinien auf dem Blockgletscher Weissmies (Laggintal). Aus HAEBERLI (1985: 89) nach der Aufnahme von MESSERLI & ZURBUCHEN 1968. Die gerasterte Fläche stellt die Gebiete mit Volumenzunahme 1958–64 dar.

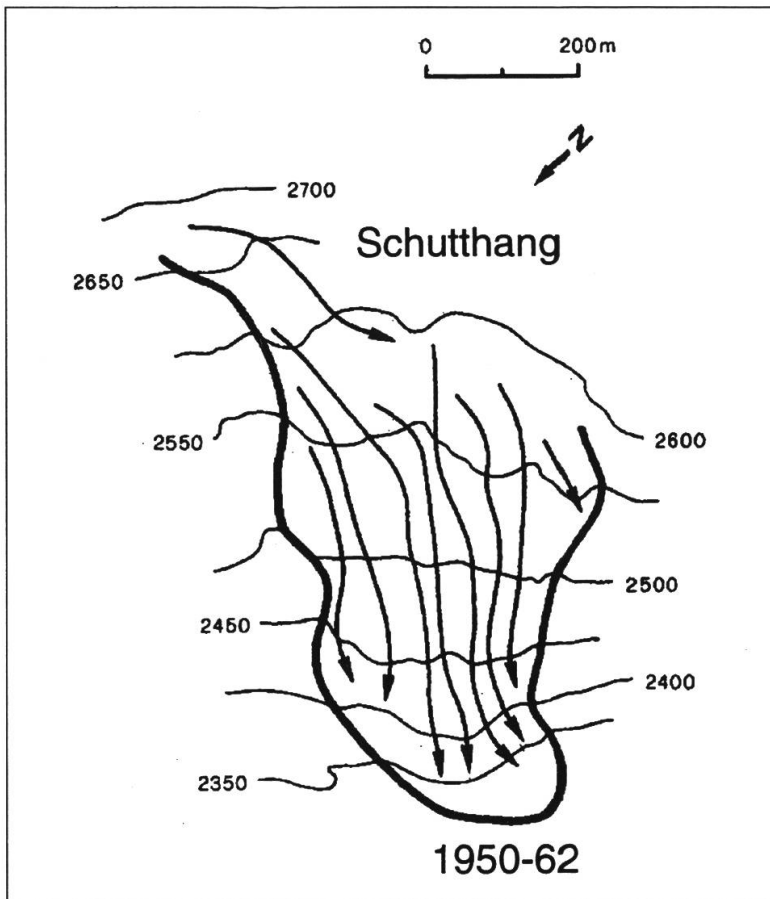


Abb. 2: Stromlinien auf dem Blockgletscher Grosses Gufer (Aletsch). Aus HAEBERLI (1985: 90) nach der Aufnahme von MESSERLI & ZURBUCHEN (1968).

## 2. Problemstellung

Aktive Blockgletscher sind – nach allen Informationen, die bis heute weltweit zusammengetragen worden sind – das Ergebnis von Kriechvorgängen im eisübersättigten alpinen Permafrost (WAHRHAFTIG & COX, 1959; BARSCH, 1969 a,b; HAEBERLI, 1985; BARSCH, 1992). Blockgletscher sind also gefrorene Schuttmassen, deren Eisgehalte im Durchschnitt bei 50–60%, deren Mächtigkeiten bei 30 bis 100 m liegen dürften (BARSCH, 1996). Dabei ist, wie vor allem die von HAEBERLI organisierte Bohrung durch den Blockgletscher Murtel I gezeigt hat, nicht unbedingt der ganze Eiskörper in Bewegung. Nach WAGNER (1992) findet sich in diesem Blockgletscher in 28–32 m Tiefe eine stark verformbare Schicht, in der 75% der Bewegung erfolgt. Es liegt nahe, unter diesen Voraussetzungen eine stetige Verformung über längere Zeiträume anzunehmen. Die Bewegung der aktiven Blockgletscher wird deshalb – in Parallelität zu jener der Gletscher – als permanentes Kriechen im stationären Zustand (secondary creep) bei geringen bis moderaten Belastungen (100–200 kPa) beschrieben. Ihre Verformung wird kongruent zum Fließgesetz nach GLEN für polykristallines Eis angesehen (PATERSON, 1981, 1994; HAEBERLI, 1985).

Die Messungen von MESSERLI & ZURBUCHEN haben über den sechsjährigen Zeitraum Horizontalkomponenten der Bewegung von maximal etwa 65 cm/a ergeben; sie haben aber auch durch die Bestimmung der Vertikalkomponente die ersten

Andeutungen dafür erbracht, dass die Bewegung der Blockgletscher kein triviales Problem darstellt. MESSERLI & ZURBUCHEN haben diese Komplexität bereits angedeutet, auch wenn zum damaligen Zeitpunkt noch keine Informationen über mehrjährige oder gar saisonale Messungen der Bewegung aktiver Blockgletscher existierten. Wir wissen heute, dass sich viele Hinweise dafür finden, dass Blockgletscher nicht unbedingt stationäre Verformungsgeschwindigkeiten aufweisen, sondern dass kurzfristige Geschwindigkeitsänderungen auftreten. Es ist daher ein grundsätzliches Problem, welche Folgerungen aus dem Bewegungsverhalten aktiver Blockgletscher gezogen werden können und welche Ableitungen sich daraus für ihren Bewegungsprozess selbst ergeben.

### 3. Das Bewegungsbild aktiver Blockgletscher

Die einleuchtende Annahme, dass die Bewegung der Blockgletscher eine Folge der plastischen Verformung des Eisgehaltes ist, führt direkt zur weitergehenden Folgerung, dass sie sich – wie schon betont – im Zustand einer stationären Kriechbewegung (secondary creep) befinden. Diese These wird durch Messreihen gestützt. So ist die Vorrückgeschwindigkeit des Blockgletschers Val da l'Acqua über Jahrzehnte (1920–1980) mit 40–45 cm/a ungefähr konstant geblieben (JÄCKLI, 1978). Im Bereich seiner Stirn weist der Blockgletscher Macun I eine konstante Bewegung von 14,2 cm/a über 21 Jahre (1967–1988) auf, wobei der Fehler zwischen  $\pm 0,3$  und  $\pm 0,6$  cm/a liegen dürfte (BARSCH & ZICK, 1991).

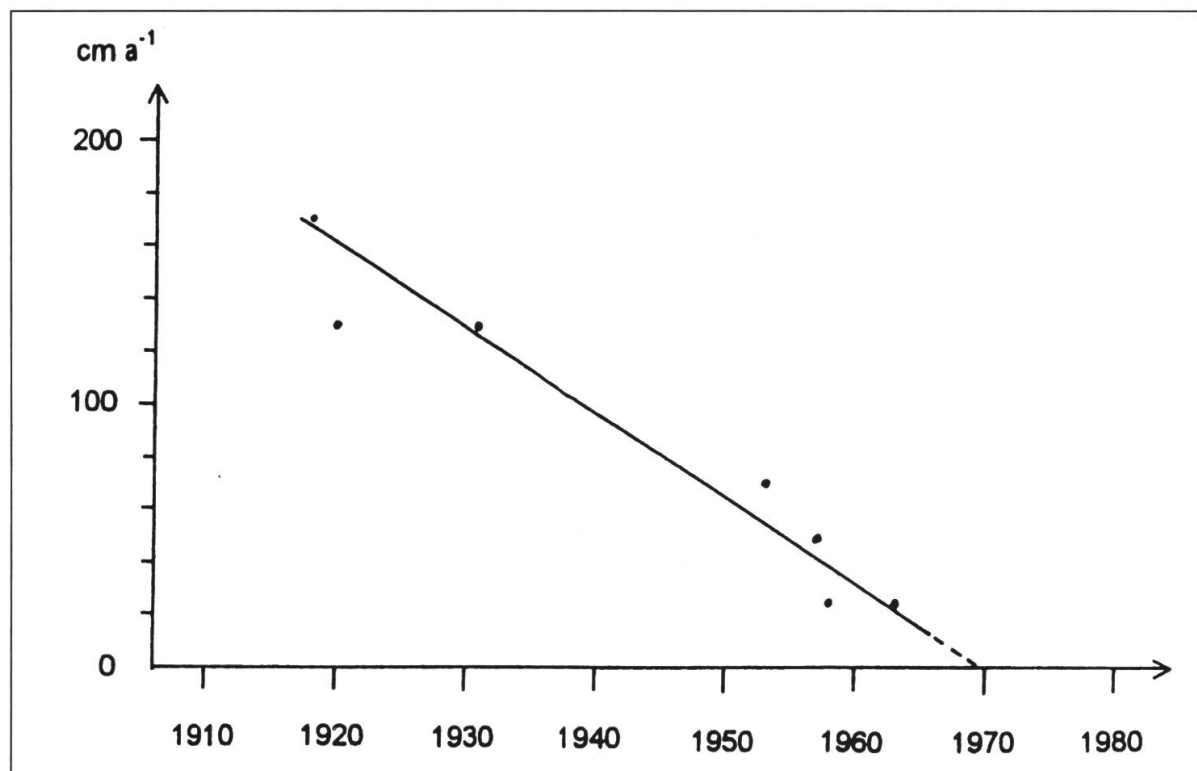


Abb. 3: Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit des Blockgletschers Val Sasso (Unterengadin). Nach verschiedenen Quellen aus BARSCH (1996).

Dieses einheitliche Bild wird gestört durch andere Messreihen, die überraschende Schwankungen in der horizontalen Bewegungskomponente der Blockgletscher erkennen lassen. Da sind z.B. die Messungen auf älteren Luftbildern (BARSCH & HELL, 1975; BARSCH, 1996), die deutlich erkennen lassen, dass die Blockgletscher Murtel I, Albana und Albana West zwischen 1932 und 1955 noch deutliche horizontale Bewegungsbeträge erkennen lassen, in der Periode 1955–1971 dagegen fast zum Stillstand gekommen sind. Besonders deutlich lässt sich dies für den berühmten Blockgletscher Val Sassa (Abb. 3) belegen, der in den Jahren um 1915/1920 mit Geschwindigkeiten von über 160 cm/a vorgerückt ist, der aber um 1971 praktisch inaktiv war (BARSCH, 1973, 1996). Dieses Verhalten erlaubt den nicht unberechtigten Schluss, dass die Blockgletscherbewegung von der Temperaturentwicklung abhängig ist. Wir können diese Geschwindigkeitsabnahme als Folge der Erwärmung in den Alpen nach dem weitverbreiteten Gletschervorstoss um 1920/26 deuten. Daraus folgt, dass das stationäre Kriechverhalten der Blockgletscher nur bei gleichbleibenden (thermischen) Verhältnissen und nur über kürzere Zeiträume angenommen werden kann. Es scheint zudem, dass das gleichbleibende Verhalten nur einige Dekaden andauert.

Leider kann auch diese – an sich einleuchtende Annahme – nicht unangefochten als gültig angesehen werden. Es gibt Gegenbeispiele. So zeigt etwa der Blockgletscher Äusseres Hochebenkar (Obergurgl/Tirol) bisher nicht erklärte Änderungen in der Bewegungsgeschwindigkeit (Abb. 4), die nicht als ein einfaches Inaktiv-Werden gedeutet werden können, sondern ein Pulsieren zu repräsentieren scheinen. Allerdings stellt dieser Blockgletscher im Bewegungsverhalten eine Besonderheit dar, da er über eine Kante auf einen steilen Hang fließt und dadurch sehr hohe Kriechge-



Abb. 4: Änderungen der Horizontalbewegung des Blockgletschers Hochebenkar. Daten aus VIETORIES (1972), vgl. BARSCH (1996).

schwindigkeiten erreicht. Doch gibt es auch andere Belege für Geschwindigkeitsänderungen von Blockgletschern. Ein Beispiel bildet die Messreihe 1979/83–1991 in der Combe de Laurichard von FRANCOU & REYNAUD (1992). Hier zeigt die Linie A nach einer Periode mit konstanter Geschwindigkeit (1979–1986) ein Auffächern der Bewegungsbeträge.

Viel erstaunlicher ist es jedoch, dass auf Blockgletschern auch saisonale Änderungen in der horizontalen Fortbewegung existieren. Leider besitzen wir in dieser Hinsicht nur Informationen von drei Blockgletschern (Murtel I und Muragl, BARSCH & HELL, 1975, sowie Gruben, HAEBERLI, 1985). Im Fall der Oberengadiner Blockgletscher ist Anfang der siebziger Jahre die sommerliche Horizontalgeschwindigkeit signifikant höher als die winterliche. Im Fall des Walliser Blockgletschers ist aufgrund der Messzeiträume die Aussage nicht so eindeutig; zudem ergibt sich hier ein Unterschied zwischen dem unteren und dem oberen Teil des Blockgletschers. Während der untere Teil im Herbst 1981 und im frühen Sommer 1982 höhere Kriechgeschwindigkeiten zeigt, bewegt sich der untere Teil zu diesen Zeitpunkten deutlich langsamer. Im Frühling 1982 war das gemessene Verhalten genau umgekehrt. Im Prinzip deutet sich hier ein harmonikaartiges Verhalten des Blockgletschers an, das dem schon besprochenen Pulsieren bei den horizontalen Bewegungsbeträgen von Jahr zu Jahr zu entsprechen scheint.

Die vertikale Komponente der Blockgletscherbewegung wird leider nur selten gemessen. Sie ist als Resultierende der Höhenabnahme durch Hangabwärtsbewegung sowie der Massenzufuhr bzw. -abfuhr zu denken. Auf dem Blockgletscher Weissmies (Abb. 1) können MESSERLI & ZURBUCHEN (1968) zeigen, dass die Zunge um 30 cm/a eingesunken ist (1958–1964). Gegen die Wurzelzone des Blockgletschers (Abb. 1) nimmt der Betrag des Einsinkens um ca. ein Drittel ab. Neben Zonen mit ausgesprochenen Verlusten gibt es Bereiche mit Volumenzunahmen im Gebiet der rechten Wurzelzone – in der Schutt vom Schutthang des Tälligrates in den Blockgletscher fließt –, auf der rechten Blockgletscherseite sowie rechts und links von der Stirn. Die zusätzliche Volumenzunahme im Bereich der Stirn lässt sich wohl am ehesten als Folge eines Kompressionsfliessens deuten. Dies gilt wohl auch für den Übergang vom Schutthang des Tälligrates in den Blockgletscher. Für alle übrigen Bereiche kann auch heute keine einleuchtende Erklärung gegeben werden. Auf alle Fälle deuten diese Werte an, dass hier komplexe Fließverhältnisse vorliegen. Am Blockgletscher Äusseres Hochebenkar lässt sich das ebenfalls belegen. Nach PILLEWIZER (1957) und VIETORIS (1972) ergibt sich folgendes Bild:

Profil	1936–1956	1953–1962
2700–2600 m	–29 cm/a	+
2580–2530 m	–59 cm/a	+/- gleich
2450–2500 m	+59–88 cm/a	–

Im obersten Profil hat in der zweiten Periode, entgegen den Verhältnissen 1936–1956, eine Volumenzunahme stattgefunden. Das mittlere Profil ist ungefähr gleich geblieben und das unterste hat eine Volumenabnahme erfahren. Die Verhältnisse haben sich also umgekehrt.

Zusammenfassend kann – entsprechend der Theorie eines stationären Kriechens – eine gleichförmige Bewegung der Blockgletscher über mehrere Dekaden belegt werden. Ebenso ist die stetige Geschwindigkeitsabnahme über Jahrzehnte, vermutlich als Folge klimatischer Erwärmung, beobachtet worden; sie kann bis zur Inaktivität führen. Überraschend sind dagegen Varianzen in der horizontalen Geschwindigkeit, die von Jahr zu Jahr aufzutreten scheinen, sowie das saisonal differenzierte Kriechverhalten. Durch die Berücksichtigung der vertikalen Bewegungskomponente wird ausserdem deutlich, dass im Blockgletscher pulsierende Mächtigkeitsänderungen auftreten. Dieses Pulsieren scheint in einigen Fällen auch durch die Änderungen der Horizontalkomponente von Jahr zu Jahr belegt zu sein.

#### **4. Diskussion der Befunde**

Wenn auch bisher die Zahl der Messungen der saisonalen und der vertikalen Bewegungen auf Blockgletschern noch ungenügend ist, so lassen sich doch aus den bisher vorliegenden Messungen einige Folgerungen ziehen:

1. Blockgletscher scheinen auf Klimapendelungen deutlich zu reagieren, falls gewisse Schwellenwerte in der regionalen und lokalen Erwärmung überschritten werden. Im Bereich der Untergrenze der Blockgletscherverbreitung (BARSCH, 1980) werden zuvor aktive Blockgletscher bei den beobachteten Temperaturerhöhungen im Verlauf einiger Jahrzehnte inaktiv. Sie reagieren damit offensichtlich auf das Ansteigen der Untergrenze des aktiven alpinen Permafrostes (HAE-BERLI, 1992).
2. Aktive Blockgletscher zeigen – entgegen unseren bisherigen Vorstellungen – saisonale sowie interannuelle pulsierende Bewegungen sowohl in der Horizontal- wie in der Vertialkomponente, die nicht in das Bild einer stetigen Kriechverformung passen.

Der erste Punkt ist relativ einsichtig. Das Inaktiv-Werden aktiver Blockgletscher aus klimatischen Gründen erfolgt über eine mehr oder weniger stetige Abnahme der Geschwindigkeit. Im Zungenbereich nimmt dabei die Mächtigkeit des ungefrorenen Mantels (Deckschicht) zu. So konnte auf inaktiven Blockgletschern eine sommerlich ungefrorene Schicht von mehr als 10 m Mächtigkeit seismisch festgestellt werden, während die Auftauschicht auf aktiven Blockletschern nicht mächtiger als 3–4 m ist (BARSCH, 1973). Das legt nahe, dass die Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit eine Folge der zunehmenden Hemmung durch eine ungefrorene Schuttmasse im Frontbereich ist.

Das Pulsieren in den horizontalen und vertikalen Bewegungskomponenten macht dagegen ein Umdenken erforderlich. Während ein stärkeres Einsinken der Oberfläche in warmen Sommern noch verständlich erscheint, muss das Pulsieren im Kriechvorgang selber liegen. Da wir wohl Gleitvorgänge bei der Bewegung der Blockgletscher weitgehend ausschliessen können, müssen wir über Widerstände beim Kriechen selber nachdenken. Eine mögliche Erklärung des Pulsierens könnte darin gesehen werden, dass sich – vielleicht bedingt durch thermische Änderungen, durch wechselnde interne Wassergehalte oder durch Änderung der internen Struk-

turen – Widerstände im Blockgletscher aufbauen, die nur ruckweise überwunden werden können. Folgerichtig muss deshalb angenommen werden, dass Kompressions- und Extensionsfließen miteinander abwechseln, wie es schon WHITE (1987) vom Arapahoe-Blockgletscher beschrieben hat. Über die Ursachen dieser Bewegungsänderungen liegen bisher keine konzeptionellen Vorstellungen vor. Inwieweit in diesem Verhalten prinzipielle Unterschiede zur Bewegung temperierter Gletscher zum Ausdruck kommen, kann z.Zt. ebenfalls nicht entschieden werden.

## 5. Folgerungen

Es erscheint dringend notwendig, dass in Zusammenarbeit von Geomorphologen, Physikern, Glaziologen und Ingenieuren das Kriechen alpinen Permafrostes neu überdacht wird. Numerische Modelle auf physikalischer Basis müssten entwickelt werden. Sie könnten vermutlich Erklärungsmodelle für dieses Verhalten bieten. Solange dies nicht geschehen ist, ist die Bedeutung der Blockgletscher als Indikatoren für unsere Hochgebirgssysteme unter dem Einfluss einer wärmeren Atmosphäre eingeschränkt. Unter dem Druck der Prognosen zu Global Change ist ein ruhiges Zuwarten nicht zu verantworten. Wir müssen mehr über Bewegung und Reaktion aktiver Blockgletscher wissen, um sie gezielt als Indikatorsysteme, als natürliche Monitoren im Hochgebirge benutzen zu können.

## Literatur

- BARSCH, D., 1969a: Studien und Messungen an Blockgletschern in Macun, Unterengadin. In: Kaiser, K. (ed.): Glazialmorphologie. Zeitschrift für Geomorphologie.
- BARSCH, D., 1969b: Permafrost in der oberen subnivalen Stufe der Alpen. In: Geographica Helvetica 24: 10–12.
- BARSCH, D., 1973: Refraktionsseismische Bestimmung der Obergrenze des gefrorenen Schuttkörpers in verschiedenen Blockgletschern Graubündens, Schweizer Alpen. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 9: 143–167.
- BARSCH, D., 1980: Die Beziehung zwischen der Schneegrenze und der Untergrenze der aktiven Blockgletscher. In: JENTSCH, C. & LIEDTKE, H. (eds.): Höhengrenzen in Hochgebirgen. Arbeiten aus dem Geographischen Institut der Universität des Saarlandes 29: 119–133.
- BARSCH, D., 1992: Permafrost creep and rockglaciers. Permafrost and Periglacial Processes 3: 175–188.
- Barsch, D., 1996 (im Druck): Rockglaciers. Indicators for the Present and Former Geoecology in High Mountain Environments. Springer Series in Physical Environment. Heidelberg.
- BARSCH, D. & HELL, G., 1975: Photogrammetrische Bewegungsmessungen am Blockgletscher Murtel I Oberengadin, Schweizer Alpen. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 11: 111–142.
- BARSCH, D. & ZICK, W., 1991: Die Bewegungen des Blockgletschers Macun I von 1965–1988 (Unterengadin, Graubünden, Schweiz). In: Zeitschrift für Geomorphologie N.F. 35: 9–14.
- FRANCOU, B. & RENAUD, L., 1992: 10 years surficial velocities on a rock glacier (Laurichard, French Alps). Permafrost and Periglacial Processes 3: 209–213.
- HAEBERLI, W., 1985: Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich 77: 142S.
- HAEBERLI, W., 1992: Possible effects of climatic change on the evolution of alpine permafrost. Catena Supplement 22: 23–35.
- JACKLI, H., 1978: Der Blockstrom in der Val dal Acqua im Schweizerischen Nationalpark. In: KASSER, P. (ed.): Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1978, wissenschaftlicher Teil: 213–221.



- MESSERLI, B. & ZURBUCHEN, M., 1968: Blockgletscher im Weissmies und Aletsch und ihre photogrammetrische Kartierung. In: Die Alpen 3: 139–152.
- PATERSON, W.S.B., 1981: The physics of glaciers. Oxford: 380 pp.
- PATERSON, W.S.B., 1994: The physics of glaciers. Kidlington (Elsevier). 3rd edition: 480pp.
- PILLEWIZER, W., 1957: Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. In: Geomorphologische Abhandlungen. Abhandlungen des Geographischen Instituts der Freien Universität Berlin 5 (Otto-MAULL-Festschrift): 37–50.
- VIETORIS, L., 1972: Über die Blockgletscher des Äusseren Hochebenkars. In: Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie 8: 169–188.
- WAGNER, S., 1992: Creep of Alpine permafrost, investigated on the Murtel Rock Glacier. Permafrost and Periglacial Processes 3: 157–162.
- WAHRHAFTIG, C. & COX, A., 1959: Rock glaciers in the Alaska Range. In: Geological Society of America, Bulletin 70: 383–436.
- WHITE, S. E., 1987: Differential movement across transverse ridges on Arapaho rock glaciers, Colorado Front Range, U.S.A. In: GIARDINO, J.R., SHRODER, J.F. & VITEK, J. D. (eds. ): Rock glaciers. London: 145–149.

### **Persönlich**

*Der vorliegende Aufsatz ist meinem Freund Bruno Messerli und seinem Beitrag zu der Pionierleistung in der Blockgletscherforschung gewidmet.*

Prof. Dr. Dietrich Barsch, Geographisches Institut der Universität Heidelberg