

**BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN**

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von  
H. Hahn - W. Kuls - W. Lauer - P. Höllermann - K.A. Boesler  
Schriftleitung: H.-J. Ruckert

Heft 67

**Peter Höllermann**

**Blockgletscher als Mesoformen  
der Periglazialstufe**

**Studien aus europäischen und  
nordamerikanischen Hochgebirgen**

1983

In Kommission bei  
Ferdinand Dümmlers Verlag - Bonn

**Peter Höllermann**

**Blockgletscher als Mesoformen der Periglazialstufe**

**Studien aus europäischen und nordamerikanischen Hochgebirgen**

**BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN**

ISSN 0373-0468

Herausgegeben von

H. Hahn W. Kuls W. Lauer P. Höllermann K. A. Boesler

Schriftleitung: H.-J. Ruckert

---

Heft 67

Peter Höllermann

**Blockgletscher als Mesoformen  
der Periglazialstufe**

Studien aus europäischen und  
nordamerikanischen Hochgebirgen



1983

---

In Kommission bei

**FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN**

– Dümmlerbuch 7617 –

# **Blockgletscher als Mesoformen der Periglazialstufe**

**Studien aus europäischen und  
nordamerikanischen Hochgebirgen**


von

**Peter Höllermann**

**Mit 2 Tabellen und 14 Figuren im Text,  
10 Fotos im Anhang und 2 Figuren als Beilagen**

In Kommission bei

**FERD. DÜMMLERS VERLAG · BONN**

 **Dümlerbuch 7617**

**Alle Rechte vorbehalten**

**ISBN 3-427-76171-1**

**© 1983 Ferd. Dümlers Verlag, 5300 Bonn 1**

**Herstellung: Richard Schwarzbald, Witterschlick b. Bonn**

## VORWORT

Die großräumig-vergleichende Untersuchung der aktuellen periglazialen Morphodynamik und Formenverbreitung in den Gebirgen war bislang in besonderem Maße auf das Studium von Kleinformen (z.B. Frostmusterböden und Solifluktionserscheinungen), deren Vergesellschaftung und Höhengrenzen ausgerichtet. Dazu liegen bereits mehrere Übersichten und Zusammenfassungen des Forschungsstandes vor. Demgegenüber wurden Geländeformen mittlerer Größenordnung der aktuellen Periglazialstufe nur selten systematisch und vergleichend untersucht. Derartige Mesoformen wie Pingos, Auftauseen, Blockgletscher, Hang- und Talformen, Halden oder Kryoplanationsflächen sowie das Gefügemuster der Mesoformenvergesellschaftung standen im Mittelpunkt eines Symposiums der Akademie der Wissenschaften in Göttingen vom 3. bis 7. Oktober 1982 unter der Gesamtleitung von H. POSER (vgl. dazu den Kurzbericht über das Symposium in "Erdkunde" 36, Heft 4, 1982). Die dort gehaltenen Vorträge sowie eine rege Diskussion über die Blockgletscher als Mesoformen des gegenwärtigen Periglazialraumes gaben die Veranlassung für eine ausführlichere vergleichende Behandlung dieser Formen in europäischen und nordamerikanischen Gebirgen. Da der Umfang dieses Beitrages über den Rahmen der vorgesehenen Veröffentlichung der Symposiumsbeiträge in den "Nachrichten der Akademie der Wissenschaften in Göttingen" erheblich hinausgewachsen ist, wird diese Studie einschließlich einer reichhaltigen Dokumentation durch Karten, Höhenstufenprofile und Diagramme nunmehr gesondert vorgelegt. Die umfangreiche Bibliographie erstrebt keine Vollständigkeit; sie berücksichtigt die ausländische und insbesondere die nordamerikanische Literatur ausführlicher als die zumeist gut bekannte und besser zugängliche deutschsprachige Blockgletscherliteratur über die Alpen.

Es freut mich sehr, daß die Veröffentlichung im Rahmen der "Bonner Geographischen Abhandlungen" erfolgen und damit die Tradition physisch-geographischer Arbeiten über Gebirgsräume fortsetzen kann. Meinen Kollegen, die als Herausgeber die Aufnahme der Studie in diese Schriftenreihe ermöglicht und gefördert haben, gilt mein besonderer Dank.

Bonn, im Herbst 1982

Peter Höllermann



# INHALT

	Seite
Vorwort	5
1. Einleitung und Fragestellung	9
2. Grundzüge der horizontalen und vertikalen Blockgletscherverbrei- tung in europäischen und nordamerikanischen Gebirgen	12
2.1 Europäische Hochgebirge	12
2.1.1 Die Alpen (unter besonderer Berücksichtigung der Ostalpen)	12
2.1.2 Die Pyrenäen	19
2.1.3 Blockgletscher in weiteren europäischen Gebirgen	20
2.2 Nordamerikanische Hochgebirge	21
2.2.1 Allgemeiner Überblick	21
2.2.2 Gebirge des Pazifischen Nordwestens	22
2.2.3 Sierra Nevada in Kalifornien	24
2.2.4 Gebirge der Basin and Range-Provinz	27
2.2.5 Rocky Mountains	28
2.2.6 Nordwest-Kanada und Alaska	34
3. Allgemeine Ergebnisse	36
3.1 Formenhäufigkeit und -dichte	36
3.2 Blockgletscher und Gletscher	37
3.3 Blockgletscher und Permafrostverbreitung	41
3.4 Gesteinsmaterial und Relief	45
3.5 Die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher in der Periglazialstufe	47
3.6 Zur Altersstellung der Blockgletscher	50
3.7 Bedeutung der Blockgletscher für die aktuelle Morphodyna- mik der Periglazialstufe	51
4. Nachwort zur Terminologie	54
5. Zusammenfassung	58
Summary	62
Literatur	64
Photoanhang	74
	7



## VERZEICHNIS DER FIGUREN

	Seite
1 Die Verbreitung von Blockgletschern in den Ostalpen in Beziehung zu klimatischen und pflanzengeographischen Grenzen	13
2 Höhengrenzen von Blockgletschern und Gletschern in den zentralen Ostalpen, westl. Teil (Tirol, Trentino)	16
3 Schneegrenze und Untergrenze aktiver Blockgletscher in den Alpen	17
4 Blockgletscher und verwandte Formen in den östlichen Pyrenäen	19
5 Übersicht der Verbreitungsgebiete von Blockgletschern in Nordamerika	Beilage
6 Vorzeitliche Blockgletscher in Gebirgen des Pazifischen Nordwestens, Washington, U.S.A. (Olympic Mountains, Mount Rainier)	23
7 Die Verbreitung von Blockgletschern in der Kalifornischen Sierra Nevada und den White Mountains	25
8 Vertikale Verbreitung der Blockgletscher in der Sierra Nevada, Kalifornien	26
9 Morphologische Karte des Mount Whitney-Gebietes, Sierra Nevada, Kalifornien	Beilage
10 Blockgletscher in den Gebirgen von Colorado	29
11 Blockgletscher in der Colorado Front Range	31
12 Vertikalverbreitung von Blockgletschern und Gletschern in Alaska	35
13 Gefrier- und Auftau-Indizes für Verbreitungsgebiete von Blockgletschern (nach dem Verfahren von S.A. HARRIS); Alpen und Pyrenäen, Nordamerika	42/43
14 Exposition von Blockgletschern	46
15 Idealschema der hypsometrischen Formenverbreitung	48
16 Schema des vertikalen Verlaufs der Untergrenze aktiver Blockgletscher in Bezug zum Großklima und zu anderen Höhengrenzen	48

## 1. EINLEITUNG UND FRAGESTELLUNG

Die Blockgletscherforschung hat bekanntlich zu Beginn unseres Jahrhunderts in Gebirgen Nordamerikas sowie wenig später in den Alpen ihren Anfang genommen (A.C. SPENCER 1900, W. CROSS und E. HOWE 1905, C.E. SIEBENTHAL 1907, S.R. CAPPS 1910, A. CHAIX 1919 u.a.). Aus den Blockgletscherstudien sind mehrere Forschungsprobleme erwachsen, deren Diskussion teilweise noch bis zur Gegenwart andauert. Wenn die Blockgletscher im Rahmen der vorliegenden Untersuchung als Mesoformen der heutigen Periglazialstufe der Gebirge behandelt werden sollen, dann stellen sich aus der umfassenden Problematik der Blockgletscherforschung vor allem die folgenden Fragen:

1. Sind die Blockgletscher in allen Hochgebirgen wesentlicher Bestandteil des Mesoreliefs der Periglazialstufe oder gibt es dabei regelhafte Abwandlungen?
2. Bestehen noch berechnete Zweifel an der Zugehörigkeit der Blockgletscher zum periglazialen Formenkreis?
3. Läßt sich aus den Grundregeln der horizontalen und vertikalen Formenverbreitung die räumliche Stellung der Blockgletscher innerhalb des Periglazialbereiches präzisieren?
4. Welchen Beitrag liefern die Blockgletscher zur aktuellen Morphodynamik der Periglazialstufe?

Manche Fragen lassen sich nur durch spezielle, oft recht aufwendige Untersuchungen einzelner Blockgletscher angehen, wozu das methodische und instrumentelle Rüstzeug in jüngerer Zeit erheblich verbessert wurde. Nur so konnte für eine größere Zahl von Formen der innere Bau aufgeklärt werden (vgl. als Beispiel die neueren Arbeiten von D. BARSCH und seinen Mitarbeitern). So wichtig und unentbehrlich solche Studien individueller Blockgletscher als physikalisches oder morphodynamisches System auch sind, so hat demgegenüber die klassische geographische Methode des räumlichen Vergleiches ihre Bedeutung nicht verloren. Die jüngere Spezialforschung läßt ein Defizit gerade an solchen großräumig-vergleichenden Studien erkennen. Um den oben gestellten Fragen nachzugehen, wurde für ausgewählte europäische und nordamerikanische Gebirge der Kenntnisstand von der horizontalen und vertikalen Blockgletscherverbreitung weitmöglichst in Karten und Profilen erfaßt und großräumig-vergleichend untersucht, um aus dem dreidimensionalen Verbreitungsmuster Rückschlüsse auf die dafür maßgeblichen Faktoren bzw. Rahmenbedingungen ziehen zu können. Das Verfahren wird freilich durch den immer noch lückenhaften und ungleichen regionalen Forschungsstand eingeschränkt. Die Auswahl der in die Untersuchung einbezogenen Gebirge bzw. Gebirgsgruppen wurde einerseits durch eigene Geländeerfahrungen und die darauf gestützte Anschauungsbasis bestimmt, andererseits durch die Verfügbarkeit einschlägiger Literatur vorgegeben.

Vom Ansatz her ist die vorliegende Studie ein Beitrag zu einer vergleichenden Geographie der Hochgebirge, die am Geographischen Institut der Universi-

tät Bonn einen Forschungsschwerpunkt seit den Grundlegungen durch C. TROLL (u.a. 1941-1975) darstellt. Dabei geht es darum, die Gebirgsräume der Erde in ihrer klimatischen, pflanzengeographischen und auch geomorphologischen Ausstattung (einschließlich der aktualmorphologischen Prozesse) im großräumigen Vergleich zu untersuchen. Unser Beitrag ist zwar von spezieller Art, doch findet in den jüngsten Überlegungen von C. RATHJENS (1982a) über "Vergleich und Typenbildung in der Hochgebirgsforschung" die Blockgletscherproblematik ausdrückliche Erwähnung. Unsere Untersuchung steht in Beziehung zum Arbeitsprogramm mehrerer Institutionen und Kommissionen, so der "Commsission on Mountain Geocology" der IGU, der Kommission für Erdwissenschaftliche Forschung der Akademie der Wissenschaften und der Literatur in Mainz (Vorsitzender W. Lauer) und insbesondere der Kommission "Geomorphologische Prozesse, Prozeßkombinationen und Naturkatastrophen in den Landschaftszonen und Höhenstufen der Erde" (Kurztitel "Morphodynamik") der Akademie der Wissenschaften in Göttingen unter Leitung von H. Poser. In Verbindung mit einem von der Göttinger Akademie ausgerichteten Geomorphologischen Symposium über "Mesoformen der heutigen Periglazialraumes" wurde am 4. Oktober 1982 auch über den Inhalt der vorliegenden Untersuchung kurz vorgetragen.

Auf die leidige Frage der Blockgletscher-Terminologie wird erst im Nachwort unter Berücksichtigung der Geländeerfahrungen eingegangen. Ohne damit eine scharfe Abgrenzung gegenüber ähnlichen Formen oder Übergangsbildungen liefern zu können, verstehe ich unter Blockgletschern größere zungen- oder lobenförmige Schuttakkumulationen mit scharfer Randbegrenzung und einer Oberflächenstruktur von 'fluidalem' Habitus, die im aktiven Zustand Eis enthalten und einer langsamen Massenbewegung hangab oder talabwärts unterliegen. Da die weitere Typisierung der Formen im Schrifttum nach unterschiedlichen Gesichtspunkten bzw. Kriterien vorgenommen und auch unterschiedlich weit getrieben wird, muß unserer großräumig-vergleichenden Untersuchung eine möglichst einfache und weitgehend akzeptierte Formengliederung zugrunde gelegt werden. Daher wird unterschieden nach der Form zwischen zungenförmigen (einschließlich strom- und spatelförmigen) und lobenförmigen Blockgletschern (einschließlich bewegter Blockschuttwülste bzw. -wälle), nach dem Aktivitätsgrad zwischen aktiven und inaktiven (einschließlich fossilen) Formen. Eine für Regionalstudien durchaus wünschenswerte weitergehende Differenzierung oder Typisierung aufgrund der Genese oder des inneren Baus der Formen (vgl. zur Blockgletschertypisierung z.B. A.E. CORTE 1976) ist im Rahmen eines großräumigen Überblicks derzeit noch nicht möglich. Die in der Definition angesprochenen formalmorphographischen Merkmale sowie die der Gliederung zugrundeliegenden Haupttypen sind in den Photobeilagen des Anhangs zu erkennen (vgl. besonders die Photos 1, 2 und 7).

Unsere Untersuchung gliedert sich in einen regionalen Teil, in dem für ausgewählte Gebirge die Kenntnis von der horizontalen und vertikalen Blockgletscherverbreitung dokumentiert und diskutiert wird, sowie in einen allgemeinen

Teil, in dem versucht wird, aufgrund der empirischen regionalen Befunde allgemeine Ergebnisse und Regelmäßigkeiten abzuleiten und zusammenzufassen. Dabei stehen die eingangs aufgeworfenen Fragen zur Bedeutung der Blockgletscher als Mesoformen der heutigen Periglazialstufe im Mittelpunkt. Diese Fragen werden auch in der Zusammenfassung wieder aufgegriffen. In der regionalen Behandlung werden die Alpen sowohl in der Darstellung der Verbreitungsregelmäßigkeiten als auch in den bibliographischen Hinweisen bewußt knapper dargestellt, weil dafür regionale Zusammenfassungen bereits existieren und zumindest die deutschsprachige einschlägige Literatur in der Regel gut zugänglich ist. Eine monographische Bearbeitung der Blockgletscherproblematik insgesamt ist weder beabsichtigt noch im vorgegebenen Rahmen möglich.

## 2. GRUNDZÜGE DER HORIZONTALEN UND VERTIKALEN BLOCKGLETSCHERVERBREITUNG IN EUROPÄISCHEN UND NORDAMERIKANISCHEN GEBIRGEN

### 2.1 Europäische Hochgebirge

#### 2.1.1 Die Alpen (unter besonderer Berücksichtigung der Ostalpen)

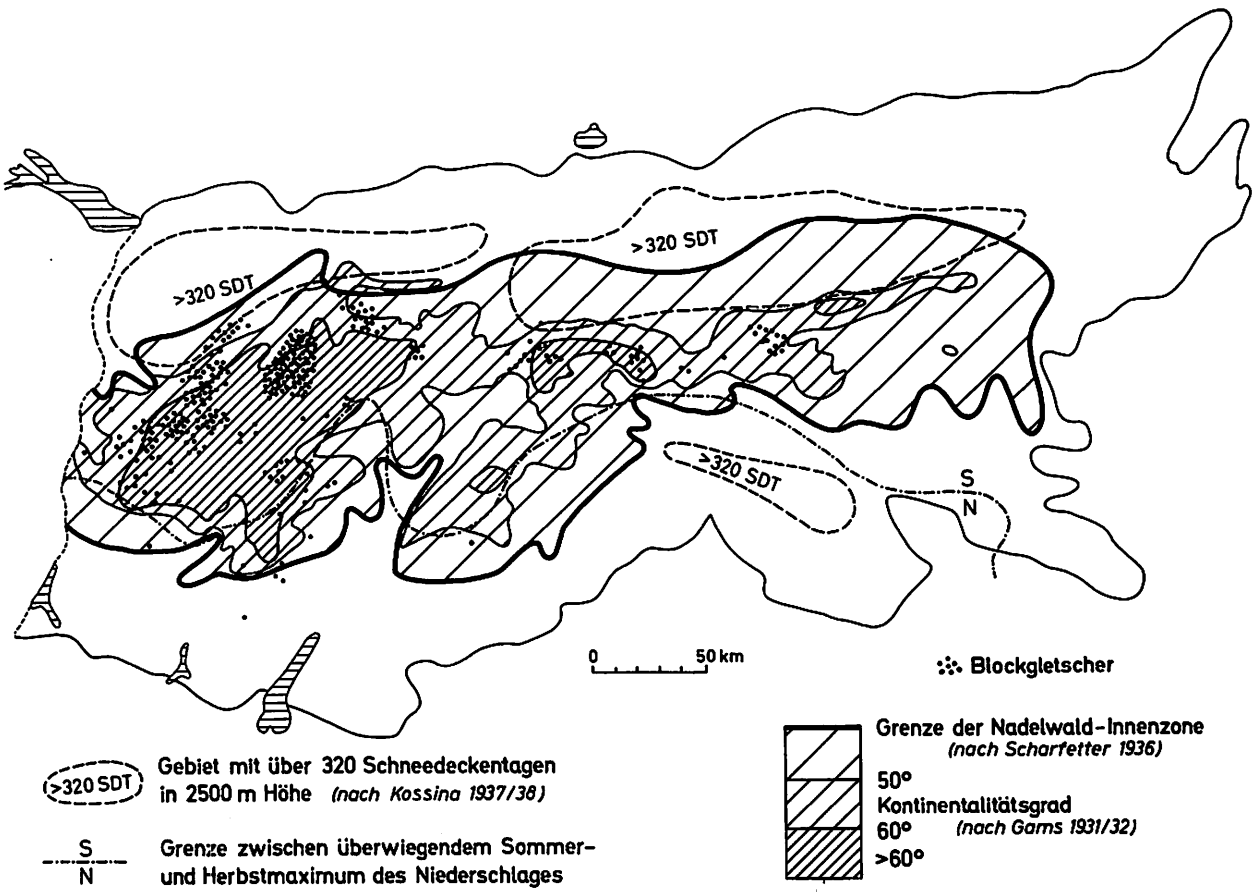
Obwohl für den Alpenraum ein recht umfangreiches Schrifttum über Blockgletscher vorliegt, das selbst bei vorsichtiger Schätzung bereits mehr als 100 Titel umfassen dürfte, ist auch für dieses besonders gut untersuchte Gebirge durchaus noch mit größeren Forschungslücken zu rechnen. Arbeiten, die sich auf ein vollständiges Formeninventar für einen größeren Alpenabschnitt stützen können (z.B. für den Schweizer Alpenanteil D. BARSCH 1977, 1980 u.a.), sind noch die Ausnahme.

Unser Beitrag geht von einer aus technischen Gründen nicht beigegebenen Manuskriptkarte der horizontalen Blockgletscherverbreitung in den Alpen aus, bei deren Entwurf außer langjährigen eigenen Materialsammlungen auch unveröffentlichte Karten von R. WEIAND (1975) und G. BUSCH (1982) einbezogen wurden. In einer solchen Verbreitungskarte kommt die bekannte Häufung der Formen in den Zentralalpen und im Internbogen der Westalpen deutlich zum Ausdruck. Dabei wirken klimatische und aklimatische Faktoren zusammen.

Die Bedeutung des Gesteinsfaktors, die vor allem bei kleinräumigen Studien hervortritt, wird auch großräumig darin augenfällig, daß die Blockgletscher die Zonen der Karbonatgesteine in den Nord- und Südalpen sowie im Externbogen der Westalpen fast völlig meiden. Gesteinsgrenzen sind jedoch selten absolute Grenzen der Blockgletscherverbreitung (vgl. weiter unten Abschnitt 3.4). In den Zentralalpen, wo das klimatische Optimum der Blockgletschervorkommen liegt, können einzelne Formen sehr wohl auch in Karbonatmaterial auftreten, z.B. im Bereich der Engadiner Dolomiten (H. BOESCH 1951, J. DOMARADZKI 1951, H. JÄCKLI 1957, H. EUGSTER 1973), der Ortler-Trias (P. HÖLLERMANN 1964) oder der Kalke des Briançonnais (V. GUITER 1972). Gesteins- und Klimaeinflüsse überlagern sich also.

Die meisten aktiven Blockgletscher der Alpen häufen sich in der Umgebung rezenter Vergletscherungsgebiete mit zentraler bzw. abgeschirmter Lage. Die von dieser Regel abweichenden zahlreichen Formen der heute gletscherfreien Hohen Seealpen sind fast ausnahmslos fossil und knüpfen in ihrer Mehrzahl an spätglaziales Moränenmaterial an (G. SCHWEIZER 1968 a, 1968 b, M. JULIAN 1978). In vergletscherten Gebirgsgruppen treten aktive Blockgletscher vorzugsweise dort auf, wo die Bedingungen der Gletscherexistenz marginal werden oder aussetzen. Mit dieser peripheren Lage zu den Gletschern — in horizontaler ebenso wie in vertikaler Richtung — handelt es sich bei den aktiven Blockgletschern um "periglaziale" Erscheinungen im ursprünglichen, d.h. räumlich gemeinten Sinn. Man

Fig. 1 : Die Verbreitung von Blockgletschern in den Ostalpen in Beziehung zu klimatischen und pflanzengeographischen Grenzen.



kann sie als eine "gletschernahe Periglazialfazies" bezeichnen (ähnlich R.F. MADOLE 1972, S. 123), was für Zungenformen gewöhnlich in höherem Maße berechtigt ist als für Lobenformen mit einem breiteren Verbreitungsspektrum. Blockgletscher treten bevorzugt randlich zu solchen Gletschergebieten auf, die in der Nachbarschaft inneralpiner Trockengebiete liegen, während die der ozeanischen Alpenperipherie zugewandten Gletschergebiete mit höherem Schneefall und stärkerer Bewölkung arm an Blockgletschern bleiben oder sogar frei von aktiven Formen sind.

Eine eingehendere Interpretation der Verbreitungskarte bleibt auf die Ostalpen beschränkt (Fig. 1). Das Verbreitungsmuster ist allerdings nur begrenzt aktualistisch interpretierbar, da es unterschiedliche Alters- bzw. Aktivitätsstadien von Blockgletschern in sich schließt. In großräumiger Sicht nehmen klimatische Faktoren auf die Formenverbreitung mehr Einfluß als kleinräumige Abhängigkeiten wie Gestein oder Relief. Die Blockgletscher meiden die besonders schnee-reichen Gebirgsabschnitte der Nord- und Südostalpen mit mehr als 320 Schneedeckentagen pro Jahr im 2500 m-Niveau (Grenzen nach E. KOSSINA 1937/38). Die Konzentration von rund 94% der Formen im Gebiet mit sommerlichem Niederschlagsmaximum bei nur etwa 6% im Gebiet mit Herbstmaximum läßt sich gleichfalls als Bevorzugung von Räumen mit relativ geringem Winterschneeanteil interpretieren. Fast alle Blockgletscher der Ostalpen halten sich innerhalb der Grenzen der relativ kontinentalen "Nadelwald-Innenzone" im Sinne von R. SCHARFETTER (1936). Bei den sehr seltenen Ausnahmen in der südlichen Adamello-Gruppe handelt es sich um fossile Vorkommen (Photo 3). Die bekannte Begünstigung der Blockgletscher durch kontinentalen Klimacharakter bestätigt sich ferner in engen Beziehungen des Verbreitungsmusters zum sog. hygrischen Kontinentalitätsgrad nach H. GAMS (1931/32)<sup>1)</sup>. 92% der Formen liegen im Gebiet mit einer hygrischen Kontinentalität über 50° und 62% sogar im kontinentalen Kernbereich mit 60 - 80°. Die horizontale Blockgletscherverbreitung fügt sich somit dem peripher-zentralen klimatischen Formenwandel innerhalb der Ostalpen gut ein, mit einer Bevorzugung der relativ kontinentalen und trockenen, strahlungsreichen und am stärksten abgeschirmten Binnenräume, die oft zugleich Bereiche überdurchschnittlicher Massenerhebung sind. Zu den peripheren und ozeanischen, schnee- und wolkenreichen Alpengruppen nimmt die Formendichte rasch ab. Dabei wirken neben klimatischen auch petrographische Ursachen mit.

Die Blockgletscher der Alpen (wie auch der anderen untersuchten Gebirge) können grundsätzlich in jeder Exposition auftreten, doch zeigt sich gewöhnlich eine Begünstigung der schattseitigen Auslagen, d.h. von NW über N nach NE (Fig. 14). Auf den Expositionseinfluß wird später im allgemeinen Teil näher eingegangen (Abschnitt 3.4).

Die hypsometrische Verbreitung der Blockgletscher als Schutt-Eis-Systeme

---

1) Die hygrische Kontinentalität ist bei H. GAMS (1931/32) als Winkelfunktion  $\text{ctg } x = N/h$  definiert ( $N =$  Jahressumme des Niederschlages,  $h =$  Meereshöhe).

ist oder war naturgemäß an die Verfügbarkeit von Schutt und Eis bei bestimmten makro- oder mesoklimatischen Voraussetzungen gebunden. Die tiefsten inaktiven bzw. fossilen Blockgletscher reichen in die Waldstufe herab. Der hypsometrische Verbreitungsschwerpunkt der aktiven Blockgletscher liegt in den Alpen in der subnivalen Schutt-Fels-Stufe, jedoch können größere Zungen durchaus noch bis in die alpine Mattenstufe herabreichen. Die untere Höhengrenze der aktiven Blockgletscher ist zu den Inneralpen aufgewölbt und findet ihre Kulmination wie die meisten naturräumlichen Höhengrenzen in den zentralalpinen Gebirgsgruppen mit größter Kontinentalität, Abschirmung und Massenerhebung (Fig. 2 und 3). Die Höhengrenzen der Blockgletscher lassen sich am besten als Mittelwerte einer größeren Zahl von Vorkommen innerhalb eines bestimmten Gebietes erfassen, während die hypsometrische Position von Einzelevorkommen naturgemäß in Abhängigkeit von lokalen Vorgegebenheiten des Reliefs, des verfügbaren Schuttes und der topoklimatischen Situation stärker streuen und in Sonderfällen von den allgemeinen Regelmäßigkeiten abweichen kann.

Fig. 2 stellt für Gebirgsgruppen der zentralen Ostalpen zwischen Silvretta und Adamello Lage und Verlauf der Höhengrenzen von Blockgletschern und Gletschern vergleichend dar. Die Angaben für die Gletscher und die mittlere Schneegrenze gelten für den Zeitraum um 1950/60 entsprechend den verfügbaren Kartengrundlagen. Die höchsten Erhebungen der Einzugsgebiete aktiver Blockgletscher ragen gewöhnlich noch ein Stück über die Schneegrenze (zumindest über die lokale Schneegrenze) auf und liegen damit in einem Höhensaum, wo echte Gletscher an der Grenze ihrer Existenzmöglichkeit stehen und wo mit einer leistungskräftigen Verwitterung und Schuttproduktion in den vorherrschenden schattseitigen Auslagen zu rechnen ist (vgl. u.a. P. HÖLLERMANN 1964, S. 51 f., E. VORNDRA 1969, S. 109, D. BARSCH 1977b, S. 155, S.E. MORRIS 1981, S. 336). Die Vertikalspanne zwischen dem Unterrand und dem höchsten Punkt der Umrahmung ist bei den aktiven Blockgletschern mit rund 500 m im Mittel deutlich enger als bei den Gletschern mit etwa 650 m (jeweils Mittelwerte für Fig. 2).

Vergleicht man den Verlauf der Untergrenze aktiver Blockgletscher mit der Schneegrenze bzw. Gleichgewichtslinie der Gletscher (Fig. 2 und 3), dann steigt die Blockgletscher-Untergrenze zum kontinentaleren Kern der Zentralalpen zwar gleichsinnig, aber weniger stark an als die Schneegrenze. Diese Erscheinung wurde zuerst in den Schweizer Alpen erkannt (B. MESSERLI und M. ZURBUCHEN 1968, S. 150, D. BARSCH 1980). Die größere Höhendifferenz zwischen beiden Grenzen in unserem Profil gegenüber den Angaben von D. BARSCH (1980) für die Schweiz versteht sich vornehmlich dadurch, daß den Vergleichen Schneegrenzen aus verschiedenen Zeiten zugrundeliegen (Fig. 3). Als Erklärung des unterschiedlichen Verhaltens von Schneegrenze und Blockgletscher-Untergrenze leuchtet ein, daß Blockgletscher als Schutt-Eis-Systeme auf verstärkte Strahlung und verringerte Zufuhr festen Niederschlages in den abgeschirmten Zentralalpengruppen schwächer reagieren als Eisgletscher (vgl. auch die ausführliche Diskussion bei D. BARSCH 1980).



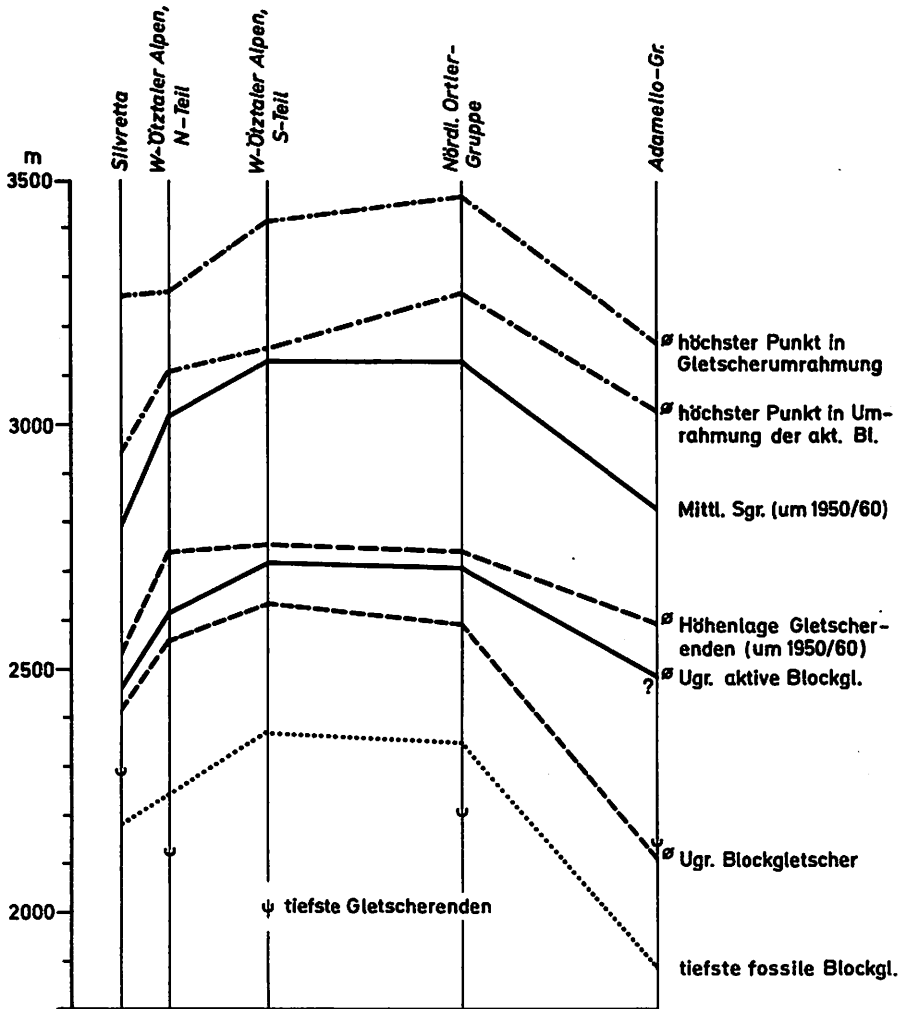
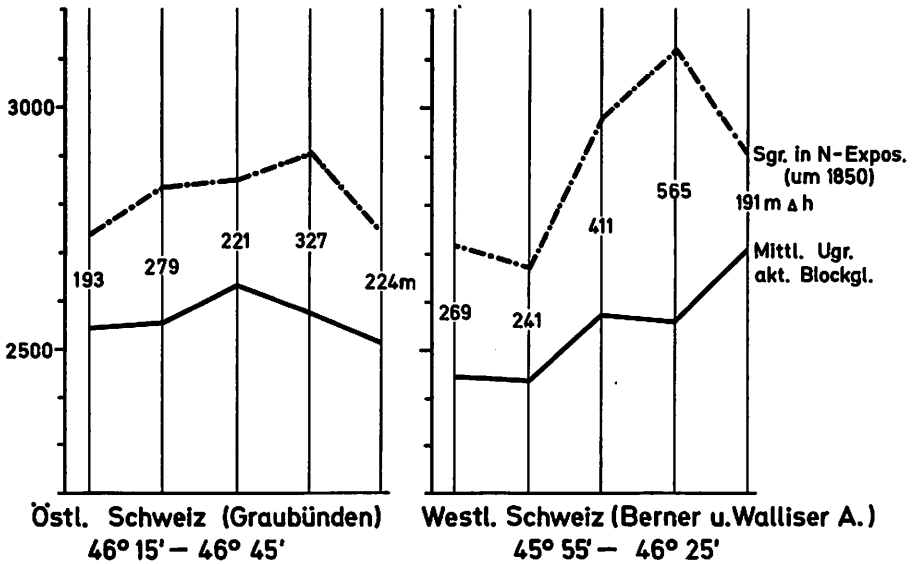
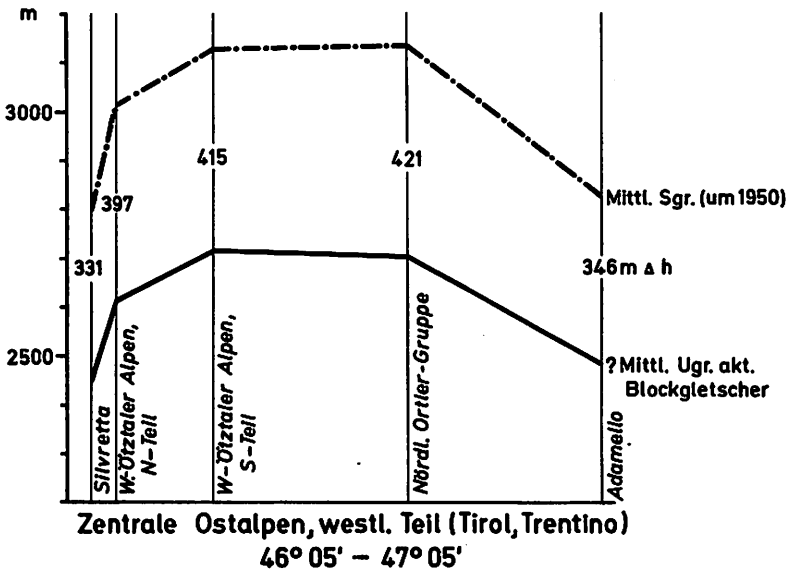


Fig. 2: Höhengrenzen von Blockgletschern und Gletschern in den zentralen Ostalpen, westl. Teil (Tirol, Trentino)



(nach D. Barsch 1980)

Fig. 3: Schneegrenze und Untergrenze aktiver Blockgletscher in den Alpen

Aus dem unterschiedlichen Verhalten von Schneegrenze und Blockgletscher-Untergrenze allein darf jedoch nicht ohne weiteres auf eine völlige Unabhängigkeit der Blockgletscher von den Gletschern geschlossen werden. Die mittlere Untergrenze der Gletscherenden verhält sich nämlich im Alpenprofil ganz ähnlich wie die Blockgletscher-Untergrenze, da in den hohen Zentralalpengruppen die Gletscherenden tiefer unter die Schneegrenze herabreichen als in peripheren und niedrigen Alpengruppen. So ergibt sich aus Fig. 2 ein recht ähnlicher Verlauf der mittleren Untergrenzen von Gletschern und aktiven Blockgletschern mit einem durchschnittlichen Höhenabstand beider Grenzen von nur 50 - 100 Metern. Bedenkt man, daß die Gletscherenden während der postglazialen Hochstände tiefer lagen als um 1950 und daß die postglazialen Hochstände der zentralen Ostalpen zu verschiedenen Zeiten recht ähnliche Größenordnungen erreichten (vgl. u.a. G. PATZELT 1972, 1977 und S. BORTENSCHLAGER 1972), dann kommt die Untergrenze der aktiven Blockgletscher einem mittleren postglazialen Gletscherstand nahe. Dieses enge Zusammengehen der beiden Grenzen kann schwerlich zufällig sein, zumal sich entsprechende Befunde auch aus anderen Gebirgen beibringen lassen, doch läßt die Erklärung mehrere Möglichkeiten offen (unmittelbarer Einfluß der Gletschernähe, Anknüpfen der Blockgletscher an die vorhandenen Ansammlungen von Moränenmaterial oder an das glazigen vorgeformte Relief). Die Frage wird im allgemeinen Teil (Abschnitt 3.2) erneut aufgegriffen.

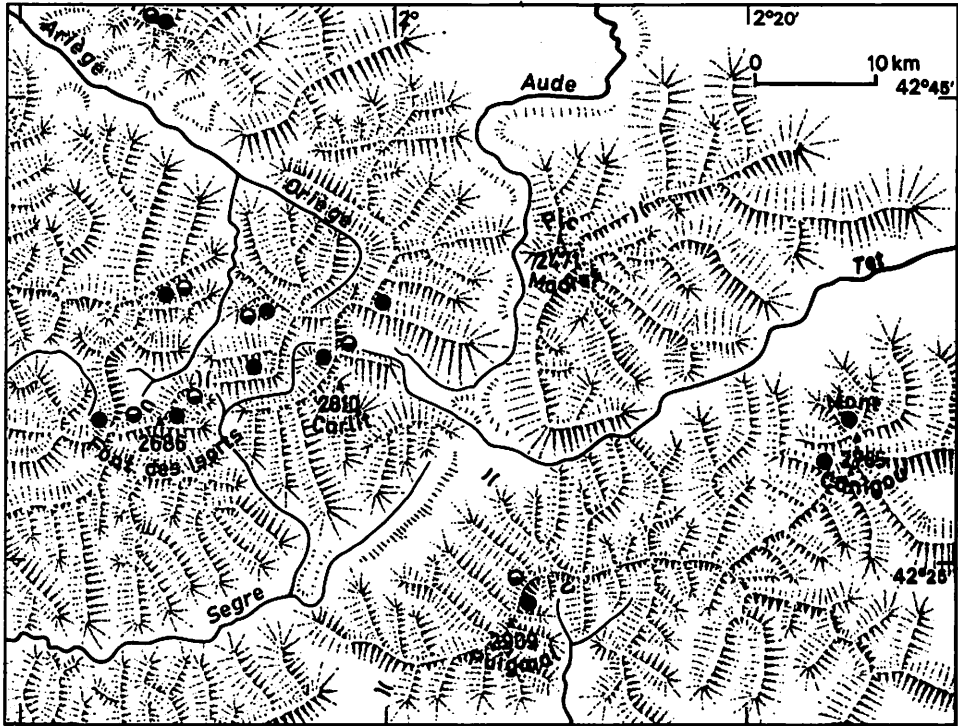
Die Entwicklung der Blockgletscher als aktive Formen bleibt in den Alpen an einen Höhenbereich mit bestimmten makro- und topoklimatischen Voraussetzungen gebunden. Schutt und Gletschereis allein reichen zur Blockgletscherbildung nicht aus. Schuttreiche Gletscherzungen, die in tiefe Lagen vorstoßen (z.B. die vom Ortler ausgehenden lawinenernährten Gletscher mit steilem Einzugsgebiet und einer Reichweite bis in die Waldstufe), haben sich ebensowenig wie große Ufermoränen mit Eiskern in tieferen Lagen zu Blockgletschern weiterentwickelt, sondern schmelzen als stark schuttbedecktes Toteis bzw. weitgehend stagnierendes Eis in situ ab. Hingegen sind Moränenmassen in höheren Lagen mobilisiert worden. So ist z.B. in der Ortlergruppe der eiskernhaltige Endmoränenkomplex am mittleren Zayferner blockgletscherartig ausgeflossen und bildet wenig über 2800 m Meereshöhe eine steile steinschlägige Stirn (vgl. auch E. GRÖTZBACH 1965, S. 183 f.). Von Fall zu Fall mag eine ungünstige Schutt-Eis-Relation oder das geringe Gefälle großer Talgletscher in Tieflagen die Weiterentwicklung hochgradig verschütteter Gletscher zu Blockgletschern einschränken, doch trifft das sicher nicht allgemein zu. Vielmehr ist mit einer übergeordneten klimatischen Abhängigkeit zu rechnen, daß nämlich die klimatischen Voraussetzungen der Blockgletscherbildung und -bewegung nur in bestimmten Höhen — und selbst dort nicht überall — gegeben sind.

Für das näher untersuchte Profil im Westteil der zentralen Ostalpen (Fig. 2) gilt, daß der untere Grenzsaum der aktiven Blockgletscher deutlich oberhalb der 0°-Jahresisotherme, d.h. im Höhenbereich negativer Jahresmitteltemperaturen und potentiellen Permafrostes liegt. Für die Schweizer Alpen hat D. BARSCH in

mehreren jüngeren Arbeiten die Beziehung der Reichweite aktiver Blockgletscher zur Verbreitung von diskontinuierlichem Permafrost herausgestellt.

### 2.1.2 Die Pyrenäen

In den Pyrenäen sind Blockgletscher viel allgemeiner verbreitet, als nach relativ spärlichen Angaben im Schrifttum zu erwarten ist (G. ANGELY 1967, P. BARRÈRE 1952, M. GUTIERREZ ELORZA und J.L. PENA MONNE 1981, G. SOUTADÉ 1973/74, 1981, F. TAILLEFER 1963, 1964, G. VIERS 1961, 1962). Nach eigenen Erfahrungen nimmt die Häufigkeit von den Zentralpyrenäen zu den kontinentalen und trockeneren Ostpyrenäen zu. Fig. 4 liefert ein sicher sehr lückenhaftes Bild von der Formenverbreitung in den östlichen Pyrenäen zwischen Andorra und der Canigou-Gruppe. Entsprechend dem randmediterranen Niederschlagsregime fällt in diesem Gebiet das Niederschlagsmaximum zwar in den Herbst, doch ist die absolute Menge der Winterniederschläge hier geringer als weiter westlich. Das



- Zungenförmige Blockgletscher
- Lobenförmige Blockgletscher
- ∩ Feinmaterial-Schuttströme („coulées boueuses“)

Fig. 4: Blockgletscher und verwandte Formen in den östliche Pyrenäen

gilt besonders für das blockgletscherreiche Kerngebiet der östlichen Pyrenäen mit beträchtlicher Abschirmung, hoher Einstrahlung und ausgeprägter Massenerhebung.

Schattseitige Auslagen werden von den Blockgletschern eindeutig bevorzugt (Fig. 14). Petrographisch stehen die Kristallin- und Massengesteine der pyrenäischen Achsenzzone im Vordergrund, während mir aus den Kalkgebirgsgruppen keine Vorkommen bekannt sind. Da die zusammenhängende Achsenzzone sowohl gegen Westen als auch zur nördlichen und südlichen Peripherie der Pyrenäen hin aussetzt, läßt sich das Verbreitungsmuster der Blockgletscher ähnlich wie in den Alpen durch ein Zusammenwirken klimatischer und petrographischer Faktoren erklären.

Die typischen Blockgletscher der östlichen Pyrenäen und auch die meisten Formen der Zentralpyrenäen sind zweifellos inaktiv bzw. fossil, meist mit eingesenkener Oberfläche, mit abgeflachten Stirn- und Randböschungen und mit teilweiser Vegetationsbedeckung (Photo 4). Der vertikale Verbreitungsschwerpunkt der inaktiven Blockgletscher in den östlichen Pyrenäen liegt heute in der alpinen Matten- und Zwergstrauchstufe (mittlere Untergrenze um 2300 - 2350 m). Die durchschnittliche Vertikalspanne zwischen dem Unterrand der Blockgletscher und dem höchsten Punkt ihrer Umrahmung ist mit rund 370 m geringer als in den untersuchten Zentralalpengruppen. In Richtung des Pyrenäenhauptkammes steigt die Untergrenze der vorzeitlichen Blockgletscher von Westen nach Osten an (vgl. auch G. VIERS 1962, S. 39). Ein ehemaliger Gletscherkontakt mancher Blockgletscherzungen ist mit der Anhebung des Schneegrenzniveaus über die höchsten Gipfel der Ostpyrenäen abgerissen. In den höheren Gebirgsgruppen der westlichen Zentralpyrenäen (Posets, Cauterets) soll es auch noch aktive Blockgletscher geben (P. BARRÈRE 1952). In diesem Gebirgsabschnitt ragen die höchsten Gipfel noch wenig über die Schneegrenze auf (vgl. P. HÖLLERMANN 1968).

Zweifellos gab es in den Pyrenäen mehrere Zeitphasen der Blockgletscherbildung und -bewegung, die z.T. noch ins Spätglazial, z.T. in die Phase der nachwärmezeitlichen ("neoglazialen") Klimaverschlechterung gestellt werden. Manche der großen Blockgletscherzungen sind aus 2 - 3 offensichtlich altersverschiedenen Abschnitten zusammengesetzt (Beispiele nördlich des Mont Canigou, in der Carlit-Gruppe und nordwestlich des Pic d'Envalira in Ostandorra). Für den Höhenbereich der inaktiven Blockgletscher in den Zentral- und Ostpyrenäen errechnen sich aus den nur sehr spärlich verfügbaren klimatischen Daten positive Jahresmittel der Temperatur (vgl. auch Abschnitt 3.3 und Fig. 13).

### 2.1.3 Blockgletscher in weiteren europäischen Gebirgen

In anderen europäischen Hochgebirgen sind Blockgletscher nach Ausweis der Literatur weniger verbreitet als in den Alpen und Pyrenäen. Aktive oder inaktive Formen werden erwähnt für die Gebirge Skandinaviens, wo sich auch eine Auseinandersetzung über die Abgrenzung von Blockgletschern und Moränen mit

Eiskern ("ice cored moraines") entwickelte (G. ØSTREM 1964, 1971, D. BARSCH 1971, D. BARSCH und U. TRETER 1976, N.J. GRIFFEY und W. B. WHALLEY 1979, W.B. WHALLEY 1976, J.-P. PEULVAST 1981), die Tatra in den Nord-Karpaten (E. de MARTONNE 1911, A. NEMCOK und T. MAHR 1974), die südspanische Sierra Nevada (P. PASCHINGER 1954, B. MESSERLI 1965) und beiläufig auch für das Gran Sasso-Gebiet im Zentral-Apennin (J. DEMANGEOT 1978, S. 216). In einigen Fällen lassen die Literaturangaben Zweifel zu, ob es sich jeweils um echte Blockgletscher handelt. Ohne eigene Geländeerfahrung kann diese Frage hier nicht diskutiert werden.

Hochozeanische winterschneereiche Abschnitte europäischer Gebirge sind nach bisheriger Kenntnis frei von aktiven Blockgletschern, mögen aber vorzeitliche Formen aufweisen. So wird von Blockgletschern aus dem Ausgang des Hochglazials und frühen Spätglazials im heute hochozeanischen Küstenbereich der Lofoten (Nord-Norwegen) berichtet (J.-P. PEULVAST 1981). Aktive Blockgletscher treten dann im kontinentaleren winterkalten südnorwegischen Hochland oberhalb von 1450 - 1500 m auf, wo sie eindeutig der subnivalen Fels-Schutt-Stufe zuzuordnen sind (D. BARSCH und U. TRETER 1976, S. 91). Die Jahresmitteltemperaturen liegen dort unter dem Gefrierpunkt.

Erstaufrüch erscheint, daß aus dem Kaukasus typische Blockgletscher m.W. bisher nicht bekannt geworden sind, obschon dort Permafrost in Höhen oberhalb von 2800 - 3400 m weit verbreitet ist (A.P. GORBUNOV 1978, S. 284 f.) und in manchen Gebirgsgruppen hochgradig schuttbedeckte Gletscher eine große Rolle spielen (Photo 5).

## **2.2. Nordamerikanische Hochgebirge**

### **2.2.1 Allgemeiner Überblick**

In den Nordamerikanischen Gebirgen, wo aktive oder fossile Blockgletscher von den randlichen Tropen (K. HEINE 1976) bis zur Arktis vorkommen (Fig. 5, Beilage), werden Regelmäßigkeiten der Verbreitung erst bei näherem Zusehen deutlich. Die Interpretation des Verbreitungsmusters in Fig. 5, das sich durch Auswertung einer umfangreichen Spezialliteratur und Ergänzungen durch eigene Beobachtungen und Luftbildauswertungen ergab, leidet notgedrungen an dem noch sehr lückenhaften Forschungsstand und fehlender Differenzierung nach dem Aktivitätsgrad der Formen.

In mittleren Breiten zwischen 35 und 60° N bleiben die küstennahen hochozeanischen und winterschneereichen Gebirge des Pazifischen Nordwestens frei von aktiven Blockgletschern (W.F. THOMPSON 1962, S. 215 f., O. SLAYMAKER und H.J. MCPHERSON 1977, S. 173, P. HÖLLERMANN 1980, S. 95, L.W. PRICE 1981, S. 208). In den Olympic Mountains (Washington), die auf der Karte scheinbar als Ausnahme von dieser Regel ins Auge fallen, handelt es sich um wenige vorzeitliche und z.T. zudem noch fragliche Vorkommen. Die höheren Lagen des Pazifischen Gebirgssystems sind mit Ausnahme des subtropischen Südteils stark

vergletschert. Während die Gletscher ihren Schwerpunkt an der luvwärtigen Gebirgsabdachung aufweisen, treten aktive Blockgletscher erst an der leewärtigen Innenseite des Pazifischen Gebirgssystems in nennenswerter Zahl hervor, wo die Vergletscherung abnimmt und der Übergang zum niederschlagsärmeren Binnenlandklima der abgeschirmten Intermontanregion erfolgt. Häufiger erscheinen Blockgletscher auch im subtropischen Südteil des Pazifischen Systems, wo in der Sierra Nevada die Existenzbedingungen für Gegenwarts-gletscher marginal werden.

Als blockgletscherreich treten viele Gebirgsgruppen der kontinentalen Rocky Mountains mit geringem Winterschneeanteil bei Niederschlagsmaximum im Frühjahr und Sommer hervor. Das gilt besonders für solche Gruppen, deren Gipfelhöhen nahe der heutigen Schneegrenze oder Vergletscherungsgrenze liegen, so daß die Gletscher dort gegenwärtig nur klein oder postglazial ganz geschwunden sind. Selbst in niedrigeren Gebirgsgruppen der Rocky Mountains können Blockgletscher verbreitet sein, doch dominieren dann gewöhnlich die fossilen Formen.

Die trocken-kontinentale Intermontanregion bietet ebenfalls günstige Voraussetzungen für das Vorkommen von Blockgletschern. Im südlichen Abschnitt erreichen allerdings nur wenige Gebirgsgruppen die notwendige Höhe, so daß die Formen dort mehr inselhaft-isoliert auftreten.

Insgesamt sind in den Mittelbreiten Nordamerikas die ozeanisch getönten und gletscherreichen Pazifischen Gebirge ärmer an aktiven Blockgletschern als die kontinentalen Rocky Mountains und binnenländischen Gebirgsgruppen der Intermontanregion mit geringer oder fehlender Gegenwartsvergletscherung. Vom pazifiknahen Saum zu den Rocky Mountains verschiebt sich zugleich das Niederschlagsmaximum vom Winter in die warme Jahreszeit, während die Wintertemperaturen stark absinken. Für die höheren Breiten in Nordwestkanada und Alaska gilt die Regel von der peripher-binnenländischen Zunahme der Blockgletscherverbreitung allerdings wohl nicht mehr (vgl. auch L. W. PRICE 1981, S. 208).

Weitere Blockgletscher oder nahestehende Formen aus dem Ostteil Nordamerikas, wie sie aus den Nord-Appalachen (Presidential Range in New Hampshire, vgl. J. W. GOLDTHWAIT 1913, E. ANTEVS 1932, S. 66, W. F. THOMPSON 1962, S. 213 f.) und von Baffin-Island beschrieben werden (G. ØSTREM 1964, H. R. THOMPSON 1957), bleiben in unserem Beitrag außer Betracht.

Nachfolgend werden regionale Beispiele für Gebirge im Westen Nordamerikas näher vorgestellt.

### 2.2.2 Gebirge des Pazifischen Nordwestens

Hierher gehört der pazifiknahe Gürtel vom Kanadischen Küstengebirge bis Nordwest-Kalifornien, wo bei ozeanischem bis hochozeanischem und besonders winterschneereichem Klima die Hochlagen reich an Gletschern sind, während aktive Blockgletscher selten oder gar nicht in Erscheinung treten. Inaktive Formen oder blockgletscherverdächtige Schuttansammlungen gibt es u. a. in den Olympic

Mountains und am Mount Rainier im Kaskadengebirge, Formen ungeklärter Aktivität in der Silver Star Mountain-Gruppe der Nordkaskaden (W.F. THOMSON 1962, S. 216, D.R. CRANDELL 1969, S. 32, D.R. CRANDELL und R.D. MILLER 1974, S. 38).

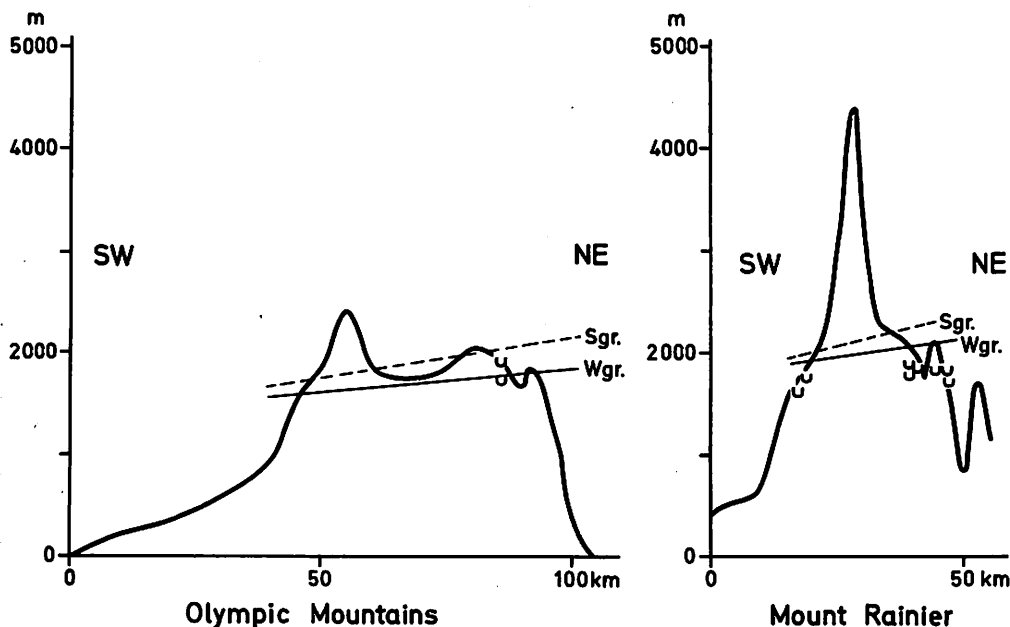


Fig. 6: Vorzeitliche Blockgletscher in Gebirgen des Pazifischen Nordwestens, Washington, U.S.A. (Olympic Mountains, Mount Rainier)

Bei hochozeanisch-schneereichem Klima rücken die Wald- und die Schneegrenze eng zusammen, so daß nur wenig Raum für die Entwicklung einer Periglazialstufe verbleibt (Fig. 6). An der Luvseite dieser Gebirge liegt die  $0^{\circ}$ -Jahresisotherme über der durch hohen Winterschneefall herabgedrückten Vergletscherungsgrenze. Erst im Lee des Kaskadengebirges, wo die Vergletscherungsgrenze über 2000 m ansteigt und der Niederschlag der Akkumulationsperiode unter 1500 mm absinkt, schneidet die  $0^{\circ}$ -Jahresisotherme die Vergletscherungsgrenze (S.C. PORTER 1977, S. 111). So haben Blockgletscher und blockgletscherverdächtige Formen ihren Verbreitungsschwerpunkt an den leewärtigen schneeärmeren Nordostseiten der Gebirge mit bereits etwas abgeschwächtem ozeanischen Einfluß und ansteigenden Höhengrenzen. Dort findet auch die aktuelle Periglazialstufe ihre relativ größte Vertikalausdehnung (Fig. 6). Die Blockgletscher der Olympic Mountains und des Mt. Rainier-Gebietes treten allerdings nahe der Waldgrenze und in der oberen Waldstufe als ausschließlich vorzeitliche Bildungen auf (wahrscheinlich aus dem Ausgang des Spätglazials, nach D.R. CRANDELL und R.D. MILLER 1974, S. 43). Die mittlere Höhendifferenz zwischen



dem Unterrand der Blockgletscher und dem höchsten Punkt ihrer Umrahmung beträgt im nordöstlichen Mt. Rainier-Gebiet rund 350 m, ähnlich wie bei den Vorzeitformen der Ostpyrenäen. — Aktive Blockgletscher sind weiter nördlich an der leewärtigen Binnenseite des Kanadischen Küstengebirges zusammen mit fossilen Formen anzutreffen (z.B. Skeena Mountains und Umgebung, nach N.F. ALLEY und G.K. YOUNG 1978, S. 24 ff.). Auch manche der von G. ØSTREM und K. ARNOLD (1970) auf Luftbildern identifizierten zahlreichen "ice-cored moraines" auf der Ostseite des Küstengebirges in British Columbia mögen in Wirklichkeit Blockgletscher sein. Erwartungsgemäß zeigen die Formen eine Präferenz für die Nordostseite der Gebirge mit bereits abgeschwächten ozeanischen Einflüssen.

### 2.2.3. Sierra Nevada in Kalifornien

Wie in vielen anderen Gebirgen sind auch in der kalifornischen Sierra Nevada Blockgletscher weiter verbreitet als die Literatur erkennen läßt (vgl. u.a. J.E. KESSELI 1941, C.D. RINEHART und D.C. ROSS 1964, J.H. BIRMAN 1964, R.R. CURRY 1968, 1970, Geologic Map of California 1:250000, Fresno Sheet 1966). Die Kartendarstellung der Fig. 7 bezieht außer Literaturangaben eigene Beobachtungen und Luftbildauswertungen ein, kann das reale Verbreitungsmuster aber nur unvollständig wiedergeben.

Entsprechend dem asymmetrischen Pultschollenbau der Sierra Nevada mit den höchsten Aufragungen und Steilformen nahe dem östlichen Rand häufen sich dort auch die Blockgletschervorkommen. Zudem ist die leewärtige Sierra-Ostabdachung trockener und kontinentaler. Blockgletscher meiden die besonders schneereiche Nord-Sierra; sie treten an der ozeanisch beeinflussten Westseite erst oberhalb der um 2500 - 2600 m gelegenen Höhenstufe maximalen Schneefalls auf. Die Schneedecke ist in der Hochregion durch Windumlagerung unzusammenhängend und stark relieforientiert. Vor allem in nordöstlich exponierten Karen und Talschlüssen kommt es zu Schnee-Einwehung und zur Ausbildung zahlreicher Firnflecken und kleiner "snowdrift glaciers", weit unter der regionalen Schneegrenze. Rund 46% der Gletscher und größeren Firnlager sowie rund 50% der Sierra-Blockgletscher treten in nordöstlicher Auslage auf (Fig. 14), wobei gebietsweise recht enge räumliche Beziehungen zwischen Gletschern, zungenförmigen Blockgletschern und "ice-cored moraines" bestehen. Nach unseren Detailkartierungen im Mount Whitney-Gebiet (Fig. 9) ist die Expositionspräferenz bei den Lobenformen weniger ausgeprägt als bei den zungenförmigen Blockgletschern. Aus den Hochlagen der mittleren Sierra sind Moränen mit Eiskern ("ice-cored moraines") bekannt, deren Blankeiskern als Gletschereis beschrieben wurde (F.E. MATTHES 1948, W.F. HEALD 1946/47, S.C. PORTER und DENTON 1967). Einige dieser Formen haben den Habitus von Blockgletschern.

Das Material der Blockgletscher wird in erster Linie von Massengesteinen (Granit, Granodiorit, Quarzmonzonit u.a.) geliefert, seltener von Metamorphiten. Vorzeitliche Blockgletscher herrschen in der Sierra Nevada gegenüber den aktiven Formen durchaus vor. Die jüngste Blockgletschergeneration soll wäh-

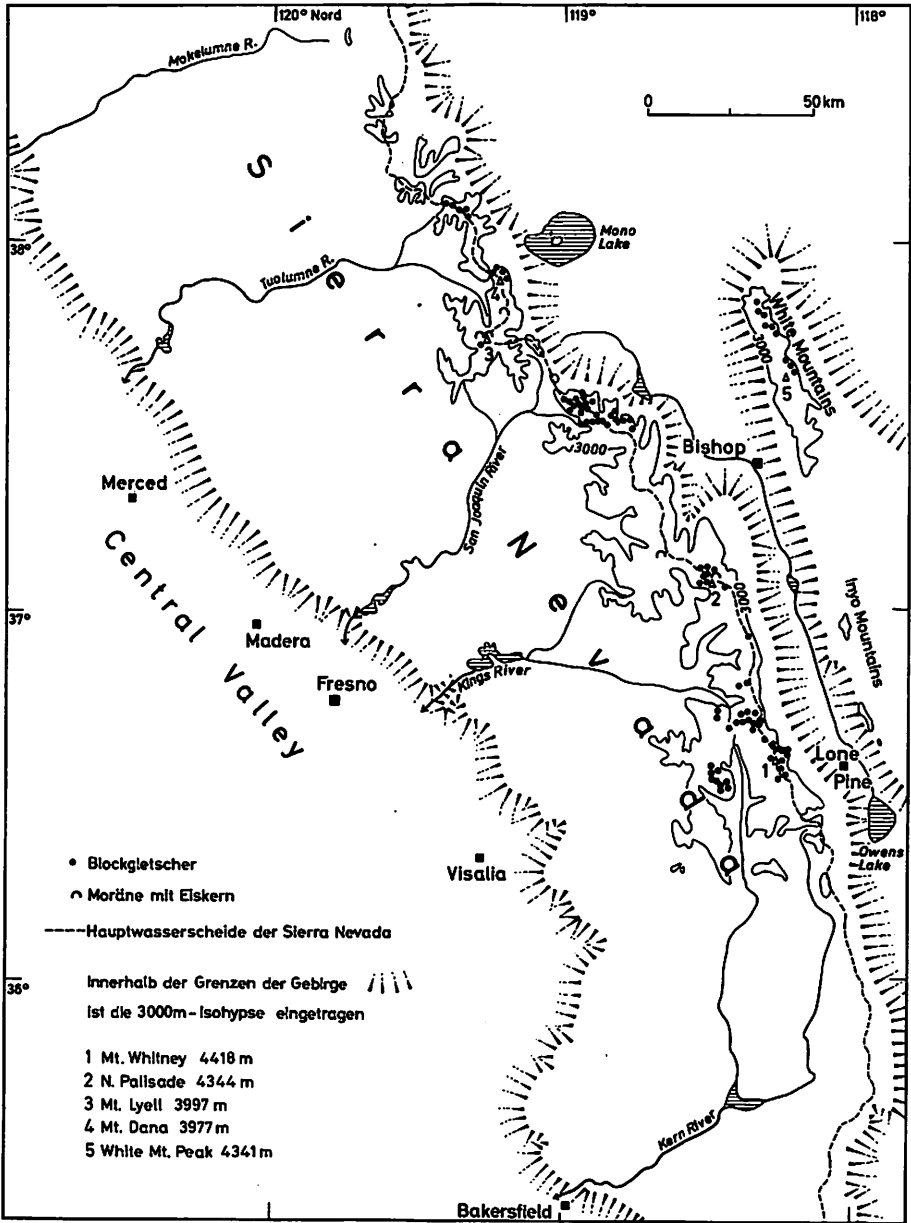


Fig. 7: Die Verbreitung von Blockgletschern in der Kalifornischen Sierra Nevada und den White Mountains

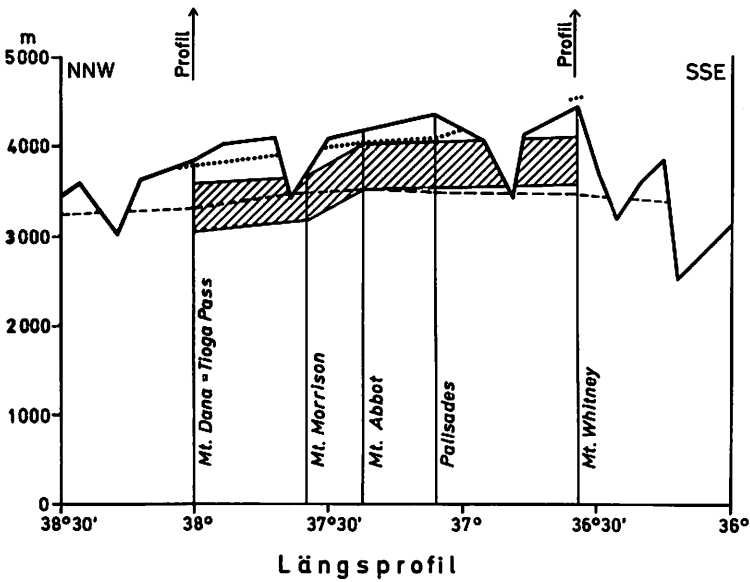
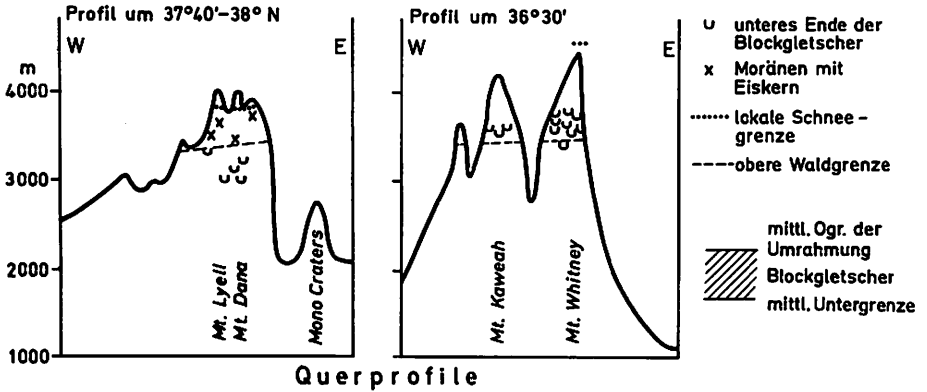


Fig. 8: Vertikale Verbreitung der Blockgletscher in der Sierra Nevada, Kalifornien

rend der letzten 700 Jahre entstanden sein (R.R. CURRY 1970, S. 22), die Mehrzahl der Formen aber aus älteren Phasen des Neoglazials (J.H. BIRMAN 1964) oder aus dem Spätglazial stammen (J.E. KESSELI 1941).

Der Kernbereich des Blockgletscher-Höhengürtels, abgegrenzt durch die mittlere Höhe der unteren Blockgletscher-Enden und der höchsten Punkte der Umrahmung, weist eine durchschnittliche vertikale Spannweite von rund 500 m auf und steigt im Längsprofil erwartungsgemäß von Norden nach Süden an (Fig. 8, unterer Teil). Dabei liegen im nördlichen Teil des Längsprofils die meisten Formen noch in der oberen Waldstufe und nahe der Waldgrenze, im südlichen Teil jedoch in der Hochgebirgsstufe oberhalb der Waldgrenze (Fig. 8 oben, Querprofile). Der Blockgletscher-Höhengürtel steigt also südwärts stärker an als die obere Waldgrenze. Die lokale Schneegrenze bzw. Vergletscherungsgrenze steigt südwärts noch kräftiger an als die anderen Höhengrenzen und erhebt sich in der südlichen Sierra über das Gipfelniveau. Wo im mittleren Abschnitt der Hohen Sierra (um  $37^{\circ} 15'$  -  $37^{\circ} 30'$  N) das Einzugsgebiet der Blockgletscher am nächsten an die lokale Vergletscherungsgrenze heranreicht, sind aktive Blockgletscher am häufigsten anzutreffen und überwiegen augenscheinlich in Höhen ab 3500 - 3650 m. In der südlichen Hohen Sierra (Mount Whitney-Gebiet, Fig. 9, Beilage) sind hingegen selbst Formen bei 3800 m Höhe eingesunken und offensichtlich unbewegt (Photo 6). Aus den klimatischen Daten läßt sich entlang unseres Längsprofils ein Anstieg der  $0^{\circ}$ -Jahresisotherme von ca. 3400 m im Norden auf über 3800 m im Süden errechnen. Diese Höhen würden annähernd mit der Untergrenze der aktiven Blockgletscher und der Moränen mit Eiskern übereinstimmen, während in tieferen Lagen fossile, stark kollabierte und teilweise bewachsene Formen auftreten. Die Grundlagen der klimatischen Berechnungen sind freilich unsicher, so daß z.B. R.R. CURRY (1970, S. 10 f.) zu höheren Lagen der  $0^{\circ}$ -Jahresisotherme in der Sierra kommt.

#### 2.2.4 Gebirge der Basin and Range-Provinz

Die im Lee der Sierra Nevada gelegenen **White Mountains** (Kalifornien/Nevada um  $37^{\circ} 45'$ N, vgl. Fig. 7) bleiben mit 4341 m Gipfelhöhe nur wenig gegenüber der Hohen Sierra zurück, sind aber weniger schroff und ohne Gegenwartsgletscher. Wo vom breit rückenförmigen Hochland im nördlichen Gebirgstiel Winterschnee in die nordöstlich exponierten Talenden eingeweht wurde und pleistozäne Talgletscher entstehen ließ, finden sich jetzt in den höchstgelegenen Talschlüssen und Karen um 3500 m und darüber zusammen mit anderen Schuttmassen ca. 10 Blockgletscher, die nach D.R. POWELL (1963, S. 97) rezenten bzw. neoglazialen Alters sein sollen. Die Bevorzugung der Nordostexposition infolge Relief- und Windeinfluß ist hier gegenüber der Hochsierra noch gesteigert.

Als Beispiel für die weitgehend isolierten Hochgebirgsgruppen im Inneren der Basin and Range-Provinz sei das **Wheeler-Peak-Gebiet** (3981 m) in der Snake Range (Ost-Nevada um  $38^{\circ} 50'$ N) genannt. Eine mehrgliedrige Block-

gletscherzunge tritt im Nordostkar des Wheeler Peak auf (vgl. auch F.L. KRAMER 1962). Der obere, in sich mehrgliedrige Abschnitt der Zunge steht am Fuß der Karwand noch mit einem lawinenernährten Eis- und Firnrest in Verbindung und endet tiefenwärts mit einer steilen und wahrscheinlich aktiven Stirnböschung um 3230 m Höhe. Der talwärts anschließende Abschnitt der Blockgletscher- und Moränenmasse ist seit langem unbewegt und z.T. baumbestanden, u.a. auch mit recht alten Exemplaren von *Pinus aristata*.

Wenig weiter südlich treten im Nordostkar des Baker Peak (3748 m) ebenfalls mehrgliedrige Blockgletscherablagerungen auf. An eine in die Waldstufe herabreichende Zunge im North Fork-Tal des Baker Creek schließen sich weiter kareinwärts Loben und Blockschuttwülste an (Photo 7). Hier dürfte eine räumliche und zeitliche Sequenz von einem zungenförmigen Talblockgletscher zu lobenförmigen Hangblockgletschern vorliegen, wobei gegenwärtig wohl nur noch die innersten Blockschuttwülste am Fuß von Sturzhalden der Karumrahmung aktiv sind. Die zungenförmigen Talblockgletscher der Snake Range haben Nordostauslage in pleistozänen Kären, während loben- und wulstförmige Hangblockgletscher auch in Nordexposition auftreten.

Die Höhendifferenzen zwischen der Untergrenze aktiver Blockgletscher und der nur theoretisch bestimmbareren Schneegrenze lassen sich lediglich in der Größenordnung auf 600 - 700 m für das Wheeler Peak-Gebiet und auf über 750 m für die nördlichen White Mountains abschätzen. Gegenüber der mittleren Sierra Nevada mit ca. 400 m Höhendifferenz bedeutet das jedenfalls eine erhebliche Steigerung, bedingt durch die Aufwölbung der Schneegrenze bzw. Vergletscherungsgrenze über dem abgeschirmten trocken-kontinentalen Großen Becken. Natürlich ist in den Trockengebieten auch die Höhenspanne zwischen dem unteren Blockgletscherende und dem höchsten Punkt der Umrahmung besonders groß (um 750 m am Wheeler Peak).

Blockgletscher in Gebirgen des Colorado Plateaus, die dem Verfasser nicht aus eigener Anschauung bekannt sind, bleiben hier außer Betracht. Dazu gehören die zumeist wohl fossilen Vorkommen vom Aquarius Plateau und in den La Sal Mountains, Utah (R.F. FLINT und C.S. DENNY 1958, G.M. RICHMOND 1952, 1962, I. HENNING 1975), vom Kendrick Peak, Arizona (D. BARSCH 1970, D. BARSCH und R.G. UPDIKE 1971a, 1971b) und aus den San Mateo Mountains, New Mexico (J.M. BLAGBROUGH und S.E. FARKAS 1968). Einige dieser Blockgletschervorkommen sind dadurch von Interesse, daß sie in ehemals unvergletscherten Gebieten liegen.

### 2.2.5 Rocky Mountains

Viele Gebirgsgruppen der Rocky Mountains sind reich an Blockgletschern, zumal wenn der noch recht lückenhafte und regional ungleiche Forschungsstand berücksichtigt wird.

Für die südlichen Rocky Mountains ist das Bild der Blockgletscherverbreitung in Colorado (Fig. 10) mit einer Formenhäufung in der Front

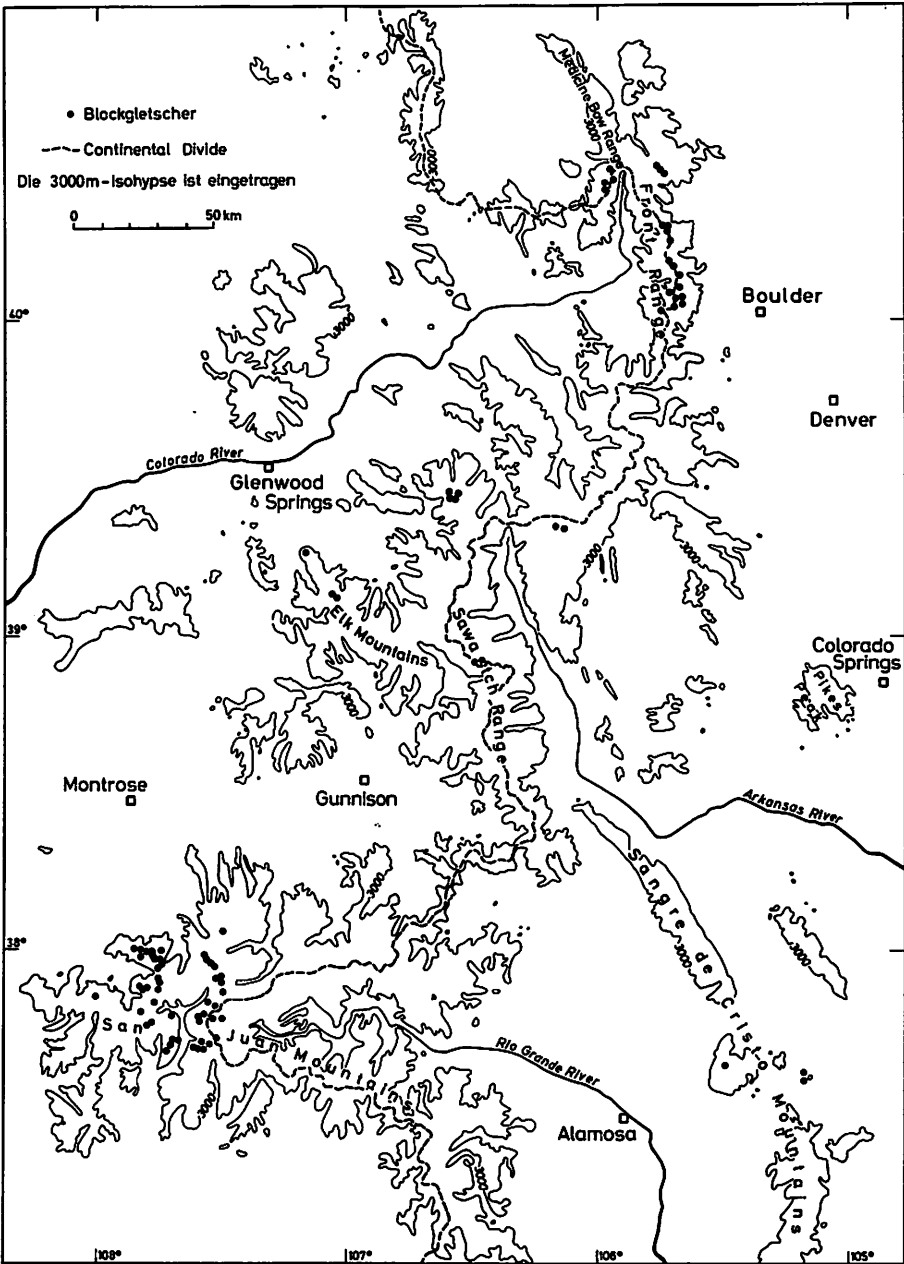


Fig. 10: Blockgletscher in den Gebirgen von Colorado

Range und in den San Juan Mountains bei nur sporadischen Signaturen im übrigen Gebiet (Elk Mountains, Sawatch Range, Sangre de Cristo Mountains) wohl ebenfalls noch sehr unvollständig.

In der nördlichen Colorado Front Range (Fig. 11) existieren nach S.E. WHITE (1976) 18 zungenförmige und 130 aktive lobenförmige Blockgletscher. Die zungenförmigen Blockgletscher treten nahe dem Hauptkamm der Continental Divide oder an begleitenden Bergkämmen auf. Bei überwiegend meridionalem Verlauf der Erhebungen und sehr starken Luftbewegungen aus westlichen Richtungen findet eine Schneeumlagerung in die leeseitigen Hohlformen statt. Dort liegen dann östlich der Divide oder ihrer Begleitkämme die meisten kleinen Gegenwartsgletscher und Firnlager, aber auch 12 der 18 zungenförmigen Blockgletscher, mehrere davon im Anschluß an Gletscher und mit Übergängen zu Moränenablagerungen (Fig. 11). In 11 dieser 12 Blockgletscher ist ein Eiskern nachgewiesen oder sehr wahrscheinlich (S.E. WHITE 1976). Im oberen Abschnitt des Arapaho-Blockgletschers besteht der Eiskern aus gebändertem fossilen Gletschereis mit einem Alter von rund 1000 Jahren (S.I. OUTCALT und J.B. BENEDICT 1965, J.B. BENEDICT 1973, S.E. WHITE 1975). Ein entsprechendes Alter des Blockgletschers ergibt sich auch lichenometrisch (S.E. WHITE 1975). Der immer noch in bescheidendem Maße aktive Blockgletscher ist somit zweifellos älter als die benachbarten Gegenwartsgletscher; er steht zu diesen zwar in räumlicher, aber nicht in unmittelbarer genetischer Beziehung (Photo 8). Das Beispiel wird hier erwähnt, weil auch in vielen anderen Fällen offensichtlicher räumlicher Beziehungen zwischen Gletschern und Blockgletschern nicht ohne weiteres auf direkte genetische Beziehungen geschlossen werden darf.

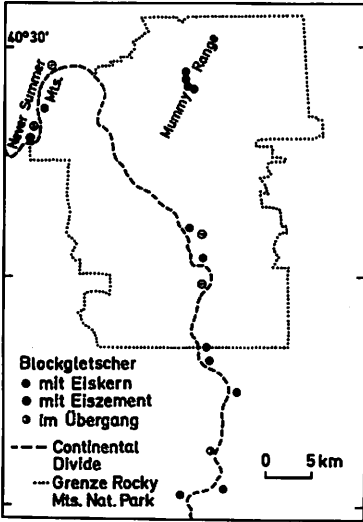
Die luvwärtigen Blockgletscherzungen an der Westabdachung der Front Range-Divide enthalten (bis auf eine Ausnahme) keinen Eiskern, sondern lediglich Eiszement ("interstitial ice") wie auch die zahlreichen aktiven Lobenformen. Insgesamt weisen die Lobenformen in ihrer horizontalen und vertikalen Verbreitung sowie in der Expositionspräferenz einen größeren Spielraum auf als die Zungenformen (R.L. IVES 1940, S.I. OUTCALT und J.B. BENEDICT 1965, S.E. WHITE 1971a, 1971b, 1975, 1976, 1981, R.F. MADOLE 1972, N. CAINE 1978). Die Blockgletscher der Colorado Front Range werden drei Altersphasen des Neoglazials zugeordnet, wobei die größeren Zungen zumeist zusammengesetzte Formen aus mehreren Phasen darstellen.

In der Sawatch Range fehlen Gegenwartsgletscher, doch entstanden Blockgletscher in älteren Phasen der Nachwärmezeit zwischen etwa 4000 - 1000 Jahren b.p., als in den Hochlagen marginale Bedingungen der Gletscherbildung existierten (C.D. MILLER 1973). Die Blockgletscher sind z.T. heute noch aktiv und reichen bis gegen 3450 m herab.

Für die Elk Mountains wurden die aktiven und fossilen Blockgletscher des Mount Sopris-Gebietes durch P.W. BIRKELAND (1973) eingehender untersucht und in ihrer Bildungszeit verschiedenen Phasen des Spät- und Postglazials zugeordnet.

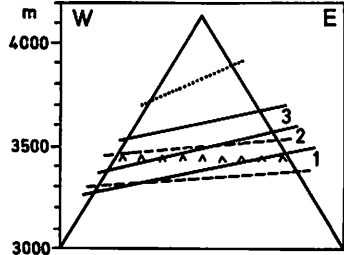
**Zungenförmige Blockgletscher in der nördl. Front Range u. im Rocky Mts. National Park**

(nach White 1976, verändert)



**Vertikalverbreitung von Blockgletschern in der Colorado Front Range (Indian Peaks)**

(nach Madole 1972)

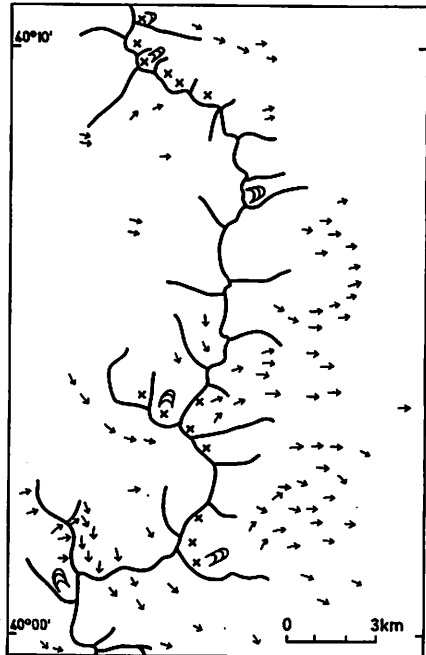


- ..... mittlere Gletscherhöhe
- Ø Ugr. zungenförmiger Blockgletscher
- - - Ø Ugr. lobenförmiger Blockgletscher
- ^^^ mittl. Obergrenze des Waldes

Altersgliederung:

- 1 Temple Lake Stadium (2500-700 v. Chr.)
- 2 Arikaree-Stadium (100-1000 n. Chr.)
- 3 Gannet Peak Stadium (1650-1850 n. Chr.), undifferenziert

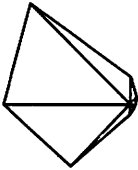
**Ausschnitt Indian Peaks Sektion der Colorado Front Range**



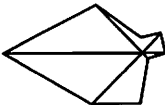
- ↷ zungenf. Blockgletscher
  - x Gletscher und Firn
  - r, bodennahe Winde
- (nach Holtmeier 1978)

**Windrichtungs-Diagramme**

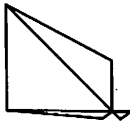
(nach Judson 1977 und Holtmeier 1978)



500mb-Niveau bei Boulder (1958 bis 1974)



Fool Creek (3239m) (1968 bis 1974)



Mines Peak (3810 m) (1958 bis 1974, nur Winter)

Fig. 11: Blockgletscher in der Colorado Front Range



Im klassischen Blockgletschergebiet der San Juan Mountains in Südwest-Colorado (W. CROSS und E. HOWE 1905, E. HOWE 1909, A.D. HOLE 1912, W.H. BROWN 1925, W.W. ATWOOD und K.F. MATHER 1932, G. WHITE 1979) gibt es gegenwärtig ebenfalls keine Gletscher mehr, doch finden sich aktive Blockgletscher in gebietsweise erheblicher Dichte bis durchschnittlich etwa 3600 m herab. Wenn der in mehreren Zungen nachgewiesene Eiskern tatsächlich Gletschereis darstellt (so W.H. BROWN 1925, sowie F. JOHNSON 1973 in P.E. CARRARA und J.T. ANDREWS 1975) und sich zugleich bestätigt, daß die Vergletscherung dieses Gebietes bereits vorwärmezeitlich fast 8000 Jahre b.p. ihr Ende fand (P.E. CARRARA und J.T. ANDREWS 1975, J.T. ANDREWS, L.D. WILLIAMS und P.E. CARRARA 1976, S. 97), müßte das Gletschereis in den Blockgletscherzungen viele tausend Jahre unter Permafrostbedingungen überdauert haben. Das wäre dann ein besonders eindrucksvolles Beispiel, daß aktive Blockgletscher mit noch vorhandenem Gletschereiskern bereits ein hohes Alter aufweisen können. Nach D. BARSCH (1982 und mündl. Mitteilung) soll es sich an der klassischen Lokalität im Hurricane Basin allerdings nicht um Gletschereis handeln, sondern um seitlich zugeführtes wiedergefrorenes Schmelzwasser.

Bei den seit langem bekannten Blockgletschern der Sangre de Cristo Mountains in Süd-Colorado (C.E. SIEBENTHAL 1907, H.B. PATTON 1910, S.E. MORRIS 1981), deren Untergrenze im Blanca-Massiv bei 3600 - 3700 m liegt, nimmt das Vorkommen am östlich vorgelagerten Mount Mestas (= La Veta Peak) eine Ausnahmestellung ein, da es bei abnorm tiefer Lage (Untergrenze 2750 m) inmitten der Waldstufe Eis enthält (R.B. JOHNSON 1967). Hier dürfte in der Tat die alte Vorstellung einer Entstehung aus Bergsturzablagerungen Berechtigung haben, in deren Schutt sich bei topoklimatischer Begünstigung Eis als sporadischer Permafrost bilden und erhalten konnte.

In den mittleren Rocky Mountains treten Blockgletscher mit einiger Dichte in den höchsten Berggruppen des Wasatch-Gebirges (Utah) auf. Im Einzugsgebiet des Little Cottonwood Canyon (um Alta) handelt es sich bei mäßigen Gipfelhöhen allerdings ganz überwiegend um fossile Formen mit Verbreitungsmaximum in nördlich und nordöstlich exponierten Karen und Talschlüssen (R.L. IVES 1950, G.M. RICHMOND 1964). Es lassen sich mehrere Altersstadien in mittleren Höhenlagen um 2990 - 3035 m unterscheiden. Augenscheinlich aktive oder reaktivierte Formen werden aus den höchstgelegenen Karen über 3100 - 3150 m im Anschluß an Sturzhalden beschrieben. Weiter südlich wurden einzelne Blockgletscher in der Mount Timpanogos-Gruppe nachgewiesen. (L.W. ANDERSON und D.S. ANDERSON 1981). Bei diesen mehrgliedrigen Formen sind die oberen Abschnitte augenscheinlich noch aktiv, während die unteren fossilen Partien aus dem frühen Neoglazial stammen sollen. Die angebliche Moräne des "historischen Stadiums" im Timpanogos-Kar (G.M. RICHMOND 1964, S. D 29) hat sich als Blockgletscher erwiesen.

Gleichfalls zu den mittleren Rocky Mountains zählen die Blockgletscher der nördlichen Absaroka Mountains in Nordwest-Wyoming, die z.T. Anschluß an

noch bestehende Gletscher nördlich und östlich der Divide haben (H.W. PARSONS 1939, N. POTTER 1969, 1972). Der von N. POTTER (1972) besonders eingehend behandelte Galena Creek-Blockgletscher soll im oberen Abschnitt einen Gletschereiskern enthalten, was von D. BARSCH (1982 und mündl. Mitteilung) aufgrund seiner Geländebefunde allerdings in Zweifel gezogen wird.

Für die nördlichen Rocky-Mountains ist die Kenntnis von der Formenverbreitung noch weithin lückenhaft. Ziemlich häufig sind aktive Blockgletscher und nahestehende Bildungen nach gegenwärtiger Kenntnis im Kanadischen Abschnitt des Gebirges zwischen ca. 51 - 53° N (vgl. u.a. J.P. JOHNSON 1969, J. GARDNER 1972, G. ØSTREM und K. ARNOLD 1970, G.D. OSBORNE 1975, P.R. DINGWALL 1973, O. SLAYMAKER und H.J. McPHERSON 1977, B.H. LUCKMAN und K.J. CROCKETT 1978, S.A. HARRIS 1979, 1981b, S.A. HARRIS und R.J.E. BROWN 1982). Viele Zungen treten peripher zu noch bestehenden Gletschern auf, d.h. als periglaziale Erscheinungen im ursprünglichen, räumlich gemeinten Sinn.

Über die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher in den Rocky Mountains informiert Tabelle 1, welche den Verlauf der Untergrenze dieser Formen mit anderen naturräumlichen Höhengrenzen vergleicht. Obwohl die verfügbaren Informationen noch recht lückenhaft und manche Höhenangaben unsicher sind, werden doch einige allgemeine Regelmäßigkeiten deutlich.

Tab. 1: Die Untergrenze aktiver Blockgletscher in den Rocky Mountains (Südkanada und USA) im Vergleich zu anderen Höhengrenzen.

Gebiet und Breitenlage	Mittl. Untergr. aktiver Blockgl.	Obere Waldgr.	Vergletscherungsgrenze	Literaturbezug
Jasper Nat. Park nahe Jasper, 52° 45'	2100 - 2200 m?	2200 m	2600 m	J.P. JOHNSON 1969
Banff Nat. Park, 51 - 52° 15'	2400 m	2350 m	2950 - 3000 m	S.A. HARRIS 1970
Nördl. Absaroka Mts., 44° 38' Wyoming	2680 m	2900 - 3000 m	3600 - 3700 m?	N. POTTER 1972
Südl. Wasatch Mts., Utah, 40° 35'	3150 m	3000 - 3250 m	3700 - 3900 m?	G.M. RICHMOND 1964
Front Range, Colorado, 40 - 40° 15'	3340 m	3450 m	3700 - 3900 m	S.E. WHITE 1976 R.F. MADOLE 1972
Nördl. Sawatch Range, Colorado, 39° 35'	3470 m	3500 - 3550 m	4300 m	C.D. MILLER 1973
San Juan Mountains, Colorado 37° 40' - 38° 05'	3600 m	3600 - 3650 m	4400 - 4500 m	P.E. CARRARA & J.T. ANDREWS 1975
Blanca-Massiv, Sangre de Cristo Mts., Colorado 37° 35'	3650 m	3600 - 3650 m	4400 - 4500 m	S.E. MORRIS 1981
Mt. Mestas, Sangre de Cristo Mts., Colorado, 37° 30'	2750 m	3500 m?	4300 m?	H.B. PATTON 1910, R.B. JOHNSON 1967

Erwartungsgemäß ergibt sich ein Anstieg der Untergrenze aktiver Blockgletscher von Norden nach Süden gleichsinnig mit anderen naturräumlichen Höhengrenzen, wobei lediglich das Vorkommen am Mount Mestas mit seiner schon angesprochenen Sonderstellung als Ausnahme hervortritt. Anders als in den Alpen, wo die aktiven Blockgletscher ihren Schwerpunkt in der subnivalen Frostschuttstufe finden, reichen die Formen in den kontinentaleren Rocky Mountains bis zur oberen Waldgrenze oder sogar noch etwas tiefer herab. Der Anstieg der Höhengrenzen zum Kulminationsgebiet in Südwest-Colorado, das bei erheblicher Massenerhebung und Abschirmung ein strahlungsreiches und relativ trockenes Kontinentalklima aufweist, vollzieht sich für die Untergrenze der aktiven Blockgletscher weniger stark als für die Vergletscherungsgrenze. Damit bestätigt sich hier großräumig und ausgeprägter der bereits aus den Alpen bekannte Trend im Verhalten beider Höhengrenzen (vgl. S. 15). Der Vertikalabstand beider Grenzen erreicht in Südwest-Colorado rund 800 - 900 m und ist damit noch größer als in den Gebirgen der Basin and Range-Provinz.

#### 2.2.6 Nordwest-Kanada und Alaska

Obwohl aus diesem Raum eigene Geländebegehungen ausstehen, wird er in die Untersuchung einbezogen, um die Regelhaftigkeiten der Blockgletscherverbreitung für Nordamerika auf breiterer Basis verfolgen zu können.

Aus dem südwestlichen Yukon Territory und benachbarten Gebirgen Alaskas (60 - 64° N) werden große aktive Blockgletscherzungen beschrieben und abgebildet, welche die obere Waldstufe erreichen und in einigen Fällen sogar Baumwuchs nahe dem unteren Ende tragen (vgl. H.L. FOSTER und G.W. HOLMES 1965, O.L. HUGHES 1966, L.E. JACKSON und G.M. MACDONALD 1980, J.P. JOHNSON 1973, S. 86, L.W. PRICE 1981, S. 206). Der Bewuchs kann dort nicht generell als Indikator fehlender Aktivität gewertet werden, obwohl z.T. mit einer Reaktivierung von zuvor im stabilen Zustand bewachsener Zungenpartien zu rechnen ist. Das Yukon Territory gehört bereits der Zone des diskontinuierlichen Permafrostes an; dennoch bleiben die aktiven Blockgletscher auf eine bestimmte Höhenstufe der Gebirge beschränkt.

Fig. 12 stellt die vertikale Blockgletscherverbreitung in Gebirgen Alaskas anhand der Untersuchungen von C. WAHRHAFTIG und A. COX (1959) in der Alaska Range und von J.M. ELLIS und E.C. PARKER (1979) in der östlichen zentralen Brooks Range dar. Leider sind die Zahlenangaben beider Arbeiten nur eingeschränkt vergleichbar. Fig. 12 zeigt jeweils die vertikale Spannweite von Gletschern, aktiven und fossilen Blockgletschern in nordseitigen Auslagen, wobei die mittleren Gletscherhöhen sowie die mittleren Höhenlagen der Blockgletscher-Untergrenzen zur besseren Vergleichbarkeit durch Linien verbunden worden sind.

In der Alaska Range führt der Übergang vom relativ wintermilden Klima der Südseite zum Kontinentalklima Inneralaskas auf der Nordseite zu einem Anstieg der Höhengrenzen nach Norden, abweichend von den allgemeinen planetari-

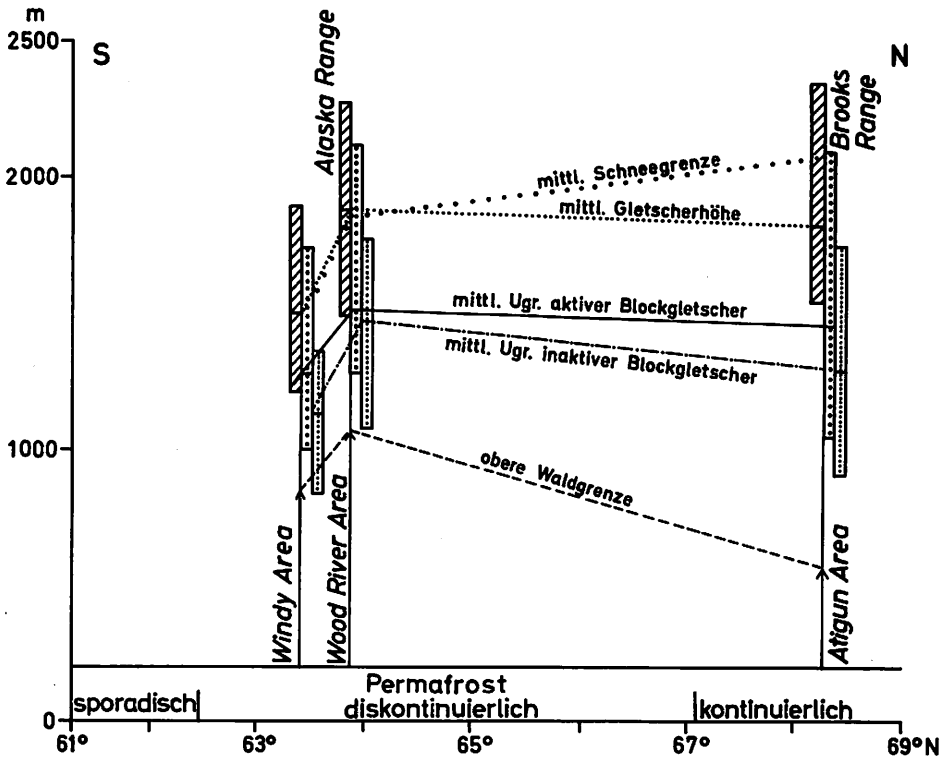


Fig. 12: Vertikalverbreitung von Blockgletschern und Gletschern in Alaska

schen Regelmäßigkeiten. Dabei steigt die Vergletscherungsgrenze mit wachsender Kontinentalität nordwärts stärker an als die Untergrenze der aktiven Blockgletscher (C. WAHRHAFTIG und A. COX 1959, S. 408). Die mittlere Untergrenze der aktiven Blockgletscher liegt nahe der mittleren Höhe der Gletscherenden. Obwohl dieser Teil der Alaska Range der Zone des diskontinuierlichen Permafrostes angehört, bleiben die aktiven Blockgletscher auf die Hochgebirgsstufe ca. 400 - 450 m oberhalb der Waldgrenze beschränkt. Ihr Verbreitungsmuster schließt sich mehr an die mittlere Höhenverbreitung der Gletscher als an die Permafrostzonierung an.

Die großen und tief herabreichenden Gletscher allerdings, wie sie im Mount McKinley-Gebiet oder in den Icefield Ranges im Übergang zum Yukon Territory auftreten, dringen weit über die Blockgletscher-Höhenstufe bis in die Waldstufe vor und schmelzen dort in der Regel als schuttbedecktes Toteis oder weitgehend stagnierendes Eis in situ ab.

In der Brooks Range, welche das Kontinentalklima Inneralaskas vom arktischen Klima des North Slope scheidet, ist die mittlere Höhe der Gletscher und

Blockgletscher trotz des beträchtlichen Breitenunterschiedes nur wenig geringer als in der Alaska Range. Obwohl die Brooks Range der Zone des kontinuierlichen Permafrostes angehört, finden die aktiven Blockgletscher bereits in der Hochgebirgsstufe weit oberhalb der Waldgrenze ihre untere Begrenzung. Die mittlere Höhe der Untergrenze aktiver Blockgletscher schließt sich eng an den unteren Grenzsaum der Gletscher an (J.M. ELLIS und E.C. PARKER 1979, S. 417). Gletscher wie aktive Blockgletscher bevorzugen die Nordostexposition. Eine breite Überlappung und Vergesellschaftung von aktiven und fossilen Blockgletschern verschiedener Form, von Moränen- und Haldenmaterial zeigt an, daß über das Großklima hinaus im einzelnen lokale Faktoren für die Lage der aktiven Blockgletscher bestimmend sind.

Anders als in den Rocky Mountains beschränken sich die aktiven Formen in den Gebirgen Alaskas auf den oberen Abschnitt des Periglazialgürtels nahe dem unteren Grenzsaum der Gletscher und fügen sich nicht in die Permafrostzonierung ein. Da die thermischen Bedingungen der Blockgletscherbildung weit über das tatsächliche Verbreitungsgebiet hinaus vorhanden sind, liegt es nahe, zumindest für die Brooks Range an eine hygrische Begrenzung durch die spärlichen Schneeniederschläge im arktisch-kontinentalen Bereich zu denken (Atigun Pass bei 1440 m angeblich nur 40 mm Jahresniederschlag). Das würde eine Bindung an die Gletscher und deren Schmelzwässer verständlich machen, doch ist auch eine Beteiligung des Relieffaktors (Beschränkung der Steilformen, Kare und Tal-schlüsse auf große Höhen) nicht auszuschließen.

### 3. ALLGEMEINE ERGEBNISSE

#### 3.1 Formenhäufigkeit und -dichte

Die erste der einleitend gestellten Fragen läßt sich aufgrund des regionalen Überblicks so beantworten, daß es bei der Häufigkeit und Dichte der Blockgletscher in den verschiedenen Hochgebirgen deutliche und regelhafte Abstufungen gibt, daß die Bedeutung dieser Mesoförmungen innerhalb der heutigen Periglazialstufe also einer räumlichen Differenzierung unterliegt. Von ozeanischen und winter-schneereichen Gebirgen mit ausgedehnter Vergletscherung in den Hochlagen wächst die Zahl und die Flächenbedeckung der aktiven Blockgletscher zu winter-schneearmen, kontinental-winterkalten und trockenen Gebirgen im Grenzbereich der gegenwärtigen oder postglazialen Gletschervorkommen an. Diese Regel dürfte uneingeschränkt allerdings nur für Gebirge in mittleren Breiten gelten und ist nach vorliegender Kenntnis nicht auf den arktisch-kontinentalen Bereich anzuwenden. Allgemeine Voraussetzungen für die Entwicklung der Formen sind die reichliche Verfügbarkeit von Schutt und ein Klima, das zwar die Erhaltung oder Neubildung von Eis in den Schuttkörpern ermöglicht, aber nicht zu einer ausgedehnten Vergletscherung bis in tiefe Lagen herab führt. Diese Bildungsbedingungen sind in kontinentalen und relativ trockenen Gebirgen am besten gewährleistet.

Unter ozeanischen Bedingungen mit hohem Winterschneeanteil und gut ernährten Gletschern fehlen aktive Blockgletscher völlig oder treten nur ausnahmsweise und mit unbedeutendem Flächenanteil auf<sup>2)</sup>. Im Kernbereich der Zentralalpen mit Übergangsklima bis mäßig kontinentalem Klima lassen sich Blockgletscherdichten von über 10 (gebietsweise sogar über 15) Formen pro 100 qkm finden. Ihr Flächenanteil kann 0,5 - 1% der Gesamtfläche erreichen oder übersteigen. Entsprechende Werte sind auch aus den Angaben von D. BARSCH (1977b) für die aktiven Blockgletscher der Schweizer Alpen abzuleiten. Für die kontinentalen nordwestlichen San Juan Mountains in Colorado ergibt sich auf der Grundlage von 10 topographischen Kartenblättern mit einer Gesamtfläche von reichlich 1500 qkm eine mittlere Blockgletscherdichte von knapp 10 pro 100 qkm, allein für das Blatt Telluride (Quadrangle Map 1 : 24000) eine solche von 21 Formen auf 100 qkm mit einem Flächenanteil der Blockgletscher von 4,5 - 5% der gesamten Kartenfläche (nach den Daten von J.T. ANDREWS, L.D. WILLIAMS und P.E. CARRARA 1976, S. 89 und Kartenbeilage).

Für die überwiegend vorzeitlichen Blockgletscher der kalifornischen Sierra Nevada lassen sich in begrenzten Gebieten Dichtewerte von über 20 Formen pro 100 qkm bei Flächenanteilen von 3 - 3,5% bestimmen, z.B. im Südteil der Mount Morrison Quadrangle Map oder in der Umgebung des Mount Whitney (vgl. Fig. 9).

Solche bislang erst begrenzt verfügbaren Zahlenangaben über die Häufigkeit und Flächendeckung der Blockgletscher sind allerdings nicht uneingeschränkt großräumig zu vergleichen, weil dazu der — nicht immer sicher bekannte — Aktivitätsgrad berücksichtigt und die Bezugsbasis standardisiert werden müßte. Je größer das für die zahlenmäßige Auswertung herangezogene Untersuchungsgebiet ist, umso geringer wird in der Regel der Anteil der Hochgebirgsstufe und damit des potentiellen Verbreitungsraumes von Blockgletschern sein. Würde man die Daten nicht allgemein auf die gesamte Kartenfläche beziehen, sondern nur auf die Fläche der Periglazialstufe, dann träten die realen Dichtewerte und Flächenanteile der Formen in den Kernräumen der Blockgletscherverbreitung umso deutlicher hervor.

### 3.2 Blockgletscher und Gletscher

Blockgletscher konnten sich sowohl in enger räumlicher Beziehung zu Gletschern als auch völlig unabhängig davon entwickeln. So sind die Formen sogar aus Gebieten bekanntgeworden, die nachweislich niemals einer Gebirgsvergletscherung unterlagen. Ein solcher Nachweis ist dort zu führen, wo gläziales und periglaziales Milieu und damit auch Gletscher und Blockgletscher räumlich weit auseinanderrücken, d.h. in Gebirgen des subtropischen trocken-warmen oder des subarktischen trocken-kalten Bereiches, wo die Gletscherentwicklung aus hygrischen

2) Daß bei nur geringer Vergletscherung und hohem Schuttanfall Blockgletscher durchaus auch unter ozeanischen Bedingungen auftreten können, zeigen die Beobachtungen von R. BIRNIE und G. THOM (1982) in Süd-Georgien (Subantarktis).

Gründen eingeschränkt ist. So wurden zumeist fossile Blockgletscher in Gebirgsgruppen der südwestlichen USA angetroffen, die niemals bis in die glaziale Stufe aufragten, wohl aber kaltzeitlich-periglazialen Bedingungen unterlagen (Gebirgsgruppen der Sangre de Cristo Mts. in Süd-Colorado: H.B. PATTON 1910, R.B. JOHNSON 1967, der San Mateo Mts. in New Mexico: J.W. BLAGBROUGH und S.E. FARKAS 1968, sowie der San Francisco Mts. in Arizona: D.W. JOHNSON 1910 passim, D. BARSCH 1970, D. BARSCH und R.G. UPDIKE 1971a, 1971b). Beispiele für Blockgletscher in kalt-trockenen Gebieten ohne vorangegangene Gebirgsvergletscherung lassen sich aus Nordwest-Kanada beibringen (z.B. H.T.U. SMITH 1973, S.A. HARRIS 1981b, briefliche Mitteilung 1982). Mag man in Einzelfällen die Feldbefunde in Frage stellen oder mit Sonderbedingungen rechnen können, so bleibt insgesamt doch unbestreitbar, daß echte Blockgletscher auch völlig unabhängig von Gletschern entstehen konnten.

Selbst innerhalb der Grenzen ehemaliger Vergletscherung sind zahlreiche Blockgletscher unabhängig von heutigen oder ehemaligen Gletschern gebildet worden. Die Mehrzahl der lobenförmigen Blockgletscher und der bewegten Blockschuttwülste ist ohne direkte Gletscherbeteiligung durch Mobilisierung von Haldenschutt, Hangschuttansammlungen oder Haldenfußwällen ("protalus ramps") entstanden; ausnahmsweise kam es dabei auch zur Entwicklung von Zungenformen. Die lobenförmigen Blockgletscher sind zwar weniger augenfällig als die großen Zungen und Ströme, jedoch sind sie in vielen Gebirgen weitaus häufiger. Für die Mobilisierung von Blockgletscherloben bei großem Gefälle dürfte in der Regel aus Schneeanisammlungen und Schmelzwasser gebildeter Eiszement bereits hinreichend sein, während eine Beziehung dieser Formen zu Gletschern nicht oder nur ausnahmsweise besteht. Da tiefgelegene Sturzhalden ebensowenig in Bewegung geraten wie tiefgelegene Moränen, müssen zur Schuttmobilisierung jedenfalls bestimmte klimatische Bedingungen erfüllt sein.

Bei zungenförmigen Blockgletschern sind Verbindungen mit noch bestehenden oder inzwischen geschwundenen Gletschern nach eigenen Geländeerfahrungen wie nach Aussage der einschlägigen Literatur recht verbreitet anzutreffen. Zu den Übergangsformen sind auch manche Moränen mit Eiskern ("ice-cored moraines") zu rechnen. Häufig existiert im Einzugsgebiet einer Blockgletscherzunge (Talschluß, Kar, Hangnische) noch ein kleiner Gletscher oder Eisrest — zuweilen mit Ansätzen von Ufermoränen — der heute von der Zunge durch eine Wurzelhohlform abgesetzt ist. Im oberen Abschnitt der Blockgletscherzunge ist oft noch Gletscher-Blankeis in geringer Tiefe unter der Blockschuttdecke nachweisbar, weiter zungenabwärts gegen die aktive steinschlägige Stirn hin aber meist nicht mehr (Fig. 15). Solche augenscheinlich "fließenden" Übergänge von Blankeisgletschern zu typischen Blockgletscherzungen werden gern als Stütze der glazialen Entstehungstheorie angeführt, wobei gewöhnlich von der Vorstellung eines schuttüberwältigten kleinen Gletschers ausgegangen wird, der sich zu einem Blockgletscher weiterentwickelte.

Diese Vorstellung ist jedoch keineswegs zwingend, da die erkennbare räum-

liche Nachbarschaft von Blockgletschern und Gletschern nicht zugleich einem genetischen Zusammenhang entsprechen muß. Wie Beispiele aus dem regionalen Teil zeigen (z.B. für die Alpen oder die Colorado Front Range), sind während der jüngsten Hochstände Gletscher auf schon vorgegebene Blockgletschermassen aufgelaufen und haben dann mit dem älteren Blockgletscher genetisch nichts zu tun. Das im oberen Teil von Blockgletscherzungen noch vorhandene Gletschereis erweist sich in vielen Fällen durch Verwitterungszustand und Flechtenbewuchs des bedeckenden Blockschuttes oder durch Datierung organischer Einschlüsse als älteres bzw. fossiles Gletschereis unabhängig vom heutigen Blankeisgletscher im Einzugsgebiet (vgl. das Bsp. des Arapaho-Blockgletschers in der Colorado Front Range). Fossiles Gletschereis kann in Blockgletschern sehr lange — zuweilen wohl einige 1000 Jahre — überdauern, wenn dafür die klimatischen Voraussetzungen gegeben sind. Übrigens handelt es sich längst nicht bei allen Blankeisvorkommen um Gletschereis, sondern es ist dabei auch mit Eisneubildungen (Segregationseis, wiedergefrorenes Schmelzwasser) zu rechnen (vgl. z.B. W.J. WAYNE 1981 sowie D. BARSCH 1982). Wo sich Anhaltspunkte für eine verlässliche Datierung bieten, ergibt sich in der Regel für die Blockgletscher ein höheres Alter als für die noch bestehenden Gletscher oder Eisreste der jüngsten Hochstände.

Daß die Kombination von reichlich Schutt und Gletschereis allein nicht ausreicht, um Blockgletscher zu bilden, zeigen zahlreiche bis in tiefe Lagen vorgestoßene Gletscherzungen mit hochgradiger Verschuttung, die dort schließlich als Toteis verzögert abschmelzen, ohne eine Weiterbildung zu Blockgletschern zu erfahren (z.B. lawinenernährte Gletscher der Ortlergruppe in den Zentralalpen oder des Zentralkaukasus (Photo 5), die großen Gletscherströme des Mt. McKinley-Gebietes in Alaska oder der Icefield Ranges im Übergang zum Yukon Territory, tiefreichende schuttbedeckte Gletscherzungen im Pazifischen Nordwesten der USA und im Kanadischen Küstengebirge sowie auf der Westabdachung der Neuseeländischen Alpen). Zu Massenbewegungen des Schutt-Eis-Systems in Blockgletscherform kann es erst kommen, wenn dafür in größeren Höhen die notwendigen klimatischen Bedingungen gegeben sind.

Während somit keine Beziehung zu den besonders tief herabreichenden Gletscherzungen besteht, ergeben sich in den daraufhin untersuchten Gebieten doch bemerkenswert enge Zusammenhänge zwischen der mittleren Untergrenze der Gletscher und der aktiven Blockgletscher (so in den zentralen Ostalpen Fig. 2, in der Colorado Front Range Fig. 11, in den südlichen Kanadischen Rocky Mountains sowie in Gebirgen Alaskas Fig. 12). Die mittlere Untergrenze der aktiven Blockgletscher reicht jeweils nur um wenig (oft um 50 - 150 Höhenmeter) unter die mittlere Untergrenze der Gletscherenden herab. Eine Bezeichnung der Blockgletscherzungen als "the near glacial end member of the periglacial facies" (R.F. MADOLE 1972, S. 123), also als "gletschernahe Periglazialfazies" erscheint dadurch besonders gerechtfertigt. Die Deutung dieses Befundes ist zunächst nicht eindeutig. Entweder wurde die Bildung bzw. Bewegung der Blockgletscherzungen unmittelbar durch das Vorhandensein von Gletschereis oder Gletscher-



schmelzwasser begünstigt, oder die aktiven Blockgletscher knüpfen an das Moränenmaterial an, das sich seit Ausgang des Spätglazials und besonders während der "neoglazialen" Gletscherhochstände ähnlicher Größenordnung in einem bestimmten Höhenbereich nahe den heutigen Gletschern angesammelt hat. Auch die vorgegebenen Geländeformen (glazial angelegtes Steilrelief als Einzugsgebiet für Blockgletscher) mögen von Fall zu Fall eine Rolle spielen.

Für zungenförmige Blockgletscher ist mit einem Eisanteil von 40 - 70% zu rechnen, wie sich aus dem Volumenverlust kollabierter Formen sowie aus vereinzelt Bohrungen ergibt. Bei derart beträchtlichen Eismengen stellt sich die Frage nach deren Herkunft. Für große Blockgletscherzungen mit einem mittleren Gefälle von nur 10 - 15° ist zweifelhaft, ob allein das Vorhandensein von Eiszement bzw. Poreneis ("interstitial ice") in den Hohlräumen der Schuttmasse einen so hohen Eisanteil liefern und die Bewegung verursachen kann, da bei geringem Gefälle die innere Reibung bzw. Scherspannung erheblich sein muß. Dieses Problem wurde von W.J. WAYNE (1981) näher diskutiert, der auf die Existenz von Lagen und Linsen schutfreien Blankeises in den Schuttmassen verweist. Soweit es sich dabei nicht um Reste von Gletschereis handelt, ist mit der Neubildung von Segregationseis unter Permafrostbedingungen zu rechnen. Auch nach WASHBURN ist "interstitial ice" bzw. "pore ice" für die Bewegung von Blockgletscherzungen gewöhnlich nicht hinreichend (A.L. WASHBURN 1979, S. 229, sowie mündlich im Rahmen der Göttinger Diskussion 1982), doch können sich Blankeislinsen unter bestimmten Bedingungen aus Poreneis bilden. Die zur Bildung von "Überschußeis" ("excess ice") notwendige Feuchtigkeit kann nur zum geringen Teil durch Schnee bzw. Schneeschmelzwasser von der Oberfläche her zugeführt werden, da die Voraussetzungen für eine Ansammlung von Lawinenschnee oder Driftschnee auf der konvex gewölbten Zungenvollform ungünstig sind oder fehlen (Photo 10). Durch eine Wurzelhohlform am oberen Zungenende wird oft auch die Schneezufuhr aus dem steilen Einzugsgebiet unterbunden. Die Entstehung von Blankeis neben anderen Eisformen wird aber zweifellos begünstigt, wenn im oberen Teil der Blockgletscherzunge oder im Einzugsgebiet noch Gletschereisreste vorhanden sind, die in hinreichender Menge Schmelzwasser für eine Eisneubildung im unteren Zungenabschnitt liefern. Gerade in hochkontinentalen und trockenen Gebirgen, wo Wasser innerhalb der Hochgebirgsstufe zu einem Minimumfaktor wird, mag die Existenz von Gletschereis als Feuchtigkeitzubringer sogar notwendige Bedingung für die Bildung von Blockgletscherzungen sein. Die von den thermischen Voraussetzungen her nicht verständliche Beschränkung von Blockgletschern auf die gletschernahen Hochlagen arktisch-kontinentaler Gebirge wäre so zwanglos zu erklären.

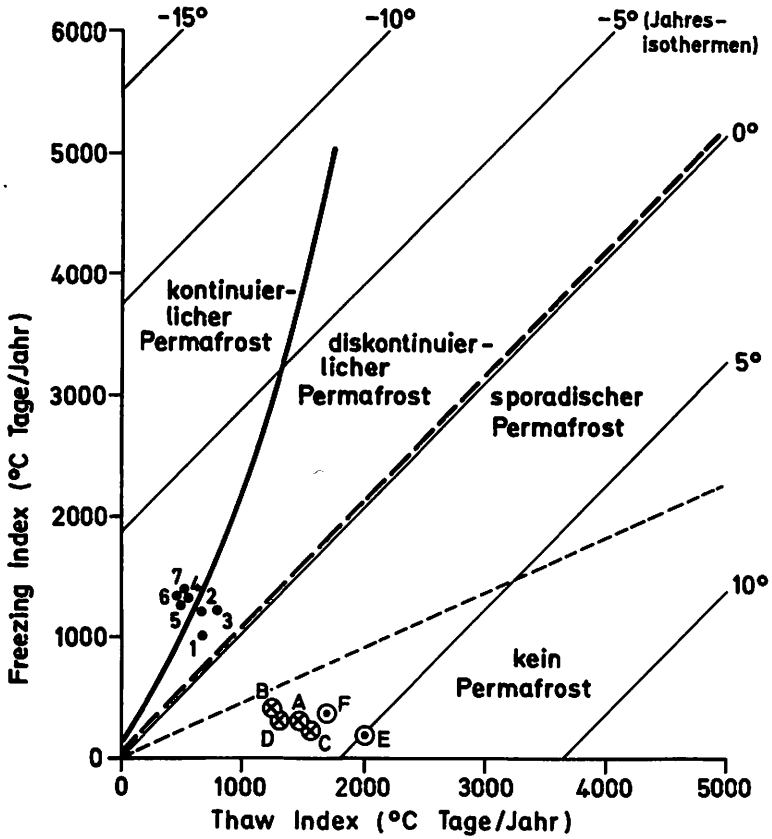
Damit wird die Vorstellung vertreten, daß zwar die Blockgletscherentwicklung nicht generell mit Gletschern in Beziehung zu bringen ist, daß also die glaziale Ursprungstheorie und Deutung der Blockgletscher als Sonderformen von Moränen nicht hinreichend bzw. unzutreffend ist, daß jedoch der zur Bewegung zungenförmiger Blockgletscher notwendige hohe Eisanteil durch das Vorhanden-

sein von Gletschereis und Gletscherschmelzwasser begünstigt oder in manchen Fällen überhaupt erst ermöglicht wird. Das würde auch verständlich machen, warum bei komplex aufgebauten, mehrgliedrigen Blockgletscherzungen der Impuls für die Mobilisierung und Bildung der jüngsten Formengeneration stets von oben aus dem Einzugsgebiet heraus erfolgt, wo schon kleinere Klimaschwankungen zur Gletscherneubildung führen können, während die gletscherunabhängigen aktiven Blockgletscherloben ein breiteres Verbreitungsspektrum aufweisen und nicht etwa in Verbindung mit den höchsten und jüngsten gletschernahen Halden auftreten, sondern erst weiter talab in Verbindung mit Schuttakkumulationen größerer Mächtigkeit (A.E. CORTE 1976, S. 186). Aber auch bei den Blockgletscherzungen mit räumlichem Kontakt zu Gletschern oder jungen Moränen vollzieht sich die Bildung und Bewegung der Formen außerhalb des aktuellen glazialen Bereiches im gletschernahen Periglazialbereich als langsame Massenbewegung vorgegebener Schuttmassen mit hohem Eisanteil. Die Bewegungsraten aktiver Blockgletscher stehen in der Größenordnung zwischen der Gletscherbewegung und der solifluidalen Versatzdenudation.

### **3.3 Blockgletscher und Permafrostverbreitung**

Da die Vertikalverbreitung aktiver Blockgletscher auf bestimmte Höhen der Gebirge beschränkt bleibt, sind offensichtlich nur dort die notwendigen makroklimatischen Voraussetzungen für die Bildung und Bewegung der Formen gegeben. Um die verbreitete Auffassung zu testen, daß die klimatische Grundvoraussetzung in der Existenz von Permafrost besteht (vgl. insbesondere D. BARSCH seit 1969), wurde für möglichst viele der aktiven und fossilen Blockgletschervorkommen in Europa und Nordamerika deren Stellung in thermischen Diagrammen nach dem Vorbild von S.A. HARRIS (1979, 1980, 1981a, 1981b, 1982b) untersucht (Fig. 13). In den HARRIS-Diagrammen werden die Permafrostzonen mit Hilfe von Gefrier- und Auftau-Indizes erfaßt und abgegrenzt, d.h. mit negativen und positiven Temperatursummen. In schneereichen Gebieten mit einer Winterschneedecke von über 50 cm Mächtigkeit findet dieses Verfahren freilich seine Anwendungsgrenzen. Mögliche Fehler ergeben sich bei der Bestimmung der Frier- und Tauindizes für Blockgletscher besonders dann, wenn in Ermangelung hochgelegener Klimastationen Werte tiefergelegener Stationen mit unsicheren Höhengradienten hochgerechnet werden müssen. Da für viele Gebiete nur spärliche Klimadaten verfügbar waren, konnte auf unsichere Berechnungsversuche nicht grundsätzlich verzichtet werden.

Trotz mancher unzuverlässiger Grundlagen ergibt sich aber in den Diagrammen der Fig. 13 ein klares Zuordnungsmuster. Die als fossil bzw. inaktiv bekannten Formen (z.B. aus den Französischen Seealpen, Pyrenäen und den Gebirgen des Pazifischen Nordwestens der U.S.A.) erscheinen in den Diagrammsektoren außerhalb aller Permafrostgrenzen und weisen jeweils recht niedrige Gefrierindizes auf. Die zweifelsfrei aktiven Vorkommen entfallen hingegen in europäischen wie in nordamerikanischen Gebirgen auf die Zonen mit potentiell diskontinu-

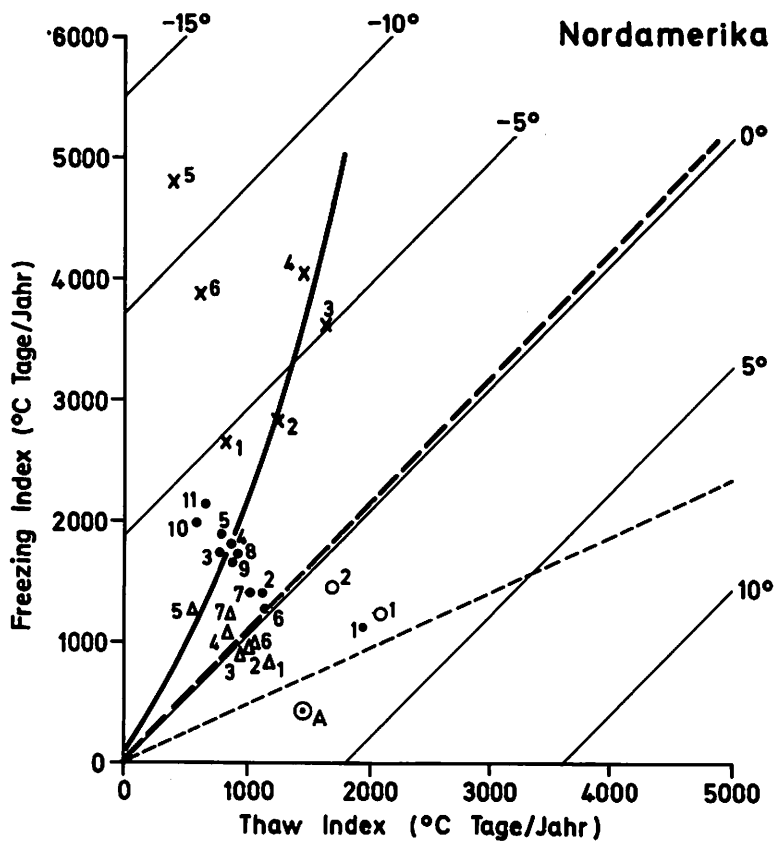


### Alpen und Pyrenäen

- ⊗ A = Zentralpyrenäen, 1860 m
- B = Zentralpyrenäen, 2050 m
- C = Ostpyrenäen, 2310 m
- D = Ostpyrenäen, 2550 m
- ⊙ E = Hohe Seealpen, 2200 m
- F = Hohe Seealpen, 2600 m

- 1 = Nordschweizer Alpen, 2300 m
- 2 = Ortlergruppe, 2500 m
- 3 = Unterengadin, 2550 m
- 4 = Oberengadin, 2600 m
- 5 = Silvretta-Gruppe, 2530 m
- 6 = Hohe Tauern, 2470 m
- 7 = Wallis, 2640 m (u)

Fig. 13: Gefrier- und Auftau-Indizes für Verbreitungsgebiete von Blockgletschern (nach dem Verfahren von S.A. HARRIS); Alpen und Pyrenäen, Nordamerika



⊙A = Mt. Rainier-Gebiet, 1780 m

- Δ 1 = Hohe Sierra Nevada, mittl. Teil, 3500 m
- 2 = Hohe Sierra Nevada, mittl. Teil, 3660 m
- 3 = Hohe Sierra Nevada, nördl. Teil, 3350 m
- 4 = Hohe Sierra Nevada, nördl. Teil, 3500 m
- 5 = Hohe Sierra Nevada, nördl. Teil, 3660 m
- 6 = White Mountains, 3350 m
- 7 = White Mountains, 3500 m

- 1 = Presidential Range, N.H., N-Appalachen, 900 m
- 2 = Presidential Range, N.H., N-Appalachen, 1200 m

- 1 = Mount Mestas, Sangre de Cristo Range, Col., 2760 m (u)
- 2 = San Juan Mts., Col., 3300 m (u)
- 3 = San Juan Mts., Col., 3600 m (u)
- 4 = Front Range, Col., 3570 m
- 5 = Südl. Front Range, Col., 3700 m (u)
- 6 = Wasatch Mts., Utah, 3100 m
- 7 = Wheeler Peak, Nev., 3230 m (u)
- 8 = Highwood Pass, südl. kanad. Rocky Mts., Alb., 2200 m
- 9 = Old Glory Mtn., B.C., 2347 m
- 10 = Lookout Mtn., Banff N.P., 2407 m
- 11 = Marmot Basin, Jasper N.P., 2195 m

- x 1 = Alaska Range, um 1000 m (u)
- 2 = Kluane Lake, Yukon T., 786 m
- 3 = Dawson, Yukon T., 324 m
- 4 = Norman Wells, N.W.T., 20 m
- 5 = Atigun Pass. Brooks Range, 1440 m
- 6 = Baffin Island, 7 m

(u) = recht unsichere Werte

ierlichem oder kontinuierlichem Permafrost. Aktive Blockgletscher und Permafrost gehören demnach in der Tat zusammen. Da die Schneemächtigkeiten und lokalen Einflüsse bei unseren Berechnungen außer Betracht blieben, läßt sich aus der Zuordnung im Diagramm allein allerdings nicht entnehmen, welcher Typ des Permafrostes nun tatsächlich von Fall zu Fall vorhanden ist. Die größere Streuung der Signaturen für den nordamerikanischen Raum zeigt dort eine gegenüber europäischen Gebirgen weitaus größere Spannweite des Temperaturklimas insbesondere in der Höhe der Gefrierindizes an<sup>2)</sup>. Für Nordamerika entfallen auch einige Signaturen auf den Sektor des sporadischen Permafrostes (so für viele Vorkommen in der Sierra Nevada Kaliforniens, die Formen in den Nord-Appalachen und am Mt. Mestas in Süd-Colorado). Wie Geländebefunde erweisen, ist bei diesen Formen Eisbildung und -erhaltung unter lokalklimatischen Sonderbedingungen ("Balch-Ventilation"?) möglich (vgl. z.B. W.F. THOMPSON 1962, S. 214, R.B. JOHNSON 1967, S. 217), doch überwiegen augenscheinlich noch die inaktiven bzw. fossilen Vorkommen. Für die Alpen und die Rocky Mountains in mittleren Breitenlagen bestätigen unsere Berechnungen den Befund, daß die Untergrenze der aktiven Blockgletscher in der Regel der Reichweite des diskontinuierlichen Permafrostes entspricht oder nahekommt. Im hochkontinentalen und arktisch-kontinentalen Gebiet des amerikanischen Nordens (Nordwest-Kanada, Alaska, Baffin Island) erscheinen die Blockgletscher sogar erst im Bereich des potentiellen kontinuierlichen Permafrostes oder doch nahe seiner Grenzen (Fig. 13 rechts, Kreuzsignaturen). Unter diesen Bedingungen können die Formen offenkundig nicht mehr als Indikationen diskontinuierlichen Permafrostes gelten (siehe auch weiter unten S. 49).

Schon S.A. HARRIS (1981b) kam zu dem Ergebnis, daß aktive Blockgletscher nur unter vergleichsweise ozeanischen Bedingungen als Zeugnisse für die Reichweite des diskontinuierlichen Permafrostes dienen können, nicht aber unter verstärkt kontinentalen Bedingungen, wie sie in Nordwest-Kanada auftreten. HARRIS fand bei getrennter Untersuchung zungen- und lobenförmiger Blockgletscher unterschiedliche klimatische Verbreitungsmuster in seinen Diagrammen, wobei die Zungenformen engere Beziehungen zu glaziologischen Grenzen erkennen lassen. Angesichts der nur schmalen Datenbasis für den Vergleich wäre es wünschenswert, solchen Unterschieden anhand eines breiteren und verlässlichen Materials weiterhin nachzugehen.

Nach der Diskussion der Beziehungen von Blockgletschern zu Gletschern sowie der klimatischen Zuordnung der Formen innerhalb der Permafrostzonierung ergibt sich zusammenfassend, daß ernsthafte Zweifel am periglazialen Charakter der Blockgletscher nicht mehr bestehen können.

---

3) Am Osthang der kanadischen Rocky Mountains auf der Breite von Fort Nelson wurde am 7.1.1982 mit  $-71^{\circ}\text{C}$  ein neuer nordamerikanischer Rekord der absoluten Minima gemessen, der nur wenig gegenüber den bekannten Extremtemperaturen nordostsibirischer Stationen zurückbleibt. Die Bahnen des Kaltluftabflusses in den Tälern lassen Beziehungen zur Permafrostverbreitung erkennen (S.A. HARRIS 1982a).

### 3.4 Gesteinsmaterial und Relief

Kleinräumig wird die Verbreitung der Blockgletscher durch die Faktoren Gesteinsmaterial und Relief (einschließlich der Exposition) modifiziert. Nach verbreiteter Vorstellung sind die Formen an die Verfügbarkeit groben Blockschuttes gebunden, der die oberflächennahe Lage bildet und dem auch eine die Eisbildung begünstigende Funktion gleichsam als Kaltluftfalle bei der sog. "Balch Ventilation" zugeschrieben wird (vgl. z.B. W.F. THOMPSON 1982). Unter optimalen Existenzbedingungen können die Blockgletscher jedoch in Material sehr unterschiedlicher Korngröße und Gestalt ausgebildet sein. Beispiele liefern kleinstückig zerfallende Trias-Sedimente der Engadiner Dolomiten und der Ortler-Basis (H. BOESCH 1951, J. DOMARADZKI 1951, P. HÖLLERMANN 1964), Tonschiefer und Phyllite der zentralen Brooks Range (J.M. ELLIS und E.C. PARKER 1979), vulkanische Tuffe der San Juan Mountains (J.T. ANDREWS et al. 1976), sowie Material der Grobkiesfraktion, feinkörnige Grundmoräne oder angeblich sogar Löß im Kluane Gebiet, Yukon Territory (L.W. PRICE 1981, S. 208, S.A. HARRIS 1982, briefliche Mitteilung). Auch ist damit zu rechnen, daß die Anreicherung von relativ grobem Schutt an den Blockgletscheroberflächen einem Sortierungseffekt zuzuschreiben ist und nicht allein auf das Ausgangsmaterial zurückgeht (vgl. z.B. E.F. ROOTS 1954, S. 27).

Vom Ausgangsrelief her benötigen die typischen Blockgletscher ein steiles schuttlieferndes Einzugsgebiet, wobei nach unseren Erfahrungen bei Blockgletscherzungen die Reliefenergie zwischen Zungenende und Obergrenze der Steilumrahmung im Mittel mindestens 250 - 300 Höhenmeter erreichen muß und in der Regel von ozeanisch-humiden zu kontinental-trockenen Gebieten anwächst, wo dann Höhendifferenzen bis um 700 - 800 m nicht ungewöhnlich sind.

Grundsätzlich können Blockgletscher in allen Expositionen auftreten, doch ist eine Präferenz für nordseitige Auslagen unverkennbar (Fig. 14). Je nach den lokalen oder regionalen Bedingungen fällt das Maximum in die Nordost-, Nord- oder Nordwestrichtung. Von Fall zu Fall wird die vorherrschende Auslage durch die Richtung des Kamm- und Talverlaufes, durch tektonisch-strukturelle Vorgegebenheiten oder durch Gesteinseigenschaften beeinflußt (vgl. auch S.E. MORRIS 1981). Die Gründe für die jeweilige Expositionspräferenz sind vielschichtig und unterliegen auch regionalen oder lokalen Abwandlungen.

Weitverbreitete Kammasymmetrien mit nordöstlicher Steilwandexposition beeinflussen als vorgegebener Reliefaktor die Expositionsverteilung der Blockgletscher (Einfluß des Vorzeitreliefs). Der Strahlungsschutz in Schattlagen begünstigt die Bildung oder Erhaltung von Eis in den Schuttansammlungen (unmittelbarer Klimaeinfluß, topoklimatische Begünstigung). Schatt- und leeseitige Hohlformen im glazionalen Grenzbereich bewirken eine Konzentration des festen Niederschlages im Gebirgsrelief als Winterschneeanhäufung, Firn oder Eis. Die Nordostauslage ist charakteristisch für stark winddriftausgesetzte Gebirgszüge mit einer relieforientierten Schnee- und Eiskonzentration in nordostwärts exponierten Karen und Talschlüssen, z.B. in der Colorado Front Range und Absa-

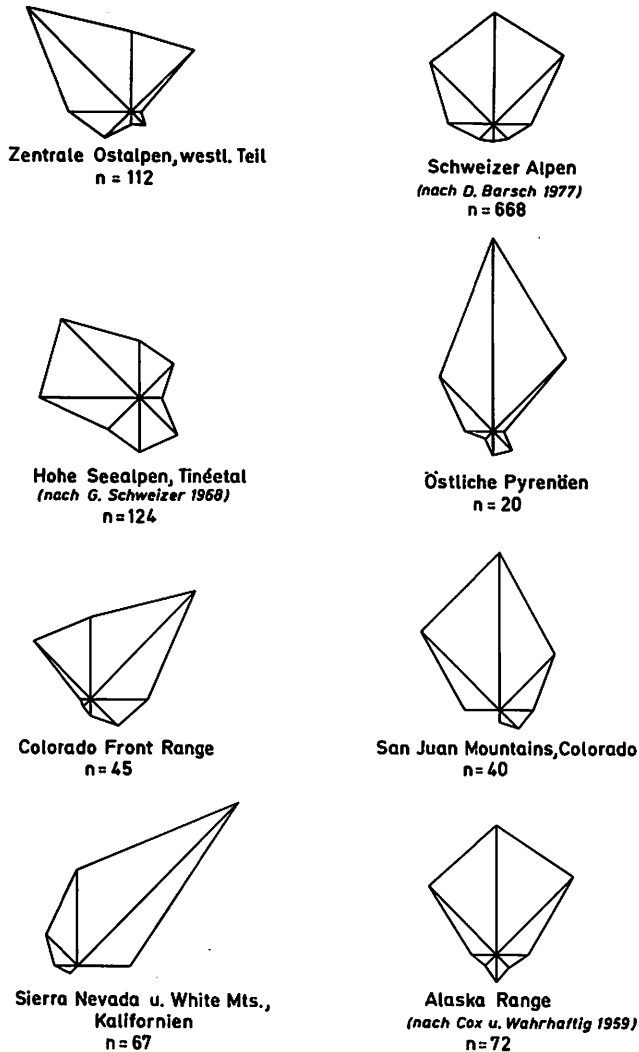


Fig. 14: Exposition von Blockgletschern

roka Range, in der kalifornischen Sierra Nevada oder in den White Mountains (Einfluß der relief- und windorientierten Konzentration festen Niederschlages). Schließlich können auch expositionsabhängige Unterschiede der Verwitterung und Schuttproduktion eine Rolle spielen, wobei in der Regel der Schuttanfall in Schattlagen größer ist (Einfluß der expositionsabhängigen Morphodynamik).

Die Expositionspräferenz ist bei zungenförmigen Blockgletschern ausge-

prägter als bei Lobenformen, sie ist meist auch bei hochgelegenen aktiven Formen deutlicher als bei fossilen Bildungen in tieferen Lagen. Je ungünstiger die Bedingungen für die Blockgletscherentwicklung werden, umso stärker tritt augenscheinlich — ganz ähnlich wie bei den Gletschern — die Bevorzugung schattseitiger Auslagen in den Vordergrund.

### **3.5 Die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher in der Periglazialstufe**

Innerhalb des vorgegebenen großklimatischen Rahmens der Höhenstufung wird die Lokalisierung der aktiven Blockgletscher innerhalb der heutigen Periglazialstufe durch das vorgegebene Relief sowie durch die Verfügbarkeit von Schutt und Eis näher festgelegt. Wie zuerst R.F. MADOLE (1972, S. 120) am Beispiel der Colorado Front Range aufzeigte, läßt sich im Idealfall eine regelhafte Höhenstufenabfolge erkennen, die am unteren Ende mit normalen Sturzhalden einsetzt, dann höhenwärts über lobenförmige zu zungenförmigen Blockgletschern und schließlich zu jungen Moränen und Eisgletschern am oberen Ende fortschreitet (Fig. 15). Dabei zeigen die aktiven lobenförmigen Blockgletscher eine Beziehung zum unteren Abschnitt des Höhengürtels frischer Sturzhalden, während die zungenförmigen Blockgletscher ihren hypsometrischen Verbreitungsschwerpunkt wenig unterhalb der mittleren Untergrenze der Gletscherenden finden (vgl. auch weiter oben S. 39). Diese ideale und in Fig. 15 halbschematisch dargestellte Höhenstufenabfolge wird zwar durch das vorgegebene Relief, die geländeklimatische Differenzierung und besonders durch die zeitliche Mehrschichtigkeit der Formenentwicklung abgewandelt, liefert desungeachtet aber einen nützlichen Orientierungsrahmen.

Innerhalb dieses Höhenstufenmodells verschiebt sich höhenwärts auch das Schutt-Eis-Verhältnis von eisfreien unbewegten Halden über eiszementierte Blockgletscherloben und eisreiche Blockgletscherzungen bis zu schuttarmen Blankeisgletschern. Zu einer Mobilisierung vorgegebener Schuttansammlungen als Blockgletscher kommt es, wenn eine Konzentration von Schnee, Firn oder Eis im Relief erfolgt und die makro- und geländeklimatischen Voraussetzungen für die Bildung und Erhaltung von Eis in den Blockgletscherschuttmassen gegeben sind.

Die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher innerhalb der heutigen Periglazialstufe wurde für eine Reihe von Gebirgen in der Abfolge wachsender thermischer Kontinentalität näher untersucht. Die Grundregeln dieser Vertikalverbreitung der Formen in Abhängigkeit vom thermischen Großklima und relativ zu anderen Höhengrenzen wurden in Fig. 16 schematisch zusammengefaßt. Als einheitliches höhenmäßiges Bezugsniveau dient die obere Waldgrenze als gerade Linie. Durch diese Art der Darstellung kann der Einfluß der absoluten Höhenlage und der geographischen Breite ausgeschaltet werden.

In hochozeanischen Gebirgen (z.B. im Pazifischen Nordwesten der U.S.A., vgl. auch Fig. 6) treten aktive Blockgletscher nicht auf, sondern lediglich Vorzeitformen in der oberen Waldstufe oder nahe der Waldgrenze. Die 0°-Jahresiso-



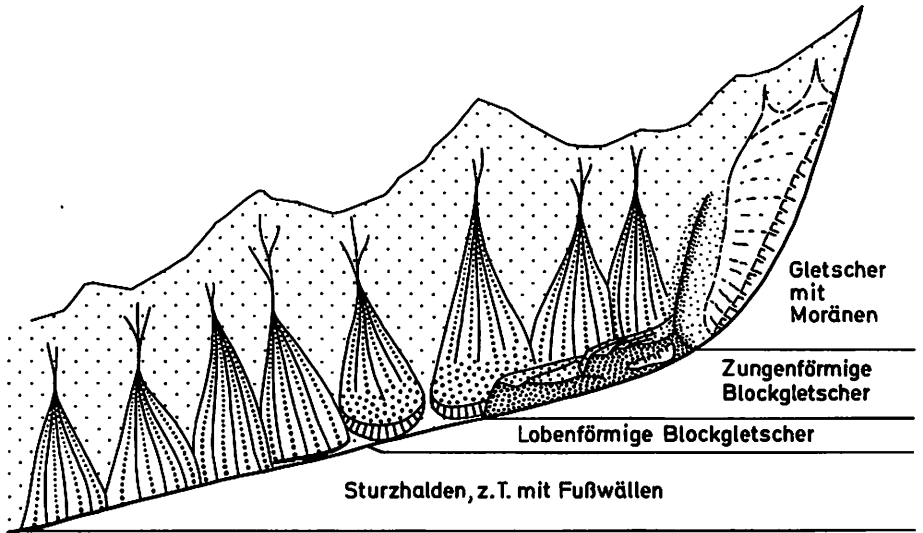


Fig. 15: Idealschema der hypsometrischen Formenverbreitung

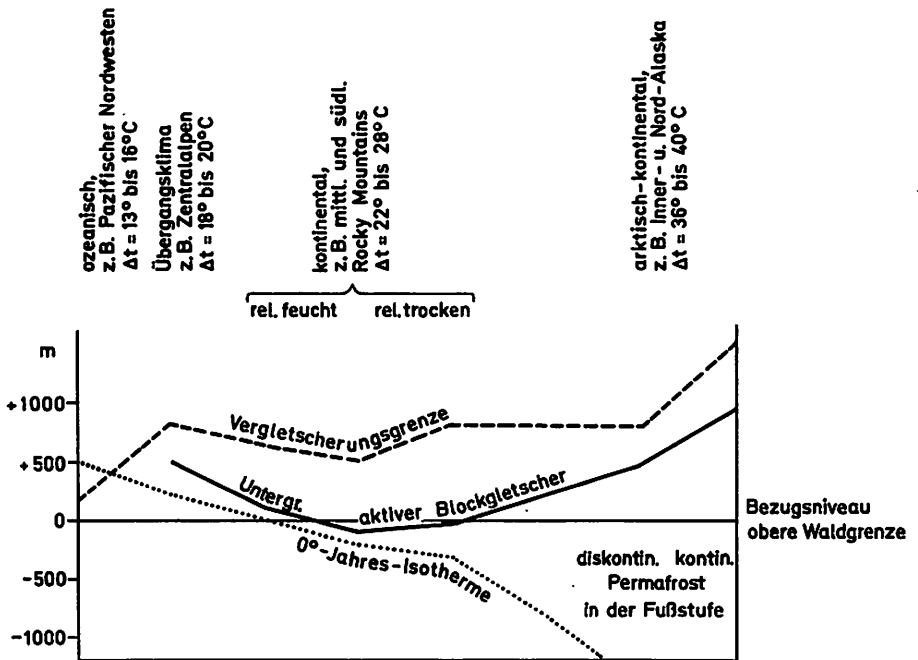


Fig. 16: Schema des vertikalen Verlaufes der Untergrenze aktiver Blockgletscher in Bezug zum Großklima und zu anderen Höhengrenzen

therme verläuft über der Vergletscherungsgrenze, so daß im schmalen Höhen-  
saum zwischen Wald und Gletschern normalerweise kein Permafrost auftreten  
kann. Im Übergangsklima und mäßig kontinentalen Klima der Zentralalpen blei-  
ben die aktiven Blockgletscher auf den oberen, subnivalen Abschnitt der Periglaz-  
ialstufe konzentriert. Sie liegen dort oberhalb der 0°-Isotherme im potentiellen  
Permafrostbereich. Im Kontinentalklima vom Typ der mittleren und südlichen  
Rocky Mountains sinkt die 0°-Jahresisotherme unter die Waldgrenze ab. Damit  
nimmt auch die Permafroststufe eine mit wachsender Kontinentalität und Brei-  
tenlage zunehmend tiefere Lage ein. Die Untergrenze der aktiven Blockgletscher  
erreicht nun die obere Waldgrenze oder erstreckt sich sogar noch ein Stück in die  
obere Waldstufe hinein, so daß die Formen jetzt auch im unteren Grenzbereich  
der Periglazialstufe anzutreffen sind. Der Höhenabstand zwischen der Unter-  
grenze aktiver Blockgletscher und der Schneegrenze bzw. Vergletscherungsgrenze  
erreicht unter trockenkontinentalen Bedingungen sein Maximum.

Obwohl in Richtung auf das Polargebiet mit der 0°-Jahresisotherme die Per-  
mafroststufe rasch weiter absteigt, so daß schließlich auch die Fußstufe der Gebirge  
von diskontinuierlichem und schließlich von kontinuierlichem Permafrost  
eingenommen wird (vgl. Fig. 12 für Alaska), folgt die Untergrenze der Blockglet-  
scher diesem Trend nicht weiter, sondern steigt im arktisch-kontinentalen Be-  
reich mit geringen Schneeniederschlägen gleichsinnig mit der Vergletscherungs-  
grenze relativ zur Waldgrenze an (Fig. 16, rechter Teil). In diesem arktisch-  
kontinentalen Gebiet nehmen die aktiven Blockgletscher dann wieder nur den  
oberen Abschnitt der Periglazialstufe ein, ähnlich wie im Bereich des Übergangs-  
klimas bzw. mäßig kontinentalen Klimas. Die möglichen Gründe dafür (Begren-  
zung durch hygrische Faktoren oder vorgegebenes Relief) wurden bereits disku-  
tiert (vgl. oben S. 36).

Die eingangs aufgeworfene Frage nach der räumlichen Stellung der aktiven  
Blockgletscher innerhalb des heutigen Periglazialraumes läßt sich also nur diffe-  
renziert beantworten, da Unterschiede von Klimagebiet zu Klimagebiet auftre-  
ten. Unter ozeanischen bis normal-kontinentalen Bedingungen der Mittelbreiten-  
Gebirge sind Beziehungen zwischen der Untergrenze der aktiven Blockgletscher  
und der Reichweite des diskontinuierlichen Permafrostes zu erwarten. Dort kön-  
nen die Formen unter Berücksichtigung der lokalen Bedingungen als Indikatoren  
für den Permafrost und seine Grenzen dienen, wie das von D. BARSCH in mehr-  
eren Arbeiten (seit 1969) dargestellt wurde. Unter extrem kontinentalen und  
arktisch-kontinentalen Bedingungen der höheren Breiten mit sehr geringen  
Schneeniederschlägen schneidet die Untergrenze der aktiven Blockgletscher die  
Permafrostzonen und verläuft weithin gleichsinnig zur Vergletscherungsgrenze  
und zur mittleren Untergrenze der gegenwärtigen Gletscher (vgl. auch S.A. HAR-  
RIS 1981b, S. 378). Damit scheidet sie hier als Indikator für die Reichweite des  
Permafrostes aus; sie liegt viel höher als die Untergrenze des diskontinuierlichen  
Permafrostes. Das ergibt sich auch schon aus den HARRIS-Diagrammen (Fig. 13,  
rechts). Die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher innerhalb der

Periglazialstufe weist also erhebliche regionale Unterschiede auf und unterliegt offensichtlich nicht allein thermischen Regelmäßigkeiten. Regionale Geländebefunde dürfen daher nicht verallgemeinert werden.

### 3.6 Zur Altersstellung der Blockgletscher

Rückschlüsse aus der Blockgletscherverbreitung auf die Bildungsbedingungen der Formen müssen die Bildungszeit und damit den chronologischen Aspekt berücksichtigen. Gerade im Fall der Blockgletscher erweist sich die Datierung allerdings als schwierig. Dabei ist im einzelnen zu unterscheiden zwischen der Bildungszeit des in der Regel schon vorgegebenen Schuttes, der Bildung des Blockgletschers durch Mobilisierung dieses Schuttes, der Andauer der Blockgletscherbewegung und eventuellen späteren Phasen der Bewegungsreaktivierung. Nach der Blockgletscherbildung kann sich die Bewegung über lange Zeiten hinweg fortsetzen oder sie kann nach Ruhepausen erneut aktiviert werden, sofern es nicht zu grundlegenden Materialveränderungen (z.B. durch Feinmaterialausspülung) gekommen ist. Aktive Blockgletscher sind also nicht ohne weiteres mit jungen Blockgletschern gleichzusetzen. Formenfrische ist kein verlässliches Indiz für die Zeit der Blockgletscherentstehung.

Gerade für große Blockgletscherzungen ist ein komplexer Aufbau aus altersverschiedenen Abschnitten recht charakteristisch, so daß dann bei ein und demselben Blockgletscher verschiedene Altersgenerationen ausgebildet und getrennt zu datieren sind. Gesicherte Kenntnisse von der Altersstellung der Blockgletscher sind immer noch begrenzt und auch regional unterschiedlich weit fortgeschritten.

In den meisten Gebirgen hat der Schuttanfall während der jüngsten Gletscherhochstände des 16. bis 19. Jahrhunderts nicht ausgereicht, um in nennenswerter Zahl neuzeitliche Blockgletscher entstehen zu lassen. In vielen Gebirgsgruppen Europas und Nordamerikas sind mehrere — oft zwei bis drei — neoglaziale (nachwärmezeitliche) Phasen der Blockgletscherbildung oder Reaktivierung nachgewiesen oder doch wahrscheinlich gemacht worden, aus denen die Mehrzahl der heute noch aktiven Formen stammt. Diese hätten dann großenteils ein Alter von rund 1000 bis 4000 Jahren. Weiter zurückliegende Phasen der Blockgletscherentstehung bzw. -aktivität gehören in Kälterückfälle der Wärmezeit (z.B. "Larstig" nach H. HEUBERGER 1966; heute wohl mit "Frosnitz" um 6000 - 6500 Jahre b.p. zu parallelisieren) und besonders ins jüngere Spätglazial (z.B. "Egesen" in den Alpen um 10 - 11000 Jahre b.p., vgl. u.a. H. HEUBERGER 1966, M. JORDA 1978, H. KERSCHNER 1978, M. MAISCH 1981). Damals soll in den Alpen nach KERSCHNER das Klima kontinentaler und damit günstiger für die Blockgletscherbildung gewesen sein als die Gegenwart. In den Alpen liegt der ganz überwiegende Teil auch der fossilen Blockgletscher innerhalb der Grenzen der Daunmoränen oder zumindest der Gschnitz-Randlagen. Nur wenige ältere Bildungen sind mit einiger Sicherheit datiert. Aus Colorado wurden Altformen mit Lößlehmüberdeckung beschrieben (P.W. BIRKELAND 1973, P.E. CARRARA und J.T. ANDREWS 1976). Der Versuch einer vergleichenden Chronologie der Block-

gletscher für Europa und Nordamerika erscheint trotz einiger bemerkenswerter Parallelen beim gegenwärtigen Kenntnisstand noch verfrüht.

Seit dem Höhepunkt der letzten Eiszeit hat es in den meisten Gebirgen also mehrere Phasen der Blockgletscherbildung und -reaktivierung gegeben. Karten der Formenverbreitung repräsentieren daher gewöhnlich ein zeitlich vielschichtiges Muster und sind nur eingeschränkt aktualistisch interpretierbar. Viele Blockgletscher sind Mehrzeitformen, bei denen eine eindeutige Datierung nicht möglich ist. Die Mehrzahl der heute aktiven Blockgletscher ist nicht erst neuzeitlich entstanden, doch zeigt das Andauern der Bewegung, daß sie sich mit den gegenwärtigen Klimabedingungen noch (oder wieder) in Einklang befinden. Die Feststellung des Aktivitätsgrades erscheint daher unter morphodynamischen Aspekten wichtiger als die Datierung der ersten Anlage.

### **3.7 Bedeutung der Blockgletscher für die aktuelle Morphodynamik der Periglazialstufe**

Der Beitrag der Blockgletscher zur Morphodynamik der Periglazialstufe unterliegt offensichtlich quantitativen Abstufungen, die wiederum in Beziehung zum Ozeanitäts- bzw. Kontinentalitätsgrad der Untersuchungsgebiete stehen. Zwar liegen kaum systematisch-vergleichende Studien über die Bedeutung der Blockgletscher als Schuttverlagerungssysteme vor, doch läßt sich eine solche Abstufung schon aus der unterschiedlichen Häufigkeit bzw. Dichte der aktiven Formen erschließen (vgl. oben S. 37f).

In ozeanischen Hochgebirgen, z.B. im Pazifischen Nordwesten der U.S.A., wo aktive Blockgletscher nicht oder nur ausnahmsweise auftreten, vollzieht sich eine leistungsfähige Schuttverlagerung durch gut ernährte und tief herabreichende Gletscher mit großem Massenumsatz und hohem Schmelzwasseranfall, durch rasche Massenbewegungen wie murartige Schuttströme, Rutschungen und Bergstürze, sowie durch eine effektive fluviale Abtragung bei reichlichem Lockermaterialangebot. An den hohen Denudationsraten, die z.B. von H.H. MILLS (1976) für das Mount Rainier-Gebiet (Cascades Range) mit 3 - 8 mm pro Jahr angegeben werden, haben aktive Blockgletscher so gut wie keinen Anteil. Aber auch der Beitrag der Solifluktion an der Abtragung ist in diesen Gebirgen unbedeutend (P. HÖLLERMANN 1980, S. 99).

In vielen kontinentalen Gebirgen haben sich seit dem Rückgang der spätglazialen Gletscher große Schuttmassen in den gletscherfreien Hochlagen angesammelt und konnten nur zu einem geringen Anteil in tiefere Lagen abgeführt werden. Die fluviale Abtragung ist dort weniger leistungskräftig, weil abseits der Gletscherabflüsse ein Gewässernetz in der Frostschuttstufe kaum ausgebildet ist, das Wasser im Schutt versickert und den größten Teil des Jahres in gefrorener Form vorliegt. Neben den Sturzhalden wirken auch die Blockgletscher als Sedimentfallen und lassen aus ihrem Schuttvolumen das Ausmaß der postglazialen Abtragung für die Schuttliefergebiete überschläglich abschätzen.

Tab. 2: Aus den Schuttvolumina berechnete langfristige Mittelwerte der Wandrückwitterung im Einzugsgebiet von Blockgletschern.

Gebiet	Mittlere Wandrückwitterung	Autoren
Schweizer Alpen	0,5 - 4,6 mm/a ( $\bar{\theta}$ 2,5 mm/a)	D. BARSCH 1977b
Blockgletscher "Großes Gufer", Berner Alpen	3 mm/a	B. MESSERLI und M. ZURBUCHEN 1968
Suldental, Ortler-Gruppe	0,5 mm/a	P. HÖLLERMANN unveröffentl.
Colorado Front Range	0,71 - 1,06 mm/a	N. CAINE 1974
Mt. Whitney-Gebiet, Sierra Nevada, Cal.	0,8 - 1,9 mm/a	P. HÖLLERMANN unveröffentl.
Alaska Range	0,3 - 1,2 mm/a	C. WAHRHAFTIG und A. COX 1959

Aus der Tabelle 2 sind langfristige Mittelwerte der Wandrückwitterung zwischen 0,3 und 4,6 mm pro Jahr zu entnehmen. Der Durchschnitt um 1 - 2 mm pro Jahr steht an der oberen Grenze der im Schrifttum genannten Wandrückwitterungsraten im Einzugsgebiet von Sturzhalde und läßt darauf schließen, daß die nacheiszeitliche Schuttanlieferung bzw. Wandabtragung im überwiegend schattseitig exponierten Einzugsgebiet der Blockgletscher außerordentlich groß war (vgl. auch D. BARSCH 1977b, S. 159). Dabei ist natürlich mit einem ungleichmäßigen, phasenweise verstärkten Schuttanfall zu rechnen.

Eine Erfassung der aktuellen Massenverlagerung durch Blockgletscher in der Periglazialstufe bedarf der vollständigen Kenntnis der Verbreitung aktiver Formen, ihrer Schuttvolumina und der mittleren Bewegungsraten. Diese Voraussetzungen sind leider nur selten erfüllt. Für die zentralen Schweizer Alpen fand D. BARSCH (1977b), daß dort immerhin zwischen 15 - 20% der spezifischen periglazialen Massenverlagerung allein durch die aktiven Blockgletscher bewältigt werden. Würde man das in den Schweizer Alpen durch Blockgletscher bewegte Schuttvolumen gleichmäßig über die Gesamtfläche verteilen, ergäbe sich nach BARSCH eine Lage von rund 5 cm Mächtigkeit. Unsere auf ähnlicher Basis für die westlichen San Juan Mountains (Colorado) angestellten Überschlagsberechnungen ergaben bei rund 1670 km<sup>2</sup> Gesamtfläche eine mittlere Mächtigkeit von 30 cm aktivem Blockgletscherschutt. Für die besonders blockgletscherreiche Telluride Quadrangle Map (Grundfläche etwa 150 km<sup>2</sup>) erreicht diese Mächtigkeit sogar fast einen Meter. Trotz aller unbestreitbarer Unsicherheiten solcher Größenordnungsabschätzungen unterstreichen derartige Zahlen den hohen Stellenwert der Blockgletscher-Massenbewegung im Rahmen der periglazialen Morphodynamik blockgletscherreicher Gebirge.

Eine vergleichende Überschlagsschätzung der durch Blockgletscher und durch Hangsolifluktion bewegten Schuttkubaturen (Dimension: m<sup>3</sup> km<sup>-2</sup>Jahr<sup>-1</sup>) für je ein Testgebiet in der nördlichen Ortlergruppe (Zentralalpen) und in den San Juan Mountains (Telluride Quadrangle, Colorado) ergibt, daß die volumetrische Massenverlagerung durch Blockgletscher um mindestens eine Größenord-

nung über derjenigen der Solifluktion liegt (Relationen von 10:1 bis 25:1). Die Solifluktion, deren Kleinformenschatz für die Abgrenzung und räumliche Differenzierung der gegenwärtigen Periglazialstufe so lange im Mittelpunkt gestanden hat, erweist sich hinsichtlich der morphodynamischen Massenbilanz dieser Höhenstufe als von durchaus nachgeordneter Bedeutung. In der Einstufung verschiedener Schuttverlagerungssysteme durch D.BARSCH (1977b, S. 155) für die Schweizer Alpen oder von O. SLAYMAKER und H.J. MCPHERSON (1977, S. 181) für die Kanadischen Kordillieren rangiert die Leistungsfähigkeit der Solifluktion jeweils weit hinter den Blockgletschern im unteren Teil der Skala (zur geringen Bedeutung der Solifluktion für Hangabtragsbilanzen im Gebirge vgl. auch G. VORNDRAN 1977, S. 126 ff). Freilich sind die Prozesse nicht streng vergleichbar, da die Blockgletscher räumlich stärker konzentriert und an steile Einzugsgebiete mit gesteigerter Morphodynamik gebunden sind, während die Hangsolifluktion bei weithin flächenhafter Wirksamkeit die Böschungen mittlerer bis mäßiger Neigung mit geringer Gefällsenergie beherrscht.

Auch wenn die derzeit verfügbaren quantitativen Informationen noch spärlich und z.T. unsicher sind, so lassen sie doch kaum einen Zweifel, daß die aktiven Blockgletscher in ihren Hauptverbreitungsgebieten recht leistungsfähige Schuttverlagerungssysteme des gegenwärtigen Periglazialraumes darstellen und in dieser Hinsicht bislang wohl meist unterschätzt wurden. Einschränkungen in der Beurteilung der morphodynamischen Leistungsfähigkeit ergeben sich freilich dadurch, daß der verlagerte Schutt in der Regel schon vorgegeben war und über längere Zeit angehäuft wurde, sowie dadurch, daß die Blockgletscher ihr Material nur mit begrenzter Reichweite innerhalb der Periglazialstufe verlagern und daher in der Regel nicht zur Schuttabfuhr in tiefere Lagen der Gebirge beitragen. Die Blockgletscher als Schuttverlagerungssysteme bewirken also lediglich eine langsame Schuttumlagerung innerhalb des heutigen Periglazialbereiches und sind als höhenstufenspezifische Systeme für die Abtragungsbilanz der Gebirge insgesamt von geringerer Bedeutung als höhenstufenübergreifende Prozesse, die Material den Abflußbahnen zuführen.

#### 4. NACHWORT ZUR TERMINOLOGIE

Die uneingeschränkte Verwendung des Begriffs "Blockgletscher" in unserem Beitrag ist keineswegs selbstverständlich, da die Terminologie der Blockgletscher und der Begriff selbst (rock glacier, glacier rocheux, Blockgletscher, glacier de bloques bzw. litoglaciär) häufig Gegenstand der Kritik waren und als mißverständlich und irreführend empfunden wurden. Bei der Durchsicht des Schrifttums kann man in der Tat den Eindruck gewinnen, daß terminologische Fragen die Verständigung in Sachfragen lange Zeit erschwert und Mißverständnisse begünstigt haben. So fehlte es denn auch nicht an Vorschlägen für eine terminologische Reform.

Schon zu Beginn der Forschung standen mehrere Bezeichnungen nebeneinander bzw. entwickelten sich kurz nacheinander, die überwiegend deskriptiver Art waren, z.T. aber auch genetische Vorstellungen zum Ausdruck brachten. Eine terminologische Einheitlichkeit hat auf diesem Sektor niemals bestanden. A.C. SPENCER (1900, S. 188) sprach zuerst von "a peculiar form of talus", und noch heute kann die Kennzeichnung als "runaway talus" (O. SLAYMAKER und H.J. McPHERSON 1977, S. 173) durchaus eine plastische Vorstellung von der Ausbildung und Genese vieler lobenförmigen Blockgletscher liefern (vgl. z.B. Photo 2). Im dreibändigen zeitgenössischen Standardwerk der Geologie von T.C. CHAMBERLIN und R.D. SALISBURY (1906, S. 474) taucht die Bezeichnung "talus glacier" auf, die wenig später von S.E. SIEBENTHAL (1907, S. 19) auch für zungenförmige Blockgletscher der Sangre de Cristo Mountains benutzt wird (ähnlich bei R.D. CRAWFORD 1913), und die eigentlich terminologische Priorität gegenüber der geläufigeren Bezeichnung "rock glacier" beanspruchen könnte. "Talus glacier" wird neben "rock glacier" noch im American Geological Institute's Glossary (1972, S. 615 und 723) geführt (vgl. auch "periglacial talus glaciers" bei H.T.U. SMITH 1973).

Ebenfalls schon recht früh erscheint der Begriff "rock streams" für Blockgletscher in Süd-Colorado (W. CROSS, E. HOWE und F.C. RANSOME 1905, H.B. PATTON 1910, G.E. MITCHELL 1910), der dann später vielfach aufgegriffen wurde, so u.a. von B. HÖGBOM (1914) als "Blockstrom" für Spitzbergen, von A. CHAIX (1919, 1923) als "coulées de blocs" für die Schweizer Alpen, wo der Terminus "Blockströme" sich bis zur Gegenwart viele Anhänger bewahrt hat, oder von J.E. KESSELI (1941) als "rock streams" für die Sierra Nevada in Kalifornien. E. HOWE (1909) interpretierte die Blockgletscher der San Juan Mountains genetisch als "landslides".

Der Name "rock glacier" wird gewöhnlich S.R. CAPPS (1910, S. 359) zugeschrieben und noch im gleichen Jahr (und im gleichen Band 18 des "Journal of Geology") von J.B. TYRRELL verwendet ("rock glaciers" or chrystocrenes). Die oft zitierte Priorität von CAPPS wird freilich infrage gestellt durch eine frühere, eher beiläufige Erwähnung von "rock glaciers" bei W. CROSS und E. HOWE (1905, S. 25). J.R. GIRARDINO und J.D. SHRODER (1978, S. 446) halten es in die-

sem Zusammenhang für wahrscheinlich, daß die Bezeichnung "rock glacier" neben "rock stream" den Feldgeologen des U.S. Geological Survey in diesen frühen Jahren bereits geläufig war, aber erst später auch im Schrifttum ihren allgemeinen Niederschlag fand. "Rock glacier", "rock stream" und "talus glacier" stehen damit ungefähr gleichzeitig nebeneinander. Den zeitgenössischen Forschern (z.B. S.R. CAPPS 1910, S. 360) waren sowohl Blockgletscher mit Beziehung zu echten Gletschern ("a complete gradation between the two") als auch Formen mit "interstitial ice" bekannt, so daß sich die morphogenetische Problematik gleichfalls bis in diese Zeit zurückverfolgen läßt. Der Begriff "rock glacier" bzw. seine Übersetzung in andere Sprachen hat sich bis zur Gegenwart als gängigste und allgerneinste Bezeichnung erhalten, obwohl daneben der Name "rock stream" (Blockstrom, coulée de blocs, colada de bloques, colate di pietri) sich ebenfalls als recht beharrlich erwies und von manchen Autoren begünstigt wurde.

Die Kritik an der Bezeichnung "Blockgletscher" ist vor allem darauf gerichtet, daß dieser Begriff nicht wie ursprünglich wohl gemeint als Analogie verstanden wird ("Blockgletscher" als Schuttlungen oder -loben, die in ihrer äußeren Gestalt sowie in ihrer Bewegung den Gletschern ähnlich bzw. vergleichbar sind), sondern eine unmittelbare genetische Beziehung zu echten Gletschern assoziiert. Damit würde ein Zusammenhang unterstellt, der für die Blockgletscher nicht zu verallgemeinern und in den meisten Fällen irreführend ist. Zudem erscheint angesichts der bestehenden Formenvielfalt eine Belastung der Terminologie mit bestimmten genetischen Vorstellungen bedenklich. Sogar eine Verwechslung mit blockbewegten Gletschern (Gletschern mit "Blockschollenbewegung") wäre nicht ausgeschlossen.

Wenn dann im Schrifttum und sogar in weitverbreiteten Handbüchern eigentlich stark schuttbedeckte Gletscher irrtümlich als "Blockgletscher" bezeichnet wurden (vgl. z.B. E. DRYGALSKI und F. MACHATSCHKE 1942, S. 132, oder R. von KLEBELBERG 1948, S. 157 und 192), so hat das den irrigen Eindruck bestärkt, daß es sich bei Blockgletschern lediglich um eine Sonderform echter Gletscher oder allenfalls um eine besondere Art der Moränenablagerung handelt (vgl. dazu W. KLAER 1974, 1982). Die Vorstellung von Blockgletschern als stark verschütteten kleinen Gletschern war zeitweilig stark verbreitet (vgl. S. FINSTERWALDER 1928, H. KINZL 1932, H. BOESCH 1951, A. CAILLEUX und G. TAYLOR 1954, N. GERHOLD 1964 u.a.). N. GERHOLD (1964/65) formulierte das Problem als Frage: "Die Blockgletscher - eine besondere Moränenform?". A. FAUREMURET (1949) benutzte die Bezeichnung als "pseudo-moraines".

Der anstelle von "Blockgletschern" häufig bevorzugte Begriff "Blockströme" und seine Entsprechung in anderen Sprachen vermeidet zwar den terminologischen oder genetischen Bezug zu echten Gletschern, ist aber selbst keineswegs eindeutig, da einerseits längst nicht alle Blockgletscher eine stromförmige Gestalt aufweisen, andererseits die Bezeichnung als "Blockströme" in der periglazialmorphologischen Spezialliteratur häufig für stromartige Solifluktuationsformen aus Blockschutt oder für langgestreckte Blockmeere (Blockrinnen, Blockstreifen)



Anwendung fand. Mit der Abgrenzung der Blockgletscher gegenüber solifluidalen Blockströmen beschäftigte sich z.B. G.M. RICHMOND (1952) in einer gesonderten kurzen Studie. Der Terminus "Blockstrom" als Oberbegriff würde also Formen sehr unterschiedlicher Gestalt, Größe und Genese umfassen und wird dadurch unspezifisch und ohne nähere Kennzeichnung sogar unbrauchbar.

Eher verwirrend hat sich der Vorschlag von E. GRÖTZBACH (1965) ausgewirkt, die "Blockströme" (als Oberbegriff) zu untergliedern in "Blockzungen" (in Verbindung mit echten Gletschern) und "Blockgletscher" (ohne erkennbare Verbindung mit echten Gletschern). Durch F. WILHELM (1975, S. 153 f.) fand dieser Vorschlag Eingang in die Lehrbuchliteratur. In den jüngsten Lehrbüchern und Standardwerken dokumentiert sich terminologisches Unbehagen in Bezeichnungen wie "Block- (Pseudo) Gletscher", "periglaziale Blockfließmassen", "Blockwülste", "Moränen-Blockwulst-Massen", "Schneefeld-Blockschutt-Massen", "Blockgirlanden" (H. LOUIS 1979, S. 163 f. und 438) bzw. "Blockgletscher (Pseudogletscher)" (C. RATHJENS 1982b, S. 104), die entweder sprachlich nicht recht befriedigen oder nur auf einen Teil der Formen angewandt werden können, z.T. auch wiederum zur Verwechslung mit Solifluktuationsformen Anlaß geben würden. Solche Versuche einer Neufassung der verwirrenden Terminologie haben bislang keinen nachhaltigen Erfolg gehabt und trotz ihres grundsätzlich berechtigten und begrüßenswerten Anliegens die durch eine Vielzahl existierender Benennungen verursachte terminologische Unsicherheit eher noch gesteigert.

Nun gibt es in der geomorphologischen Terminologie durchaus Beispiele, daß strittige oder mißverständliche Bezeichnungen letztlich doch auf breiter Basis akzeptiert wurden (vgl. den Begriff "periglazial"). In unserem Fall bleibt nach Abwägung der mit Priorität versehenen beiden Benennungen "rock glacier" und "rock stream" wohl nur die Möglichkeit, den Namen "rock glacier" (bzw. Blockgletscher) trotz berechtigter Kritik und möglicher Mißverständnisse als Oberbegriff beizubehalten, da er mittlerweile in der forschungsintensiven internationalen Spezialliteratur fest eingebürgert ist und schwerlich wieder auszumerzen wäre. Versuche von Neubennungen müssen international konsenzfähig sein. Sie laufen Gefahr, sich gegenüber dem verbreiteten Gebrauch der Bezeichnung "Blockgletscher" nicht durchzusetzen und dann den verwirrenden terminologischen Pluralismus nur noch weiter zu fördern.

Von der hier vorgeschlagenen Beibehaltung des ursprünglichen Begriffs Blockgletscher (rock glacier) bleibt die Möglichkeit unberührt, je nach Bedarf und Fragestellung eine weitere Untergliederung bzw. Typisierung vorzunehmen. Eine solche Untergliederung, für die das einschlägige Schrifttum zahlreiche Vorschläge enthält, kann nach recht verschiedenen Kriterien erfolgen:

- a) nach der äußeren Gestalt (zungenförmige Bl. = tongue-shaped rock gl., lobenförmige Bl. = lobate rock gl., protalus lobes, evtl. darüber hinaus oder als Untertypen die löffel- bzw. spatelförmigen Bl. = spatulate rock gl., sowie bewegte Blockschuttwälle und -wülste = moving protalus ramparts or moraine ridges; Lit.: u.a. J. DOMARADZKI 1951, C. WAHRHAFTIG und A. COX 1959,

S.E. WHITE 1976)

- b) nach dem Aktivitätsgrad (aktiv - inaktiv; oder aktiv - inaktiv - fossil; Lit.: D. BARSCH 1973)
- c) nach der Genese bzw. Materialherkunft (primäre Bl. aus Haldenmaterial, Lawinschutt oder Haldenfußwällen, sekundäre Bl. aus Moränenmaterial bzw.
- c) in Verbindung mit Gletschern; Lit.: A.E. CORTE 1976 mit einer weitergehenden Differenzierung)
- d) nach der Lage im Relief (z.B. Talboden-Bl. = valley floor rock gl., Karboden-Bl. = cirque floor rock gl., Talhang-Bl. = valley-wall rock gl.; Lit.: S.I. OUTCALT und J.B. BENEDICT 1965) oder
- e) nach dem inneren Bau (Bl. mit Blankeiskern aus Gletschereis oder/und Segregationseis = ice-cored rock gl., Bl. mit Eiszement bzw. Hohlraumseis = ice-cemented rock gl., Übergangstypen = transitional rock gl.; Lit.: N. POTTER 1972, S.E. WHITE 1976, P.G. JOHNSON 1980).

Diese vorläufige Zusammenstellung häufig genannter Typen erstrebt keine Vollständigkeit. Eine Gleichsetzung von Typen, die nach unterschiedlichen Kriterien ausgegliedert wurden (z.B. zungenförmiger Bl. = Talboden-Bl. = sekundärer Bl. = Bl. mit Blankeiskern), bedarf von Fall zu Fall der Rechtfertigung und ist nicht zu verallgemeinern.

Realistischer als eine starre Typenbildung und scharfe Abgrenzung der Blockgletscher ist die Erfassung der möglichen Übergänge in Dreiecksdiagrammen, wie sie D.R. CURREY (1968, abgedruckt bei S.A. HARRIS 1979, S. 69) oder J.B. JOHNSON (1973, S. 88) geliefert haben. Terminologische Probleme sollten jedenfalls nicht länger die mit fortschreitender Geländeforschung immer näher gerückte Verständigung und Einigung in Sachfragen behindern.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Mit dem vorliegenden Beitrag wird die Bedeutung der Blockgletscher als Mesoformen der heutigen Periglazialstufe am Beispiel europäischer und nordamerikanischer Gebirge auf der Grundlage der horizontalen und vertikalen (hypsometrischen) Formenverbreitung großräumig-vergleichend untersucht. Der regionale Teil (Abschnitt 2) liefert eine Bestandsaufnahme des Kenntnisstandes von der Formenverbreitung mit einer Dokumentation durch Karten und Profile (Fig. 1 - 12), während im allgemeinen Teil (Abschnitt 3) versucht wird, die Ergebnisse und Regelmäßigkeiten in vergleichender Sicht darzustellen. Diese allgemeinen Ergebnisse lassen sich in Beantwortung der einleitend gestellten Fragen wie folgt zusammenfassen:

### *1. Sind die Blockgletscher in allen Hochgebirgen wesentlicher Bestandteil des Mesoreliefs der Periglazialstufe oder gibt es dabei regelhafte Abstufungen?*

Der großräumige Vergleich macht für die Gebirge der Mittelbreiten regelhafte klimaabhängige Abstufungen deutlich. Von hochozeanischen und winterschneereichen Gebirgen, wo aktive Blockgletscher nicht oder nur unter Sonderbedingungen auftreten, wächst die Anzahl und Flächendeckung der Formen zu winterschneearmen, kontinental-winterkalten und trockenen Gebirgen im Grenzbereich der Existenzmöglichkeit gegenwärtiger oder postglazialer Gletschervorkommen an. Allgemeine Voraussetzungen der Formenentwicklung sind die reichliche Verfügbarkeit von vorgegebenem Schutt und ein Klima, das zwar die Erhaltung oder Neubildung von Eis in den Schuttkörpern ermöglicht, aber nicht zu einer ausgedehnten Vergletscherung bis in die Tieflagen herab führt. Dadurch sind kontinentale und relativ trockene Gebirge in der Häufigkeit aktiver Blockgletschervorkommen gegenüber ozeanischen Gebirgen begünstigt. Für den arktisch-kontinentalen Bereich in höheren Breiten ist allerdings mit besonderen Bedingungen zu rechnen.

### *2. Bestehen noch berechnete Zweifel an der Zugehörigkeit der Blockgletscher zum periglazialen Formenkreis?*

Blockgletscher konnten sich sowohl in enger räumlicher Beziehung zu Gletschern als auch völlig unabhängig davon entwickeln. Die glaziale Ursprungstheorie konnte daher niemals Allgemeingültigkeit beanspruchen. Bei zungenförmigen Blockgletschern sind Verbindungen mit noch bestehenden oder inzwischen geschwundenen Gletschern sowie augenscheinliche Übergänge recht verbreitet anzutreffen, doch ist der erkennbare räumliche Zusammenhang nicht ohne weiteres auch als genetischer Zusammenhang zu interpretieren, wie das im Schrifttum

häufig geschehen ist. Genauere Untersuchungen haben ergeben, daß Gletschereis im oberen Abschnitt von Blockgletscherzungen viel älter sein kann als benachbarte Gletscher. Die jüngsten "historischen" Gletscherhochstände haben gewöhnlich nicht zur Bildung von Blockgletschern geführt.

In vielen Gebirgen reicht die mittlere Untergrenze der aktiven Blockgletscher nur wenig unter die mittlere Untergrenze der Gletscherenden herab, so daß die Blockgletscher dann von der Verbreitung her als "gletschernahe Periglazialfazies" zu bezeichnen sind ("near glacial end member of the periglacial facies" nach R.F. MADOLE 1972, S. 123). Da im Unterschied zu hochgradig schuttbedeckten Gletscherzungen die aktiven Blockgletscher auf eine enger begrenzte Höhenstufe der Gebirge beschränkt bleiben, sind offensichtlich nur dort die makro- und topoklimatischen Voraussetzungen der Formenbildung gegeben.

Eine Analyse der klimatischen Zuordnung von Blockgletschervorkommen zur Permafrostzonierung mit Hilfe von positiven und negativen Temperatursummen nach dem Vorbild von S.A. HARRIS (1979 - 1981) erweist, daß einwandfrei aktive und typische Formen auf die Bereiche des potentiellen diskontinuierlichen und kontinuierlichen Dauerfrostbodens beschränkt bleiben, während zweifelsfrei fossile Formen im Diagrammsektor außerhalb aller Permafrostgrenzen auftreten (Abschnitt 3.3 und Fig. 13). Die aktiven Blockgletscher sind demnach in der Tat an ein periglaziales Permafrostklima gebunden. Zwar gibt es Hinweise dafür, daß der zur Bewegung großer zungenförmiger Blockgletscher notwendige hohe Eisanteil (40 - 70%) durch das Vorhandensein von Gletschern oder Gletscherschmelzwasser im Einzugsgebiet begünstigt oder in besonders trockenen Gebirgen vielleicht überhaupt erst ermöglicht wird, doch vollzieht sich die Blockgletscherbewegung auch dann außerhalb des aktuellen glazialen Bereiches im gletschernahen Periglazialbereich als langsame Massenbewegung vorgegebener Schuttmassen mit hohem Eisenanteil. Berechtigte Zweifel an der Zugehörigkeit der Blockgletscher zum periglazialen Formenkreis erscheinen somit nicht mehr angebracht.

### *3. Läßt sich aus den Grundregeln der Formenverbreitung die räumliche Stellung der Blockgletscher innerhalb der Periglazialstufe präzisieren?*

Die Verbreitung der aktiven Blockgletscher innerhalb der gegenwärtigen Periglazialstufe wird hauptsächlich durch die Faktoren Klima und Relief vorgegeben, die ihrerseits die Verfügbarkeit von Eis und Schutt steuern. Die Formen benötigen ein steiles Einzugsgebiet als Ausgangsrelief (Reliefenergie zwischen 250/300 m im relativ ozeanischen bis 750/800 m im trockenkontinentalen Bereich) und weisen eine Präferenz für schattseitige Auslagen auf (Fig. 14), die bei Zungenformen ausgeprägter als bei Lobenformen ist. Der notwendige Schutt wird gewöhnlich durch Sturzhalden, Haldenfußwälle oder Moränen vorgegeben. Im Idealfall läßt sich eine regelhafte Höhenstufenabfolge erkennen (vgl. auch

R.F. MADOLE 1972), die am unteren Ende mit Sturzhalden einsetzt, höhenwärts über lobenförmige zu zungenförmigen Blockgletschern fortschreitet und schließlich mit jungen Moränen und Eisgletschern endet (Fig. 15). Innerhalb dieser Abfolge ändert sich auch die Schutt-Eis-Relation regelhaft mit der Höhe. Die spezielle Stellung der aktiven Blockgletscher zwischen unbewegten Schuttakkumulationen und gegenwärtigen Eisgletschern bei entsprechenden Relief- und Geländeklima-Bedingungen wird von S.E. MORRIS (1981, S. 331) als "topoclimatic niche of rock glacier formation" bezeichnet.

Die hypsometrische Stellung der aktiven Blockgletscher innerhalb der heutigen Periglazialstufe weist wiederum Unterschiede in Abhängigkeit vom Klima-Charakter auf. Von ozeanischen über mäßig kontinentale zu kontinentalen Gebirgen der Mittelbreiten sinkt die Untergrenze aktiver Blockgletscher relativ zur oberen Waldgrenze und gleichsinnig mit der 0°-Jahresisotherme ab (Fig. 16). Dadurch bleiben die Formen z.B. in den Zentralalpen hauptsächlich auf die subnivale bzw. Frostschuttstufe beschränkt, während sie in den kontinentaleren Rocky Mountains bis zum oberen Waldgrenzsaum und damit zur Untergrenze der heutigen Periglazialstufe herabreichen. In diesen Gebieten können die aktiven Formen wohl tatsächlich als Indikatoren für die Reichweite des diskontinuierlichen Permafrostes im Sinne von D. BARSCH dienen. Zum arktisch-kontinentalen Bereich hin steigt die Untergrenze aktiver Blockgletscher jedoch wieder relativ zur oberen Waldgrenze an und schneidet dabei die Permafrostzonen (Fig. 16, rechter Teil). Die Grenze unterliegt dort offenbar nicht mehr vorrangig thermischen Regelmäßigkeiten und muß als Indikator der Reichweite des Permafrostes ausscheiden. Eine Präzisierung der räumlichen Stellung der aktiven Blockgletscher innerhalb der Periglazialstufe ist also durchaus möglich, doch treten dabei regelhafte regionale Unterschiede hervor.

#### *4. Welchen Beitrag liefern die Blockgletscher zur aktuellen Morphodynamik der Periglazialstufe?*

Die Bedeutung der aktiven Blockgletscher für die Morphodynamik der gegenwärtigen Periglazialstufe unterliegt augenscheinlich ebenfalls quantitativen Abstufungen in Beziehung zum Ozeanitäts- bzw. Kontinentalitätsgrad. An den gebietsweise recht hohen Abtragungsraten ozeanischer Hochgebirge (z.B. im Pazifischen Nordwesten der U.S.A.) haben aktive Blockgletscher so gut wie keinen Anteil. Für mehr oder minder kontinentale Gebirge lassen sich aus den Schuttvolumina von Blockgletschern verhältnismäßig hohe Mittelwerte der Wandrückwitterung um 1 - 2 mm pro Jahr in den Einzugsgebieten abschätzen (Tabelle 2). Aktive Blockgletscher bewältigen in den zentralen Schweizer Alpen zwischen 15 -20% der spezifischen periglazialen Massenverlagerung (D. BARSCH 1977b). Für die San Juan Mountains (Colorado) ergeben sich eher noch höhere Anteile. Überschlagsschätzungen für je ein Testgebiet in den zentralen Ostalpen und in den

südlichen Rocky Mountains führen zu dem Schluß, daß die volumetrische Massenverlagerung durch Blockgletscher um mindestens eine Größenordnung über derjenigen der Hangsolifluktion liegt (Relationen 10:1 bis 25:1). In ihren Hauptverbreitungsgebieten stellen die aktiven Blockgletscher zweifellos recht leistungskräftige Schuttverlagerungssysteme der gegenwärtigen Periglazialstufe dar. Allerdings handelt es sich dabei gewöhnlich um eine Umlagerung vorgegebenen Schuttes mit begrenzter Reichweite innerhalb der Periglazialstufe, die nicht zu einer Schuttabfuhr in tiefere Lagen der Gebirge führt.

Die als "Blockgletscher" bezeichnete Formengruppe besteht aus Formen verschiedener Gestalt, verschiedenen Alters und Aktivitätsgrades, sowie unterschiedlicher Schutt- und Eisherakunft. In der Schwierigkeit, solche Typen eindeutig zu unterscheiden und getrennt zu untersuchen, beruhen offensichtlich viele lang tradierte Probleme und Kontroversen der Blockgletscherforschung. Hinzu kommt, daß die horizontale und vertikale Verbreitung der Formen und die dafür maßgeblichen Steuerungsfaktoren auch regelhafte räumliche Abstufungen in Abhängigkeit vom Klimacharakter aufweisen, so daß regionale Befunde nicht verallgemeinert werden dürfen. So wünschenswert es erscheinen mag, der Vielfalt von Blockgletscherformen und -typen auch terminologisch gerecht zu werden und dadurch einige in der unklaren Terminologie begründete Mißverständnisse auszuräumen, so hat sich die Bezeichnung "Blockgletscher" (rock glacier, glacier rocheux) im internationalen Schrifttum so weitgehend eingebürgert, daß eine grundlegende Reform der Terminologie die Gefahr von Mißverständnissen wohl eher noch steigern würde.

## Summary

### **ROCK GLACIERS AS MESO-SCALE LANDFORMS OF THE PERIGLACIAL BELT STUDIES IN HIGH MOUNTAINS OF EUROPE AND NORTH AMERICA**

The first part of the study gives a survey of the present knowledge of the horizontal and vertical distribution of rock glaciers in high mountains in Europe and North America. The pattern of distribution is documented by means of maps and cross-sections (Fig. 1 - 12). In the second more general part an attempt is made to present the conclusions and patterns comparatively.

The significance of rock glaciers as meso-scale landforms of the periglacial belt in high mountains of middle latitudes varies according to the region. In highly oceanic areas, and in areas with a heavy winter snow cover, either no active rock glaciers are to be found, or they can exist under specific conditions only. The number and surface-area of the forms increases in high mountains with a continental climate with cold, dry winters and a rather poor or discontinuous snow cover. General conditions for the formation of such landforms are the abundant availability of existing debris (talus, protalus ramparts, or moraines) and also a climate which allows ice to remain or to form in the debris, but without leading to the extensive formation of glaciers into lower altitudes. Specific conditions may be found in arctic-continental areas.

Rock glaciers have formed in close proximity to or completely independently of glaciers. Tongue-shaped rock glaciers in particular are often found to be closely connected to glaciers, although close proximity is not necessarily an indication of a genetic connection. In many high mountains the average lower limit of the active rock glaciers reaches down a little below the average lower limit of the end of the true ice glaciers only, so that rock glaciers can, according to their distribution, be termed "near glacial end member of the periglacial facies." (R.F. MADOLE 1972, p. 123).

The distribution of active rock glaciers shows a connection with certain macroclimatic and topoclimatic conditions. An analysis of the climatic distribution of rock glaciers according to S.A. HARRIS' "freezing and thawing indices" (1979 - 1982) proves that active, typical rock glaciers are limited to the areas of potential discontinuous and continuous permafrost. Active rock glaciers are therefore connected with a periglacial permafrost climate. This does not exclude the possibility of formation and movement of tongue-shaped rock glaciers being favoured by the existence of true glaciers or melting ice in the drainage area.

The elevational distribution of active rock glaciers within the present periglacial belt shows distinct differences in the dependence on the type of climate. The lower limit of active rock glaciers sinks relatively to the upper forest limit and similar to the 0° C annual isotherm from oceanic, through moderate-continental to continental high mountains of the middle latitudes (Fig. 16). Thus

the landforms in the central Alps remain mainly limited to the sub-nival frost-debris belt, whereas in the more continental Rocky Mountains they reach down as far as the subalpine timber-line ecotone. In these areas the active forms can actually be used as indicators of the range of discontinuous permafrost (D. BARSCH). The lower limit of active rock glaciers rises again, relatively to the upper forest limit, in regions with an arctic-continental climate, and thus ends within the permafrost zones (Fig. 16, section on right). Thus in this case the rock glaciers are no longer useful as an indication of the range of permafrost.

In oceanic high mountains active rock glaciers contribute only to a slight extent or not at all to the denudation rates. In the areas where they are most widely distributed under more continental conditions the rock glaciers undoubtedly present very efficient systems for the movement of debris (mass-wasting) in the actual periglacial belt. Some quantitative calculations of the effectiveness are given in the text.

The group of landforms known as "rock glaciers" is actually very complex, and this has been the reason for some controversies and misunderstandings in the study of rock glaciers. The unclear terminology has also contributed to misunderstandings. The term "rock glacier", however, has been adopted in the international literature to such an extent, that a basic reform of the terminology would have little chance of general approval.



## Literatur

- ALLEY, N.F. und YOUNG, G.K. (1978): North Central British Columbia, Environmental significance of geomorphic processes. In: RAB Bulletin 3, Ministry of Environment, Province of British Columbia, Victoria, 21 - 53
- ANDERSON, L.W. und ANDERSON, D.S. (1981): Weathering rinds on quartzarenite clasts as a relative-age indicator and the glacial chronology of Mount Timpanogos, Wasatch Range, Utah. In: Arctic and Alpine Research 13, 1981, 25 - 31
- ANDREWS, J.T., WILLIAMS, L.D. und CARRARA, P.E. (1976): Ecological overview II. The geomorphological overview. In: STEINHOFF, H.W. und IVES, J.D. (Ed.), Ecological Impacts of Snowpack Augmentation in the San Juan Mountains of Colorado, Final Report, Colorado State University, Fort Collins, Col., 87 - 104
- ANGÉLY, A.G. (1967): Anciens glaciers rocheux dans l'Est des Pyrénées centrales. In: Revue Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest 38, 5 - 28
- ANTEVS, E. (1932): Alpine zone of Mt. Washington Range, Auburn, Maine, 118 S.
- ATWOOD, W.W. und MATHER, K.F. (1932): Physiography and quaternary geology of the San Juan Mountains, Colorado. In: U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 166, 162 - 163
- BARRÈRE, P. (1952): Le relief des massifs granitiques du Néouvielle, de Caunterets et de Panticosa. In: Revue Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest 23, 69 - 98
- BARSCHE, D. (1969a): Studien und Messungen an Blockgletschern. In: Z.f.Geom. Suppl. - Bd. 8 (Glazialmorphologie), 11 - 30
- BARSCHE, D. (1969b): Permafrost in der oberen subnivalen Stufe der Alpen. In: Geographica Helvetica 24, 10 - 12
- BARSCHE, D. (1970): Fossile Blockgletscher als Klimaindikatoren der letzten Kaltzeit. In: Eiszeitalter und Gegenwart, 21, 194
- BARSCHE, D. (1971a): Neuere Untersuchungen an Blockgletschern in den Schweizer Alpen. In: Wiss.Verh.d. Schweiz. Naturf. Ges., 122
- BARSCHE, D. (1971b): Rock glaciers and ice-cored moraines. In: Geografiska Annaler, Vol. 53A Nr. 4, 203 - 206
- BARSCHE, D. (1973): Refraktionsseismische Bestimmung der Obergrenze des gefrorenen Schuttkörpers in verschiedenen Blockgletschern Graubündens, Schweizer Alpen. In: Z.f. Gletscherkde. u. Glazialgeol. 9, 143 - 167
- BARSCHE, D. (1977a): Alpiner Permafrost — ein Beitrag zur Verbreitung, zum Charakter und zur Ökologie am Beispiel der Schweizer Alpen. In: Formen, Formengesellschaften und Untergrenzen in den heutigen periglazialen Höhenstufen der Hochgebirge Europas und Afrikas zwischen Arktis und Äquator. Hrsg. v. H. POSER, Bericht über ein Symposium, Akad. d. Wissensch. in Göttingen, Math.-Phys. Kl., 3. Folge, Bd. 31, 118 - 141
- BARSCHE, D. (1977b): Eine Abschätzung von Schuttproduktion und Schutttransport im Bereich aktiver Blockgletscher der Schweizer Alpen. In: Z.f.Geom. Suppl. Bd. 28, 148 - 160
- BARSCHE, D. (1977c): Nature and importance of masswasting by rock glaciers in alpine permafrost environments. Earth Surface Processes. In: Journal of Geomorphology, 2, 231 - 245
- BARSCHE, D. (1980): Die Beziehung zwischen der Schneegrenze und der Untergrenze der aktiven Blockgletscher. In: Höhengrenze in Hochgebirgen. Hrsg. v. Ch. JENTSCH und H. LIEDTKE, Arbeiten aus dem Geographischen Institut d. Universität d. Saarlandes, Bd. 29 (Saarbrücken), 119 - 133
- BARSCHE, D. (1982): Blockgletscher-Studien, eine Zusammenfassung. In: Geomorph. Symposium d. Akad. d. Wissensch. in Göttingen Oktober 1982, Abhandl. der Akad. d. Wissensch. in Göttingen (im Druck)

- BARSCHE, D., FIERZ, H. und HAEBERLI, W. (1979): Shallow core drilling and borehole measurements in the permafrost of an active rock glacier near the Grubengletscher, Wallis, Swiss Alps. In: *Arctic and Alp. Research* 11, 215 - 228
- BARSCHE, D. und TRETER, U. (1976): Zur Verbreitung von Periglazial-Phänomenen in Rondane/Norwegen. In: *Geogr. Annaler* 58 A, 83 - 93
- BARSCHE, D. und UPDIKE, R.G. (1971a): Periglaziale Formung am Kendrick Peak in Nord-Arizona während der letzten Kaltzeit. In: *Geographica Helvetica* 26, 99 - 114
- BARSCHE, D. und UPDIKE, R.G. (1971b): Late pleistocene periglacial geomorphology (rock glaciers and blockfields) at Kendrick Peak, Northern Arizona. In: *Arizona Geological Society Digest*, Vol. 9, 225 - 243
- BENEDICT, J.B. (1973): Origin of rock glaciers. In: *Journal Glaciology*, 12, No. 66, 520 - 522
- BINGGELI, V. (1965): Der Blockstrom im Val Cadlimo. In: *Regio Basiliensis* 6, 149 - 154
- BIRKELAND, P.W. (1973): Use of relative age dating methods in a stratigraphic study of rock glacier deposits, Mt. Sopris, Colorado. In: *Arctic and Alpine Research*, 5, No. 4, 401 - 416
- BIRMAN, J.H. (1964): Glacial geology across the crest of the Sierra Nevada, California. In: *Geol. Soc. America Spec. Paper* 75, 80 S.
- BIRNIE, R. und THOM, G. (1982): Preliminary observations on two rock glaciers in South Georgia, Falkland Islands Dependencies. In: *Journ. of Glaciology*, 28, No. 99, 377 - 386
- BLAGBROUGH, J.W. und FARKAS, S.E. (1968): Rock glaciers in the San Mateo Mountains, south-central New Mexico. In: *Am. Journ. of Science* 266, No. 9, 812 - 823
- BOESCH, H. (1951): Beiträge zur Kenntnis der Blockströme. In: *Die Alpen*, 27, Nr. 1, 1 - 5
- BORTENSCHLAGER, S. (1972): Der pollenanalytische Nachweis von Gletscher- und Klimaschwankungen in Mooren der Ostalpen. In: *Berichte d. Deutsch. Botan. Gesellsch.* 85, 113 - 122
- BORTENSCHLAGER, S. (1977): Ursachen und Ausmaß postglazialer Waldgrenzschwankungen in den Ostalpen. In: *Dendrochronologie und postglaz. Klimaschwankungen in Europa*, hrsg. v. B. FRENZEL, *Erdwiss. Forschung* 12, Wiesbaden, 260 - 266
- BROWN, H.W. (1925): A probable fossil glacier. In: *Journal of Geology* 33, 464 - 466
- BUSCH, G. (1982): Zur heutigen Kenntnis der Verbreitung und Entstehung von Blockgletschern in den Alpen. *Wiss. Arbeit im Rahmen der 1. Staatsprüfung f.d. Lehramt Sek. II, Bonn*, unveröff. Schreibmaschinenmanuskript, 110 S. und Beilagen
- CAILLEUX, A. und TAYLOR, G. (1954): *Cryopédologie. Etude des Sols Gelés*. In: *Expéd. Polaires Françaises IV*, Paris, 219 S.
- CAINE, N. (1978): Climatic Geomorphology in Mid-Latitude Mountains. In: *Landform Evolution in Australasia*, (ed. DAVIES, J.L., und WILLIAMS, M.A.J.), Canberra, 113 - 127
- CAPELLO, C.F. (1947): Le 'pietraie semoventi' delle Alpi occidentali. In: *Natura (Rivista die Scienze Naturali)* 38, 17 - 23
- CAPPS, S.R. (1910): Rock glaciers in Alaska. In: *Journal of Geology*, 18, 359 - 375
- CARRARA, P.E. (1973): Transition from shear moraines to rock glaciers. In: *Journal of Glaciology*, 12, Nr. 64, 149
- CARRARA, P.E. und ANDREWS, J.T. (1975): Holocene glacial/periglacial record; Northern San Juan Mountains, Southwestern Colorado. In: *Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.* 11, 155 - 174
- CHAIX, A. (1919): Coulées de blocs (rock-glaciers, rock streams) dans le Parc National Suisse de la Basse-Engadine. In: *C.R. Séances Soc. Phys. Hist. Nat. Genève*, 36, 12 - 15
- CHAIX, A. (1923): Les coulées de blocs du Parc National Suisse d'Engadine (Note préliminaire). In: *Le Globe* 62, 1 - 35

- CHAIX, A. (1943): Les coulées de blocs du Parc National Suisse. Nouvelles mesures et comparaison avec les "rock streams" de la Sierra Nevada de Californie. In: *Le Globe* 82, 121 - 128
- CHAMBERLIN, T.C. und SALISBURY, R.D. (1906): *Geology*, 3 Vols., New York
- CORTE, A.E. (1976): Rock glaciers. In: *Biuletyn Peryglacjalny*, 26, 175 - 197
- CRANDELL, D.R. (1969): The geologic story of Mount Rainier. In: *Geol. Survey Bull.* 1292, 43 S.
- CRANDELL, D. R. und MILLER, R.D. (1974): Quaternary stratigraphy and extent of glaciation in the Mt. Rainier Region, Washington. In: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 847, 59 S.
- CRAWFORD, R.D. (1913): *Geology and ore deposits of the Monarch and Tomichi Districts, Colorado*. In: *Color. Geolog. Survey, Bull.* 4, 34 - 36
- CROSS, W. und HOWE, E. (1905): *Geography and general geology of the Silverton Quadrangle, (Colorado)*. In: *U.S. Geol. Surv. Geol. Atlas of the United States Folio No.* 120, 1 - 25
- CURREY, R.R. (1968): Neoglaciation in the mountains of the southwestern United States. Unpubl. Ph. D. Thesis, Dept. of Geogr., Univ. of Kansas, 171 S.
- CURRY, R.R. (1968): Quaternary climatic and glacial history of the Sierra Nevada, California. Ann Arbor, Michigan, University Microfilms, Order No. 68 - 13, 896, 238 S.
- CURRY, R.R. (1970): Holocene climatic and glacial history of the Central Sierra Nevada, California. In: *Geolog. Society of America, Spec. Paper* 123, 47 S. (= U.S. Contributions to Quaternary Research, ed S.A. SCHUMM, und W.C. BRADLEY)
- DEMANGEOT, J. (1978): L'étage périglaciaire au Gran Sasso (2912 m), Italie centrale. In: *Colloque sur le Périglaciaire d'Altitude du Domaine Méditerranéen et Abords, Strasbourg 1977, Assoc. Géogr. d'Alsace*, 209 - 220
- DINGWALL, P.R. (1973): Rock glaciers in the Canadian Rocky Mountains. In: *9th Congr. Intern. Union Quatern. Research, Abstracts*, 80 - 81
- DOMARADZKI, J. (1951): Blockströme im Kanton Graubünden. In: *Ergebnisse der Wissenschaftl. Untersuchungen des Schweizerischen Nationalparks* 3. Jg. (N.F.), Nr. 24, 173 - 235
- DONA, F. (1956): Osservazioni sulla morfologia periglaciale della Valle Aurina. In: *Studi sui fenomeni crionivali nelle Alpi Italiane*, Fondazione per i problemi montani dell'Arco Alpino, Milano, 11, 105 - 13
- DRYGALSKI, E. von, und MACHATSCHEK, F. (1942): *Gletscherkunde. Enzyklopädie der Erdkunde*, Wien, 261 S.
- ELLIS, J.M. und PARKER, E.C. (1979): Nature and distribution of glaciers, neoglacial moraines, and rock glaciers, east-central Brooks Range, Alaska. In: *Arctic and Alp. Research* 11, 403 - 420
- EUGSTER, H. (1973): Berichte über die Untersuchungen des Blockstroms in der Val Sassa im Schweiz. Nationalpark (GR) von 1917 - 1971. In: *Ergebnisse der Wissenschaftl. Untersuchungen des Schweizerischen Nationalparks*, 11. Jg. (N.F.) Nr. 68, 368 - 384
- FAURE-MURET, A. (1949): Les 'rock-streams' ou 'pseudo-moraines' du Massif de l'Argentera-Mercantour. In: *C.R. Somm. Séances Bull. de la Soc. Géol. France*, No. 7, 118 - 120
- FINSTERWALDER, S. (1928): Begleitworte zur Karte des Gepatschferners. In: *Zeitschr. f. Gletscherkunde* 16, 20 - 41
- FLINT, R.F. und DENNY, C.S. (1958): Quaternary geology of Boulder Mountain, Aquarius Plateau, Utah. In: *U.S. Geol. Surv. Bull.* 1061-D, 103 - 164
- FOSTER, H.L. und HOLMES, G.W. (1965): A large transitional rock glacier in the Johnson River area, Alaska Range. In: *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap.* 525-B, B112-B116
- FRAEDRICH, R. (1979): Spät- u. postglaziale Gletscherschwankungen in der Ferwallgruppe (Tirol/Vorarlberg). In: *Düsseldorfer Geogr. Schriften* 12, 161 S.
- FRANCOU, B. (1977): Formes d'éboulis dans le Briançonnais. In: *Revue de Géogr. Alpine* 65, 64 - 73

- FRITZ, P. (1969): Vergleichende Untersuchung der rezenten periglazialen Region im Kristallin und Kalk der Ostalpen (Schneeberger Alpen, Hochschwab, Dachstein, Hochwechsel, Schladminger Tauern, Sadnig-Gruppe). Diss. phil. Univ. Wien, (unveröff. Schreibmaschinenmanuskript), 406 S. und Beilagen.
- FRITZ, P. (1976): Gesteinsbedingte Standorts- u. Formendifferenzierung rezenter Periglazialerscheinungen in den Ostalpen. In: *Mitteil. d. Österreich. Geogr. Ges.* 118, 237 - 273
- FUJII, Y. und HIGUCHI, K. (1978): Distribution of alpine permafrost in the Northern Hemisphere and its relation to air temperature. In: *Proceed. of the 3rd Intern. Conf. on Permafrost, July 1978, Edmonton, Alberta, Canada, National Research Council of Canada I, Ottawa*, 366 - 371
- GAMS, H. (1931/32): Die klimatische Begrenzung von Pflanzenarealen und die Verteilung der hygrischen Kontinentalität in den Alpen. In: *Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. Berlin* 1931, 321 - 346, 1932, 52 - 68 und 178 - 198
- GARDNER, J. (1972): Recent glacial activity and some associated landforms in the Canadian Rocky Mountains. In: *Mountain Geomorphology* (ed. O. SLAYMAKER und H.J. McPHERSON), 55 - 62
- GERHOLD, N. (1963): Zwei berühmte Blockgletscher in der Umgebung des Gepatschhauses. In: *Nachrichtenblatt des DAV, Sektion Frankfurt M.* 32, 3 - 4
- GERHOLD, N. (1964): Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen. Diss. Phil. Universität Innsbruck, unveröff. Schreibmaschinenmanuskript, 204 S.
- GERHOLD, N. (1964/65): Die Blockgletscher - eine besondere Moränenform? 32. Jahresbericht des Bischöflichen Gymnasiums Paulinum in Schwaz, 3 - 24
- GERHOLD, N. (1967): Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen. Unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscherproblems. In: *Veröff. Mus. Ferd. Innsbruck*, 47, 5 - 52
- GERHOLD, N. (1969): Zur Glazialgeologie der westlichen Ötztaler Alpen. Unter besonderer Berücksichtigung des Blockgletscherproblems. In: *Veröff. Mus. Ferd. Innsbruck*, 49, 45 - 78 (Fortsetz. v. GERHOLD 1967)
- GERHOLD, N. (1970): Blockgletscher im Ötztal. In: *Tiroler Heimatblätter*, 45, Nr. 10 - 12, 107 - 114
- GERHOLD, N. (1971): Glaziale und periglaziale Ablagerungen in den westlichen Ötztaler Alpen. In: *Tiroler Heimatblätter*, 46, Nr. 4 - 6, 31 - 35
- GIARDINO, J.R. und SHRODER, J.F., Jr. (1978): The origin of the term 'rock glacier'. In: *Journal of Glaciology*, 20, Nr. 83, 446
- GOLDTHWAIT, J.W. (1913): Glacial cirques near Mount Washington. In: *Am. Jour. of Science* 35, 1 - 18
- GORBUNOV, A.P. (1978): Permafrost investigations in high mountain regions. In: *Arctic and Alp. Research* 10, 283 - 294
- GRIFFEY, N.J. und WHALLEY, W.B. (1979): A rock glacier and moraine ridge complex, Lyngen Peninsula, north Norway. In: *Norsk Geogr. Tidsskr.* 33, 117 - 124
- GRÖTZBACH, E. (1965): Beobachtungen an Blockströmen im afghanischen Hindukusch und in den Ostalpen. In: *Mitteilungen der Geogr. Gesellschaft in München*, 50, 175 - 201
- GUITER, V. (1972): Une forme montagnarde: Le rockglacier. In: *Revue de Géographie Alpine*, 60, Nr. 3, 467 - 487
- GUTIERREZ ELORZA, M. und PENA MONNE, J.L. (1981): Los glaciares rocosos y el modelado acompañante en el area de la Bonaigua (Pirineo de Lerida). *Boletín Geol. y Minero* 92, 11 - 20
- HAEBERLI, W. (1975): Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden). In: *Mitteil. d. Eidgen. Techn. Hochschule Zürich, Versuchsanstalt f. Wasserbau, Hydrologie u. Glaziologie* 17, 221 S.
- HAEBERLI, W. (1978): Special aspects of high mountain permafrost methodology and zonation in the Alps. In: *Proceed. 3rd Inter. Conference on Permafrost, July 1978, Edmonton, Alberta, Canada, Nat. Research Council of Canada, Vol. 1, Ottawa*, 378 - 384

- HAEBERLI, W. (1980): Morphodynamische Aspekte aktueller Gletscherhochwasser in den Schweizer Alpen. In: *Regio Basiliensis* 21, 58 - 78
- HAEBERLI, W. (1981): Ice motion on deformable sediments. In: *Journ. of Glaciology* 27, Nr. 96, 365 -366
- HARRIS, S.A. (1979): Ice Caves and Permafrost zones in Southwest Alberta. In: *Erdkunde*, 33, 61 -70
- HARRIS, S.A. (1981a): Climatic relationship of permafrost zones in areas of low winter snowcover. In: *Arctic* 34, 64 - 70
- HARRIS, S.A. (1981b): Distribution of active glaciers and rock glaciers compared to the distribution of permafrost landforms, based on freezing and thawing indices. In: *Canadian Journal of Earth Sciences* 18, 376 - 381
- HARRIS, S.A. (1981c): Distribution of zonal permafrost landforms with freezing and thawing indices. In: *Erdkunde* 35, 81 - 90
- HARRIS, S.A. (1982): Briefliche Mitteilungen über Blockgletscher im westlichen Kanada vom 25.3.1982
- HARRIS, S.A. (1982a): Cold air drainage west of Fort Nelson, British Columbia. *Arctic* 35, 537 - 541
- HARRIS, S.A. (1982b): Identification of permafrost zones using selected permafrost landforms. *Proceed. 4th Canadian Permafrost Conference Calgary 1981, Ottawa*, 49 - 58
- HARRIS, S.A. und BROWN, R.J.E. (1982): Permafrost distribution along the Rocky Mountains in Alberta. *Proceed. 4th Canadian Permafrost Conference Calgary 1981, Ottawa*, 59 - 67
- HEALD, W.F. (1946/47): Palisade Glacier Survey, Sierra Nevada. In: *American Alpine Journal* 6, 332 - 339
- HEINE, K. (1976): Blockgletscher- und Blockzungen-Generationen am Nevado de Toluca, Mexiko. In: *Die Erde* 107, 330 - 352
- HENNING, I. (1975): Die La Sal Mountains, Utah. Ein Beitrag zur Geoökologie der Colorado-Plateau-Provinz und zur vergleichenden Hochgebirgsgeographie. In: *Akademie d. Wissensch. u.d.Lit. Mainz, Abhandl. d. Mathem.-Naturwiss. Kl., Jg. 1975*, 2, 88 S. u. 16 Tafeln
- HERRMANN, F. (1925): I Rockglaciers della Valsavarenche. In: *Natura (Rivista die Scienze Naturali)* 16, 139 - 142
- HEUBERGER, H. (1966): Gletschergeschichtliche Untersuchungen in den Zentralalpen zwischen Sellrain- und Ötztal. In: *Wissensch. Alpenvereinshefte* 20, 125 S.
- HÖGBOM, B. (1914): Über die geologische Bedeutung des Frostes. In: *Bull. of the Geol. Institution of the Univ. of Upsala* 12, 257 - 390
- HÖLLERMANN, P. (1964): Rezente Verwitterung, Abtragung und Formenschatz in den Zentralalpen am Bsp. des oberen Suldentales (Ortlergruppe). In: *Zeitschr. f. Geomorph., N.F., Suppl. - Bd. 4*, 257 S.
- HÖLLERMANN, P. (1968): Die rezenten Gletscher der Pyrenäen. In: *Geographica Helvetica* 23, 157 - 168
- HÖLLERMANN, P. (1980): Naturräumliche Höhengrenzen und die Hochgebirgsstufe in Gebirgen des westlichen Nordamerika. In: Ch. JENTSCH und H. LIEDTKE (Hrsg.), *Höhengrenzen in Hochgebirgen, Arb.a.d. Geograph. Inst. d. Univ. d. Saarlandes* 29, Saarbrücken, 75 - 117
- HOLE, A.D. (1912): Glaciation in the Telluride Quadrangle, Colorado. In: *Jour. Geol.* 20, 502 - 529, 605 - 639, 710 - 737
- HOLTMEIER, F.-K. (1978): Die bodennahen Winde in den Hochlagen der Indian Peaks Section (Colorado Front Range). In: *Münstersche Geogr. Arb.* 3, 1 - 47
- HOWE, E. (1909): Landslides in the San Juan Mountains, Colorado. Including a consideration of their causes and their classification. In: *U.S. Geological Survey Professional Paper*, No. 67, 58 S.
- HUGHES, O.L. (1966): Logan Mountains, Y.T.: Measurements on a rock glacier. In: *Ice* 20, 5
- IVES, J.D. (Ed.) (1980): Geocology of the Colorado Front Range: a Study of alpine and subalpine environments. In: *INSTAAR, Studies in High Altitude Geocology*, Boulder, 484 S.

- IVES, R.L. (1940): Rock glaciers in the Colorado Front Range. In: *Bulletin of the Geological Society of America*, 51, No. 9, 1271 - 1294
- IVES, R.L. (1950): Glaciations in Little Cottonwood Canyon, Utah. In: *Science Monthly* 71, 105 -117
- JACKSON, L.E. und MACDONALD, G.M. (1980): Movement of an ice-cored rock glacier, Tungsten, NWT, Canada, 1963 - 1980. *Arctic* 33, 842 - 847
- JÄCKLI, H. (1957): Gegenwartsgeologie des bündnerischen Rheingebietes. Ein Beitrag zur exogenen Dynamik alpiner Gebirgslandschaften. In: *Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie Nr. 36 (Bern)*, 136 S.
- JOHNSON, D.W. (1910): Diskussionsbemerkung zu H.B. PATTON. In: *Bull.Geolog.Soc. America* 21, 764
- JOHNSON, J.P. (1969): Investigation of rock glaciers in Jasper National Park. Report submitted to the National and Historic Parks Branch, Mimeograph. Manusc., 30 S.
- JOHNSON, J.P. (1973): Some problems in the study of rock glaciers. In: *Research in Polar and Alpine Geomorphology; Proceedings of the 3rd Guelph Symposium on Geomorphology*, University of Guelph (Norwich), (hrsg.) B.D. FAHEY, R.D. THOMPSON, 84 - 94
- JOHNSON, J.P. und NICKLING, W.G. (1979): Englacial temperature and deformation of a rock glacier in the Klauane Range, Yukon Territory, Canada. In: *Canadian Journal of Earth Sciences* 16, 2275 -2283
- JOHNSON, P.G. (1974): Mass movement of ablation complexes and their relationship to rock glaciers. In: *Geografiska Annaler*, Vol. 56A, Nr. 1 - 2, 93 - 101
- JOHNSON, P.G. (1980): Glacier-rock glacier transition in the Southwest Yukon Territory, Canada. In: *Arctic and Alpine Research*, 12, Nr. 2, 195 - 204
- JOHNSON, R.B. (1967): Rock Streams on Mount Mestas, Sangre de Cristo Mountains, southern Colorado. In: *U.S.Geol.Surv.Prof.Pap. 575-D, D217-D220*
- JORDA, M. (1978): Les formations à blocs des milieux subalpins et alpins des Alpes de Haute Provence. Essai d'interprétation génétique et chronologique. In: *Union Géogr. Int., Comité de Coord. des Recherches Périglaciaires, Colloque sur le Périglaciaires, Colloque sur le Périglaciaire d'Altitude du Domaine Méditerranéen et Abords, Université Louis Pasteur, Strasbourg 1977*, 31 - 34
- JULIAN, M. (1978): Ages et origine des glaciers rocheux des Alpes-Maritimes. In: *Union Géogr.Int., Comité de Coord. des Recherches Périglaciaires, Colloque sur le Périglaciaire d'Altitude du Domaine Méditerranéen et Abords, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 1977*, 45 - 52
- KARRASCH, H. (1974): Probleme der periglazialen Höhenstufe in den Alpen. In: *H. GRAUL-Festschrift, Heidelberger Geogr. Arb.* 40, 15 - 29
- KERSCHNER, H. (1978): Paleoclimatic inferences from Late Würm Rock Glaciers, Eastern Central Alps, Western Tyrol, Austria. In: *Arctic and Alpine Research*, 10, Nr. 3, 635 - 644
- KESSELI, E.J. (1941): Rock streams in the Sierra Nevada, California. In: *Geographical Review*, 31, Nr. 2, 203 - 227
- KINZL, H. (1932): Die größten nacheiszeitlichen Gletschervorstöße in den Schweizer Alpen und in der Mont Blanc-Gruppe. In: *Zeitschr. f. Gletscherkunde* 20, 269 - 397
- KLAER, W. (1974): Kritische Anmerkungen zur neueren Literatur über das Blockgletscherproblem. In: *H. GRAUL-Festschrift, Heidelberger Geograph. Arbeiten* 40, 275 - 291
- KLAER, W. (1982): Der Blockgletscher - ein terminologisches Problem? In: *Geomorph. Symposium der Akad. d. Wissensch. in Göttingen Oktober 1982, Abhandlungen der Akad.d. Wissensch. d. Wissensch. in Göttingen (im Druck)*
- KLEBELSBERG, R. von (1948): *Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie*. 1. Bd., Allg. Teil, Wien, 403 S.
- KOSSINA, E. (1937/38): Die Dauer der Schneedecke in den Ostalpen. In: *Zeitschr. d. Deutsch. u. Österreich. Alpenvereins* 1937, 242 - 255 u. 1938, 1 - 9
- KRAMER, F.L. (1962): Rivers of stone. In: *Pacific Discovery* 15, 11 - 15

- LLIBOUTRY, L.A. (1955): Origine et évolution des glaciers rocheux. In: Comt. Rend. Hebdomadaires des Séances de l'Académie de Sciences 240, No. 19, 1913 - 1915
- LOUIS, H. und FISCHER, K. (1979): Allgemeine Geomorphologie. 4. Aufl. In: Lehrbuch d. Allg. Geographie, Berlin, 814 S. u. Bilderteil
- LUCKMAN, B.H. und CROCKETT, K.J. (1978): Distribution and characteristics of rock glaciers in the southern part of Jasper National Park, Alberta. Canadian Journ. of Earth Sciences 15. 540 - 550
- MADOLE, R.F. (1972): Neoglacial facies in the Colorado Front Range. In: Arctic and Alp. Research 4, 119 - 130
- MAHANEY, W.C. (1973): Neoglacial chronology in the Fourth of July Cirque, Central Colorado Front Range. In: Geol. Soc. of America Bulletin 84, 161 - 170
- MAISCH, M. (1981): Glazialmorphologische und gletschergeschichtliche Untersuchungen im Gebiet zwischen Landwasser- und Albulatal (Kt. Graubünden, Schweiz). In: Phys. Geographie 3, Zürich, 215 S.
- MARNEZY, A. (1977): Glaciers rocheux et phénomènes périglaciaires dans le Vallon de la Vanoise. In: Revue de Géographie Alp. 65, Nr. 2, 147 - 165
- MARTONNE, E. de (1911): Mission en Autriche-Hongrie. Etude morphologique des Alpes orientales et des Karpathes septentrionales (Tatra). In: Bulletin de Géographie Historique et Descriptive, 387 - 406
- MARTONNE, E. de (1920): Le rôle morphologique de la neige en montagne. In: La Géographie 34, 255 - 267
- MATTHES, F.E. (1948): Moraines with ice cores in the Sierra Nevada. In: Sierra Club Bull. 33, 87 - 96
- MESSERLI, B. (1965): Beiträge zur Geomorphologie der Sierra Nevada (Andalusien). Zürich. 178 S.
- MESSERLI, B. und ZURBUCHEN, M. (1968): Blockgletscher im Weissmies und Aletsch und ihre photogrammetrische Kartierung. In: Die Alpen, 44, Nr. 3, 139 - 152
- MICHAUD, J. und CAILLEUX, A. (1950): Vitesses de mouvements du sol au Chambeyron (Basses-Alpes). In: Compt. Rend. Hebdom. Séances Acad. Sciences 230, 314 - 315
- MILLER, C.D. (1973): Chronology of neoglacial deposits in the northern Sawatch Range, Colorado. In: Arctic and Alp. Research 5, 385 - 400
- MILLS, H.H. (1976): Estimated erosion rates on Mt. Rainier, Washington. In: Geology, 4, 7, 401 - 406
- MITCHELL, G.E. (1910): Landslides and rock avalanches. In: Nat. Geograph. Magazine 21, 277 - 287
- MORRIS, S.E. (1981): Topoclimatic factors and the development of rock glacier facies, Sangre de Cristo Mountains, southern Colorado. In: Arctic and Alpine Research 13, 329 - 338
- NEMCOK, A. und MAHR, T. (1974): Kamenné ladovce v Tatrách (Les glaciers de pierre dans la Tatra). In: Geograficky Casopis 26, 359 - 373
- O DELL, N.E. (1948): Stagnant glacier in British Columbia. In: Journ. of Glaciology 1, 191
- ØSTREM, G. (1964): Ice-cored moraines in Scandinavia. In: Geografiska Annaler 46 A, 282 - 337
- ØSTREM, G. (1971): Rock glaciers and iced-cored moraines, a reply to D. Barsch. In: Geografiska Annaler 53A, 207 - 213
- ØSTREM, G. und ARNOLD, K. (1970): Ice-cored Moraines in southern British Columbia and Alberta, Canada. In: Geografiska Annaler 52A, Nr. 1 - 2, 120 - 128
- OSBORN, G. (1975): Advancing rock glacier in the lake Louise Area, Banff National Park, Alberta. In: Canadian Journ. of Earth Sciences 12, 1060 - 1062
- OUTCALT, S.I. und BENEDICT, J.B. (1965): Photo-interpretation of two types of rock glacier in the Colorado Front Range, USA. In: Journal of Glaciology, 5, Nr. 42, 849 - 856
- PARSONS, W.H. (1939): Glacial geology of the Sunlight Area, Park Country, Wyoming. In: Journal of Geology 47, 737 - 747
- PASCHINGER, H. (1954): Würmvereisung und Spätglazial in der Sierra Nevada (Spanien). In: Z.f. Gletscherkunde u. Glazialgeol. 3, 55 - 67
- PATTON, H.B. (1910): Rock streams of Veta Peak, Colorado. In: Bull. Geol. Soc. Am. 21, 663 - 676

- PATZELT, G. (1972): Die spätglazialen Stadien und postglazialen Schwankungen der Ostalpengletscher. In: *Berichte d. Deutsch.Botan. Gesellsch.* 85, 47 - 57
- PATZELT, G. (1977): Der zeitliche Ablauf und das Ausmaß postglazialer Klimaschwankungen in den Alpen. In: B. FRENZEL(Hrsg.), *Dendrochronologie und postglaz. Klimaschwankungen in Europa*, Erdwiss. Forschung 13, Wiesbaden, 248 - 259
- PEULVAST, J.P. (1981): Glaciers couverts et glaciers rocheux fossiles aux Iles Lofoten (Norvege du Nord). In: *Dynamique de Divers Milieux Periglaciaires Quaternaires ou Actuels, Hommages à R. RAYNAL, Recherches Géographiques à Strasbourg No. 16 - 17*, 147 - 159
- PILLEWIZER, W. (1957): Untersuchungen an Blockströmen der Ötztaler Alpen. In: *Abhandlungen des Geograph. Institutes d.Freien Universität Berlin*, 5 (Otto MAULL-Festschrift), 37 - 50
- PORTER, S.C. (1977): Present and past glaciation threshold in the Cascade Range, Washington, U.S.A.: topographic and climatic controls, and paleoclimatic implications. In: *Journ. of Glaciology* 18, 78, 101 - 115
- PORTER, S.C. und DENTON, G.H. (1967): Chronology of neoglaciation in the North American Cordillera. In: *Amer. Journ. of Science* 265, 177 - 210
- POTTER, N. (1967): Rock glaciers and mass-wastage in the Galena Creek area, northern Absaroka Mountains, Wyoming. U.S. Army Natick Laboratories, Natick, Massachusetts, Tech.Rept. (Mimeographed) 75 S.
- POTTER, N. (1969): Rock glaciers and mass-wastage in the Galena Creek area, northern Absaroka Mountains. In: *Univ. Minnesota, Ph.D.Thesis*, 150 S.
- POTTER, N. (1972): Ice-cored rock glacier, Galena Creek, Northern Absaroka Mountains, Wyoming. In: *Bulletin of the Geological Society of America*. 83. 3025 - 3058
- POWELL, D.R. (1963): Physical geography fo the White Mountains, California-Nevada. M.A. Thesis, Univ. of California Berkeley, unveröff. Schreibmaschinenmanuskript, 169 S.
- PRICE, L.W. (1981): *Mountains & Man. A study of process and environment*. Berkeley and Los Angeles, 506 S.
- RATHJENS, C. (1982a): Vergleich und Typenbildung in der Hochgebirgsforschung. In: *Beiträge zur Hochgebirgsforschung u. zur Allg. Geographie (UHLIG-Festschrift, Bd. 2)*, Geogr. Zeitschr. Beih., Erdkundl. Wissen 59, 1 - 8
- RATHJENS, C. (1982b): *Geographie des Hochgebirges 1 : Der Naturraum*. Teubner Studienbücher Geographie, Stuttgart, 210 S.
- RICHMOND, G. (1952): Comparison of rock glaciers and block streams in the La Sal Mountains, Utah. In: *Bulletin of the Geological Society of Amerika*, 63, 1292 - 1293
- RICHMOND, G.M. (1962): Quaternary stratigraphy of the La Sal Mountains, Utah. In: *U.S.Geolog.Survey, Prof. Paper* 324
- RICHMOND, G.M. (1964): Glaciation of Little Cottonwood and Bells Canyon, Wasatch Mountains, Utah. In: *U.S.Geol. Survey Prof. Paper* 454 D, 41 S.
- RINEHART, C.D. und ROSS, D.C. (1964): Geology and mineral deposits, Mt. Morrison Quadrangle, California. In: *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 385, 106 S.
- ROOTS, E.F. (1954): Geology and mineral deposits of Aiken Lake map-area, British Columbia. In: *Geol.Surv.Canada Memoir* 274, 246 S.
- SCHARFETTER, R. (1936): Die Gliederung der Vegetation in den Ostalpen. In: *Berichte d. Schweiz. Botan. Gesellsch.* 46 (Festband E. RÜBEL), 52 - 70
- SCHWEIZER, G. (1968a): Der Formenschatz des Spät- u. Postglazials in den Hohen Seealpen. Aktualgeomorphologische Studien im oberen Tinéetal. In: *Z.f.Geom. Supp.* 6, 167 S.
- SCHWEIZER, G. (1968b): Le tardiglaciaire et le niveau des neiges permanentes dans les hautes montagnes des Alpes Maritimes. L'exemple du bassin supérieur de la Tinée. In: *Méditerranée* 1968, 25 -40



- SIEBENTHAL, C.E. (1907): Notes on glaciation in the Sangre de Cristo Range, Colorado. In: *Journ. of Geology* 15, 15 - 22
- SLAYMAKER, O. und MCPHERSON, H.J. (1977): An overview of geomorphic processes in the Canadian Cordillera. In: *Zeitschr. f. Geom. N.F.* 21, 1977, 169 - 186
- SMITH, H.T.U. (1973): Photogeologic study of periglacial talus glaciers in north-western Canada. In: *Geografiska Annaler* 55A, 2, 69 - 84
- SOUTADÉ, G. (1973/74): Aspects du modelé périglaciaire supraforestier des Pyrénées Orientales. In: *Bul. de l'Assoc. Franç. pour l'Etude du Quaternaire*, 239 - 254
- SOUTADÉ, G. (1981): La haute montagne pyrénéenne dans le Massif du Luchonais. In: *Recherches Géographiques à Strasbourg* 16 - 17 (Hommages à R. RAYNAL), 143 - 145
- SPENCER, A.C. (1900): A peculiar form of talus. In: *Science*, 11, (N.S.), No. 266, 188
- STINGL, H. (1969): Ein periglazialmorphologisches Nord-Süd-Profil durch die Ostalpen. In: *Göttinger Geogr. Abhandl.* 49, 155 S.
- STREIFF-BECKER, R. (1958): Toteis und Blockströme. In: *Leben und Umwelt* 14, Nr. 12, 259 - 260
- TAILLEFFER, F. (1963): La carte de morphologie glaciaire des Pyrénées au 1/50.000. In: *Revue Géogr. des Pyrénées et du Sud-Ouest* 34, 5 - 10
- TAILLEFFER, F. (1968): Le modelé postwurmien des hautes montagnes francaises. In: *Revue Géogr. d. Pyrénées et du Sud Ouest* 35, 129 - 138
- THOMPSON, H.R. (1957): The old moraines of Pangnirtung Pass, Baffin Island. In: *Journ. of Glaciology* 3, 42 - 49
- THOMPSON, W.F. (1962): Preliminary notes on the nature and distribution of rock glaciers relative to true glaciers and other effects of the climate on the ground in North America. In: *Colloque d'Obergurl (10-9 - 18-9 1962)*; Association Internationale D'Hydrologie Scientifique, Commission des Neiges et des Glaces, Publication No 58 (Gentbrugge), 212 - 219
- TROLL, C. (1941): Studien zur vergleichenden Geographie der Hochgebirge der Erde. In: *Ber. 23. Hauptversamml. Gesellsch. von Freunden u. Förderern der Univ. Bonn*, 49-96
- TROLL, C. (1975): Vergleichende Geographie der Hochgebirge der Erde in landschaftsökologischer Sicht. In: *Geogr. Rundschau* 27, 185-198
- TYRELL, J.B. (1910): Rock glaciers or crysotcrenes. In: *Journal of Geology*, 18, Nr. 6, 549-553
- VERNON, P. und HUGHES, O.L. (1966): Surficial geology, Dawson, Larsen Creek, and Nash Creek map areas, Yukon Territory. In: *Geolog. Survey of Canada Bulletin* 136
- VEYRET, Y. (1981): Quelques aspects de l'évolution postwisconsinienne du bourrelet des Torngats (Réigion de Sagiek, Rahmah Bay, Québec-Labrador). In: *Recherches Géogr. à Strasbourg*, No. 16-17, (Hommages à R. RAYNAL), 161-167
- VICK, S.G. (1981): Morphology and the role of landsliding in formation of some rock glaciers in the Mosquito Range, Colorado. In: *Bulletin of the Geological Society of America*, Pt. I, 92, 75-84
- VIERS, G. (1961): Le glaciation du massif du Carlit (Pyr.-Orientales). In: *Revue Géogr. d. Pyrénées et du S.O.* 32, 5-33
- VIERS, G. (1962): Les Pyrénées. *Que sais-je* No. 995, Paris 128 S.
- VIETORIS, L. (1972): Über den Blockgletscher des Äußeren Hochebenkars. In: *Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.* 8, 169-188
- VORNDRAN, E. (1969): Untersuchungen über Schuttentstehung und Ablagerungsformen in der Hochregion der Silvretta (Ostalpen). In: *Schriften des Geograph. Instituts der Univ. Kiel*, 29, H. 3, 138 S.
- VORNDRAN, G. (1977): Hangabtragungsbilanzen. In: *Zeitschr. f. Geomorph., N.F., Suppl. - Bd. 28*, 124 - 133
- WAHRHAFTIG, C. und COX, A. (1959): Rock glaciers in the Alaska Range. In: *Bulletin of the Geological Society of America* 70, 4, 383 - 436

- WASHBURN, A.L. (1979): Geocryology. A survey of periglacial processes and environments. 406 S.
- WASHBURN, A.S. (1981): Periglaziale Forschung in Revue. In: Geolog. Rundschau 70, 664 - 690
- WAYNE, W.J. (1981): Ice segregation as an origin for lenses of non-glacial ice in "icecemented" rock glaciers. In: Journ. of Glaciology 27, 97, 506 - 510
- WEIAND, R. (1975): Die heutige Kenntnis über Lage und Entwicklung der Blockgletscher. Wiss. Arb. zur 1. Staatsprüf. f.d. Lehramt am Gymnasium, Bonn, unveröff. Schreibmaschinenmanuskript, 139 S. u. Anhang
- WEISS, E.H. (1958): Eine eisführende Schutthalde in den Gailtaler Alpen. In: Carinthia II, 68, 62-63
- WHALLEY, W.B. (1974a): Rock glaciers and their formation as part of a glacier debris-transport system. In: Reading Geographical Papers University of Reading, Department of Geography, No 24
- WHALLEY, W.B. (1974b): Origin of rock glaciers. In: Journal of Glaciology, 13, Nr. 68, 323-324
- WHALLEY, W.B. (1976): A rock glacier and its relation to the mass balance of corrie glaciers, Strupbreen, Troms, Norway. In: Norsk Geograf. Tidsskrift 30, 51-55
- WHALLEY, W.B. (1979): The relationship of glacier ice and rock glacier at Grubengletscher, Kt. Wallis, Switzerland. In: Geogr. Annaler 61A, 49-61
- WHITE, G. (1979): Rock glacier morphometry, San Juan Mountains, Colorado. In: Geological Society of America. Bulletin, Part. I., 90, 515-518
- WHITE, S.E. (1971a): Rock glacier studies in the Colorado Front Range, 1961 to 1968. In: Arctic and Alpine Research, 3, No. 1, 43-64
- WHITE, S.E. (1971b): Debris falls at the front of Arapaho rock glaciers, Colorado Front Range, U.S.A. In: Geografiska Annaler 53A, 86-91
- WHITE, S.E. (1975): Additional data on Arapaho rock glacier in Colorado Front Range, U.S.A. In: Journ. of Glaciology 14, 529-530
- WHITE, S.E. (1976): Rock glaciers and block fields, review and new data. In: Quaternary Research, 6, No. 1, 77-97
- WHITE, S.E. (1981): Alpine mass movement forms (noncatastrophic): classification, description, and significance. In: Arctic and Alpine Research 13, 127-137
- WILHELM, F. (1976): Schnee- und Gletscherkunde. Lehrbuch d. Allg. Geographie III 3, Berlin, 434 S.



Photo 1: Blockgletscherzunge mit wulstigen Oberflächenkleinformen im oberen Rasoital, nördliche Ortlergruppe, Ostalpen. Blickrichtung talabwärts. Der kleine Gletscher links im Bild steht mit dem Blockgletscher nicht im Zusammenhang, doch enthält der obere Teil der Blockgletscherzunge begrabenes Gletschereis. Länge der Zunge 1100 m, größte Breite 320 m, Höhenlage der aktiven steinschlägigen Stirn 2540 m, Exposition WNW, Material vorherrschend Orthogneise (August 1959)

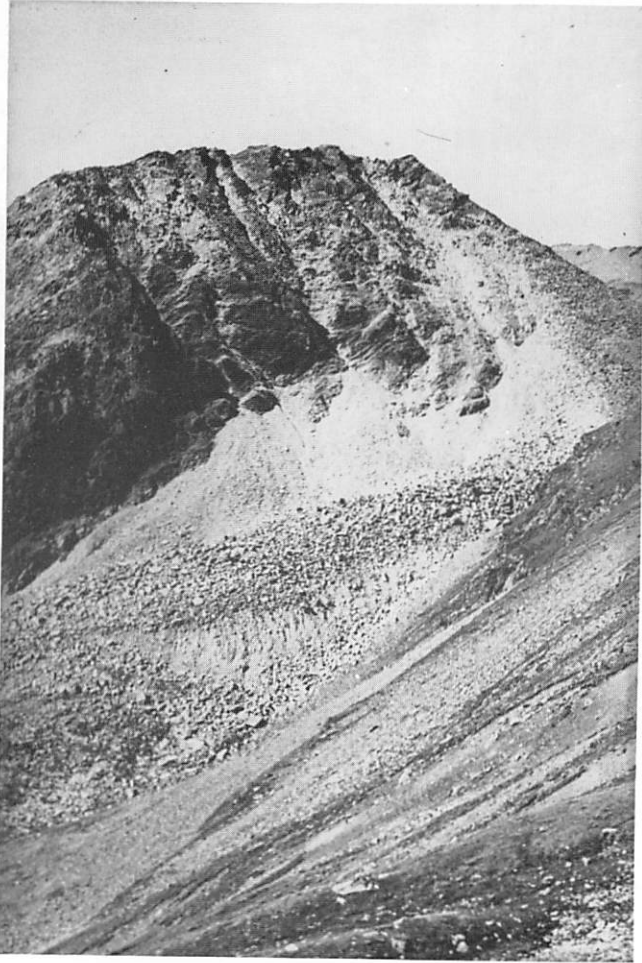


Photo 2: Lobenförmiger Blockgletscher aus Sturzhaldenschutt, Hang des Rettenbachtals, Öztaler Alpen südwestlich Hochsölden. Material hauptsächlich Paragneise (August 1962)



Photo 3: Fossiler zungenförmiger Blockgletscher im oberen Val Germènega, Adamello-Gruppe, Ostalpen. Stark eingesunkene Stirn um 2075 m Höhe, Exposition NE, Material Granite und Tonalite (September 1962)

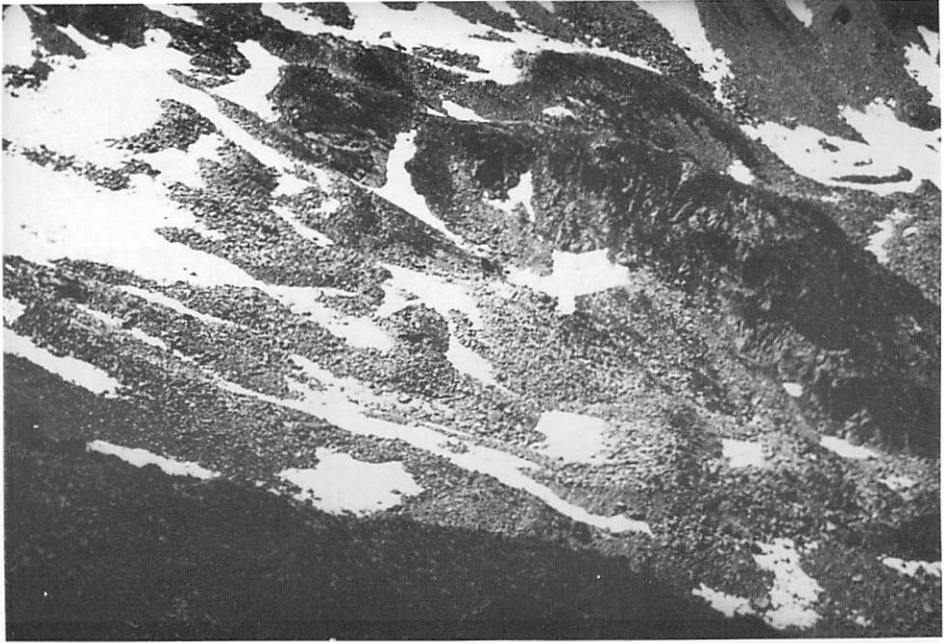


Photo 4: Oberer Abschnitt des fossilen Blockgletschers am Fuß des Pic d'Envalira, Andorra, Pyrenäen. Die eingesunkene Zungenoberfläche läßt noch eine wulst- und wallförmige Gliederung erkennen. Die mehrgliedrige langgestreckte Blockgletscherzunge reicht bis gegen 2400 m Höhe herab (Juli 1963)

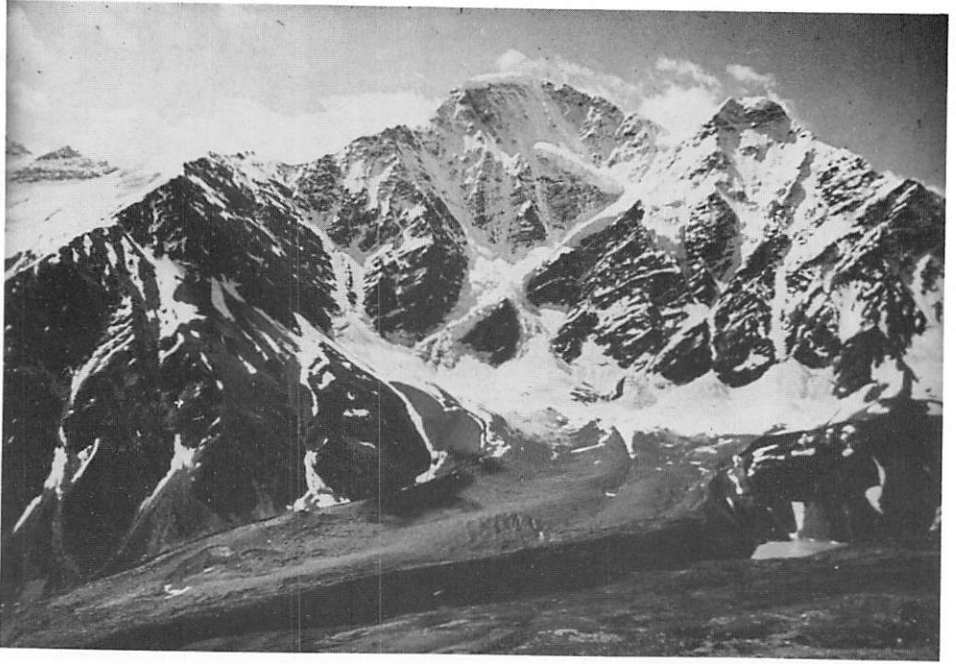


Photo 5: Hochgradig schuttbedeckte Zunge des Dongusorum-Gletschers im Baksantal, Zentral-Kaukasus. Firnfeldloser Lawinengletscher mit Abschmelzformen auf der verschütteten Zunge, jedoch ohne Weiterentwicklung zu einem Blockgletscher. Gipfelhöhe um 4450 m, Zungenende um 2550 m (Juli 1976)



Photo 6: Fossile Blockgletscherzunge am Fuß des Mount Muir, Sierra Nevada, Kalifornien. Gipfelhöhe 4272 m, Blockgletscherstirn um 3800 m, Exposition E, Material Granite bzw. Quarzmonzonite (August 1969)





Photo 7: Blockgletscher-Komplex im Tal des Baker Creek (North Fork), südlich des Wheeler Peak in der Snake Range, Nevada. Die Zungenform links reicht bis um 3200 m in die obere Wald- und Krummholzstufe herab. In der unteren Bildmitte und rechts lobenförmige Hangfußblockgletscher und Fußwälle aus Haldenschutt. Exposition NE, Material vorherrschend Quarzit (September 1977)



Photo 8: Arapaho-Kar in der Colorado Front Range, Rocky Mountains. Das Kar enthält zwei kleine Gletscher, Moränenmaterial und im Südostteil (links im Bild) den mäßig aktiven Arapaho-Blockgletscher. Im oberen Teil der Blockgletscherzunge nachgewiesenes Gletschereis ist rund 1000 Jahre alt. Die Stirn der Blockgletscherzunge reicht bis 3570 m herab. Mittlere Länge 640 m, mittlere Breite 205 m, Exposition NE, Material präkambrische Metamorphite (August 1977)



Photo 9: Fossiler Blockgletscher im unteren Zaytal, Ortlergruppe, Ostalpen. Stark eingestunkene Oberfläche mit Altschutt und beginnendem Bewuchs, Stirn um 2350 m, Exposition NW, Material Orthogneise (September 1958)



Photo 10: Winterbild des Blockgletschers im Val Muragl östlich Pontresina, Engadiner Alpen. Die Zungenstirn liegt nahe 2490 m Meereshöhe, Exposition NNW. Lawinen können die Vollform der Zungenoberfläche nicht erreichen (April 1982)

1. The first part of the document is a list of names and addresses of the members of the committee. The names are listed in alphabetical order, and the addresses are given in full, including the street name, number, and city. The list is as follows:

# Fig 5: Übersicht der Verbreitungsgebiete von Blockgletschern in Nordamerika

Beilage zu BONNER GEOGRAPHISCHE ABHANDLUNGEN, Heft 67

