ARB. GEOGR. INST. GRAZ, Bd. 30: 211-229, Graz 1991

Zur Verbreitung von Blockgletschern im Nordteil der Rocky Mountains von Colorado, USA

Von Gerhard Karl LIEB, Graz

Inhalt

Zusammenfassung
Summary
1. Einleitung
2. Länderkundliche Einführung
3. Ein Beispielgebiet aus der Colorado Front Range
3.1. Geoökologische Rahmenbedingungen
3.2. Bestand und Charakteristik der Blockgletscher
4. Allgemeine Grundzüge der Blockgletscherverbreitung
4.1. Anmerkungen zur Literaturlage
4.2. Die horizontale Verbreitung und die Zeitstellung
4.3. Die hypsometrische Stellung
5. Die Ergebnisse im überregionalen Vergleich
Literatur

Zusammenfassung

Eine einleitende länderkundliche Darstellung charakterisiert den Bau, die Höhenzonierung und die Nutzung der Hochgebirge im nördl. Colorado. Basierend auf der Detailkartierung eines Gebietes in der Front Range werden dann Lage, Form und Aktivität der Blockgletscher sowie deren geoökologisches Umfeld dargestellt. Im Mittelpunkt der Besprechung der

Blockgletscherverbreitung im allgemeinen steht neben einem Literaturrückblick und der Frage der Altersstellung besonders die vertikale Reichweite des diskontinuierlichen Permafrosts, wofür eine mittlere Untergrenze von 3450 m aufgrund der Blockgletscherbeobachtung angegeben wird. Zuletzt werden Lagebeziehungen der Blockgletscher zur Waldgrenze und zu den Gletschern im überregionalen Rahmen erörtert.

Summary

The distribution of rock glaciers in the northern part of the Rocky Mountains of Colorado (USA). As an introduction geological structure, vertical zonation and human impact of the high mountain areas of northern Colorado are described in a regional geographical way. An area of the Front Range was mapped in detail to show the position, shape and activity of rock glaciers as well as their geoecological environment. Besides a review of previous works and the question concerning age, the most important point in the discussion of the distribution of rock glaciers is the lower limit of discontinuous permafrost wich is estimated at a mean altitude of 3450 m considering rock glacier snouts. The last part of the paper deals with the connection of rock glaciers, timberline and glaciers in comparison with other regions.

1. Einleitung

Die Hochgebirge der nordamerikanischen Kordilleren sind sehr reich an Blockgletschern, und entsprechend finden diese Formen auch schon lange große Beachtung. Hervorzuheben sind dabei die klassische und auch für die europäische Blockgletscherforschung grundlegende Arbeit von WAHRHAFTIG & COX (1959) und als Beispiel einer frühen Pionierleistung im engeren Untersuchungsgebiet die Studie von IVES R.L. (1940). Angeregt durch die umfassende Monographie von HÖLLERMANN (1983) lag es für mich im Sinne vergleichender Hochgebirgsforschung nahe, meine im Ostalpenraum gewonnenen Erfahrungen mit Blockgletschern im Rahmen einer Studienreise durch die Gebirge der westlichen USA zu vertiefen und zu erweitern. Die Wahl des vorliegenden Untersuchungsraumes ergab sich sowohl aus dem Blockgletscherreichtum als auch aus der besonders guten Literaturlage, wobei neben der Detailkartierung eines Teilgebietes (Kap. 3.) zahlreiche weitere Einzelbeobachtungen durchgeführt werden konnten. Das besondere Anliegen dieser Arbeit ist es, das Blockgletscherphänomen nicht isoliert zu betrachten, sondern in das Gesamterscheinungsbild der Hochgebirgsnatur einzufügen. In diesem ganzheitlichen Ansatz fühle ich mich dem Jubilar, Herrn Univ.Prof.Dr. H. PASCHINGER, ganz besonders verbunden und freue mich, ihm diese Studie widmen zu dürfen.

2. *Länderkundliche Einführung*

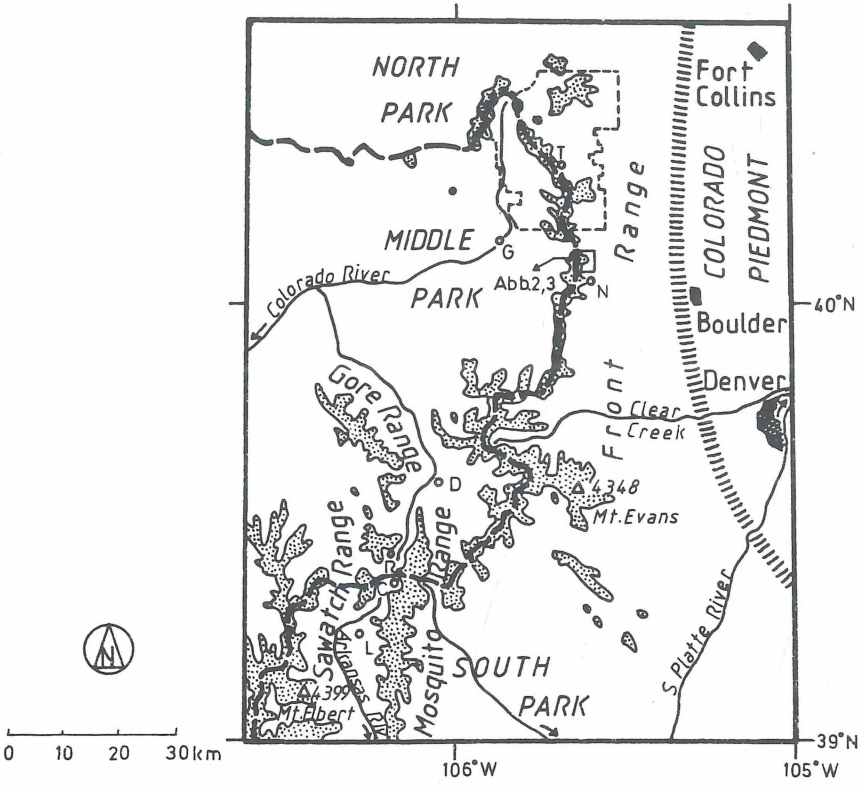
Innerhalb der USA werden die Rocky Mountains - die den östl. der beiden mächtigen, annähernd meridional verlaufenden Gebirgsstränge der Kordilleren darstellen - in einen nördl., mittl. und südl. Abschnitt gegliedert. Die südl. Rocky Mountains liegen fast zur Gänze im Bundesstaat Colorado, wo innerhalb der gesamten Rocky Mountains sowohl die größten Gipfelhöhen (Mt. Elbert, 4399 m) als auch die größte Distanz des Hauptkammes vom Pazifik (ca. 1500 km) erreicht werden. Aus diesen beiden Tatsachen erwächst durch große Massenerhebung und Meeresferne als einer der wichtigsten naturräumlichen Charakterzüge die Kontinentalität des Klimas. Die südl. Rocky Mountains, von denen hier nur der nördl. Teil von Interesse ist, bilden keine durchgehende Gebirgskette, sondern gliedern sich in mehrere, etwa N-S streichende Züge mit dazwischen eingeschalteten Längstalfurchen und Becken (Abb. 1). Bei den Gebirgen handelt es sich meist um von Bruchzonen begrenzte Antiklinalen, in deren von paläo- und mesozoischen Sedimenten umgebenen Kernen präkambrische Granite und Gneise freigelegt wurden; auch die Becken und Täler sind in ihrer Anlage meist mit alpidischer Tektonik zu verknüpfen, etwa das Tal des obersten Arkansas River als Grabenbruch (HUNT, 1967; CHRONIC, 1980).

Die angesprochenen Klimaverhältnisse, auf die in Bezug zur Hochgebirgsregion in Kap. 3. und 4. zurückzukommen sein wird, sind durch generell geringe Niederschlagsmengen - im Dauersiedlungsraum nur in Ausnahmefällen knapp über 500 mm jährlich (NATIONAL CLIMATIC CENTER, 1983) - bei unterschiedlichen Jahresgängen mit Neigung zu einem kräftig ausgeprägten Frühjahrsmaximum im E und einem eher schwachen Wintermaximum im W der Continental Divide gekennzeichnet. Diese Situation ergibt sich aus der Advektion feuchter Luftmassen mit überwiegend westl. Strömungskomponenten im Winter, häufiger Meridionalzirkulation in den Übergangsjahreszeiten und dem Vorherrschen konvektiver Niederschläge im Sommer mit jeweils regional unterschiedlichen Auswirkungen. Obwohl besonders im Winter Föhnerscheinungen (Chinook) am E-Fuß der Rocky Mountains häufig sind, bilden diese aber doch keine Wetter- und Klimascheide im eigentlichen Sinne (BARRY, 1981: 251 ff.). Bei der Temperatur muß besonders auf die bedeutenden Jahresschwankungen verwiesen werden, die an den meisten Stationen zwischen 22 ° und 26 ° bei Jahresmitteltemperaturen um 10-12 ° in den Gebirgsfußzonen und 2-5 ° in den intramontanen Becken betragen (NATIONAL CLIMATIC CENTER, 1983).

Trotz ihrer bedeutenden absoluten Höhenlage erhalten die Gebirgsfußzonen und intramontanen Becken nicht genügend Niederschlag, um hochstämmigen Waldwuchs zu ermöglichen. Dieser setzt erst oberhalb der Kurzgrasprärien und Artemisiensteppen an der unteren Waldgrenze ("dry timberline") ein, wobei im unteren Waldstockwerk noch xerophile Kiefern vorherrschen, die nach oben hin von Douglasien und in der hochmontanen Stufe schließlich von Fichten und Tannen abgelöst werden. Diese stellen auch die wichtigsten, die obere Waldgrenze ("cold timberline") bildenden Holzarten dar (vgl. 3.1.). Für die alpine Stufe sind offene Rasen- und Polsterpflanzengesellschaften typisch (KNAPP, 1965; ARNO, 1984: 180 ff.). In diesem Zusammenhang ist auch auf die hohe Lage aller Höhengrenzen

hinzuweisen, die innerhalb der USA gerade in den Rocky Mountains von Colorado kulminieren (HÖLLERMANN, 1980).

Abb. 1: Übersichtskarte der nördl. Colorado Rocky Mountains



Legende

Continental Divide (Wasserscheide Atlantik-Pazifik)

Gebiete über 3500 m (etwa dem Bereich über der Waldgrenze entsprechend)

Rocky Mountain National Park

Beispielgebiet von Kap. 3. (Abb. 2, 3)

Die Buchstaben bedeuten: C = Climax, D = Dillon, G = Granby, L = Leadville, N = Niwot Ridge, R = Rose Gulch, T = Tyndall Gorge.

Das Verbreitungsbild von wirtschaftlicher Nutzung und Besiedlung ist im wesentlichen durch das Vorhandensein von Bodenschätzen, die Verfügbarkeit von Wasser und die Reliefgegebenheiten vorgezeichnet. Die Bodenschätze, von denen die meisten an tertiäre Intrusionen im Grundgebirge gebunden sind (HUNT, 1967: 274), spielten vor allem bei der Besiedlung des Gebirgsraumes durch die Weißen in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts eine Rolle, wobei viele Siedlungen auch in Hochlagen gegründet, aber schon nach kurzer Zeit wieder aufgegeben wurden (PATERSON, 1989: 401 ff.). Die höchste dieser kleinstädtischen Siedlungen, die nicht zu einer "ghost town" verfiel, ist Leadville (3094 m), das sich mit Verwaltungs-, Fremdenverkehrs- und Bergbaufunktion (größtes Molybdänbergwerk der Erde im benachbarten Climax) halten konnte.

Wie der Bergbau so ist heute auch die Landwirtschaft und mit ihr die zugehörige Besiedlung im Gebirgsraum rückläufig: Die erwähnten intramontanen Becken, hier "Parks" genannt (Abb. 1), haben als höchstgelegene Gebiete ganzjähriger Besiedlung auf agrarischer Basis in Angloamerika immer schon spezieller Wirtschaftsweisen bedurft, die CROWLEY (1975) mitsamt den erwachsenden Schwierigkeiten detailliert beschrieben hat. Charakteristisch sind eine klare Höhenzonierung der Kulturlandschaft mit Einbeziehung selbst der Regionen über der Waldgrenze durch eine Art Almwirtschaft und als Problemkreise Waldweide und Bewässerungsfragen. Dieser letztgenannte Bereich stellt überhaupt die zentrale Problematik des Gesamtraumes dar, wodurch sich auch große Nutzungsansprüche der Gebirgsfußzonen - insbesondere des dicht besiedelten und intensiv durch Bewässerungsfeldbau genutzten Colorado Piedmont (BLUME, 1988: 285 ff.) - auf die relativ niederschlags- und wasserreichen Hochzonen ergeben. So etwa wird an mehreren Stellen Wasser im W der Continental Divide in Stauseen gesammelt (z.B. bei Dillon oder Granby) und durch Tunnels an die E-Seite geführt, wo es zur Energiegewinnung und Bewässerung verwendet wird.

Als jüngste Nutzungsform ist der Tourismus hervorzuheben, der schwerpunktmäßig ein Naherholungstourismus aus dem verstädterten Colorado Piedmont ist, von wo aus die Hochzonen der Front Range in wenig mehr als einer Autostunde erreichbar sind (z.B. Straße auf den Mt. Evans, 4348 m). Die Attraktivität des Gebirges ergibt sich u.a. aus der großen landschaftlichen Schönheit, wobei sowohl das Grün der Wälder als auch die szenische Vielfalt der seenreichen, glazial gestalteten Bereiche mit dem Charakter der Vorländer scharf kontrastieren. Dem entspricht ein ausgeprägter Siedlungsdruck sowohl durch Beherbergungsbetriebe als auch durch Zweitwohnsitze sowie zugehörige Infrastruktur, wodurch sich ähnlich wie in den Alpen ein gewisser stabilisierender Effekt auf die Obergrenze der Besiedlung ergibt (HAMBLOCH, 1967).

Die Rocky Mountains von Colorado nehmen in den USA durch die hohe Lage der Höhengrenzen und ihre überdurchschnittlich gute Zugänglichkeit - der große Erschließungsgrad ist eine Folge des Bergbaus und der Nähe zum Vorland - eine Sonderstellung ein. Damit ist auch für den im folgenden im Mittelpunkt stehenden Hochgebirgsraum mit einem gewissen anthropogenen Einfluß zu rechnen, wenn auch die Bedingungen weithin (auch außerhalb des Rocky Mountain National Parks) naturnäher als in den Alpen sind.

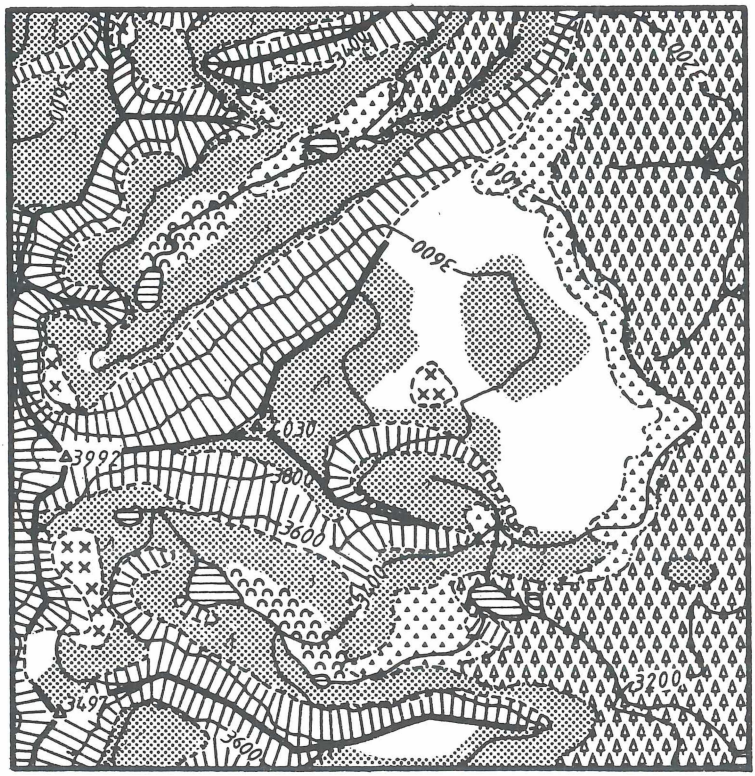
3. *Ein Beispielgebiet aus der Colorado Front Range*

3.1. Geoökologische Rahmenbedingungen

Das Beispielgebiet (genaue Lage in Abb. 1) umfaßt einen ca. 30 km^2 großen Ausschnitt der Indian Peaks Section in der Colorado Front Range östl. der Continental Divide rund um den Mt. Audubon, 4030 m. Das Gebiet kann in mehrfacher Hinsicht als sehr typisch für die Front Range gelten, und zwar was die absoluten und relativen Höhenverhältnisse, den Formenschatz sowie die Lage und Ausprägung der Waldgrenze bzw. allgemein der Vegetationshöhenstufung betrifft. Der Großformenschatz wird vom Gegensatz zwischen den steilwandigen Begrenzungen der Kare und glazial gestalteten Hochtäler (Abb. 2) einerseits und dem vergleichsweise sanften Relief der dazwischen liegenden, nach E hin abdachenden Kämme andererseits geprägt. Diese Kämme, welche in ihren westl. Abschnitten meist zu Graten umgestaltet wurden, kann man als Reste tertiärer Altflächen auffassen (CHRONIC, 1980). In den Felsflanken herrscht heute noch weithin, wie die vielfach aktiven Schutthalden zeigen, Abtragung durch Steinschlag; auf den häufig als Glatthängen ausgeprägten mittelsteilen Abdachungen gibt es Solifluktionsformen und in den flachen Bereichen, insbesondere bei großer Windexposition, Frostmustererscheinungen in Form von Steinpolygonen, die aber großteils als Vorzeitformen aufgefaßt werden (genauere Diskussion bei KAISER, 1966: 276 f.; ECKELMANN, 1988 und MARKER, 1990).

Die Waldgrenze liegt bei topographisch ungestörten Verhältnissen wie etwa an der E-Flanke des Mt. Audubon in rund 3400 m und wird von *Picea engelmanii, Abies lasiocarpa und Pinus flexilis* gebildet, welche Arten auch die darüber anschließende Krummholzstufe aufbauen, wobei innerhalb des Ausschnittes von Abb. 2 alle von HOLTMEIER (1978, 1981), und HANSEN-BRISTOV & IVES (1985) beschriebenen Wuchsformen bzw. Verbreitungsmuster beobachtet werden können. Die Obergrenze dieser Übergangsstufe ("forest-tundra-ecotone"), an der häufig niedrig wüchsige Weiden vorkommen, kann mit 3450-3500 m angegeben werden. Die alpine Stufe ist durch artenreiche, offene Rasen- und Polsterpflanzengesellschaften gekennzeichnet (für Details vgl. KNAPP, 1965: 115 ff.); oberhalb etwa 3800 m dominieren allgemein Fels- und Schuttfluren.

Abb. 2: Übersichtskarte der Geländeformen und Bodenbedeckung im Bereich des Mt. Audubon



0 1km

Grate (die Continental Divide zieht am linken Rand der Abb. von N nach S) und Felswände

Gewässer

perennierende Firnflecken

Schutt i.a.

Rundhöckerfluren

Grasheide

Krummholz

geschlossener Wald

Anmerkung: Der Mt. Audubon ist der 4030 m hohe Gipfel nahe der Abb.-Mitte (40 ° 6 ' N, 105 ° 36 ' 45 '' W).

Die klimatische Situation der Hochzonen ist durch die Daten der nur ca. 2 km vom S-Rand des Beispielgebietes entfernten Wetterstation Niwot Ridge, 3749 m (die die höchste eines am E-Hang der Front Range installierten Sonderstationsprofils darstellt), gut faßbar. Ungeachtet der methodischen Problematik von Niederschlags- und Windregistrierung geben die Werte von Tab. 1 einen guten Eindruck von den herrschenden Verhältnissen, wobei die hohe Jahresschwankung der Temperatur von 21,4 ° und die außerordentlich hohen Windgeschwindigkeiten auffallen. Die Winde wehen weitaus überwiegend aus W- bis NW-Richtung und bilden aufgrund ihrer Intensität und Andauer das für die standörtlichen Gegebenheiten wichtigste Klimaelement (HOLTMEIER, 1978: 7 f.). Damit in Zusammenhang steht auch die an Leelagen mit besonders mächtiger Akkumulation windverfrachteten Schnees gebundenen Existenz kleiner Kargletscher, die ARNO (1984: 186) als "aeolian glaciers" bezeichnet und von denen es in der Front Range 23 mit einer Gesamtfläche von 1,5 km^2 (GRAF, 1977: 326) geben soll; im Beispielgebiet selbst fehlen Gletscher zwar, doch ist perennierender Firn in den hochgelegenen Karböden unmittelbar östl. des Hauptkammes häufig.

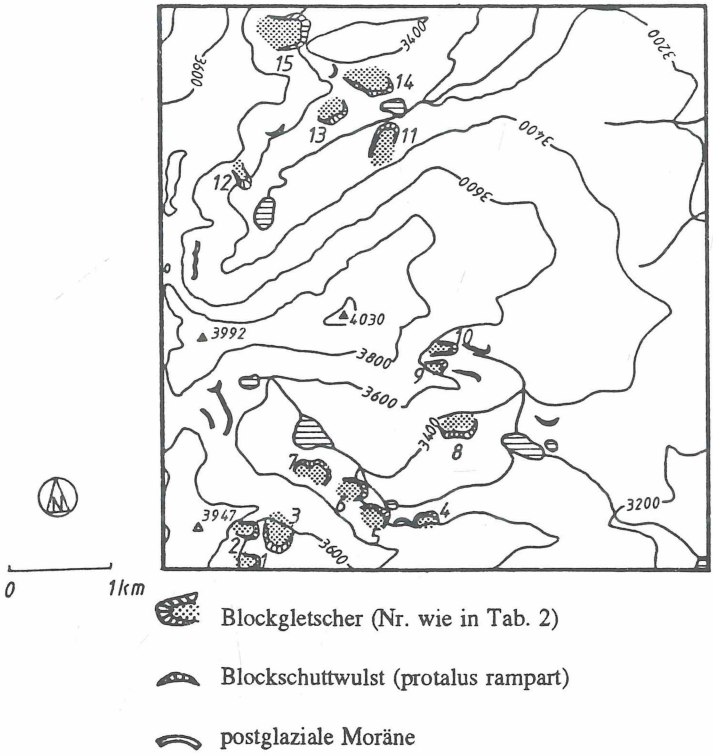
Tab. 1: Jahresgänge von Temperatur, Niederschlagsmenge und Windgeschwindigkeit an der Station Niwot Ridge (3749 m)

	Jan.	Febr.	März	Apr.	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jahr	Periode, Quelle
Temperatur (°C)	-13.2	-12.8	-11.2	-7.0	-0.9	4.6	8.2	7.1	3.4	-2.1	-8.9	-11.8	-3.7	1951-80 (GREENLAND 1989)
Niederschlag (mm)	102	80	128	100	88	60	51	62	49	40	80	90	930	1951-80 (GREENLAND 1989)
Windgeschwindigkeit (m/sec)	13.9	11.8	12.1	9.5	8.9	7.8	5.8	5.7	7.9	12.5	13.4	13.6	10.3	1965-70 (BARRY 1973)

3.2. *Bestand und Charakteristik der Blockgletscher*

Im Beispielgebiet wurden von mir die Blockgletscher im Gelände kartiert (Abb. 3) und die in Tab. 2 verzeichneten Angaben erhoben. Die Aktivität wurde aufgrund des Charakters der Stirnhalden festgestellt, wobei eine Differenzierung nur nach fossil und intakt erfolgte, um nicht den Resultaten einfacher Beobachtungen ohne Zuhilfenahme exakter Messungen eine zu hohe Aussagekraft zuzusprechen. In allen Fällen (mit Ausnahme der 4 mit Fragezeichen versehen, deren Aktivität ich nicht sicher feststellen konnte) ist aber doch eine Bewegung sehr wahrscheinlich, weshalb die Untergrenzen als Indikatoren der Mindestreichweite des Permafrosts aufgefaßt werden. Die fossilen Blockgletscher, deren enge Nachbarschaft zu den intakten auffällt, zeigen jeweils stark abgeflachte Randböschungen und Bewuchs in Form von Rasen und krüppelwüchsigen Individuen der unter 3.1. genannten waldgrenzbildenden Koniferen. Einige der Blockgletscher sind auch in den Arbeiten von MADOLE (1972) und WHITE (1971, 1976) berücksichtigt.

Abb. 3: Die Blockgletscher im Bereich des Mt. Audubon



Anmerkung: Der Mt. Audubon ist der 4030 m hohe Gipfel nahe der Abb.-Mitte (40 ° 6 ' N, 105 ° 36 ' 45 '' W).

Tab. 2: Daten zu den Blockgletschern im Bereich des Mt. Audubon

Nr. in Abb. 3	Exposition	Blockgletscher-Untergrenze (m)	Aktivität	Länge/Breite (m)	Fläche (ha)
1	E	3505	intakt (?)	260/150	3.0
2	E	3535	intakt (?)	220/130	2.3
3	S	3525	intakt (?)	300/300	6.6
4	N	3365	intakt	110/260	2.5
5	NE	3365	intakt	170/280	4.9
6	NE	3380	intakt	270/220	3.6
7	NE	3485	intakt	240/390	7.2
8	S	3310	fossil	200/370	6.4
9	NE	3540	intakt	150/150	2.1
10	SE	3535	intakt	240/130	2.5
11	NW	3230	intakt (?)	260/240	6.0
12	SE	3365	intakt	220/130	2.3
13	SE	3270	fossil	170/300	4.9
14	S	3230	fossil	280/330	8.7
15	E	3400	intakt	540/330	15.9
Mittelwerte		3403		242/247	5.3
Summe					78.9

Die Blockgletscher bevorzugen nach Tab. 2 nördl. Expositionen (n = 6), was für Permafrostkörper in mittlerer Breitanlage zu erwarten ist; auch die östl. Komponente tritt stark hervor, was aber zumindest teilweise aus der Zufälligkeit der Geländekonfiguration erklärt werden kann. Die mittlere Untergrenze aller intakten Blockgletscher beträgt 3436 m (s = 99 m; n = 12), das Mittel für die nördl. Expositionen errechnet sich zu 3394 m (s = 109 m; n = 6). Alle 3 fossilen Blockgletscher sind zum S-Sektor ausgerichtet und haben eine mittlere Untergrenze von 3270 m (s = 40 m). Das Verhältnis von Länge zu Breite beträgt im Mittel rund 1:1; die meisten Blockgletscher sind daher, wenn man sie formal typisiert, als lobenförmig anzusprechen ("lobate rock glaciers"), und nur wenige - etwa Nr. 15 - haben zungenförmige Gestalt ("tongue-shaped rock glaciers" nach der Terminologie von WAHRHAFTIG & COX, 1959). Die Gesamtfläche aller Blockgletscher im Beispielgebiet beträgt rund 80 ha, auf die intakten entfallen davon ca. 75 %. Alle Blockgletscher liegen am Fuße steiler, schuttliefernder Flanken (Karwände), wobei vor allem die Aneinanderreihung von Formen an der S-Begrenzung des Hochtalkares südl. des Mt. Audubon auffällt (Abb. 4) - nach WHITE (1976: 83) und auch nach meinen Beobachtungen sind solche Blockgletscherlagen in der Front Range häufig anzutreffen (vgl. auch Abb. 5).

Abb. 4: Blick vom Mt. Audubon nach S ins Blue Lake Valley mit den Blockgletschern am Fuße der Flanke, die das Tal im S begrenzt. Rechts im Hintergrund die Gipfel an der Continental Divide (Foto: G.K. Lieb)

4. *Allgemeine Grundzüge der Blockgletscherverbreitung*

4.1. Anmerkungen zur Literaturlage

Bei einem kurzen Überblick über den bisherigen Kenntnisstand muß man zwischen dem Wissen um Existenz bzw. Verbreitung von Permafrost einerseits und dem um die Blockgletscher andererseits unterscheiden. Bedingt durch das in Kap. 2. angesprochene Vordringen des Bergbaus bis in höchste Lagen war Permafrost bereits in der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts (z.B. am Mt. Elbert) bekannt, und auch im 20. Jahrhundert gab es bautechnische Probleme mit touristischen Anlagen auf Hochgipfeln (u.a. Mt. Evans, IVES, J.D., 1974: 185 ff.). Systematische Permafrostuntersuchungen wurden seit etwa 1970 im Bereich Niwot Ridge angestellt, wodurch aufgrund von Bodentemperaturmessungen und Geländebefunden (IVES, J.D. & FAHEY, 1971), später auch aufgrund theoretischer Überlegungen (GREENSTEIN 1983) eine sehr weite Verbreitung von Permafrost in den Hochzonen nachgewiesen werden konnte (für die gesamten USA vgl. PEWE, 1983).

Wie in Kap. 1. schon erwähnt, ist die Arbeit von IVES R.L. (1940) als Beginn der gezielten Blockgletscherforschung im weiteren Betrachtungsraum zu sehen. Intensiviert wurde die Forschung ab etwa 1960, als die Fragen nach Alter, Bewegung und innerem Aufbau der Blockgletscher durch OUTCALT & BENEDICT (1965) sowie WHITE (1971 und 1976) in Spezialuntersuchungen, durch BENEDICT (1967 und 1968) sowie MADOLE (1972) darüberhinaus im Rahmen weiter reichender morphologischer Studien untersucht wurden. Dabei gelang es, die Bildungszeiträume von Blockgletschern lichenometrisch mit postglazialen Gletscherhochstandsperioden zu parallelisieren (vgl. 4.2.), die Größenordnung der Bewegungsdynamik zu quantifizieren und das Verbreitungsmuster der Formen wenn schon nicht flächendeckend, so doch in den Grundzügen (vgl. dazu HÖLLERMANN, 1983: Fig. 10) zu erarbeiten. Hinsichtlich des inneren Aufbaus findet sich allerdings noch bei WHITE (1976) die Vorstellung, daß manche Blockgletscher aus von Schutt begrabenem Gletschereis bestünden, was BARSCH (1983: 136 f.) sehr ausführlich kritisiert hat - es besteht in den Rocky Mountains genausowenig wie in den Alpen ein Grund, in Blockgletschern etwas anderes als Kriechphänomene im unter Permafrostbedingungen gefrorenen Schutt zu sehen.

4.2. Die horizontale Verbreitung und Zeitstellung

Im N-Teil der Rocky Mountains von Colorado ist das Vorkommen von Blockgletschern aller Aktivitätsstufen - wie in jedem anderen Gebirge der Mittelbreiten auch - auf die höchsten Gebietsteile beschränkt. Abgesehen von den klimatischen Rahmenbedingungen sind hierfür vor allem die topographischen Gegebenheiten verantwortlich, welche durch hohe Schuttlieferung an den glazial übersteilten Geländeteilen günstig für die Blockgletscherbildung sind. Da diese somit Eisfreiheit der Kare und Trogtäler voraussetzt, ergibt sich die Notwendigkeit, einen kurzen Blick auf die Gletschergeschichte zu werfen.

Für die E-Abdachung der Front Range im Gebiet des Rocky Mountain National Park hat RICHMOND (1960) eine Vergletscherungschronologie erstellt, die die klassische Nomenklatur aus den Wind River Mountains (Wyoming) übernimmt und bis heute Gültigkeit hat - die Parallelisierung der 3 großen Vereisungsphasen (Pre-Bull Lake, Bull Lake, Pinedale) mit den Glazialen bzw. Stadialen der Alpen haben KAISER (1966: 289 f.) und HEUBERGER (1974: 325 ff.) diskutiert, wobei die Zeitgleichheit des Pinedale mit dem Würm-Hochglazial als gesichert gelten darf. Die Pinedale-Vergletscherung, die MEIERDING (1982: Fig. 1) in der Front Range rekonstruiert hat, brachte im Untersuchungsraum große, häufig dendritische Talgletscher mit Anklängen an Eisstromnetze hervor, die aber weit hinter dem östl. Gebirgsrand zurückblieben und auch die intramontanen Hochtäler und Becken nur randlich erreichten. Nach einigen Rückzugshalten (die sich aber kaum mit der spätglazialen Serie der Alpen vergleichen lassen) war das Gebirge um rund 10000 vor heute weithin unvergletschert (MEIERDING, 1982: 294) und der Raum für Blockgletscherbildung somit frei. Diese setzte im N-Teil der Colorado Rocky Mountains nach BENEDICT (1968: 85) um 4500 vor heute ein und hatte parallel mit den Gletscherhochstandsperioden Temple Lake, Arikaree (von MAHANEY 1972 auf Audubon umbenannt) und Gannett Peak (den neuzeitlichen Hochständen der Alpen entsprechend) 3 Hauptphasen; demgegenüber gibt es

aus dem S-Teil der Colorado Rocky Mountains aber auch Hinweise auf älterpostglaziale Blockgletscherentstehung (CARRARA & ANDREWS, 1976), wobei die meisten der Blockgletscher - wenigstens in schattseitigen Lagen - noch heute aktiv sein sollen.

In der rezent wenn auch kleinflächig vergletscherten Front Range kommt die räumliche Nachbarschaft von Gletschern und Blockgletschern vor, ohne daß aber genetische Beziehungen bestehen. Allerdings zeigt sich, daß große zungenförmige Blockgletscher häufig im Anschluß an Moränenlandschaften liegen (dies hat zusammen mit der Beobachtung größerer Eislinsen einige Autoren veranlaßt, eine glaziale Entstehung zumindest für manche Blockgletscher zu fordern), weil hier große Schuttmengen zur Verfügung stehen und die Blockgletscherzungen sich von den (nur im innersten Abschnitt vergletscherten) Talschlüssen ausgehend in Tallängsrichtung besonders gut entfalten können. Gegen die genetische Verbindung von Gletschern und Blockgletschern sprechen in den Rocky Mountains genauso wie in den Alpen die Geländegegebenheiten in verschiedenen Gebieten (z.B. Blockgletscher im Rose Gulch im N von Climax) als auch die häufige Beobachtung, daß sich Gletscher in Hochstandsperioden offenbar auf ihnen vorgelagerte Blockgletscher legen können, ohne diese in ihrer Gestalt wesentlich zu verändern (z.B. Blockgletscher im Tyndall Gorge in Abb. 5 und 6; vgl. dazu auch die ausgezeichneten Luftbilder bei OUTCALT & BENEDICT, 1965).

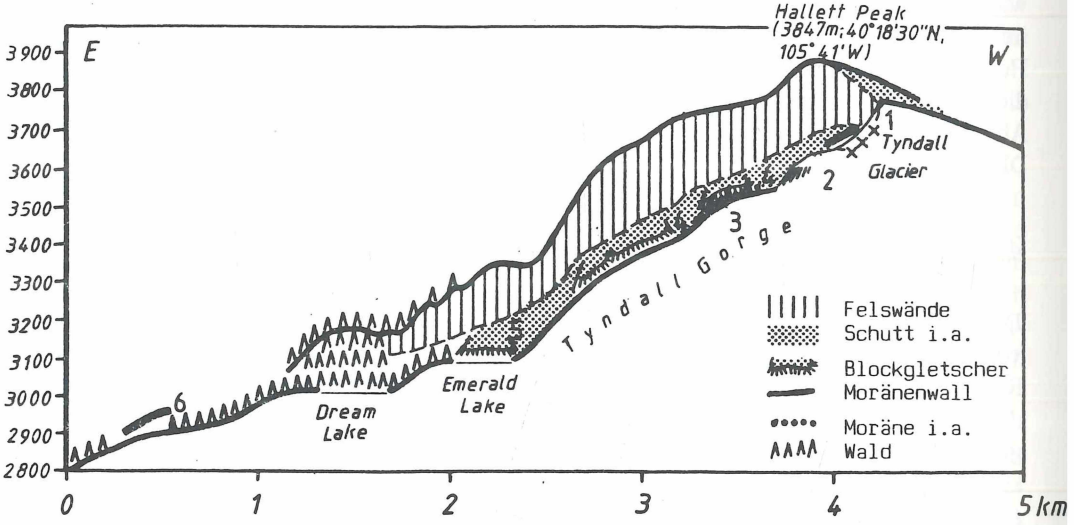
4.3. Die hypsometrische Stellung

Der Wert für die mittlere Untergrenze der intakten Blockgletscher im Mt. Audubon-Gebiet von rund 3440 m (Kap. 3.2.) fügt sich ganz ausgezeichnet in den Rahmen der übrigen Front Range ein: Hierfür läßt sich aus den Angaben von WHITE (1971, 1976: Übertragung der dort verzeichneten Blockgletscher in topographische Karten und Bestimmung der Untergrenze daraus) eine mittlere Blockgletscher-Untergrenze von rund 3450 m errechnen, wobei keine wirklich signifikanten Unterschiede zwischen zungen- und lobenförmigen Blockgletschern auftreten. Nach morphologischen Kriterien reicht diskontinuierlicher Permafrost also bis mindestens 3450 m herab, in welcher Höhe nach den Berechnungen von GREENSTEIN (1983: Fig. 1) ein Jahresmittel der Lufttemperatur von -1,6 ° herrscht; in jener Arbeit wird aufgrund theoretischer positiver und negativer Temperatursummen die Untergrenze diskontinuierlichen Permafrosts mit 3200 m in N- und 3300 m in S-Exposition noch deutlich tiefer angesetzt (was nach den hier vorliegenden Ergebnissen die tiefst denkbaren Werte darstellt).

Ob man mit Mittel- oder Extremwerten operiert, in jedem Fall zeigt sich, daß der Permafrost bis nahe zur Waldgrenze oder sogar etwas tiefer als diese herabreicht. Dieser Umstand, der in scharfem Gegensatz zur Situation in den Alpen steht, ist auf die starke Kontinentalität des Klimas zurückzuführen. Diese bedingt bei hoher Jahresschwankung der Temperatur einerseits eine hohe Lage der Waldgrenze wegen relativ hoher Sommertemperaturen und andererseits eine tiefe Lage der Permafrost-Untergrenze wegen des (durch relativ niedere Wintertemperaturen gedrückten) Niveaus der Jahrestemperaturen. Diese Zusammen-

hänge hat HÖLLERMANN (1983: Fig. 16) sehr anschaulich dargestellt und auch auf die in den kontinentalen Gebirgen der Mittelbreiten große Vertikaldistanz zwischen Gletschern und Blockgletschern hingewiesen. Gerade diese bestätigt sich aber im gegenständlichen Untersuchungsraum nicht (vgl. dazu HÖLLERMANN, 1983: Tab. 1), weil die Gletscher wegen der erwähnten überragenden Bedeutung von windverfrachtetem Schnee für die Gletscherernährung "zu tief" liegen: Die Schneegrenzen (welche angesichts des Fehlens von ausreichend genauen Kartengrundlagen nur grob abgeschätzt werden können) liegen zwischen 3500 und 3800 m, also nur relativ wenig oberhalb der Waldgrenze, wie dies sonst für Gebirge mit maritimer Klimatönung charakteristisch ist.

Abb. 5: Längsprofil durch das Tyndall-Tal (Rocky Mountain National Park), doppelt überhöht



Anmerkungen: Dargestellt ist neben dem Tallängsprofil, das einen ausgeprägten Stufenbau zeigt, der das Tal im S begrenzende Gratzug und die Bodenbedeckung in dessen nördl. Flanke.

1 = Gegenwärtiger Tyndall Glacier (ca. 2 ha) mit neuzeitl. Ufermoränen
2 = Aktiver zungenförmiger Blockgletscher im Anschluß an die Moränen des Tyndall Glacier (vgl. Abb. 6)
3 = Postglaziale Moränen des Tyndall Glacier (Temple Lake-Stadium nach RICHMOND, 1960)
4 = Aktive lobenförmige Blockgletscher unter der schattseitigen Flanke
5 = Fossiler lobenförmiger Blockgletscher unter der schattseitigen Flanke
6 = Spätglaziale Moräne nach RICHMOND 1960

Trotz dieser lokalspezifischen Abweichung in der geoökologischen Höhenzonierung ist aber doch in vielen Bereichen des Untersuchungsraumes jene vertikale Formenabfolge zu beobachten, die MADOLE (1972) beschrieben und HÖLLERMANN (1983: Fig. 15) schematisch dargestellt haben: An Kleingletscher mit ihren neuzeitlichen Moränen in den innersten Karräumen schließen meist zungenförmige Blockgletscher an, weiter talaus folgen lobenförmige Blockgletscher und protalus ramparts am Fuß besonders der schattseitigen Talflanken, die bis zur aktuellen Untergrenze diskontinuierlichen Permafrosts im Bereich der Waldgrenze herabreichen. Diese Abfolge wird durch Abb. 5 beispielhaft veranschaulicht, der innerste Karraum ist auch auf Abb. 6 zu sehen; zu beachten ist ferner, daß die spätglazialen Lockermaterialakkumulationen erst außerhalb des Karraumes einsetzen.

Abb. 6: Blick von N auf den Hallett Peak. An seinem Fuß der Tyndall Glacier und der diesem vorgelagerte aktive Blockgletscher (vgl. Abb. 5) (Foto: G.K. Lieb)

5. *Die Ergebnisse im überregionalen Vergleich*

Als wichtigste Resultate der vorliegenden Arbeit sind folgende Aspekte hervorzueben: Blockgletscher sind in den Rocky Mountains von Colorado ein sehr weit verbreitetes Phänomen, wobei diese Verbreitung für ein Beispielgebiet quantifiziert wird. Dabei treten sowohl intakte als auch fossile Formen auf, welch letztere aber die Ausnahme bilden: Ihre enge Nachbarschaft zu den intakten macht ein ebenfalls postglaziales Alter wahrscheinlich. Die intakten Blockgletscher können als Anzeiger der Reichweite von diskontinuierlichem Permafrost verwendet werden, dessen Untergrenze im Mittel aller Expositionen bei ca. 3450 m anzusetzen ist. Wegen der Kontinentalität des Klimas reicht der Permafrost bis in den Bereich der Waldgrenze herab, während die vertikale Nähe zur Schneegrenze aus den speziellen Gelände- und Windverhältnissen erklärt werden muß. Dadurch rückt Permafrost auch verstärkt in den Blickwinkel der in Kap. 2. geschilderten Nutzungsinteressen.

Damit ist bereits ein wesentlicher Unterschied zu den Alpen angesprochen, wo diskontinuierlicher Permafrost und Blockgletscher in die subnivale Höhenstufe gehören. Ob hiermit die in den Alpen im Vergleich zu den Rocky Mountains - gleiches Ausgangsgestein vorausgesetzt - geschlossener entwickelte Grasheidestufe zusammenhängt, könnte eine interessante Frage für weitere Forschungen sein. Jedenfalls ist festzuhalten, daß zum einen trotz eines im flüchtigen Eindruck ähnlichen Gesamtlandschaftscharakters - etwa zwischen Front Range (südl. Rocky Mountains) und Niederen Tauern (Ostalpen) - doch eine Vielzahl an entscheidenden Unterschieden, sowohl bei der Permafrostverbreitung als auch ganz allgemein bei Höhenzonierung und Nutzungsformen, bestehen, daß aber zum anderen die Blockgletscher als solche in ihrer Genese, Form, Dynamik und Aktivität keinerlei Unterschiede zu den Alpen aufweisen.

Innerhalb der US amerikanischen Hochgebirge stechen die südl. Rocky Mountains sowohl durch die bei Kap. 2. erwähnte Kulmination aller Höhengrenzen als auch durch ihren besonderen Blockgletscherreichtum hervor (vgl. HÖLLERMANN, 1983). Beide Besonderheiten sind ebenso wie die Nähe von Permafrost-Untergrenze und Waldgrenze mit dem kontinentalen Klimacharakter in Verbindung zu bringen. Dadurch ergeben sich sinngemäß Unterschiede besonders zum Pazifischen Gebirgssystem, in dessen stark vergletschertem NW (Cascades) intakte Blockgletscher möglicherweise überhaupt fehlen und in dessen SW (Sierra Nevada) zumindest die meisten der intakten Blockgletscher nach meinen Beobachtungen doch deutlich über der Waldgrenze enden. Innerhalb der Rocky Mountains allerdings bleibt die vertikale Stellung der Blockgletscher im Vergleich zu den übrigen Höhengrenzen (die alle nach S hin ansteigen) weithin gleich.

Literatur

ARNO, S.F., 1984: Timberline, Mountain and Arctic Forest Frontiers. Seattle, 304 Seiten.

BARRY, R.G., 1973: A climatological transect on the East slope of the Front Range, Colorado. Arctic and Alpine Research. 5, 2, 89-110.

BARRY, R.G., 1981: Mountain weather and climate. London, New York, 313 Seiten.

BARSCH, D., 1983: Blockgletscher-Studien, Zusammenfassung und offene Probleme. In: POSER H. & SCHUNKE E. (Eds.): Mesoformen des Reliefs im heutigen Periglazialraum. Abh. Akad. Wiss. Göttingen, mathemat.-physikal. Kl., 3. Folge, Nr. 35, 133-150.

BLUME, H., 1988: USA. Eine geographische Landeskunde. II. Die Regionen der USA. Wiss. Länderkunden. Bd. 9, Darmstadt, 499 Seiten.

BENEDICT, J.B., 1967 u. 1968: Recent glacial history of an alpine area in the Colorado Front Range, USA. I. Establishing a lichen-growth curve. Journ. of Glaciology, 6/48 (1967), 817-832. II. Dating the glacial deposits. Journ. of Glaciology, 7/49 (1968), 77-87.

CARRARA, P.E. & ANDREWS, J.T., 1976: Holocene glacial/periglacial record; Northern San Juan Mountains, Southwestern Colorado. Z. f. Gletscherk. u. Glaz.geol. XI/2 (1975), 155-174.

CHRONIC, H., 1980: Roadside geology of Colorado. Missoula, 322 Seiten.

CROWLEY, J.M., 1975: Ranching in the mountain parks of Colorado. Geogr. Rev. 65, 445-460.

ECKELMANN, S., 1988: Die Untergrenze der rezent-periglazialen Höhenstufe in den Kordilleren Nordamerikas. Diss. Univ. Göttingen, 230 Seiten.

GRAF, W.L., 1977: The distribution of glaciers in the Rocky Mountains of the United States. Journ. of Glaciology. 18/79, 325-328.

GREENLAND, D., 1989: The climate of Niwot Ridge, Colorado, USA. Arctic and Alpine Research. 21/4, 380-391.

GREENSTEIN, L.A., 1983: An investigation of midlatitude alpine permafrost on Niwot Ridge, Colorado Rocky Mountains, USA. 4th Internat. Conference on Permafrost, Proceedings. Washington, 380-383.

HAMBLOCH, H., 1967: Höhengrenzen von Siedlungstypen in Gebirgsregionen der westlichen USA. Geogr. Zeitschr. 55, 1-41.

HANSEN-BRISTOW, K.J. & IVES J.D., 1985: Composition, form and distribution of the forest-alpine tundra ecotone, Indian Peaks, Colorado, USA. Erdkunde 39, 286-295.

HEUBERGER, H., 1974: Alpine quaternary glaciation. In: IVES, J.D. & BARRY, R.G. (Eds.): Arctic and Alpine Environments. London, 319-338.

HÖLLERMANN, P., 1980: Naturräumliche Höhengrenzen und die Hochgebirgsstufe in Gebirgen des westl. Nordamerika. In: JENTSCH, C. & LIEDTKE, H. (Eds.): Höhengrenzen in Hochgebirgen. Arb. Geogr. Inst. Univ. d. Saarlandes. 29, 75-117.

HÖLLERMANN, P., 1983: Blockgletscher als Mesofomen der Periglazialstufe. Studien aus europäischen und nordamerikanischen Hochgebirgen. Bonner Geogr. Abh. 67, 73 Seiten.

HOLTMEIER, F.-K., 1978: Die bodennahen Winde in den Hochlagen der Indian Peaks Section (Colorado Front Range). Münstersche Geogr. Arb. 3, 3-47.

HOLTMEIER, F.-K., 1981: Einige Besonderheiten des Krummholzgürtels in der Colorado Front Range. Wetter und Leben. 33, 150-160.

HUNT, C.B., 1967: Physiography of the United States. San Francisco, London, 480 Seiten.

IVES, J.D., 1974: Permafrost. In: IVES, J.D. & BARRY, R.G. (Eds.): Arctic and Alpine Environments. London, 159-194.

IVES, J.D. & FAHEY, B.D., 1971: Permafrost occurence in the Front Range, Colorado Rocky Mountains, USA. Journ. of Glaciology. 10/58, 105-111.

IVES, R.L., 1940: Rock glaciers in the Colorado Front Range. Bull. Geol. Soc. America. 51, 1271-1294.

KAISER, K., 1966: Probleme und Ergebnisse der Quartärforschung in den Rocky Mountains (i.w.S.) und angrenzenden Gebieten. Z. f. Geomorph. N.F. 10, 264-302.

KNAPP, R., 1965: Die Vegetation von Nord- und Mittelamerika und den Hawaii-Inseln. Vegetationsmonographien der einzelnen Groβräume. Bd. 1. Stuttgart, 373 Seiten.

MADOLE, R.F., 1972: Neoglacial facies in the Colorado Front Range. Arctic and Alpine Research. 4, 119-130.

MAHANEY, W.C., 1972: Audubon: New name for Colorado Front Range neoglacial deposits formerly called Arikaree. Arctic and Alpine Research. 4, 355-357.

MARKER, M.E., 1990: Minimum altitudes for former periglacial landforms adjacent to longitude 106 ° W in Colorado and New Mexiko, USA, between latitudes 33 ° N and 40 ° N. Arctic and Alpine Research. 22/4, 366-374.

MEIERDING, T.C., 1982: Late pleistocene glacial equilibrium-line altitudes in the Colorado Front Range: A comparison of methods. Quaternary Research. 18, 289-310.

NATIONAL CLIMATIC CENTER (Ed.), 1983: Climate Normals for the US (Base: 1951-80). Detroit, 712 Seiten.

OUTCALT, S.J. & BENEDICT, J.B., 1965: Photo-interpretation of 2 types of rock glaciers in the Colorado Front Range, USA. Journal of Glaciology. 5/42, 849-856.

PATERSON, J.H., 1989: North America. A geography of the United States and Canada. New York, Oxford, 528 Seiten.

PEWE, T.L., 1983: Alpine permafrost in the contiguous United States. Arctic and Alpine Research. 15, 145-156.

RICHMOND, G.M., 1960: Glaciation of the East slope of Rocky Mountain National Park, Colorado. Bull. Geol. Soc. America. 71, 1371-1382.

WAHRHAFTIG, C. & COX, A., 1959: Rock glaciers in the Alaska Range. Bull. Geol. Soc. America 70, 383-436.

WHITE, S.E., 1971: Rock glacier studies in the Colorado Front range, 1961-1968. Arctic and Alpine Research. 3, 43-64.

WHITE, S.E., 1976: Rock glaciers and block fields, review and new data. Quaternary Research. 6/1, 77-97.

Anschrift des Verfassers: Mag.Dr. Gerhard Karl LIEB, Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz, Heinrichstraße 36, A-8010 Graz.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 30_1991

Autor(en)/Author(s): Lieb Gerhard Karl

Artikel/Article: Zur Verbreitung von Blockgletschern im Nordteil der Rocky Mountains von Colorado, USA 211-229