

K3

DER GLETSCHERRÜCKGANG IN DER CORDILLERA REAL (BOLIVIEN) SEIT 1928 IM VERGLEICH ZU DEM IN DEN OSTALPEN

Von R. FINSTERWALDER, München

Mit 6 Abbildungen und 1 Kartenbeilage

ZUSAMMENFASSUNG

Die Gletscher der nördlichen Cordillera Real (Bolivien) um den Illampu (6368 m) sind bereits mehrfach kartiert worden. Aus einer terrestrisch-photogrammetrischen Aufnahme vom Jahre 1928 und aus Luftbildern von 1963 und 1975 abgeleitet, existieren Gletscherkarten im Maßstab 1 : 50 000 dieses Gebiets. Von den Gletschern des benachbarten Illimani (ca. 6420 m) sind ebenfalls Kartierungen 1 : 50 000 aus Luftbildern von 1975 und 1983 vorhanden.

Durch Auswertung dieser Karten können die Änderungen der Gletscher der Cordillera Real in den Zeitabschnitten 1928 — 1963 — 1975 — 1983 festgestellt und zahlenmäßig belegt werden. Die gefundenen Rückzugsbeträge sind kleiner als bei entsprechenden Gletschern des Ostalpengebiets. Der dort in den sechziger Jahren beginnende Gletschervorstoß ist in der Cordillera Real ausgeblieben.

GLACIER RETREAT IN THE CORDILLERA REAL (BOLIVIA) SINCE 1928

SUMMARY

Glacier maps 1 : 50 000 exist of the glaciers around Illampu (6368 m) from surveys in 1928, 1963 and 1975, of the glaciers of Illimani (6420 m) in 1975 and 1983, respectively. From these maps glacier changes 1928 — 1963 — 1975 — 1983 have been evaluated. Their retreat is smaller than that of corresponding glaciers in the Eastern Alps. The alpine advance that has begun in the sixties was not observed in the Cordillera Real.

I. EINLEITUNG

Gletscherschwankungen werden in den Alpen seit etwa 100 Jahren aus wissenschaftlichen Gründen verfolgt und sind auch durch Zahlenangaben recht gut belegt. Wesentlich weniger Angaben über den Verlauf von Gletscherschwankungen liegen aus den anderen Hochgebirgen der Erde vor, sowohl was die Zeitdauer der Beobachtungen als auch ihre Anzahl betrifft. So gibt es vor allem auf der Südhalbkugel der Erde kaum Zahlenwerte über das Ausmaß von Gletscherschwankungen entsprechend dem Beobachtungszeitraum in den Alpen. Der Grund dafür liegt neben dem Fehlen glaziologischer Forschung in den entsprechenden Ländern vor allem in der Tatsache, daß eine genaue kartographische Landesaufnahme und damit auch die Erfassung vergletschelter Gebiete verhältnismäßig spät, vielfach erst in jüngster Zeit und im Hochge-

birge noch recht mangelhaft erfolgt ist. Ausnahmen von dieser Situation bestehen nur dort, wo wissenschaftliche Expeditionen zu früheren Zeitpunkten kartographische Aufnahmen vergletscherter Gebiete durchgeführt haben.

Solch günstige Umstände findet man in Bolivien, nachdem dort bereits im Jahre 1928 eine Alpenvereinsexpedition im Bereich der nördlichen Cordillera Real auch wissenschaftlich gearbeitet hat. Als Ergebnis liegt eine Karte im Maßstab 1 : 50 000 des Gebiets um den Illampu (6368 m) vor, welche die umfangreiche Vergletscherung dieser Region zeigt (Troll und Finsterwalder, Ri., 1935). Mit dieser Karte ist ein Gletscherstand dokumentiert, der zeitlich kurz nach der Vorstoßperiode der Alpengletscher um das Jahr 1920 liegt.

Die Möglichkeit weitere Gletscherstände zu kartieren, besteht im Bereich der Cordillera Real in der Auswertung von Luftaufnahmen. Bildflüge wurden in Bolivien für die Herstellung der Landeskarte 1 : 50 000 durch das dortige militärgeographische Institut seit 1948 durchgeführt (Jordan 1986). Für das Gebiet um den Illampu existieren Aufnahmen aus den Jahren 1963 und 1975, die für eine gletscherkundliche Auswertung geeignet sind. Ein großer Teil der Cordillera Real, allerdings nicht das Illampugebiet, ist schließlich noch durch einen Flug zum Zwecke der Kartenrevision vom Jahre 1983 erfaßt. Durch photogrammetrische Auswertung dieser Bildflüge und unter Benutzung der Trollschen Karte von 1928 läßt sich das Verhalten der Gletscher der Cordillera Real in den Zeitabschnitten 1928 — 1963 — 1975 — 1983 somit feststellen.

Im folgenden Beitrag werden die Ergebnisse dieser Auswertung mitgeteilt und die gefundenen Schwankungen der Andengletscher mit den wesentlich besser bekannten Veränderungen von Ostalpengletschern verglichen.

II. VERMESSUNGSGRUNDLAGEN DES UNTERSUCHUNGSGEBIETS

Das Untersuchungsgebiet liegt in den Randtropen unter etwa 16° südlicher Breite. Es enthält mit dem Jankhouma (6427 m) den höchsten Punkt der Cordillera Real und die ausgedehnteste Vergletscherung dieser Gebirgskette. Das Gebiet wurde sowohl in geographischer als auch in glaziologischer Hinsicht bereits ausführlich beschrieben (Troll und Finsterwalder 1935, Jordan 1985). Ferner ist es in der beiliegenden topographischen Karte 1 : 50 000 genau dargestellt, sodaß sich eine weitere Vorstellung erübrigt. Dagegen ist es notwendig, auf die verschiedenen Vermessungsgrundlagen für diese Gebiete kurz einzugehen.

1. DIE TERRESTRISCH-PHOTOGRAMMETRISCHE AUFNAHME VOM JAHRE 1928

Sie erfolgte durch C. Troll und E. Hein im Rahmen der Andenexpedition des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins mit einem Phototheodoliten vom Format 9 × 12 cm (Troll und Finsterwalder, Ri.). Die geodätische Grundlage bildete eine Theodolittriangulation in Form einer etwa 75 km langen Dreiecks-kette von La Paz nach Sorata. Die Berechnung und photogrammetrische Auswertung erfolgte durch Ri. Finsterwalder und H. Biersack. Als Ergebnis liegt eine Höhenlinienkarte (Äquidistanz 50 m) vor, die vom Umfang her etwa der beiliegenden neuen Karte 1 : 50 000 entspricht. Allerdings beruht nur etwa ein Drittel des Kartengebiets auf exakter stereo-photogrammetrischer Auswertung, der Rest wurde mit Meßtischphotogrammetrie, Bussolenaufnahme und Schätzung ergänzt.

Von den Gletschern sind vor allem die im Bereich des San Franziscotals und des

Millipayatales erfaßt, allerdings meist nicht bis in die Firngebiete hinauf. Die unsicher kartierten Gebiete sind glücklicherweise durch gestrichelte Höhenlinien erkennbar. Die Genauigkeit der exakt vermessenen Gebiete kann hinsichtlich der Höhe mit einigen Metern angenommen werden. Für eine glaziologische Auswertung günstig ist die Tatsache, daß die Gletscherenden, soweit sie eingesehen werden konnten, alle kotiert sind.

2. DER BILDFLUG VOM JAHRE 1963 UND DIE DARAUS ABGELEITETE TOPOGRAPHISCHE KARTE 1 : 50 000

Durch Vermittlung von Herrn E. Jordan, Hannover, standen Filmdiapositive eines für die Landeskartierung durch das militärgeographische Institut Boliviens durchgeführten Bildflugs vom Juni 1963 zur Verfügung. Es waren Weitwinkelaufnahmen 15/23 cm, mit einem Bildmaßstab von etwa 1 : 35 000 in Höhe des Altiplano (etwa 4000 m über Meeresniveau). Diese Aufnahmen wurden vom Verfasser benutzt, um daraus die beiliegende Karte 1 : 50 000 abzuleiten (Finsterwalder, Rü., 1988). Die zu diesem Zweck durchgeführte photogrammetrische Auswertung im Maßstab 1 : 25 000 basiert auf einer umfangreichen Aerotriangulation (Jordan 1986). In diese Triangulation wurden auch Höhenpaßpunkte aus der Trollschen Karte eingeführt, um so eine gute Übereinstimmung des Höhenniveaus der beiden für einen Gletschervergleich vorgesehenen Karten zu erreichen. Die Höhengenaugigkeit der neuen Karte 1 : 50 000 wird im wesentlichen von der Qualität der verwendeten Paßpunkte bestimmt. Die von E. Jordan und K. Jacobsen, Hannover, über die ganze Cordillera Real durchgeführte Aerotriangulation dürfte im Bereich des Illampugebiets eine Höhengenaugigkeit von etwa 5 m liefern. Um diese Genauigkeit noch etwas zu steigern, wurden bei der photogrammetrischen Auswertung möglichst viele kartensichere Punkte aus der Trollschen Aufnahme zur Einpassung der Stereomodelle mitbenützt. Die bei diesen Punkten auftretenden Höhenabweichungen lagen bei etwa 2 bis 3 m.

Das Gelände wurde durch Höhenlinien im Abstand von 40 m erfaßt, die Gletscherungen sind wie in der Auswertung vom Jahre 1928 wieder durch Höhenkoten festgelegt. Eine ausführliche Beschreibung der Karte und ihrer Herstellung findet sich bei Finsterwalder, Rü., 1988.

3. DER BILDFLUG VOM JAHRE 1975 UND DIE DARAUS ABGELEITETEN GLETSCHERKARTEN

Im Jahre 1975 wurde die gesamte Cordillera Real durch eine Hochbefliegung im Bildmaßstab 1 : 70 000 erfaßt. Für den Bereich des Illampugebiets erfolgte der Bildflug am 30. Juli 1975 mit einer Weitwinkelkamera 15/23 cm. Auf Grund der bereits erwähnten Aerotriangulation wurde der Flug von E. Jordan überwiegend zur Kartierung der bolivianischen Gletscher im Maßstab 1 : 50 000 benutzt, die die Grundlage für das Gletscherkataster Boliviens bildet (Jordan 1985).

Diese Gletscherkarten zeigen im wesentlichen die Umriss der Gletscher, die vorgelagerten Moränenwälle, den Kammverlauf, eingelagerte Felsgebiete, Gletscherbäche sowie zahlreiche Höhenangaben. So befinden sich Höhenkoten an den Zungenenden, im Kammverlauf, an den Moränenwällen, aber auch auf den Gletschern selbst, sodaß man von einem weitmaschigen digitalen Geländemodell der Gletscher sprechen kann. Die Genauigkeit der Höhenangaben ist wieder durch die Aerotriangulation bestimmt.

4. DER BILDFLUG VOM JAHRE 1983

Ein großer Teil der vergletscherten Cordillera Real, aber leider nicht das Illampugebiet, ist durch einen Bildflug vom 27. Juni 1983 abgedeckt. Er wurde zum Zwecke

der Kartenfortführung mit einer Weitwinkelkamera 15/23 cm durchgeführt und liefert Bilder vom Maßstab 1 : 50 000. Diese Aufnahmen werden derzeit am Lehrstuhl für Kartographie und Reproduktionstechnik der Technischen Universität München unter Leitung des Verfassers ausgewertet, um daraus eine topographische Karte im Maßstab 1 : 50 000 des Illimanigebiets abzuleiten.

Da die Auswertungen des Flugs von 1975 durch Jordan sowohl das Gebiet des Illampu als auch das des Illimani umfassen, kann die im Illampugebiet beginnende Reihe von Gletscherbeobachtungen über den Zeitraum 1928 — 1963 — 1975 im benachbarten Illimanistock für den Zeitraum 1975 bis 1983 fortgesetzt werden (gemeinsamer Bezugspunkt ist das Jahr 1975). Damit wird immerhin ein Zeitraum von 55 Jahren erfaßt.

III. KARTOMETRISCHE AUSWERTUNG

1. DIE AUSGEWÄHLTEN GLETSCHER

Die vorliegenden Kartierungen liefern ausreichendes Material, um die Schwankungen der Gletscher der Cordillera Real verfolgen und sie mit denen entsprechender Alpengletscher des gleichen Zeitraums vergleichen zu können. Dazu mußten zunächst die für einen Vergleich geeigneten Gletscher ausgewählt werden. Für die Auswahl war einmal entscheidend, daß die Gletscher bei der Aufnahme vom Jahre 1928 möglichst gut erfaßt, das heißt vollständig kartiert und mit Höhenlinien und Höhenkoten versehen waren. Zum anderen sollten sie vom Typ und der Größe her möglichst mit den zum Vergleich in Frage kommenden Ostalpengletschern übereinstimmen.

Im Bereich der Ostalpen liegen genaue Aufnahmen in regelmäßigen Zeitabständen von etwa zehn Gletschern vor (Finsterwalder, Ri., 1953, Finsterwalder, Rü., und Rentsch 1976 und 1980). Von diesen Gletschern wurden wiederum sechs ausgewählt, die von der Fläche und der Hangneigung her etwa den größeren Gletschern im Bereich des Illampu entsprechen. Es sind dies das Schwarzensteinkees, das Hornkees, das Waxeggkees und das Schlegeiskees in den Zillertaler Alpen sowie der Grünaufener und der Sulzaufener samt Fernerstube in den Stubai Alpen. Die Gesamtfläche dieser Gletscher beträgt zum Zeitpunkt des Jahres 1969 24,3 km², die durchschnittliche Fläche eines Gletschers 4,0 km², die durchschnittliche Hangneigung 25,8°, der durchschnittliche Höhenunterschied zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt eines Gletschers beträgt 1180 m.

Im Illampugebiet wurden sieben entsprechende Gletscher mit einer Gesamtfläche von 26,6 km², einer durchschnittlichen Fläche von 3,8 km², einer durchschnittlichen Neigung von 22,6° und einem durchschnittlichen Höhenunterschied von 1380 m ausgewählt. Es sind dies in der Bezeichnung nach der Karte von Troll die Gletscher „Illampu 7+6“, „Illampu 8“, „Millipaya 6“, „San Francisco 2, 3, 4, 5“. Diese Gletscher sind in Abbildung 1 nach ihrem Stand vom Jahre 1963 wiedergegeben, außerdem in der beiliegenden topographischen Karte 1 : 50 000.

Während im Illampugebiet auf Grund der aufgeführten Parameter eine gute Vergleichsmöglichkeit mit den Ostalpengletschern besteht, sind die Verhältnisse im Bereich des Illimani nicht ganz so günstig. Hier sind die Gletscher etwas kleiner als im Illampugebiet, dafür steiler und zum Teil durch Felsstufen unterbrochen. Ihr Höhenunterschied ist größer, ihre Länge geringer. Die fünf ausgewählten Gletscher sind in Abbildung 2 in der Ausdehnung vom Jahre 1975 nach den Kartierungen von Jordan (1985) dargestellt. Im Bereich der Gletscherzungen wurden die Bilder des Flugs von

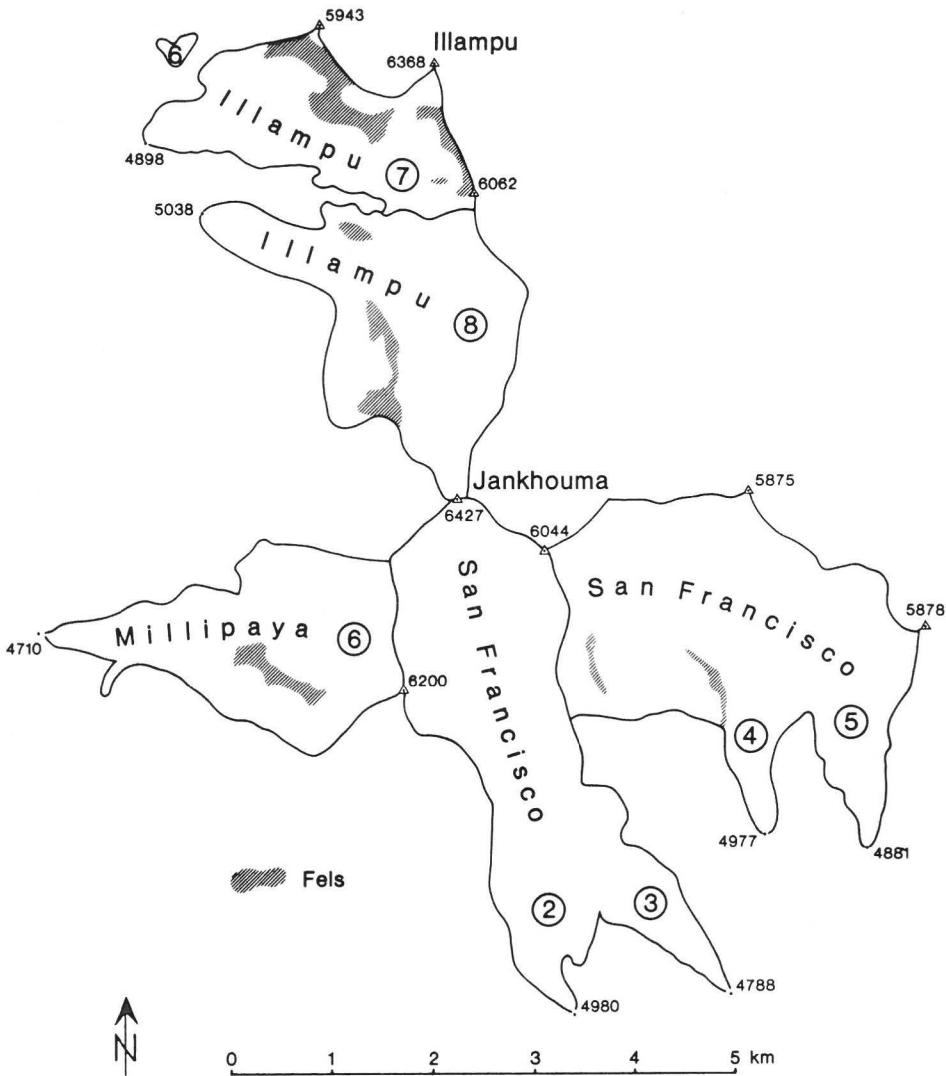


Abb. 1: Untersuchte Gletscher im Bereich des Illampu, Stand 1963

1975 allerdings nochmals ausgewertet, um die oft schwer interpretierbaren Gletschergrenzen für die Jahre 1975 und 1983 einheitlich festzulegen. Die Bezeichnung der Gletscher in Abbildung 2 erfolgte nach Jordan, die Vergleichszahlen zu den Gletschern des Illampugebiets lauten: Gesamte Vergleichsfläche 14,4 km², durchschnittliche Gletschergröße 2,9 km², durchschnittliche Neigung 29,5°, durchschnittlicher Höhenunterschied 1590 m.

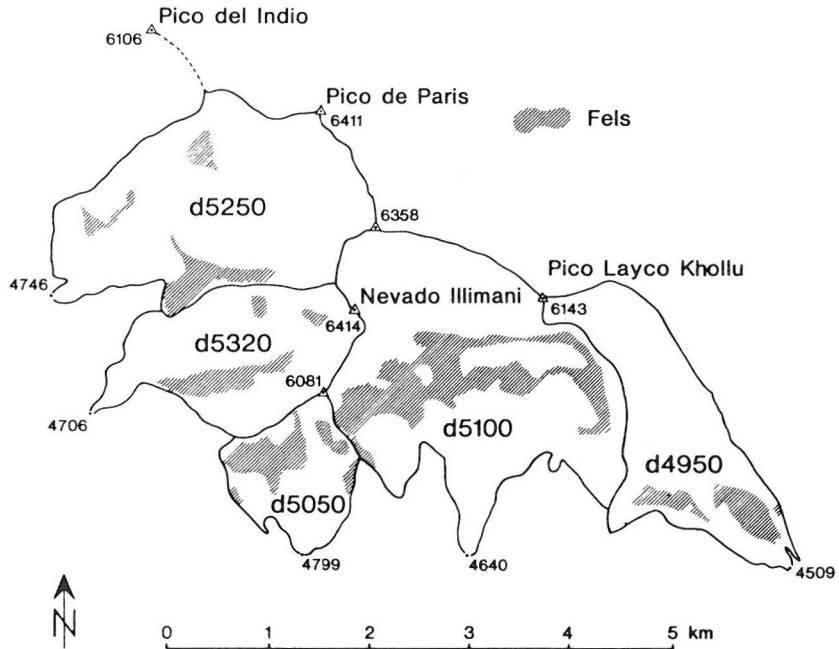


Abb. 2: Untersuchte Gletscher im Bereich des Illimani

2. VERGLEICHSKRITERIEN

Die Veränderungen von Gletschern lassen sich, gemessen an dem zu ihrer Feststellung zu leistenden Aufwand, am umfassendsten durch die jährliche Höhenänderung der Gletscheroberfläche in Abhängigkeit von der Höhe zahlenmäßig ausdrücken. Diese Methode wird zur Untersuchung der bereits erwähnten Ostalpengletscher in zehnjährigem Abstand vom Verfasser u. a. angewandt (Finsterwalder, Rü., und Rentsch 1976, 1980). Ihre Realisierung setzt allerdings genaue Höhenaufnahmen der gesamten Gletscheroberfläche zu den vorgesehenen Zeitpunkten voraus.

Für die Gletscher der Cordillera Real läßt sich das Verfahren allerdings nicht anwenden, da bei der Aufnahme im Jahre 1928 die Firngebiete nur näherungsweise erfaßt worden sind und auch bei der Auswertung des Flugs von 1975 durch Jordan keine kontinuierliche Vermessung der Gletscheroberfläche vorgenommen wurde. Außerdem gewährleisteten die der Luftbildkartierung zugrunde liegenden Paßpunkte nicht die erforderliche Höhengenaugigkeit von etwa einem Meter.

Am besten sind bei den verschiedenen Aufnahmen, insbesondere bei der terrestrisch-photogrammetrischen von 1928 die Gletscherzungen erfaßt. Als Maße und Vergleichswerte für Gletscherschwankungen lassen sich deshalb in diesem Bereich mit ausreichender Genauigkeit folgende Größen bestimmen:

- a) Die *Längenänderung* der Gletscherzungen Δl_z , gemessen als horizontale Entfernung zwischen den jeweiligen Zungenenden. Sie kann aus den vorliegenden Kartierungen leicht entnommen werden.
- b) Die *Höhenänderung des Zungenendes* Δh_z . Diese Größe ergibt sich einfach aus der Differenz der Höhenkoten an den Zungenenden in den verschiedenen Auswertun-

Tabelle 1: Gletscherrückgang in der Cordillera Real 1928—1983

Bezeichnung der Gletscher	Illampugebiet										Illimanigebiet				Bezeichnung der Gletscher
	Fläche 1963 km ²	1922—1963				1963—1975				1975—1983				Fläche 1975 km ²	
		ΔF %	Δl_z m	Δh_z m	Δh_s m	ΔF %	Δl_z m	Δh_z m	Δh_s m	ΔF %	Δl_z m	Δh_z m	Δh_s m		
Illampu 7+6	3,27	-10,7	-350	-147	-58	-0,1	-10	-5	-5	-0,3	-20	-1	-2	2,4	Illimani d 4950
Illampu 8	4,82	-10,1	-160	-8	-78	+0,2	0	+3	+13	-0,2	-80	-40	-1	4,6	Illimani d 5100
Millipaya 6	3,79	-1,0	-160	-58	-13	-1,8	-90	-37	-23	-0,9	-50	-24	-8	2,4	Illimani d 5320
San Francisco 2 } San Francisco 3 }	7,15 }	-2,4	-140 -100	-21 -43	-24	-0,7	-30 -60	-4 -10	-7	-0,3 0,0	0 -10	+3 -11	-2 0	4,0 1,0	Illimani d 5250 Illimani d 5050
San Francisco 4 } San Francisco 5 }	7,60 }	-11,9	-360 -110	-77 -39	-125	-0,4	-80 0	-30 0	-5						
Mittel	3,80	-7,5	-197	-60	-72	-0,6	-39	-12	-6	-0,4	-32	-15	-3	2,9	
Mittel pro Jahr	—	-0,21	-5,6	-1,7	-2,05	-0,05	-3,3	-1,0	-0,50	-0,04	-4,0	-1,9	-0,32	—	
6 Ostalpengletscher		1928—1963				1963—1975				1975—1979					
Mittel	4,05	-19,1	-1270	-292	-100	+5,0	-40	-8	+22	+2,0	+40	+17	+8		
Mittel pro Jahr	—	-0,55	-36,3	-8,3	-2,85	+0,42	-3,3	-0,7	+1,83	+0,50	+10	+4,2	+2,00		

ΔF =relative Flächenänderung, Δl_z =Längenänderung, Δh_z =Höhenänderung der Gletscherzunge, Δh_s =Höhenänderung der Schneegrenze

gen. Sie ist zu einem gewissen Grad korreliert mit der Höhenänderung der klimatischen Schneegrenze.

- c) Die *Flächenänderung* des Gletschers ΔF . Sie findet überwiegend im Zehrgebiet des Gletschers, insbesondere am Zungenende statt. Ihre exakte Bestimmung setzt voraus, daß die Gletschergrenze in den verschiedenen Meßbildern eindeutig oder zumindest gleichsinnig interpretiert wird. Für Vergleichszwecke eignet sich besser als die absolute die relative Flächenänderung ($\Delta F\%$), bezogen auf die Gletscherfläche des älteren Standes.
- d) Aus der Flächenänderung läßt sich auch die *Hebung bzw. Senkung der Schneegrenze* ableiten. Als Schneegrenze soll im folgenden diejenige Höhenlinie verstanden werden, welche den Gletscher im Flächenverhältnis 1 : 2 (Zehrgebiet zu Nährgebiet) teilt (Heuberger 1980). Unter der Annahme, daß der Flächenverlust im Zehrgebiet stattfindet, läßt sich die Höhenänderung der Schneegrenze Δh_s , wie folgt berechnen:

$$\Delta h_s = \frac{2/3 \cdot \Delta F}{l} \cdot \tan \alpha$$

Dabei bedeutet ΔF die Flächenänderung, l die Länge der Höhenlinie im Bereich der Schneegrenze und α die durchschnittliche Neigung des Gletschers im Bereich der Schneegrenze. Die Größen l und $\tan \alpha$ lassen sich bei Vorhandensein eines Höhenlinienplanes genügend genau bestimmen.

IV. ERGEBNISSE

Die Werte nach III. 2. a) bis c) wurden für die ausgewählten Gletscher des Illam-pumassivs für die Zeiträume 1928 — 1963 — 1975, für die Illimanigletscher für den Intervall 1975 bis 1983 bestimmt und in der Tabelle 1 zusammengestellt.

Für die fünf ausgewählten Ostalpengletscher liegen genaue Kartierungen und deren Auswertung zu den Zeitpunkten 1921, 1932, 1950, 1959/60, 1969 und 1979 vor (Finsterwalder, Ri., 1953, Finsterwalder, Rü., und Rentsch 1976, 1980). Aus diesen Kartierungen und den daraus abgeleiteten und zum Teil bereits publizierten Zahlenwerten wurden für die Ostalpengletscher die Längen- und Höhenänderungen der Gletscherzungen, die Flächenänderungen und die Höhenänderungen der Schneegrenze

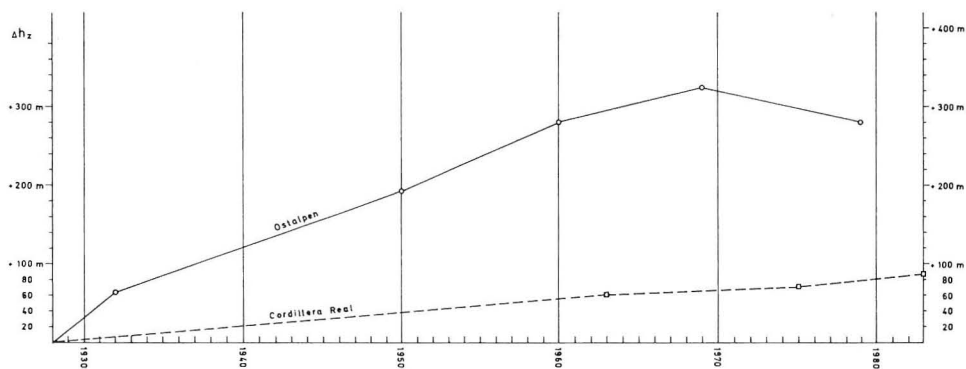


Abb. 3: Höhenänderung der Gletscherzungenenden (Δh_z)

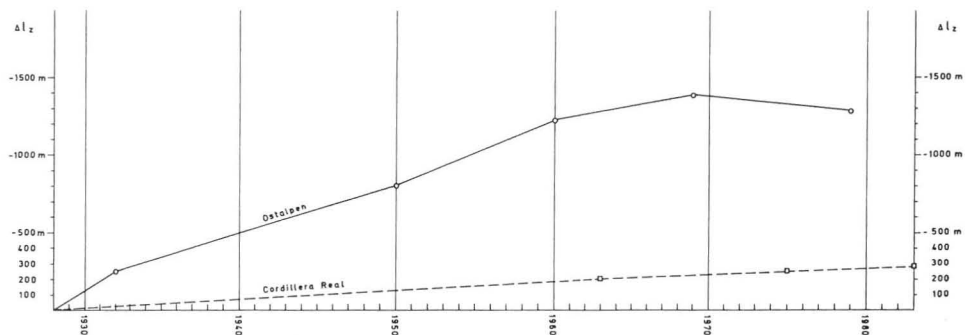


Abb. 4: Längenänderung der Gletscherzungen (ΔL_z)

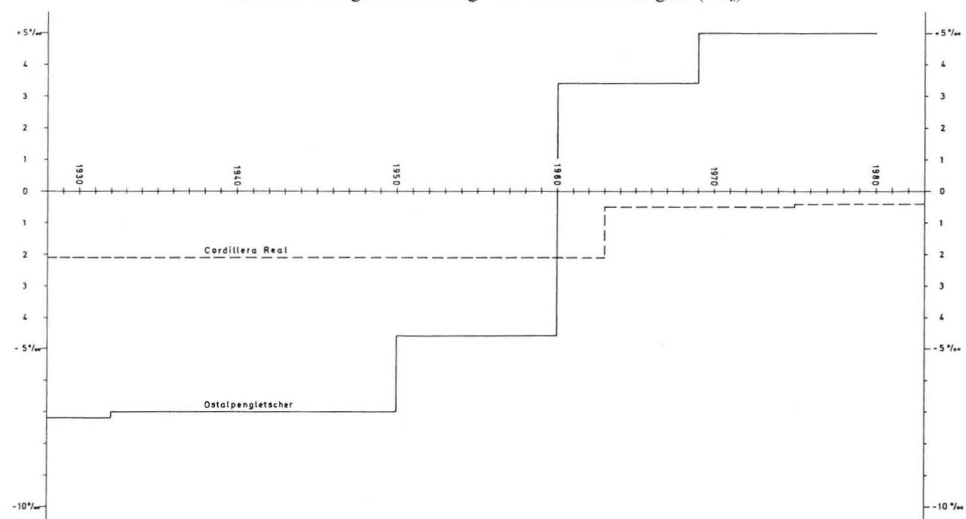


Abb. 5: Jährliche Flächenänderung (ΔF) in Promille der vorhergehenden Fläche

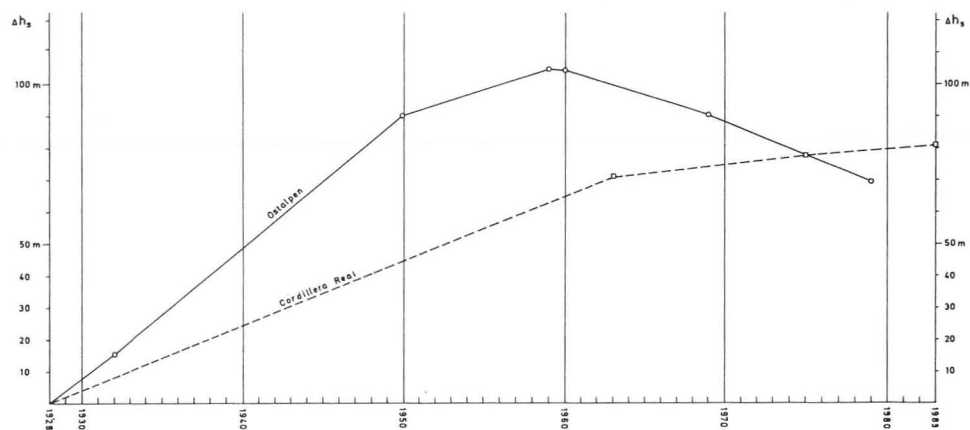


Abb. 6: Höhenänderung der Schneegrenze (Δh_s)

berechnet und zum besseren Vergleich mit den Andengletschern diese Werte auf die Zeitpunkte 1928, 1963 und 1975 interpoliert. Die Mittelwerte für die sechs Ostalpengletscher sind in den Abb. 3 bis 6 in Abhängigkeit von der Zeit graphisch dargestellt und mit den entsprechenden Werten der Andengletscher vergleichbar.

Zusammenfassend lassen sich folgende Aussagen machen:

1. Die gefundenen Werte streuen wie üblich zwischen den einzelnen Gletschern. Dabei spielt die Morphologie des Gletschers, seine Exposition, Höhenlage usw. eine Rolle, zum Teil auch die unterschiedliche Genauigkeit der Vermessung. Der Mittelwert aus sieben Gletschern dürfte jedoch signifikante Aussagen zulassen. Für einen Vergleich eignen sich besonders die auf das Jahr als Zeiteinheit bezogenen Werte (z. B. jährliche Längenänderung, Flächenänderung).
2. Seit dem Beginn der Messung im Jahre 1928 bis zum letzten Beobachtungszeitpunkt im Jahre 1983 ist ein kontinuierlicher Rückgang der Andengletscher festzustellen. Er ist, was die Längenänderung und die Hebung der Zungenenden betrifft, im ganzen Zeitraum etwa gleich. Bei der Flächenänderung und damit auch der Hebung der Schneegrenze ist im Zeitraum von 1928 bis 1963 ein größerer Wert festzustellen als in den beiden Zeiträumen 1963 bis 1975 und 1975 bis 1983. Die Werte für die beiden letzten Perioden sind fast gleich.

Das etwas unterschiedliche Verhalten der Zungenenden und Gletscherflächen kann dadurch erklärt werden, daß die Flächen rascher und stärker auf Massenhaushaltsänderungen reagieren als die Zungenenden.

3. Gegenüber den Ostalpengletschern zeigen die Gletscher der Cordillera Real in ihrem Verhalten recht beträchtliche Unterschiede (siehe Abb. 3, 4, 5, 6).
 - a) Die festgestellten Änderungsbeträge sind wesentlich kleiner als bei den Alpengletschern. Zum Teil sind es nur Bruchteile der bei den Alpengletschern gefundenen Werte. Dies gilt vor allem für die Änderungen der Zungenenden.
 - b) Der bei den Alpengletschern ab etwa 1960 beginnende Vorstoß ist nicht festzustellen. Bei der Flächenänderung besteht zwar eine zeitlich etwa gleichlaufende Verminderung des Gletscherrückgangs (Abbildung 5), bei den Gletscherzungen hingegen zeigt sich keinerlei Trendänderung.

Eine Erklärung des unterschiedlichen Verhaltens der andinen und alpinen Gletscher ist nicht ganz einfach zu geben. Die plausibelste Annahme ist die, daß die Klimaänderungen im Bereich der Cordillera Real im untersuchten Zeitraum tatsächlich anders und geringer ausgefallen sind als im Alpenraum.

Es ist aber auch die Möglichkeit nicht ganz auszuschließen, daß die Andengletscher viel langsamer auf Klimaänderungen reagieren und kleinere klimatische Schwankungen sich im Gletscherverhalten, besonders was die Zungenlage betrifft, nicht mehr auswirken. Solche Fälle gibt es auch bei einzelnen Alpengletschern (z. B. Hintereisferner). Ohne Haushaltsuntersuchungen oder wiederholte genaue photogrammetrische Aufnahmen der Gletscheroberfläche läßt sich hierüber allerdings keine eindeutige Aussage machen.

LITERATUR

- Finsterwalder, Ri., 1953: Die zahlenmäßige Entfernung des Gletscherrückgangs an Ostalpengletschern. Zeitschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol., Bd. II, Heft 2 (1953), 189—239.
- Finsterwalder, Rü., und H. Rentsch, 1976: Die Erfassung der Höhenänderung von Ostalpengletschern in den Zeiträumen von 1950 — 1959 — 1969. Zeitschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol., Bd. XII, Heft 1 (1976), 29—35.

- Finsterwalder, R., und H. Rentsch, 1980: Zur Höhenänderung von Ostalpengletschern im Zeitraum 1969 bis 1979. Zeitschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol., Bd. XVI, Heft 1 (1980), 111—115.
- Finsterwalder, R., 1988: Die Karte „Cordillera Real Nord (Illampu) 1 : 50 000“ — ein Beitrag zur kartographischen Darstellung der bolivianischen Anden. Erdkunde, Bd. 42 (1988) (im Druck).
- Heuberger, H., 1980: Die Schneegrenze als Leithorizont in der Geomorphologie. Höhengrenzen in Hochgebirgen. Arbeiten a. d. Geogr. Inst. d. Univ. d. Saarlands, Bd. 29, Saarbrücken, 35—48.
- Jordan, E., 1985: Die Gletscher der bolivianischen Anden. Habilitationsschrift Universität Hannover (im Druck).
- Jordan, E., 1986: Die Aerotriangulation in der Ostkordillere Boliviens und ihre Inwertsetzung für physisch-geographische Belange. Jahrb. d. Geogr. Ges. zu Hannover für 1985, 163—197.
- Troll, C. und R. Finsterwalder, 1935: Die Karten der Cordillera Real und des Talkessels von La Paz (Bolivien). Peterm. Geogr. Mitt. 1935, 393—455, mit 2 Karten.

Manuskript eingelangt am 15. Juni 1987

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr.-Ing. Rüdiger Finsterwalder
Lehrstuhl für Kartographie und Reproduktionstechnik
Technische Universität München
Arcisstraße 21
D-8000 München 2