

## DER LEWIS-GLETSCHER, MOUNT KENYA BEGLEITWORTE ZUR GLETSCHERKARTE 1983

Von G. PATZELT, Innsbruck; E. SCHNEIDER, Lech; G. MOSER, Innsbruck

Mit 7 Abbildungen und 1 Kartenbeilage

### INHALT

Zusammenfassung, Summary . . . . .	177
1. Vorbemerkungen . . . . .	178
2. Die Karte 1983 . . . . .	181
2.1 Aufnahme und Auswertung . . . . .	181
2.2 Kartographische Bearbeitung . . . . .	183
3. Kartometrische Auswertung . . . . .	184
3.1 Die Kartengrundlagen . . . . .	184
3.2 Messung und Berechnung . . . . .	187
3.3 Ergebnisse und Vergleiche . . . . .	187
4. Synthese und Diskussion . . . . .	192
Literatur . . . . .	195

### ZUSAMMENFASSUNG

Der Lewis-Gletscher ( $0^{\circ} 9' S$ ) ist im Februar 1983 terrestrisch-photogrammetrisch neu aufgenommen und ausgemessen worden. Daraus wurde die beiliegende topographische Gletscherkarte im Maßstab 1:5000 hergestellt. Der gleichzeitig neu ausgewertete Schichtlinienplan der Aufnahme von 1963 ergab eine verbesserte Grundlage zur Berechnung des Flächen- und Volumensverlustes für den Zeitraum 1963 bis 1983, in dem der Lewis-Gletscher 22 % der Fläche und 50 % des Volumens verloren hat.

Insgesamt konnten anhand von Karten und Moränenwällen zehn verschiedene Gletscherstände erfaßt werden. Die Veränderungen der Gletscherfläche und des Volumens lassen sich seit ca. 1890 zeitlich festlegen. Zwei ältere, wahrscheinlich neuzeitliche Gletscherstände sind nicht datiert. Geringem Volumensverlust im Zeitraum 1890 bis 1920 folgte starker, bis heute ununterbrochener Gletscherschwund. Der Lewis-Gletscher entspricht damit dem Verhalten aller näher untersuchten Gletscher der äquatorialen Breiten. Im Vergleich mit den Gletschern der Alpen zeigte sich eine gleichlaufende Entwicklung bis ca. 1950. Seither ist sie gegensätzlich: während in den Alpen in den letzten zwei Jahrzehnten Massenzunahme und Gletscherwachstum zu verzeichnen waren, hatte der Lewis-Gletscher in den Jahren 1974 bis 1983 den stärksten Volumensverlust der Meßreihe.

### THE MAP OF LEWIS GLACIER, MOUNT KENYA, 1983

#### SUMMARY

In February of 1983 a new terrestrial photogrammetric survey of Lewis Glacier ( $0^{\circ} 9' S$ ) has been made, from which the present topographic map has been produced in a scale of 1:5000. Simultaneously a survey of 1963 was evaluated giving a basis for computations of area and

volume changes over the 20 year period: Lewis Glacier has lost 22 % of its area and 50 % of its volume.

Based on maps and field observations of moraines 10 different stages were identified. Changes of area and volume can be determined for the periods after 1890, two older, undated stages are presumed to be of Little Ice Age-origin. Moderate losses from 1890 to 1920 were followed by strong, uninterrupted retreat up to present.

In this respect Lewis Glacier behaves as all other equatorial glaciers that were closer examined. Compared to alpine glaciers the development was similar up to 1950. In the following years, however, the glaciers of the Alps gained mass and advanced while Lewis Glacier experienced its strongest losses from 1974 to 1983.

## 1. VORBEMERKUNGEN

In der Monographie über die Gletscher im äquatorialen Ostafrika (Hastenrath 1984) ist der Lewis-Gletscher umfassend behandelt. Dabei sind neben den älteren Arbeiten vor allem die umfangreichen Untersuchungsergebnisse zusammengestellt, die unter der Leitung von Hastenrath in den Jahren zwischen 1975 und 1982 erarbeitet wurden. Die Grundlage hierfür bilden Schichtlinienpläne des Lewis-Gletschers, die aus luftphotogrammetrischen Aufnahmen der Jahre 1974, 1978 und 1982 erstellt wurden (Caukwell and Hastenrath 1977, Hastenrath and Caukwell 1979, Hastenrath 1984). Zusammen mit den terrestrischen Aufnahmen der Jahre 1934 (Troll und Wien 1950), 1958 (Charnley 1959, Plan im Maßstab 1:2500 nicht publiziert) und 1963 (Schneider 1964) sind der Lewis-Gletscher und seine Veränderungen so gut dokumentiert, wie das selbst für Alpengletscher selten ist. Die Neuaufnahme im Jahre 1983 mag daher als unnötige Fleißaufgabe erscheinen und bedarf einer Erklärung.

E. Schneider hat sich, als er Anfang Februar 1962 mit bergsteigerischen Zielen am Mount Kenya war, am Lewis-Gletscher an die Arbeit von Troll und Wien (1950) erinnert, die diesen im Mai 1934 erstmals photogrammetrisch aufgenommen hatten. Der augenfällige starke Gletscherrückgang regte zu einer Neuvermessung an, die als Grundlage für eine quantitative Erfassung der Volumenänderung dienen sollte. Sie wurde vom 19. bis 25. 1. 1963 durchgeführt und gleich auf alle Gletscher des Gebirgsstockes ausgedehnt. Daraus entstand die topographische Karte des Mount Kenya im Maßstab 1:5000, die der Arbeit von Löffler (1968) beigelegt ist. Schon vorher war die auf den Maßstab 1:10.000 verkleinerte Ausgabe dieser Karte erschienen. Sie ist inhaltsgleich, enthält jedoch, weil sie als Grundlage einer glaziologischen Arbeit dienen sollte, außer drei Gipfelbezeichnungen nur die zwölf Gletschernamen. Das Begleitwort dazu (Schneider 1964) gibt nähere Details der Kartenentstehung.

Vom Lewis-Gletscher hat E. Schneider aus der Aufnahme 1963 als Sonderauswertung einen Schichtlinienplan im Maßstab 1:2000 mit 10-m-Höhenlinien ausgemessen. Der Plan 1:2500 der I.G.Y.-Expedition des Jahres 1958, von F. E. Charnley freundlich zur Verfügung gestellt, wurde mit Hilfe identer Paßpunkte auf 1:2000 vergrößert, ebenso der Schichtlinienplan von Troll und Wien (1950) aus dem Jahre 1934. Dabei ergaben sich allerdings wegen der unterschiedlichen Vermessungsgrundlagen größere Einpaßprobleme.

Diese drei Pläne waren im August 1963 fertig ausgewertet und umgezeichnet. Die Berechnung des Volumenverlustes zwischen den Aufnahmejahren sollte am Institut für Photogrammetrie in München erfolgen. Wegen des Todes von Richard Finsterwalder (1963) und Carl Troll (1975) sowie anderen weniger verständlichen Gründen blieb

dieses Material jedoch nahezu 20 Jahre lang liegen und zuletzt verschollen. Entsprechende Nachforschungen erbrachten Ende 1982 durch Rüdiger Finsterwalder, München, den Hinweis auf ungeklärte systematische Fehler im Plan von 1963. E. Schneider hat daraufhin umgehend eine neue Auswertung der Original-Photoplatten von 1963 vorgenommen und tatsächlich Korrekturen anbringen können. Der Grund für diese Schwierigkeiten lag einerseits in der starken Neuschneebedeckung und strukturlosen Gletscheroberfläche zum Aufnahmezeitpunkt 1963. Andererseits waren beim Einpassen des Planes von 1934 Fehler desselben in die Auswertung von 1963 übernommen worden, um überhaupt eine Deckung herstellen zu können. Der unabhängig und sorgfältig neu ausgemessene Plan 1963 erbrachte daher eine erhebliche Verbesserung gegenüber der ersten Auswertung. Restunsicherheiten blieben bestehen, besonders bei



Abb. 1: Der Lewis-Gletscher im August 1963

Foto: E. Schneider



Abb. 2: Das Gletscherende des Lewis-Gletschers am 26. Februar 1983

Foto: Patzelt

der Abgrenzung des Gletscherrandes zum schneebedeckten Schuttgelände im oberen Bereich des Gletschers. Es war zu erwarten, daß in dieser Frage noch einige Punkte geklärt werden können, wenn die Aufnahme wiederholt und das Gelände mit Photoabzügen von 1963 nochmals begangen würde.

Die Literatur sowie Bildberichte von Bergsteigern ließen zudem den überaus starken Gletscherrückgang seit 1963 erkennen (vgl. Abb. 1 und 2), auch gegenüber den inzwischen erschienenen Schichtlinienplänen von 1974 und 1978. Eine Wiederholung der photogrammetrischen Vermessung und eine neue Karte sollte es möglich machen, den Massenverlust des Gletschers nun auch für den 20jährigen Zeitraum 1963 bis 1983 quantitativ gut zu erfassen. Sie wurde, von E. Schneider mit Nachdruck angeregt, kurzfristig vereinbart und durchgeführt.

## 2. DIE KARTE 1983 (KARTENBEILAGE)

### 2.1 AUFNAHME UND AUSWERTUNG

Die terrestrisch-photogrammetrischen Feldarbeiten für die Karte wurden am 25. und 26. Februar 1983 mit einem TAF-Phototheodoliten von G. Moser durchgeführt. G. Patzelt war dabei als Lattenträger behilflich. Der Gletscher wurde von vier Standlinien, jeweils rechts und links verschwenkt, mit zehn Bildpaaren 100 %ig flächendeckend aufgenommen. Die Triangulation erfolgte zu den z. T. gut signalisierten Fixpunkten des I.G.Y.-Netzes, an das alle Vermessungsarbeiten seit 1958 angeschlossen haben. Die entsprechenden Koordinaten sind im Anhang zusammengestellt (Tabelle 1) und die Standlinien für eventuelle Wiederholungsmessungen in der Karte eingetragen. Die Linien 1 (Pt. Lenana) und 3 (Moräne oberhalb Lewis Tarn) liegen nahe den Aufnahmestandorten von 1963. Zusammen mit der Linie 2 am Pt. Melhuish kann der Gletscher ohne sichttoten Raum aufgenommen werden, Linie 4 (oberhalb S3) wäre dazu nicht nötig gewesen.

Tabelle 1: Koordinatenverzeichnis, Lewis-Gletscher, Mount Kenya

Punkt	+y	+x	n (Boden)	bezogen auf
Vermessungspunkte der I.G.Y.-Expedition 1957/58:				
Shipton	2069,60	664,30	4476,00	Stm.
Little John	2577,70	1306,10	4628,40	Stm.
Pt. Melhuish	2742,20	1630,60	4876,50	Stm.
S3	2745,50	1206,30	4600,60	Stm.
L3	2884,00	1791,80	4792,70	Stm.
Tilman	3116,50	521,30	4800,30	Stm.
Pt. Thomson	3159,70	2031,00	4955,10	Stm.
Top Hut	3177,50	1361,40	4809,40	Stange
L2	3210,60	1450,40	4797,20	Farbkreuz
L1	3373,90	1508,00	4823,10	Stm.
Pt. Lenana	3622,10	1847,90	4985,00	Kreuz
Zusätzlich gemessene Paßpunkte:				
Midget Peak	2310,00	1479,00	4699,00	Südostgipfel
Block, Spitze	2353,00	1108,00	4483,40	im unteren Gletscherfeld, 1934
John	2481,00	1470,00	4875,50	Hauptgipfel

Punkt	+ y	+ x	n (Boden)	bezogen auf	
Zusätzlich gemessene Paßpunkte:					
Batian	2626,60	2165,80	5199,20	Gipfelblock oben	
Nelion	2748,10	2116,85	5188,20	Stange	
Gratkopf West	2749,00	833,00	4671,60	Kamm Shipton-Tilman	
Gratkopf Ost	2783,00	826,00	4689,50	Kamm Shipton-Tilman	
Block	2953,40	1257,60	4623,10	oben, am unt. Gletscherrand 83	
Block	2968,00	1113,00	4654,00	oben	
Block	2989,50	1150,40	4657,00	oben	
Tilman Nord 1	3099,00	683,00	4789,00	Stm.	
Thomsons Flake	3038,90	2029,90	4947,30	Stm.	
Tilman Nord 2	3140,50	866,50	4742,00	Gratschulter südl. Scharte	
3 Sisters NW	3145,70	1247,00	4803,00	Hilfspunkte der	
3 Sisters SO	3219,00	1060,00	4782,00	Vermessung 1934	
Scharte	3149,00	923,00	4724,00	im Tilman Nordrücken	
Thomson	3166,40	2037,30	4955,50	Stm.	
3 Sisters NO	3310,00	1265,00	4778,00	Felszacken, ob. Hobley Valley	
Gratkopf SW	3487,00	1646,00	4894,00	Lenana Grat	
Gratkopf NW	3569,00	1954,00	4960,00	Lenana NW Grat	
Lewis-Tarn	—	—	4575,40	Seespiegel, 1963 und 1983 gleiche Höhe	
Lewis-Gletscher	—	—	4592,60	Gletscherende, Ausfluß, 1983	
Curling Pond	—	—	4782,00	Oberfläche, Eis, 1963	
Curling Pond	—	—	4778,60	Oberfläche, Wasser, 1983	
Curling Pond	—	—	4779,70	Scharte 1983	
Standlinien	+ y	+ x	h (TAF)	Basis	Verschwenkung
Standlinien 1934:					
1934/I	2809,00	813,00	4695,00	81,00	
1934/II	2888,50	828,00	4713,00		
Standlinien 1963:					
E 63,2/I	1259,30	1352,40	4507,70	116,38	30 li/20 re
E 63,2/II	1273,80	1236,90			
H 63,3/I	2173,90	721,35	4479,40	58,60	30 li/20 re
E 63,3/II	2231,50	731,90	4479,60		
E 63,5/I	2827,10	987,90	4646,60	56,80	16 li/0/34 re
E 63,5/II	2882,30	1001,20	4658,40		
E 63,6/I	3107,20	748,20	4765,50	55,80	35 li
H 63,4/I	3206,00	1405,20	4798,00	13,82	30 li
E 63,7/I	3622,10	1847,90	4986,40	56,50	10 li/40 re
Standlinien 1983:					
LG 83,1/I	3612,70	1837,70	4982,80	35,90	25 li/25 re
LG 83,2/I	2770,40	1658,70	4863,30	38,46	25 li/25 re
LG 83,3/I	2852,90	987,90	4654,00	35,01	20 li/29 re
LG 83,3/II	2886,70	996,80	4660,20		
LG 83,4/I	2774,60	1292,80	4611,40	20,60	11 li/39 re
LG 83,4/II	2764,60	1274,50	4614,20		

E. Schneider

Die Meßarbeiten waren begünstigt durch ausgezeichnete Wetterbedingungen, wobei auch die Nachmittage nebfrei blieben. Der Gletscher war neuschneefrei und bis auf kleine Altschneereste oberhalb 4850 m Höhe nahezu ganz ausgeapert. Die strukturreiche Gletscherfläche bot ideale Voraussetzungen für Aufnahme und Auswertung. Bei den vorgefundenen Bedingungen konnten die bekannten Vorzüge der TAF-Ausrüstung — leicht, schnell und billig — voll genutzt werden.

Die Auswertung der Meßbilder besorgte E. Schneider am Stereoautographen des Österreichischen Alpenvereines in Innsbruck im Maßstab 1:2500. Sie war im März 1983 abgeschlossen. Außerdem wurden die Aufnahmen von 1963 im gleichen Maßstab noch ein drittes Mal ausgemessen, wobei mit großer Mühe und ungewöhnlichem Zeitaufwand noch weitere Verbesserungen durchgeführt werden konnten. Für die kartometrische Auswertung lagen damit die bestmöglichen Grundlagen vor.

## 2.2 KARTOGRAPHISCHE BEARBEITUNG

Der kartographische Aufwand, den man für eine Gletscherkarte betreiben will, richtet sich nach der Fragestellung. Viele glaziologische Informationen und Parameter lassen sich schon aus einfarbigen Schichtlinienplänen ermitteln. Eine topographische Gletscherkarte dagegen, die auch die nähere Umgebung des Gletschers mit erfaßt, erfordert eine Darstellung in mindestens zwei, besser in mehreren Farben und eine entsprechend aufwendige kartographische Bearbeitung. In der vorliegenden Karte sollte nicht nur der Lewis-Gletscher selbst, sondern auch die Felsumrahmung und das Vorfeld mit den kennzeichnenden Formen entsprechend gestaltet werden, um einen Gesamteindruck von dieser Gletscherlandschaft zu geben.

G. Moser hat die kartographische Bearbeitung im Auswertemaßstab 1:2500 durchgeführt. Die Verkleinerung auf den Maßstab 1:5000 ergab ein handlicheres Format, ohne Informationsverlust. Auf folgende Details wurde besonders geachtet: Die Spaltensysteme des Gletschers sind lagerichtig eingetragen und geben ein Bild von den Bewegungsverhältnissen. So zeigt z. B. der Eisabbruch, der im obersten Firngebiet bogenförmig südwestwärts gegen die große Spaltenzone führt, den Teilstrom deutlich an, der zum Curling Pond abfließt. Die bogenförmigen Spalten am Zungenende weisen darauf hin, daß hier das Eis weiter einbricht und zurückschmelzen wird. Schuttbedecktes Eis reicht unter dem Pt. Thomson noch bis an den Wandfuß.

Das Felsgelände ist durch Felszeichnung und grauen Flächenton vom hellen Schutt abgehoben, wie es im Tonwert auch der Natur entspricht. Die schroffen Felsformen der steilen Wände und Grate sind durch die Betonung der Kanten und mit dichter Strichsetzung von den gletschergeschliffenen, gerundeten Felsflächen im Gletschervorfeld unterschieden. Das Rundbuckelgelände zwischen Lewis Tarn und Gletscherende und die Schlißflächen zwischen rechtem Eisrand und dem Wandbereich des Pt. Melhuish bis gegen L3 mit strukturgerechter, zart-zurückhaltender Felszeichnung zeigen den Gegensatz zur schroffen Kammumrahmung besonders deutlich (vergleiche dazu Abb. 2).

Im Schuttgelände sind die Moränenwälle am Verlauf der Höhenlinien zwar gut erkennbar, durch eine entsprechende Punktführung der SchuttSignatur aber noch hervorgehoben. Eine Kammsignatur betont den Wallfirst und die steilere Moräneninnen-seite.

Um das topographische Bild nicht zu stören, sind Eintragungen thematischen Inhaltes auf die Eisrandlagen von fünf ehemaligen Gletscherständen beschränkt worden.

### 3. KARTOMETRISCHE AUSWERTUNG

Das vorhandene Kartenmaterial läßt die höhenstufenweise Berechnung der Flächen und Volumina für zehn verschiedene Gletscherstände und deren Veränderungen in den dazwischenliegenden Zeiträumen zu. Die dafür verwendeten Schichtlinienpläne sind jedoch nicht gleichwertig genau, somit auch nicht die Meßergebnisse. Für eine qualitative Bewertung derselben sind im folgenden die Auswertgrundlagen einzeln besprochen. Eine quantitative Fehleranalyse wurde nicht vorgenommen, weil dazu die vorhandenen Informationen nicht ausreichen.

#### 3.1 KARTENGRUNDLAGEN UND GLETSCHERSTÄNDE

Allen Gletscherkarten von 1958 bis 1983 liegt das trigonometrische Fixpunktenetz der I. G. Y.-Mt. Kenya-Expedition von 1957/58 zugrunde (Tabelle 1). An diesen identen Punkten waren die Pläne durchwegs gut zur Deckung zu bringen. Unsicherheiten ergaben sich in der Isohypsenführung und Eisrandabgrenzung durch unterschiedliche Schneelagen zum Aufnahmezeitpunkt und im Bereich des schuttbedeckten Eises unterhalb des Pt. Thomson. Auch die Abgrenzung zum Gregory-Gletscher ist in dem flachen Sattel nicht eindeutig definiert. Auf der Kartenbeilage ist der Gletscherstand 1983 wegen der günstigen Aufnahmebedingungen in Isohypsenführung und Eisrandabgrenzung in hohem Maße zuverlässig erfaßt. Der nicht sichtbare obere Eisrand des schuttbedeckten Gletscherteiles unterhalb des Pt. Thomson ist anhand kleiner Eisabrüche und des durchfeuchteten Schuttes festgelegt. Die tatsächliche Eisausdehnung in diesem Bereich ist daher eher zu gering als zu groß abgegrenzt. Die Trennlinie zum Gregory-Gletscher wurde vom P. 4868 in einem nach SW ausholenden Bogen gegen P. 4960 gezogen und auf alle älteren Gletscherstände unverändert übertragen. Der Unsicherheitsbereich, der hier besteht, mißt 0,35 ha (= 1,2 % der Gletscherfläche 1983). Eine gute Kontrolle ermöglicht der Schichtlinienplan 1982 (Hastenrath 1984), der, obwohl luftphotogrammetrisch aufgenommen, im Felsgelände gut übereinstimmt. Die Eisoberfläche zeigt sich 1983 gegenüber 1982 durchwegs eingesunken, was der beobachteten starken Abschmelzung im März 1983 entsprechen würde. Gemessen wurde die Veränderung von 1982 auf 1983 nicht.

In den Schichtlinienplänen 1982, 1978 (Hastenrath and Caukwell 1979) und 1974 (Caukwell and Hastenrath 1977) ist der schuttbedeckte Bereich unterhalb Pt. Thomson nicht zum Gletscher gerechnet, wodurch die Gletscherflächen um mindestens 1,5 ha (5,3 % der Gletscherfläche 1983) zu klein erscheinen. Für die vorliegende Auswertung wurden die Pläne 1978 und 1974 entsprechend ergänzt. Damit lassen sich die Abweichungen zu den Flächenangaben bei Hastenrath (1984: 175) zum Großteil erklären.

Der Gletscherstand 1963 wurde wie erwähnt neu ausgewertet, womit eine Verbesserung erreicht werden konnte. Die Änderungen gegenüber der ersten Auswertung betreffen sowohl Gesamtfläche (alt 38,0 ha, neu 36,6 ha) als auch die Isohypsenführung und damit die Flächen einzelner Höhenstufen. Im Firngebiet wurde mit punktwiser Messung von gut sichtbaren Strukturen und Spaltenrändern und entsprechender Interpolation der durch Neuschnee bedingte Unsicherheitsbereich der Höhenlinien stark eingeschränkt. Die Gletscheroberfläche bleibt jedoch weniger genau festgelegt als 1983.

Der Gletscherstand 1958 ist während der I. G. Y.-Mt. Kenya-Expedition durch eine tachymetrische Aufnahme vermessen worden (Charnley 1959: 486). Der nicht veröffentlichte Schichtlinienplan im Maßstab 1 : 2500 wurde von F. E. Charnley, Nairobi,

zur Verfügung gestellt. Die gestreckte Linienführung der Isohypsen zeigt eine großzügige Interpolation zwischen den offensichtlich nicht allzu dicht gesetzten tachymetrischen Meßpunkten an, im Bereich des Curling Pond widerspricht sie der tatsächlichen Topographie. Der Plan 1958 war jedoch an den Fixpunkten gut in den Plan 1983 einzupassen. Eine systematische Abweichung war nicht zu erkennen. Am Eisrand unter dem Pt. Thomson und zum Gregory-Gletscher mußten größere Korrekturen vorgenommen werden.

Für den Gletscherstand 1934 stand das Auswertoriginal der Karte von Troll und Wien (1950) zur Verfügung. Die Vermessung war zwar photogrammetrisch erfolgt, doch ist der Plan an den Felshöhenlinien mit der Karte 1983 nicht zur Deckung zu bringen. Die Abweichungen betragen bis zu 40 Höhenmeter. Für die kartometrische Auswertung wurde daher nur der Eisrand und nicht der Höhenlinienverlauf übernommen. Die Höhenlinien wurden nach der Konstruktion eines plausibleren Längsprofils diesem angepaßt. Die Meßergebnisse aus der solcherart rekonstruierten Gletscheroberfläche 1934 sind daher nur Näherungswerte.

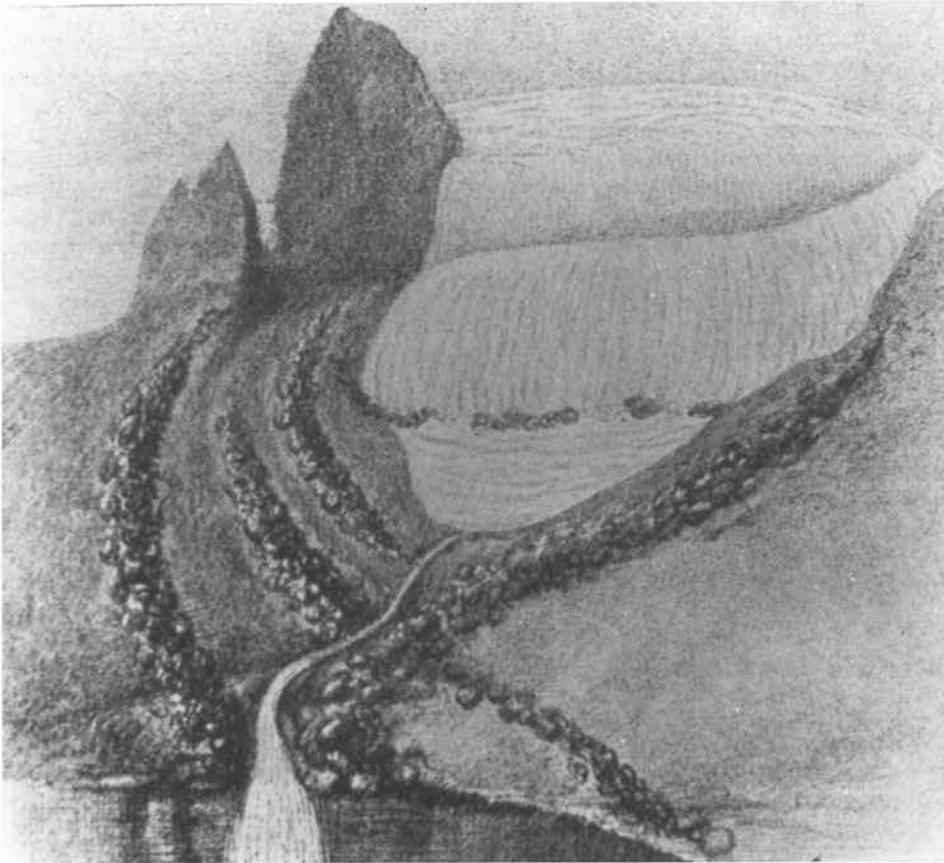


Abb. 3: Zungenende des Lewis-Gletschers im Jahre 1893 nach Gregory (1894, fig. 4)

Die Gletscherstände St. 1, 2 und 3 der Karte 1983 sind im Zungenbereich durch Wallmoränen, im Nährgebiet durch die helle Farbe der unverwitterten Felsflächen (Abb. 2) gut markiert. Unter Annahme einer entsprechenden Aufwölbung wurde für diese Stände ein Längsprofil und mit dessen Hilfe die Gletscheroberfläche rekonstruiert. Die Genauigkeit ist etwa gleichwertig mit der Rekonstruktion von 1934. Durch Minimum-Maximum-Annahmen wurde der Unsicherheitsbereich abgegrenzt. Die festgelegten Näherungswerte für die Flächen- und Volumsverluste stellen sicher eine gute Größenordnung dar.

Von den drei in der Karte bezeichneten Moränenständen läßt sich St. 3 zeitlich ungefähr festlegen. Das älteste Bilddokument vom Lewis-Gletscher (Gregory 1894, fig. 4) ist eine einfache Ansichtsskizze des Zungenendes aus dem Jahre 1893 (Abb. 3). Darin sind unter dem Felsturm des Little John (P. 4628) drei bogenförmige herabziehende Moränenwälle gezeichnet. Eine vierte Moräne knapp innerhalb davon liegt rechts am Eisrand und quert die Zunge im untersten Teil. Gregory (1894: 521) schreibt dazu: "The uppermost of these (moraines) has been burst through by the glacier, and therefore it has recently advanced." Er hält den Vorstoß allerdings für gering und meint, daß der Gletscher für einige Zeit mit geringen Schwankungen weitgehend stationär geblieben wäre.

Die vier von Gregory gezeichneten Moränen sind im Gelände erhalten und in der Karte 1983 eingetragen. Wenn der innerste Wall im Jahre 1893 abgelagert wurde, dann ist St. 3 älter, aber vermutlich nur um wenige Jahre. Mit St. 3 ist jedenfalls die Gletscherausdehnung der Jahre um 1890 gut erfaßt, auch wenn sie nicht auf das Jahr genau festgelegt werden kann.

Aus dem Bericht und der Kartenskizze der Expedition des Jahres 1899 von Mackinder (1900), auch aus den dabei von Hausburg angefertigten ersten Photographien, ist das Gletscherende nicht genau zu lokalisieren. Ähnliche Ausdehnung wie um 1893 ist anzunehmen. Um die Festlegung der Eisrandlage des Jahres 1899 bei Hastenrath (1984, Map 4.3: 8) zu rechtfertigen, müßten noch zusätzliche Informationen vorgelegen haben.

100 Meter taleinwärts von der Endmoräne von St. 3 quert ein Schuttwall den Gletscherbach, der sich orogr. links bis hinauf zur großen Seitenmoräne fortsetzt. Eine Photographie vom Februar 1926 (Dutton 1929, abgebildet auch bei Hastenrath 1984: 121) zeigt das an Felsblöcken gut lokalisierbare Gletscherende 50 bis 60 m innerhalb dieses Schuttwalles. Dieser kann daher in den Jahren um 1920 im Zuge eines kleinen Gletschervorstoßes oder Haltes abgelagert worden sein. Am Lewis-Gletscher zeichnet sich somit zwischen 1890 und 1920 eine mehrjährige Periode kleiner Gletschervorstöße ab, die dem Verhalten vieler Alpengletscher im gleichen Zeitraum sehr gut entspricht.

Für die beiden Moränenstände St. 1 und St. 2 gibt es keine zeitlichen Anhaltspunkte. Der frische und unverwitterte Moränenschutt ist ein Hinweis auf geringes Alter. Wollte man von St. 3 ausgehend eine weitere zeitgleiche Entwicklung wie in den Alpen annehmen, könnte St. 2 in der Mitte und St. 1 in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts oder in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts entstanden sein. Der Nachweis dafür ließe sich vielleicht durch eine detaillierte Vegetationskartierung erbringen. Eine Datierung dieser Gletscherhochstände wäre wichtig für die Beurteilung von Gletscher- und Klimaschwankungen im weltweiten Vergleich.

## 3.2 MESSUNG UND BERECHNUNG

Alle Schichtlinienpläne wurden einheitlich auf den Auswertemaßstab 1:2500 gebracht und auf einer maßstabhältigen Folie hochgezeichnet. Die Flächenmessungen erfolgten mit einem Ushikata Digital-Planimeter, Type Digi Plan 220 L, dessen Bedienungskomfort die Meßarbeit erleichtert und beschleunigt. Kontrollmessungen mit einem Scheibenplanimeter der Fa. Ott, Type 144 L, erbrachten sehr gut übereinstimmende Ergebnisse. Alle Messungen wurden mehrfach wiederholt und überprüft. Die Abweichungen verschiedener Messungen der Gesamtfläche eines Gletscherstandes lagen durchwegs unter 1 %. Darin sind die Fehlerquellen von Gerät, Messung und Papierverzug enthalten. Dieser Fehler ist geringer als die Unsicherheit, die bei der jeweiligen Abgrenzung des Eisrandes bestehen blieb.

Die Volumenänderungen wurden in 50 m-Höhenstufen nach den Methoden von R. Finsterwalder (1953) und W. Hofmann (1958) bestimmt. Nach Finsterwalder wird der zu berechnende Eiskörper einem Zylinder, nach Hofmann einem Kegelstumpf angenähert. Die Kegelstumpfnäherung entspricht vor allem im Zungenendbereich besser der geometrischen Form des Eiskörpers und ist daher im Prinzip vorzuziehen. Doch sind die Differenzen gering: in acht verglichenen Zeitintervallen waren die Volumsverluste des Lewis-Gletschers nach Hofmann zwischen 1,4 und 2,9 % geringer als nach Finsterwalder. Diese Unterschiede sind sicher kleiner als die Fehler, die bei der Rekonstruktion der Gletscheroberfläche entstehen. In der vorliegenden Arbeit sind ausschließlich die nach der Methode Hofmann berechneten Volumina angegeben.

Die mittlere jährliche Höhenänderung ( $dh_m$ ) ist als Parameter des Massenhaushaltes eine wichtige Kenngröße. Sie wurde berechnet nach der Formel

$$dh_m = \frac{dV}{(F_1 + F_2)} \cdot \frac{1}{n}$$

Darin ist  $dV$  die Volumenänderung des ganzen Gletschers im betreffenden Zeitraum,  $F_1$ ,  $F_2$  die Gesamtfläche des Gletschers zu Beginn bzw. am Ende des Zeitraumes und  $n$  die Anzahl der Jahre. Für  $dV$  wurden die nach der Methode Hofmann ermittelten Werte eingesetzt.

Die mittlere Höhenänderung kann für längere Zeiträume einfach mit der Dichte von Eis in Wasserwert umgerechnet werden, weil dann die geringere Dichte der obersten Firnschichten nicht mehr sehr ins Gewicht fällt. Für kürzere Zeitabschnitte muß die geringere Firndichte berücksichtigt werden. Da am Lewis-Gletscher auch im Akkumulationsgebiet das ganze Jahr hindurch Schmelzung eintreten kann, sind die Rücklagen stark mit Eislin sen durchsetzt und durchfeuchtet, so daß mit relativ hohen Firndichtewerten von 0,6 bis 0,7 gerechnet werden kann (Hastenrath 1984: 213).

## 3.3 ERGEBNISSE

Die für den Lewis-Gletscher ermittelten Flächenwerte der 50 m-Höhenstufen, die Gesamtflächen sowie die Flächenverluste sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Abweichungen zu den bei Hastenrath (1984: 175, Tab. S. 2.7: 1) angegebenen Flächen sind, wie erwähnt, vor allem darauf zurückzuführen, daß dort die schuttbedeckten Gletscherteile weggelassen wurden. Der Gletscher ist in den 20 Jahren von 1963 bis 1983 um 8,18 ha (=22 %), seit dem Maximalstand (St. 1) um 43,42 ha (=60 %) kleiner geworden.

Tabelle 2: Flächen in 50 m-Höhenstufen, Gesamtflächen und Flächendifferenzen des Lewis-Gletschers, Mt. Kenya, für angegebene Jahre bzw. undatierte Gletscherstände (in  $10^4 \text{ m}^2$ )

	1983	1978	1974	1963	1958	1934	St 3	St 2	St 1
> 4950	0,20	0,37	0,43	0,37	0,37	0,49	0,61	0,61	0,61
4900—4950	1,53	1,79	2,10	2,55	2,16	2,90	3,06	3,06	3,06
4850—4900	5,56	5,98	6,12	6,02	6,69	7,53	9,20	9,20	9,20
4800—4850	5,47	5,64	5,90	7,39	7,73	10,44	12,24	12,24	12,24
4750—4800	6,89	7,64	7,71	8,73	9,04	10,19	9,79	10,90	10,90
4700—4750	4,57	4,44	4,28	4,24	4,83	5,66	7,66	7,66	7,66
4650—4700	2,75	3,20	3,41	4,24	4,08	6,59	10,28	9,60	9,60
4600—4650	1,38	1,86	1,97	2,74	2,85	3,84	3,46	4,54	4,54
4550—4600	0,02	0,16	0,18	0,27	0,34	1,46	2,83	3,32	3,32
4500—4550	—	—	—	—	—	0,56	3,86	4,69	4,91
4450—4500	—	—	—	—	—	0,08	0,54	2,08	3,22
4400—4450	—	—	—	—	—	—	—	0,61	1,16
4350—4400	—	—	—	—	—	—	—	0,26	1,02
< 4350	—	—	—	—	—	—	—	—	0,35
Gesamtflächen	28,37	31,08	32,10	36,55	38,09	49,74	63,53	68,78	71,79
Flächenverlust	-2,71	-1,02	-4,45	-1,48	-11,65	-13,79	-5,25	-3,01	

Die Höhenverteilung der Gletscherflächen (Abb. 4) zeigt den großen Flächenanteil der mittleren Höhenstufen. Den mit 24,3 % größten Flächenanteil hat die Höhenstufe

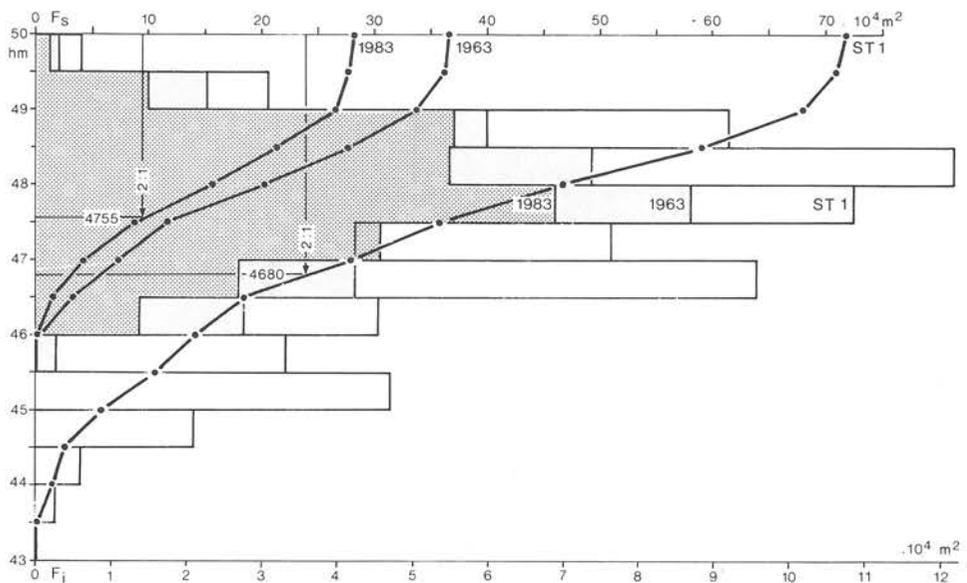


Abb. 4: Die Flächen des Lewis-Gletschers in 50-m-Höhenstufen ( $F_i$ ) und entsprechende Summenkurven ( $F_s$ ) für die Gletscherstände 1983, 1963 und St. 1

4750 bis 4800 m, die in den letzten Jahren ganz im Ablationsgebiet gelegen war. Das bedeutet: eine Senkung der Gleichgewichtslinie um nur 50 m würde ein Viertel der Gletscherfläche vom Ablations- zum Akkumulationsgebiet werden lassen. Geringe Änderungen der klimatischen Verhältnisse müssen daher bei diesem Gletscher große Wirkung auf den Massenhaushalt und damit große Volumensänderungen zur Folge haben.

Aus den hypsographischen Kurven (Abb. 4) lassen sich Näherungswerte für die mittlere Höhenlage der Gleichgewichtslinie (GWL) ermitteln. Teilt man die Gletscherfläche 1983 in Akkumulations- zu Ablationsgebiet (Sc:Sa) im Verhältnis 2:1, erhält man eine Höhe von 4755 m. Bei der direkt gemessenen, nahezu ausgeglichenen Massenbilanz des Jahres 1978/79 (Hastenrath 1984: 214–217, Fig. 5.4.3: 1) lag die GWL in der Höhe von 4760 m. Es scheint das Flächenverhältnis 2:1, das bei einfach gebauten Gletschern im alpinen Bereich die Höhenlage der GWL für ausgeglichene Massenbilanzen in guter Näherung bestimmen läßt, auch hier anwendbar zu sein. Beim Gletscherstand St. 1 des Lewis-Gletschers erhält man auf diese Weise für die Höhe der GWL einen Wert von 4680 m, der damit nur 80 m tiefer liegt als bei einer gegenwärtig ausgeglichenen Massenbilanz.

Der Volumsverlust in den einzelnen Höhenstufen der analysierten Gletscherstände ist in Tabelle 3 angegeben. Darin bedeuten negative Vorzeichen Volumszunahme. Eine solche zeichnet sich in den obersten Höhenstufen im Zeitraum 1958 bis 1963 ab. Sie ist so gering, daß man sie auch auf die genannten Unsicherheiten vor allem des Planes von 1958 in diesem Bereich zurückführen könnte. Das Photomaterial von E. Schneider (Februar 1962, Januar und August 1963) zeigt jedoch eine ungewöhnlich hohe Schneelage, wobei der cliff-artige Eisabbruch des Curling Pond-Teilstromes nahezu aufgefüllt und kaum zu erkennen ist. Die gemessene Aufhöhung in diesem Bereich dürfte daher den Verhältnissen entsprechen und realistisch sein. Die geringen Volumsverluste bzw. eine Volumszunahme im gleichen Höhenbereich für den Zeitraum 1963 bis 1974, die sich schon bei der ersten Auswertung von 1963 ergeben hatten und in der zweiten und dritten Auswertung dieses Standes bestätigt wurden, weisen ebenfalls darauf hin, daß

Tabelle 3: Volumsverluste in 50 m-Höhenstufen des Lewis-Gletschers, Mt. Kenya, zwischen den angegebenen Zeitintervallen bzw. Gletscherständen (in  $10^6 \text{ m}^3$ )

	1983	— 1978	— 1974	— 1963	— 1958	— 1934	— St. 3	— St. 2	— St. 1
> 4950	0,01	0,01	–0,01	–0,00	0,00	0,01	0,00	0,0	
4900–4950	0,07	0,11	0,06	–0,09	0,22	0,07	0,00	0,0	
4850–4900	0,16	0,22	0,07	0,02	0,73	0,25	0,10	0,0	
4800–4850	0,24	0,30	0,13	0,23	1,46	0,75	0,28	0,0	
4750–4800	0,32	0,31	0,32	0,20	1,35	0,70	0,44	0,0	
4700–4750	0,33	0,19	0,33	0,25	0,82	0,75	0,38	0,0	
4650–4700	0,23	0,13	0,34	0,19	0,79	1,73	0,46	0,0	
4600–4650	0,14	0,11	0,38	0,10	0,68	1,76	0,77	0,0	
4550–4600	0,01	0,00	0,07	0,01	0,33	1,33	0,76	0,0	
4500–4550	—	—	—	—	0,11	1,52	0,82	0,0	
4450–4500	—	—	—	—	0,01	0,49	0,21	0,13	
4400–4450	—	—	—	—	—	—	0,02	0,18	
4350–4400	—	—	—	—	—	—	—	0,14	
< 4350	—	—	—	—	—	—	—	0,02	
Summen	1,51	1,38	1,69	0,91	6,50	9,36	4,24	0,47	

in den Jahren um 1963 hohe Akkumulationsbeträge vorübergehend zu geringer Aufhöhung im Firngebiet geführt haben.

Für 1963/74 ergaben sich daher die stärksten Volumsverluste im Zungenendbereich, im Gegensatz zu den folgenden Zeitabschnitten, in denen die größten Verlustbeträge in den mittleren Höhenstufen zu verzeichnen waren (Abb. 5) und 1974/78 zwischen 4750 und 4850 m 44 % des Gesamtverlustes betragen haben.

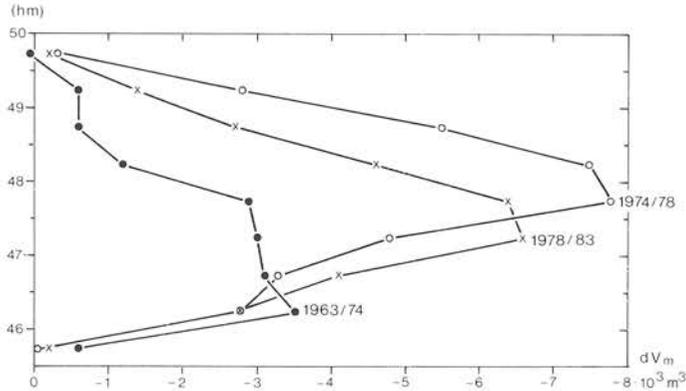


Abb. 5: Der Volumsverlust des Lewis-Gletschers in den 50-m-Höhenstufen für die Zeitabschnitte 1963/74, 1974/78 und 1978/83

Die Tatsache, daß der Massenverlust in der Periode 1963 bis 1983 sehr ungleich verteilt war, bestätigt auch ein von H. Heuberger, Salzburg, zur Verfügung gestelltes Photo aus dem Jahre 1969 (Abb. 6). Es zeigt nur vergleichsweise geringe Veränderungen des Gletschers gegenüber 1963 (Abb. 1). Das Zungenende reicht 1969 noch bis an den See, der Fels in der Mitte der Kalbungsfront war auch 1963 schon sichtbar.

In der Tabelle 4 sind Flächen und Volumina und deren Verluste für die untersuchten Gletscherstände und Zeiträume nochmals zusammengefaßt. Die Angaben der Gesamtvolumina gehen aus von dem nach Bhatt et al. (1981: 226) für den Stand 1978 ermittelten Volumen von  $6,2 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Zusätzlich eingefügt sind Angaben für den durch Moränen markierten Gletscherstand aus der vermuteten Zeit um 1920, bei dem der Volumsverlust in den untersten Höhenstufen berechnet, im Bereich über 4600 m mangels genauerer Unterlagen jedoch nur abgeschätzt wurde. Aus diesem Grund ist der Stand 1920 in den Tabellen 2 und 3 nicht enthalten.

Von 1963 bis 1983 hat das Volumen des Lewis-Gletschers um  $4,58 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  abgenommen. Dem Flächenverlust von 22 % entspricht somit ein Volumsverlust von 50 %. Seit dem Maximalstand St. 1 ist das Volumen um  $26,06 \cdot 10^6 \text{ m}^3 = 85 \%$  kleiner geworden, entsprechend einem Flächenverlust von 60 %.

Zum Vergleich verschiedener Zeitabschnitte oder mit anderen Gletschern ist die mittlere Höhenänderung der Gletscheroberfläche pro Jahr ( $dh_m$ , Tabelle 4) eine wichtige Kenngröße. Ihre Entwicklung am Lewis-Gletscher ist für die Zeit seit ca. 1890 in Abb. 6 dargestellt. Dabei fällt auf, daß die am stärksten negativen  $dh_m$ -Werte der Reihe mit über 1 m/Jahr in den letzten neun Jahren 1974 bis 1983 aufgetreten sind und damit nahezu doppelt so groß waren wie das Mittel der vorangegangenen Jahrzehnte seit 1934. Daß hier kein methodischer oder systematischer Fehler vorliegt, läßt sich anhand der Massenbilanzen zeigen, die in den Jahren 1978 bis 1983 mit der direkten



Abb. 6: Der Lewis-Gletscher am 11. 1. 1969. Die Veränderungen seit 1963 (Abb. 1) sind gering. Verstärkter Flächen- und Massenverlust hat erst nach 1969 eingesetzt  
Foto: H. Heuberger, Salzburg

Tabelle 4: Flächen (F) und Flächenverluste (dF), Volumsverluste (dV nach Hofmann) und Volumina (V) sowie mittlere Dickenänderung (dh<sub>m</sub>) des Lewis-Gletschers, Mt. Kenya

Jahr bzw. Stand	F (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	dF (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	dV (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	V (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	n (Jahre)	dh <sub>m</sub> (m)
1983	28,37	- 2,71	- 1,51	4,69	5	- 1,02
1978	31,08	- 1,02	- 1,38	<u>6,20</u> <sup>+</sup>	4	- 1,09
1974	32,10	- 4,45	- 1,69	7,58	11	- 0,44
1963	36,55	- 1,54	- 0,91	9,27	5	- 0,49
1958	38,09	- 11,65	- 6,50	10,18	24	- 0,62
1934	49,74	- 11,87	- 7,56	16,68	ca. 14	- 0,97
ca. 1920	61,61	- 1,92	- 1,80	24,24	ca. 30	- 0,10
ca. 1890 St. 3	63,53	- 5,25	- 4,24	26,04		
St. 2	68,78	- 3,01	- 0,47	30,28		
St. 1	71,79			30,75		
Summen		- 43,42	- 26,06			
		- 60 %	- 85 %			

<sup>+</sup> nach Bhatt et al. 1981

glaziologischen Methode von Hastenrath (1984: 205–236) und Mitarbeitern ermittelt wurden. Dazu mußte der aus dem Kartenvergleich erhaltene Volumsverlust in Wasserwert umgerechnet werden, was näherungsweise wie folgt geschehen ist: es wurde angenommen, daß in den stark negativen Haushaltsjahren dieses Zeitraumes bis zur Höhe 4800 m Eisablation herrschte und der Volumsverlust bis zu dieser Höhe mit der Dichte von 0,9 umgerechnet werden kann. Oberhalb 4800 m wurde eine Firndichte von 0,65 angenommen, in Anlehnung an die Dichtewerte für Firn, die bei Hastenrath (1984: 213) angegeben sind. Damit ergibt sich aus dem Volumsverlust von  $1,51 \cdot 10^6 \text{ m}^3$  ein Massenverlust von  $1,24 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Die aufsummierten Bilanzen (Hastenrath 1984: 216–235) ergeben  $1,20 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ . Wenn man berücksichtigt, daß darin der Massenverlust des schuttbedeckten Gletscherteiles nicht enthalten ist, ist die Übereinstimmung nahezu vollkommen. Das mag in diesem Ausmaß Zufall sein, doch beruhigt die Bestätigung durch eine andere, unabhängig angewendete Methode, auch im Hinblick auf die älteren, nicht kontrollierbaren Zeitabschnitte.

#### 4. SYNTHESE UND DISKUSSION

Durch seine Lage am Äquator ist der Lewis-Gletscher ( $0^\circ 9' \text{ S}$ ) für die gletscherkundliche Forschung von besonderem Interesse. Er ist klein und überschaubar, seine Form ist einfach und von keinen Gefällsbrüchen gestört, seine Ernährung erfolgt durch normale Akkumulation von festem Niederschlag ohne Schnee- und Eislawinen. Er hat alle Eigenschaften eines modellhaften Untersuchungsobjektes und zudem den Vorteil der leichten Erreichbarkeit. Die Tatsache, daß der Lewis-Gletscher der am besten untersuchte Gletscher der niederen Breiten ist, verwundert daher nicht.

Die Veränderungen am Lewis-Gletscher sind ab ca. 1890 konkret faßbar. Seit über 60 Jahren hat der Gletscher ohne längere Unterbrechung an Masse verloren, besonders stark in den letzten neun Jahren. In den 20 Jahren von 1963 bis 1983 ist sein Volumen um 50 % kleiner geworden. Eine Trendumkehr scheint nicht in Sicht, eher das Gegenteil ist der Fall: im Mittel der letzten Jahre lag die Gleichgewichtslinie in über 4800 m Höhe. Für eine ausgeglichene Massenbilanz müßte sie 50 bis 60 m tiefer bei 2750 m Höhe liegen. Die Gletscherzunge ist für die gegenwärtigen Ernährungsbedingungen noch immer zu groß und muß weiter zurückschmelzen, um einen ausgeglichenen Zustand zu erreichen. Die Eiseinbrüche am Zungenende zeigen an, daß dies der Fall ist.

Obwohl Volumina und mittlere Höhenänderung wegen der rekonstruierten Gletscheroberflächen für den Zeitraum vor 1963 weniger genau erfaßt werden können, ist an den überdurchschnittlich hohen Verlustbeträgen der 1920er und 30er Jahre nicht zu zweifeln. Auch die Tendenz zu geringen Verlusten im Zeitraum 1890 bis 1920 dürfte richtig sein. Es ist jedoch weder der Beginn noch das Ende dieser Periode jahresscharf erfaßt und der  $dh_m$ -Wert von  $-10 \text{ cm}$  entsprechend nur eine, vermutlich gute Größenordnung. Wenn man diese Periode aufgliedern könnte, müßte sich für die Jahre vor 1890 und um 1920 auch Aufhöhungsbeträge ergeben, weil das Gletscherende in dieser Zeit mehrfach etwas vorgeückt ist.

Der Massenverlust, besonders in den 70er Jahren, dürfte vor allem auf eine Abnahme der Niederschlagsmengen zurückzuführen sein. Diese Vermutung wurde durch den freundlich gewährten Einblick in das Datenmaterial mehrerer 40jähriger Niederschlagsreihen von Farmen aus der Umgebung des Mt. Kenya bestätigt, die Herr Peter Berger, Geographisches Institut Bern, gesammelt hat und im Rahmen einer Dis-

sertation derzeit bearbeitet. Die bei Hastenrath (1984: 48) mitgeteilten längerfristigen Temperaturreihen Ostafrikas lassen keinen Temperaturanstieg erkennen, der den Gletscherschwund erklären könnte. Ob das Beobachtungsmaterial der bergnahen Klimastationen ausreicht, um andere wichtige Klimafaktoren wie Bewölkung oder Sonnenscheindauer im Gletscherbereich abschätzen und damit die Veränderungen am Gletscher erklären zu können, müßte noch geprüft werden.

Der am Lewis-Gletscher festgestellte starke Massenverlust der letzten Jahrzehnte, ohne gegenwärtig erkennbare Tendenzwende, entspricht der allgemeinen Entwicklung der Gletscher in äquatorialen Breiten. Am Mount Kenya ist der Rückgang aller Gletscher anhand der Karte von 1963 feststellbar und bei Hastenrath (1984) auch durch Bildmaterial gut dokumentiert. Sechs kleine Gletscher sind in den letzten 60 Jahren völlig abgeschmolzen, zuletzt der Melhuisch-Gletscher (siehe Kartenbeilage). Von diesem waren 1974 und 1978 noch Eis- oder Schneeflecken zu sehen, die nach 1978 ganz abgeschmolzen (Hastenrath 1984: 125). 1983 war das Kar vollkommen eis- und schneefrei (Abb. 2). Entsprechend starker Eisrückgang wird vom Kilimanjaro und Ruwenzori berichtet (Hastenrath 1984).

Die Gletscher des Carstensz-Gebirges (4° S, Irian Jaya) haben seit dem Neoglazialen Höchststand, der dort für die Zeit um 1850 angenommen wird, insgesamt 64 % der Fläche und 81 % des Volumens verloren (Allison and Peterson 1976: 34, Tab. 3.2), damit sehr genau dem Lewis-Gletscher entsprechend.

In den äquatornahen Anden Südamerikas zeichnen sich gleichartige Verhältnisse ab. Die neuen Bearbeitungen der Gletscher von Ecuador (Hastenrath 1981) und Bolivien (Jordan 1985) lassen den starken Gletscherschwund in den letzten 50 Jahren erkennen, ohne Hinweis auf eine Tendenzänderung in letzter Zeit. In der Cordillera Blanca von Peru hat der von Kinzl (1949: 10–15) berichtete Gletscherschwund zumindest bis ca. 1960 angehalten. Das ergibt der Kartenvergleich mit neueren amtlichen Karten. Über die Entwicklung in den letzten Jahren hat der Verfasser keine Informationen. Insgesamt ist der fortgesetzte, nicht unterbrochene Schwund der tropischen Gletscher eine offensichtlich weltweit einheitliche Erscheinung.

In den gemäßigten nördlichen Breiten ist die Entwicklung bis etwa 1950 gleichsinnig, seit rund 30 Jahren jedoch gegensätzlich verlaufen. Sie ist in den Alpen am besten erfaßt und zeigt ab Mitte der 1950er Jahre eine Trendumkehr von überwiegendem Massenverlust zu zunehmendem Massengewinn, der zwischen 1960 und 1980 eine Aufhöhung der Gletscherflächen und ab 1965 zunehmend Vorstoßzeichen an den Zungen zur Folge hatte (Patzelt 1985). Eine Zusammenstellung aller Massenbilanzanalysen, die an nordhemisphärischen Gebirgsgletschern durchgeführt wurden (Letreguilly 1984), zeigt auch an Gletschern in Skandinavien und in Nordamerika Tendenzen zu Massenzunahme in den letzten 10 bis 20 Jahren, vor allem auf den niederschlagsreichen Gebirgsseiten. Im Langtang-Himalaya (Nepal) hat der Verfasser (unpubl.) an mehreren Gletschern starkes Anwachsen im Zeitraum zwischen 1970 und 1980/84 festgestellt. Die Wachstumstendenz an den Gletschern der Alpen scheint keine regionale Sonderentwicklung zu sein.

In Abb. 7 ist die mittlere Höhenänderung von acht Alpengletschern (nach Finsterwalder & Rentsch 1980) der des Lewis-Gletschers gegenübergestellt. Für die Jahrzehnte von 1890 bis 1950 zeichnet sich ein bemerkenswert ähnlicher Verlauf ab. Dabei ist anzumerken, daß die negative Höhenänderung von 30 cm im Zeitraum 1890 bis 1920 für die Alpengletscher sicher zu groß veranschlagt ist, weil sie nur von drei außergewöhnlich stark eingesunkenen Gletschern abgeleitet wurde. Insgesamt ist in den Alpen dieser Zeitraum überwiegend durch mehrphasiges, geringes Gletscherwachstum

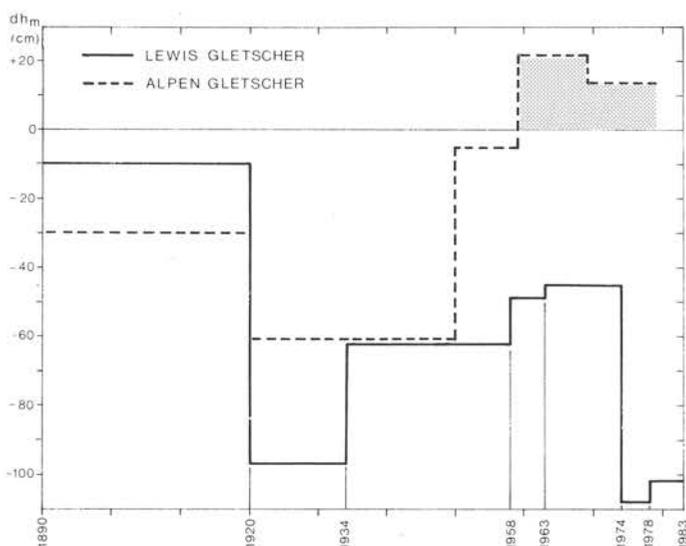


Abb. 7: Die mittlere Höhenänderung pro Jahr ( $dh_m$ ) des Lewis-Gletschers im Vergleich zu Alpengletschern 1890 bis 1983

gekennzeichnet, wie das sowohl für den Lewis-Gletscher als auch für Gletscher der Cordillera Blanca gilt (Kinzl 1942: 11).

Das gegensätzliche Verhalten setzt mit der Trendumkehr bei den Alpengletschern um 1950/55 ein. Diese Entwicklung, die nun rund 30 Jahre andauert und eine offensichtlich globale Erscheinung darstellt, ist bemerkenswert: die Klima- und die daraus erfolgten Gletscherschwankungen sind in historisch faßbarer Zeit bis um die Mitte dieses Jahrhunderts weltweit gleichsinnig und etwa gleichzeitig abgelaufen. Unter den Klimaverhältnissen der letzten Jahrzehnte scheint das nicht mehr der Fall zu sein. Die weitere Verfolgung dieser interessanten und aktuellen Frage sei hiermit angeregt.

#### DANK

Die Arbeitsgemeinschaft für vergleichende Hochgebirgsforschung hat dem vorerst von den Autoren privat finanzierten Unternehmen einen großen Teil der Reisekosten ersetzt. Von der Exploration Pamir 1975, Leitung Dr. Dipl.-Ing. R. Senarclens Grancy, Graz, wurde ein Reisekostenbeitrag zur Verfügung gestellt und die Druckkosten für die Karte übernommen. Frau Verena Schneider, Nairobi, hat durch großzügige Gastfreundschaft und mannigfache Hilfe den Aufenthalt in Kenya ermöglicht. Über Vermittlung von Prof. Dr. Bruno Messerli, Bern, haben wir durch Herrn Silvio Decurtins in Nanyuki tatkräftige Hilfe bei der Organisation von Trägern und Transport erhalten. Herr Dr. Mathias Winiger hat das Manuskript kritisch durchgesehen und wichtige fachliche Hinweise gegeben. Allen Genannten sei für die gewährte Unterstützung auch an dieser Stelle nochmals herzlich gedankt.

## LITERATUR

- Allison, I. and J. A. Peterson, 1976: Ice areas on Mt. Jaya: Their extent and recent history. In: The equatorial glaciers of New Guinea, Ed. G. S. Hope et al., A. A. Balkema, Rotterdam, p. 27—38.
- Bhatt, N., St. Hastenrath and P. Kruss, 1981: Ice thickness determination at Lewis glacier, Mount Kenya: seismology, gravimetry, dynamics. *Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie*, 16 (2) (1980): 213—228.
- Caukwell, R. A. and St. Hastenrath, 1977: A new map of Lewis glacier, Mount Kenya. *Erdkunde*, 31: 85—87, Kartenbeilage.
- Charnley, F. E., 1959: Some observations on the glaciers of Mt. Kenya. *Journal of Glaciology*, 3: 483—492.
- Dutton, E. A. T., 1929: Kenya mountain. Jonathan Cape, London, 218 pp.
- Finsterwalder, R., 1953: Die zahlenmäßige Erfassung des Gletscherrückganges an Ostalpenglutschern. *Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.*, 2 (2): 189—239.
- Finsterwalder, R. und H. Rentsch, 1980: Zur Höhenänderung von Ostalpenglutschern im Zeitraum 1969 bis 1979. *Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.*, 16 (1): 111—115.
- Gregory, J. W., 1894: Contribution to the geology of British East Africa. — Part I. The glacial geology of Mount Kenya. *Quarterly Journal of the Geol. Soc. of London*, 50: 515—530.
- Hastenrath, St., 1981: The glaciation of the Ecuadorian Andes. A. A. Balkema, Rotterdam, 159 S.
- Hastenrath, St., 1984: The Glaciers of Equatorial East Africa. D. Reidel Publ. Comp., Dordrecht, 353 S.
- Hastenrath, St. and R. A. Caukwell, 1979: Variation of Lewis Glacier, Mount Kenya, 1974—1978. *Erdkunde*, 33: 292—297, Kartenbeilage.
- Hofmann, W., 1958: Der Vorstoß des Nisqually-Gletschers am Mt. Rainier, USA, von 1952 bis 1956. *Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.*, 4 (1—2): 47—60.
- Jordan, E., 1985: Die Gletscher der Bolivianischen Anden (Habil.-Schrift, Druck i. Vorbertg.).
- Kinzl, H., 1942: Gletscherkundliche Begleitworte zur Karte der Cordillera Blanca (Peru). *Zeitschrift f. Gletscherkunde*, 28 (1—2): 1—19.
- Kinzl, H., 1949: Die Vergletscherung der Südhälfte der Cordillera Blanca (Peru). *Z. f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.*, 1 (1): 1—28.
- Letreguilly, A., 1984: Bilans de masse des glaciers Alpains: methodes de mesure et répartition spatio-temporelle. CNRS, Laboratoire de Glaciologie, Grenoble, publ. no. 439, 274 p.
- Löffler, H., 1968: Die Hochgebirgsseen Ostafrikas. In: Hochgebirgsforschung, Heft 1: 3—68.
- Mackinder, H. J., 1900: A Journey to the Summit of Mount Kenya, British East Africa. *The Geographical Journal*, XV (5): 453—486.
- Patzelt, G., 1985: The Period of Glacier advances in the Alps, 1965 to 1980. *Zeitschrift f. Gletscherkunde u. Glazialgeol.*, 21: 403—407.
- Schneider, E., 1964: Begleitworte zur Karte des Mount Kenya in 1:10.000. In: Khumbu Himal, Ergebnisse des Forschungsunternehmens Nepal Himalaya. Ed. W. Hellmich. Springer Vlg., Berlin: 20—23, Kartenbeilage.
- Troll, C. und K. Wien, 1950: Der Lewisgletscher am Mount Kenya. *Geogr. Annaler* 31: 257—274.

Manuskript eingelangt am 22. 4. 1985.

---

Adressen der Autoren: Dipl.-Ing. Erwin Schneider  
Oberwies, A-6764 Lech

Ing. Gerhart Moser  
Alpenvereinskartographie  
Wilhelm-Greil-Straße 15, A-6020 Innsbruck

Dr. Gernot Patzelt  
Institut für Hochgebirgsforschung  
Universität Innsbruck, Innrain 52, A-6020 Innsbruck