

Stauchmoränengengese durch die Entwicklung eines „Gletscherfußes“ am Kötlujökull, Südisland

Von Dieter Heim*

Zusammenfassung: Im basalen Abschnitt einer zur Zeit ca. 5 km langen progressiven steilen Gletscherwand des Kötlujökull/Südisland kam es in den vergangenen Jahren zur Extrusion von Eismassen, die im Sommer 1983 als ca. 10—60 m lange, von Sedimenten überwiegend verhüllte Loben in Erscheinung traten, welche den Gletscherrand girdandenartig umsäumten. Im frontalen Bereich dieser Loben traten 1—3 eisfreie und überwiegend mondsichelartige Stauchwälle sowie weitere Wälle mit Eiskernen und Kamnhöhen bis zu einigen Metern auf. Aufgrabungen von 9 Loben und Progressionsmessungen an der Nase von 19 Loben ergaben, daß sich die extrudierten Eismassen, hier als „Gletscherfuß“ bezeichnet, gewöhnlich zu ihrem distalen Ende hin in mehrere übereinander gelegene und durch Moränenmaterial getrennte, platige bis stengelige Eiskörper aufgaben, die sich mit mittl. Geschwindigkeiten von einigen mm/h diskontinuierlich in das Vorland hinein bewegen. Nach ihrer zeitweise im gleichen Lobus unterschiedlichen Progression sowie nach den unterschiedlichen Progressionsgeschwindigkeiten selbst benachbarter Loben (bis zur völligen Inaktivität) besitzt das aus der Gletscherwand herausgetretene Eis eine von der generellen Gletscherprogression unabhängige Spezialkinematik. Eine Nachuntersuchung im Winter 1983/1984 ergab eine verminderte, jedoch nicht erloschene Aktivität bei 3 Loben. Die Intrusion von tieferen Eiskörpern des Gletscherfußes in die Sande des Vorlandes führte ebenso wie entsprechende Aufschiebungen zu folgender Stauchmoränengengese: Abschiebung einer Sanddecke des Vorlandes, Einwölbung zur Falte, Überschiebung auf das Vorland (mit hier ermittelten Durchschnittsgeschwindigkeiten bis 7,2 mm/h) und gleichzeitig — von einer bestimmten Entwicklungsphase an — neue Faltenbildungen im Vorland und Aufschiebung der jeweils älteren und nachfolgenden Faltenwälle auf die nächstjüngeren bis zur völligen Vereinigung. Hierdurch entstehen stets höher anwachsende Stapelmoränen, die aus mehreren Falten mit gletscherwärts einfallenden Faltenachsenflächen bestehen. In älteren Moränenarealen vor dem Kötlujökull wurden auch „fossile“ Relikte von Wallsystemen offensichtlich gleicher Gengese gefunden. Die mögliche Ursache von Gletscherfußbildungen wird diskutiert und ein Vergleich zu pleistozänen Stauchmoränensystemen gezogen.

Summary: In the last years masses of ice, about 5 km long, have been protruding from the lowest part of an advancing glacier margin of the Kötlujökull in Southern Iceland. In the summer of 1983, they appeared as sediment-covered lobes, 10—60 m long, bordering the glacier margin like a garland. 1 to 3 push-moraines without ice core, mostly sickle-shaped, occurred first in the frontal parts of the lobes; behind them came several ice-cored moraines with heights of up to several metres. The active ice in front of the precipice of the glacier is called the "glacier-foot" in this paper. The digging out of 9 lobes and the measuring of the advance of 19 lobes showed that in most cases this glacier-foot had split up at its distal end into several plate- or stem-shaped pieces of ice which were situated one upon the other, separated by moraine deposits and proceeding irregularly into the foreland at the rate of several mm/h. The sometimes different rate of advance in the same lobe and different rates of advance in adjoining lobes (some being entirely inactive) point to a type of movement which is independent of the general advance of the glacier. Research in the winter of 1983/84 showed less activity in 3 examined lobes, but the activity had not ceased. The advancement of the lower parts of the glacier-foot into and across the sands of the foreland implies the following genesis of push-moraines: Shoving off a plate of sand, folding it and pushing it over the foreland at average rates of up to 7.2 mm/h, according to the investigations in the summer of 1983. At a certain stage of the folding process, new folds begin to develop in front of the old, and the old folds are shifted onto the backslope of the folds in front of them until they are completely united. In this way, "pile-moraines" arise, which become higher and higher. They include two or more folds declining towards the glacier. Systems of small moraines presumably of the same genesis occur on old moraine areas in front of the Kötlujökull. The possible cause of formation of a glacier-foot is discussed, and the moraines of the Kötlujökull are compared with certain pleistocene push-moraines.

1. EINFÜHRUNG

Mit den Mechanismen von Stauchmoränenbildungen sind trotz zahlreicher Untersuchungen glazitektonischer Phänomene, pleistozäner und rezenter Stauchmoränen wie auch experimenteller Versuche doch noch immer grundsätzliche Fragen verknüpft (vgl. z. B. BANHAM 1975, GRIMMEL 1976, GRIPP 1979, STEPHAN 1984). Die Gengese von mehrgliedrigen Stauchmoränensystemen im „klassischen“ Sinne als Stirn-Endmoränen setzt eine Fernwirkung des vorstoßenden Eisrandes voraus, und es entsteht die Frage nach deren Reichweite — in Abhängigkeit von der Beschaffenheit des Vorlandmaterials — und der Anzahl von parallelen Wällen, die auf einen einzigen Gletschervorstoß zurückgeführt werden können. Diesen Fragen ging KÖSTER (1957, 1960) mit experimentellen Methoden nach. Selbst in jüngster Zeit wurden jedoch parallele Stauchwälle noch mit einem oszillierenden Gletscherrand in Verbindung gebracht (KRÜGER 1983).

* Prof. Dr. Dieter Heim, Institut für Geowissenschaften der Universität, Saarstr. 21, 6500 Mainz

Unter der Vielfalt von pleistozänen Stauchmoränen treten besonders Systeme vom Typ etwa der Duvenstedter Berge bei Schleswig hervor, die nach ihrer Morphologie gemeinsame Merkmale aufweisen und zum Teil auch in weiteren, komplexeren oder nur noch fragmentarisch erhaltenen Stauchmoränensystemen enthalten sein können. Zu diesen Merkmalen gehört z. B. die zum Zentrum hin sich verbreiternde Frontzone, in der trotz Vergabelungen gewöhnlich 3—7 ausgeprägte parallele Wälle oder Kuppenreihen verfolgbar sind, die vom Vorland stufenartig bis zum höchsten Wall gletscherwärts ansteigen und häufig mehr oder weniger deutliche asymmetrische Querprofile mit einem steileren Fronthang besitzen. Gletscherwärts schließt sich dann eine weitere Folge generell wieder absteigender und oft weniger ausgeprägter Wälle an, deren Anzahl diejenige der Frontwälle jedoch weit übertreffen kann. Nach den von GRIPP (1929) und TODTMANN (1932) durchgeführten Stauchmoränenuntersuchungen in Spitzbergen, die sich mindestens teilweise offensichtlich auf diesen Typ beziehen, können die einzelnen Stauchwälle überwiegend gletscherwärts einfallenden und durch Bewegungsflächen getrennten Schuppen zugeordnet werden, die mit ihrer Anzahl, ihren Mächtigkeiten und Einfallswinkeln offenbar maßgeblich die Topographie derartiger Stauchmoränensysteme bestimmen. Zur Genese der Schuppen gibt es jedoch keine einheitlichen Vorstellungen. Die experimentellen Arbeiten KÖSTERS (1957, 1960) könnten ebenso wie die obigen Untersuchungen in Spitzbergen die frontalen, gletscherwärts ansteigenden Wälle auf einen einzigen Gletschervorstoß mit sukzessiven Schuppenbildungen zurückführen, schwerlich jedoch die gletscherseitigen absteigenden Wälle. Schwierigkeiten bereitet auch ihre Erklärung durch einen oszillierenden regressiven Eisrand (vgl. hierzu jedoch GRIPP 1979: 161, 1981: 14).

Zu diesem Problemkreis ergaben sich bei den Gletscherrand-Untersuchungen des Verfassers am Kötlujökull

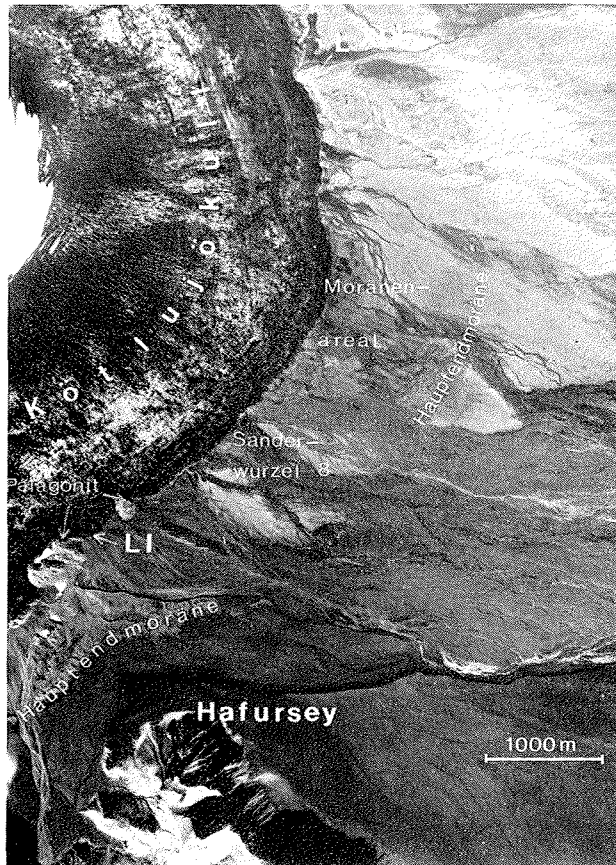


Abb. 1: Übersicht über das Arbeitsgebiet am Kötlujökull (Zustand im August 1980) mit Position der Lobes I und XIX (vgl. auch Abb. 8c in HEIM 1983).

Fig. 1: View of the area of investigation at the Kötlujökull (situation August 1980) with positions of the lobes I and XIX (see also Fig. 8c in HEIM, 1983).

kull (HEIM 1983) neue Aspekte. Dieser ca. 30—100 m mächtige, großlobenartige Gletscherrand stößt zur Zeit auf einer Länge von mindestens 5 km in seine eigenen Schmelzwasserablagerungen und Moränen vor. Hiernach könnte er also etwa mit spätpleistozänen progressiven Gletscherrändern in Schleswig-Holstein vergleichbar sein, wobei allerdings stets die geringere Mächtigkeit und die nur wenig unter die Vorlandoberfläche hinabreichende Basis des Kötlujökull berücksichtigt werden muß. Im Verlaufe der Progression traten jedoch Prozesse am unteren Gletscherrand auf, die anscheinend bisher noch nicht beschrieben wurden und die zu mondsichelförmigen bis geraden Stauchmoränensystemen etwa der oben angesprochenen Art führten, allerdings in ungleich geringeren Dimensionen. Diese Entwicklungen wurden seit 1981 beobachtet und im Sommer 1983 vom Verfasser eingehend untersucht, im Winter 1983/84 dann von einer Mitarbeiterin noch einmal auf jahreszeitlich bedingte Veränderungen hin überprüft. Stauchmoränen wurden im Jahre zuvor am nordöstlichen Gletscherrand des Kötlujökull bereits von HUMLUM (1983) untersucht; er gelangte allerdings zu einer genetischen Deutung, die von den eigenen Ergebnissen abweicht.

2. ZUR REZENTEN ENTWICKLUNG DER PROGRESSIVEN GLETSCHERFRONT DES KÖTLUJÖKULL

Die Progressionsbewegungen am Kötlujökull begannen nach einer längeren Niedertauphase vermutlich kurz vor 1975 am Südrand (vgl. HEIM 1983) und hatten hier im Juli/August 1978 zu charakteristischen Veränderungen der Gletscherfront geführt, welche in den folgenden Jahren immer deutlicher wurden und gleichzeitig im Zusammenhang mit der Progressionsbewegung in nordöstlicher Richtung auf immer weitere Abschnitte des Gletscherrandes übergriffen (Abb. 1). Spätestens im Juli 1983 hatten die Progression und die Frontveränderungen auch den gesamten Ostrand des Gletschers erfaßt. Nach Luftbildauswertungen und Geländebefunden lagen die mittleren Progressionsbeträge des südöstl. Gletscherrandes in den vergangenen Jahren etwa zwischen 15 und 25 m/Jahr. Hierbei rückte die Gletscherfront weitgehend unabhängig vom Relief des Vorlandes ohne Bildung von Spezialloben in breiter Front vor. Die ursprünglich

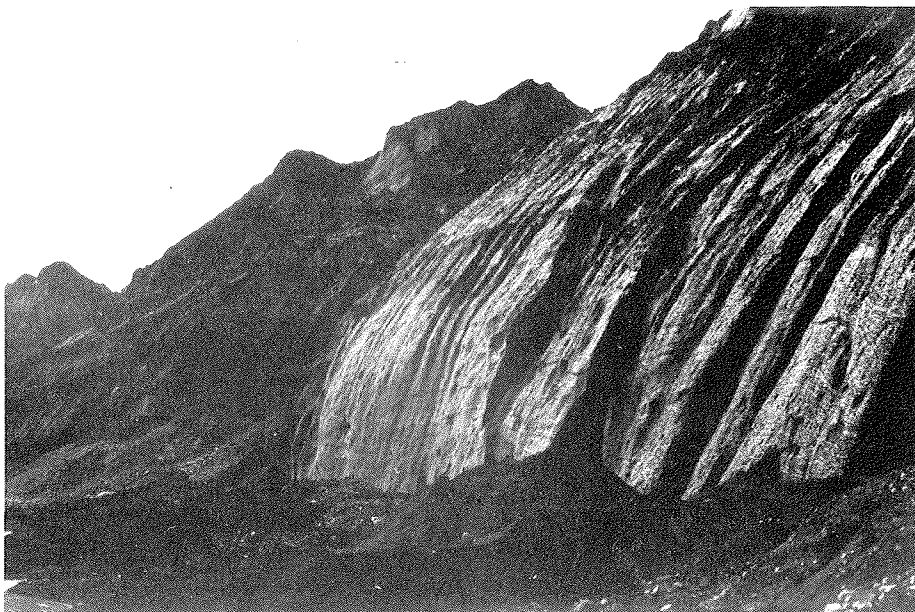


Abb. 2: Gletscherprogression am Kötlujökull: Quasi-plastisches Fließen.

Fig. 2: Advance of glacier at the Kötlujökull: Quasi-plastic flow.

mit einer Eiskernmoränenzone umsäumte und noch 1966 i. a. 10–30° abfallende Gletscherfront veränderte sich im Zusammenhang mit der Progression in folgender Weise:

- a) Im gesamten Progressionsbereich fand eine Frontversteilung des aktiven Eises statt, wobei — mit gewissen Ausnahmen — die größten Einfallswinkel im unteren Bereich des Gletschers auftraten. Die hier durchgeführten Messungen ergaben im Juli 1983 sehr häufig Einfallswinkel um 70°, bei einigen Abschnitten auch solche zwischen 80 und 90°, selten kleinere Winkel als 50°.
- b) Mit der Versteilung änderte sich die Morphologie des Gletscherabfalles, und zwar wird sie jetzt weniger durch differentielle Schmelzprozesse mit Entwicklung von „dirt cones“ als durch den Bewegungsmodus des Eises bestimmt, insbesondere der Relation vom quasi-plastischen Fließen zum Gleiten starrer Blöcke und Platten auf Bewegungsflächen. Jenes führte zur Entwicklung bauchiger und lediglich von kleinsten Rinnen durchfurchter Eiswände (Abb. 2), dieses zu annähernd eben abfallenden, jedoch von zahllosen Rinnen durchzogenen Eiswänden, häufiger noch zu Überkragungen gletscherwärts einfallender Eisplatten über liegende Platten in Beträgen von Millimetern bis zu einigen Metern und bis zum Abbrechen überhängender Blöcke und Platten (Abb. 3). Geringe und durch die Abschmelzung kompensierte Differentialbewegungen des Eises auf Scherflächen erkennt man an der horizontweisen Unterbrechung ehemaliger aktiver Schmelzwasserfurchen durch Eisplatten, die sich in den Furchen bis zur äußersten Wandoberfläche vorschieben. Gelegentlich bewegen sich auch liegende Eisplatten rascher als hangende, was naturgemäß zu einem flacheren und stufenartigen Gletscherabfall führt.
- c) Sobald das vorschreitende Eis die ursprünglich den Gletscher umsäumende Eiskernmoränenzone überfahren hatte, kam es an der nun aktiven Basis der Gletscherfront zur Entwicklung eines Gürtels von 1–3 Stauchwällen, die bis 3 m hoch aufwachsen konnten und i. w. aus aufgerollten Flechtendecken, Sanden und unsortiertem Moränenmaterial bestanden. Im weiteren Verlauf der Progression stießen aus der basalen Gletscherwand zunächst vereinzelt, später in wachsendem Maße und mit immer größeren Reichweiten z. T. unter Moränenmaterial verborgene Eisplatten hervor, die hier als „Gletscherfuß“ bezeichnet werden sollen (Abb. 4). Die unterschiedliche Progression dieses basalen



Abb. 3: Gletscherprogression am Kötlujökull: Progression starrer Blöcke an gletscherwärts einfallenden Bewegungsflächen.

Fig. 3: Advance of glacier at the Kötlujökull: Advancement of rigid plates at shear planes inclining toward the glacier.



Abb. 4: Gletscherfußbildung am Kötujökull im Sommer 1981: Auf Moränen aufgleitende und sich aufgabelnde Eisplatten.

Fig. 4: Formation of "glacier-feet" at the Kötujökull in the summer of 1981: Ice plates splitting and shifting onto moraine deposits.

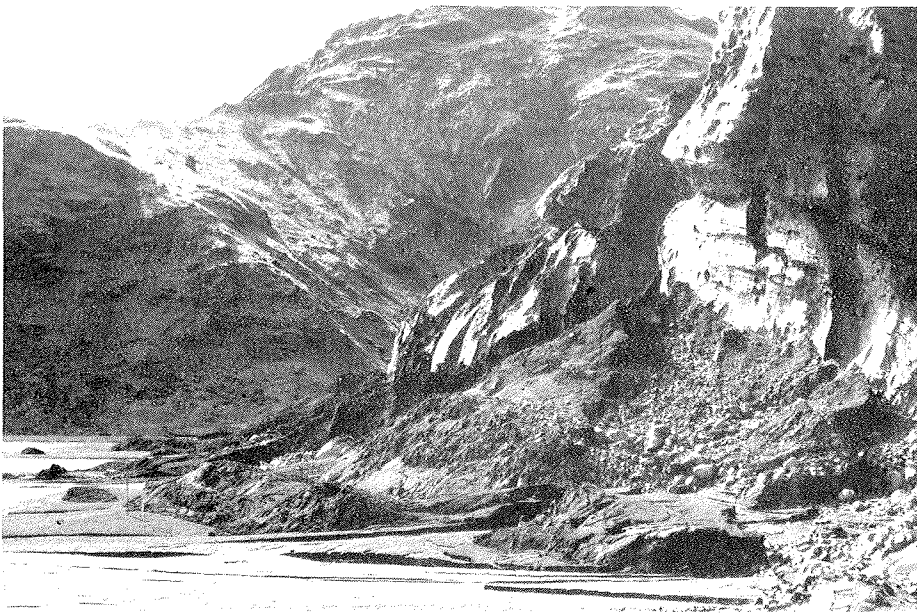


Abb. 5: Lobenentwicklung im Sommer 1983: Kleine Loben mit 2—3 eisfreien Stauchwällen 12—15 m vor der Gletscherwand. 3 A-Wälle befinden sich mehrere m vor der Lobennase.

Fig. 5: Formation of lobes in the summer of 1983: Small lobes with 2—3 push-moraines without ice core 12—15 metres away from the precipice of the glacier. 3 A push-moraines occur several metres in front of the lobes.

Gletschereises führte in jüngster Zeit zu lappigen und lobenartigen Umrissen des Gletscherfußes. Die Stauchwallbildungen fanden jetzt nicht mehr unmittelbar vor der Gletscherwand, sondern vor jenen Loben und so gewöhnlich ca. 10–60 m vor der Wand statt (Abb. 5 u. 6). Sie betrafen überwiegend die Sande des dem Gletscher zur Zeit vorgelagerten Gürtels von Hochsandern (vgl. HEIM 1983).

3. DIE LOBEN UND WÄLLE VOR DER DERZEITIGEN GLETSCHERFRONT

Zur Zeit wird der südöstliche Gletscherrand des Kötlujökull geradezu girlandenartig umsäumt von Loben unterschiedlicher Größe. Dieser Saum wird nur von größeren Schmelzwasserströmen gelegentlich durchbrochen. Die einzelnen, im Sommer zunächst als Moränenzungen erscheinenden Gebilde zeigen nach Dimension und Oberflächenformen allerdings eine große Vielfalt; stets lassen sie sich jedoch auf eine gemeinsame Grundform zurückführen. So entsprach im Sommer 1983 ihr Grundriß weitgehend symmetrischen Zungen mit Achsenlängen von 10–65 m und Breiten von 10–35 m, wobei auch das Längen/Breiten-Verhältnis beliebige Werte annehmen konnte. Als Varianten traten geradlinige Frontabschnitte mit Längen bis zu 16 m und Überlappungen von Loben unterschiedlicher Progression auf, so daß es zu Bildung von Haupt- und Nebenloben mit kürzerer Achse kommen kann. Weiterhin findet man bei allen Loben einen mehr oder weniger ausgeprägten stufenartigen Aufbau von der Nase bis zur Wurzel am Gletscherrand, wobei die Stufen stets flach gletscherwärts einfallen. Immer entsprechen die ersten ein bis drei (selten vier) Stufen aufgestauchtem Vorlandmaterial oder Wällen mit Kammhöhen von wenigen cm bis etwa 1 m und einem deutlich steileren Fronthang. Gletscherwärts folgt mindestens noch eine weitere Stufe als Wall (sehr häufig mit Kammhöhen um 3 m), häufig jedoch noch mehrere, wobei die Zusammensetzung jetzt vor allem durch ausgetautes Moränenmaterial bestimmt wird. Weitere zur Gletscherwand ansteigende Stufen entsprechen offenbar moränenverhüllten und gletscherwärts einfallenden Eiskörpern des Gletscherfußes. Abgesehen von ihren Dimensionen unterscheiden die einzelnen Loben sich vor allem durch die Anzahl, Höhe und den Kammapstand ihrer Wälle und Stufen. Diese können sich bis zur Identität überlappen oder auch mit großen Zwischenräumen auftreten. Speziell der erste Wall wurde in Einzelfällen bis 6 m vor dem zweiten ohne Störung der zwischenliegenden ebenen Vorlandoberfläche angetroffen (Abb. 5).

Die Untersuchung der Loben ergab eine meistens sehr komplexe Zusammensetzung aus Eiskernen, die stets dem aktiven Eis des Gletscherfußes entsprachen, glaziärem und glazifluvialen Material. Der Gletscherfuß war auch im Sommer im Bereiche der Lobenwurzel sichtbar, wo er aus der Gletscherwand gewöhnlich 5–15 m über dem Vorland und meistens unmittelbar als Eiskamm heraustrat oder durch hori-

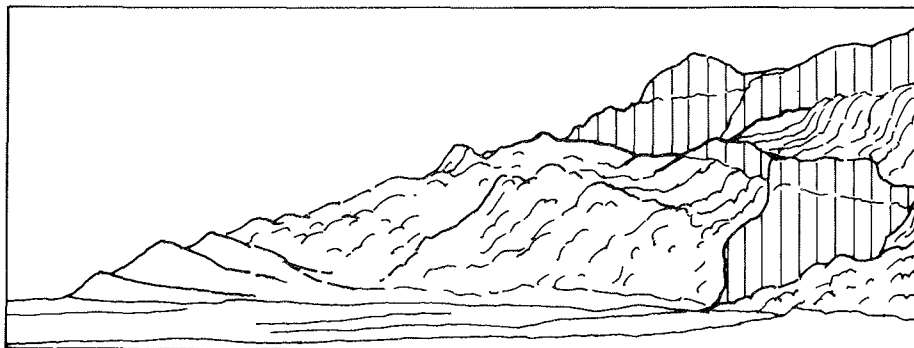


Abb. 6: Lobenentwicklung im Sommer 1983: Der Lobus IX. Der 85 cm hohe A-Wall dieses Lobus befindet sich ca. 65 m vor der Gletscherwand (senkrechte Schraffur rechts oben). Die Lobenwurzel wird von einem Eiskörper gebildet (senkrechte Schraffur rechts unten), der an einer Scherfläche aus der Gletscherwand heraustritt.

Fig. 6: Formation of lobes in the summer of 1983: The lobe IX. The A push-moraine of this lobe, 85 cm high, occurs approx. 65 m in front of the precipice of the glacier (vertical hatching, top right). The rear of the lobe consists of a body of ice (vertical hatching, bottom right) which protrudes from the precipice at a shear plane.

zontale Umbiegung eines kleinen, die Wand hinabführenden Eiskammes aus diesem hervorzugehen schien. Sehr selten trat er auch an einer materialführenden Scherfläche aus der Wand heraus (Abb. 6). Natürliche Freispülungen sowie Ausgrabungen des Fußes und auch seine Kinematik zeigte, daß er am distalen Ende in der Regel aus mehreren, z. T. sich aufgeböhlenden und häufig etwa plattenförmigen Eiskörpern bestand (Abb. 4).

4. DIE KINEMATIK DER WÄLLE UND LOBEN

Im Zeitraum vom 2. 7.—7. 8. 1983 wurde an einem 4,7 km langen südöstlichen bis östlichen Gletscherabschnitt die Entwicklung von 19 Loben unterschiedlicher Ausbildung auch quantitativ verfolgt. Hierbei wurde die Progression des 1. und in einigen Fällen zusätzlich auch die des 2. Walles in verschiedenen Zeitabständen von jeweils 9 Tagen bis ca. 16 Stunden von einem fixierten Meßstab bis zu den ersten, jedoch noch in der Frontlinie an der Basis des 1. Walles gelegenen Sedimentkörnern bzw. bis zur Kammlinie des 2. Walles gemessen. Das Vorland fast aller hier vermessenen Loben entsprach Hochsandern von einer Mächtigkeit von mindestens 0,5 m (Tab. 1).

Die Entwicklungen am Gletscherrand müssen auf die jahreszeitlich wechselnden lokalen Klimaverhältnisse bezogen werden. Temperatur- und Niederschlagsmessungen ergaben für das Untersuchungsgebiet und den Monat Juli 1983 einen relativ gleichförmigen Temperaturverlauf zwischen 8 und 12 °C sowie unregelmäßige Niederschläge mit einer Gesamtmenge von 212 mm. So wurden noch einmal vom 16. 12. 83 bis zum 4. 1. 84 ähnliche Messungen an 3 Loben des obigen Gletscherabschnittes durchgeführt. Die offensichtlich höheren Niederschläge dieses Zeitraumes fielen ausschließlich in Form von Schnee, die mittleren Temperaturen lagen unter 0 °C. Während der sommerlichen Untersuchungszeit fanden folgende Prozesse im Frontbereich der Loben statt:

- a) Die Bildung eines neuen Walles. Diese begann stets vor dem bisherigen 1. Wall mit der Anhebung einer meistens 0,6—1 m, vereinzelt jedoch bis 3 m breiten und z. T. zerlappten Sanddecke um wenige cm und einer zunächst nur geringfügigen Abscherung. Häufig fiel diese Decke schwach gletscherwärts ein. Spalten traten nur an der äußeren Abrißkante auf. Die weitere Hebung erfolgte nun unter einer wachsenden Einwölbung, die gewöhnlich am äußeren Rand begann und sich dann unter Einbeziehung der ganzen Breite zu einer meist schwach vergenteten Falte mit gletscherwärtig einfallenden Faltenachsenfläche entwickelte. Hierbei traten im Scheitel ausgeprägte Zugspalten, daneben auch Scherspalten auf (vgl. Abb. 7; HUMLUM 1983, Abb. 8, 9). Die erste Phase einer neuen Wall- oder Faltenbildung verlief in der Regel sehr rasch. So wurde in einem Falle ein Kammwachstum von 35 cm/24 h, in einem anderen Falle ein solches von 8,5 cm/24 h gemessen. Nachdem eine Kammhöhe von 20—40 cm erreicht war, erlahmte die weitere Einfaltung der Sanddecke, und der neue Stauchwall wurde mit mittl. Geschwindigkeiten von einigen mm/h über das Vorland geschoben. Bei den aktivsten Wällen wurden auf den Fronthängen der vorderen Wälle Materialbewegungen im Zusammenhang mit kleinen Bodenerschütterungen beobachtet, die in Abständen von ca. 20—60 sec. aufeinander folgten. Es wird daher vermutet, daß die Faltung, aber auch die Progression des verursachten Gletscherfußes einem diskontinuierlichen Bewegungsablauf entspricht, der immer wieder einen sich stets erneut aufbauenden Reibungswiderstand überwinden muß (vgl. auch PATERSON 1969: 78).
- b) Die nicht selten raschere Progression eines 2. (oder 3.) Walles als die des 1. (bzw. 2) Walles. Hierdurch kommt es zur Überlappung benachbarter Wälle und schließlich zu ihrer Vereinigung. Dabei wird der zwischen den beiden Wällen gelegene Trog ausgehoben und mit ihm das hier angereicherte, stets dem hinteren Wall entstammende Grobmaterial, das dann bei einer Vereinigung von 2 und mehr Wällen häufig als horizontaler Geröllstreifen auf dem Fronthang der vereinigten Wälle in Erscheinung tritt (vgl. z. B. HUMLUM 1983, Abb. 6). In drei Fällen, in denen eine derartige Entwicklung auch quantitativ verfolgt wurde, besaß der 2. Wall die 2- bis 3-fache Progressionsgeschwindigkeit des 1. Walles (Tab. 1).
- c) Die Entwicklung eines kleinen Speziallobus von ca. 10—20 cm Breite aus der Front oder Flanke des 1.

Lobus	Juli										August 1983					Mittel	V (cm)/ 30 d	
	2.	11.	19.	20.	22.	24.	27.	29.	31.	2.	3.	4.	5.	6.	7.			
I	A																	
	A								3 m vor B, inaktiv	—	—	—	—	—	—	—	—	
II	A				1,6	1,6	1,9	3,3	3,7	1,5	1,7	1,7	2,1	1,8			2,14	155
	B								6,0	2,6		B→A						
III	A				3,0	2,9	2,5	3,3	2,8	3,0	2,6	3,0	3,9	1,8			2,79	202
	A					*A	3,9	3,1	3,4	2,7	3,0	3,1	3,5	2,1			3,17	229
IV	A				3,2	5,5												
	B																	
V	A				3,3	3,4	1,9	1,6	3,7	4,3	1,3	2,8	3,5	1,8			2,76	199
	A										*A	0,0	0,0	0,0				
VI	B				1,4	2,2	1,2	1,2	0,0	0,5	0,0	0,0	0,9	0,3			0,92	66
	A				*A	3,2	1,8	0,0	0,0	0,0		*NL	3,9	1,2				
VII	B				3,0	2,9	2,0	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0				
	A						2,5	5,9	3,4	3,8	4,7	3,3	2,8	2,9			3,60	261
IX	A	3,3	3,5														3,43	247
	A				1,1	1,9	0,6	1,1	1,9	1,1	0,0	0,0	1,3	0,6			1,07	77
XI	A				0,0	0,0	0,0	0,0	NL	3,7	2,4	3,4	3,5	2,8			3,18	
	A				0,6	0,2	0,0	NL	3,6	2,0	2,4	2,2	3,7	2,0			2,65	191
XIII	A								*A	1,3	1,7	1,0	1,5	1,2	0,9		1,31	95
	B	3,4	3,7			2,9				3,7	B→A						3,36	242
XIV	A	3,7	0,8			2,0				5,0	3,0		3,8				2,67	192
	A	2,3	2,8			2,5				3,1		6,3		6,7			3,13	224
XVI	A											*A		2,1	B→A			
	B	4,6	2,8			3,0				5,2	7,2		5,5				4,05	292
XVII	A	1,2	2,5			0,9				0,0	0,0		0,0	B noch aktiv			1,53	110
	A	4,0	4,4			3,8				5,2		6,2		2,3			4,27	307
XIX	A	3,3	1,2			3,7				5,2		4,2					2,77	206

Tab. 1: Über verschiedene Zeitabschnitte gemittelte Progressionsgeschwindigkeiten in mm/h der frontalen Stauchwälle von 19 Loben (von SW nach NE) vor einem ca. 4,5 km langen Gletscherrand des Kötlujökull.
A (bzw. B) = 1. (bzw. 2.) Stauchwall zur Endzeit der Untersuchung. *A = Neubildung eines Walles vor der Lobennase. *NL = Neubildung eines Zweiglobus aus der Front oder Flanke des Hauptlobus. B→A = Überlappung und Vereinigung des 2. mit dem 1. Wall. Vorletzte Spalte: Mittlere Progressionsgeschwindigkeiten in mm/h für den gesamten Beobachtungszeitraum, in welchem der betreffende Lobus aktiv war. Letzte Spalte: Inter- bzw. extrapoliertes Vorschub in cm/30 Tage (nur für Loben mit nicht abklingender und länger beobachteter Aktivität).

Max. Meßfehler bei A-Wällen = 2 mm. Dieser entspricht für den min. Wert (L XII) $0,21 \pm 0,04$ mm/h, für den max. Wert (L XVI) $7,20 \pm 0,04$ mm/h. Max. Meßfehler bei Messung der Kammpression (nur bei wenigen B-Wällen) = 10 mm. Dieser entspricht für den min. Wert (L VII) $0,18 \pm 0,19$ mm/h, für den max. Wert (L I) $6,04 \pm 0,25$ mm/h.

Tab. 1: Rates of advance of the frontal push-moraines of 19 lobes (from SW to NE) in front of an approx. 4,5 km long margin of the Kötlujökull, averaged over different periods of time in mm/h.

A (resp. B) = 1. (resp. 2.) push-moraine at the end of the period of investigation. *A = genesis of a moraine in front of the lobe. *NL = genesis of a side-lobe from the front or the flank of the main lobe. B→A = amalgamation of the second with the first lobe. Second last column: Average rates of advance in mm/h during the period of investigation in which the lobe concerned was active. Last column: Inter- resp. extrapolated advance in cm/30 days (only for lobes with non declining activity over a longer period of time).

Max. error of measurement with A moraines = 2 mm. This corresponds to the min. rate (L XII) $0,21 \pm 0,04$, the max rate (L XVI) $7,20 \pm 0,04$ mm/h. Max error of measurement of advance of moraine ridges (only with few B moraines) = 10 mm. This corresponds to the min. rate (L VII) $0,18 \pm 0,19$ mm/h, the max. rate (L VII) $6,04 \pm 0,25$ mm/h.

Walles mit gleicher Progressionsrichtung, doch zeitweise größerer Geschwindigkeit.

- d) Eine Durchspießung oder ein Überfahren von Wällen und Moränenhängen der Loben durch Eisplatten höherer Relativgeschwindigkeit. Vor allem im Winter 1983/84 traten derartige, stets über der Basis gelegene Eisplatten vielfach unverhüllt an den Lobennasen hervor.
- e) Ein vollständiges oder partielles Erlahmen der Progressions- und Faltungsbewegung bis zur Inaktivität des gesamten Lobus. Inaktive Loben wurden bereits am Beginn der Untersuchungszeit vorgefunden. Bei 2 weiteren Loben traten die 1. Wälle in einer Entfernung von mehreren Metern vor den 2.

und einem ungestörten Vorland auf; sie zeigten keinerlei Bewegung mehr, während die 2. Wälle in der gesamten Untersuchungszeit aktiv blieben. Von allen auch quantitativ untersuchten Loben wurden 2 in der Untersuchungszeit nach einer generellen Verringerung ihrer Progressionsgeschwindigkeit inaktiv, zwei weitere Loben zeigen nach einer etwa 2-tägigen Bewegungslosigkeit eine geringe Reaktivierung und Progression. Das Erlahmen der Progression war sehr häufig verbunden mit offensichtlichen Austauprozessen von Eiskernen im Rücken der frontalen Wälle.

Den Progressionsmessungen im Sommer 1983 ist zu entnehmen, daß die mittl. Progressionsgeschwindigkeiten der ersten beiden Wälle sich zwischen 0 und 7,2 mm/h bewegten. Hierbei wurden maximale Vorschübe von 16 cm/Tag erreicht. Am häufigsten traten sowohl über längere wie auch über kurze Zeitabschnitte Mittelwerte zwischen 2 und 4 mm/h auf. Die Progressionsgeschwindigkeiten der Wälle können nach dem folgenden Abschnitt nur etwas geringer oder max. gleich denjenigen der verborgenen, schiebenden Eiskörper sein. Insgesamt darf jedoch angenommen werden, daß der Bewegungsablauf dieser Körper dem der Wälle annähernd entspricht. Abgesehen von den wenigen Fällen einer während der Untersuchungszeit absinkenden Progressionsgeschwindigkeit weist das Bewegungsbild der Wälle auf sehr kurzzeitige Bewegungsschwankungen ohne Überlagerung längerer Episoden oder Perioden. So ließen sich insbesondere keine Aktivitätsschwankungen erkennen, die alle Loben etwa in Korrelation mit den Großwetterlagen oder zu lokalen Wetterereignissen gleichzeitig betrafen, auch wenn es gewisse Hinweise auf solche Zusammenhänge gab (so zeigen die meisten Wälle des östlichen Gletscherrandes in einer sehr niederschlagsreichen Episode zwischen dem 29. 7. und dem 4. 8. besonders hohe Progressionsraten). Generell lagen jedoch die Progressionsraten der ersten Augustwoche 1983 in den gleichen Größenordnungen wie die am Beginn des Monats Juli. Andererseits jedoch ließen sich stets Loben mit hohen Progressionsraten von solchen mit niedrigen unterscheiden. Sie traten jedoch in gänzlich unregelmäßiger Folge am Gletscherrand auf, ließen sich also nicht bestimmten Gletscherabschnitten zuordnen. Die Variation der Mittelwerte zeigt nach Tab. 1 weiterhin i. a. über die längsten Zeitabschnitte (9 Tage) die gleichen Werte wie über die kürzesten von ca. 16 h.



Abb. 7: Faltenbildung vor einer geradlinigen Lobennase (L II). Stabhöhe: 26 cm.

Fig. 7: Formation of a fold in front of a rectilinear lobe-snout. Height the rod: 26 cm.

Bei den im Winter 1983/84 durchgeführten Untersuchungen an 3 Lobennasen waren die Sande des Vorlandes sowie die frontalen Wälle vereist, und über ihnen traten die Eiskörper des Gletscherfußes unverhüllt von Moränenmaterial zutage; die Progression dieser Eiskörper wurde unmittelbar gemessen. Hierbei ergab sich am Lobus IX (Tab. 1) eine mittlere Progressionsgeschwindigkeit von 1,2 mm/h, bei einem zweiten Lobus 2,9 und 2,3 mm/h und bei einem dritten 1,4 mm/h. Diese Messungen weisen somit auf eine zwar verminderte, jedoch nicht erloschene Aktivität und Progression der Loben bei mittl. Temperaturen unter 0° C. Der Fronthang des 1. Walles von Lobus IX unterlag während der winterlichen Untersuchungszeit einer anscheinend kontinuierlichen Versteilung bis zur Überkippung, so daß man nach den Strukturuntersuchungen der Wälle (s. u.) annehmen darf, daß sich hier die Entwicklung zu einer Isoklinalfalte vollzog. Legt man nach diesen Messungen für die aktivsten Loben einmal jährliche Durchschnittsgeschwindigkeiten von 3,5—4,5 mm/h zugrunde, so errechnet sich hieraus eine jährliche Progressionsrate, die deutlich über der jährlichen Progressionsrate des untersuchten Gletscherabschnittes liegt.

5. GLETSCHERFUSS UND GENESE DER STAUCHWÄLLE

Im Frontbereich von 9 Loben wurden eingehendere Grabungen durchgeführt, um die hier verborgenen Eiskörper freizulegen und ihre Beziehungen zu den Stauchwällen und Faltungsstrukturen sichtbar zu machen; kleinere Probegrabungen an weiteren Loben ergänzten diese Untersuchungen. Hierbei wurde insbesondere versucht, eine Vorstellung von der Ausdehnung und Form der Eiskörper sowie ihrer Verbindung untereinander und der zur Gletscherwand zu gewinnen.

Die Aufgrabung der frontalen Wälle ergab zunächst, daß im 1. Wall niemals ein Eiskern auftritt, häufig jedoch im 2. und spätestens im 3. oder 4. Wall. Unter dem 1. Wall wurden dagegen in einigen Fällen Eisplatten ergraben, in weiteren Fällen Tonhäutchen als Relikt ausgetauter Platten. Diese Eisplatten standen in keiner genetischen Beziehung zum 1. Stauchwall an der Lobennase, jedoch könnten sie die in Einzelfällen vor der Lobennase auftretenden inaktiven Wälle verursacht haben. Die weiteren Grabungen zeigten, daß im Nasenbereich der Loben mindestens ein, gewöhnlich jedoch mehrere übereinander gelegene (in einem Fall auch nebeneinander gelegene), von glaziären und glazifluvialen Sedimenten verhüllte und getrennte Eiskörper auftreten, die in einigen Fällen bis zur Gletscherwand verfolgt wurden, wo sie sich offenbar vereinigten. Bei größeren Aufgrabungen wurden in einem Falle 5, in einem anderen Fall 4 Eiskörper freigelegt (Abb. 8). Manchmal liegen sie auch punkt- oder abschnittsweise unmittelbar aufeinander. Häufig findet man zwischen ihnen von Schmelzwässern benutzte und erweiterte Hohlräume. Die tiefsten dieser Körper entsprechen den oben erwähnten Eisplatten, die hier stets 40—80 cm unter der Basis des 1. Walles gefunden wurden und die am weitesten in das Vorland hineingestoßenen Glieder des Gletscherfußes darstellen. Sie besitzen eine nahezu ebene und meistens fast horizontale Oberfläche sowie eine schneidenartige auslaufende Vorderkante, die gewöhnlich einen von den Frontwällen unabhängigen Verlauf zeigte (so wurden derartige Platten auch zwischen zwei Loben gefunden). Auch höher gelegene plattige

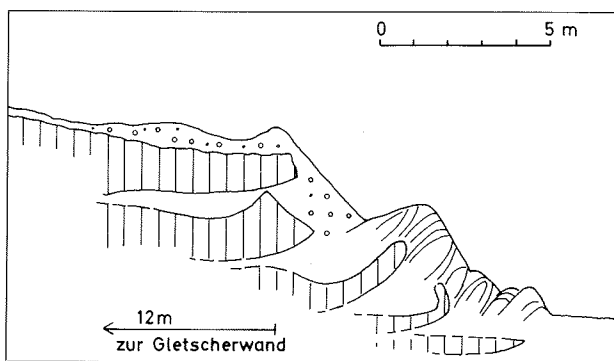


Abb. 8: Gletscherfuß (senkrechte Schraffur) im Frontbereich eines Lobus. Gestrichelt: Grenzen der Eiskörper nur vermutet.

Fig. 8: "Glacier-foot" (vertical hatching) in the frontal part of a lobe. Discontinuous lines: Presumed limits of the bodies of ice.

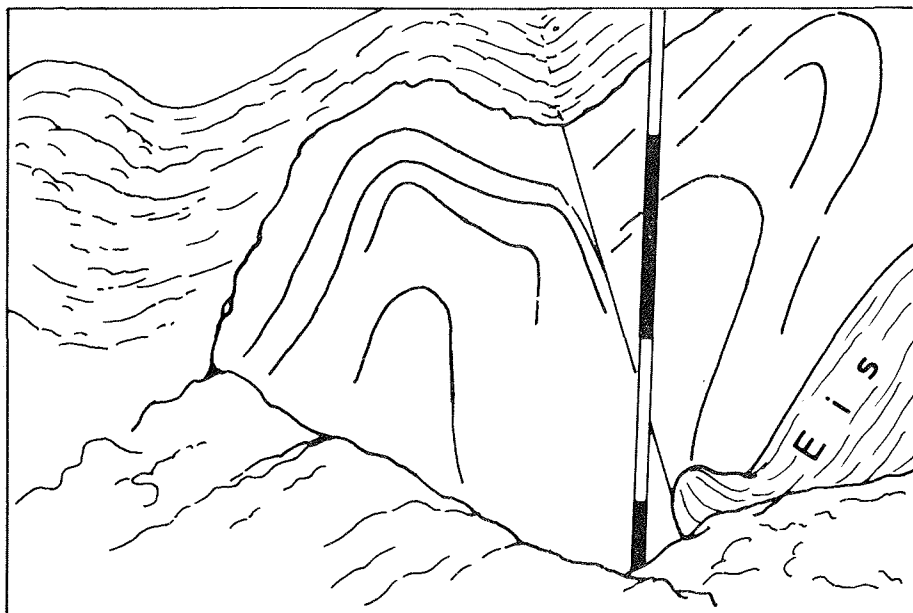
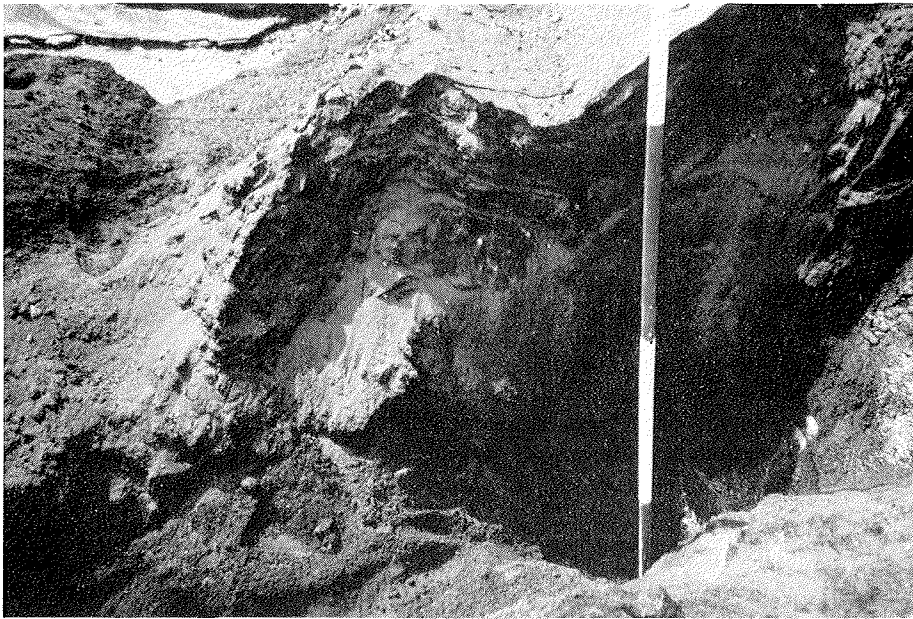


Abb. 9: Aufschiebung der proximalen Falte (des rechten Walles) auf die nächstjüngere (C→B). Der schiebende Eiskörper besitzt einen „Sporn“.

Fig. 9: Shifting of the proximate fold (of the right moraine ridge) onto the younger one (C→B). The shifting body of ice has a "spur".

Eiskörper können zwei oder mehr Loben miteinander verbinden und in diesen lediglich eine spezielle Ausbildung aufweisen. Meistens besitzen die höheren Eiskörper geringere Längen und treten schließlich — nur noch von einem geringen Moränenmantel verhüllt und flach gletscherwärts einfallend — im stufenartigen Aufbau der Loben unmittelbar in Erscheinung. Sie sind plattig bis stengelig ausgebildet und

zeigen bei aller auch durch Schmelzwassertätigkeit verursachten Formenvielfalt im Endabschnitt doch gewisse Charakteristika:

- a) Aufbiegungen vor allem plattenförmiger Körper, gelegentlich auch Ab- und Umbiegungen an Widerständen bis zur Bildung von Eisfalten unter Entwicklung von Hohlräumen,
- b) nahezu ebene, einige m breite und 1—4 m hohe Stirnflächen stengeliger Eiskörper, die 45—90° zum Vorland einfallen und meistens einen wenige cm vorragenden Wulst oder einen bis 2 m langen „Sporn“ an ihrer Basis besitzen. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß sich hier noch Ausschnitte der ehemaligen Gletscherwand widerspiegeln.

Bei allen diesen Körpern handelte es sich überwiegend um Weißeis mit nur geringsten Sedimenteinschlüssen. Nur in zwei Fällen wurde auch eingefrorenes Sand-Moränen-Material als Teil solcher Körper gefunden. Nach der Kinematik der Loben muß angenommen werden, daß sich die verschiedenen Glieder des Gletscherfußes im Frontbereich der Loben sowohl miteinander wie auch unabhängig voneinander bewegen.

Die in den Stauchwällen ergrabenen Eiskerne entsprachen stets Endabschnitten von Gliedern des Gletscherfußes, wobei die schiebenden Endflächen stets unter dem gletscherseitigen Wallhang lagen und hier höchstens bis unter dem Kamm reichten. Vor diesen Endflächen traten immer Faltenstrukturen auf, die in eindeutiger Beziehung zu ihnen standen. So enthielten evtl. hangende Sedimente keine Falten mehr bzw. solche standen in Beziehung zu höheren Eiskörpern. Gewöhnlich führten solche jedoch zu Eiskernmoränen ohne ausgeprägte Faltenstrukturen.

Die Anschnitte der Stauchwälle mit oder ohne Eiskern ergaben weiterhin, daß ein Stauchwall nicht nur einer Falte entsprechen, sondern sowohl mehrere Falten wie auch Überschiebungs- und Aufschiebungsflächen enthalten kann. Die einzelnen Falten zeigten je nach ihrem Entwicklungsstadium im gleichen System große Unterschiede nach Einengung, Symmetrie und Vergenz. Stets handelte es sich jedoch um annähernd kongruente Falten in Grobsand bis Schluffmaterial mit allerdings oft gestörtem Kern. Bei stärkster Einengung traten vollständige Brüche des Scheitels und Spitzfalten auf.

Diese Faltungstrukturen weisen im Zusammenhang mit der Kinematik der Wälle auf die folgende Genese der Stauchwälle: Der Vorschub der stauchenden Eiskörper erfolgt je nach ihrer relativen Position und Form sowohl als Intrusion in ein geschichtetes Sediment wie auch als Aufschiebung unter gleichzeitigen Aufbiegungstendenzen. Stets führt er neben Verstellungen evtl. hangender Sedimente zur Bildung einer Falte im vorgelagerten Material, die nach längerer Entwicklung und manchmal unter Spezialfaltenbildungen in einer der schiebenden Endfläche angeschmiegtene Isoklinalfalte endet. Vorher aber finden sukzessive weitere Faltenbildungen vor der ältesten etwa in der bereits beschriebenen Weise statt, wobei die jüngste und vorderste Falte zunächst zusammen mit der/den älteren über das Vorland geschoben wird, ohne daß es hier zu tiefergreifenden Störungen des Substrates kommt. Von einem gewissen Stadium an wird dann die jeweils ältere Falte auf die jüngste aufgeschoben, bis es zu einer Vereinigung der Wälle oder einer Stapelung der Falten kommt. Denn die dabei stets fortschreitende Einengung der Falten wird begleitet von einer generell fortschreitenden Vergenz, so daß mehrere vereinigte Wälle zuletzt ebensoviele nahezu liegenden Falten entsprechen können, wobei die Faltenachsenflächen der jüngeren Falten stets gletscherwärts einfallen. Die Überkippung der Falten bei fortschreitender Einengung hat eine Erosion ihrer Scheitel und daher eine auf den Fronthängen der entsprechenden Wälle nahezu senkrecht stehende Schichtung zur Folge, wobei widerständigere, feinkörnigere Schichten als etwaige Spur eines ehemaligen Faltscheitels oft aus diesen Hängen herausragen (Abb. 10). Insgesamt führen also diese Prozesse neben der Bildung stets neuer Falten vor der Lobennase zu einer Stapelung der älteren Falten in einem einzigen, immer höher anwachsenden Wall, wobei die Anzahl der eisfreien Stauchwälle bestimmt wird durch die Aufschiebungsgeschwindigkeit der älteren auf jüngere Wälle einerseits und der Bildung neuer Falten im Vorland andererseits.

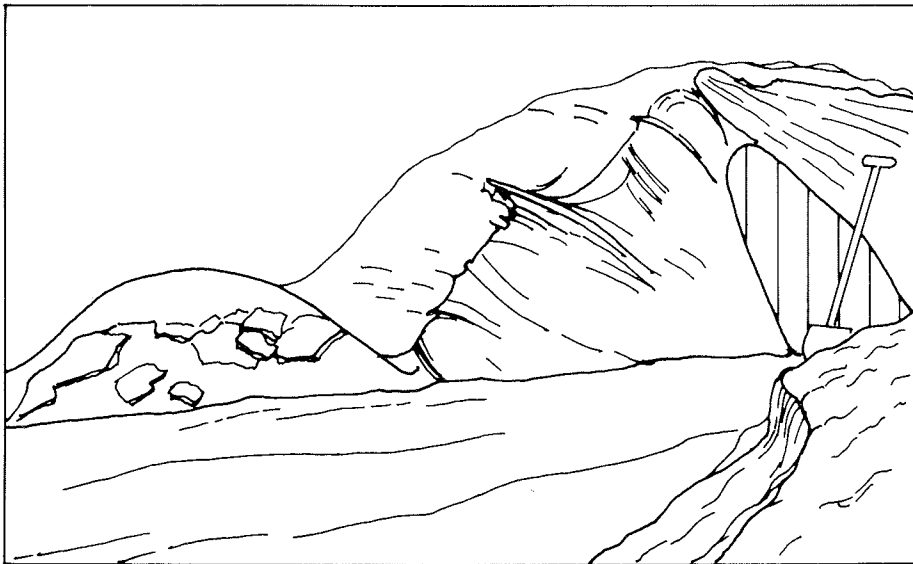


Abb. 10: Bildung einer Stapelmoräne durch eine sich aufbiegende Eisplatte (senkrechte Schraffur).

Fig. 10: Formation of a "pile-moraine" by a bending plate of ice (vertical hatching).

6. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Bildung der hier beschriebenen Stauchmoränensysteme 10 bis mehr als 60 m vor dem Gletscherabfall beruht also auf der Entwicklung eines aktiven Gletscherfußes, der aus Eismassen besteht, deren Progressionsgeschwindigkeit zeitweise und lokal diejenige der Gletscherwand übertrifft, die aus den basalen Abschnitten dieser Wand hervorstoßen und zum distalen Ende hin sich gewöhnlich in mehrere übereinander

liegende, plattige bis stengelige Eiskörper aufspalten. Diese bewegen sich zeitweise unabhängig voneinander, wobei in einer Anfangsphase offensichtlich die Progression von oben nach unten zunahm. Später schieben sich auch oft hangende Platten über liegende. Dieser mehrgliedrige und bei höherer Temperatur durch austauende Moräne weitgehend verhüllte Gletscherfuß unterliegt nicht nur vertikal, sondern auch horizontal differentiellen Progressionsbewegungen, die nicht nur auf unterschiedliche Schmelzprozesse und Widerstände am Gletscherrand zurückgeführt werden können, sondern offenbar auch auf einer differentiellen Dynamik des unteren Gletscherbereiches selber beruhen. Erst hierdurch kommt es zu den lokalen Lobenbildungen an spezifischen Progressionsachsen.

Die zur Zeit am progressiven Rand des Kötlujökull auftretenden glaziären Prozesse sind aus den heutigen Modellvorstellungen zur Kinematik eines Gletschers mit zur Basis abnehmender Progressionsgeschwindigkeit (z. B. NYE 1952, 1959; PATERSON 1969) kaum abzuleiten. Andererseits muß nach der Frontverteilung und Beobachtung einer an (oft eng gescharten) Bewegungsflächen von unten nach oben wachsenden Progressionsgeschwindigkeit eine generelle Eisbewegung etwa als „extrusions flow“ mit zur Basis wachsender Geschwindigkeit weitgehend ausgeschlossen werden. Nach GLEN (1955) und NYE (1957) ist jedoch die Verformungsrate von Gletschereis u. a. der hangenden Eissäule (oder Belastung) und dem Neigungswinkel der Gletscheroberfläche annähernd in der 3. Potenz proportional. Hiervon würden also vor allem die basalen Lagen eines steilen Gletscherabfalles betroffen. Eine wichtige Rolle dürften hierbei auch die Eistemperaturen spielen, die am Gletscherrand des Kötlujökull im Sommer nur wenig unter dem Schmelzpunkt liegen können. Das Maß von quasi-plastischen Verformungsmöglichkeiten selbst bereits aus der Gletscherwand herausgetretener, jedoch bei ihrer Progression auf ein Hindernis gestoßener Eiskörper wurde im Juli 1983 an glaziären Stauchfaltenbildungen solcher Körper deutlich. Es wird daher vermutet, daß es bei der Überschreitung bestimmter kritischer Werte von randlichen Gletschermächtigkeiten, Abfallwinkeln und Temperaturen zu quasi-plastischen, primär vielleicht bauchigen Ausbrüchen von Eismassen aus der basalen Gletscherwand kommen kann und die in den distalen Teilen der Gletscherfüße auftretenden Trennungs- und Bewegungsflächen lediglich die Reaktion des hier nicht mehr unter Druckbelastung stehenden Eises auf die im unteren Gletscherbereich wirkenden Kräfte und Bewegungen darstellen.

Die oben beschriebene Genese der vor dem Gletscherfuß auftretenden Stauchwälle führt im Endergebnis also zu einer Folge von 2—4 frontalen, gletscherwärts einfallenden und durch Aufschiebungsflächen getrennte „Schuppen“, die sowohl vergentete Falten in unterschiedlichem Entwicklungsstadium wie auch Stapelmoränen im Sinne von BÜLOW (1955) entsprechen; Sie umfassen zwei oder mehr vergentete und wiederum durch Aufschiebungsflächen getrennte Isoklinalfalten. Die gletscherwärts ansteigende Kammhöhe der Wälle wird durch die in dieser Richtung wachsenden Kammhöhen der Falten, mehr noch aber durch die wachsende Anzahl der in den Stapelmoränen inkorporierten Falten verursacht, die steileren Fronthänge durch die gletscherwärts einfallenden Faltenachsenflächen (mit Ausnahme der ältesten und proximalen Falte). Das Erscheinungsbild der „Verwerfungsfalten“ wurde von GRIPP (1929) und TODTMANN (1932) von Stauchmoränensystemen auf Spitzbergen beschrieben. Vor allem aber entspricht die Genese dieser Strukturen offenbar sehr weitgehend den Ergebnissen der experimentellen Versuche von KÖSTER (1957, 1960) zur Bildung einer Stirnstauchmoräne.

Eine Überraschung bei den Untersuchungen am Gletscherrand des Kötlujökull stellte jedoch die Möglichkeit von Faltenentwicklungen und Deckenabscherungen bis 3 m vor dem schiebenden Wall in den sommerlichen Hochsandern des Gletschervorlandes dar, da diese lockeren mittel- bis grobkörnigen Sande sich eigentlich inkompetent sowohl gegen jene wie auch gegen diese Prozesse verhalten sollten. So konnten die hier beobachteten glazitektonischen Prozesse lediglich auf eine schwache Krustenbildung von 2—5 cm Dicke an der Oberfläche jener Sande zurückgeführt werden. Die äußerste Einengung und Überkipfung der Falten ist jedoch vermutlich nur bei durchfrorenen Sanden und in kälteren Jahreszeiten möglich.

Relikte von alten Wallsystemen der hier beschriebenen Art wurden auf dem großen Moränenareal vor

dem südöstlichen Gletscherrand gefunden. Hier treten zwischen der nach 1910 vom Gletscher verlassenen Hauptendmoränenzone und einem 1955 oder kurz davor entstandenen inneren Endmoränengürtel parallele (z. T. sich überlappende), mondsichelförmige oder kurze gerade und in den vergangenen Jahren bis ca. 1 m hohe Einzelmoränen auf, die nach ihren Dimensionen, Formen, Positionen zum Gletscher und dem stets steileren Fronthang auf Lobenbildungen vor einem ehemaligen progressiven Gletscherrand zurückgeführt werden müssen, auch wenn eine eingehende Untersuchung noch aussteht.

Bei einer generellen Regression des Kötlujökull und einem Austau des derzeitigen Gletscherfußes sollten sich hinter den frontalen Stauchwällen mit gletscherwärts ansteigender Kammhöhe diesen etwa parallele Moränen- bis Sandwälle mit undeutlicherer Formenausprägung und gletscherwärts abnehmender Kammhöhe bilden. Wenn sich daher auch die derzeit vor dem Kötlujökull bildenden Wallsysteme nach ihren Dimensionen keineswegs mit den pleistozänen Stauchmoränensystemen Norddeutschlands vergleichen lassen, ergibt sich u. a. nach Formen und Aufbau doch eine weitgehende Übereinstimmung mit dem eingangs angesprochenen Typ. Es müßte weiterhin die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß sich auch vor den pleistozänen Großloben mit höheren randlichen Eismächtigkeiten und vor allem vermutlich einer tieferen Gletscherbasis bei Überschreitung kritischer Abfallwinkel und Temperaturen aktive Gletscherfüße größeren Ausmaßes entwickelt haben könnten. An der Bildung von Stauchmoränensystemen könnten sie in durchaus unterschiedlicher Weise beteiligt sein, fast immer aber sollte sich hierdurch die Anzahl der Wälle und die Komplexität der Systeme auch bei einem einmaligen Gletschervorstoß erhöhen, fast immer von einem höchsten Stauchwallkamm die Kammhöhe gletscherwärts generell wieder abnehmen und diese Wälle nur noch selten und wenig ausgeprägte glazitektonische Strukturen aufweisen, häufiger dagegen Sedimentverstellungen durch ausgetautes Toteis.

DANKSAGUNG

Der Deutschen Forschungsgemeinschaft danke ich für die großzügige finanzielle Unterstützung der Untersuchungskampagne 1983, meinen Mitarbeitern H. Pich und A. Glahn für die sehr gute Zusammenarbeit und den nie nachlassenden Einsatz. Ganz besonderer Dank gebührt weiterhin meiner Mitarbeiterin B. Becker und ihren Helfern Reynir Ragnarsson/Vik und A. Becker, die im Winter 1983/84 dreimal durch Schneemassen und Schneestürme bis zum Gletscher vordrangen und damit dazu beitrugen, eine mir wichtige Frage zu beantworten.

Literatur

- B a n h a m , P. H. (1975): Glacitectonic structures: a general discussion with particular reference to the contorted drift of Norfolk. — In: A. E. Wright & F. Moseley, Ed., *Ice Ages: Ancient and Modern*, 69—94, Liverpool.
- B ü l o w , K. v. (1955): Stapelmoränen und Untergrund im Norddeutschen Jungdiluvium. — *Geologie* 4: 3—14.
- G l e n , J. W. (1955): The creep of polycrystalline ice. — *Proc. R. Soc., Ser. A*, 228: 519—538.
- G r i m m e l , E. (1976): Bemerkungen über Stauch-„End“moränen. — *Eiszeitalter & Gegenwart* 27: 69—74.
- G r i p p , K. (1929): Glaziologische und geologische Ergebnisse der Hamburgischen Spitzbergen-Expedition 1927. — *Abh. naturw. Ver. Hamburg* 22: 147—249.
- G r i p p , K. (1979): Glazigene Preß-Schuppen, frontal und lateral. — In: Ch. Schlüchter, Ed., *Moraines and Varves*, Proc. INQUA Symp. on Genesis and Lithology of Quaternary Deposits, Zürich, Sept. 1978: 157—166, Rotterdam.
- G r i p p , K. (1981): Der Verlauf der Würm-Vereisung in der Senkungszone am Südrand Skandinaviens. — *Meyniana* 33: 9—22.
- H e i m , D. (1983): Glaziäre Entwässerung und Sanderbildung am Kötlujökull, Südisland. — *Polarforschung* 53 (1): 17—29.
- K e i l h a k , K. (1922): Die Staumoräne bei Guben. — *Jb. preuß. geol. Landesanstalt* XLI: 88—120.
- H u m l u m , O. (1983): Dannelsen af en disloceret randmoraene ved en avancerende isrand, Höfdabrekkujökull, Island. — *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1982*: 11—26.
- K ö s t e r , R. (1957): Schuppung und Faltung im glazitektonischen Experiment. — *Geol. Rdsch.* 46: 564—571.
- K ö s t e r , R. (1960): Zur experimentellen Darstellung glaziärer Stauchmoränen. — *Freib. Forsch.-H.*, C 80: 58—86.
- K r ü g e r , J. (1983): Glacialmorphologie and deposits in Denmark. — In: J. Ehlers, Ed., *Glacial Deposits in North-West Europe*, 181—192, Rotterdam.
- N y e , J. F. (1952): The mechanics of glacier flow. — *J. Glaciol.* 2: 82—93.
- N y e , J. F. (1957): The distribution of stress and velocity in glaciers and ice sheets. — *Proc. R. Soc., Ser. A* 239: 113—133.
- N y e , J. F. (1959): The motion of ice sheets and glaciers. — *J. Glaciol.* 2: 493—507.

P a t e r s o n , W. S. B. (1969): The physics of glaciers. — Oxford.

S t e p h a n , H. - J. (1984): Deformations striking parallel to glacier movement as a problem in reconstructing its direction. — Bull. Geol. Soc. Denmark (im Druck).

T o d t m a n n , E. M. (1932): Endmoränenbildungen in Spitzbergen und ihre Bedeutung für die Formen der diluvialen Endmoränen. — Jb. u. Mitt. Oberrh. Geol. Ver. XXI: 1—11.