

**F R I C T I O N A T T H E B A S E
O F A G L A C I E R**

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY ZURICH

for the degree of
Doctor of Natural Science

presented by

Jürg Schweizer
dipl. Natw. ETH Zürich
born August 3, 1960
citizen of Schönholzerswilen (TG)
and Buhwil (TG)

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. D. Vischer, examiner
Prof. Dr. St. Müller, co-examiner
Dr. Almut Iken, co-examiner

Abstract

The motion of glaciers and ice sheets due to gravity consists of two components: the flow and the sliding motion. The flow of an ice mass is the internal deformation. The sliding is the motion at the interface between ice mass and substratum existing only if the temperature at the interface is at the pressure melting point. The roughness of the glacier bed prevents the ice mass from slipping away: the ice is forced to flow around the bed obstacles. The classic theories usually assume that this sort of motion occurs in a frictionless way, since a very thin water film does exist between ice and underlying substratum, i.e. there is no local shear stress. This assumption may be true for clean ice, however, basal ice is debris loaden and friction occurs between the substratum and rock particles embedded in the basal ice, as can be seen from striaes on rock bumps.

The aim of this study is to investigate the influence of debris concentration on the sliding process. The actual conditions where certain types of friction apply are defined and the consequences for the sliding law are formulated. The classic Coulomb friction is modified according to the notion that a glacier is rubbing over its bed like a piece of sandpaper. For small debris concentrations the concept of Hallet applies where the friction depends on the sliding velocity. Hence a numerical approach is required. The numerical modelling of the sliding of an ice mass over an undulating bed, including the effect of both the subglacial water pressure and the friction, is done by solving the problem by the finite element method using an existing two-dimensional code.

Friction between a dirty basal layer and the glacier bed is a relevant process and can be seen as a reduction of the driving shear stress. The frictional drag can therefore be included into existing sliding laws which should contain as an important variable the critical pressure. A functional relationship between the sliding velocity, the effective basal shear stress and the subglacial water pressure is given. Considering the seasonal velocity variations, valley glaciers

may be classified according to the glacier bed characteristics and probably vice versa. A more detailed classification and the simulation of the dynamic movement of an actual glacier are two possible directions of further investigations outlined.

Zusammenfassung

Die Bewegung der Gletscher und Eisschilder beruht auf der Schwerkraft. Man unterscheidet das Fliessen und das Gleiten. Mit Fliessen bezeichnet man den Vorgang der internen Verformung. Ist die Temperatur am Grund des Gletschers gleich dem Druckschmelzpunkt, so beginnt das Eis über den Untergrund zu gleiten. Die Rauhgigkeit des Gletscherbettes verhindert, dass der Gletscher abstürzt, da das Eis die Unebenheiten umfliessen muss, so dass eine in der Regel gleichförmige Bewegung entsteht. In den klassischen Theorien wird davon ausgegangen, dass die Gleitbewegung reibungsfrei sei als Folge eines Wasserfilms zwischen Eis und Untergrund. Somit existiert lokal gesehen keine Scherspannung, was unter Umständen bei sauberem Eis zutrifft. Tatsächlich aber ist das basale Eis eine geschichtete Mischung aus Eis und Felspartikeln. Schliffspuren auf Felsbuckeln zeugen von der Reibung zwischen dem felsigen Untergrund und im Eis eingefrorenen Steinen.

Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss unterschiedlicher Schuttkonzentrationen des basalen Eises auf die Gleitbewegung zu untersuchen. Verschiedene Arten der Reibung werden charakterisiert, und es werden die Auswirkungen auf das Gleitgesetz besprochen. Die Coulomb-Reibung wird modifiziert im Hinblick auf die Idee, dass der Gletscher wie ein Stück Sandpapier den felsigen Untergrund abschmirgelt. Für geringe Schuttkonzentration wird das Modell von Hallet verwendet: die Reibung hängt von der Gleitgeschwindigkeit ab. Somit drängt sich eine numerische Behandlung auf. Mit der Methode der finiten Elemente wird das entstehende Differentialgleichungssystem zur Simulation der Gleitbewegung gelöst, wobei verschiedene Parameter wie Schuttgehalt und subglazialer Wasserdruck, die das Gleiten beeinflussen, variiert werden können.

Die Reibung erweist sich als ein für die Gleitbewegung massgeblicher Faktor. Die Wirkung der Reibung kann durch die Einführung einer verminderten, effektiven Scherspannung berücksichtigt werden. Auf diese Weise lassen sich die für reines Eis gültigen Gleittheorien formal auf den Fall schutthaltigen Eises übertragen. Ein funktionaler Zusammenhang zwischen der

Gleitgeschwindigkeit, der basalen Schuttkonzentration und dem subglazialen Wasserdruck bei gegebener Schubspannung wird ermittelt. Aus der Art der saisonalen Schwankungen der Oberflächengeschwindigkeit von Talgletschern lassen sich Rückschlüsse ziehen auf die Natur des Untergrundes und die Art der Reibung. Eine detailliertere Klassifikation und die Simulation der dynamischen Bewegung eines bestimmten Gletschers sind mögliche zukünftige Forschungsvorhaben.