

8. Der Berg Luppjo.

Eine Studie über Klüftung und Glazialskulptur.

Von

Ivar Högbom.

Vielleicht bieten sich nirgends in Fennoskandia so gute Gelegenheiten dar, die Klüftungserscheinungen der Granite zu studieren, wie im Graniterrain beiderseits des Torneflusses in der Nähe von Övertorneå. Die ungewöhnlich ausgeprägte und regelmässige Klüftung tritt hier besonders vorzüglich in den vom Meere während der postglazialen Landhebung freigespülten Bergen hervor, und stufenförmig angeordnete Steilwände und Absätze zeigen, wie bedeutsam die glaziale Losbrechungsarbeit für die Oberflächengestaltung dieser zerklüfteten Felsen gewesen ist. Es ist besonders die letztgenannte Erscheinung und damit verbundene Fragen, die ich hier mit einigen Beobachtungen vom Berge Luppjo zu beleuchten beabsichtige.

Die Berge in der Gegend von Övertorneå erreichen im allgemeinen eine Höhe von 170–230 m, so dass sie in ihren höheren Teilen entweder ganz oder nur mit Ausnahme einer an den Gipfeln erhaltenen Moränenkalotte durch die ehemaligen Meeresbrandungen freigespült worden sind. Die höchste nacheiszeitliche Meeresgrenze erreicht nämlich in dieser Gegend etwa 210 m über dem jetzigen Meeresniveau. Sie ist z. B. 203 m an dem altberühmten Berge der Mitternachtssonne, Avasaksa, gegenüber Torneå auf der finnländischen Seite, und 211 m am Paljakkavaara, auf der schwedischen Seite und etwas südlicher gelegen.¹ Der am weitesten gegen Süden vorgeschobene Berg Luppjo (finnisch Luppjovaara) mit einer Höhe von 192 m ist vom Meere ganz überflutet gewesen, und da er ausserdem eine sehr exponierte Lage hat, ist der obere Teil des Berges vollständig von der bedeckenden Moräne befreit worden und deshalb auch waldlos oder nur mit vereinzelter Kiefern bewachsen. Schon aus der Ferne zieht Luppjo, wenn man vom Süden kommt, die Aufmerksamkeit auf sich. Die regel-

¹ OTTO SJÖGREN, Marina gränsen i Kalix och Tornedalarna. Geol. Fören. Förh., Bd 27. Stockholm 1905.

mässige Bankung dieses Berges ist schon von S. G. HERMELIN¹ beschrieben, und seither ist der Berg von verschiedenen Reisenden erwähnt worden; unter diesen hat SVENONIUS² auch Beobachtungen über die Richtungen der Kluftsysteine und die Höhen der Treppenstufen mitgeteilt. Der Berg ist auch mit seinen festungsähnlich aufsteigenden Abstufungen, wie durch die prächtige, von dem Gipfel sich darbietende Aussicht eine sehr empfehlenswerte, touristische Sehenswürdigkeit.

Als ich während einer Rückreise aus dem nördlichen Lappland vor einigen Jahren diesen Berg besuchte, erweckten die Klüftungserscheinungen



Fig. 1. Luppjo von NW gesehen. Tornefluss im Hintergrund.

mein Interesse und ich widmete denselben einige Tage. Meine dabei gemachten Beobachtungen haben die folgende Darstellung veranlasst. Leider hatte ich keine Gelegenheit meine Studien weiter auszudehnen, nur ein paar der nächstliegenden Berge konnte ich besuchen. Für die hier unten behandelte Frage, die Bedeutung der Verklüftung für die glaziale Skulptur und Morphologie, bietet aber Luppjo, dank der exponierten Lage und der kräftigen Losbrechungsarbeit des Inlandseises, der dieser Berg ausgesetzt war, sicherlich die besten Beobachtungsmöglichkeiten dar.

¹ S. G. HERMELIN, *Försök till mineral historia öfver Lappmarken och Vesterbotten*. Stockholm 1804.

² F. V. SVENONIUS, *Bidrag till Norrbottens geologi*. Stockholm 1880.

Luppio und die Nachbarberge (Avasaksa u. a.) gehören einem postkalevischen Granitgebiete an, das auf der finnländischen Seite der Reichsgrenze durch die Geologische Landesuntersuchung Finnlands kartiert worden ist. In der die Karte begleitenden Beschreibung hat V. HACKMAN¹ den hierher gehörigen Granit mit seinen Abarten beschrieben. Seine Charakteristik passt im Ganzen auch auf den Granit des Luppioberges. Dieser Granit ist ein voll mittelkörniger, blassroter oder mitunter etwas gelblicher, ganz massiger Biotitgranit. An einigen Stellen kann man eine undeutliche Schlierigkeit, von welcher die Klüftung aber unabhängig verläuft, be-



Fig. 2. Marine Grenze am Paljakkavaara. Im Vordergrunde freigespülter Felsengrund; rechts bis an die unverletzte Moräne reichend. Links ein vom Meereseis zusammengeschiebener Blockwall; im Hintergrund ein Teil einer zweiten, bewaldeten Moränenkalotte.

obachten. Vorherrschend unter den Gemengteilen ist Kalifeldspat mit ungleichmässiger und gewöhnlich nicht sehr deutlicher Gitterstruktur, die durch Druckwirkungen hervorgerufen zu sein scheint. Mikroperititische Albitschnüre sind allgemein, aber ungleichmässig verteilt. Vereinzelte Mikroklinkörner sind etwas porphyrisch entwickelt. Oligoklas und Quarz sind in etwa gleicher Menge vorhanden. Jener zeigt oft schwach gebogene Zwillingslamellen, die durch Umwandlung getrübt sind. Myrmekitische Zusammenwachsungen kommen spärlich vor. Vereinzelte im Mikroklin

¹ V. HACKMAN, Sektionerna Rovaniemi, Torneå, Över-Torneå. Beskrivning till bergartskartan. Helsingfors 1914.

eingeschlossene Oligoklaskörner haben einen scharf hervortretenden zonalen Bau. Der Quarz zeigt stark undulöse Auslöschung und z. T. Quetschung, so dass die ursprünglichen Körner in ungleich orientierte Felder geteilt erscheinen. Ausser Biotit kommt untergeordnet etwas Muscovit vor. Unterhalb der grossen Absätze, dort, wo auf der Karte ein Blockstreifen markiert ist, tritt eine dunkel-braunrote Abart des Granits auf, eine etwa 30 m breite Schliere im herrschenden Granit bildend. Er ist etwas feinkörniger als dieser und der Biotit ist chloritisiert. Übrigens weicht dieser Granit von dem herrschenden Granit durch seine Klüftung ab, indem er



Fig. 3. Seitenansicht des Luppjo von NNO gesehen. Steilabsätze und seitliche Blockgürtel.

in kleine rombische Stückchen zerfällt, an denen besonders die Vertikalverklüftung hervortritt.

Eine ausgeprägte und regelmässige Klüftung, entweder mehr quaderförmig, wie am Luppjo, oder plattenförmig, wie am Paljakkavaara, scheint für die petrographisch sehr homogenen, postkalevischen Massive beiderseits der Reichsgrenze im nördlichen Finnland und Schweden auszeichnend zu sein. P. GEIJER¹ hat darüber in seiner Beschreibung des Nautanengebietes Angaben verschiedener Verfasser angeführt, die nebst seinen eigenen Beobachtungen die allgemeine Verbreitung dieser Erscheinung bezeugen. Die Genesis der Klüftung bietet auch demselben Forscher Gegenstand zu einigen Betrachtungen, die den Ursprung der Klüftung in

¹ P. GEIJER, Nautanenområdet. Sveriges Geol. Unders. Årsbok 11. Stockholm 1918.

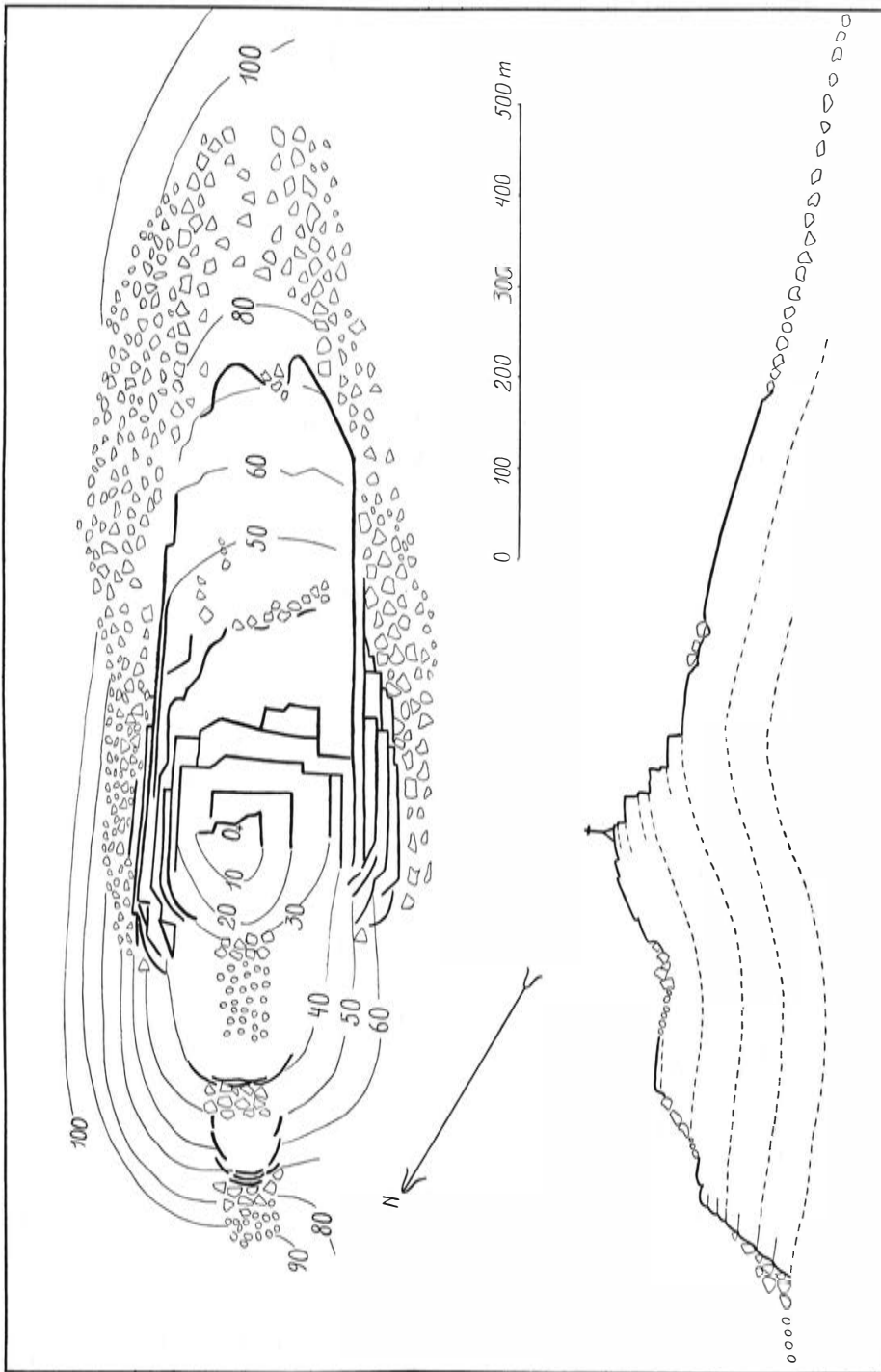


Fig. 4. Kartenskizze und Längsprofil des Berges Luppio. Die Höhenkurven der Karte bezeichnen Meter unter dem Gipfel. Die gestrichelten Linien des zweimal überhöhten Profils markieren den Verlauf der Horizontalklüfte.

tektonischen Kompressionsspannungen suchen wollen. Wegen des allgemeinen Vorherrschens der Horizontalklüftung bin ich geneigt, dem Belastungsdruck eine entscheidende Rolle bei der Entstehung dieses Kluftsystems zuzuschreiben, im Übrigen aber will ich, sofern mein recht unzureichendes Beobachtungsmaterial reicht, mich der Meinung Geijers anschliessen. Für die hier behandelte Frage von dem Zusammenhange zwischen Klüftung und Morphologie ist die Genesis der Klüftung indessen ohne Belang, soweit man sie nicht als während oder nach der Vereisung durch exogene Einflüsse entstanden betrachten will. Im Ganzen scheinen



Fig. 5. Klüftung und Absätze südlich vom Gipfel, Luppio.

aber die Meinungen darüber übereinzustimmen, dass eine solche Deutung nicht stichhaltig sein kann. Nur eine Erweiterung oder Auflockerung schon existierender Kluftfugen in den oberflächlichsten Teilen der Berge durch klimatische Einflüsse darf angenommen werden. Unter solchen Umständen ist es wahrscheinlich, dass die Klüftung dieser Berge, wenn sie den Angriffen des Landeises ausgesetzt wurden, im Ganzen nicht viel von derjenigen, welche jetzt an denselben zum Vorschein kommt, abwich.

Die Karten und das Profil sowie die photographischen Aufnahmen, die hier reproduziert sind, geben eine Vorstellung von der Form und den Klufrichtungen, sowie von den Details im Aufbau des Luppio. Der obere Teil des 192 m hohen Berges bildet, wie aus der Karte Fig. 4 zu sehen ist, einen in etwa NW—SO ausgezogenen Rücken mit schroff aufsteigen-

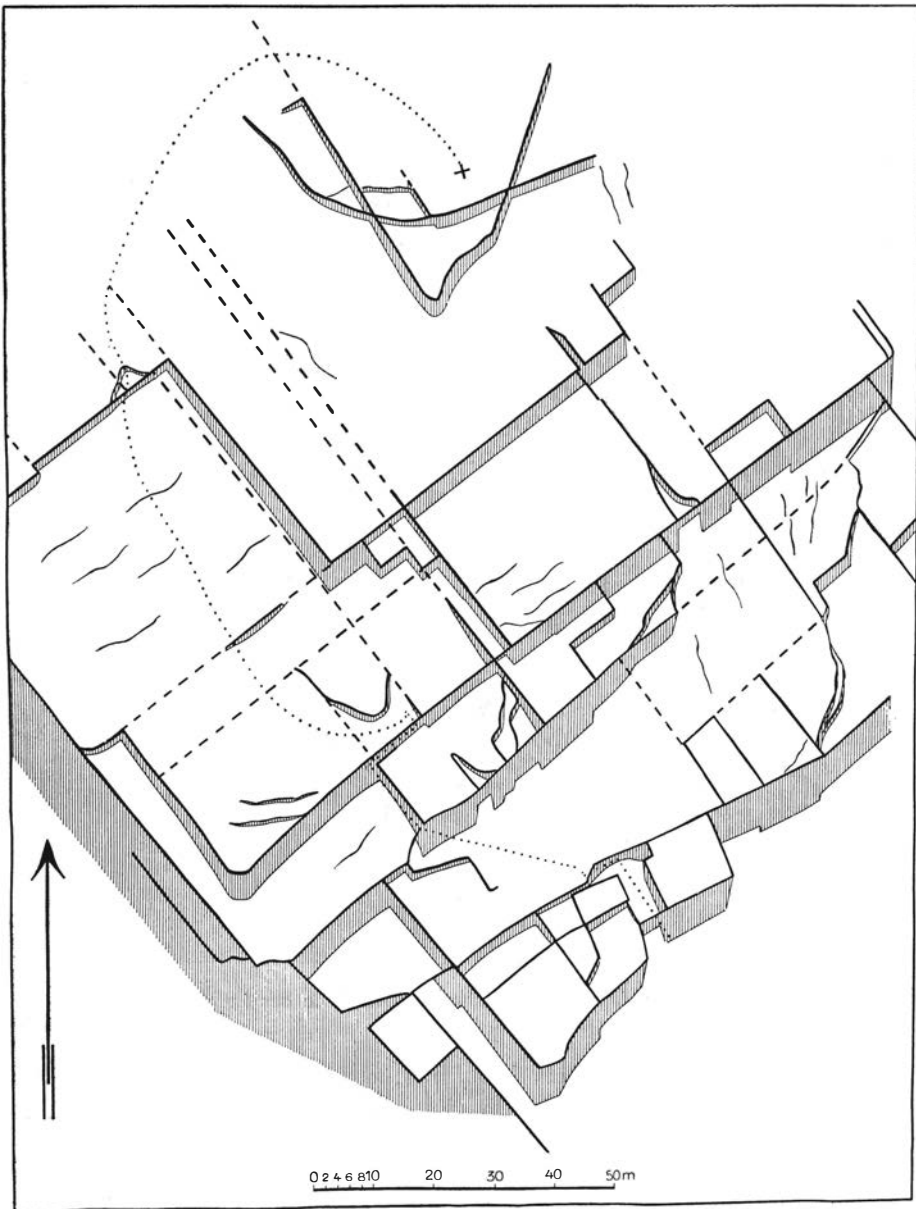


Fig. 6. Detailkarte der oberen Partie des Berges Luppio, SO vom Gipfel, die grösseren Kluftlinien und Treppenstufen zeigend. Die Höhen der Treppenstufen werden ungefähr durch die Schraffierung bezeichnet, welche den Schatten der Steilwände auf die annähernd horizontalen Bänke bei einer gedachten, nördlichen Beleuchtung von etwa 45° Höhe entspricht. Die gestrichelten Linien bezeichnen grössere Kluftspalten. Die punktierte Linie markiert den bequemsten Aufstieg zum Gipfel, der durch ein Kreuz bezeichnet ist.

den Seiten, einem flach abfallenden Südende und einem steileren Nordende (vgl. Profil Fig. 4). Die niedrigeren Böschungen des Berges sind durch Moräne wie durch heruntergefallene Blöcke, Uferschotter und andere Abtragungsprodukte aus den höheren Teilen bedeckt und sind im Gegensatz zu den höheren Teilen waldbekleidet (Fig. 3). Aus den Karten und dem Profil geht hervor, dass man mit drei einander unter annähernd rechten Winkeln sich kreuzenden, — nämlich einer horizontalen und zwei vertikalen, im Verhältnis zum Berge, längs- bzw. quergerichteten — Klufrichtungen zu rechnen hat. Die der Kürze wegen als horizontal bezeich-



Fig. 7. Steilabsätze der südwestlichen Seite des Luppio.

nete Klüftung ist, wie aus dem Profil Fig. 4 zu sehen ist, eigentlich flach undulierend und erreicht an der Nordseite des Gipfels sogar bis 25° Abweichung vom Horizont. Die Oberfläche des Berges fällt auf lange Strecken mit dieser Klufrichtung zusammen, die sich ausserdem in einer mehr oder weniger plattenförmigen Bankung und in den treppenartigen Absätzen kundgibt (vgl. Figg. 3, 5, 8). Die Mächtigkeit der Bänke wechselt innerhalb ziemlich weiter Grenzen, ohne dass man irgendeine Regelmässigkeit oder eine Ab- oder Zunahme gegen die Tiefe zu beobachten kann. Als ein Mittelwert dürfte etwas mehr als ein halber Meter gelten können, als Grenzwerte etwa 1 dm und 2 m. Auf dem naheliegenden Berge Paljak-kavaara ist die Dicke der Bänke durchgehends geringer (vgl. Fig. 9).

Unter den vertikalen Klufrichtungen ist die mit der Ausdehnung des Berges zusammenfallende im Allgemeinen, sowohl durch die an den horizontalen Flächen auftretenden Spalten als in den Steilabsätzen, mehr hervortretend. Es ist indessen zweifelhaft, ob ein primärer Unterschied betreffs der Ausbildung der zwei Klufrichtungen vorhanden ist. Es handelt sich wahrscheinlich nur um einen scheinbaren Unterschied, dadurch bedingt, dass einerseits die Klüfte des längsgehenden Systems länger verfolgt werden können, andererseits das Landeis an diesem System grössere Angriffsmöglichkeiten gehabt hat, als an dem zu der Eisbewegung quer-

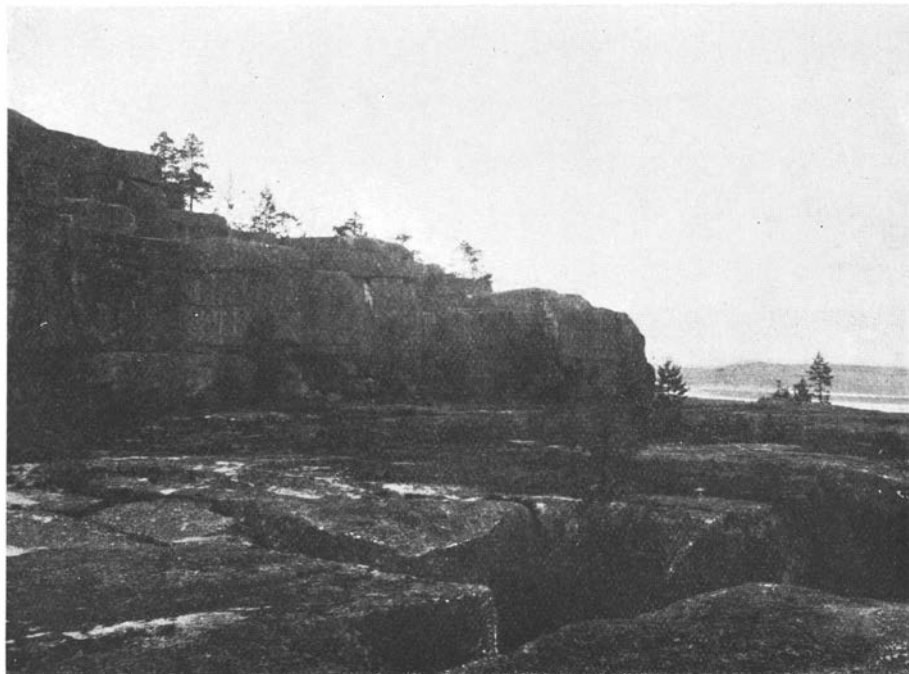


Fig. 8. Steilabsatz, den Querklüften folgend, südöstlich vom Gipfel. Luppio.

gestellten System. Einzelne von den längsgehenden Spalten wurden mehr als 100 m verfolgt, eine noch grössere Länge besitzen sowohl mehrere längsgehende Steilwände als auch wenigstens eine quergehende Steilwand. Ein Unterschied der zwei Systeme kann auch betreffs ihrer Fortsetzung in die Tiefe nicht konstatiert werden. Es wurden in beiden Systemen Spalten beobachtet, welche bis 20 m tief die Bänke durchsetzen.

Die mittlere Richtung der längsgehenden Kluftlinien ist etwa $N 35^{\circ} W$ und die Abweichung geht, wenigstens im obersten Teil des Berges, nicht über 5° . Auch von der vertikalen Richtung ist die Abweichung gewöhnlich geringfügig, erreicht jedoch mitunter bis 10° . Die Abweichungen scheinen überwiegend nach aussen von der Mittellinie des Bergrückens

gerichtet zu sein. An einigen Stellen kann man eine kleine Verschiebung der Spaltrisse bemerken, wo sie Horizontalspalten überqueren; die Regel ist aber, dass die vertikalen und horizontalen Klüfte einander ohne Ablenkung kreuzen.

Wie aus der Detailkarte (Fig. 6) hervorgeht, weichen die quergehenden Klufrichtungen in ein paar Fällen auffallend von der normalen Richtung ab. So zeigen die oberste Stufe SO vom Gipfel und desgleichen die unterste Stufe in ihrem mittleren Teile eine mehr west-östliche Richtung als die anderen Querklüfte. Sie bezeichnen wahrscheinlich nur durch lokale Tensionsverhältnisse bedingte Abweichungen von der normalen

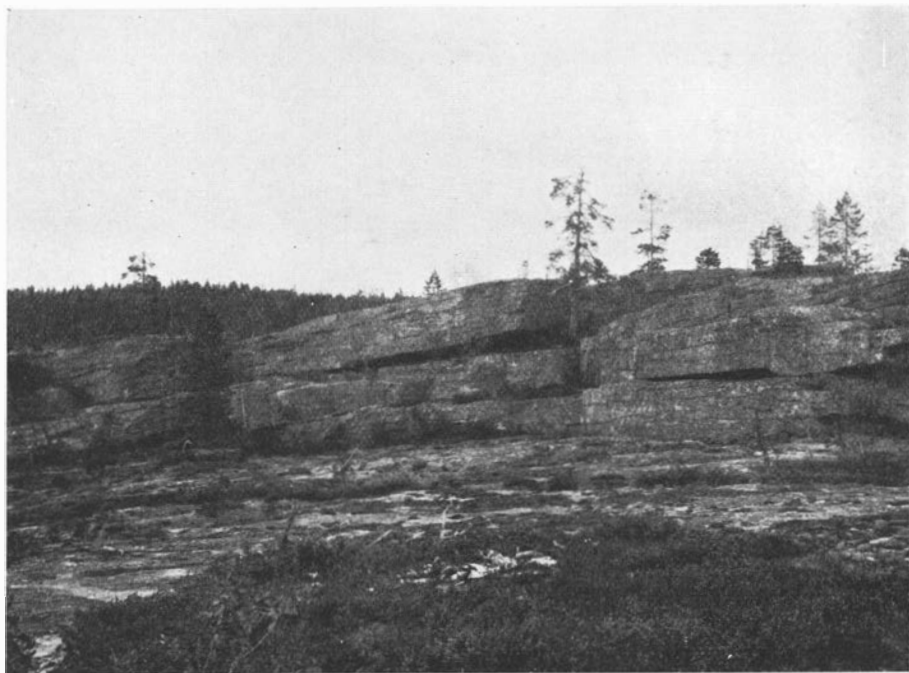


Fig. 9. Plattenklüftung am Paljakkavaara. Links im Hintergrund bewaldete Moränenkalotte oberhalb der marinen Grenze.

Richtung. Dagegen dürfte die östlich vom Gipfel in einer mehr nord-südlichen Richtung verlaufende Stufe eine selbständige, nicht mit den drei Hauptrichtungen koordinierbare Klüftung bezeichnen. Ausser der grossen Abweichung in horizontaler Richtung hat sie auch eine zur Vertikallinie schiefe Stellung, indem sie etwa 70° einwärts fällt. Von diesen Anomalien abgesehen sind die Kluftsysteeme des Luppioberges sehr regelmässig und annähernd rechtwinklig ausgebildet. In den benachbarten Granitbergen, an denen ich jedoch keine genauen Messungen gemacht habe, scheint diese ausserordentliche Regelmässigkeit der vertikalen Klufrichtungen nicht vorhanden zu sein. An dem unmittelbar nördlich liegenden

Paljakkavaara habe ich folgende Richtungen einiger unweit von einander auftretenden Kluftstufen notiert: $W\ 10^{\circ}S - O\ 10^{\circ}N$; $W\ 20^{\circ}S - O\ 20^{\circ}N$; $W\ 45^{\circ}S - O\ 45^{\circ}N$ und $N-S$. Die stehenden Klüfte waren alle so gut wie senkrecht; nur die $SW-NO$ ziehende hatte eine etwa 10° betragende Abweichung von der Vertikallinie. Es ist klar, dass hier entweder mehrere, etwa gleichwertige, Klufrichtungen vorhanden sind, oder dass lokale Tensionsverhältnisse eine Zerbrechung des Gesteins nach vorhandenen untergeordneten Klüften verursacht haben. An anderen, dem Luppioberge zunächstliegenden Teilen des Paljakkavaara wie des Alkkula ist die Längsklüftung dieselbe wie am Luppio.

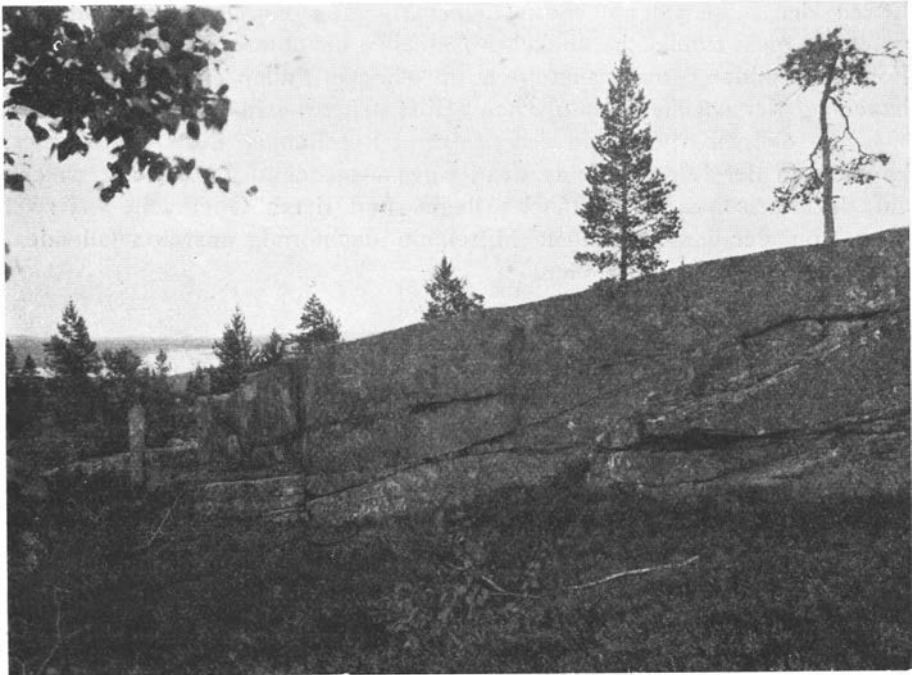


Fig. 10. Schiefe Längsklüftung. Paljakkavaara.

Ausser den in den Karten und in dem Profile eingezeichneten Kluftsystemen sind andere, weniger hervortretende Klufrichtungen vorhanden, unter denen besonders solche, welche die horizontalen Kluftflächen unter einem Winkel von etwa 20° schneiden und parallel mit den längsgehenden Klüften streichen, Aufmerksamkeit verdienen, da sie eine gewisse morphologische Bedeutung haben. Im Querschnitt repräsentieren sie folglich die Hypotenusen in einem rechtwinkligen Dreieck, in welchem die Vertikalkluft der kürzeren, die Horizontalkluft der längeren Kathete entspricht. Diese sowohl auf dem Luppio als auf dem Paljakkavaara vorkommende schiefe Klüftung ist in der Fig. 10 deutlich zu sehen. Gewöhnlich ist sie aber nicht wie die drei Hauptverklüftungen durch offene, weit verfolgbare

Risse markiert. Bei näherer Beobachtung gibt sie sich aber oft in den Details der Bergoberfläche kund, welche oft eben durch diese untergeordnete Klüftung bestimmt sind, was man besonders deutlich auf dem Scheitel des Luppiberges NW vom Gipfel sehen kann. Der steile Abfall des Berges auf dieser Seite hat das Hervortreten dieser schiefen Klüftung begünstigt, während dieselbe an der flachen Südseite sich nicht in der Topographie hat geltend machen können. Da die Nordwestseite des Berges mit den genannten schiefen Bruchflächen sich gegen die letzte Bewegungsrichtung des Landeises wendet, könnte man hier auf den ersten Blick diese Flächen nur der seitlich abschleifenden Wirksamkeit des Landeises zuschreiben wollen; dies um so viel eher, als das Eis die Kanten und Ecken der Kluftsysteme etwas abgenutzt hat, wodurch die Flächen mitunter ein recht rundhöckerähnliches Aussehen bekommen haben. Zu dieser Formenausbildung mag ausserdem in einigen Fällen eine gewisse Ausbauchung der schiefen Kluftflächen selbst beigetragen haben.

An einigen Stellen, an den flacheren Böschungen des Luppiberges, kommen in der Längsrichtung des Berges ausgedehnte Zungen vor, welche auf der horizontalen Kluftfläche liegen und deren Oberfläche aus zwei flach von der längsgehenden Mittellinie dachförmig auswärts fallenden, schiefen Kluftflächen bestehen.

Wegen der mehr auffallenden Zeugnisse von einer abschleifenden Wirkung des Landeises, welche Schrammen und Rundhöcker darbieten, ist man vom Beginn geneigt gewesen, die morphologische Bedeutung dieser Wirksamkeit des Eises zu überschätzen. Erst später ist die Aufmerksamkeit und das Interesse auf die grosse Rolle der losbrechenden Arbeit des Eises gerichtet worden, und nunmehr ist es wohl die allgemeine Auffassung, dass diese Arbeit bei der glazialen Denudation quantitativ eine weit grössere Rolle als die Abschleifung spielt. Ein gutes Zeugnis von der untergeordneten Bedeutung der Abschleifung gibt, wie A. G. HÖGBOM¹ hervorhebt, das topographische Hervortreten der Grundgebirgskalksteine Schwedens gegenüber umgebenden, härteren, aber mehr zerklüfteten Silikatgesteinen. Und die Bedeutung der Klüftung für die glaziale Topographie wird von demselben Verfasser auch in anderen Arbeiten vindiziert.² Dass die Klüftung bei der Herausmodellierung der topographischen Kleinformen von grösster Bedeutung ist, haben später andere Verfasser mehrmals hervorgehoben. Nach LEIVISKÄ³ sind also in Österbotten, Finnland, »die Felsenformen — Rundhöcker und andere Felsen — hauptsächlich durch die Bankungen und Kluftsysteme bestimmt«. SAHL-

¹ A. G. HÖGBOM, Om urkalkstenarnas topografi och den glaciala erosionen. Geol. Fören. Förh. Bd 21. Stockholm 1899.

² A. G. HÖGBOM, Norrland, naturbeskrivning. Uppsala 1906.

³ I. LEIVISKÄ, Über die Oberflächenbildung Mittel-Ostbottniens und ihre Entstehung. Fennia Bd 25. Helsingfors 1907.

STRÖM¹ hat ebenfalls ein reichliches und interessantes Beobachtungsmaterial über die Detailformen der Grundgebirgsgesteine in den äusseren Schären vor Stockholm vorgelegt und die Rolle der losbrechenden und der abschleifenden Wirkungen des Eises diskutiert.

Luppio und die Granitberge um Övertorneå scheinen die Anwendung der Schlüsse von der Bedeutung der losbrechenden Arbeit des Landeises für die Modellierung der glazialen Kleinformen auch auf die Morphologie grösserer Berge zu gestatten. Schon die topographische Karte im Masstab 1:200,000 über dieses Gebiet (Blatt Övertorneå) gibt einen starken Eindruck von der Übereinstimmung zwischen der allgemeinen Längsrichtung der Berge und der letzten Bewegungsrichtung des Landeises. Unter den mehr als fünfzig auf der Karte eingezeichneten Bergen, welche über die morän- und moorbedeckte Umgebung aufragen, haben etwa 90 %, so wie Luppio, eine annähernd NW—SO-liche Längsrichtung, die nicht oder nur wenig von der durch Schrammen und Drumlinsrücken markierten Bewegungsrichtung des Eises abweicht.² Diese Orientierung der Berge findet man nicht nur im Graniterrain, sondern auch in den aus Schieferen (Phylliten, Quarziten, Amphiboliten u. s. w.) aufgebauten Gebieten, die eine unmittelbare Fortsetzung der als kalevisch bezeichneten Formationen auf der finnländischen Seite der Reichsgrenze sind. Und es ist dabei zu bemerken, dass das Streichen dieser Schieferformation nicht mit jener Längsrichtung der Berge zusammenfällt, sondern einen mehr west-östlichen Verlauf hat. Dieselbe Unabhängigkeit der Längsrichtung der Berge im westerbottischen Küstenlande von dem Streichen der dortigen Granatgneisse ist schon längst von A. G. HÖGBOM³ hervorgehoben worden, wobei er jedoch auch auf die Rolle der in derselben Richtung ausgezogenen Moränenrücken aufmerksam macht, welche die Übereinstimmung der Landschaftsformen mit der Eisbewegung verstärkt. In einer späteren Arbeit⁴ geht derselbe Verfasser weiter auf diese Fragen ein und richtet dabei seine Aufmerksamkeit auf die sogen. Lide oder Lidberge im inneren Norrland. Mit diesen Namen werden im Volksmunde die ganz moränenbedeckten Berghöhen oberhalb der höchsten marinen Grenze (hier etwa 230—240 m ü. M.) bezeichnet, welche die am meisten charakteristischen topographischen Gebilde dieser Gebiete sind. Die Lide erheben sich oft

¹ K. E. SAHLSTRÖM, *Glacial skulptur i Stockholms yttre skärgård*. Sveriges Geol. Unders. Årsbok 7. Stockholm 1914.

² Aus diesen Gegenden gibt es nur wenige Schrammenobservationen, die aber eine etwa zwischen NNW—SSO bis WNW—OSO schwankende Richtung der letzten Eisbewegung angeben. Vgl. K. A. FREDHOLM, *Bidrag till kännedomen om de glaciala företeelserna i Norrbotten*. Geol. Fören. Förh. Bd 13, Stockholm 1891, und V. TANNER, *Studier öfver Kvartärsystemet i Fennoskandias nordliga delar*. III. Bull. Comm. Geol. de Finlande N:o 38, Helsingfors 1914.

³ A. G. HÖGBOM, *Om glacialreporna i Vesterbotten*. Geol. Fören. Förh. Bd 5. Stockholm 1881.

⁴ A. G. HÖGBOM, *Studien in nordschwedischen Drumlinslandschaften*. Bull. Geol. Inst. Vol. 6. Uppsala 1905.

100—250 m über ihre Umgebung und treten auf den topographischen Karten (z. B. Blatt Norsjö 1:200,000) überwiegend als langgestreckte Ovale von einigen hundert Metern bis zwei oder drei km Länge hervor. Es besteht eine ausgesprochene Tendenz zu einer mit der etwa NW—SO-lichen Eisbewegung übereinstimmenden Längsrichtung dieser Lidberge. Diese Richtung macht sich in dem Granitterrain sehr geltend, wie die in der angegebenen Arbeit reproduzierte Karte der Norsjögegend illustriert. Diese Berge wurden von A. G. HÖGBOM als riesige Drumlins gedeutet, die durch Anhäufung von Moränenmaterial um und über grössere oder kleinere Granitberge entstanden sind. Die ziemlich umfassenden Grabungen, die in den letzten Jahrzehnten im inneren und nördlichsten Norrland bei Prospecting vorgenommen worden sind, scheinen aber zu ergeben, dass die Moränendecke auf den Bergen oft sehr dünn ist. Sie ist jedoch im Allgemeinen hinreichend gewesen, um die wahrscheinlich vorhandenen schroffen Wände, Vorsprünge und die anderen Details der Granitmorphologie in der Weise auszugleichen, dass die Berge die sanft gewölbten Formen, die für die Lidberge auszeichnend sind, angenommen haben. Auch haben wohl, wie in der genannten Arbeit angenommen worden ist, Stauung der Moräne an dem proximalen Ende der Granitberge und Accumulation auch an dem Distalende bei der Entwicklung der Lidmorphologie eine Rolle gespielt. Die Grundform dieser Lide ist aber wahrscheinlich schon in der Form der Granitberge selbst gegeben, so dass sie etwa wie der Luppioberg in der Richtung der Eisbewegung ihre Längsachse haben.

Luppio, der in seiner oberen Hälfte ganz ohne Bedeckung ist, ladet dazu ein, einige Auseinandersetzungen über die wahrscheinliche Wirkungsweise des Landeises auf zerklüftete Granitberge darzulegen.

Zu diesem Zwecke werden zuerst einige allgemeine Bemerkungen über die Druckwirkung des Landeises vorausgeschickt. Die skulptierende Wirksamkeit des Eises steht selbstverständlich in engstem Zusammenhang mit dem von den Eismassen ausgeübten Druck. Dieser Druck kann in zwei Komponenten aufgelöst werden, die eine mit vertikaler, die andere mit horizontaler Richtung. Jene kann in ihrer Grösse der Mächtigkeit des Eises proportional betrachtet werden; diese ist durch den Neigungswinkel der Eisoberfläche, der einen Druck in horizontaler Richtung und dadurch auch die Eisbewegung bewirkt, etwa in derselben Weise wie der Neigungswinkel des Luftdruckes die Luftströme, hervorgerufen. Diese beiden Komponenten geben eine schief abwärts gerichtete Resultante, deren Grösse und Richtung sich in der Vertikalebene kontinuierlich mit der Tiefe ändert. Gegen die Oberfläche, wo die vertikale Komponente gegen Null herabsinkt, nähert sich die Resultante der Horizontalebene; gegen die Tiefe zu stellt sie sich immer steiler. Obgleich dieser mehr oder weniger abwärts gerichtete, durch die Resultante repräsentierte Druck in der Nähe der Unterlage durch die Plastizität des Eises und die Hemmung der Eisbewegung stark beeinflusst und kompliziert wird, ist es vorteilhaft, bei der Beurteilung der Arbeitsweise des Eises als skulptierendes Werkzeug die

beiden Komponenten für sich zu betrachten. Der vertikale Druck muss nämlich einerseits die Abschleifung des Untergrundes befördern, andererseits der Zertrümmerung desselben und dem Wegtransport der losgebrochenen Blöcke hinderlich sein. Bei geringer Mächtigkeit des Eises und folglich geringem Vertikaldruck muss die losbrechende Arbeit des Eises effektiver sein als unter einer mächtigen Eisdecke. Wenn, wie oben hervorgehoben wurde, die abschleifende Arbeit des Eises gegenüber der zerbrechenden sehr gering ist, muss also — unter sonst gleichen Umständen — das morphologische Gestaltungsvermögen des Landeises am Rande eines Gletschers oder des Landeises und am Ende der Eiszeit, mit der beide Male dünnen Eisdecke grösser gewesen sein, als im Inneren des vereisten Gebietes oder am Kulmen der Vereisung; desgleichen wurde ein unter dem Eis begrabener Berg stärker in seinen oberen Teilen als an der Basis angegriffen. Manche Umstände, besonders die Bewegungsgeschwindigkeit des Eises, die Art und Menge des mitgeschleppten Moränenmaterials, spielen aber dabei mit, so dass die Wirkungen des Eises sich nicht nur nach seiner Mächtigkeit schematisieren lassen.

Von vielen Forschern wird der Frostsprengung durch Regelation unterhalb der Eisdecke in der skulptierenden Arbeit des Eises eine grosse Rolle zugeschrieben. Wenn das Eis bei gleichbleibender Mächtigkeit sich über eine ebene Fläche bewegt, kann der Druck kaum so wechseln, dass dadurch nennenswerte Regelationswirkungen zu Stande kommen. Etwas anders gestaltet sich die Sache bei Eisbewegung über einem unebenen Grunde, indem dann wegen der Rigidität des Eises lokale Verschiedenheiten des Eisdruckes vorkommen. Bewegt sich das Eis aufwärts über die Stosssseite eines Felsens, so wird diese nicht nur der Belastung des entsprechenden vertikalen Eispfeilers ausgesetzt, sondern auch derjenigen eines Teiles der an diesen Pfeiler angrenzenden Eismassen, die der Pfeiler zu heben strebt. Ebenso wird der durch die Eisbewegung bewirkte horizontale Druck gegen begegnende Hindernisse verstärkt. An den Seiten des aufragenden Felsens und an dessen distalem Ende ist der Vertikaldruck dagegen vermindert. Eine Folge dieser ungleichmässigen Druckverteilung wird, dass der Schmelzpunkt des Eises an verschiedenen Stellen des Felsens etwas verschieden ist, etwas niedriger, wo das Eis sich aufwärts bewegt und der Druck stärker ist, etwas höher an den Seiten und an dem distalen Ende des Felsens mit ihrem etwas niedrigeren Druck. Diese Verschiedenheiten, welche also lokal und stationär sind, können aber nicht wiederholte Schmelzungs- und Gefrierprozesse in den Gesteinspalten veranlassen. Die mechanischen Wirkungen der Regelation, durch die vom Landeis überschrittenen Unebenheiten des Berggrundes hervorgerufen, scheinen folglich nicht die Bedeutung zu haben, welche ihnen von einigen Forschern zugeschrieben worden ist. Es gibt aber andere Faktoren, welche lokale und temporäre Druckschwankungen und dadurch Regelationserscheinungen in Felsenspalten unter dem Eis bewirken können. Die inhomogene, von dem Eise mitgeschleppte Moräne und besonders die

grösseren Blöcke können auf verschiedene Weise gegen Hindernisse reagieren; es ist deshalb denkbar, dass dadurch der Druck an einem Punkte temporär wechselt und infolgedessen lokale Regelation und Frostsprengung stattfinden. In der Nähe des Eisrandes, und zwar besonders, wenn dieser in das Meer hinausschiebt, können ferner Wechsel in den Druckverhältnissen, z. B. in Folge von unregelmässiger Kalbung des Eises oder mit den Jahreszeiten, stattfinden, durch welche Frostsprengung im Felsgrund unter dem Eis hervorgerufen werden kann. Da das Meer bei der Abschmelzung von der Gegend um Luppio bis über den Gipfel dieses Berges reichte, können diese Faktoren bei der Ausskulptierung auch dort eine Rolle gespielt haben.

Wenn also die Regelationswirkungen unter dem Landeis nicht überschätzt werden dürfen, so bestehen doch die wichtigen direkten Wirkungen der lokal verschiedenen Druckverhältnisse, die sich dadurch kundgeben, dass an den Stossseiten die schleifende Arbeit und an den Leeseiten die losbrechende Arbeit überwiegt. Auch für die Grundformen der Rundhöcker und, wenigstens in stark verklüfteten Gegenden, für diejenigen der ganzen Berge ist die ebenfalls durch die Druckverhältnisse bedingte laterale Losbrechung bestimmend.

Es erübricht, unter Berücksichtigung der oben hervorgehobenen Faktoren, den Verlauf der morphologischen Gestaltung des Berges Luppio zu verfolgen zu versuchen.

Betrachten wir zuerst den im Verhältnis zur Eisbewegung distalen Teil des Berges. Dort hat offenbar bis zum Verschwinden der Eisbedeckung, und wahrscheinlich am meisten unmittelbar zuvor, da der Vertikaldruck des Eises sich nicht weiter geltend machen konnte, eine sehr kräftige Losbrechung und Wegtransportierung von grossen rektangulären Blöcken stattgefunden. Erweiterte Querklüfte und nur unbedeutend verschobene Blockplatten scheinen davon zu zeugen, dass dieser Prozess noch im Gang war, als das Landeis sich vom Berge zurückzog. Es darf jedoch nicht übersehen werden, dass auch Frostsprengung und Meereseis, als das Meer hierher reichte, ähnliche Wirkungen gehabt haben können. Durch jene Losbrechung von den Bänken der distalen Seite des Berges sind die bis 8 m hohen, quergehenden Treppenstufen, die frappanteste Formenerscheinung des Luppio, entstanden. Die durch Entfernung der losgebrochenen Blöcke blossgelegte horizontale, oder richtiger flach nach SO abfallende, grosse Kluftfläche (vgl. Karte Fig. 4) ist, wie auf derselben vorkommende, niedrige Absätze bezeugen, auch etwas angegriffen worden. Der oben erwähnte, als ein breites Band quer über diese Fläche verfolgbare, rote Granit, welcher in kleine romboide Stücke zerfällt, ist etwas stärker als der angrenzende, herrschende Granit skulptiert worden und bildet deshalb in diesem eine Senke, deren gegen die Eisbewegung gerichtete Wand der Zerbrechung widerstanden hat, was im Kleinen eine Illustration dazu ist, dass die Losbrechung durch das Eis nicht leicht an der Stossseite sich vollzieht.

Im Ganzen gesehen ist die grosse Distalfläche des Berges von der aufragenden Gipfelpartie herab, Zeugnis für ein ausserordentlich kräftiges Skulptierungsvermögen des Eises an der Leeseite der Eisbewegung, und es ist leicht vorzustellen, wie die noch erhaltene, stark klüftige Gipfelpartie durch eine fortgesetzte, rückwärts fortschreitende Losbrechung und Wegführung von Blöcken der Zerstörung hätte anheimfallen können.

Die proximale Böschung des Berges ist, wie Karte und Profil zeigen, viel kürzer als die distale Böschung, und wo die jetzige Gebirgsoberfläche die horizontalen Bänke schneidet, ist jene Böschung besonders steil. Die Absätze sind hier nicht treppenartig, sondern durch Abschleifung der Kanten und Ecken abgerundet oder rundhöckerartig gewölbt. Wenn das Eis hier eine losbrechende Arbeit geleistet hat, so ist sie allerdings zum grössten Teil durch die Abschleifung verwischt worden. Die geringe Zertrümmerung an der Proximalböschung des Berges steht in guter Übereinstimmung mit den oben hervorgehobenen Wirkungen des Landeises und des Druckes auf die Stosseite aufragender Felsen, deren Klüfte durch den Druck zusammengepresst und nicht wie auf der Leeseite erweitert werden. Näher dem Gipfel folgt die Stosseite im Grossen und Ganzen der hier gewölbten Horizontalverklüftung, obschon nordwestlich vom Gipfel längsgehende schiefe Verklüftungen teilweise für die Oberflächenbildung bestimmend gewesen sind.

Wenn man das Längsprofil des Berges mit dem als typisch betrachteten Längsprofil eines Rundhöckers vergleicht, findet man bei jenem eine vergleichsweise kurze Stosseite und eine lange Leeseite, was der starken, rückwärts fortschreitenden, oben beschriebenen Denudation des klüftigen Berges an der Leeseite der Eisbewegung zuzuschreiben ist. Die aufragende Gipfelpartie des Berges nähert sich in ihrer Gestaltung mehr den gewöhnlichen Rundhöckerfelsen. Es ist aber wahrscheinlich, dass diese manchmal nur die aus der Moräne oder aus sonstigen Bedeckungen aufragenden Gipfeldetails sind, und dass sie, wenn blossgelegt, ausgezogene flache Leeseiten zeigen würden, die im kleinen der Distalpartie des Luppio entsprechen.

Die oberen Teile der Längsseiten des Luppio sind wegen der steilen Wände und meistens schmalen Treppenstufen sehr unwegsam und grösstenteils unzugänglich. Längs der Seiten hat offenbar eine höchst bedeutende Erosion stattgefunden, indem Blöcke losgerissen und längs der vertikalen Kluftflächen weggeschoben worden sind. Unterhalb der Steilwände und teilweise diese bedeckend liegen grosse Blockmassen angehäuft, und besonders an der Westseite erreichen die Blöcke stellenweise riesige Dimensionen. Einzelne Blöcke mögen in rezenter Zeit herabgestürzt sein; auch haben wahrscheinlich, als das Meer an den Wänden des Berges stand, Brandung, Frostsprengung und Eisschub zu der Blockanhäufung beigetragen; die Hauptmasse ist aber ohne Zweifel durch das Landeis losgelöst worden, was übrigens durch die allgemeine Verfrachtung der Blöcke in der Bewegungsrichtung des Eises bezeugt wird. Wie in der Kartenskizze

schematisch angedeutet worden ist, ziehen sich die Blockmassen längs der Wände des Berges als Wälle oder Streifen ziemlich weit gegen SO, wo die Böschung des Berges nicht so steil gewesen ist, dass die Blöcke nur durch Losbrechung von oben so angehäuft worden sein könnten.

Diese nur kurz von der Mutterklüft verschobenen grossen Blockmassen am Fusse der Längsseiten des Berges scheinen die oben ausgesprochene Meinung zu bestätigen, dass die losbrechende und skulptierende Arbeit des Landeises ganz in der Nähe des Eisrandes und unmittelbar vor seinen Rückzuge vom Berge am stärksten gewesen ist.

Die Effektivität der losbrechenden Arbeit des Eises ist in diesem Falle in höherem Grade als gewöhnlich durch die mitgerissenen Blöcke unterstützt gewesen, indem sie mit ihren scharfen Kanten und Ecken als Mauerbrecher gegen die Kanten der klüftigen Felswand gedient haben. Dagegen kann aus schon angeführten Gründen die subglaziale Frostsprengung keine wesentliche Bedeutung gehabt haben.

Ich habe im Vorhergehenden mit dem Berge Luppio und seiner Morphologie als Ausgangspunkt geltend machen wollen, dass die skulptierende Arbeit des Eises wahrscheinlich einen ähnlichen Stempel auf eine Menge von Bergen in derselben Gegend und auch anderswo in Nordschweden gesetzt hat, deren Bergformen wegen Moränenbedeckung indessen modifiziert worden sind und als »Lide« erscheinen. Es liegt nahe, die Erfahrungen von diesen Gegenden auch auf anderen Gebieten von anderem geologischen Bau, wo aber ausgeprägte Klüftung der Gesteine vorhanden ist, zu prüfen. Einen solchen Fall scheint z. B. Kinnekulle darzubieten, dessen Längsrichtung mit der Bewegungsrichtung des Eises, wie sie durch die Schrammen sich kundgibt, ganz genau übereinstimmt.¹ Es ist übrigens nicht nur in dieser Hinsicht Übereinstimmung zwischen Luppio und Kinnekulle vorhanden, sondern auch darin, dass beide ihre Gipfelpartien nach den Proximalenden der Berge verschoben haben, und dass der Treppenbau an den Stossseiten sich nicht in der Oberflächengestaltung hat geltend machen können. Die Ursachen dieser morphologischen Züge am Kinnekulle sind wahrscheinlich dieselben wie am Luppio, nämlich eine starke Klüftung und ein bankförmiger Bau, Eigenschaften, welche vor allem die Diabasdecke und den Orthocerenkalk auszeichnen.

¹ Vgl. G. HOLM und H. MUNTHE, Kinnekulle, Sveriges Geol. Unders. Ser. C, N:o 172. Stockholm 1901.