

6. Beobachtungen aus Nordschweden über den Frost als geologischer Faktor.

Von

Bertil Högbom.

Einleitung.

Während mehrjähriger, praktisch-geologischer Feldarbeiten in verschiedenen Teilen von Nordschweden habe ich Gelegenheit gehabt, Beobachtungen über den Frost als morphologischer Faktor zu sammeln. Über entsprechende Untersuchungen, vorzugsweise in arktischen und hochalpinen Gegenden, habe ich früher berichtet¹; meine dort gemachten Mitteilungen möchte ich hiermit in einigen Hinsichten komplettieren, umsomehr als meine jetzige Beschäftigung weitere Studien auf diesem Gebiet voraussichtlich nicht gestatten wird.

Während die Frosterscheinungen, wie Spaltenfrost, Bodengekrieche, Blockströme, Strukturboden usw., in den arktischen und hochalpinen Gegenden nunmehr vielfach in der wissenschaftlichen Litteratur behandelt sind, ist den entsprechenden Phänomenen in subarktischen (bzw. subalpinen) Regionen weniger Aufmerksamkeit gewidmet worden. Die Tätigkeit des Frostes ist aber hier, in den subarktischen Waldregionen Nordschwedens, von wo das hier diskutierte Material stammt, nicht so viel schwächer ausgebildet, als man vielleicht erwarten könnte. Die Vorgänge sind freilich weniger auffallend, besonders weil sie meistens von der Vegetation verschleiert sind; sie sind auch von gewissen lokalen Bedingungen mehr abhängig und treten deshalb nicht so allgegenwärtig zu Tage wie im Hochgebirge und in arktischen Landschaften. Eben ein Vergleich mit den arktischen Frosterscheinungen bietet in mehreren Hinsichten Vieles von Interesse.

Was die mehr theoretischen Erläuterungen betrifft, die im Folgenden zum Ausdruck gebracht werden, so wird sich zeigen, dass sie sich über-

¹ »Über die geologische Bedeutung des Frostes.« Bull. of the Geol. Inst. of Upsala. Vol. XII. Upsala 1913.

wiegend nur auf indirekte Schlussfolgerungen stützen, wozu aber die Phänomene, wenn man sie im Felde kennen gelernt hat, von selbst einladen. Für eine nähere Kenntnis der physikalischen Vorgänge und der Mechanik der Frosttätigkeit, würde sich hier für Forscher, die Gelegenheit zu Experimenten und genauen, während längerer Zeit vorzunehmenden Messungen haben, ein sehr interessantes Studiengebiet darbieten.

Im Folgenden werden verhältnismässig zahlreiche Kartenskizzen, Zeichnungen und photographische Aufnahmen wiedergegeben, wodurch die Erscheinungen besser veranschaulicht werden können als durch einen ausführlichen Text.

In der weitläufigen Litteratur der letzten 10—15 Jahre über die geologischen Wirkungen des Frostes ist den hier behandelten Erscheinungen ausserhalb der arktischen Regionen wenig Aufmerksamkeit gewidmet worden, weshalb ich jene Litteratur in diesem Zusammenhang übergehen kann, da mein Ziel nur ist, die bisher nicht gebührend beachtete morphologische Bedeutung des Frostes auch in subarktischen Regionen hervorzuheben.

Auftreten der Blockfelder.

Mehr oder weniger flache Blockfelder in der Grösse von einigen Quadratmetern bis mehreren Hektar, oder sogar Quadratkilometern, kommen in den hier besprochenen, grösstenteils versumpften Waldgegenden Nordschwedens, die zu den subarktischen Regionen gerechnet werden können, sehr allgemein vor und bieten, nebst Sümpfen und Mooren mit öfters dicht verwachsenen Gesträuchen, für den Wanderer die lästigsten Terrainformen. In dem von mir speziell studierten Gebiet der nördlichsten Teile von schwedisch Lappland, woher auch die Mehrzahl der hier erwähnten Beispiele stammt, nehmen solche Blockfelder einen beträchtlichen Teil der Bodenareale in Anspruch.

Diese Steinfelder sind wahrscheinlich meistens für Ansammlungen von Moränenblöcken gehalten worden; man wird aber bei näherer Untersuchung in vielen Fällen nachweisen können, dass sie zersprengte Felsböden darstellen, die den Block- und Scherbenfeldern der Hochgebirge und arktischen Gegenden entsprechen. Einige der unten näher beschriebenen Blockfelder wurden hier als Beispiele gewählt, weil der unmittelbare Verband mit dem anstehenden Felsboden sich besonders leicht bestätigen lässt. Ich bezeichne solche Blockfelder, die im Verhältnis zum festen Gestein in situ liegen, oder nur vom Frost bedingten Bewegungen ausgesetzt gewesen sind, als autochthon, im Gegensatz zu den glazialen Blockmoränen.

Es kann erwähnt werden, dass solche Felder in manchen Gegenden viel allgemeiner vorkommen als entblösste feste Felsen, und deshalb, wenn mit Vorsicht aufgenommen, dem Geologen beim Kartieren gute Anhaltspunkte zum Bestimmen des Felsgrundes geben können.

Felder und Streifen von Blöcken, die unzweifelhaft aus Moränen stammen, kommen wohl auch allgemein vor, sind aber selten von grösserer Ausdehnung. Für ihre jetzige Erscheinungsform hat ebenfalls die zerbrechende, sortierende und transportierende Tätigkeit des Frostes eine Rolle gespielt. Es treten diese beiden, naheverwandten Formen deshalb oft neben einander und mit einander vermischt auf, so z. B. wo blockreicher Moränenboden an zersprengten Felsboden grenzt.



Fig. 1. Lehtovaara Blockfeld, von der Landstrasse aus gesehen. Die horizontale Lage der Steinmassen ist typisch. Im Vordergrund, wo die oberflächlichen Blöcke weggenommen sind, kommt die zersprengte, aber wenig dislozierte Felsunterlage im Grundwasserniveau zum Tage. Im Hintergrund der Waldsaum an der Front des Feldes.

Dass auch durch Wasser freigespülte Blocksammlungen aus Moränen vorkommen, ist ebenfalls zu bemerken; sie spielen aber eine ganz untergeordnete Rolle. Auch hierbei muss man jedoch dem Frost einen wesentlichen Teil der Arbeit zuschreiben, denn auch an Blockfeldern an Ufern und Bächen, wo Wasserspülung in Frage kommen kann, ist meistens die sortierende und transportierende Tätigkeit des Frostes deutlich zu erkennen.

Autochthone Blockfelder sind durch die petrographische Einheitlichkeit des Gesteinmateriales gekennzeichnet, das mit dem herrschenden Felsgrund übereinstimmt. Von den unten beschriebenen Feldern kann u. a. Soitola¹ als Beispiel hierfür dienen, wie auch Lappeavuoma. In dem letztgenannten tritt ausserdem der in den Blöcken vertretene Granit als eine nur ganz lokale Injektion in dem umgebenden Gabbrogebiete auf, woraus die Zugehörigkeit des Materiales zu dem anstehenden Felsgrund um so deutlicher hervorgeht.

Mit einer ganz absoluten Einheitlichkeit in den Blockmassen ist allerdings selten zu rechnen, sondern man findet auch, wie schon erwähnt, oft fremde, aus Moränen stammende Gesteinsblöcke beigemischt; das ist z. B. der Fall in den beiden oben genannten Lokalitäten, wenn auch hauptsächlich nur in den peripheren Teilen der Felder, wo sie an Moränenboden grenzen.

Die Grenzen zwischen verschiedenen Gesteinen des Felsgrundes können in den losgesprengten Blockmassen verfolgt werden, wie z. B. unten für Lehtovaara und Lappeavuoma geschildert wird. Es versteht sich von selbst, dass eine solche Gesteinsgrenze nicht ganz scharf hervortritt; schon die Lossprengung der Blöcke bewirkt ja eine gewisse Verwirrung. Ausserdem treten auch bedeutendere, durch Frostwirkungen verursachte Verschiebungen auf, die zu einer weitgehenden Nivellierung des Bodens und zu Verwischung der Kontakte führen.

Die Zusammengehörigkeit der Blockmassen mit dem unterliegenden Felsgrund kann gegenbenenfalls direkt nachgewiesen werden, wo das Blockmaterial stellenweise weggeführt und die Unterlage blossgelegt worden ist, wie das z. B. bei Lehtovaara der Fall ist (Fig. 1). Andere, ähnliche Beispiele bieten Soitola, wo noch Felsreste oder kleine »monadnocks« aufragen, und Skansberget, wo das Blockfeld ein ausgeglittenes Randgebiet unterhalb einer Felswand darstellt und hier andauernd mit neuem Material versehen wird.

Charakteristische Merkmale der Blockmeere.

Ob ein Blockfeld direkt von festem Fels stammt oder durch Ausortierung blockreichen Moränenbodens entstanden ist, lässt sich nicht immer ohne Grabungen sicher feststellen, besonders da Material beider Arten vorhanden sein kann. Oft ist es aber, wie gesagt, möglich aus rückständigen Felsenpartien oder aus zufälligerweise blossgelegter Unterlage darauf zu schliessen, dass ein autochthones Blockfeld vorliegt. Wo dagegen des Material in petrographischer Hinsicht mehr gemischt erscheint,

¹ Die gesperrten Ortsnamen beziehen sich auf die am Ende dieser Abhandlung näher beschriebenen Lokale.

spricht Alles dafür, dass die Blockmassen von Moränen stammen; indirekt lässt sich auch in gewissen Fällen feststellen, dass der Felsgrund von mächtigen Ablagerungen gedeckt sein muss. Wenn in dem folgenden Abschnitt gewisse Merkmale diskutiert werden, die für die Blockfelder charakteristisch sind und für das Verständnis der Frosttätigkeit Wert haben, braucht ein Unterschied zwischen autochthonen und Moränen-Blockfeldern nicht gemacht zu werden, da ihre oberflächliche Gestaltung und innere Struktur, Abhängigkeit von Bodenfeuchtigkeit oder Wasser usw. in den meisten Hinsichten übereinstimmen. Beide Formen sind auch als Resultate derselben Prozesse, Frostsprengung, Sortierung und Bodenbewegungen, aufzufassen.

Die Blockfelder zeigen meistens eine sehr stark nivellierte Oberfläche, sie bilden sogar gern ganz wagerechte Flächen, die über mehrere Hektar ununterbrochen sein können. Dies gilt auch für die autochthonen Blockmeere. Als Beispiele können die hier beschriebenen Lehtovaara (Fig. 1) und Lappeavuoma dienen. Man kann in einem solchen Fall nicht behaupten, dass der ursprüngliche Felsgrund so eben oder so wagerecht gewesen sein kann, sondern man muss hier bedeutende gleitende Blockbewegungen voraussetzen, die eine weitgehende Einebnung herbeigeführt haben.

Nicht immer liegen die Blockfelder genau horizontal; sie können auch sanft geneigte Flächen darstellen, die mit den herrschenden Böschungsverhältnissen des Terrains in Übereinstimmung stehen. Ein Beispiel hierfür bietet Kättö, wo das Feld auf einer Strecke von 500 m etwa 5 m abfällt. Hier kann gewissermassen von einem diffusen Blockstrom gesprochen werden, wo die Blockmassen hauptsächlich direkt von dem Felsgrund losgesprengt sind, während von den Seiten auch blockreiches Moränenmaterial zugeführt wurde.

Die innere Struktur der Blockmassen zeigt gewisse Eigentümlichkeiten, die sich in ein paar der hier beschriebenen Blockmeere leicht näher untersuchen lassen. In Lappeavuoma z. B. ist über den grössten Teil des Feldes die oberflächliche, aus gröberen Blöcken bestehende Schicht fast völlig weggeführt worden, da diese für Bauzwecke Verwendung gefunden haben, und in Lehtovaara und Kättö liefern die Gräben an den Seiten der durch sie angelegten Landstrassen stellenweise gute Entblösungen.

Es lässt sich in solchen Fällen erstens die recht überraschende Beobachtung machen, dass die groben Blockmassen eine nur ganz oberflächlichen Bedeckung bilden. Schon aus diesem Umstand lässt sich schliessen, dass Wasserspülung für die Entstehung dieser Blockfelder keine grössere Rolle gespielt haben kann. Die Mächtigkeit des deckenden Blocklagers entspricht bei Feldern mit grobem Material etwa der Durchschnittsgrösse der grösseren Blöcke, und ist z. B. bei diesen drei Feldern $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ m. In anderen Fällen, wo das Gestein weniger widerstandsfähig ist und leichter zerspringt, ist das deckende Blockmaterial schon weiter zerkleinert und

grossenteils »verzehrt«; die Blockdecke entspricht dann wohl nicht nur einer einfachen Blockschicht, ist aber doch verhältnismässig dünn. Es scheint also zwischen der Grosstückigkeit und Dicke des Blocklagers eine gewisse Relation zu bestehen, was aus dem besseren Wärmeleitungsvermögen des gröberen Materiales erklärlich ist.

Wo die Zerstörung der Trümmersmassen teilweise weiter gegangen ist, oder wo feineres Moränenmaterial beigemischt ist, kommt eine Sortierung des Schuttes zum Vorschein, wobei das Blockmaterial nach oben »fließt«, und ausserdem, wenn es zur Bildung von Strukturboden gekom-



Fig. 2. Vom Lappeavuoma Blockfeld. Eine ziemlich unberührte Partie mit grobem Blockmaterial. Umfallende Bäume.

men ist, vom aufquellenden Feinmaterial in Fetzen oder in Netz- und Polygonartigen Streifen zusammengeschoben wird. Die oberflächliche Ansammlung der Blöcke ist die Folge der bekannten Frosterscheinung, die als »Auffrieren« bezeichnet worden ist und sich darin äussert, dass im feuchten Boden, im Bereich der Frostwirkungen, alle Blöcke und Gesteine zu der Oberfläche sortiert werden.

Die unter dem Blocklager liegende Schicht von Feinmaterial ist auch im Sommer meistens ganz feucht oder steht sogar unter Wasser. Unter den autochthonen Felsenmeeren, wie z. B. bei Lehtovaara, trennt oft nur eine dünne unregelmässige Schicht von Scherben und Brei die Blockmassen von den festen oder vom Frost schon etwas zerspaltenen Felsen im Liegenden. An anderen Feldern, wie Lappeavuoma, findet man ein

ganz unregelmässiges Zwischenlager von Scherben und Schutt, das stellenweise zu mehreren dm Dicke anschwillt, aber hie und da auch fast völlig verschwindet.

Strukturboden (Steinnetze, Polygonboden, »Surface markings«, »Rutmark« etc.) ist eine durch Frostwirkungen hervorgerufene Sortierung des Schuttbodens, die besonders in arktischen Gegenden allgemein auftritt und die nunmehr in der Litteratur so viel behandelt ist, dass es überflüssig ist, das Phänomen hier näher zu beschreiben. In Regionen mässiger Kälte, wie in den hier beschriebenen Waldgegenden Nordschwedens, treten dieselben Formen auch allgemein auf, sind aber meistens weniger



Fig. 3. Lappeavuoma Blockfeld. Hier sind die meisten Blöcke weggeführt, wodurch die Scherbenunterlage blossgelegt worden ist.

regelmässig, da das Material gröber und ungleichmässiger ist; ausserdem sind sie fast immer von der Vegetationsdecke grösstenteils verborgen. Nur an gewissen Lokalitäten, wie an den flachen, bei niedrigem Wasserstand freigelegten Ufern der Seen und Flüsse, tritt die Erscheinung offen zu Tage.

In den Blockfeldern ist das Phänomen durch einzelne oder unregelmässig zerstreute, von unten emporgedrängte, breiige oder erdige Schuttinseln (Fig. 4) vertreten, zu denen die kümmerliche Vegetation des versumpften Waldes gern Zuflucht genommen hat. In Lappeavuoma, wo die Blöcke weggefrachtet sind, können solche Brei- und Scherben-Inseln beobachtet werden, die als etwa 0,5 m hohe, jetzt freigelegte Kuppeln oder Hügel über die entblösste Scherbenunterlage aufragen.

In flachen, feuchten Moränenböden oder in den Randgebieten der Blockfelder, wo feineres Material reichlicher vorhanden ist, findet man die Blockmassen zu Steinnetzen angeordnet. Beispiele dafür liefern die hier beschriebenen Lappeavuoma, Kättö und Soitola. Dieser Strukturboden ist allerdings selten, wie bei Soitola (Fig. 17), regelmässig ausgebildet, sondern die blockreichen Ausscheidungen treten als kleinere Ansammlungen oder Streifen auf, die den Grenzlinien der verzerrten und sehr unregelmässigen Polygonsysteme entsprechen. An solchem Strukturboden, der an Blockmaterial ärmer ist, kommen eigentlich nur die Knotenpunkte zur Ausbildung. Sie sind durch kleinere, nackte Flecken oder Gruben von angesammeltem Blockmaterial zu erkennen. Solche »Steingruben« sind für diese versumpften Waldgegenden sehr charakteristisch.

Das Verhältnis zwischen Blockfeldern und Grundwasserniveau. Abgesehen von Ausnahmefällen, wie nach andauernden Trockenperioden, ist das unter den oberflächlichen Blockmassen lagernde Schuttmaterial nass, zwischen den Blöcken steht sogar oft Wasser (Fig. 1); dasselbe gilt auch von den »Steingruben« des Strukturbodens. Eine ausreichende Bodenfeuchtigkeit ist eine Bedingung für die Frosttätigkeit, um sich geltend machen zu können. Wenn einmal eine Unterlage von feinerem Detritus entwickelt ist, wird dadurch das Vorhandensein konstanter Feuchtigkeit besser gesichert.

Mit Ausnahme besonders widerstandsfähiger Gesteine sind in den hier behandelten Gegenden die feucht gelegenen Felsen, wie in den Moorländern oder an den Ufern, mehr oder weniger vollständig zertrümmert. Unbeschädigten Fels¹ findet man eigentlich nur auf trockenen Anhöhen und Bergen.

Die für die Blockfelder typische eingeebnete Oberfläche, wie auch die sanften Terrainformen des Strukturbodens, bezeichnen meines Erachtens eine Nivellierung des Bodens durch die Arbeit des Frostes in der Grundwasserzone. Da der Grundwasserstand seinerseits von den Oberflächenformen des Bodens abhängig ist, wird dieser auch allmählich eine Verschiebung erleiden, die auf ein horizontales Schlusstadium abzielt.

Beobachtungen aus den Ufergebieten der Seen und Flüsse.

Blockfelder und Strukturboden treten in den Ufergebieten sehr allgemein auf und können oft grosse Ausdehnung erreichen und zwar in einer bestimmten Relation zu der Wasserfläche. Hierin liegt an

¹ Freilich sind auch hier die Felsen oberflächlich etwas angegriffen, so dass selten z. B. die Glazialschrammen erhalten sind. Schrammenobservationen sind aus diesen Gegenden recht spärlich, meistens stammen sie aus Grubenschürfungen, Gräben (an den Landstrassen) usw., wo der Felsgrund der schützenden Moränendecke entblösst worden ist.

und für sich nichts Überraschendes, denn ein See repräsentiert ja so zu sagen ein Basisniveau des Grundwassers. Wenn man die Terrainverhältnisse an einem See näher beobachtet, wird man aber von der oben erwähnten Nivellierung des Blockbodens überzeugt, weil die Wasserfläche ein sichtbares Basisniveau darbietet. Die Blockfelder an den Ufern liegen hier mit ihrer Oberfläche $\frac{1}{2}$ —1 m über dem Normalwasserstand (oder vielleicht richtiger Winterwasserstand) und bilden eine Art Uferplatte. Diese ist an Seen mit verhältnismässig konstantem Wasserstand besonders regelrecht ausgebildet und kann sich in flachem Terrain weit ausdehnen, während sie an stärkeren Böschungen wie ein schmaler Absatz oder



Fig. 4. Breiige Schuttinsel im Soitola Blockfeld.

Randsaum zum Vorschein kommt. Um ein paar gute Beispiele zu nennen, können aus der Vittangi-Gegend die Waldseen Nunasjärvi und Puolisjärvi erwähnt werden. Die hier beschriebenen Lokalitäten Skansberget (Fig. 25) und Soitola (Fig. 14) repräsentieren auch Ufer-Blockfelder, das letztere allerdings an einer sehr variablen Wasserfläche gelegen.

Eine steile, von Blöcken aufgebaute Uferlinie, die wie ein Plateaurand den Blockboden gegen das Wasser abgrenzt, ist ein charakteristisches Merkmal an Seen mit wenig wechselndem Wasserstand. Dieser Blockstrand ist nicht durch etwaigen Eisschub oder Wellenerosion hervorgerufen, was schon daraus ersichtlich ist, dass er an den kleinsten Seen ebenso markiert sein kann wie an den grossen. Das »Uferplateau« am Skansberget, welches unten näher beschrieben wird, bietet ein gutes Beispiel eines Blockfeldes, das gegen das Wasser einen scharf abgesetzten

Uferstrand hat. Diese Ufersteile, die aus freigewaschenen Blöcken aufgebaut ist und die bis zu ein paar Meter Tiefe unter Wasser fortsetzen kann, muss als die Front des hervorkriechenden Blockbodens aufgefasst werden. Der See bildet so zu sagen ein Hindernis für die fortgesetzte Bodenbewegung, indem diese aufhören muss, wo der Frost nicht mehr wirken kann. Wenn die Bodenbewegungen, wie von mehreren Verfassern behauptet wird, von Wasserdurchtränkung und dadurch erhöhter Plastizität des Schuttes in erster Linie abhängig wäre, sollte die Bewegung eben unter Wasser am schnellsten sein und diese Uferprofile dürften nicht entstehen können.

Uferbildungen an Gewässern mit wechselndem Wasserstand. In den nordschwedischen Flüssen ist der Unterschied zwischen Hochwasser und dem niedrigsten Wasserstand des Spätherbstes und Winters sehr erheblich und dasselbe gilt auch für Seen, die von diesen Flüssen durchströmt werden. Auch im Verhältnis zu dem mehr normalen Sommerwasserstand, der etwa durch die untere Grenze der Landvegetation gekennzeichnet wird, kann der Winterwasserstand ein oder mehrere Meter tiefer liegen. Bei blockreichem Uferboden kommt es unter diesen Verhältnissen nicht zur Bildung einer deutlichen Ufersteile, ausserdem treten hier in der Strandzone gern Erscheinungen auf, die mit der erodierenden und akkulierenden Tätigkeit des Wassers zu tun haben.

Nichts destoweniger gibt es auch hier Gelegenheit, einige Frosterscheinungen zu studieren. An der im Herbst blossgelegten, nackten Uferzone, wo dieselbe einigermassen flach und steinig ist, tritt fast immer Strukturboden auf. Dieser kann bisweilen sehr regelmässig ausgebildet sein (Beispiel Soitola, Fig. 17) und fällt um so mehr ins Auge, als keine deckende Vegetation vorkommt. Wenn grosse Blöcke auftreten, kann im Sommer, wenn Alles unter Wasser steht, ein solches Ufer eine Landung mit dem Boot, wenigstens bei stürmischem Wetter, recht schwierig machen, weil die zersprengten, scharfkantigen Blöcke gefährlich sind. Dass solche Blöcke über oft weite Flächen das Fahrwasser unrein machen können, hängt mit der nivellierenden Tendenz der Frostwirkungen zusammen, die während des niedrigeren Wasserstandes der Frostperiode tätig sind.

Die Ausformung der Flussrinnen scheint auch von der Tätigkeit des Frostes beeinflusst zu sein. Fester Felsboden tritt an diesen Flüssen verhältnismässig selten auf, sondern ist meistens dem Spaltenfrost zum Opfer gefallen. Eigentliche, steile Wasserfälle gehören auch zu den Seltenheiten, denn mit Ausnahme von Strecken, wo sie als sub- oder spätglaziale Erosionsschluchten zu betrachten sind (wie z. B. Luleälv bei Harsprånget), strömen die Flüsse mit breiten, verhältnismässig sanft fallenden Läufen durch die reife Topographie dieser Landschaft, die in den Hauptzügen ihre präglaziale Gestaltung beibehalten hat.

Stromschnellen oder »forsar«, die oft sehr langgestreckt sind, indem sie mehrere Kilometer ziemlich ununterbrochen fortsetzen können, geben

den Flüssen ihr Gepräge. Man bekommt hier leicht den Eindruck, als ob das Wasser über flachen, blockreichen Moränenboden dahinströme. Es lässt sich aber bei näheren Untersuchungen oft feststellen, dass dies nicht der Fall ist, sondern dass das Flussbett und die Ufer als eine Art autochthoner Blockfelder aufgefasst werden müssen, die aus zersprengtem Felsboden hervorgegangen sind. Dies muss z. B. der Fall sein, wo das Blockmaterial petrographisch auffallend einheitlich ist oder wo sich sogar die Veränderungen des anstehenden Berggrundes abspiegeln. In den bei niedrigem Wasserstand teilweise blossgelegten Betten der Torne- und Wittangi-Flüsse kann man in den Gesteinsmassen gewisser Fors-Strecken die Veränderungen des Felsgrundes verfolgen, in beiden habe ich z. B. einige dünne Kalkstreifen verfolgen können, die in der hier anstehenden Amphibolitformation vereinzelt eingelagert sind.

Ob nun die Flussbetten aus freigespültem, blockreichem Moränenboden oder aus zersprengten Felsen hervorgegangen sind, so haben die Flussläufe durch die Frostabrasion sich nach den Seiten erweitern können. Sie sind dadurch seichter geworden, aufragende Felsen und Blöcke sind fortlaufend in Angriff genommen worden und es sind die für die Stromschnellen typischen, flachen Querprofile entstanden, die durch Wassererosion allein nicht erklärt werden können. Diese »Forsar« können sich kilometerlang mit recht starker Neigung erstrecken und von einem Ufer zum andern mit Blöcken ausgefüllt sein, die bei niedrigem Wasserstand überall aufragen und bei dem bekannten »Fors-Rennen« die Geschicklichkeit der Bootsleute auf die Probe stellen.

Abgesehen von solchen Fällen, wo widerstandsfähige Felsen noch zurückbleiben oder wo ausnahmsweise primär ein sehr flaches Moränenterrain vorhanden ist, muss man, meines Erachtens, diese »Forsar« als eine Art überströmter Trümmerfelder bezeichnen, die aus Felsen- oder blockreichem Moränenboden entstanden sind, und wo der Frost beim Tiefwasserstand im Herbst die aufragenden Partien angreift und die allmähliche Nivellierung zu der Wasseroberfläche bewirkt, in ähnlicher Weise wie an flachen Ufergeländen der Seen mit variablem Wasserstand.

Tiefere Flussrinnen kommen natürlich auch vor, besonders ist dies der Fall in den aufgestauten, ruhig fließenden Strecken (schwedisch: »Sel«, finnisch: »Suando«), die meistens an spätglaziale Sedimente gebunden sind. Die Frostabrasion hat hier wenig zu bedeuten, die Ufer bleiben, wo sie tonig oder sandig sind, fast unbeschädigt und die tieferen Teile des Flussbettes sind gegen den Frost geschützt. Es kommt sogar nicht selten vor, dass man bei Tiefwasserstand am Flussgrunde, also noch unter Wasser, glazialgeschliffene Felsen mit erhaltenen Schrammen wahrnehmen kann, so ist es z. B. der Fall in der Tiefrinne des Torne-Flusses, östlich von der Fährstelle in Vittangi.

Über den Verlauf der Frostvorgänge im Felsboden.

In meiner früheren, eingangs erwähnten Arbeit habe ich einen Versuch gemacht, die Frostvorgänge näher zu erklären, und ich gestatte mir hier, darauf kurz zurückzukommen. Mein damaliges Material stammte hauptsächlich aus arktischen Gegenden, wo der Boden bis ein paar hundert m Tiefe ständig gefroren ist und wo während des Sommers auch der stärker wärmeleitende Felsboden nur bis $\frac{1}{2}$ —1 m Tiefe auftaut. Unmittelbar unter der aufgetauten Schicht herrscht hier eine Minustemperatur von mehreren Graden, während unmittelbar darüber durch Schmelzwasser und durch Kondensation immer Feuchtigkeit angesammelt wird. In dieser wasserführenden Zone unmittelbar oberhalb der »Tjäle« (Bodenfrost) muss ein stetiger Wechsel zwischen Auftauen und Gefrieren stattfinden, eine »Regelation« (oder besser ein »iteriertes Gefrieren«). Da die Tjäle sehr nahe der Oberfläche liegt, müssen nämlich die Temperaturvariationen, die durch Insolation fast täglich sehr beträchtlichen Umfang erreichen können, sich auch an der Tjäle abspiegeln, wenn auch verspätet und mit kleinerer Amplitude. Man darf deshalb auch voraussetzen, dass sogar Temperaturvariationen, die an der Bodenoberfläche den Nullpunkt nicht unterschreiten, doch an der Tjäle Gefriervorgänge hervorrufen können. Hierin habe ich die Erklärung dafür gesehen, dass die Frostwirkungen in arktischen Regionen soviel kräftiger wirken als in mehr temperierten Gegenden, ohne dass die Luft- oder Bodentemperatur viel öfter um den Gefrierpunkt wechselt.

In den subarktischen Gegenden, aus denen die hier zu diskutierenden Beobachtungen stammen, friert der Boden jährlich zu ziemlich grosser Tiefe und taut mit einzelnen Ausnahmen im Laufe des Sommers wieder ganz auf. Da die Temperatur der sogen. neutralen Zone des Bodens, die in Felsgrund in einer Tiefe von etwa 30 m, entsprechend der Jahresdurchschnittstemperatur in der Nähe des Gefrierpunktes, liegt, können also Frostwirkungen beinahe bis zu dieser Tiefe denkbar sein. Unter diesen Umständen, wenn die Tjäle im Vorsommer sich schnell zurückziehen muss, kann man kaum voraussetzen, dass eine Regelation stattfinden kann, ohne dass die Bodentemperatur an der Oberfläche auch den Gefrierpunkt passiert, das heisst, dass der Frost eigentlich nur im Frühling und Herbst arbeiten kann.

Der Spaltenfrost spielt hier ohne Zweifel nicht eine so grosse Rolle wie in arktischen Gegenden. Dort ist mit der Tjäle eine stets nahe der Erdoberfläche liegende Effektzone entstanden, wo die Regelation fort-dauernd und kräftig arbeiten kann, während hier die Wirkungen von dem Vorhandensein von Grundwasser abhängig sind. Hier muss deswegen die Tätigkeit auch oft recht tief verlegt werden und kann ausserdem nur während verhältnismässig kurzer Zeitabschnitte vor sich gehen. Die Frost-abrasion ist auch z. B. auf Spitzbergen viel auffallender, wo es, abgesehen

von den steileren Felswänden fast keine festen Felsen mehr gibt, sondern die ganze Landschaft ist ein gewaltiges Trümmerfeld, das sich auch über die Bergspitzen ausdehnt. In subarktischen Gegenden dagegen hat der Spaltenfrost seine Wirksamkeit hauptsächlich auf feucht gelegene Felsen zu beschränken, wo er aber andererseits so viel tiefer reichen kann. Es kommt nicht selten vor, dass man hier Felsen sieht, die bis zu einer Tiefe von 5—10 m zerspaltet sind; ein Beispiel davon bietet der unten beschriebene Quarzitefels bei Hornträsk (Fig. 25).

Das Ergebnis der Frostsprengung hängt sehr von dem Gestein ab, dessen Zähigkeit, Spaltbarkeit und Wärmeleitungsvermögen ausschlaggebend sind. Aus verhältnismässig festen Gesteinsarten, die von Sprüngen mässig durchzogen sind, wie Graniten, Syeniten, Gabbros, Quarziten usw. — auf Spitzbergen ausserdem besonders Diabasen — scheinen gern die auffallendsten Blockmeere zu entstehen. Schiefrige und lockere Gesteine sind für tiefere Frostwirkungen weniger empfindlich, sie erlauben dem Spaltenfrost nicht den rechten Angriff, und sind, besonders nachdem sie oberflächlich zertrümmert worden sind, wenig wärmeleitend. In dem feineren, losgelösten Schutt findet ausserdem auch bald die Vegetation die Möglichkeit zur Einwanderung, wodurch der Boden gegen Temperaturschwankungen weiter geschützt wird. Zu den widerstandsfähigen Gesteinen sind auch viele zähe Hornfels- oder Amphibolitarten zu rechnen; dasselbe gilt auch für gewisse, ganz weiche Gesteine, wie z. B. die in diesen Gegenden vorkommenden kristallinen Kalksteine und Graphitschiefer und die auf Spitzbergen auftretenden Gipslager. Solche weiche Gesteine waren auch häufig gegen die Glazialerosion ziemlich widerstandsfähig und treten deshalb im Terrain oft als Anhöhen und Rücken hervor.

In flachen Felsgeländen, wo das Grundwasser meistens wenig tief steht, kann der Spaltenfrost mit seinen Angriffen von oben gleichzeitig über grössere Flächen einsetzen. Die Bedingungen für die Entstehung von ausgedehnten Trümmerfeldern sind dann besonders günstig. In stärker abfallenden Felswänden, an aufragenden Felshöckern usw. gibt es hier aber nicht immer, wie, dank der Tjäle in arktischen Gegenden, in den oberflächlichen Teilen Feuchtigkeit genug, um die Arbeit des Spaltenfrostes leicht zu machen. Solche Felsen können aber an den Seiten, wo sie an feuchten Boden grenzen, angegriffen werden, wie es z. B. bei Skansberget (Fig. 24) der Fall ist. In derselben Weise werden bei Soitola (Fig. 15) Felsblöcke seitlich losgesprengt von dem in dem sonst flachen Blockfeld aufragenden Felsrücken, der einer höheren Partie des ursprünglichen Felsgeländes entspricht, wo der Frost durch Angriffe von oben eine Zersprengung nicht erreicht hat. In anderen Fällen gelingt es aber dem Spaltenfrost auch in ziemlich grossen Tiefen die Felsen durch einzelne Spalten zu zerklüften. Ein Beispiel dafür bietet u. a. der Quarzitefels bei Hornträsk, der nicht nur von den Seiten zertrümmert ist, sondern auch oben von klaffenden, 5—8 m tiefen Spalten ganz durchsetzt ist (Fig. 25).

Diese Lossprengung von grossen Felspartien, die sogar mehrere

hundert Kubikmeter Inhalt haben können, ist eine sehr allgemeine Erscheinung. Es ist dabei nicht selten ein Verhalten zu beobachten, das schwererklärlich erscheint. Die verschiedenen Felsbrocken sind nämlich, was z. B. bei Hornträsk sehr auffallend zum Vorschein kommt, im Verhältnis zu einander auch vertikal verschoben, und zwar meistens so, dass die nach aussen stehenden, losgesprengten Teile gesunken sind. Sie sind dabei auch oft etwas desorientiert oder gekippt. Es lässt sich vielleicht denken, dass diese Partien längs schräger Spalten an der Basis verschoben sein können und dass dadurch auch vertikale Setzungen zum Vorschein gekommen sind. In vielen Fällen scheint aber eine solche Erklärung nicht zutreffen zu können, sondern es scheint als ob eine Destruktion und ein Materialverlust von unten anzunehmen sei, ähnlich wie in dem Scherbenhorizont am Grundwasserniveau der gewöhnlichen Blockfelder mit geringer Tiefe. Da sich der Spaltenfrost in grösserer Tiefe an und für sich nicht sehr oft, sondern vielleicht nur ein paar mal jährlich, wiederholen kann, scheint aber diese Erklärung nicht ganz befriedigend zu sein. Vielleicht lässt es sich aber denken, dass, nachdem einmal durch Seitenverschiebung offene Spalten zu Stande gekommen sind, der Frost auch unten in diesen Spalten seine Angriffe besser einsetzt und deshalb in dem Grundwasserniveau mit grösserer Wirkung arbeiten kann.

Die in den Blockfeldern vorkommende Schicht von feinerem Detritus und Scherben unter den Blockmassen ist in erster Linie dadurch entstanden, dass eben in dem Grundwasserniveau der Frost seine zerstörende Tätigkeit am weitesten gebracht hat. Ausserdem wirkt die Sortierung durch »Auffrieren« in derselben Richtung, wodurch die oberen Lager mit grösserem Material angereichert werden. Wenn auch der Frost in diesem Scherbenhorizont sein Optimum erreicht, wird aber nichts destoweniger der feste Felsgrund darunter vorbereitend zerklüftet, jedoch ohne dass die Bruchstücke sich wesentlich verschieben. Dies kommt z. B. in der Granitunterlage in dem Blockfeld bei Lehtovaara zum Vorschein, wie aus dem Bild, Fig. 1, erkennbar ist.

Über den durch die Frostvorgänge hervorgerufenen Bodenschub.

Man darf sich vorstellen, dass der Frost im Erdboden in einigermaßen analoger Weise wie im Felsboden tätig ist. Die Temperaturvariationen werden also an der Tjäleoberfläche, wenn diese nicht zu tief liegt, durch Regelation ausgelöst. Da das Material weniger wärmeleitend ist, liegt die Tjäle entsprechend weniger tief und zieht sich unter verhältnismässig kleineren Wechslungen langsam zurück. Im Herbst spielen sich die Gefriervorgänge auch innerhalb einer ziemlich dünnen Schicht ab, tiefere Wirkungen können jedoch durch Steine und Blöcke hervorgerufen werden, da diese stärker wärmeleitend sind und dadurch eine stimulierende Rolle spielen. Im Erdboden stehen meistens viel grössere Wasserquantitäten

zur Verfügung als im Felsboden, und das lockere Material kann deshalb beim Gefrieren und Auftauen durchgreifend bearbeitet und intern umgelagert und verschoben werden.

Die physikalischen Vorgänge beim Gefrieren und Auftauen und die dabei entstehenden Begleiterscheinungen sind, besonders bei feuchtem, lehmigem Material von teilweise kolloidalen Eigenschaften, bis jetzt wohl wenig aufgeklärt. Es kann hier vorläufig auf einige Phänomene hingewiesen werden, die wahrscheinlich für die Bewegungserscheinungen von Bedeutung sind. Lehmiges Material, das ja fast immer auch im Moränenboden reichlich vorhanden ist, zeigt beim Auftauen eine abnorm plastische Konsistenz, etwa wie nach mechanischer Bearbeitung. Beim Gefrieren hat weiter feines Material eine extreme Fähigkeit Wasser aufzunehmen; bei einigen Versuchen mit verschiedenen Proben von lehmigem Moränenmaterial habe ich z. B. erhöhte Wassergehalte gefunden, die 10—20 % über dem sonstigen Sättigungsgrad lagen. Der erforderliche Feuchtigkeitszuschuss wird auch in der Natur, durch Zufuhr aus noch nicht gefrorenen Schichten (u. a. durch Kondensation von unten), zur Verfügung stehen. Dass Wasser beim Frieren aus dem Boden zu der frierenden Oberfläche so zu sagen »angesaugt« wird, findet auch darin einen Ausdruck, dass z. B. in Gräben und Tümpeln oft in einer Herbstnacht Wasser verschwindet, so dass nur eine dünne Eishaut mit Luft darunter den ursprünglichen Wasserstand angibt. Das Wasser muss hierbei von dem umliegenden frierenden Boden absorbiert sein.

Auch scheinen Kristallisationsvorgänge eine gewisse Rolle zu spielen; ein Beispiel hiervon ist die sogen. »Pipkrake«, Bündel von reinen Eisnadeln, die zu einer mehrere Zentimeter dicken Schicht unmittelbar unter oder an der Erdoberfläche auswachsen. Experimentell habe ich die Erscheinung nicht hervorrufen können, sie scheint aber besonders bei plötzlich eintretender Kälte, z. B. in Frostnächten im Herbst, bei starker Ausstrahlung, aufzutreten. Eine ähnliche Eisbildung in der oberflächlichsten Bodenschicht erklärt die sehr allgemeine Erscheinung im nackten Erdboden, z. B. an Wegen und Strassen, die als »Ausfrieren von Steinen« bezeichnet werden kann. Der Boden ist nämlich einige Millimeter oder ein paar Zentimeter gehoben worden, während Steine ihre Lage beibehalten haben und wie in Löcher eingesenkt liegen oder von ringförmigen, scharfen Rissen oder kleinen Gräben umgeben sind.

Die Bildung von Strukturboden ist auch ein guter Beweis dafür, wie durchgreifend die internen Bodenbewegungen sind. Ich verzichte hier auf einen Versuch, die näheren Vorgänge zu erklären; in den letzten Jahren sind viele Theorien vorgebracht worden, alle stimmen aber nunmehr darin überein, dass der Frost die ausschlaggebende Rolle spielt. In diesem Zusammenhang hat aber die Erscheinung ihr grösstes Interesse darin, dass sie die beste Illustration für die vom Frost hervorgerufenen Bodenbewegungen bietet und dadurch indirekt eine Vorstellung von der Bedeutung des Frostes als morphologisch tätigem Faktor geben kann.

Es versteht sich nämlich von selbst, dass je nach den Böschungsverhältnissen, wo der Boden solchen starken internen Verschiebungen ausgesetzt ist, ein allmählicher Bodenschub abwärts stattfinden muss.

In den Gegenden, aus denen die hier beschriebenen Erscheinungen stammen, hat die Fliesserde nicht dieselbe allgemeine Verbreitung wie in arktischen Regionen, wo eine oberflächlich perennierende Tjäle mit überlagernder, immer durchnässter Schicht dem Frost Gelegenheit gibt, den ganzen Sommer zu arbeiten, sondern die Fliesserde ist hier vorzugsweise an die feuchtesten Terrainabschnitte gebunden. Auf Spitzbergen z. B. hat die Fliesserde, mit gewissen Ausnahmen, schon längst die alte Moränen-

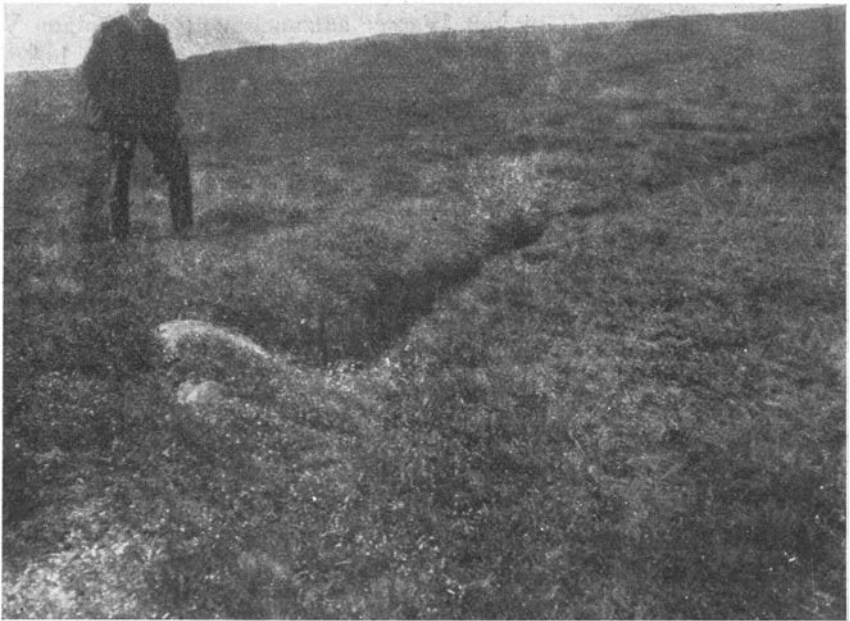


Fig. 5. Ein kriechender Block in schwacher Böschung. Härjedalen. (Aus BERTIL HÖGBOM, Die Geologische Bedeutung des Frostes, Bull. Geol. Vol. XII.)

decke weggeschafft und ist jetzt mit dem Abtransport der vom Frost losgesprengten Detritusmassen beschäftigt, dadurch dem Spaltenfrost immer neue Angriffspunkte gebend. In Lappland dagegen hat in den Waldgegenden die abtragende Tätigkeit des Frostes zwar nur über mehr begrenzte Flächen sich geltend machen können, sie ist aber nichts destoweniger als ein wichtiger morphologischer Faktor zu erachten. Einige von den mehr allgemein auftretenden Erscheinungen, die von der transportierenden und nivellierenden Tätigkeit des Bodenschubes verursacht werden und die der Aufmerksamkeit leicht entgehen, dürfen hier näher erwähnt werden.

Die für die Blockfelder schon eingangs erwähnte, typische, flache Oberflächengestaltung kann nur durch nivellierende Materialbewegungen

erklärt werden, die insofern bemerkenswert sind, als dem Material an und für sich keine plastische Eigenschaften zugeschrieben werden können. Diese ausgleichenden Bewegungen finden offenbar gleich statt, sobald die Blöcke durch den Frost losgesprengt sind. Bei Soitola, Hornträsk und Skansberget greift, um ein paar Beispiele zu nennen, unmittelbar an den rückständigen Felsen ausgeflachter Blockboden Platz, ohne dass nennenswerte Thalushalden zur Bildung kommen.

Wo feinerer Detritus die Blöcke unterlagert, wie es oft in den Blockfeldern der Fall ist, oder wo er durch Einmischung von Moränenmaterial hinzugekommen ist, wie in feuchtem, blockreichem Moränenboden, wird offenbar der Bodenschub begünstigt. Es kommt hier leicht zur Bildung von Strukturboden, der seine höchste Entwicklung erreicht, wo die Nivel-



Fig. 6. Losgesprengte, abwärts gleitende Blöcke. Släppliden.

lierung schon ein gewisses Gleichgewicht hergestellt hat. In flacher Lage können dann die Steinnetze sehr regelmässige Formen annehmen¹, besonders wo das Gesteinsmaterial nicht allzu inhomogen ist. Grössere Blöcke und Brocken — solche von mehreren Tonnen Gewicht können mitbezogen sein — rufen leicht Unregelmässigkeiten hervor. Wo Strukturboden in Böschungen auftritt, kommt eine allgemeine Verzerrung zum Vorschein, die Steinnetze werden dann leicht in abwärtslaufende Blockstreifen ausgezogen. In anderen Fällen schiebt sich das Gesteinsmaterial in querlaufenden Wülsten oder Guirlanden zusammen und verleiht dann dem Boden eine terrassiertes Aussehen. Dies scheint nur im bewachsenen Boden vorzukommen und hängt wahrscheinlich mit dem Widerstand der Vegetationsdecke zusammen.

¹ Strukturboden ist auch vielfach »Polygonboden« genannt worden, eine Benennung, die sehr zutreffend sein kann, wo die Beimischung von Blöcken nicht zu stark und der Detritus gleichmässig und ziemlich fein ist, wodurch das Steinnetz mehr markant wird. Der ideale Form dieser Polygone ist die hexagonale, die dort zu Stande kommt, wo gleichgrosse Steinringe so zu sagen an einander gedrückt werden.

In arktischen Gegenden, besonders unterhalb der Schneelagen, wo nackter, lehmiger Boden von Wasser ganz durchtränkt ist, kommt es vor, dass das feine, breiige Material halbflüssig wird und stromartig ausquillt («mud-glaciers»). Dies ist aber nicht der typische Vorgang in gewöhnlicher Fliesserde, die über grosse Flächen langsam und mehr unmerklich herabkriecht, sondern hier zeigen im Gegensatz die Blöcke und Steine die grösste Beweglichkeit, was auch durch ihr grösseres Wärmeleitungsvermögen erklärlich ist und ausserdem dadurch begünstigt wird, dass sie von der isolierenden Pflanzendecke nicht gegen die Insolation geschützt sind. Die Temperaturschwankungen werden aus diesen Gründen öfter und tiefer in den Boden hineingeleitet als sonst. Das Verhältnis wird durch die allgemein vorkommende Erscheinung illustriert, die als »kriechende Blöcke« bezeichnet werden kann. Diese Erscheinung, die in diesen Gegenden so allgemein auftritt, dass man sie in fast jeder, nicht allzu trockenen oder

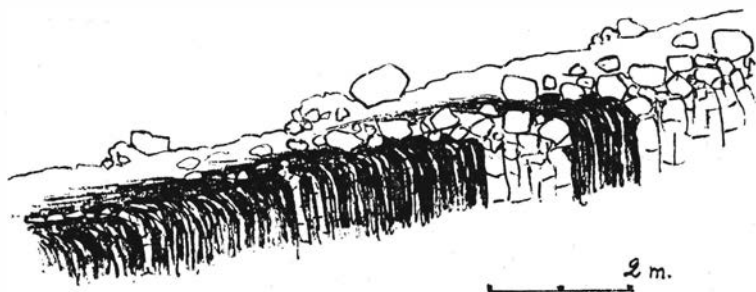


Fig. 7. Abwärts kriechender Schutt und »Hakenschnitten« in einer Schürfung beim Sautusvaara Erzfeld. Mulmiges Eisenerz (schwarz) mit zwischenlagerndem, festem Taubgestein. An der Oberfläche kriechende Blöcke mit Frontwülsten.

allzu nassen Böschung beobachten kann, tritt unter etwas verschiedenen Formen auf, je nach der Grösse der Blöcke und der Beschaffenheit des Bodens. Fig. 5 zeigt einen kleineren Block, der in dem sonst aus feinem Moränenmaterial bestehenden, einige Grade flach abfallenden Boden eine etwa 20 m lange, allmählich zusammengeflossene Rinne hinterlassen hat. Auch Felsblöcke von mehreren Kubikmetern Grösse können sich in dieser Weise verschieben, ein paar ungewöhnlich grosse derartige Blöcke kann ich z. B. von Fjällnäs (Härjedalen) erwähnen, die ganz an der Landstrasse, an dem Bauernhof bei Andersån liegen. In Böschungen mit an und für sich recht beweglichem Material, also besonders in feuchtem und steinreichem Schutt, fliesst die Rinne schneller zusammen und bleibt dann meistens nur als eine Grube hinter dem Block zurück, während an der Frontseite häufig ein Wall aufgetrieben ist. In anderen Fällen kommt es auch vor, dass die Fliesserde über grösseren Felsblöcken hinausquillt, wahrscheinlich ist dann der Block »auf Grund gestossen«.

Die Skizze Fig. 6, von Malå, Västerbotten, zeigt kriechende Blöcke, die durch Frostsprengung aus der flachen Granitkuppe des Berges Släppiden losgebrochen wurden und allmählich abwärts verfrachtet werden.

Viele solche Blöcke haben schon eine Strecke von 100—200 m zurückgelegt. Dass die Bewegung nicht allzu langsam sein kann, geht daraus hervor, dass die Rinnen mehrere Meter hinter den Blöcken durch noch ziemlich junge Bäumen abgelenkt worden sind.

Bei Grubenschürfungen habe ich oft Gelegenheit gehabt, eine andere Äusserung des Bodenschubes zu beobachten, die unter dem Namen »Hakensichten« oder gestaute Schichtköpfe bekannt ist.¹ In einem langen Quergraben im Sautusvaara Erzfeld (20 km N von Kiruna, Lappland) sind solche gestaute und allmählich sich losreissende Schichtköpfe durchgeschürft worden. Die steil stehenden Lager von mulmigem Erz und harterem Taubgestein sind unter der meterdicken Moränendecke zerbrochen und von den abwärts gleitenden Schuttmassen mitgerissen, wie durch die Skizze Fig. 7 veranschaulicht wird.

Die morphologische Bedeutung der beschriebenen Frostvorgänge.

Dass die arktischen und hochalpinen Landschaftsformen allgemein durch die Frosttätigkeit modelliert worden sind, habe ich in meiner früheren Arbeit nachzuweisen versucht. Abgesehen von der älteren Grundgestaltung der Morphologie, den Talzügen usw., die durch Bruchlinien, Verwerfungen, Wasser- oder Glazialerosion hervorgerufen sein mag, ist die jetzt charakteristische Ausgestaltung der Berghänge, Täler, Kare, Nischen, Steilufer usw. doch erst durch Frostsprengung und Schuttbewegungen entstanden. Dass dies allerdings nur im Verein mit Weitertransport des Materiales durch Gletscher, fliessendes Wasser und Brandung geschehen ist, versteht sich von selbst.

Auf Spitzbergen hat die Fliesserde fast ausnahmslos die alte Moränendecke schon längst weggeführt und besorgt jetzt das Wegschaffen des Frostschuttes, dadurch dem Spaltenfrost immer neue Angriffspunkte bietend. Durch Frostsprengung werden Schmelzwasserrinnen und Schneefelder in die Bergseiten eingesenkt, wodurch die typischen scharfen Rinnen, Nischen und Kare entstehen. Die Berghänge und Talseiten sind auch sonst stark in Angriff genommen und haben durch diese Abtragung sich dem etwaigen Schuttwinkel anpassen müssen; nur widerstandsfähigere Gesteinslager treten als Stufen und Absätze hervor. Dadurch, dass die losgesprengten Schuttmassen als Fliesserde weggeführt werden, kann die Abtragung immer weiter fortgehen und ist auch an Bergseiten, die von Thalusschutt ganz bedeckt sind, nicht zum Stillstand gekommen. Dies geht daraus hervor, dass auch an der Basis solcher gewaltiger Thal-

¹ Ob diese Erscheinung, wo sie z. B. in Mitteleuropa beobachtet ist, aus kälteren Epochen stammt, ist wohl fraglich, ein gewisses Bodenkriechen kommt ja unter fast allen klimatischen Verhältnissen vor, wenn auch in langsamerem Tempo als dort, wo der Frost mitwirkt.

halden, wo man mächtige Trümmermassen erwarten möchte, meistens nur eine dünne Block- oder Schuttdecke vorhanden ist; im Grossen und Ganzen hat also die Fliesserde mit dem Spaltenfrost etwa gleichen Schritt halten können. Durch diese Frostabtragung sind die Täler erweitert worden und zeigen eine typische offene V- oder U-Form. Die Küstenlinie, die mit Hinsicht auf die postglaziale Landhebung als ganz jung zu betrachten ist, zeigt eine nichts destoweniger aussergewöhnlich weit gegangene Abrasion. In den Ufern sind die Bedingungen für die Frosttätigkeit besonders günstig, und grosse Ufersteilen und breite Abrasionsplatten sind auch in wenig exponierter Lage bereits ausgebildet.

Wenn man diese gewaltigen Leistungen des Frostes in den Landschaften des arktischen und hochalpinen Klimas vor Augen hat, muss man sich freilich sagen, dass in den hier in erster Linie besprochenen Gegenden, in den Waldregionen Laplands, die Frostabrasion verhältnismässig wenig ihre Gepräge auf die jetzige Ausgestaltung der Landschaft gedrückt hat. Im Grossen und Ganzen, abgesehen von einzelnen glazialen oder spätglazialen Erosionsschluchten und Talzügen, sind die hiesigen grösseren Landschaftsformen ausgesprochen reif mit meistens flachen und sanften Anhöhen oder gerundeten Kuppen, eine präglaziale Morphologie, die trotz der Abtragung durch das Inlandeis in ihren grossen Zügen erhalten ist.

Ob in prä- oder interglazialen Zeitabschnitten klimatische Verhältnisse obwaltend waren, die es dem Frost ermöglicht haben, schon früher tätig zu sein, entzieht sich jetzt der Beurteilung. Dass in der, nach geologischem Masstab, sehr kurzen, postglazialen Zeit der Frostabtragung nicht besonders grosszügige Leistungen zugeschrieben werden können, versteht sich von selbst. Nichts destoweniger muss unter den jetzigen Verhältnissen ohne Zweifel der Frost als der wichtigste morphologisch tätige Faktor erachtet werden, was aus einem Vergleich mit z. B. der Wassererosion hervorgeht. Die Arbeit des Frostes vollzieht sich zwar langsam und wird deshalb vielleicht meistens ignoriert, sie vollzieht sich aber über grosse Flächen und spielt deshalb quantitativ eine grosse Rolle.

Die Wassererosion dagegen vollzieht sich nur längs Fluss- und Bachläufen und nur an den Strecken, wo das Wasser stärker dahinströmt, ihre Wirkung ist also im Verhältnis zu dem Gesamtareal ganz lokaler Natur.

Wenn man den Versuch einer sehr approximativen Schätzung machen will und sich dabei nur auf die demolierende Wirkung im festen Fels beschränkt, kann man sagen, dass in diesen Gegenden der Spaltenfrost mehrfach, vielleicht hundert- bis tausendfach so grosse Flächen von Felsboden angegriffen hat als das strömende Wasser. Und dabei hat das Wasser, abgesehen von der Erosion der Schmelzwasserflüsse des Landeises, durchschnittlich beiweitem nicht eine so tiefgreifende Destruktion herbeigeführt wie der Spaltenfrost. Mit Rücksicht auf die grossen Flächen, über welche der durch den Frost hervorgerufene Bodenschub sich vollzieht, besteht deshalb kein Zweifel, dass die Frostwirkungen im Erdboden

hinsichtlich Materialtransport — Abtragung und Akkumulation — zu grösseren Resultaten geführt haben als das strömende Wasser.

Die jetzt sichtbaren, morphologischen Ergebnisse der Frostaktion sind in diesen Gegenden freilich nicht übermässig gross, da sie in einem Landschaftsbild nicht stark hervortreten können, das während langer geologischer Perioden durch andere morphologische Faktoren, wie Verwitterung und Wassererosion, seine Grundgestaltung bekommen hat und ausserdem die frischen Spuren der Vereisung trägt. Dass die Eiszeittopographie durch Frostabrasion und Bodenbewegungen in zahlreichen Einzelzügen modifiziert worden ist, lässt sich aber leicht nachweisen und es sind schon auf den vorhergehenden Seiten mehrere Beispiele hierfür angeführt worden. Bei näherer Kenntnis dieser Gegenden kommt man zu der Überzeugung, dass diese Umgestaltungen oft auch ganz erheblich sein können. Die für diese Landschaft typischen, streckenweise recht blockreichen, versumpften Wald- und Moorböden, die in der Karte meist als Moor bezeichnet sind und oft über sehr weite Flächen ganz eben und flach sich ausbreiten, können keinen primären Moränenboden repräsentieren, sondern müssen durch Bodenschub nivellierte Moränengelände, teilweise darunter auch zersprengten Felsboden, darstellen.

Einen lebhafteren Eindruck von der morphologischen Bedeutung der Frosterscheinungen erhält man, wenn man die nackten Tundralandschaften aufsucht, z. B. auf den ziemlich flachen Hochebenen in Härjedalen und nördlichem Lappland. Wenn auch diese Gegenden mehr zu den arktischen als subarktischen Regionen, die hier eigentlich besprochen werden, zu rechnen sind, sind die klimatischen Verhältnisse nur wenig von diesen verschieden; die Abwesenheit einer Waldvegetation macht es aber möglich, einen viel besseren Überblick über die Terrainverhältnisse zu bekommen. Als ein Beispiel will ich die Umgebung des Sees Rostojaur nennen (nördlichstes Lappland, 680 m ü. M.), wo ein Berggrund von Graniten, Grünsteinen, Gneissen und Leptiten durch den Frost stark angegriffen und von Fliesserde fast überdeckt ist. Die sanften Böschungen sind mit Fliesserdewüsten und Blockstreifen meilenweit bedeckt und das weite, den See umgebende Flachland hat sich bis an die Seefläche herabnivelliert und zeigt hier blockreichen, groben Strukturboden. Auch die Inseln sind in derselben Weise zu $\frac{1}{2}$ —1 m hohen, flachen Blockböden eingeebnet und mit der typischen, steilen Blockfront gegen das Wasser abgesetzt, ebenso sind die bei niedrigem Wasserstand blossgelegten, flachen Seegrund- oder Uferböden als blockreicher Strukturboden ausgebildet. Man bleibt hier nicht in Zweifel darüber, dass die Frosttätigkeit den Landschaftsformen, auch im Grossen, ihr Gepräge aufgedrückt hat, und man wird später ganz ähnliche Landschaften auch in den subarktischen und subalpinen waldbewachsenen Gegenden wiedererkennen.

Man muss annehmen, dass während der Eiszeit die morphologische Tätigkeit des Frostes auch in Mitteleuropa, in den grossen periglazialen Gebieten, der Landschaft ihr Gepräge aufgedrückt hat. Es ist aber nicht

sicher, dass die Äusserungen ganz ähnlich den jetzigen, z. B. in Nordschweden oder in arktischen Regionen, waren. Der Felsboden war nämlich aus alten Zeiten her tief verwittert, wodurch er für Frostsprengung meistens weniger empfindlich war. Die in den deutschen Mittelgebirgen bekannten Blockströme stammen aber ziemlich sicher aus der Eiszeit und sind auf Frostsprengung und Bodenschub zurückzuführen. Das sogen. Felsenmeer im Odenwald ist z. B. solch ein Blockstrom. Die abgerundete Form der Granitblöcke ist hier, wie bei anderen, ähnlichen Vorkommnissen, auffallend und scheint auf die Verwitterungsart der Felsen zurückzuführen zu sein. Diese »Pillow«-Verwitterung granitischer Gesteine ist eben in den periglazialen Gebieten eine sehr allgemeine Erscheinung, wie in Steinbrüchen usw. beobachtet werden kann, und stammt wohl aus wärmeren präglazialen Zeiten.

Dass die ausgedehnten Moränengebiete der älteren Eiszeit ausgeflacht sind und fast keine Moräntopographie mehr erkennen lassen, ist wahrscheinlich auf Fliesserdeerscheinungen während der jüngeren Eiszeit zurückzuführen. Diese älteren Moränen waren wahrscheinlich auch ursprünglich weniger blockreich und mit Schwemmsand reichlich vermischt.

Rezente Blockmeere, oder wenigstens Blockstreifen und kleinere Blockströme, kommen wohl auch ausserhalb der hochalpinen Gegenden Mitteleuropas vor, wie z. B. im Harz und Riesengebirge, wo man sie wahrscheinlich auch etwas unter die Waldgrenze verfolgen kann.

Einige Lokalbeschreibungen.

Lehtovaara, 6 km S von Vittangi (etwa 270 m ü. M., Lappland), nenne ich als eines der in dem hiesigen Syenit-, Gabbro- und Granitgebiet allgemein vorkommenden Blockfelder. Das Feld liegt an dem Fuss des Lehtovaara, und ist zwar von ganz gewöhnlichem Habitus und nicht besonders gross, eignet sich aber für eine Beschreibung, weil die Landstrasse es durchquert und dabei in den Gräben die Unterlage teilweise blossgelegt worden ist.

Das Blockfeld hat, wie die Kartenskizze (Fig. 8) zeigt, eine Grösse von rund 250×60 m. Das grobe Blockmaterial bildet die typische, fast horizontale Fläche, die Blöcke sind meistens von $\frac{1}{2}$ —1 m Durchmesser, ausnahmsweise können sie auch in einer Richtung mehrere m messen, und sind durchgehend scharfkantig.

Es lässt sich bei einem näheren Studium der Blöcke feststellen, dass hier ein autochthones Feld vorliegt, das einen Felsgrund aus Quarzsyenit mit dunkleren, teilweise amphibolitischen Abarten wiedergibt, der von einer breiten, NW—SO streichenden Granitintrusion durchsetzt ist. Die Gesteinsgrenzen sind allerdings nicht mehr scharf, sondern durch interne

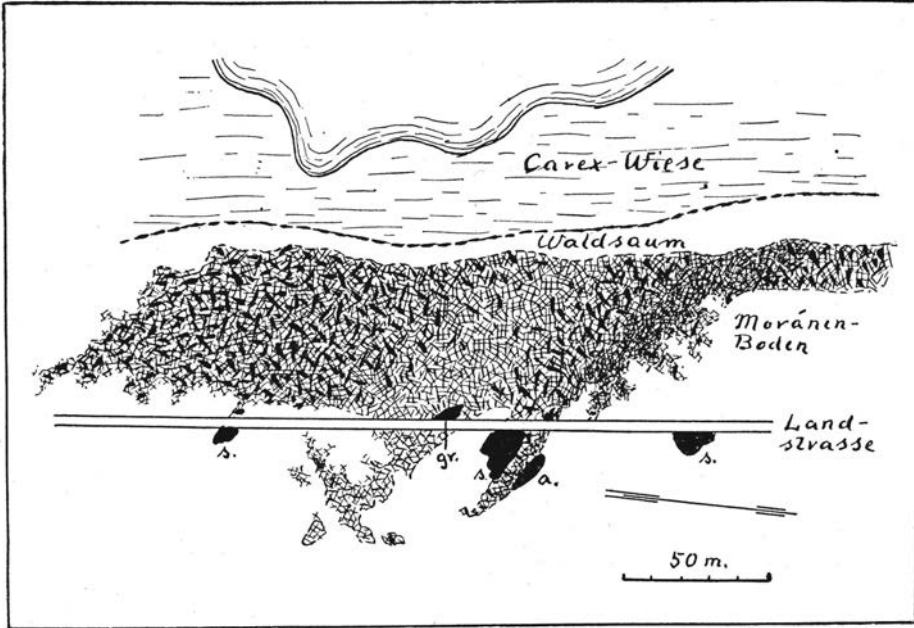


Fig. 8. Kartenskizze über das Blockfeld am Lehtovaara. Schwarz bezeichnet anstehende Felsen. gr. = Granit, s. = Syenit, a. = Amphibolit. Die etwaige Verteilung der Gesteine im Blockfeld ist angedeutet. Die schwach gestrichelte Zone schief über das Feld und über den Granitfelsen besteht vorwiegend aus Granitblöcken.

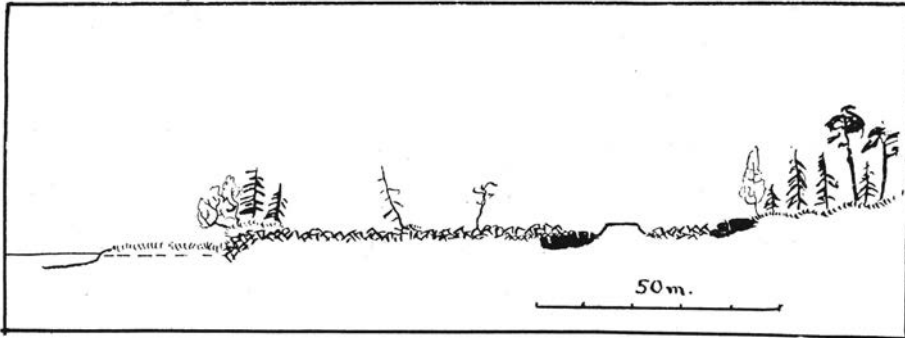


Fig. 9. Schematisches Querprofil durch das Lehtovaara Blockfeld. Etwa 2-fach überhöht.

Bewegungen der Blockmassen verwischt. An den Seiten der Landstrasse, wo Blöcke weggenommen worden sind, sieht man aber den unmittelbaren Zusammenhang des Blockmaterials mit der Unterlage. Teilweise liegen noch Blöcke halb in situ, teilweise tritt das gewöhnliche Scherbenlager dazwischen auf. Der unterliegende feste Felsgrund ist auch mehr oder weniger angegriffen und zerklüftet. An dem Aussenrand des Feldes treten einige noch zurückgebliebene Felshöcker auf, die teilweise von Klüften durchsetzt sind und einzelne grössere Brocken abgesondert haben, die noch wenig verschoben sind.

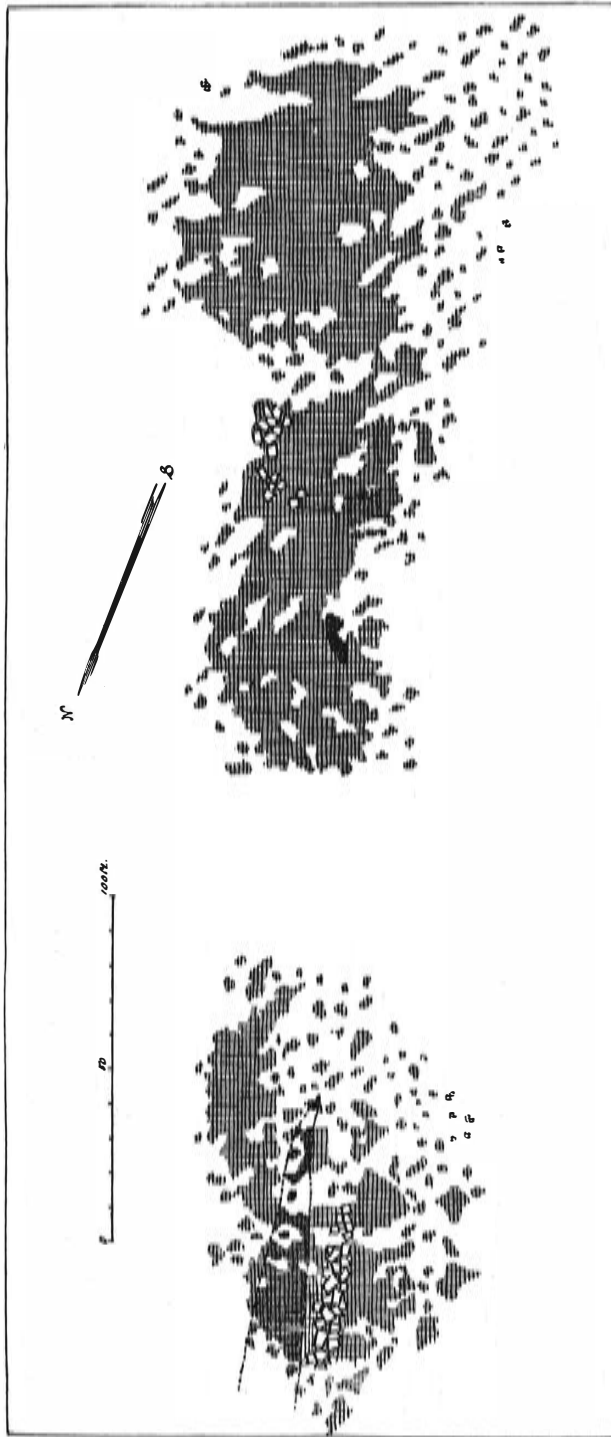


Fig. 10. Lappeavuoma Blockfeld.

Die in der Kartenskizze dunkler bezeichneten Partien entsprechen in dem Granit eingeschlossenen basischen Schlieren; die ange deuteten, gröbereren Blöcke bestehen aus pegmatitischen und aplitischen, widerstandsfähigeren Formen des Granites. In dem umgebenden, versumpften Waldboden ist die Anwesenheit von unregelmässigem, grobem Strukturboden durch die Blockstreifen und Blockgruben erkennbar.

An dem östlichen Rand des Feldes geht dieses allmählich in blockreichen Moränenboden mit Blockstreifen und unregelmässigem Strukturboden über. Hier kommen Ausläufer des versumpften Waldes herein, die Bäume scheinen aber schlecht bewurzelt zu sein, einige sind umgefallen und andere neigen ihrem Fall zu, eine für solchen Boden allgemeine Erscheinung, die offenbar mit den Bodenbewegungen in Zusammenhang steht.

Die westliche Grenze des Feldes, die als »distaler« Rand oder Front bezeichnet werden kann, ist scharf markiert und hat die für einen an Wasser auskriechenden Blockboden typische Ausbildung (vergl. Skans-



Fig. 11. Eine pegmatitische Partie im Lappeavuoma Blockfeld. Die grossen Blöcke sind unter einander wenig verschoben, haben aber nichts destoweniger eine ganz scherbige Unterlage.

berget S. 276). Es folgt in diesem Fall eine Moorige, die sich aus einem jetzt fast völlig zugewachsenen See entwickelt hat und auch im Frühling unter Wasser steht. Der Frontwall oder Absatz des Blockfeldes ist mit eingeschwemmtem organischem Detritus vermengt und trägt einen schmalen Saum von Bäumen und Gebüsch mit dem Charakter einer Ufervegetation (im Hintergrund auf Fig. 1 sichtbar).

Lappeavuoma, etwa 5 km NNW von Vittangi und 260 m ü. M., zeigt einen Komplex von Blockfeldern, wovon ein paar der grösseren in der Kartenskizze Fig. 10 wiedergegeben sind, die sich für eine nähere Untersuchung eignen, weil die Unterlage blossgelegt ist. In diesem Fall ist der grösste Teil des Blockmaterials weggeführt, um als Baumaterial

für das Landstrassenfundament an der Fährstelle in Vittangi zu dienen. Die unter den Blockmassen lagernde Scherbenschicht ist hier viel stärker entwickelt als bei Lehtovaara, wodurch der anstehende Felsgrund nur ausnahmsweise zu Tage tritt.

Dieses Felsenmeer liegt innerhalb des Gebietes des Vittangi-Gabbros, das Gesteinsmaterial gehört aber fast ausschliesslich dem jüngeren roten Granit an, der den Gabbro in oft hundert oder mehr Meter breiten Intrusionen durchsetzt. Abgesehen von dem teilweise direkt nachweisbaren Zusammenhang mit dieser Granitunterlage zeigt schon das Blockmaterial,



Fig. 12. Lappeavuoma. Das Scherbenlager zeigt, wo die Blöcke weggeführt sind, oft Kuppen und Pyramiden aus ziemlich feinem Material, die den »Schuttinseln« des Strukturbodens entsprechen (im Vordergrund des Bildes: der Stein rechts neigt nach der einen Seite, die Büchse nach der anderen).

dass hier ein autochthones Blockfeld vorliegt, denn sonst, wenn nämlich die Blöcke aus Moränen stammen sollten, müsste der in der ganzen Umgebung dominierende Gabbro vorherrschend sein.

In den Blockmassen lassen sich auch ein paar eingeschlossene Schlieren von den basischen, umgebenden Gesteinen der Gabbroserie erkennen, ebenso eine gangartige Pegmatitpartie des Granites, die sich übrigens durch besonders grosse Blöcke auszeichnet, die zu schwer waren, um sich für Bauzwecke zu eignen, und jetzt in dem sonst recht nackten Scherbenfeld besonders auffallend in einem Streifen daliegen (Fig. 11). Eine andere, kleinere Ansammlung von Pegmatitblöcken kommt auch in dem südlicheren Feld zum Vorschein.

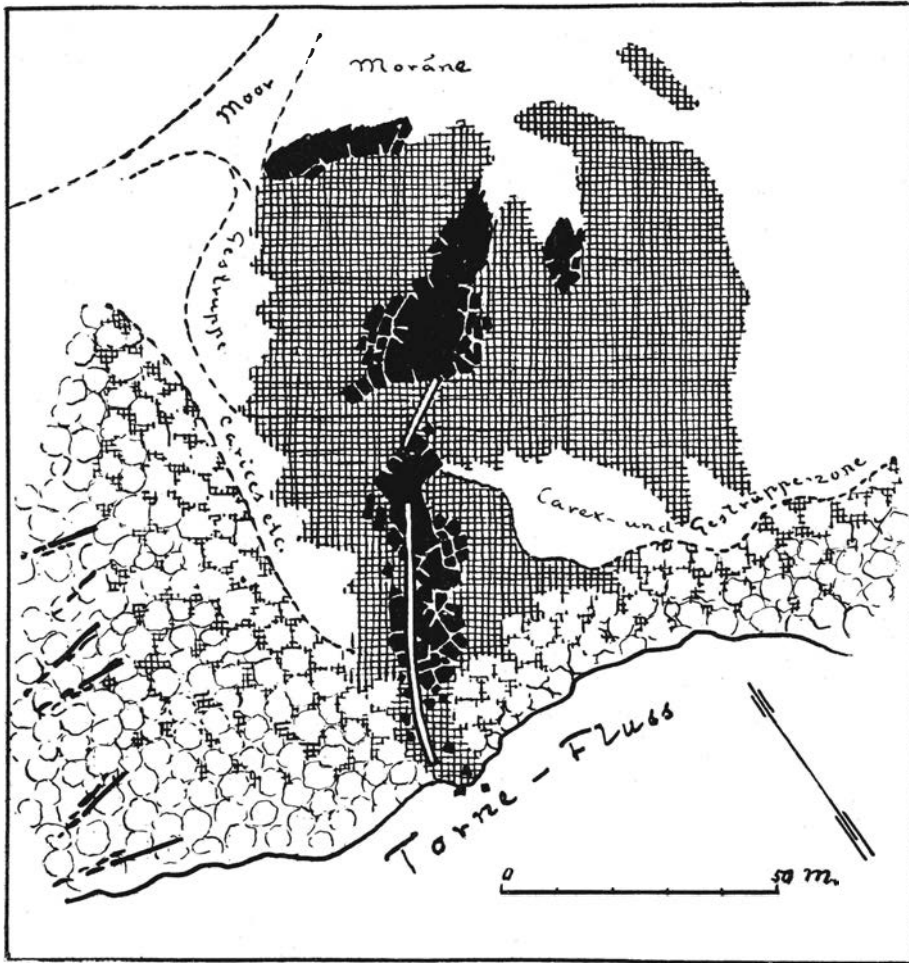


Fig. 13. Kartenskizze über das Soitola Blockfeld bei niedrigem Wasserstand. Die centralen, schwarz bezeichneten Partien sind rückständige Felsen, teilweise stark verklüftet (der darüber führende Steg ist eingezeichnet). Die Felsen sind von einem Blockfeld umsäumt (karriert), das in den Aussenkanten in Polygonboden übergeht. Links durch Eisschub entstandene Schrammen.



Fig. 14. Schematisches Querprofil durch das Soitola Blockfeld. In der Mitte der zurückgebliebene Felsenrest, an den Aussenkanten der Polygonboden des Feldes.

In der reichlich entwickelten und recht dicken Scherbenunterlage sind hie und da auftretende, etwa $\frac{1}{2}$ m hohe, kuppenförmig gewölbte Anhöhen (Fig. 12) auffällig, sie entsprechen den mehr breiigen Zentra oder »Schuttinseln« eines Strukturbodens. An den Aussenkanten des Blockfeldes kommen sie allgemeiner vor, wo auch feineres Moränenmaterial reichlicher beigemischt ist. Während die Blockfelder sonst von Vegetation ganz entblösst sind, können in diesen Schuttinseln einzelne Gesträuche und auch Bäume wurzeln; in den angrenzenden Gebieten, wo Blockstreifen und grober Strukturboden zu erkennen sind, dringt allmählich die Wald-



Fig. 15. Soitola Blockfeld. Der Steg geht über noch erhaltene Felsreste. (Leichte Schneedecke.)

vegetation ein, auch hier, wie bei Lehtovaara, mit umfallenden und entwurzelten Bäumen von den Bodenbewegungen Zeugnis tragend.

Der oben als Lappeavuoma bezeichnete Blockfeldkomplex, wie auch die ganze Umgebung, muss als ein ursprünglich einigermaßen flaches Moränen- und Felsterrain aufgefasst werden, wo jetzt die Felsen vom Frost völlig zertrümmert worden sind und durch Bodenbewegungen eine vollständige Nivellierung erfahren haben.

Soitola (260 m ü. M.). Der provisorische Landungsplatz am Tornefluss für das Erzfeld mit diesem Namen liegt an einem niedrigen Gabbro-Felsrücken, der von einem Blockfeld umgeben ist. Der ursprüngliche Felsboden ist bis auf diesen zurückgebliebenen Mittelrücken zertrümmert und in ein autochthones Blockfeld umgewandelt, das schon fast ganz eingeebnet ist. Der etwas aufragende Felsenrest wird nunmehr von den Seiten her angegriffen und geht jetzt allmählich dem Untergang entgegen,

an den Kanten werden grosse Felsbrocken abgespaltet (Fig. 15 und 16), welche, mehr oder weniger umgekippt und gesunken, sich mit den umgebenden Blockmassen vereinigen.

In den randlich gelegenen Teilen des Feldes, wo wie gewöhnlich feineres Material hinzukommt, treten erst einzelne Schuttinseln auf (Fig. 4), danach folgt ein grober Strukturboden (Fig. 17), der weiter in ziemlich regelmässigen Polygonboden mit spärlichem und kleinstückigerem Gesteinsmaterial übergeht. Diese Abtönung eines Blockfeldes in Blockstreifen und Strukturboden lässt sich hier, wo die Ufer einer deckenden Vegetation



Fig. 16. Dasselbe Feld wie Fig. 15. Die noch erhaltene Felsklippe, wo der Mast steht, ist von der Seite her in Angriff genommen.

entbehren, besonders gut verfolgen. Da auch in diesem Strukturboden fast ausschliesslich Gabbrosteine vorkommen und der Gabbro hier eine ganz lokale Verbreitung hat, kann Moränenmaterial kaum eine grössere Rolle spielen, sondern der ursprüngliche Felsboden muss an den Aussenkanten schon völlig vernichtet oder in ein hauptsächlich breiiges Material umgewandelt sein, oder die Gabbrosteine sind hier in dem Strukturboden hauptsächlich als durch Gekriech »ausgewanderte« Steine und Schutt anzusehen.

Zu der hier reproduzierten Karte (Fig. 13), die bei niedrigem Wasserstand im Spätherbst aufgenommen wurde, können noch ein paar Bemerkungen gemacht werden. In dem im Frühling und Sommer unter Wasser liegenden Strukturboden, wo feines, erdiges und breiiges Material vorherrscht, sind einige Schrammen oder kleine Rinnen zu beobachten (in der Karte angedeutet), die durch den Eisgang im Frühling entstanden sind.

Es kann daraus geschlossen werden, dass man dem Eisschub keine wichtigere Rolle für die Ausbildung der Ufer zuschreiben darf. Was die Wassererosion betrifft, kann ein entsprechender Schluss gezogen werden, dass das strömende Wasser derartige Strukturbildungen nicht merkbar vertilgen kann; und doch ist bei Hochwasser hier die Strömung dermassen stark, dass man schwerlich im Boot dagegen rudern kann.



Fig. 17. Bei niedrigem Wasserstand blossgelegter Polygonboden an der Aussenkante des Soitola Blockfeldes. (Leichte Schneedecke.)

Der etwa normale Sommerwasserstand ist durch einen Vegetationsgürtel (von Carices und Salices) gekennzeichnet, der wahrscheinlich durch angeschwemmten Humus-Detritus bedingt ist. Dieser deckt, wie aus der Karte hervorgeht, teilweise den Übergang vom Blockfeld in den Strukturboden.

Känttö, etwa 9 km N von Vittangi, etwa 300 m ü. M., nenne ich ein Blockfeld dicht an der Landstrasse nach Soppero (an der Südseite von Vastakielinen), das eine ziemlich grosse Fläche, etwa 10 Hektar, umfasst (Karte Fig. 18). Die Blöcke gehören, mit wenigen Ausnahmen, einem grobkristallinen Quarzsyenit an, der auch in einem Felsen an der Nordseite



Fig. 18. Kartenskizze über das stromartige Blockfeld bei Kättö. Grober Strukturboden mit Steinstreifen und »Steingruben« in den peripheren Teilen. Fester Felsboden ist schwarz bezeichnet. Höhenkurven mit 1 m Abstand sind eingezeichnet.

des Feldes ansteht. Da dieser Syenit eine recht beschränkte Ausdehnung hat, muss man auch hier annehmen, dass die Blockmassen hauptsächlich durch Zersprengung von Felsboden entstanden sind. Wenigstens gilt dies für die nackten, zentralen Teile des Feldes; in den peripheren Partien dagegen ist mehr feines Material beigemischt wie auch fremde Blöcke, offenbar aus angrenzendem Moränenboden stammend. Es tritt hier in einer recht ausgedehnten Zone typischer, groblockiger und unregelmässiger Strukturboden auf, der mit kümmerlicher Waldvegetation bewachsen ist.



Fig. 19. Kääntö Blockfeld. Die mittlere, ganz nackte Partie.

Wo die Landstrasse das Blockfeld durchzieht, ist in den Gräben das unterlagernde, nasse Scherbenbett blossgelegt (Fig. 20), das, ebenso wie die Blöcke, aus Syenitmaterial besteht, die Felsunterlage selbst ist aber in diesem Fall nicht blossgelegt.

Dieses Blockfeld wird erwähnt, weil es einigermaßen eine Übergangs-



Fig. 20. Kääntö. An der Landstrasse, wo das Blockmaterial teilweise weggenommen ist, sieht man die Scherbenunterlage, wo etwas nach links eine Ansammlung von feinerem Material erkennbar ist und als der Anfang einer »Schuttinsel« aufgefasst werden kann.

form zu den mehr ausgeprägten Blockströmen bildet. Wie in der Kartenskizze angegeben, füllt es wie ein breiter Strom die schwach, etwa $\frac{1}{100}$ fallende, ganz flache und offene Rinne, und die Blockstreifen und der Strukturboden an den Seiten bilden so zu sagen die Zuflüsse. Das Ergebnis der Bodenbewegungen ist wohl bis jetzt hauptsächlich eine an das Grundwasserniveau sich anschliessende Nivellierung, während die Längsbewegung des eigentlichen Stromes sich in ziemlich engen Grenzen hält. Jedenfalls scheint die überquerende, einige Jahrzehnte alte Landstrasse keine merkbare Verschiebung erlitten zu haben.

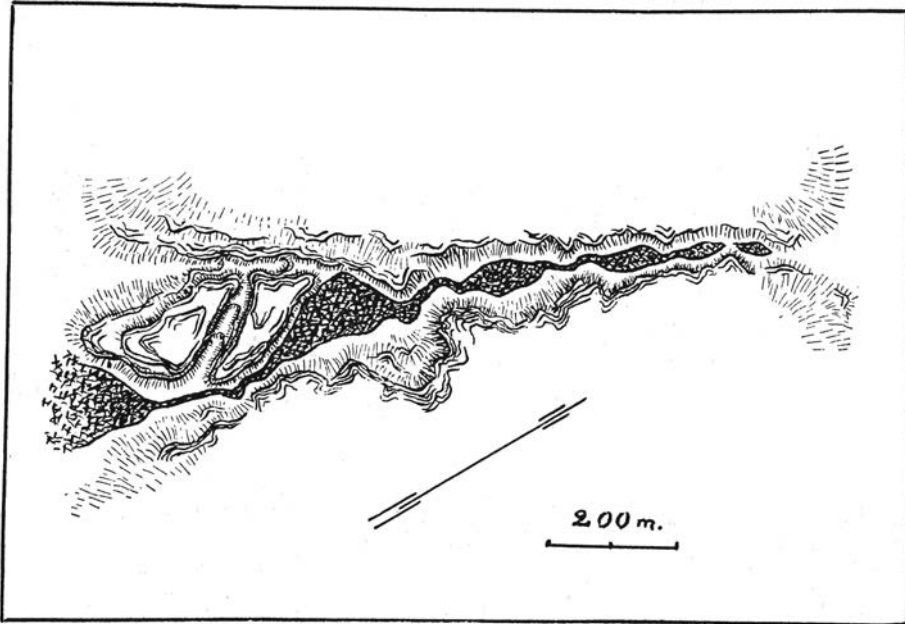


Fig. 21. Kartenskizze über den Blockstrom in einem trockenen Cañon, nahe Granbergfors.

Granbergfors. Zwischen Pjunnäs und Granbergfors (an der NO-Seite der Skellefte-Älv, etwa 250 m ü. M.) gibt es ein paar trockene Cañonschluchten, die nicht nur glazialgeologisch interessante Züge aufweisen, sondern auch für das Studium von Spaltenfrost und Bodenkriech Vieles von Interesse bieten. Der hier näher zu erwähnende Cañon durchquert in etwa 800 m Länge eine Berghöhe aus Schiefern und quarzitischen Arkosen (aus der »Vargforsserie») und ist in seiner ganzen Erstreckung von einem regelrechten Blockstrom eingenommen, der von den phantastisch frostzersprengten und fast völlig zerfallenen Wänden mit Material versehen wird.

Der jetzt etwa 5—10 m tiefe, kleine Cañon stellt, wie aus der Kartenskizze (Fig. 21) hervorgeht, ursprünglich eine Reihe von kleinen Kolkseen dar, die mit einigen Metern (5—8 m) Höhenunterschied auf einander

folgen, und durch engere Rinnen verbunden sind. Die bis 100 m breiten Erweiterungen oder vormaligen Kolkseen sind jetzt von ganz flachen Blockfeldern eingenommen, die durch engere Blockströme ihre »Abfluss« haben. Während die »Blockseen« teilweise Strukturboden zeigen und also einigermassen in Ruhezustand sich befinden, kommt in den »Stromschnellen« die lebhaftere Bewegung dadurch zum Ausdruck, dass die flachen Blöcke kantgestellt und wie zusammengedrängt erscheinen. Vor der Mündung schliesslich liegt auf flachem, offenem Boden ein Delta-ähnliches, flaches Akkumulations-Blockfeld (vergl. Fig. 22 und 23).

Dieser Cañon bietet also ein Beispiel für einen ausgeprägten Block-



Fig. 22. Der Blockstrom im Cañon nahe Granbergfors. Aus dem oberen, engeren Lauf. Von den Seiten kriecht Thalus von den frostersprengten Cañonwänden herab.

strom mit nachweisbarer, stromähnlicher Abwärtsbewegung, wozu es alle Übergangsformen von gewöhnlichen flachen Blockfeldern gibt. Als solch eine Zwischenform kann z. B. das oben beschriebene Känttö betrachtet werden.

Skansberget. Auf diesem Berg, zwischen Skellefte-Fluss und Petikån, liegt eine grossartige cañonähnliche Felsenrinne mit einem kleinen See (230 m ü. M.). Zwischen dem steilen Felsabhang (aus Vargföskonglomerat) und dem Ufer liegt ein ganz flach ausnivelliertes Blockfeld (Fig. 24), das in mehreren Hinsichten interessant ist und die für die Uferblockfelder charakteristischen Merkmale zeigt.

Dieses mit moorigem Wald bewachsene Blockfeld lässt durch die Vegetationsdecke eine grobe Strukturbildung erkennen und ist zu einer

wagerechten Ebene ausgeflacht, die $\frac{1}{2}$ —1 m über dem Wasserspiegel liegt. Diese weitgehende Ausnivellierung und Anpassung an die Wasseroberfläche ist, wie schon erwähnt, eine durchaus allgemeine Erscheinung, sie fällt aber in diesem Fall besonders ins Auge, weil solch ein flacher Blockboden mit seiner wagerechten, an das Wasser angepassten Fläche an seiner anderen Seite unvermittelt an die steile, frostersprengte Felswand stösst. Normalerweise Moränenboden kann hier nicht vorliegen, sondern das Blockmaterial stammt anscheinend aus alten Thalushalden oder teilweise vielleicht auch aus lokalen Moränenansammlungen unterhalb der Bergwand, die durch Frostersprengung fortdauernd Zuschüsse liefert, und das



Fig. 23. Derselbe Blockstrom. Die unterste Erweiterung, oberhalb der Felseninseln an der Cañon-Mündung (im Hintergrund des Bildes, vergl. die Karte Fig. 21).

Ganze muss durch Bodenschub abgeglitten sein, bis schliesslich ein gewisser Ruhezustand im Verhältniss zum Seenniveau erreicht wurde.

Im Seeufer zeigt das Blockplateau eine steile, 40 — 50° abfallende Kante, die bis ein paar Meter tief unter Wasser fortsetzt und eine Art Strandschonung aus freigespülten Blöcken darstellt. Diese für Seen mit stabilem Wasserstand recht typische Uferbildung muss, wie ich schon erwähnt habe, als eine Frontbildung des Blockbodens aufgefasst werden, die dadurch entstanden ist, dass der Bodenschub gegen das Wasser so zu sagen »aufgestaut« ist, da der Seegrund, vor der Frosttätigkeit geschützt, keinen Bewegungen unterworfen ist.

Hornträsk. Am Ostende dieses Sees (in Lycksele 362 m ü. M.) liegt eine etwa 10 m hohe Felsenklippe aus Sericit Quarzit, wo die tief-

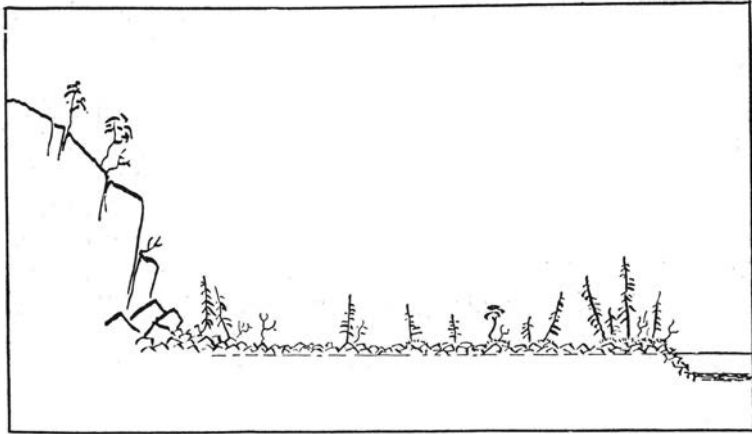


Fig. 24. Ein etwa 50 m breites Uferblockfeld unterhalb einer Felswand am Skansberget.

greifenden Wirkungen der Frostsprengung aussergewöhnlich deutlich zum Vorschein kommen. Wie aus der schematischen Skizze (Fig. 25) hervorgeht, ist der Fels, der aus dem flachen Blockufer ziemlich steil und unvermittelt emporragt, von den Seiten her stark angegriffen, grosse Stücke sind abgespaltet und mehr oder weniger umgekippt oder herabgesunken und gehen in dem saumartig umgebenden, flachen Trümmerfeld ihrem Untergang entgegen. Aber auch oben, und sogar in den zentralen Partien ist der Fels vom Frost erfaßt worden und von tiefen, teilweise weit klaffenden Spalten durchzogen, die sich vorzugsweise den steil stehenden Schichtflächen angepasst haben. Diese Klüfte sind oft mehrere dm breit und schneiden den Fels bis zum Basisniveau in 5—8 m Tiefe völlig durch; bei meinem Besuch den $21/6$ 1923 war unten in den Klüften noch Eis vorhanden. Es zeigt sich hier eine eigentümliche Erscheinung; diese

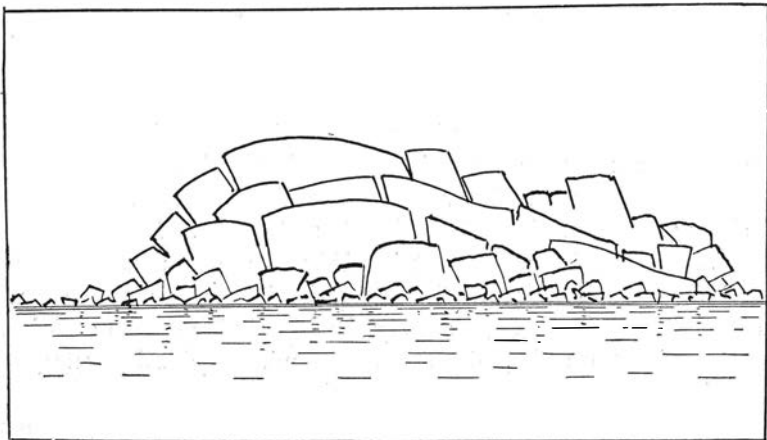


Fig. 25. Zersprengter und verschobener Quarzitfels am Ufer von Hornträsk.

losgespalteten, zentralen Felspartien behalten zwar in der Hauptsache ihre ursprüngliche Orientierung, sind aber mehr oder weniger vertikal verschoben, was von der noch erhaltenen, rundgeschliffenen Oberfläche sehr auffallend hervorgehoben wird. Diese Verschiebungen, die einen halben Meter oder mehr betragen können, sind nur durch tiefliegende und sehr kräftige Frostwirkungen erklärlich, wahrscheinlich ist unten in dem Feuchtigkeitsniveau des Felsen die Frostsprengung viel weiter gegangen als in den oberen Teilen.

Inhalt.

	Seite.
<i>Einleitung</i>	243
<i>Auftreten der Blockfelder</i>	244
<i>Charakteristische Merkmale der Blockfelder</i>	246
<i>Beobachtungen aus den Ufergebieten der Seen und Flüsse</i>	250
<i>Über den Verlauf der Frostvorgänge im Felsboden</i>	254
<i>Über den durch die Frostvorgänge hervorgerufenen Bodenschub</i>	256
<i>Die morphologische Bedeutung der beschriebenen Frostvorgänge</i>	261
<i>Einige Lokalbeschreibungen</i>	264

Gedruckt ¹³/₁₀ 1926.

