

5. Einige Illustrationen zu den geologischen Wirkungen des Frostes auf Spitzbergen.

Von

Bertil Högbom.

Naturforscher, die in arktischen Gegenden reisen, werden oft von der dominierenden Rolle frappiert, welche die Verwitterung durch Frost und die Fliess- oder Gleiterde in der Heranbildung des Charakters der Landschaft spielen. Alle die von diesen Erscheinungen dem Wanderer verursachten Schwierigkeiten und Mühen tragen auch dazu bei, die Aufmerksamkeit auf diese eigentümlichen Phänomene zu ziehen. Bei quartärgeologischen Studien wird man ebenfalls an ihr Dasein erinnert, indem sie nur ausnahmsweise solches Untersuchungsmaterial wie Schrammen, eistransportierte Blöcke, Uferterrassen u. s. w. geschont haben. Während meines Aufenthalts auf Spitzbergen, besonders im Eisfjordgebiete, in den Sommern 1908 und 1909, bin ich in Gelegenheit gekommen, neben den stratigraphischen und paläontologischen Untersuchungen, einige Beobachtungen über diese Erscheinungen zu machen.

Frostsprennung.

Die Fähigkeit der Frostverwitterung, die Bergseiten zu zersprengen und durch Anhäufungen von Blöcken die Thalusbildung zu befördern, ist allgemein bekannt. Auf Spitzbergen, besonders in der Tafellandschaft der inneren Fjordgebiete, ist es die Ausbildung der Thalusanhäufungen, die das Gepräge auf die Topographie drückt, und oft ein gutes Charakteristikum der Formationen, dank verschiedener Widerstandsfähigkeit und Zerklüftungsart der Gesteine, bildet.

Auch die Tafelebenen sind der Frostzersprengung ausgesetzt, und werden dann von Steinfeldern bedeckt, welche mit den s. g. *Blockmeeren* der schwedischen Hochgebirge analog sind. Auf Spitzbergen findet man inzwischen nahe an der Meeresfläche gelegenen Felsenboden, so z. B. Kap Boheman (Jurasandstein), die Inseln und Landzungen an der Mündung von Sassen Bay (Diabas), wo die Felsenplatten noch nicht zerstört sind,

sei es, dass es davon abhängt, dass sie bis in die letzte Zeit durch Wasserbedeckung geschützt waren, oder dass die Frostwirkungen in niederen Regionen merkbar schwächer sind. Ein Paar Photographien zeigen solche Diabasfelsen in Sassen Bay; hier hat aber das Zerstörungswerk schon angefangen. Sie veranschaulichen auch gut die Stärke der besprochenen Kraft. So ist an Fig. 1 eine Felsenpartie zu sehen, die etwa 1 m. aus ihrer ursprünglichen Lage aufgehoben worden ist. Fig. 2 zeigt eine gewöhnlichere Ausbildung; hier ist der Felsen in mehrere Blöcke zersprengt, die sich zu einem Hügel aufstapeln. In den dadurch entstandenen Brunnen kann man auch im Spätsommer Eis finden. Die Arbeitsmethoden der Frostsprengung in solchen Fällen sind ja leicht erklärlich. Wenn Wasser in den Spalten, die den Berg durchsetzen, friert, oder wenn das Eis eine Volumenzunahme erfährt, können gewisse Teile der Gesteinmasse sich aufwärts verschieben. Es ist zu bemerken, dass die *Regelation* (das wiederholte Gefrieren und Schmelzen) eine viel grössere Rolle als die Temperaturvariationen im Eis spielt, teils sind die Volumenveränderungen bei Regelation unvergleichbar grösser, teils wird die Wärme grösstenteils an der Aussenfläche der gefrorenen Schichte beim Schmelzen oder Gefrieren verbraucht. Wenn aber diese Kräfte aufhören, können die Blöcke oft nicht zurücksinken, sie werden in der engen Schlucht arretiert, bis der Frost wieder mit seiner Arbeit eingreift. In den steilen Böschungen, wo das Material niederrutschen kann, wirkt die Verwitterung mit grösserem Effekt. Man hört auch dann und wann, besonders im Vorsommer, das Gepolter von niederrutschenden Blöcken, und auf dem Schnee der Abhänge liegen dunkle Streifen von neugebildetem Thalus.

In diesen hohen Breiten sind die Bergwände gegen alle Himmelstriche in etwa demselben Masse den Temperaturveränderungen durch abwechselnde Sonnenbestrahlung ausgesetzt.

Während des Vorsommers, da die Temperaturschwankungen noch sehr oberflächlich sind und deshalb der Regelation vollständiger zu gute kommen, vollzieht sich die Zersprengung auch mehr oberflächlich. Dicht an den Schneeflecken setzt sich diese Zersprengung den ganzen Sommer hindurch fort, so dass die Schneefelder sich einwärts fressen und den ersten Anstoss zur Bildung von Ravinen und trichter- oder cirkusförmigen Nischen geben (Fig. 8), welche ihrerseits gerade die Existenzbedingungen der Schneeflecken und der Entstehung kleiner Gletscher begünstigen. Aber auch andernfalls kann die Frostverwitterung den Sommer hindurch arbeiten, wenn auch schwächer und vor allem mehr unbemerkt, denn sie versetzt ja ihre Wirksamkeit mehr einwärts, je nachdem die Aufthauung der Erde einwärts fortschreitet. Sie kann dann die Gesteinmasse nur aufbereiten, bis sie an der Reihe ist durch die Denudation blossgelegt zu werden.

Die Jahresisotherme für Spitzbergen soll $-6,2^{\circ}$ C. sein (Kap Thordsen 1882—83). Es ist dann zu warten, dass die Temperatur der neutralen Zone des Bodens — im allgemeinen 10—20 M. unterhalb der Oberfläche gelegen — ein wenig höher wäre. Einen Beitrag zur Kenntniss der Bodentempe-

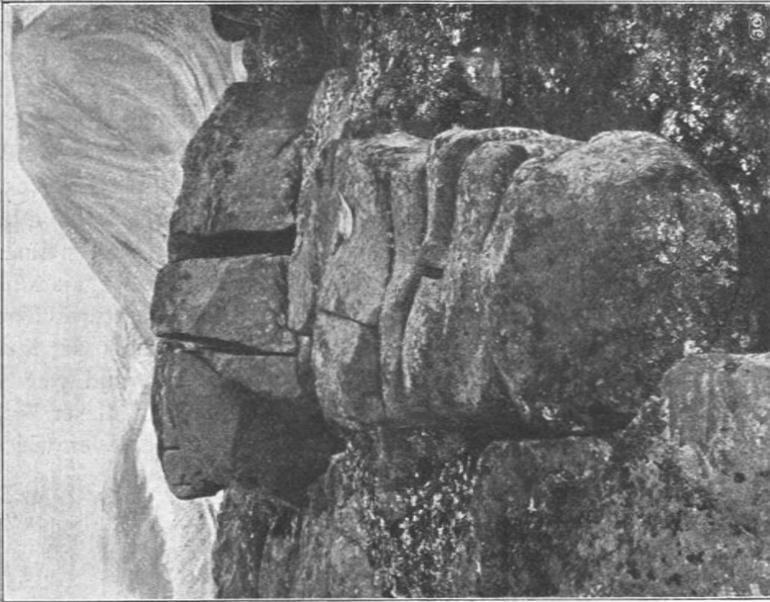


Fig. 1. Durch Frost losgesprengte und hinaufgeschobene Partie eines Diabasfelsens. Sassen Bay (9/10 09).

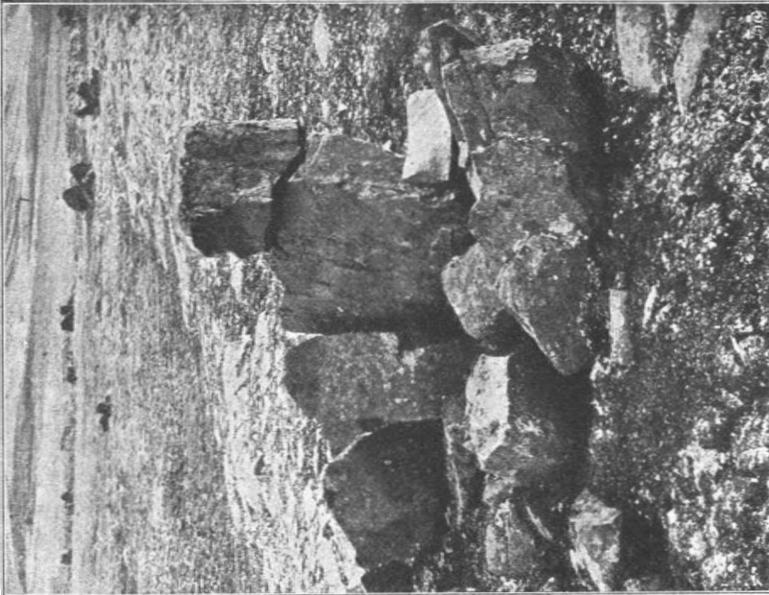


Fig. 2. Losgesprengte und hinaufgeschobene Blöcke auf Felsenrunde von Diabas. Sassen Bay (9/10 09).

ratur giebt eine Mitteilung von Arctic Coal Comp., dass die Temperatur der Grube, 350 m. einwärts und 250 m. unterhalb der Plateauoberfläche — 2° C. ist. Es ist indessen offenbar, dass die Zone für 0°, d. h. die Fläche der gefrorenen Erde, so oberflächlich zu liegen kommt, dass sie von den Temperaturschwankungen von oben verhältnismässig stark beeinflusst wird. Vor allem gilt dies den mehr dauerhaften Witterungsveränderungen, aber auch dem bei klarem Wetter täglich wiederkehrenden Wechsel von Sonne und Schatten, wenn auch solche dank ihrer kurzen Dauer ziemlich verwischt werden und im Spätsommer vielleicht ohne nennenswerte Bedeutung sind. Wahrscheinlich kann indessen die Regelation in arktischen Gegenden sich vollziehen, ohne dass die Temperaturoscillationen der Luft zum Gefrierpunkt hinab reichen, und dieses dank der Kälte, die so zu sagen im Innern des Bodens magaziniert ist, und wenn es möglich ist, ihr verlorenes Gebiet wiederzuerobern sucht. In dieser Weise kann die Grenze zwischen der aufgethauten und gefrorenen Boden wiederholt Verschiebungen erfahren.

Übergänge des Thalus zu Fliesserde.

Wie schon vorher gesagt, nehmen die Thalusböschungen, je nach der Festigkeit und Zerklüftungsart des Gesteinmaterials verschiedenen Charakter an, und da auf Spitzbergen u. a. Granite, Feuersteine, Dolomite, Sand- und Kalksteine, Gips, Schiefer u. s. w. vorkommen, so giebt es auch eine grosse Variation der Ausbildungsformen.

Natürlich entgehen nicht die Blöcke im Thalus der Frostsprengung, was z. B. daraus hervorgeht, dass auch wo das Material grob und blockig ist, ein deutlicher Unterschied zwischen dem oberen und unteren Teil der Böschung herrscht, so dass die grössten Blöcke zu oberst und immer kleinere abwärts zu finden sind. Auch wenn die Thalusbildung sehr kräftig ist, wird der natürliche Böschungswinkel nicht ganz erreicht, was sich dadurch erweist, dass die Blöcke nur ausnahmsweise zur Basis des Kegels herabrutschen. Dieser Winkel wird nämlich nach und nach dadurch nach unten zu vermindert, dass die ganze Schuttmasse langsam gleitet und gleichzeitig allmählich in Fliess- oder Gleiterde übergeht, die aus feinerem Material mit eingemengten Steinen und grösseren Blöcken besteht. Dieses ist ziemlich gut von Fig. 8 veranschaulicht, wo man im Hintergrund den Übergang von Thalus zu fluidalstruierter Gleiterde wahrnehmen kann. Wo es sich um weniger widerstandsfähige Gesteine handelt, z. B. Schiefer, die ausserdem durch ihre Tafelform zur Bildung von Thalus wenig geeignet sind, herrscht der Thalus nur in einer unbedeutenden Zone, indem der Schutt fast sogleich in Fliesserde übergeht. Wo die Neigung zu schwach ist, oder wo die Thalusbildung durch das Zerstoren der Bergwände zu Ende gebracht worden ist, wird das Terrain von dem Erdfliessen ganz beherrscht, so z. B. in den Schiefergebirgen der Triasgebiete und inner-

halb einigen Tertiärhorizonte. Wo Sandstein- und Diabaslager in diesen eingeschaltet sind, werden die Verhältnisse naturgemäss mehr kompliziert.

Erdfliessen.

Erdfliessen oder die von Prof. J. G. ANDERSSON vorgeschlagene Benennung »*Solifluction*»¹ sind Termen, die für Erscheinungen ziemlich verschiedener Art angewandt worden sind. Da es in den meisten Fällen jedoch sehr schwierig ist zu entscheiden, welcher Faktor bei diesen Erschei-



Fig. 3. Durch Erdfliessen zusammengeschobener und gefalteter Torf.
Kap Wijk (30/7 09).

nungen der wichtigste ist, so ist es auch nicht möglich mit Konsequenz verschiedene Namen je nach der Natur des Phänomens zu bestimmen. Prof. G. DE GEER hebt hervor,² dass nicht nur der Wassergehalt des Bodens für die Entstehung von Fliesserde entscheidend ist, wie man aus diesem Name schliessen könnte, sondern dass andere mehr unbemerkt wirkende Faktoren beitragen, so z. B. Regelation und Gleiten über der gefrorenen Erdschicht, weshalb er den Namen »*Gleiterde*» vorschlägt. Es scheint mir jedoch, als wäre »Fliesserde« mehr zutreffend um ein Bild

¹ J. G. ANDERSSON: Solifluction, a component of subaërial denudation. Journ. of Geol. 1906. 91—112

² Geol. Fören. i Stockholm Förhandl. 1904. 465—66.

davon zu geben, wie der Boden oft wie eine zähflüssige Masse sich in langsamer Bewegung befindet.

Für die Bildung von Peneplanes kann die Flusserosion allein nicht ausreichend sein, sondern die Verwitterungsprodukte des Bodens müssen langsam abwärts gleiten können. Dies ist die *Solifluction* im weitesten Sinne, und ist gerade die Erscheinung, worauf schon W. M. DAVIS¹ aufmerksam gemacht. Er erwähnt eine Reihe von Kräften, die hierbei wirksam sind, u. a. auch die Regelation.

Wenn wir schon wieviel die Regelation im festen Gestein leisten kann, so ist ihre grosse Bedeutung in diesem Falle leicht zu verstehen. Auf dieselbe Weise, wie die Frostsprengung den ganzen Sommer hindurch sich vollziehen kann, darf man auch hier das Vorhandensein einer Schicht dicht oberhalb dem immer gefrorenen Erdboden sich vorstellen, wo die Regelation wirkt. In diesem Sinne kann die gefrorene Erde als ein Gleitplan betrachtet werden. Dass die Regelation in der That eine wichtige Rolle spielt, kann daraus geschlossen werden, dass die Phänomene der Solifluction, die sich schwer durch den Wassergehalt des Bodens allein erklären lassen, eine ausgeprägte arktische Ausbreitung haben.² Wäre nun diese Regelation ausschliesslich an den Frühling und Herbst mit ihren Frostnächtern gebunden, so wären Gegenden in weniger hohen Breiten, wo die Gegensätze zwischen Tag und Nacht schärfer sind, viel mehr für die Erscheinung geeignet. Dieses sollte in noch höherem Grad der Fall sein, wenn das Erdfliessen nur eine Wirkung von der Feuchtigkeit des Bodens wäre. Wenn auch frühzeitiger, so verläuft doch die Schneeschmelze in Skandinavien etwa wie auf Spitzbergen, und tränkt den Boden mit Wasser ein, und dazu kommt in unserem Hochgebirge ein Sommer mit oft reichlichen Regen.

Man hat auch versucht wahrscheinlich zu machen, dass die Fliesserde vorzugsweise auf Gegenden mit kargerem Klima begrenzt sei, weil die dort nur schwach entwickelte Vegetation nicht den Erdboden zu binden vermag. Das scheint mir jedoch eine grosse Übertreibung, und meistens auf eine Verwechslung von Ursache und Wirkung zurückzuführen zu sein. Spitzbergen kann eine verhältnismässig kräftige alpine Vegetation aufweisen, ich habe sie aber niemals merkbar bindend wirken gesehen. So zeigt z. B. Fig. 3 einen 2—3 Dm. mächtigen Torf, vielleicht unter ruhigeren Verhältnissen ausgebildet, der jetzt durch das Gleiten der Erde zusammengeschoben und gefaltet worden ist.

Erdfliessen durch Wassereintränkung. Ehe ich mich auf die Behandlung der mehr typischen und zugleich eigentümlichsten Erscheinungen der Solifluction auf Spitzbergen einlasse, will ich im Vorübergehen einige

¹ DAVIS, *Physical Geography*, 263, 267.

² J. G. ANDERSSON (l. c.), der zuerst die grosse Bedeutung der Solifluction dargethan hat, giebt eine Zusammenfassung von der regionalen Verbreitung des Phänomens, und indem ich auf diese grundlegende Arbeit hinweise, kann es genügen hier zu erinnern, dass er die frühere grosse Verbreitung der Solifluction während der Eiszeit auch hervorgehoben hat.

Fälle erwähnen, wo die so nahe liegende Erklärung, der Wassergehalt des Bodens, wirklich für ausreichend gehalten werden muss. Die Schneeschmelzung, die den ganzen Sommer hindurch sich vollzieht, ist am kräftigsten im Juni und im Anfang von Juli, da die grössten Areale blossgelegt werden. Aller Boden in der unmittelbaren Nähe der Schneeflecken, und besonders unterhalb derselben, ist dann mit Wasser eingetränkt. Die traurigen Erfahrungen die man davon hat, wie lehmig und schwer zu betreten der Boden zu dieser Zeit ist, machen es unmöglich zu verleugnen, dass die Fliesserde im allgemeinen dann eine Periode von kräftiger Wirksamkeit haben muss. Besonders gilt es von den Böschungen unterhalb der mehr beständigen Sommerschneeflecken, wo man fast immer eine Fliesserde



Fig. 4. Ausgleitung in einem lehmigen Schieferthalus. Kap Wijk (30/7 09).

findet, die nichts mit der Regelation zu thun hat, sondern nur, oder wenigstens hauptsächlich, dem Wassergehalt zuzuschreiben ist. Soviel ich weiss, ist diese Form die in dem Skandinavischen Hochgebirge vorherrschende. Zweifelsohne ist es auch die meist kosmopolitische Ausbildung von Erdfliessen, was ja auch zu erwarten ist, da sie keine extremen Verhältnisse, wie z. B. permanent gefrorenen Boden erfordert. In Patagonien und den Cordilleren Südamerikas hat immer der Reisende mit solchem Erdfliessen zu kämpfen, und nach mündlichen Mitteilungen von QUENSEL und HALLE soll es hauptsächlich auf die südlichen Abhänge — die Schattenseiten — beschränkt sein.¹

¹ Die Fliesserdephänomene in diesen Gegenden scheinen in mannigfaltigen und interessanten Formen aufzutreten; auch gibt es Gegenstücke zu der Erscheinung, die hier unter der Benennung Polygonenboden Typus I behandelt ist.

Die Solifluction am Beeren Eiland schreibt J. G. ANDERSSON ebenfalls dem Wassergehalt des Bodens zu. Aus seiner Darstellung scheint es auch hervorgehen, dass es sich dort um keine typische »Regelationsfliesserde« handelt. Die Insel hat ein sehr ausgeprägt insuläres Klima, und ist wegen ihres Nebels berüchtigt. So bleibt der Boden stets feucht, aber die für die Regelation erforderlichen Temperaturschwankungen werden vielleicht selten erreicht. Die gefrorene Erdschicht liegt sicherlich auch nicht so oberflächlich wie auf Spitzbergen. Auf Beeren Eiland ist es nicht ungewöhnlich, dass halbfließende Erdströme eine Ähnlichkeit mit Gletschern in Miniature annehmen, was ich auf Spitzbergen nur selten gefunden habe. Solche können sich jedoch aus den recenten Moränen oder aus sehr lehmigem Verwitterungsmaterial (oft Thalusmaterial) ausbilden und als Detritusströme erscheinen.

Die katastrophenartigen Erdbeben, die in Skandinavien vorkommen, z. B. in Bohuslän und in den norrländischen Flussufern hängen von Wasserdurchtränkung feiner Sedimente ab und haben auf Spitzbergen, wo mächtigere Sedimentablagerungen fehlen, keine guten Gegenstücke. Eine gewisse Ähnlichkeit bieten jedoch die in feinzerteiltem Schieferthalus vorkommenden Rutschungen dar. Fig. 4 bildet eine solche ab; hier ist nicht die ganze Masse plastisch gewesen, sondern alles ist längs einer Schichte gerutscht. Derartige Rutschungen dürften in der That recht gewöhnlich sein, obgleich man sie wegen der schnellen Vertilgung ihrer Spuren nur ausnahmsweise beobachten kann.

Regelationsfliesserde. Erst wenn man das Erdfließen in Ausbildungen begegnet, die sich nicht durch die Feuchtigkeit des Bodens allein erklären lassen und wozu Gegenstücke in Ländern mit milderem Klima nicht bekannt sind, muss man mit anderen Kräften, vor allem der Regelation, rechnen. Einem solchen Typus gehören die meisten und grössten Fliesserdeareale im Eisfjordgebiete an. Es wäre umsonst diese in alle ihren Ausbildungsformen einzuteilen, denn sie gehen ohne Grenze in einander über. Sie entstehen dank edaphischer Faktoren, wie der Beschaffenheit des Materiales, der Stärke der Böschung u. s. w. Es liegt in der Natur der Sache und es ist schon bemerkt worden, dass man im allgemeinen nicht die direkte Bedeutung der Wasserdurchtränkung des Bodens für die Plasticität verneinen kann, auch wenn man von ihrer Notwendigkeit für die Entstehung der Regelationsphänomene absieht.

Doch gibt es Fälle, wo das Wasser an sich offenbar nicht die hinreichende Erklärung geben kann, nämlich wenn der Boden nur aus grobem Material besteht. So zerfliessen Terrassen die aus Kies bestehen, und bei welchen im Inneren feinere sekundäre Verwitterungsprodukte oder der gleichen nicht vermutet werden können. Solche Fliesserde, die aus Thalusmaterial entsteht, will ich auch hauptsächlich der Regelation zuschreiben, wenn sie auch dank ihrer Lage oft sehr nass ist. Man findet oft, dass diese Form von der Feinheit des Materiales oder der Feuchtigkeit nicht besonders abhängig ist.

Es ist ein aus manchen Gegenden bekanntes Faktum, dass grössere Gegenstände, wie Steine u. s. w., durch Frostwirkungen an die Oberfläche des Bodens gebracht werden können. Es ist mir keine ganz zutreffende Erklärung bekannt, wie man sich im Detail den Vorgang denken soll, kann auch selbst keine geben. Die Teilnehmer an der Expedition 1909 hatten oft Gelegenheit, dieses Phänomen wahrzunehmen. So wurden triadische Saurierknochen an der Oberfläche der Fliesserde gesammelt, wohin sie durch Auffrieren aus den tieferliegenden weichen Thonschiefern heraufgekommen waren. Wenn man an der Oberfläche einen Haufen von fossilen Knochen, deutlich einem und demselben Individuum gehörig, gefunden hatte und Grabungen machte, so gaben sie immer ein negatives Resultat; nach Durchgraben von ein Paar Decimetern homogenen Materials ganz ohne Fossilien, traf man gefrorenen Boden oder zersplittertes festes Gestein. Die Oberfläche war ausser mit Knochen auch mit zersprengten Konkretionen überstreut. Unter diesen gab es zahlreiche Thoneisensteine, die ein spezifisches Gewicht von 3,3 besitzen. Wäre nun der Boden, der eine sehr deutliche Fluidalstruktur hatte, infolge von Feuchtigkeit plastisch gewesen, so wären diese Steine im Laufe des Sommers niedergesunken, da die Erdmasse kein grösseres spezifisches Gewicht als 2, höchstens 2,5, halten kann. Dagegen können sie an der Oberfläche solcher Fliesserde liegen bleiben, die ihre Plasticität der Regelation zu danken hat, weil letztere gleichzeitig der Schwerkraft entgegenwirkt. Dies Verhalten der Thoneisensteine ist auch überall in den Schiefergebieten in Trias, Jura und Tertiär zu sehen.

Ihre grössten oder wenigstens am meisten zusammenhängenden Ausbreitungsgebiete hat die Regelationsfliesserde einige hundert Meter über dem Meer, wo die Landschaft weniger von Flusserosion modelliert ist. Natürlich gilt dies besonders von den Schiefergebieten, so z. B. in Trias südlich von Sassen Bay und Kap Thordsen, in Tertiär von Coal Bay und Green Harbour. Hier sind die flachhügeligen Gebirgsplateauen mit einem ziemlich gleichförmigen Mantel von Fliesserde bedeckt, die etwa gleich gut auf Anhöhen und anderen Stellen entwickelt ist, wo man gar nicht eine besonders reichliche Wasserinfiltration voraussetzen kann. Beispiele davon geben auch die ziemlich steilen Triasberge westlich von Ekman Bay, deren Kämme und Gipfel von Fliesserde überdeckt sind.

Die Solifluction weist überhaupt verschiedene Eigenheiten auf, wovon manche die Bewegungsfähigkeit des Bodens gut veranschaulichen. So kann man schon aus der Ferne eine Fluidalstruktur in Formen und Farbenschattierungen wahrnehmen (z. B. im Hintergrund, Fig. 8). Näher kommen auch Details dazu, wie Blocktransport, Sortierung des Materiales in Streifen von feineren und grösseren Bestandteilen, die Verteilung der eventuell vorhandenen Vegetation u. s. w. Wo diese an feuchten Lokalitäten, besonders unter den Abhängen, einen mehr zusammenhängenden Teppich mit Kräutern, Gräsern und Moosen bilden kann, ist dieser oft von der Fliesserde zerrissen und in querlaufende Wülste zusammengeschoben, die

zwischen sich nackte terrassenförmige Felder einschliessen. Gegenstücke hierzu wurden z. B. in dem skandinavischen Hochgebirge beobachtet, wo indessen stärkere Böschung erforderlich sein dürfte. Im allgemeinen, und besonders wo die Regelation kräftig wirksam erscheint, muss die Vegetation sich auf zerstreute Individuen von Halbsträuchern, vor allem der sehr widerstandsfähigen *Dryas*, beschränken (vgl. Fig. 6). Im grossen sind dann diese ein wenig nach der Bewegungsrichtung angeordnet. Das gewöhnlichste ist aber, dass die Pflanzen das Feld ganz geräumt haben.

Docent G. SWENANDER¹ hat auf Beeren Eiland beobachtet, wie solche vereinzelt Pflanzen, die das Erdfliessen auszuhalten suchen, ihr Wurzelsystem gern oberflächlich ausbreiten, und weil sie so zu sagen mit ihren tieferen Wurzeln verankert sind, müssen sie in der Richtung der Böschung herab wachsen, um sich den Streckungen anzupassen, die dadurch entstehen, dass der Boden oberflächlich eine grössere Geschwindigkeit hat. Dies wird von Fig. 6 illustriert; vereinzelt *Dryas*individuen kriechen abwärts, ihre älteren absterbenden Stammteile sind oben sichtbar. Dieses scheint jedoch nicht immer die geeignetste Anpassung zu sein; so habe ich z. B. auf Fliesserde *Braya purpurascens* gefunden, die eine senkrechte Hauptwurzel hatte, die 4 mal länger war als gewöhnlich bei Exemplaren die auf unbewegtem Boden wuchsen.

Da die Solifluction durch ihre Denudationsarbeit ein so deutliches Gepräge auf die Landschaft drückt, ist es ersichtlich, dass die Bewegungsgeschwindigkeit nicht ganz unbedeutend sein kann; dasselbe zeigen auch die Anpassungen der Pflanzen. Sehr schlagend wird es auch mit einer von Prof. G. DE GEER mitgeteilten Beobachtung illustriert.² Eine Pferdebahn, die für Grubenbetrieb in der schwedischen Station zu Kap Thordsen 1872 gebaut war, fand er bei einem Besuche 1896 ganz zerbrochen und verschoben. Es verdient hervorgehoben werden, dass die flache Böschung dieser Lokalität mit Vegetation bedeckt ist.

Nun könnte es vielleicht auffallend erscheinen, dass die Fliesserde so selten in die Gewässer hinausquellen gesehen wird; dies dürfte indessen seine Erklärung darin haben, dass die Flüsse nur ausnahmsweise ihr Bett vollständig füllen, und dass sie bei diesen Gelegenheiten die Fliesserde kräftig angreifen und in kurzer Zeit eine ungeheure Transportarbeit leisten.

Ausser zu Zeiten oder Tagen mit starker Schneeschmelzung oder Niederschlag, können auch unerwartete plötzliche Zunahmen der Wassermenge vorkommen. Ein Fluss, den man leicht überschritten hat, kann nach ein Paar Stunden, wenn man zurückkehrt, gefährlich zu durchwaten sein. Den Anlass zu diesen scheinbar unmotivierten Katastrophen habe ich bei ein Paar Gelegenheiten darin gefunden, dass irgend eine der oft vorkommenden Schneebrücken zusammengestürzt war und das Wasser aufgestaut hatte, um nachher plötzlich durchbrochen zu werden.

¹ In J. G. ANDERSSON, Solifluction mitgeteilt.

² Geol. Fören. Förhandl. 1904. 465—66.

Aus Spitzbergen kenne ich kein Gegenstück zu diesen »*Stonerivers*«, die z. B. aus dem Ural, aber besonders von den Falkland-Inseln dank den eingehenden Untersuchungen von Prof. J. G. ANDERSSON bekannt sind.¹ Es sind durch Solifluction zusammengebrachte, später freigespülte Blockmassen (in diesen Fällen von grossen Quarzitstücken) und bilden bis 5 Kilometer lange, diffus flussähnliche Systeme. Ich kann mich nicht von dem Eindruck freimachen, dass es sich auch hier um eine fossile Regelationsfliesserde handelt. Dafür spricht ihre Ausbreitung als ein zusammenhängender, die weichhügelige Landschaft ganz überziehender Mantel. Man kann sich diese grossen Blöcke nicht in anderer Weise transportiert werden denken, als dass sie auf Fliesserde getragen wurden, und dazu muss wenigstens die Regelation beigetragen haben. Auf Spitzbergen findet man nun selten grössere Steine weitere Strecken transportiert, sie sind bald in Stücke zersprengt, und es giebt hier nicht in den weichen Gesteinsschichten eingebettete feste Lager, die dem besonders widerstandskräftigen Quarzit der Falkland-Inseln entsprechen können.

Wenn der Boden der Täler, wie z. B. des Grubenthals in Advent Bay, in ihrer ganzen Breite von einem Blockfeld bedeckt ist, so ist der Ursprung vorzugsweise in dem Netz von Bächen zu suchen, die bei reichlichem Wasserzufluss unregelmässig sich neue Furchen bilden, dabei Steinblöcke mitführend und ablagernd. Indessen sind diese hauptsächlich von der Gleiterde und dem Schutte der ziemlich steilen Seiten des Thales den Bächen zugeführt. Diese Bildungen, die in ihrem Anfang also einigermaßen den Stonerivers entsprechen, sind jedoch hauptsächlich ein Produkt der Wirksamkeit der Flüsse, welche in der gebirgigen Landschaft Spitzbergens, mit ihren grossen Wasservorräthen, Niederungen und Thälern überall beherrschen, und deshalb für die Stonerivers keinen Platz übrig lassen.

Polygonenboden.

Unter diesem Term will ich zwei verschiedene Ausbildungsformen unterscheiden: *Typus I*, der auch »falscher Polygonenboden« genannt werden dürfte, weil ursprünglich der Name Polygonenboden (schwedisch »rutmark«) von KJELLMAN dem Phänomen gegeben war, das ich als *Typus II* bezeichnen will. Leider sind beide oft von einander nicht unterschieden worden, was jedoch erklärlich ist, denn sie können einige wichtige Übereinstimmungen aufweisen, wie z. B. die Einteilung des Bodens in Felder, die eine sechseckige Form anzunehmen streben; auch wird oft das Netzwerk der Grenzlinien in beiden Fällen von Vegetation markiert. Die Form von Sechsecken wird wohl in der Wirklichkeit nur selten erreicht, aber die Felder machen doch diesen Eindruck dank dem bienenwabenähnlichen

¹ J. G. ANDERSSON, Contributions to the geology of the Falkland Islands. Wissenschaftl. Ergebn. d. schwedischen Südpolarexp. 1901—03. Stockholm 1907.

Habitus des Bodens. Im übrigen sind die Phänomene, von einigen schwerdeutbaren Zwischenformen abgesehen, in entgegengesetzten Richtungen entwickelt. Typus I entwickelt sich auf Fliesserdeboden, wo das Material inhomogen ist, und wird dadurch charakterisiert, dass die Steine gegen die Grenzlinien der Felder verschoben sind, und machen also Wirkungen einer Expansion des Bodens merkbar. In Typus II dagegen, der in homogenem Material, besonders in Sedimenten, sich bildet, sind die Polygone von Spalten umgeben, die Wirkungen einer Kontraktion sind.

Der Typus I ist wohl die eigentümlichste Äusserung des Erdfließens und deshalb oftmals vorher wahrgenommen und beschrieben. Um einen geeigneten Ausgangspunkt für die Beurteilung der Kräfte zu bekommen, die bei der Entstehung desselben wirksam sind, ist es zweck-



Fig. 5. Polygonenboden, Typus I. Sassen Bay (2/3 09).

mässig, eine Beschreibung der am meisten ausgeprägten Ausbildung des Phänomens zu geben. Es entsteht auf horizontalem Fliesserdeboden, wo Verwitterungsprodukte von wechselnder Grösse zur Verfügung stehen. Es werden dann die grösseren Steine zu einem Netzwerk angeordnet, das Flecke mit feinerem oft wasserhaltigem Material umschliessen (Fig. 5). Sind diese Flecke einigermaßen gleich gross, bilden sie gern Sechsecke, gewöhnlich mit einem Durchmesser von 0,5—2 M. Von theoretischem Interesse ist es, dass die peripherisch angeordneten Steine, wenn sie platten- oder tafelförmig sind — was bei den sedimentären Gesteinsarten Spitzbergens beinahe immer der Fall ist — gern aufgerichtet stehen. Dasselbe ist auch beiläufig von übrigen Beobachtern erwähnt worden.

Sogar in den Blockmeeren ist die Erscheinung nicht selten, wenn sie auch auf weniger umfangreiche Flecke oder vereinzelte Polygone beschränkt ist. Auch Blöcke mit einem Gewicht von mehreren Kilo-

grammen werden in die Sortierung einbezogen. SVENONIUS, der diese Erscheinung in Lappland beobachtet hat, liefert einen Bild davon.¹ Leider habe ich keine solche Photographie von Spitzbergen, wo diese Ausbildung zuweilen noch viel stärker ausgeprägt ist.

Bei der Diskussion über die Entstehung dieser Bildungen hat man den Typus II eingemischt. Ausser den nur ganz ohne nähere Motivierung gemachten Andeutungen, dass cirkulierendes Wasser oder Regelation der Ursprung sei, kenne ich nur zwei Erklärungsversuche.

G. DE GEER denkt sich, dass das Wasser bei verschiedenen Gelegenheiten in einem sechsseitigen Spaltensystem cirkuliere und dabei die grösseren Steine freispüle.² Gegen diese Anschauungsweise spricht die Thatsache, dass die Steine an den Rändern nicht nur freigespült sind, sondern unzweideutig dahin vom Centrum aus, wo sie beinahe fehlen, angesammelt sind. Noch schwieriger dürfte eine derartige Freispülung in den Blockmeeren mit ihrem groben Material und Mangel an Spaltensystemen stattfinden können. DE GEER gesteht auch, dass die genannte Erklärung nicht hinreichend sei, sondern man müsse daneben auf irgend einer Weise mit der Regelation rechnen.

Noch gewichtiger werden ganz dieselben Einwendungen, wenn sie gegen den zweiten, von Prof. O. NORDENSKJÖLD in seinem Buch »Die Polarwelt«, gegebenen Erklärungsversuch gerichtet werden, der sich auf Experimente des französischen Forschers BÉNARD gründet. Diese sollten zeigen, dass wenn eine halbfließende Schlammasse auf z. B. einer Metallscheibe ruht, und diese Temperaturschwankungen ausgesetzt wird, in dem Schlamm ein sechsseitiges Zellsystem von Konvektionsströmen entsteht. Hier sollte dann die Metallscheibe der gefrorenen Erdschicht entsprechen, und diese Strömungen sollten das gröbere Material hervorspülen.

Von der Beobachtung ausgehend, dass die grösseren Steine gegen die Peripherie angesammelt sind und dabei oft so zusammengeschoben, dass sie aufgerichtet stehen, will ich vorschlagsweise folgende Deutung vorlegen. Wenn der Erdboden ursprünglich aus einer Mischung von feineren und gröberen Bestandteilen besteht, so dürfte diese immer ein wenig ungleichmässig sein, so dass es gewisse Flecke giebt, wo das feinere Material reichlicher ist. Dank der Kapillarität nehmen dann diese Stellen mehr Wasser auf als ihre Umgebung. Bei der Eisbildung wird dann das Material von hier aus centrifugal verschoben. Wenn nachher Schmelzung und damit folgende Volumenverminderung eintritt, wird das feinere Material von der Adhäsion mitgezogen, während die Steine peripherisch zurückbleiben. Wenn hinreichend oft wiederholt, muss eine merkbare Sortierung resultieren. Hierdurch werden auch die Bedingungen für die Arbeitsintensität immer zunehmen, indem der Ausgangspunkt für die Vo-

¹ F. SVENONIUS, Om skärf- eller blockhafven i våra högfjäll. Geol. Fören. Förhandl. 1909. 174.

² Geol. Fören. Förhandl. 1904. 465—66.

lumenveränderungen mehr fixiert wird und dabei auch die Wasserkapazität der centralen Partien vermehrt wird.

Die gleichmässige Grösse der Felder dürfte ziemlich schwererklärlich sein. Indessen ist diese Gleichförmigkeit durch eine Schematisierung der Eindrücke übertrieben worden, dies um so mehr, als die schlechter ausgebildeten Formen leichter der Aufmerksamkeit entgehen. Man muss auch vermeiden, die Charakteristika des Polygonenbodens Typus II einzumischen,

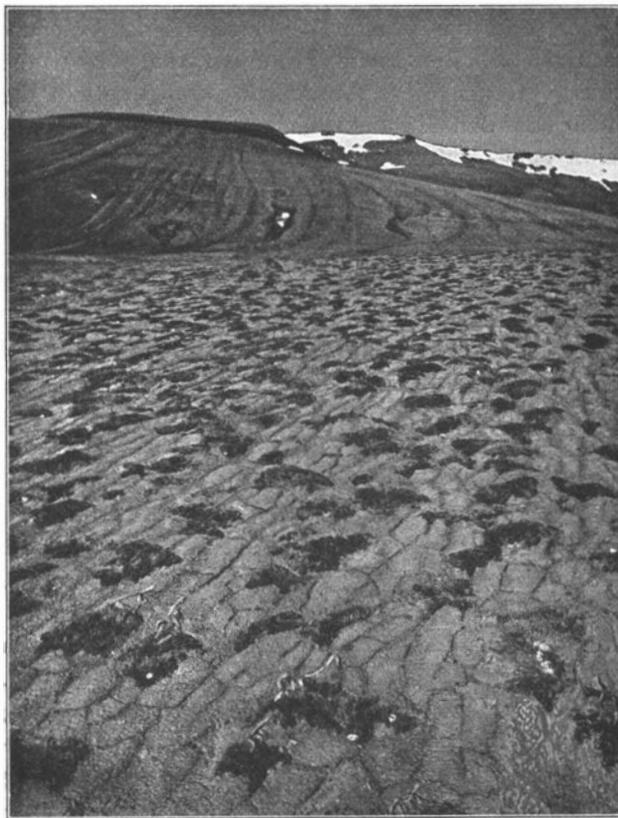


Fig. 6. Polygonenboden Typus II, verzerrt durch Erdfließen. Vegetation aus vereinzelt Dryaspflanzen. Kap Wijk (³⁰/1909).

der eine viel allgemeinere Verbreitung hat und in allen Hinsichten mehr regelmässig ausgebildet ist.

Abgesehen von dieser in horizontaler Lage ausgebildeten, schönsten Form von Polygonenboden Typus I, giebt es oft an Böschungen eine ausgezogene Form, welche in die Abhängen herab laufende Streifen von gröberem Material übergehen kann. In manchen Fällen sind solche Streifen indessen ganz einfach von niederströmendem Wasser herausgespült. Prof. TH. M. FRIES hält es auch für wahrscheinlich, dass der Wind ähnliches hervorbringen

kann. Wenn man gefühlt hat, wie gewaltig der Wind gegen die Abhänge pressen kann, kommt seine Vermuthung nicht ganz unwahrscheinlich vor. Frau RESVOLL-DIESET¹ hat eine photographische Aufnahme publiciert, welche die Einwirkung der herrschenden Winde auf den Polygonenboden veranschaulicht.

Typus II darf hier nicht ganz übergangen werden, wenn auch sein Zusammenhang mit den Frostphänomenen bestritten worden ist.

¹ HANNA RESVOLL-DIESET, Lidt om Spitsbergens plantevekt. Norske Geogr. Selsk. Aarbog 1908—1909.

Die Erscheinung ist vielmals vorher beschrieben worden, besonders von Botanikern; so hat z. B. TH. WULFF¹ dieselbe und die Lebensbedingungen, die sie dem Vegetation darbietet, studiert. Er glaubt, dass die Erklärung nur in dem Schrumpfen des Bodens bei Austrocknen liegt. Dass das Phänomen diesen Ursprung haben kann, ist wohl ziemlich undisputabel, wenn es sich z. B. um eine Form handelt, die sich in nichts von gewöhnlichen Trockenpalten unterscheidet. Es scheint, als wäre es eigentlich diese Form, die WULFF kennt; sie ist an Schwemmlanden und Deltabildungen besonders gewöhnlich; und WULFF hat seine Observationen an den für die Devongebiete typischen grossen Sedimentebenen im Innern von Wijde Bay ge-

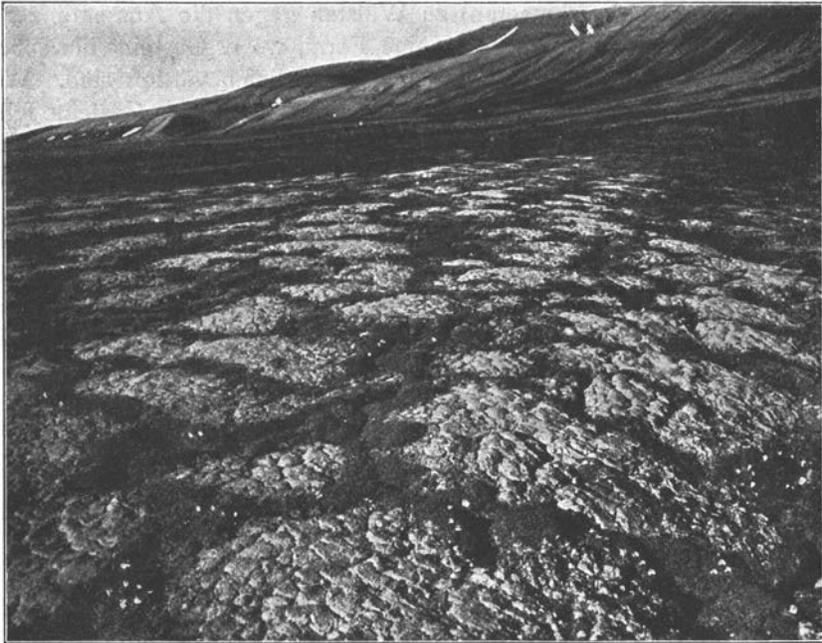


Fig. 7. Polygonenboden, Typus II; Dryasvegetation. Kap Wijk (30/1 09).

sammelt. Die von Spalten umgebenen Feldern können einen Durchmesser von mehr als 20 M. erreichen (nach WULFF); das gewöhnlichste scheint aber zu sein, dass sie nur 1—2 Dm. messen, welche Dimensionen der Polygone fast überall zu finden sind, wo der Boden aus genügend feinem und homogenem Material besteht, und von nur spärlicher Vegetation bedeckt ist, was besonders oft an oberflächlich ausgetrockneter Flieseerde zutrifft. Fig. 6 zeigt einen solchen Fall; hier sind aber die Polygone durch die Bewegung des Bodens ausgezogen worden. An Fig. 7 findet man ganz ähnliche Risse wieder; hier kommen aber gleichzeitig Polygone einer höheren Grössenordnung hinzu. Sie werden von

¹ Th. WULFF, Botanische Beobachtungen aus Spitzbergen. Lund 1902.

der in ihren Spalten gedeihenden Dryasvegetation sehr wohl markiert. Scharfkantige Spalten findet man nur ausnahmsweise; sie sind zum grössten Teil von Material gefüllt, das von den Rändern heruntergekommen ist. Die Berstungen kehren deutlicherweise mit Vorliebe in ihren früheren Spuren zurück, was auch an der Fig. 6 wahrzunehmen ist.

Die grösseren Polygone an der Fig. 7 repräsentieren eine Ausbildungsform von bedeutender Verbreitung; besonders allgemein ist sie in den grossen Thälern zu finden. Es scheint sich hier nicht um eine Wirkung von dem Austrocknen des Bodens zu handeln, denn von dieser Form zu dem Typus I findet man Übergänge, welche dahin deuten, dass sie mit einander verwandt sind. Während in Typus I das reichliche Steinmaterial (besonders in den Blockmeeren) zu Wülsten gegen die Aussenränder zusammengeschoben ist, zeigt Fig. 5 eine Form, wo es Gesteine nur spärlich giebt, und wo aus diesem Grund die Grenzlinien vertieft sind. Wahrscheinlich führt diese Form zu dem Typus II hinüber, wo Gesteine fehlen, welche Zeugnisse einer Expansion sein könnten. Dagegen dominieren hier die Wirkungen der Kontraktion, wodurch die Grenzlinien spaltenähnlich werden können.

Eine weniger bemerkte Form des Polygonenbodens, wenn sie überhaupt unter diese Benennung einzubeziehen ist, hat jedoch eine beachtenswerte Verbreitung. Sie entsteht am häufigsten in dem einige Centimeter dicken Kuchen oder der oberflächlichen Kruste, die aus abgestorbenen Pflanzenresten und Erdpartikeln bestehen, und am mehr dünnen und festen Boden, z. B. an alten Uferebenen, entsteht. Der Durchmesser der Polygone ist hier am gewöhnlichsten 1—2 Dm, und die ganze Erscheinung ähnelt einer in den ausgetrockneten nordschwedischen nackten Mooren (schwedisch »flarkmyrar») vorkommenden, weshalb es auch hier genügen dürfte, ein nur durch Austrocknen erklärliches Schrumpfen anzunehmen. Es ist leicht zu konstatieren, dass die Grösse der Felder einigermassen in Proportion zu der Dicke des kontrahierten Lagers steht. Nun ist indessen diese Form ohne Grenzen mit entsprechenden Bildungen in Torflagern verbunden, wo ein Austrocknen niemals stattfindet; es giebt sogar Gegenstücke in stets gefrorenem Torf, so z. B. an Kap Svea und in dem nahezu 2 M. mächtigen Moor in Rendalen an Kap Thordsen, wo an beiden Lokalen der Boden von Spalten durchsetzt ist, die am Ende Juli bis an ein Paar Decimeter von der Oberfläche mit Eis ausgefüllt waren. Fig. 8 zeigt einen entsprechenden Polygonenboden in einem Moor an Sassen Bay. Das Spaltensystem ist hier aber nicht offen, sondern von einer Sumpfvvegetation überwachsen und schliesst Felder mit einem Durchmesser bis auf 15 M. ein. Die Begrenzungen sind geradelinig und machen den Eindruck eigentlich in Eis oder in gefrorenem Boden gebildet zu sein.

Solifluction und die beiden provisorisch ausgeschiedenen Typen von Polygonenboden will ich also zunächst Frostwirkungen zuschreiben, wofür schon der arktische Charakter dieser Phänomene zu sprechen scheint. Hoffentlich ist es oben genügend hervorgehoben worden, dass indessen



Fig. 8. Spaltensystem in einem Moor Im Hintergrund am Bergfusse Fließerde. Am Plateaurande drei Erosionsrichter durch Frostverwitterung an Schneefeldern entstanden. Sassen Bay (⁹/₁₈ 09).

andere Faktoren in gewissen Specialfällen entscheidend sind. Diese hier vorgebrachten Hypothesen sind auch nicht zu generalisieren, besonders nicht ohne weiteres auf andere Gegenden mit abweichenden klimatologischen Voraussetzungen zu übertragen.

Steineis.

Frau RESVOLL-DIESET (l. c.) beschreibt eine Eisbildung in dem Coal-Bay-Thal die sie fossiles Eis nennt. Denselben Sommer hatte auch ich diese Erscheinung wahrgenommen, konnte aber das Phänomen nicht näher studieren, weil es nur an einer unzugänglichen Ufersteile sichtbar war. Bei ihrem Besuche waren aber ein Paar weite Spalten entstanden, wodurch sie Gelegenheit bekommen hatte, einige interessante Beobachtungen zu machen, welche ich hier kurz referieren möchte. Die Spalten, die c:a 40 M. lang waren, setzten bis zu einer Tiefe von 5 M. ziemlich klares Eis durch. In dem Profil bestanden aber die obersten 80 Cm. aus wechselnden Lagern von Torf und Lehm. Bemerkenswert ist ihre Beobachtung, dass der Torf unmittelbar über dem Eis kam.

Dass hier fossiles Eis vorliege in demselben Sinne wie VON TOLL das Steineis der Neusibirischen Inseln auffasst, ist ganz unwahrscheinlich; das Eis würde kaum ein geeignetes Reliktlokal an demselben Platz gefunden haben, wo eben die einem milderen Klima zuhörende *Betula nana* ihren letzten Zufluchtsort hat. Ausserdem liegt das Vorkommen nur 30 M. ü. d. M., d. h. c:a 20—30 % der höchsten marinen Grenze. Auch kann es nicht bei irgend einem mehr recenten Vorrücken von den im Innersten des Thalsystems liegenden Gletschern übrig gelassen worden sein, denn es fehlen alle übrigen Spuren eines derartigen Vorrücken. Hier passen auch nicht die für die entsprechenden Bildungen in Alaska und im nördlichen Sibirien aufgestellten Erklärungen, die dahin gehen, dass Schneelager bei Überschwemmungen in der Frühling wiederholt von feinen Sedimenten bedeckt und dadurch konserviert wurden, oder dass Wasser den gefrorenen Boden überschwemmt habe und dabei zum Eis geworden sei, das durch nachherige Schlammabsetzungen geschützt wurde. Für diese beiden Fällen ist eine Wechsellagerung von Sedimenten und Eis bezeichnend, was aber hier nicht zutrifft. Wäre das Eis überhaupt von irgend einem fossilen Charakter, ist es ferner unerklärlich, wie eine Moosvegetation unvermittelt dasselbe bedecken könnte.

Dann bleibt es nur übrig es als ein innerhalb oder unterhalb des Torfs gebildetes, vielleicht fortwährend sich bildendes Eislager anzusehen. Wie man sich eine solche Eisbildung in Detail zu denken habe, mag dahingestellt werden; dass aber ähnliche Prozesse sich vollziehen können, ist eine Thatsache, so wird z. B. in den nordschwedischen »Flark«-Mooren im Winter eine c:a 6—7 Cm. dicke Lage von porösem Eis ein wenig unter

der Oberfläche gebildet.¹ Bezüglich des hier beschriebenen Falles kann man sich dann vorstellen, dass in dem Schwemmlande der Thalebene eine Torfbildung stattgefunden hat, die von einigen Überschwemmungen abgebrochen und mit Schlamm überlagert worden ist, und dass nachher innerhalb oder unterhalb dieses Torfs dieses Eis — mit einer Minimidicke von 4 M. — sich gebildet habe.

Wahrscheinlich sind auch alle anderen flachgewölbten Hügeln in der Nähe von derselben Beschaffenheit wie diese von dem Fluss unterminierte und dadurch ausgeleitete und zerborstene Eisbildung. Dann ist das Phänomen hier über eine Fläche ausgebildet, die zu mehreren Hektaren geschätzt werden muss.

Es ist deutlicherweise nur ein glücklicher Zufall, dass dieses Steineis entdeckt wurde; es wäre auch gar nicht befremdend, wenn die Erscheinung eine beträchtliche Ausbreitung auf Spitzbergen besässe.

¹ H. HESSELMAN, Studier öfver skogsväxt på mossar. Skogsvårdsföreningens Tidskrift, 1907. 83—110.