II. Besprechungen.

A. Unter der Redaktion der Geologischen Vereinigung.

Erdfließen und Strukturboden in polaren und subpolaren Gebieten.

Von **K. Sapper** (Straßburg i. E.).

Obgleich Erdfließen und manche damit in gewisser Verbindung stehende Phänomene schon längere Zeit in polaren und subpolaren Gebieten beider Erdhälften bekannt gewesen waren, so hat doch erst 1906 J. GUNNAR ANDERSSON¹⁾ erfolgreich auf die hohe Bedeutung und weite Verbreitung der »Solifluction« hingewiesen und damit weitere Kreise von Geologen und Geographen dafür interessiert. Dieses Interesse wurde noch erhöht, als auch O. NORDENSKJÖLD²⁾ und BERTILL HÖGBOM³⁾ diese Erscheinungen besprachen, die bald darauf durch die Zeppelinexpedition 1910 (a), den Spitzbergenausflug des internationalen Geologenkongresses zu Stockholm 1910 (b) und durch private Reisen 1911 (c) zahlreichen Interessenten in der Natur bekannt wurden und nicht wenige derselben zu Publikationen⁴⁾ anregten. (Auch in außereuropäischen Gegenden wurden ähnliche Erscheinungen beobachtet, beschrieben und

¹⁾ Solifluction, a component of subaerial denudation (Journ. of Geol. XIV, p. 93—112). Vgl. auch seine Contributions to the Geology of the Falkland Islands (Wissenschaftl. Ergebnisse der schwedischen Südpolarexpedition 1901—1903, III, 2. Stockholm 1907, S. 16—29).

²⁾ Geograph. Ztschr. 1907, S. 565 und in seinem Buch: Die Polarwelt, Lpz. 1909. p. 60ff.

³⁾ Einige Illustrationen zu den geologischen Wirkungen des Frostes auf Spitzbergen. (Bull. of the Geol. Inst. of Upsala. IX. p. 41—59 und Bidrag till Isfjordsområdets Kvartergeologi. Geol. Fören. i Stockholm Förh. Jan. 1911.)

⁴⁾ a) A. MIETHE, Über Karreeboden auf Spitzbergen. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912. p. 241—244. E. v. DRYGALSKI, Spitzbergens Landformen und ihre Vereisung. Abh. K. Bayer. Akad. d. Wiss. Math.-phys. Kl. Bd. XXV. 7. Abh., p. 56 bis 61. b) W. SALOMON, Die Spitzbergenfahrt des Internat. Geologischen Kongresses Geol. Rundschau. Bd. I, p. 307f. F. WAHNSCHAFFE, Die Exkursion des XI. internat. Geologenkongresses nach Spitzbergen. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1910. p. 651—655. B. WEIGAND, Geologischer Ausflug nach Spitzbergen. Mitt. Ges. f. Erdk. u. Kolonialwesen. Heft 1. Straßburg 1911. p. 16f. A. PENCK, Über Polygonboden in Spitzbergen. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912. p. 244—246. K. SAPPER, Über Fließerde u. Strukturboden auf Spitzbergen. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912. p. 259—270. E. v. CHOLNOKY, Spitzbergen. Budapest 1912. p. 34—42.

diskutiert¹⁾; doch soll auf diese Publikationen hier nicht eingegangen werden, da dort doch etwas andere Verhältnisse vorliegen als in den polaren Regionen mit ihrem in geringer Tiefe gefrorenen Boden und ihrem langen Sommertag.)

Wenn schon die überwiegende Mehrzahl der Beobachtungen aus den europäischen Polargebieten stammen, so liegen doch durch E. v. DRYGALSKI, PHILIPPI, NORDENSKJÖLD und J. G. ANDERSSON auch Beobachtungen aus dem antarktischen Gebiet, durch NORDENSKJÖLD aus Grönland und H. SPETHMANN²⁾ aus Island vor.

1. Das Erdfließen.

Daß toniger oder lehmiger Boden durch starke Wasseraufnahme plastisch wird und auf geneigter Fläche in langsames Fließen geraten muß, ja bei sehr großem Wassergehalt breiartig und leichtflüssig werden kann, ist bekannt. So versteht es sich denn auch, daß bei genügender Wasserdurchtränkung in allen Zonen fließende Erde entstehen kann und tatsächlich entsteht; wenn trotzdem Fließerde in den gemäßigten und tropischen Gegenden seltener auftritt, als in polaren Gebieten, so ist daran in erster Linie deren dürftige oder selbst fehlende Pflanzendecke schuld; denn eine mehr oder minder dichte Vegetationsdecke vermag bis zu einem weitgehenden Maß ihre Unterlage zu beschützen, und oft kommt es in solchen Fällen nur bei besonders starker Durchtränkung oder bei besonderen Anlässen, wie Erdbeben, Windstoß usw. zu mehr oder weniger katastrophalen Ausbrüchen des Erdfließens. In den polaren Gegenden aber ist wie in den Hochgebirgsregionen der wärmeren Zonen die Vegetation vielfach nicht imstande, das langsame Abwärtsfließen des Bodens zu verhindern, sondern ist unter Umständen im Gegenteil genötigt, sich dieser Bodenbewegung durch besondere Wurzelentwicklung anzupassen, wie Dr. SWENANDER, ANDERSSONS Gefährte auf der Bäreninselexpedition, feststellen konnte³⁾. Da

c) W. MEINARDUS, Beobachtungen über Detritussortierung und Strukturboden auf Spitzbergen. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912. p. 250—259 und: Über einige charakteristische Bodenformen auf Spitzbergen. Sitzber. Mediz.-naturw. Ges. zu Münster i. W. Bonn 1912. p. 41, wo auch die ältere Literatur aufgeführt ist.

¹⁾ CHR. TARNUZZER, Beiträge zur Geologie des Unterengadin. Geol. Karte der Schweiz. 23. Lief. Bonn 1909 und: Die Schuttfacetten der Alpen und des hohen Nordens. Petermanns Mitt. 1911. II. p. 262ff., ferner W. H. HOBBS, Soil strips in cold humid regions. XII. Rep. Michigan Acad. of Science 1910. p. 51f. und W. ULE, Glazialer Karree- oder Polygonboden. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1911. p. 253 bis 262. Weitere Beispiele von Erdfluß in der gemäßigten Zone erwähnt J. G. ANDERSSON (Solifluction, p. 104ff. und Falkland Islands, p. 22).

²⁾ Über Bodenbewegungen auf Island. Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912. p. 246—248.

³⁾ ANDERSSON, Solifluction p. 97: »These roots were stretched out in the direction of the movement of the soil, and in some cases where the slope was very steep it was noticed that the proximal part of the root system, carried by the

aber nur wenige Pflanzen dieser Anpassung fähig sind, so sind auf der Bäreninsel die Fließerdeflächen sehr pflanzenarm, während festsitzende Felsen trotz ihrer Armut an Nährstoffen als pflanzenreichere und darum grüne Flecken aus der kahleren Umgebung hervorragen. Ein zweiter Grund für die vergleichsweise große Ausdehnung und Bedeutung des Erdfließens in den polaren Gebieten dürfte in dem Vorhandensein ständig gefrorenen Bodens in geringer Tiefe zu suchen sein, aber m. E. weniger deshalb, weil dieser als Gleitplan dient, wie DE GEER und ULE annehmen möchten, sondern mehr deshalb, weil er ein tieferes Eindringen des Sickerwassers verhindert. Letzteres scheint mir besonders wichtig für Spitzbergen zu sein, wo an sich die Niederschläge sehr geringfügig sind, ja geradezu wüstenhafte Maße aufweisen (Kap Thorsden 1882/83 189 mm, Treuenbucht 1899/1900 177 mm). Bei so geringem Niederschlag, der zudem über alle Monate des Jahres sich verteilt, wäre überhaupt Erdfließen unmöglich, wenn nicht dank der hohen Breite ein großer Teil des Niederschlags in Form von Schnee fiel und sich anhäuften, bis im Frühjahr verhältnismäßig rasch die Hauptmasse dieses aufgespeicherten festen Niederschlags schmilzt und so in der Lage ist, die allmählich tiefer und tiefer auftauenden oberflächlichen Erdlagen völlig zu durchtränken und damit fließfähig zu machen. Freilich werden die zuerst geschmolzenen Schneemassen wohl größtenteils wirkungslos abfließen, weil anfänglich noch keine aufgetauten Erdflächen vorhanden sind; aber mit dem Entstehen dieser beginnt auch die Durchtränkung, und an hoch hinauf reichenden Berghängen kommt noch bis in den Juli und August hinein von abschmelzenden Schneeflecken Schmelzwasser herab, das die Beweglichkeit des Bodens noch längere Zeit aufrecht erhalten kann. (Am Fuß abschmelzender Schneemassen und Firnflecke war, wie ich mit SALOMON und WEIGAND bei einem Ausflug ins Hochland südlich der Adventbay noch im August (1910) feststellen konnte, der Boden tief hinein vollständig aufgeweicht und von Schmelzwasserrinnen durchzogen, wäre also bei größerer Geländeneigung zweifellos fließfähig gewesen.) Die Dauer der Fließfähigkeit durchtränkter Bodenmassen wird auch dadurch begünstigt, daß bei den im allgemeinen in den hohen Breiten herrschenden niedrigen Temperaturen die Verdunstung — namentlich im Fall geringerer Windbewegung — nicht bedeutend ist.

Oft findet man in vegetationsreicherem Gebiet kleine Schlammströmchen von wenigen Metern Länge und nicht viel mehr als $\frac{1}{2}$ m Breite, mit deutlicher Fluidalstruktur und zungenförmigem Ende, aber schmaler Abrißstelle, so z. B. am Smålandridge westlich von Greenhar-

more rapid flowing of the superficial layer of the mudstream, had reached a lower level than the distal branches, which, joining the slower movement of deeper parts of the stream, were left behind in the displacement downhill.« Eine andere Anpassung (ungewöhnlich verlängerte senkrechte Hauptwurzel) erwähnt B. HÖGBOM für *Braya purpurascens* (Bull. Geol. Inst. f. Upsala. IX. p. 50.)

bour. Ganz ähnlich müssen die von E. v. DRYGALSKI vom Signehafen beschriebenen Gebilde sein. Größere Dimensionen besitzen dagegen schon die von ANDERSSON mit Miniaturgletschern verglichenen Schlammströme der Bäreninsel¹⁾; auf Spitzbergen aber sind nicht selten ganze Hänge zeitweise in langsam fließender Bewegung und lassen dies zuweilen schon aus der Entfernung an einer gewissen Fluidalstruktur erkennen. Über das Maß der Bewegung und die Mächtigkeit der Fließschicht bestehen noch keine Untersuchungen, doch scheint es, als ob die Geschwindigkeit nicht ganz unbedeutend wäre; das zeigen, wie B. HÖGBOM hervorgehoben hat, nicht nur die Anpassungen der Pflanzen, sondern auch die Tatsache, daß BARON DE GEER auf Spitzbergen eine 1872 errichtete Spurlinie trotz flacher Böschung des vegetationsbestandenen Geländes 1896 ganz zerbrochen und verschoben fand²⁾. Für eine nicht allzu langsame Bewegung der Fließerde scheint mir auch die Tatsache zu sprechen, daß an vegetationsarmen Fließhängen die von oberflächlichen Rissen umschriebenen polygonalen, oft auch nahezu rechteckigen Figuren verschiedenster Größe zuallermeist in der Richtung des Gefälles langgezogen sind; manchmal übertrifft ihre Länge in extremen Fällen sogar sechsmal die Breite. Diese Risse, die ich am Kap Wijk (Eisfjord, Spitzbergen) beobachtet habe, waren

¹⁾ Solifluction p. 96: The flowing detritus does not generally move as a »sheet-flood« with a broad front, but more often in some slight depression of the slope, taking the form of a narrow tongue, offering a most striking parallel to a glacier. The névé region is represented by the area of water-saturated detritus at the lower edge of the melting snowdrift, and the flowing tongue of mud is the glacier proper that moves down the valley. The terminal moraine even is often to be seen in the shape of slabs and pieces of rock that the mudstream has pushed together in front of its lower end. These mudstreams do not consist of finer particles only but also of coarse material, gravel and blocks, frequently intermixed with, and also carried on the top of the muddy substance. « Als Maß eines großen mudglaciers der Bäreninsel gibt ANDERSSON an, daß die Breite der Zunge 35 m, die Mächtigkeit mindestens 2,1 m betrug.

²⁾ Die Bewegung ist also offenbar schneller, als sie v. CHOLNOKY in seiner ideenreichen Schrift über Spitzbergen anzunehmen scheint. Er schreibt nämlich (S. 35): »Die oberste, im Frühjahr schmelzende, lehmige, schlammige Schuttschicht bewegt sich auf dem unter ihr liegenden ständig gefrorenen Boden. Diese Bewegung ist aber sehr langsam. Die obere Schicht gefriert jeden Herbst. Sie breitet sich dann natürlich aus, und jede Spalte in ihr schließt sich. Im Frühjahr taut sie wieder auf. Dann zieht sie sich zusammen, und es entstehen Spalten in ihr; sie zerspringt, wie der trocknende Lehm. Wenn nun diese gefrierende und wieder auftauende Schicht auf einem Abhang liegt, so erfolgt die Bewegung ihrer Teilchen beim Ausbreiten und Zusammenziehen in immer größerem Maße abwärts als aufwärts. Ich könnte sagen, daß sie eine gewisse Wurmbewegung verübt, die im Jahr einige Zehntelmillimeter ausmacht, in einigen hundert Jahren aber schon Meter ausmachen kann. Die auftauende obere Schuttdecke bewegt sich langsam den Abhang hinunter, drängt sich zu regelmäßigen Wellen zusammen, einige polygonale Schichten legen sich schön um, denn das tauende Wasser unterstützt die Gleitung in den unteren Teilen.«

nur schmal, woraus ich auf eine geringe Mächtigkeit der Fließschicht schließen möchte.

Wo die Vegetation etwas reichlicher wird, bemerkt man bei mäßig steilen Böschungen (ca. 10°) sehr häufig, daß sie den Tonfluß staut, wobei die Vegetationsflächen selbst in ziemlich steil geneigte Stellung geraten und so dem Ganzen einen ungefähr stufenförmigen Abfall (mit etwa 20—30 cm Stufenhöhe bei etwa 70 cm Länge) verleihen. Wo ein feststehender Fels oder ein in der Tiefe angefrorener Findling sich im Weg des Fließhangs befindet, da staut sich die vegetationsbedeckte Fließerde an ihm und schiebt sich in langsamer Bewegung auf ihn hinauf, ihn unter Umständen halb bedeckend, wie V. MADSEN und E. v. CHOLNOKY beobachtet und photographiert haben.

Wo die Böschung gering ($8-4^\circ$), die Vegetation reichlicher wird, da verwischen sich die Charaktereigentümlichkeiten der Fließerde (Polygonerde) etwas; neben längsgestreckten Polygonen kommen zuweilen quergestreckte vor, oder die Gebilde werden rundlich; in den durch die Spalten angedeuteten kleinen Geländevertiefungen wird die Tundra relativ üppig und verdeckt zum Teil ansehnliche Strecken der Gesamtflächen.

Wie die Fließhänge vielfach die Vegetation aufstauen, so bemerkt man auch bei den kleinen individualisierten Schlammströmchen der von dichter, stellenweise fast geschlossener Vegetation bestehenden Bergänge (z. B. am Småland Ridge), daß sie vor sich her in zungenförmig konvexem Bogen einen Rasenstreifen oder einen kleinen Schuttwall schieben. Nicht selten beobachtete ich auch mehrere solcher Erdflußstücke unmittelbar hintereinander, aber stufenförmig gegeneinander abgesetzt, so daß ich den Eindruck erhielt, als ob in solchen Fällen die Bewegung ruckweise erfolgte, nämlich jedesmal dann, wenn durch neue Wasserzufuhr das Gewicht der Schlamm Masse hinreichend erhöht wurde, um den Reibungswiderstand des hemmenden Walls zu überwinden. V. MADSEN beobachtete sogar, daß einzelne Rasenstreifen in die Erde hineingerollt und von der vorwärts schreitenden Erde begraben wurden.

Zur Erklärung der bisher beschriebenen Erscheinungen genügt die Annahme einer gründlichen Wasserdurchtränkung des tonigen oder lehmigen Bodens durchaus.

Daß durch diese Fließerde die Denudation vieler polarer Gebiete in hohem Maße binnen relativ kurzer Zeiträume gefördert wird, ist zweifellos. Doch fehlt es vorläufig noch durchaus an Angaben, die ein Maß der Bedeutung dieses Abtragungsagens abgeben könnten; es bedarf daher nach dieser Richtung noch dringend weiterer Studien, wie auch über die Erscheinungen selbst und ihren Mechanismus. Sie wären gewiß an Ort und Stelle in der Zeit der Hauptschneesmelze am besten anzustellen.

2. Formen der Fließerde.

Es möge zunächst vorausgeschickt werden, daß hier unter Fließerde ein Boden verstanden werden soll, der zeitenweise fließfähig ist, gleichviel ob er nun tatsächlich vermöge der Neigungsverhältnisse abwärts fließt oder aber wegen mangelnder Neigung oder sonstiger Hindernisse nicht dazu gelangt, also nur latente Fließfähigkeit besitzt. Die Fließfähigkeit ist durch Wasserdurchtränkung bedingt, die in verschiedenem Maße erfolgt sein kann und demnach auch verschiedene Flüssigkeitsgrade erzeugen kann. Von dünnflüssigen, breiartigen Fließerden, wie ich sie in den Tropen beobachtet habe, habe ich in polaren und subpolaren Gebieten nichts gesehen noch gehört. Vielmehr tritt hier, soweit mir bekannt, Durchtränkung nur bis zur Dickflüssigkeit des Bodens ein, so daß dessen Bewegungen offenbar ziemlich langsam erfolgen, und ein Niedersinken und eine Seigerung der etwa im Boden enthaltenen groben Materialien nicht erfolgt, sondern, wie ANDERSSON (s. oben) auf der Bäreninsel direkt beobachtet hat, grobes Material und selbst Blöcke auf dem Rücken getragen werden können. Die Fließerde kalter Gebiete an sich bringt also keine Sortierung etwa darin enthaltener unhomogener Elemente zustande. Und doch beobachtet man in inhomogenen Böden kalter Regionen der polaren und außerpolarer Gebiete nicht selten eine Sonderung der erdigen und der steinigen Bestandteile in einer Weise, daß dieselben bis in eine ansehnliche Tiefe hinab höchst eigenartige, gesetzmäßige Anordnung, eine gewisse Struktur, erkennen lassen, die naturgemäß den homogenen Fließerden fehlt. Da diese Struktur inhomogener Fließböden nur in den kälteren Erdgebieten zu beobachten ist, so liegt nahe anzunehmen, daß die Kälte, bzw. die Regelation, bei ihrer Erzeugung wirksam sein müßte; um aber keinerlei hypothetische Momente in die Nomenklatur hineinzubringen, hat MEINARDUS vorgeschlagen, diese Böden kurzweg Strukturböden zu nennen — ein Name, der in der Tat wegen seiner Objektivität den Vorzug vor anderen, wie Regelationsfließerde, verdient.

Die bis in eine gewisse (in ihrem Betrag freilich in den meisten Fällen noch nicht bekannte) Tiefe hinabreichende Aussonderung der steinigen Bodenbestandteile von den erdigen macht sich auch an der Erdoberfläche höchst auffällig geltend und zeigt somit auf den ersten Anblick schon einen tiefgreifenden Unterschied gegenüber dem homogenen Boden, obgleich bei beiden nicht selten gleicherweise eine fast bienenwabenartige Zusammendrängung deutlich abgegrenzter Erdfelder zu beobachten ist und deshalb für beide schon oft der Name Polygonboden gebraucht worden ist. Der Unterschied der Oberflächenformen homogenen und inhomogenen Fließbodens ist aber doch so bedeutend, daß hier beide getrennt besprochen werden müssen.

a) Die Oberfläche homogener Fließerde.

Die Oberfläche kleiner schmaler Schlammströme ist oft durch konvex nach abwärts gerichtete Runzeln und Wülste, bei nicht ganz homogener Beschaffenheit des Materials auch wohl durch konvexe Streifen senkrecht gestellter Schieferstückchen usw. ausgezeichnet. (Ähnlich ist die Form der bereits aus recht inhomogenem Material bestehenden, von E. v. DRYGALSKI am Signehafen zwischen Wasserrissen beobachteten Schlammströmchen mit konvexen, nach abwärts gekrümmten Steinwällen oder der von MEINARDUS auf Prinz Olaf Vorland studierten Erdflüsse mit Steingirlanden, die bereits einen Übergang zu den Strukturböden darstellen.)

Die Oberfläche breiter Fließerdhänge dagegen zeigt, soweit ich sie aus eigener Anschauung und aus der Literatur kenne, keinerlei derartige Wulstungen (es sei denn, wo Vegetation oder andere Hemmnisse lokal aufstauend wirken), sondern erhält ein gewisses Fluidal- aussehen nur durch die Anordnung der Vegetation und namentlich der an der sonst glatten Oberfläche befindlichen Risse. Diese Risse sind offenbar Kontraktionsrisse; doch ist an sich nicht ohne weiteres klar, ob sie durch Kontraktion infolge Austrocknens oder infolge Auftauens entstehen. Ersteres scheint mir in den meisten Fällen das Wahrscheinlichere, schon wegen ihrer Schmalheit (die mir freilich, wie schon erwähnt, auch als Anzeichen geringer Mächtigkeit der Fließschicht erscheint). Diese Oberflächenrisse begrenzen auf Fließerdhängen langgestreckte Erdfelder (wie auf HÖGBOMS prächtigem Bild im Bull. Geol. Inst. Upsala, IX, S. 54 oder Ztschr. Ges. f. Erdk. Berlin 1912, Abb. 12 sehr deutlich erkennbar). Die Erdfelder selbst zeigen an ihrer Oberfläche sehr häufig noch feinere, aber ganz regellos angeordnete, offenbar erst nach dem Stillstand der Hauptbewegung entstandene Trockenrisse.

Diese in Felder geteilten homogenen Fließböden nennt HÖGBOM Polygonböden des II. von ihm unterschiedenen Typus, während MEINARDUS, meines Erachtens mit Recht, für sie den Namen Polygonböden allein reserviert wissen will.

Nicht selten beobachtet man an Berghängen oder auf horizontaler Fläche eine Einteilung homogener, flußfähiger Böden in mehr oder minder regelmäßige Felder, die eine gewisse Auftreibung, eine Erhöhung gegen die Mitte hin erkennen lassen und zuweilen¹⁾ durch auffallend breite Risse voneinander getrennt sind. In diesen Fällen dürften die Risse nicht bloß durch Austrocknung, sondern auch durch Kontraktion des Feldes infolge Auftauens, die Auftreibung aber als Rest der Ausdehnung infolge Gefrierens aufzufassen sein, und ich halte dies für um

¹⁾ Vgl. das ausgezeichnete Bild von Dr. G. SCHULZE von der Billenbai in Ztschr. Ges. f. Erdk. 1912. Abb. 11.

so wahrscheinlicher, als in nächster Nähe gewölbter Polygonfelder am Kap Wijk, die von Vegetation ganz bedeckten Frosthügelchen vorkommen, wie sie auf Island so häufig auftreten und dort als »Thufa« bekannt sind. Diese nach meinen Beobachtungen auf Island und Spitzbergen meist regellos, nach SPETHMANN'S Beobachtungen auf Island oft auch reihenartig angeordneten Gebilde dürften dadurch entstehen, daß einzelne Partien des Bodens mehr Wasser aufnehmen als andere und beim Gefrieren desselben ungleichmäßig hoch den darüberliegenden Rasen auftreiben, der auch nach dem Auftauen seine Form beibehält; wenn sie vom isländischen Bauern in seinen Dungwiesen (tun) eingeebnet werden, so bilden sie sich nach einigen Jahren wieder aufs neue.

b) Strukturböden (Formen des inhomogenen fließfähigen Bodens).

Mit Ausnahme der schon oben erwähnten Steingirlanden unterscheidet MEINARDUS folgende Strukturbodenformen:

1. Steinstreifen oder Steinbänder, d. h. eine Sonderung von erdigen und steinigen Bestandteilen an Berghängen in der Weise, daß sich in der Richtung des größten Gefälles Streifen von Erde und von meist senkrecht gestellten Steinen zeigen.

2. Steinnetze oder Steinnetzwerk, sowie

3. Steinringe oder Steinkränze, d. h. eine Sortierung des unhomogenen Bodens in der Weise, daß die Erde in polygonale oder runde Felder, umgeben von Streifen meist senkrecht gestellter Steine, gesondert erscheint.

4. Steinfelder oder Blockmeere mit Erd- oder Schuttinseln, d. h. Ausscheidung kleiner Schlamm-, Erd- oder Schuttansammlungen inmitten von Blockmeeren, zuweilen reihenförmig übereinander, so daß sie in solchen Fällen wie ein durch Gesteinsstückstreifen in verschiedene Stufen und Abteilungen zerlegter kleiner Schlammstrom erscheinen können.

Zuweilen, so am Småland Ridge, kommt es übrigens auch vor, daß an isolierten Steinkränzen, sowie an reihenförmig angeordneten »Erdinseln« die Erdschicht als solche nicht zutage tritt, sondern von kleinkalibrigen Gesteinsstückchen überdeckt bleibt (wie ich durch Aufschürfen mit Hammer und Bergstock festgestellt habe).

Steinnetze und Steinringe sind offenbar nur Modifikationen einer und derselben Strukturform: Wenn Steinringe so nahe beieinander entstehen, daß sie sich in der Entwicklung hemmen, so entstehen bei einseitiger Berührung einseitig deformierte Steinkränze¹⁾, bei allseitiger Berührung aber allseitig deformierte, meist annähernd sechsseitige

¹⁾ Es kommen aber auch miteinander verwachsene Zwillingsteinkränze ohne trennende Steinsetzung vor.

Steinkränze, d. h. ein Steinnetzwerk (falscher Polygonboden oder Polygonboden Typus I im Sinne HÖGBOMS). Auf geneigtem Gelände sind die Steinkränze oder Netzfelder mehr oder weniger stark in der Richtung des Gefälles in die Länge gezogen.

Die Untersuchung der Strukturböden ist noch sehr im Rückstande, denn in den meisten Fällen ist nur die oberflächliche Erscheinung festgestellt oder eben noch in ganz geringe Tiefe hinab geschürft worden. Nur für eine Strukturform, die Steinkränze, die auch sonst am genauesten studiert sind, ist von MIETHE und MEINARDUS (am Zeppelinhafen) durch Querziehung eines Grabens festgestellt worden, daß die Sortierung des Bodens nur bis in eine Tiefe von 50 oder 60 cm hinabreicht, während tiefer unten das Material planlos gemischt war, obgleich er — zur Zeit der Untersuchung — nicht gefroren war. Man darf daraus schließen, daß der Prozeß der Sortierung entweder in einer Jahreszeit vor sich geht, in der der Boden noch nicht tiefer als 50—60 cm aufgetaut ist, oder daß er sich überhaupt nur in ziemlich oberflächlichen Bodenschichten abspielt. Aufgrabungen in verschiedenen Höhenlagen und verschiedenen Polargebieten würden wohl diese Frage klären helfen.

Bei den Steinstreifen und den Erdinseln fehlen Tiefenschürfungen noch vollständig, so daß damit die Möglichkeit ihrer Erklärung auch auf sehr schwache Füße gestellt ist. Es soll daher im folgenden derselben nicht näher gedacht werden; nur kurz sei erwähnt, daß MEINARDUS, der zuletzt in dieser Angelegenheit sich geäußert hat, bei ersteren an zerrissene Steingirlanden (NORDENSKJÖLD an umgewandelten Karreeboden) denkt, bei letzteren an Verwitterungsreste leichtverwitterbarer Blöcke innerhalb einer Halde von vorzugsweise schwerverwitterbaren Blöcken oder auch an letzte Überreste ehemaliger Steinnetzwerke.

Etwas eingehender soll aber der neueren Versuche gedacht werden, die Steinkränze und -netzwerke zu erklären. O. NORDENSKJÖLD erinnert an ein Experiment BÉNARDS, demgemäß in einer zähflüssigen, einem erhitzten Metallboden aufruhenden Masse ein sechsseitiges Zellensystem von Konvektionsströmungen des Wassers die feinen Erdteilchen nach dem Innern prismatischer Zellenräume geführt wurden, während die reingespülten Gesteinsstücke zurückbleiben.

Ganz anders denkt sich die Sache E. v. CHOLNOKY, der zugleich etliche neuartige Beobachtungen mitteilt. Nach seiner Ansicht nimmt das abfließende Wasser der Tundra zwischen Steinen seinen Weg und nimmt hier die tonigen Schutteile mit; dadurch versinken in diesen Wasserrinnen die Steine; die Tundra sucht beim Gefrieren mit starkem Seitendruck die Rinne wieder zu schließen und drückt die senkrecht gestellten Steine fest, welche die Wasserader markieren. Diese verschwindet an manchen Stellen plötzlich unter eigenartigen »Schuttbuckeln« — eine Beobachtung, die bisher nur von v. CHOLNOKY berichtet ist —; »diese Buckel sind im Durchmesser einige Meter breite, runde, lehmige Flecken, deren eine dem Gefäll entsprechende untere

Seite steil stufenartig und dort voll von Moos und großen Steinen ist, während in der Mitte des Buckels keine Steine sind, sondern nur lehmiger Schlamm, den der Moospolster nicht bedeckt. Diese manchmal in mehreren Stufen sich übereinander erhebenden Buckel finden sich an solchen Stellen, wo im Gefälle der Wasserader eine plötzliche Verringerung stattfindet. Durch kantenständige Steine schön markiert, fließt die Wasserader unter den Buckeln weiter. Diese Buckel sind nichts anderes als »Sandbänke« der unter den Steinen dahin sickern- den Ader.«

Anschließend an die Beobachtung, daß bei strengem Frost in gepflasterten Straßen der sandige Lehm infolge des Gefrierens sich über die Pflastersteine erhebe und sie nach jedesmaligem Tauen mehr als zuvor bedecke, kommt er zu dem Schluß, daß Schotter in die bald tauende, bald gefrierende Bodenart stufenweise einsinken müsse.

Die Schuttschicht über dem ständig gefrorenen Erdboden preßt sich beim Gefrieren zusammen und springt durch die mit dem Tauen erfolgende Kontraktion in Prismen, bei denen ein konstantes Verhältnis zwischen der Höhe und dem größten horizontalen Durchmesser bestehen würde. In die dabei entstehenden Risse fallen Steine hinein, und wenn das Schuttprisma sich beim Gefrieren ausdehnt, drückt es diese Steine fest und wölbt die Oberfläche des Prismas zugleich empor. »Die Teilchen des Schutts sind in einer beständigen Zirkulation. Am oberen Teil des polygonalen Stückes bewegen sich die Steine nach auswärts, den Spalten zu, unten, in der unteren Schicht des Schuttes bewegen sie sich einwärts, gegen die Mitte des Prismas, können sich vom Grund aber nicht erheben. Infolge der Zirkulation kommen alle großen Steine in die Spalte, und der Lehm drängt sich in der Mitte des Prismas zusammen.«

Es fällt mir schwer, diesem originellen Gedankengang zu folgen, insbesondere einzusehen, in wiefern die erwähnte Zirkulation zustande kommen könnte, und ich bin von ihr um so weniger überzeugt, als sich dann ja am Grunde der »Prismen« die Steine angesammelt haben müßten, was nach MIETHES und MEINARDUS' Aufgrabung am Zeppelin-hafen nicht der Fall ist.

Besser scheint mir BERTILL HÖGBOMS Erklärungsversuch den Tatsachen gerecht zu werden. Er schreibt (Bull. Geol. Instit. Upsala, IX, S. 53): »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 gibt, 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 zentrifugal verschoben. Wenn nachher Schmelzung und damit folgende Volumverminderung 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 Volumveränderungen mehr fixiert und dabei auch die Wasserkapazität der zentralen Partien vermehrt wird.«

Wenngleich vieles für die Richtigkeit dieser Anschauung spricht, insbesondere die Senkrechtstellung der rundlichen Steinplatten und die Aufwölbung des zentralen Tonzylinders oder -prismas, so bleiben doch in dem Erklärungsversuch noch zahlreiche Lücken, die auszufüllen zurzeit noch schwer fallen möchte. HÖGBOM selbst weist z. B. darauf hin, daß die gleichmäßige Größe der Felder ziemlich schwer erklärbar sein dürfte. Er selbst macht keinen Versuch einer Erklärung, sondern begnügt sich mit dem Hinweis, daß diese Gleichförmigkeit durch eine Schematisierung der Eindrücke übertrieben worden sei, was zweifellos richtig ist. Eben dieser Umstand erweckt daher auch gewisse Bedenken gegen die von E. v. CHOLNOKY angedeutete Erklärung, und wenn MEINARDUS (a. a. O. S. 25) an Beziehungen zwischen der Größe der Strukturformen und der Größe der zusammengeschobenen Steine denkt, so kann er leider noch nicht über ein hinreichend großes Beobachtungsmaterial verfügen, um seiner Idee das nötige Gewicht zu geben.

HÖGBOM weist übrigens auf die Tatsache hin, daß größere Gegenstände, wie Steine oder Knochen, durch »Auffrieren« aus den tiefergelegenen Erd- und Tonmassen an die Oberfläche heraufkommen können; den Mechanismus dieser Erscheinung zu erklären, sind wir zurzeit nicht in der Lage und werden vielleicht erst durch Experimente dazu in Stand gesetzt werden können. Jedenfalls ist aber durch diese Tatsache ein Weg angedeutet, der zur Sortierung ungleichartiger Bodenelemente beitragen muß. Auf einen anderen, der freilich nur für oberflächlich vorhandene Erdmaterialien in Betracht kommt, macht MEINARDUS aufmerksam (Sitzber. Mediz. naturw. Ges. Münster i/W. 1912, S. 2ff.). Er zeigt, daß im Frühjahr während der Schneeschmelze die obenlagernden größeren Steine als Wärmefänger wirken, und damit in ihrer unmittelbaren Nachbarschaft zuerst eine Auftauung des Bodens bewirken müssen; wenn nun die »Taubezirke« zweier benachbarter Steine sich berühren, so wird durch die Expansion, die beim nächtlichen Gefrieren eintritt, die Tendenz erzeugt, die Steine einander zu nähern, weil die Expansion, die in der Richtung der Verbindungslinien zwischen den Steinen eintritt, kleiner ist als die Summe der Expansionen, die auf den beiden einander abgekehrten Seiten der Steine wirksam werden. Der Expansionsdruck kann beim Gefrieren plötzlich auftreten, wenn im feuchten aufgetauten Boden eine Unterkühlung eingetreten war, und muß dann um so wirksamer sein.

Wenn durch Zusammenwirkung der beiden Vorgänge, der oberflächlichen Zusammenschiebung der steinigen Bodenelemente und namentlich der peripherischen Anordnung der Steine in der Erde durch die zentrifugale Wirkung der Expansion die Sortierung des erdigen und des

steinigen Materials und damit die Entstehung von Steinringen vollendet ist, so erschöpft sich die Expansion, wie MEINARDUS hervorhebt, in der Erhaltung der geschaffenen Form, und die entstandenen Gebilde können auf ebenen oder sehr wenig geneigten Flächen ein sehr hohes Alter erreichen, ohne ihre Form zu ändern, während sie meines Erachtens freilich auf stärker geneigtem Boden einer Deformierung durch Streckung in der Gefällsrichtung unterliegen müssen.

Die Schmelzwasser spülen die Steinsetzungen rein, die ihnen zugleich als die gegebenen Zirkulationswege dienen; in ihnen allein entwickeln die Wassergerinne auch eine größere Geschwindigkeit und damit eine nennenswerte Spülwirkung, während die Erdprismen auch bei völliger Durchtränkung keinen großen Verlust durch Abspülung erfahren dürften, weil sie gewissermaßen tote Strecken für die Wasserbewegung darstellen. Unter bestimmten Voraussetzungen (z. B. deren ebene Flächen oder völliger Abwesenheit von Schmelzwässern höher gelegener Schneeflecken oder Firnkappen usw.) mag auch der von MEINARDUS angenommene Fall eintreten, daß die Schmelzwasser sich schon verlaufen haben, wenn die länger gefroren gebliebenen erdigen Massen auftauen.

Im Sommer dürfte, wie MEINARDUS mit Recht hervorhebt, in den meisten tiefer gelegenen polaren Gegenden in den oberen Bodenschichten der Wechsel zwischen Frieren und Tauen aufhören und demnach keine weitere Materialsortierung stattfinden — soweit dies nicht durch Spülvorgänge bewirkt wird. Im Herbst wird dagegen die durch Regelation bewirkte Detritussortierung wieder beginnen. MEINARDUS glaubt nun, daß in den erst später im Herbst gefrierenden unteren Erdschichten »vielleicht eine nach oben gerichtete Komponente der Expansion wirksam wird und Gesteinssplitter und Steine nach oben drückt, weil diese nach oben am wenigsten Widerstand finden.« Leider ist mir aber der Mechanismus der hier angenommenen Vorgänge, die auch das oben erwähnte »Auffrieren« erklären würden, nicht klar.

Es bleibt überhaupt in der ganzen Serie von Erscheinungen, welche unter »Erdfluß« und »Strukturboden« einzurechnen wären, eine Menge zurzeit noch ungelöster Rätsel¹⁾, die zur weiterer Forschung drängen,

¹⁾ Die Erscheinungen selbst sind ebenfalls noch ganz ungenügend bekannt, und fast jeder Beobachter kann zurzeit noch über bisher nicht beschriebene Gebilde berichten. So macht mich z. B. Herr Dr. G. REMPP, der 1911/12 in der Adventbay meteorologische Beobachtungen gemacht hat, darauf aufmerksam, daß eine schon 1911 vorhandene Erdspalte bei Adventpoint sich 1912 wesentlich vergrößert hatte, indem hereinfließendes Schmelzwasser »sie vielleicht vertieft, jedenfalls aber außerordentlich verbreitert hat, indem es am Grunde der Spalte die gefrorene Erde seitlich auftaute und wegspülte, bis schließlich die unterhöhlten oberen Erdmassen herunterbrachen«. In größerer Zahl ließen sich derartige Spalten nach Dr. REMPPS Mitteilung auf der anderen Seite der Adventbay beobachten, wo man auch sehr schön die Fließerde herausquellen sah. Stellenweise bemerkte Dr. REMPP in Geländevertiefungen auch ansehnliche Tümpel, die offenbar durch das Zutagetreten des Grundwasserstroms gebildet waren. Man darf wohl daraus

und die Ausblicke, die das weitere Studium der Vorgänge für Erklärung geomorphologischer Verhältnisse in polaren und subpolaren Gebieten (ja — bei der in der Eiszeit zweifellos weiter äquatorwärts vorgedrungenen Verbreitung dieser Phänomene — selbst in manchen Gebieten der gemäßigten Zone) verheißen, sind so verlockend, daß eine eifrige Inangriffnahme der Probleme in nächster Zeit zu erhoffen steht.

schließen, daß auch unter der durch Austrocknen erhärteten Oberflächenlage der Erdfluß seine Bewegung fortsetzen kann und der Umstand, daß Dr. REMPP bei Adventpoint auf typischem, oberflächlich gefrorenem Polygonboden in die Tiefe einbrach, zeigte, daß nach kürzerer Dauer von Frostwetter und dadurch bewirktem Gefrieren der oberflächlichen Erdlagen durch Fortfließen des darunter vorhandenen Grundwassers oder Fließbodens in gewisser Tiefe geradezu Hohlräume entstehen können. Dr. REMPP berichtete mir ferner: »Erdarbeiten bei Vertiefung eines Einschnittes der Pferdebahn zeigten mir nicht nur den großen Eisgehalt der betreffenden Schichten, sondern ließen auch abwechselnde Lagen — meiner Erinnerung nach von 5—10 cm Mächtigkeit — von fast reinem Eis erkennen«. Diese Beobachtung läßt meines Erachtens darauf schließen, daß durch Absonderungsvorgänge innerhalb der Fließerde die Phänomene des Erdflusses noch mehr kompliziert werden können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: [4](#)

Autor(en)/Author(s): Sapper Karl

Artikel/Article: [Erdfließen und Strukturboden in polaren und subpolaren Gebieten
103-115](#)