

## Welche Kräfte wirken heute umgestaltend auf die Landoberfläche der Arktis ein?

Von Dr. Wilhelm Dege, Münster/Westf.

In den letzten Jahren ist die Frage nach den landformenden Kräften und den durch sie verursachten Oberflächenformen in der Arktis und rückschließend für das unter dem Einfluß der Eiszeit stehende Gebiet Europas wiederholt Gegenstand eingehender und umfassender Studien gewesen. Von geographischer Seite wurden sie vor allem von Troll, Büdel und Poser betrieben<sup>1)</sup>.

Ich hatte Gelegenheit, auf einigen Reisen nach Spitzbergen und vor allem während einer Überwinterung auf dem Nordostlande von Spitzbergen mich mit diesen Fragen zu beschäftigen und will kurz über meine Erfahrungen berichten:

Will man die landformenden Kräfte in ihrem Ausmaß und in ihrem Ergebnis, dem heute geschaffenen Formenbild, verstehen, so muß man sich über zwei Vorgänge im klaren sein, über die **Aufbereitung** des Materials für den Transport und über die **Art der Materialverfrachtung**.

**1. Die Aufbereitung des Materials:** Das anstehende Gestein und die größeren im Gelände verstreut liegenden Felsblöcke bedürfen in erster Linie einer Aufbereitung, einer Zerkleinerung, um in den Transport einbezogen werden zu können. Aber auch der unsortierte und sommerlich 1—3 m, je nach der Bodenzusammensetzung, aufgetaute Bodenschutt bedarf für manche Bewegungsvorgänge einer Aufbereitung.

Die überall ansetzende Kraft ist der Frost in seiner Form als Spaltenfrost durch die Frostsprengung. Dringt Wasser in die Fugen des Gesteins ein und gefriert es bei dem häufigen Wechsel der Temperatur um 0°, so dehnt es sich um  $\frac{1}{9}$  seines Volumens aus. Dabei entstehen ungeheure Kräfte, die zur Zersprengung des Gesteins führen, das daher fast stets bei allen Gesteinsarten scharfkantige Bruchstücke aufweist, welche ein Begehen des Geländes zur Qual machen können. Weitgedehnte Gebiete können daher den Eindruck der Packlage einer riesigen Straße erwecken. Solange das Wasser die Möglichkeit hat, in die Gesteinsklüfte einzudringen, kann der Spaltenfrost weiter arbeiten. Ich beobachtete wiederholt, daß relativ weiche und feinkörnige Gesteine, wie Schiefer, nur an der Oberfläche vom Spaltenfrost angegriffen waren, und zwar an solchen Stellen, wo das losgesprengte Material nicht zur Verfrachtung kam, weil es vor Erdfließen und Windauswehung geschützt war. Offenbar verkittet das losgesprengte und weiterhin verwitternde Schiefermaterial die Klüfte des Gesteins und verhindert den Wassereintritt.

Besonders wirkungsvolle Angriffsstellen hat der Spaltenfrost an steilen, schuttfreien Hangpartien bei klüftigem Material, also vor allem bei Sedimentgesteinen. Hier arbeitet der Spaltenfrost ganze Hangpartien los, die Klüfte werden immer

<sup>1)</sup> Hier können nur wenige Arbeiten dieser Forscher genannt werden; weitere Arbeiten sind darin aufgeführt:  
Troll, C.: Strukturböden, Solifluktion und Frostklimate der Erde. — Geol. Rundsch., Bd. 34, H. 7/8, 1944, S. 545—694.  
„ „ Die Formen der Solifluktion u. die periglaziale Bodenabtragung. — Erdkde., Bd. I, Lfg. 4—6, 1947, S. 162—174.  
„ „ Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation. — Ibidem, Bd. II, Lfg. 1—3, 1948 S. 1—21.  
Büdel, J.: Die morphologischen Wirkungen des Eiszeitklimas im gletscherfreien Gebiet. — Geol. Rundsch., Bd. 34, Heft 7/8, 1944, S. 482—519.  
„ „ Die klima-morphologischen Zonen der Polarländer. — Erdkde., Bd. II, Lfg. 1—3, 1948, S. 22—52.  
Poser, H.: Talstudien in Westspitzbergen und Ostgrönland. Zeitschr. f. Gletscherkde., Bd. 24, 1936, S. 43—98.  
„ „ Dauerfrostboden und Temperaturverhältnisse während der Würm-Eiszeit im nicht vereisten Mittel- und Westeuropa. — Naturwissensch., Bd. 34, 1947, S. 10 ff.  
„ „ Auftautiefe und Frostzerrung im Boden Mitteleuropas während der Würm-Eiszeit. — Naturwissensch. 34, 1947.  
„ „ Boden- und Klimaverhältnisse in Mitteleuropa während der Würm-Eiszeit. — Erdkde., Bd. II, Lfg. 1—3, 1948, S. 53—68.

stärker verbreitert und nehmen Keilform an, Schnee dringt in sie ein, der Gesteinsverband wird gelockert und ganze Hangstreifen lösen sich ab. Die Frostsprengung an Steilhängen kann flächenhaft wirken, sie kann auch linear ansetzen und zur Bildung von Runsen führen, die ganze Bergflanken wie eingekerbt umgeben. In ihrer Vergesellschaftung aber wirken auch die Runsen flächenhaft im Sinne einer Zurückverlegung der Steilhänge. Welches Ausmaß diese Zurückverlegung hat, ersieht man an den mächtigen Schuttkegeln, die in oft feingeschwungenem Rhythmus die Bergfüße umhüllen, und man merkt es als Reisender an den prasselnden Steinschlägen, welche nach Frosttagen die durch Eis zementartig festgekitteten Gesteinstrümmel bei aufkommender Besonnung in die Tiefe stürzen lassen.

Nun ist die Frostsprengung keineswegs an sichtbare Spalten und Klüfte im Gestein gebunden. Auch in die haarfeinen, mit dem bloßen Auge nicht sichtbaren Spalten dringt das Schmelzwasser ein und führt beim Gefrieren zur Frostsprengung. Es erfolgt dann, besonders gut beim Granit zu beobachten, eine dünnblättrige **Abschuppung** der Außenhaut des Gesteins. Je gröber die das Gestein zusammensetzenden Mineralien sind, umso wirkungsvoller ist diese Abschuppung in Form von fingernagel- bis handgroßen Gesteinsschuppen, die dann rasch zerfallen und ihren Ausgangsort mit einer ganzen Schicht von Grus umgeben. Diese Abschuppung ist besonders stark an häufig durchfeuchteten Stellen; in der Nähe von tauenden Schneeflecken und längere Zeit rieselndem Schmelzwasser und besonders im Brandungsbereich der Küste.

Kernsprünge, etwa an durch Eistransport völlig glatten, gerundeten Granitblöcken zeigen, daß der Frost nicht nur als Spaltenfrost wirksam ist. Man findet in den eisfreien Gebieten Spitzbergens vor allem im Granitgebiet des NW und des NO überall Blöcke von Tischgröße und darüber, die mitten entzweigespalten sind, als wenn ein Steinmetz daran gearbeitet hätte. Ursache sind auch hier Frostspannungen, die dadurch entstehen, daß die verschiedenen das Gestein zusammensetzenden Mineralien mit einer unterschiedlich starken Ausdehnung oder Zusammenziehung auf die Temperaturen und ihre Schwankungen reagieren. Diese Spannungen führen dann zur Zerreißen des Gesteins.

Die Arbeit des Frostes schafft in den eisfreien Gebieten der Arktis oft kilometerweit ausgedehnte, mit scharfkantigem Schutt bedeckte Steintundren, die den Hamadas in der Sahara ähneln. Je nach dem Ausgangsmaterial bleibt der Schutt gröber oder feiner. Bei Dolomiten und stark kieselhaltigen Gesteinen sind es nur kleine Gesteinsscherben, die den ebenen Boden fast lückenlos überziehen. Doch damit ist die Aufbereitung des Gesteins noch nicht beendet. Hier setzt die **Kamm-eisbildung** an, die zwar das Gestein nicht zertrümmert, den Bodenschutt aber sortiert und dem weiteren Transport ausliefert.

Wenn der Schnee schmilzt und der Boden beginnt, Wasser aufzunehmen oder durch die in ihm enthaltenen und nun tauenden Eislinsen Wasser abzugeben und es erfolgt ein nächtlicher Temperaturrückgang unter den Gefrierpunkt, so sieht man am zeitigen Morgen an vielen Stellen bis fingerlange Eisnadeln und kunstvolle Gewebe von Eiswaben, die nächtlich aus dem Boden wuchsen. Beim Marsch über solches Gebiet knirscht dauernd der Schritt vom brechenden Eis. Das ist **Kammeis**. Sieht man näher hin, so bemerkt man, daß fast alle diese Nadeln und Waben an der Oberfläche eine dünne Schicht von feinsten Bodenbestandteilen tragen, die ihnen je nach dem Ausgangsmaterial eine graue, schwärzliche oder bräunliche Farbe verleihen. Kommt die Sonne, dann schmelzen diese Eisgebilde durch ihre im Vergleich zum Eis dunklere Färbung schnell. Dort, wo sie waren, bleibt eine zunächst schlammartige feine Bodenschicht von wenigen mm Dicke zurück, die aber bald ausgetrocknet und vom Wind fortgetragen wird. Bei der Häufigkeit der Temperaturen um 0° kommt diesem im Einzelfall unbedeutenden Vorgang eine wesentliche Bedeutung bei insofern, als durch die Kammeisbildung in Verbindung mit dem Wind jene ausgedehnten öden arktischen Steinwüsten entstehen, die an windexponierten Stellen, vor allem auf den Bergrücken und in ausgedehnten Vorländern, so bezeichnend sind.

In gleicher Weise wie das Kammeis arbeitet auch der Frostschub: beim Gefrieren setzen sich in den Bettungen der Steine im Bodenschutt unter den Steinen Eislinsen ab, die bei ihrer Entstehung den Stein eine Kleinigkeit verschieben. Bei wiederholtem Temperaturwechsel um  $0^{\circ}$ , an den sogen. Frostwechseltagen, besonders im arktischen Frühjahr und Herbst, summieren sich auch diese kleinen Bewegungen. Die Gesteine gelangen an die Oberfläche oder werden an die Seite gedrückt, wobei sie dann oft die seltsam anmutenden Steinring- und Streifenböden bilden, bei denen das grobere Material entweder ring- oder streifenförmig vom feineren Bodenschutt gesondert wird. Auch diese Sortierung des Bodenschuttes kann da, wo die Durchfeuchtung des Bodens nicht zu groß und keine schützende Pflanzendecke vorhanden ist, das feinere Material der Auswehung durch den Wind preisgeben.

Über die Häufigkeit der Frostwechseltage in der Arktis, welche die Häufigkeit von Erscheinungen wie Kammeisbildung, Frostschub und Solifluktion und das Ausmaß ihrer Einwirkung auf das Landschaftsbild bestimmen, herrschen noch vielfach falsche Vorstellungen. Es ist nicht so, daß man die Zahl der Frostwechseltage rein rechnerisch allein aus den täglichen Temperaturlaufzeichnungen zu den üblichen Terminen und in 2 m Höhe ermitteln kann. Maßgeblich für die Zahl der Frostdurchgänge sind die Verhältnisse im Mikroklimabereich. Und da zeigt die Arktis, nicht nur die tropischen Hochgebirge, besonders im Juni und in der ersten Hälfte des Juli täglich eine ganze Anzahl von Frostdurchgängen. Das hängt von der Wetterlage, besonders von der Art und der Zuggeschwindigkeit der Wolken ab. Ich erinnere mich, daß wir gelegentlich bis zu 5 solcher Frostdurchgänge in einer Stunde beobachtet haben.

Auch der Wind als Träger von Staub und Sand arbeitet an der Aufbereitung des Gesteins mit, und zwar durch den Windschliff. Diese Art der Aufbereitung, die sonst typisch für die Wüstengebiete der heißeren Zonen ist, wurde aus der Arktis erstmalig und sehr eindrucksvoll von dem schwedischen Forscher B. Högbom<sup>2)</sup> beschrieben. Ich hatte in den Jahren 1935—1938 vergeblich nach markanten Beispielen für den Windschliff gesucht und lediglich an dem Pfahl eines Besitzschildes am Eisfjord deutliche Spuren gesehen, die beim Holz auf eine abschleifende Wirkung durch vom Wind transportierten Harsch schließen lassen<sup>3)</sup>. Erst auf dem Nordostlande lernte ich 1944/45 im Gebiet des Roten Granits am Rijpfjord Beispiele von Windschliff kennen: säulen- und pilzförmige Gebilde, Säulenstümpfe, die wie gemeißelt aussahen und die die Überreste früher einmal kompakterer Felspartien waren. Das seltene Vorkommen von solch eindeutigen Beispielen von Windschliff aber zeigt, daß dem Windschliff nur in Ausnahmefällen eine Bedeutung für die Gesteinsaufbereitung beizumessen ist.

Damit sind die wichtigsten Arten der Aufbereitung des Gesteins in der Arktis genannt. Die vor allem bei der Frostsprengung wirksamen Kräfte können dabei in mancherlei Varianten auftreten, von denen wiederum die Art der Umgestaltung von der Landoberfläche abhängt. Solch eine besonders wirksame Form der Frostsprengung ist an lange bis in den Sommer hinein liegenbleibenden Schneeflecken zu beobachten. Die kräftige Durchfeuchtung des Bodens in ihrer Umgebung und unter den dünnen Schneerändern bewirkt, daß hier die Frostsprengung besonders intensiv ansetzen kann. Es bilden sich daher kleine, karähnliche Vertiefungen von wenigen Metern bis zu 30, gar 50 m Ausdehnung, die manche Hänge in großer Zahl überziehen und deren Oberflächenbild eindeutig kennzeichnen<sup>4)</sup>.

## 2. Der Transport des Materials:

Das auf diese Weise aufbereitete Gesteins- und Bodenmaterial ist mancherlei Arten von Transport ausgesetzt. An steilen Hängen und Wänden ist es der mehr oder minder freien Fall, wie z. B. bei den Runsen und bei der Ablösung ganzer Hangpartien durch Frostsprengung, oft in Verbindung mit Frostschub.

<sup>2)</sup> B. Högbom, Wüstenerscheinungen auf Spitzbergen. Bull. Geol. Inst. of Upsala, Bd. 11, 1912, S. 242—251.

<sup>3)</sup> W. Dege, Landformende Vorgänge im eisnahen Gebiet Spitzbergens. Petermanns Geogr. Mitt. 1941, H. 3 u. 4, Abb. 15.

<sup>4)</sup> W. Dege, Über Schneefleckenerosion. Geogr. Anz. 1940.

Der Wind erfaßt nur das ausgetrocknete oder durch Frost gebundene, körnige Feinmaterial, wobei man allerdings berücksichtigen muß, daß bei dem Auftreten schwerer Stürme in Einzelfällen bis haselnußgroße Gesteinstrümmen vom Wind fortgeschleudert werden. Eine besonders große Bedeutung kommt dem Wind bei der Verfrachtung der feinen Ablagerungen der vielarmigen und an ihren Mündungen oft kilometerweiten Gletschertäler zu. Voraussetzung dazu ist es, daß diese zahlreichen, inselartig zwischen den Bacharmen aufragenden Bänke feinsten Materials trocken oder gefroren sind. Bei den heftigen Fallwinden, deren Leitbahnen vorwiegend die troglörmigen Furchen dieser Talungen sind, kommt es dann oft zu ausgesprochenen Staubstürmen, wobei das ausgeblasene Material vorhandene Schneeflächen dunkel färbt. Die Verfrachtung des Feinmaterials durch den Wind führt stellenweise auch zur Dünenbildung und zur Ausblasung von Hohlformen. Doch sah ich davon auf Spitzbergen nur Kleinformen. Windkanter sind gelegentlich, vor allem in den großen Vorländern und auf windexponierten Bergkuppen zu finden.

Das Wasser wirkt sowohl flächenhaft abspülend als linear und ist besonders wirksam unter tauenden Schneeflecken im Frühling und im Frühsommer. Dabei kann gelegentlich soviel Wasser auf einmal frei werden, daß es zur Bildung von Schlamm-Muren kommt. Eine besondere Form des Transportes durch fließendes Wasser ist das im Frühsommer und Sommer gelegentlich an Hängen in breiter Quellfront austretende Wasser von tauendem Bodeneis<sup>5)</sup>. Das führt zu ausgedehnten Versumpfungen des Geländes, aber auch zu stellenweise ausgedehnten flächenhaften Abspülungen von feinem Bodenschutt.

Ist das schon eine besonders für arktische Gebiete und überhaupt für Gebiete mit Bodenfrost typische Art des Transportes, so ist es die Solifluktion, das Erdfließen oder Bodenkriechen, ungleich mehr. In ihrem extremen Fall fließt der wassergetränkte Auftauboden über der Tjåle so, daß man die Bewegung messen kann<sup>6)</sup>. Es ist die sichtbare Form der Solifluktion, der die unmerkliche gegenübersteht, deren Bewegung nur über längere Zeiträume hin gemessen werden kann. Dabei genügt eine Hangneigung von nur 2°, die das Auftreten des Bodenfließens ermöglicht, vorausgesetzt ist nur, daß ein genügender Durchfeuchtungsgrad des Bodens durch tauende Gefrorenis, häufig verstärkt von tauendem Schnee, vorhanden ist. So konnten wir Ende Juni 1945 das Ausmaß der Bewegung vor unserer Überwinterungshütte bei Neigungen von nur 6° an mehreren Stellen mit bis zu 1,20 m innerhalb von nur 3 Tagen sicher feststellen. An einem Beobachtungspunkt betrug die Bewegung an einem Tage 0,90 m! Die Bewegung war so stark, daß die Vegetationsdecke dort, wo sie vorhanden war, aufriß und daß der bewegte Bodenschutt an noch festgefrorenen Steinblöcken wulstartig emporkroch. Zu Anfang März 1945 vor der Überwinterungshütte verlegte Minen waren am 10. Mai 1945 trotz eines nach sorgfältigen Messungen angelegten Minenplanes nur noch in Ausnahmefällen am alten Platz wiederzufinden. Ein Ausbau der Minen konnte daher nicht stattfinden. Da es sich um ein elektrisch zündbares Minenfeld handelte, dessen Zuleitungen reichlich bemessen waren, konnte eine Räumung des Feldes nur durch Sprengung erfolgen. Doch wurde ein solches Ausmaß der Bewegung in den übrigen Sommer- und Herbstmonaten nicht mehr erreicht, wenn auch die Bewegung keineswegs aufhörte. Am Fuße der Hänge bildeten sich überall Schuttdecken aus ungeschichtetem Material. Wo der Wanderschutt in Bachtäler mit geringer Wasserführung und Strömung gelangte, bildeten sich Schuttleisten. An manchen Küstenstrichen, an denen über einer Felsunterlage der auflagernde Bodenschutt über die Brandung hinwegragt, kommen durch das Bodenfließen große Schuttmengen ins Meer.

Wenn der relative und absolute Anteil der Solifluktion an der Landformung der eisfreien arktischen und subarktischen Gebiete auch unterschiedlich ist, so ist sie doch die bei weitem wichtigste Art des Massentransports und wird in ihrer abtragenden und nivellierenden Wirkung von keiner anderen auf die Erdoberfläche

<sup>5)</sup> Vergl. Abb. 22 und 32 in Dege, Landformende Vorgänge a. a. O.

<sup>6)</sup> Dege, W., Über Ausmaß und Art der Bewegung arktischer Fließerde, Ztschr. f. Geomorph. 1943.

wirkenden Kraft übertröffen. Bei dem beherrschenden Auftreten des Bodenfließens in den eisfreien Polarländern sondert Büdel<sup>7)</sup> daher mit Recht bei einer Einteilung der Polarländer in klimamorphologische Zonen diese Gebiete als „Bodenflußzone“ ab.

Verstand man ursprünglich unter Solifluktion nur das Bodenfließen oder Bodenkriechen, so faßt Troll<sup>8)</sup> den Begriff der Solifluktion weiter: „Solifluktion im weitesten Sinn ist die Erscheinung, daß unter der Wirkung langdauernder, jahreszeitlicher oder kurzdauernder, sich häufig wiederholender bis allnächtlicher Gefronnis des Bodens eine lebhaftere Verlagerung der Bodenteilchen stattfindet, die sich auf ebenem Gelände in der Bildung von Bodenstrukturen und Bodentexturen (Frostgefügeböden), auf geneigtem Gelände auch bei ganz geringem Gefälle in einem beträchtlichen, hangabwärts gerichteten Massentransport (Frostbodenversetzung) äußert.“

Es sind also ganz typische klimabedingte Kräfte tätig, die das Bild der Oberflächenformen der Arktis verändern.

## Der norwegische Robben- und Eishaifang im Nordmeer 1948.

Von Dr. Kurt Schubert, Hamburg.

Der Robbenfang im Nordmeer ist an das Treibeis gebunden. Die Massen des Treibeises und deren Ausdehnung wechseln stark von Jahr zu Jahr. Der warme atlantische Strom, der in das Nordmeer nordwärts läuft, teilt diese Treibeismassen in zwei Gebiete, in denen abwechselnd gefangen wird. Von den Robbenfängern werden diese Gebiete nach ihrer Lage als „Westeis“ und „Osteis“ bezeichnet. Innerhalb dieser Gebiete unterscheiden die Fänger jedoch verschiedene Gründe. Das Osteis umfaßt alles Treibeis östlich der 20° östl. Länge. Dabei wird das Eis nördlich des Barentsmeeres als „Nordeis“ bezeichnet. Als „Westeis“ bezeichnet man gewöhnlich das Treibeis von Island und nordwärts, wobei das Jan-Mayen-Feld noch besonders unterschieden wird.

Grönlandrobbe und Klappmütze spielen die Hauptrolle des norwegischen Robbenfanges. Beide Arten treten mehr geschlossen und in größeren Mengen auf als die übrigen Arten. Am Robbenfang im Nordmeer beteiligen sich neben Norwegen noch Rußland und Neufundland. Stark interessiert sind auch isländische Kreise. Deutschland, das vor dem Kriege ebenfalls am Fang teilnahm, wird wahrscheinlich im nächsten Jahr ebenfalls am Fang wieder teilnehmen können.

Der Beginn des Fanges im „Westeis“ war auf den 23. 3. 48 festgesetzt. Die jungen Grönlandrobben waren jedoch in diesem Jahr ziemlich früh geworfen worden (13.—15. 3.), so daß der Pelz teilweise nicht mehr haarfest war. Die Fänger aus Norwegen hatten etwas mehr Glück als die Fahrzeuge aus Aalesund und More. Die Eisverhältnisse waren am Anfang etwas schwierig, besonders beim Klappmützenfang.

Insgesamt wurden 47 Reisen zum „Westeis“ ausgeführt, davon waren 3 kombiniert mit der Dänemarkstraße und 1 mit dem „Nordeis“. Das Fangergebnis ist aus der Tabelle zu ersehen. Im Durchschnitt je Reise wurden hier 1875 Tiere gefangen, wobei der Anteil der Jungen rund 60% beträgt.

Der Fang im „Osteis“ war auch in diesem Jahr nicht groß, da Norwegen nicht die Erlaubnis von Sowjetrußland erhalten hatte, im Weißen Meer den Fang zu betreiben. So wurden nur 7 Reisen dorthin gemacht, wobei die Fahrzeuge außerhalb der Konzessionslinie arbeiteten. Im Durchschnitt je Reise wurden 1289 Tiere (Grönlandrobbe) gefangen, der Anteil der Jungen war jedoch sehr gering. Sonst wurde der Fang nur im Nordeis betrieben, 5 Reisen wurden dorthin gemacht. Der Fangtrag je Reise betrug 6529 Tiere. Es waren fast nur ältere Tiere.

<sup>7)</sup> Büdel, 1948 a. a. O. S. 24.

<sup>8)</sup> C. Troll, Der subnivale oder periglaziale Zyklus der Denudation a. a. O. S. 4, u. C. Troll 1947 a. a. O.