

6. Über geologisch wichtige Frosterscheinungen in gemäßigten Klimaten.

Von Herrn FRITZ M. BEHR, Köln-Marienburg.

(Hierzu 2 Texttafeln.)

I.¹⁾

Die jüngste monographische Bearbeitung der geologischen Bedeutung, welche das abwechselnde Gefrieren und Wiederauftauen des Wassers im lockeren Boden oder in festen Gesteinen erlangen kann, hat der Schwede B. HÖGBOM 1914 (1) geliefert. Er stützt sich dabei, wie dies erklärlich und zunächst am zweckdienlichsten erscheint, auf eigene und fremde Beobachtungen in arktischen Gebieten. Dort kann der winterliche Frost die tiefstgehende und zweifellos großartigste Einwirkung auf den Erdboden und die in ihm anstehenden kristallinen und sedimentären oder in Brockenlose darinliegenden Gesteine ausüben. Daneben aber bringt HÖGBOM außer einer höchst dankenswerten, aber noch unvollständigen Zusammenstellung aller ihm erreichbaren einschlägigen Literatur (a. a. O., S. 384—389) eigene Beobachtungen aus den deutschen Mittelgebirgen, deren Ergebnisse auf das Vorhandensein solcher Frostspuren auch in gemäßigten Klimaten schließen lassen. Wie aus seinen Mitteilungen hervorgeht, war seine Reisezeit nicht besonders günstig gewählt. Denn wenn überhaupt solche Wirkungen des auskristallisierenden Wassers im Erdboden zu beobachten sind, so können sie mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit im Einzelfalle nur höchst selten Spuren hinterlassen, welche die unmittelbar darauf einsetzenden Frühjahrsniederschläge zu überdauern vermögen. „Groß“-formen der Frostwirkung, wie Kare oder Blockmeere, sind davon natürlich auszunehmen.

Meine eigenen Beobachtungen über diesen Gegenstand stammen sowohl aus dem Flachland als auch aus dem Mittelgebirge. Sie wurden bei Gelegenheit eines Referates in Straßburg durch die Herren Geheimrat BÜCKING, Professor

¹⁾ Durch mancherlei Umstände werde ich daran gehindert, meine Untersuchungen über das „Stengeleis“ („Kammeis, Pipkrake“ HÖGBOMS) heute schon zum Abschluß zu bringen und zu veröffentlichen. Sie werden an dieser Stelle als Teil II vorliegender Mitteilung veröffentlicht werden.

SAPPER, Dr. STOLL und meinen Freund Dr. v. BÜLOW-TRUMMER in überaus liebenswürdiger Weise ergänzt. „Pipkrake“ und „Erdfließen“ konnte ich in Kurland während der Winter 1915/16 und 1916/17, die gleichen Erscheinungen und das Ausfrieren von Steinen in der Umgebung von Bad Ems im Frühjahr 1917 und Winter 1917/18 beobachten, wobei ich von meiner Frau JOHANNA BEHR-HEYDER in der Messung und photographischen Aufnahme der einzelnen Objekte Unterstützung fand.

Im ersteren Falle also handelt es sich um klimatische und geologische Verhältnisse, welche den durch HÖGBOM untersuchten südschwedischen durchaus ähnlich sind. Die untersuchte Umgebung von Bad Ems darf dagegen bei einer Höhenlage von etwa 150—300 m ü. NN. dem deutschen Mittelgebirge zugerechnet werden.

Ich bin mir sehr wohl bewußt, daß ich hier keine vollständigen und lückenlosen Untersuchungsreihen veröffentlichen kann, da ich im Einzelfalle Anfang und Ende der Vorgänge nicht genügend verfolgen konnte, mithin verschiedene Beobachtungsergebnisse miteinander kombinieren mußte. Mein Wissen bleibt daher leider Stückwerk. Und wenn ich meine Beobachtungen trotzdem der Öffentlichkeit übergebe, so geschieht es nur aus dem einen — wohl stichhaltigen — Grunde: Einzelne einwandfrei beobachtete Tatsachen stehen in einem zu deutlichen Widerspruch zu den Untersuchungsergebnissen anderer Autoren, als daß dadurch nicht die Versuche, die geologische Bedeutung des Frostes in ihrem Ganzen zu erfassen und zu erklären, gefördert und vielleicht stellenweise in neue Bahnen gelenkt werden könnten.

Ich muß mich daher im wesentlichen darauf beschränken, Material zu eingehenden Untersuchungen über diese mannigfaltigen Probleme zusammenzutragen, zu deren systematischer Erforschung eine ganze Reihe von Beobachtungsjahren erforderlich sein wird. Aus meinen Beobachtungen lassen sich weiterhin einige der wichtigsten Probleme herauschälen und begründen, welche zu einer endlichen und völligen Lösung dieser mannigfachen Fragen führen können. Dabei ist hervorzuheben, daß ich zunächst die Entstehung von „Großformen“ der geologischen Frostwirkung — nach HÖGBOM z. B. Kare, Steilufer, Felstürme, Blockmeere — nicht untersuchen konnte, sondern mich mit den Kleinerscheinungen, wie „Kammeis (Pipkrake)“, Solifluktion, Ausfrieren von

Steinen, zufriedengeben mußte. Es kann aber gezeigt werden, daß solche kleinen, leicht zu übersehenden Frostwirkungen im Erdboden Anlaß geben können zu bedeutenden geologischen Veränderungen, die allerdings z. T. sekundärer Natur sind. Abgesehen von der Zerspaltung einzelner Blöcke oder der Schaffung besonders markanter Geländeformen — ob die Erklärungsversuche HÖGBOMS für die deutschen „Blockmeere“ (Riesengebirge, Odenwald) und die Quaderbildung an Sandsteinfelsen (Elbtal, Pfälzerwald) allein maßgeblich sind, sei dahingestellt — äußert sich der Frost in seiner Wirkung auf den Erdboden in unseren Klimaten nur indirekt. Er schafft besonders günstige Vorbedingungen für andere geologische Vorgänge, z. B. Abwaschung und Auslaugung. Solche sekundären Wirkungen, welche sich durch Änderung der Oberflächengestaltung und der Bodenbewachsung besonders deutlich zu erkennen geben, sind bisher aber in ihrem Ursprung noch nicht allgemein bekannt oder richtig gedeutet worden. Zu ihrer Kenntnis soll vorliegende Arbeit einen Beitrag liefern.

A. Über die Solifluktion oder das Erdfließen.

Die einer mehr oder weniger gründlichen Durchtränkung des Bodens mit Wasser und nachträglich einsetzendem Wiedergefrieren zugeschriebene Erscheinung der Solifluktion („Erdfließen, Fließerde“) ist noch wenig geklärt, trotzdem schon eine große Zahl von Beobachtungen darüber vorliegt. TARNUZZER (2) hat bereits darauf aufmerksam gemacht, daß die perenne Frostschrift im Boden arktischer Gebiete, die „Tjäle“, dabei insofern eine große Rolle spiele, als sie das Eindringen des auftauenden Wassers in den tieferen Untergrund verhindert. Dieses wird vielmehr gezwungen, über der Frostbank in der Richtung des größten Gefälles abzufließen. HÖGBOM glaubt dagegen auf Grund seiner Untersuchungen annehmen zu müssen, daß eine noch so reichliche Wasserdurchtränkung des Erdbodens allein noch nicht ausreiche, um diesen zum Abgleiten, zum „Fließen“ zu bringen (a. a. O. S. 329). Die Oberfläche der Tjäle soll nach ihm und anderen Beobachtern zu rauh und zackig sein, um als Gleitbahn dienen zu können (a. a. O. S. 331). Vielmehr müsse dadurch eher eine Vermehrung des Reibungswiderstandes und damit eine Verlangsamung oder gar Unterbindung jeder Fließerdebewegung eintreten.

Diese bisher fast ausschließlich in arktischen Gebieten untersuchte Erscheinung der Fließerde kann im wesentlichen als eine durch den Frost primär oder sekundär bedingte Bewegung oberflächlicher Bodenschichten von wechselnder Mächtigkeit und in der Richtung des größten Gefälles definiert werden. Sie vermag auch im deutschen Mittelgebirge einer Klärung nahegebracht zu werden. Es bedarf dazu allerdings mehrjähriger, planmäßiger Untersuchungen, bei welchen u. a. folgende Gesichtspunkte maßgebend sein können:

1. Es ist festzustellen, wie tief die Tauwirkung im Erdboden reichen muß, bis sich ein Erdfließen erstmalig herausbilden kann.

2. Zweifellos sind nicht alle Bodenarten gleich geeignet, um die Entstehung dieser Erscheinung zu begünstigen. Unterschiede in der Struktur und der Zusammensetzung des Bodens, der tägliche Gang der Außentemperatur, durch welchen die Periodizität und die Schnelligkeit des Gefrierens und Wiederauftauens bedingt wird, Häufigkeit und Menge der Niederschläge müssen als höchst wichtige Faktoren in Rechnung gestellt werden.

3. Der Einfluß der Vegetation, welchen Högbom fast völlig vernachlässigen zu dürfen glaubt (a. a. O. S. 331 f.), der aber auch in den arktischen Gebieten eine weit geringere Rolle spielt, als in unserem gemäßigten Klima, darf keineswegs unterschätzt werden. Denn eine Decke tiefwurzelnder Pflanzen, welche die oberflächlichen Bodenschichten gewissermaßen verankern muß, ist besonders dann von großer, das Erdfließen verzögernder Wirksamkeit, wenn, wie es in unseren Klimazonen bei Tiefwurzeln besitzenden Pflanzen wohl meist der Fall ist, eine solche Verankerung noch in oder gar unter die Frostbank im Boden hinabreicht. Der Unterschied zwischen Böden, welche mit Pflanzen von verschiedener Wurzelgestaltung bedeckt oder vegetationslos sind, muß sich deutlich nachweisen, ja sogar messen lassen.

4. Wenn bisher Fließerdeformen zur Beobachtung gelangt sind, so haben sich die einzelnen Autoren meist auf den Ort des Auftretens beschränkt, dabei aber das Verhältnis zwischen oberem und unterem Hang-Ende nicht oder nur ungenügend berücksichtigt. Gerade aus der vertikalen Verteilung aber müssen sich die wichtigsten Schlüsse auf den Entstehungsmechanismus der ganzen Erscheinung ziehen lassen.

Es ist ziemlich allgemein anerkannt, daß die Bildung der Fließerde auf eine starke Wasserdurchtränkung — vielleicht sogar Übersättigung? — der über der Frostbank lagernden Bodenschichten zurückzuführen ist. (2) Dem Wasser wird dabei aber anscheinend noch nicht die ihm in Wirklichkeit zufallende Rolle beigelegt. Es liegt hier ohne allen Zweifel mehr vor als eine einfache Ausfüllung des Porenvolumens zwischen den einzelnen Bodenteilchen oder der Kapillarklüfte. Durch die an sich rein mechanische Frostwirkung muß eine weitgehende Zerteilung, Spaltung und Verfeinerung des Kornes eintreten, gewissermaßen also die Vorbedingung für eine fein schlammförmige Suspension einer größeren Menge von Bodenteilchen geschaffen werden, welche eine erhöhte Labilität der ganzen wasserdurchtränkten Masse hervorruft. Es ist dabei wohl an ähnliche Vorgänge zu denken, wie sie sich in wassergefüllten Hochmooren herausbilden und zunächst zu einer Vorwölbung und Aufschuppung der Ränder, nach Überwindung der durch mannigfache Faktoren bedingten Oberflächenspannung aber zu einem Moorausbruch führen.

Die Vermehrung des vor dem Frosteintritt im Erdboden vorhandenen Wassergehaltes kann auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden: Einsickern abtauender oder in flüssiger Form auftreffender Niederschläge, Abwärtswandern des sich in höheren Lagen ansammelnden Schmelzwassers auf der Frostbank als undurchlässiger Schicht und andere mehr (2, 3). Gerade dem letzteren Vorgang ist wohl besondere Beachtung zu schenken.

Sobald der Wassergehalt im Boden einen genau meßbaren Betrag übersteigt, der durch die Kapillarkraft oder kolloidale Veränderungen nicht mehr gebunden werden kann, muß der Überschuß in der Richtung des größten Gefälles abzuwandern beginnen, in diesem Falle also auf der Frostbank als undurchlässiger Schicht. Der Austritt dieses Wasserüberschusses an die freie Oberfläche, wodurch ein erodierender Abfluß über Tage hervorgerufen würde, kann durch verschiedene Umstände verhindert werden. Dazu rechnet vor allen Dingen das erneute Gefrieren einer dünnen Kruste, hervorgerufen durch die nächtliche Senkung der Außentemperatur, welches nicht am unwichtigsten, bisher aber noch fast völlig vernachlässigt zu sein scheint. Reichert sich damit in den hangabwärts liegenden Teilen des Beobachtungsfeldes der Wassergehalt des Bodens so stark

an, daß eine Übersättigung eintritt, so bedarf es nur noch der Überwindung bestimmter Spannungsmomente, um die ganze über der „Tjäle“ liegende Bodenschicht zum Abwärtswandern zu bringen: das „Erdfließen“ nimmt seinen Anfang. Es müssen sich dabei, wie man dies auch von anderen Rutscherscheinungen auf undurchlässigen Gleitbahnen sieht, entsprechend dem an der Unterkante des in Bewegung geratenen Feldes herrschenden Widerstande Aufschuppungen, girlandenartige Erdwülste bilden, wie HÖGBOM sie als „Fließerdewülste“ abbildet und beschreibt.

Um diesen vorläufig rein hypothetischen Erklärungsversuch auf seine Stichhaltigkeit gegenüber den Vorgängen in der Natur hin zu prüfen, ist zunächst eine sorgfältige Untersuchung erforderlich, ob, sich dort, wo das „Erdfließen“ an Abhängen bemerkbar wird, das Vorkommen gleichmäßig über die ganze Hangfläche ausbreitet, oder aber, ob es an ihrem unteren Ende stärker ausgebildet ist. Da letzterer Fall, soweit es aus der Literatur ersichtlich ist, als der häufigere angesprochen werden kann, dürfte die oben entwickelte Erklärungsweise wohl einigen Anspruch auf Wahrscheinlichkeit machen können. Zumal man auf ähnliche Weise auch noch eine Anzahl andere, von HÖGBOM und anderen belegte Fälle erklären kann.

So versteht HÖGBOM unter dem Begriff „Fließerdewülste“ (a. a. O. S. 336 ff.) „eine Reihe von einander verwandten Fließerdeerscheinungen, die durch quer über die Böschungen laufende Wülste oder Terrassen charakterisiert sind“. Er unterscheidet weiterhin auch von diesen Fließerdewülsten noch mehrere Untergruppen, von deren erster er sagt: „Fließerdeterrassen ist die übliche Benennung einer in den skandinavischen Gebirgen allgemeinen Solifluktionerscheinung. Sie sind kleine, selten mehr als 1—2 m breite und einige Meter lange Erdterrassen (siehe a. a. O., Fig. 26), die oben meist nackt sind, während die steilere, nach der Mitte oft ein wenig ausgebogene Kante bewachsen ist. Diese Terrassen liegen also wie stufenartig übereinander, und die wagerechten Flächen sind, wenn nackt und feucht und besonders während der Schneeschmelze, ganz breiig. Die Erdkrume ist deutlicher Weise von dem Rasenteppich aufgestaut, es gibt auch Fälle, wo sie ausquillt. Die Terrassenkante wird allmählich verschoben, dabei oft die Vegetation begrabend (vergleiche SERNANDER [4] und FRIES [5]), dabei Formen bildend, die

aber wohl den als „zungenförmige Fließerdewülste“ beschriebenen Erscheinungen näher stehen.“

Ich kann in diesen Beobachtungen und Beschreibungen HÖGBOMS nur eine Bestätigung meiner oben dargelegten Ansichten erblicken und dies durch eine eigene Beobachtung am Ormanberg (167 m ü. NN.) im Kreise Jakobstadt (kurländisches Oberland) bestätigt finden. Am ziemlich steil zum Sauckensee nach Nordwesten zu abfallenden Hang zeigten sich im April 1916 den von HÖGBOM beschriebenen Terrassen durchaus verwandte Bildungen in einem Stoppelfeld, dessen Untergrund unter etwa 10 cm Humus aus sandigem Geschiebemergel bestand. Das Auftreten der Fließerdeterrassen beschränkte sich auf eine langgestreckte Zone an der unteren Hanggrenze, die etwa 25 m breit gewesen sein mag. Die einzelnen Terrassen hatten Längen bis zu ca. 4 m, ihre Breite überstieg dagegen 1,25 m nicht. Eine Abrißstelle, wie sie bei einem Erdbeben sichtbar gewesen wäre, war nicht zu entdecken. Vielmehr gingen die Terrassen, mit deren Aussehen die Beschreibung HÖGBOMS gut übereinstimmt, nach oben zuerst in niedrige Erdwülste und dann ziemlich unvermittelt in den unverlagerten und unbewegten Hang über.

HÖGBOM glaubt auf Grund seiner theoretischen Betrachtungen die Annahme der Mehrzahl der anderen Autoren zurückweisen zu müssen, daß die Fließerde, um sich in Bewegung setzen zu können, breiig bis dünn-schlammig sein müsse, und nimmt vielmehr an, daß durch den ihm unerklärlichen Vorgang der „Regelation“ auch verhältnismäßig trockene Böden hangabwärts in Bewegung gesetzt werden können. Nach seiner Auffassung sind die übrigen, seinen Standpunkt nicht teilenden Beobachter durch die ihnen beim Überschreiten unangenehme, halbflüssige und ungangbare Bodenbeschaffenheit auf das Phänomen aufmerksam geworden, so daß sie diese nach HÖGBOMS Ansicht rein nebensächliche Erscheinung als eine der wichtigsten Vorbedingungen für das Zustandekommen des Erdfließens überhaupt ansahen. Dabei gibt HÖGBOM aber selbst, wie bereits oben angeführt (a. a. O. S. 337), an, daß die Fließerdeterrassen auf ihren wasser-rechten Oberflächen „wenn nackt und feucht, und besonders während der Schneeschmelze, ganz breiig“ seien.

Um hier zu einer autoritativen Entscheidung zu kommen, muß die Jahreszeit der Beobachtung, das Alter und das wahre Ausmaß des Erdfließens sorgfältig berücksichtigt

werden. Es erscheint daher von Wichtigkeit, zu betonen, daß eine chronologisch einwandfrei aufgebaute Beobachtungsreihe wohl noch nicht durchgeführt ist, welche nach den oben entwickelten Gesichtspunkten einzurichten wäre. Denn möglicherweise tritt eine solche „Solifluktion“, wie HÖGBOM sie für den Frost als Urheber in Anspruch nimmt, auch dann auf, wenn die Frostbank als wassertragende Schicht in Fortfall kommt. In diesem Falle aber werden sämtlichen bisher aufgestellten Hypothesen die Grundlagen entzogen, und mit den Annahmen und Erklärungsversuchen von HÖGBOM (1), TARNUZZER (2), SAPPER (3) und anderen wären auch die meinigen als mißlungen zu betrachten.

B. Über das „Ausfrieren“ von Steinen.

Unter dem Sammelbegriffe „Ausgefrorene Steine“ beschreibt HÖGBOM (a. a. O. S. 302) eine Anzahl bekannter Erscheinungen, die er mit einer ausgezeichneten, im Riesengebirge am 22. Oktober 1913 aufgenommenen Abbildung belegt. Es bildet sich „im lehmigen oder sandigen, feuchten Erdboden“ rings um die einzelnen kleineren oder größeren, vom Boden randlich überdeckten Steine in kalten Nächten ein Kranz offener Spalten, die weder von Eis, noch auch von lockerem Bodenmaterial erfüllt sind. HÖGBOM führt als nächstliegende Erklärungsmöglichkeit an, daß der Boden durch zwischen ihm und dem Stein in feiner Spalte auskristallisierendes Eis nach außen gedrängt worden sei. Er stellt einer solchen Annahme die ohne Zweifel richtige Beobachtung entgegen, daß fast ausnahmslos diese Spalten leer sind und auch niemals vorher Eis enthalten haben können. Er glaubt vielmehr, daß „erst ein Frieren in der Kontaktschicht zu dem wärmeleitenden Stein“ eintritt, „wodurch das Erdmaterial auswärts gebogen wird und sich nachher in dieser Lage hält, während der Boden ringsum friert“.

Bei größeren Blöcken, die in feuchtem Boden liegen, hat HÖGBOM oft eine deutlich markierte Rinne gefunden, bis zu mehreren Dezimetern breit und ebenso tief, vegetationslos und mit Steinen gepflastert, dazu vielfach mit Wasser gefüllt, so daß der Block im Winter wie „in einem Eiskuchen“ liegt. Diese Erscheinung soll in blockreichem Boden häufig zu beobachten sein, u. a. in Deutschland in über 800 m (Harz) und über 900 m (Riesengebirge) Höhe ü. NN. Solche mit deutlichen Rinnen umgebene Blöcke

habe ich auch in Kurland beobachten können und glaube wohl, mich der Högbomschen Annahme anschließen zu sollen, daß nämlich diese randlichen Vertiefungen auf Frostwirkung zurückzuführen sind. Eine Erklärung für diesen Vorgang habe ich ebensowenig wie er. Aus dem deutschen Mittel- oder europäischen Hochgebirgen stehen mir eigene Beobachtungen nicht zur Verfügung.

Die Högbomsche Erklärung der Entstehung von Spalten um Steine, welche in feuchtem Boden liegen, durch den Eintritt von Frost vermag mich nicht eigentlich zu befriedigen. Man kann sich schlecht vorstellen, daß die dem Steine zunächst liegenden Bodenteile nach auswärts gedrängt worden seien. Wäre diese Annahme richtig, so müßten sich erstens Stauchungserscheinungen deutlich geltend gemacht haben, die, wenn sie auch noch so geringfügig wären, doch nachweisbar sein müßten. Zweitens aber müßten durch das Auswärtsbiegen der an den Stein anstoßenden Bodenränder wulstartige Aufwölbungen eintreten, welche den Außenrand der neu gebildeten Spalte kranzartig unlagern müßten. Ich habe gerade auf diese beiden Punkte hin einige Dutzend solcher „ausgefrorener Steine“ in der Umgebung von Bad Ems untersucht, und zwar von 0,5—45 cm Durchmesser und 1—3500 Gramm Gewicht, Schiefer des Unter-Koblenz, Kalkbrocken, Gang- und Geröllquarze, auch Basaltkleinschlag und andere Gesteinsarten mehr. Von einer Stauchung oder wulstartigen Aufwölbung der Ränder habe ich in keinem einzigen Falle etwas entdecken können, obwohl ich eine größere Zahl solcher „Ausfrierungen“ radial zu dem darin liegenden Stein durchschnitten habe. Verschwinden aber nach Högboms ausdrücklicher Bemerkung nach dem Auftauen diese Spalten wieder vollständig, so müssen sich die Flächen der vom Steine durch das „Ausfrieren“ abgehobenen Bodenschicht wieder genau so vollkommen anlegen können, wie es vor dem Eintritt des Frostes der Fall war. Bei einer Abdrängung des Bodens nach außen kann aber unmöglich nach dem Auftauen der ursprüngliche Zustand vollkommen wiederhergestellt werden. Denn das Auftauen erfolgt im wesentlichen von oben nach unten; eine Wulstbildung oder Aufstauchung im gefrorenen Zustande müßte sich daher auch nach dem Auftauen des Bodens noch geltend machen, vorausgesetzt, daß nicht schon wieder durch den Zutritt von atmosphärischen Niederschlägen eine oberflächliche Abwaschung und Einebnung erfolgt ist.

Ich glaube aus meinen eigenen Beobachtungen eine andere Erklärungsmöglichkeit gefunden zu haben: Die erste Voraussetzung für die Erscheinung, welche durch HÖGBOM unter dem Begriff „Ausgefrorene Steine“ erstmalig in die Literatur eingeführt wurde, ist eine gründliche Durchfeuchtung des Bodens, verbunden mit einer über dem Nullpunkt bleibenden Tagestemperatur. Die im Boden liegenden Gesteinsbrocken erweisen sich, wie dies von anderen Beobachtern ebenfalls angenommen wird, als gute Wärmespeicher, welche zwar ein Gefrieren nicht verhindern können, aber doch die dem Steine unmittelbar anliegenden Bodenteile verhältnismäßig rasch austrocknen lassen. Dieses Verhalten erscheint mir deshalb von besonderer Wichtigkeit, weil sich im anderen Falle der Erdboden nicht vom Steine loslösen könnte, zumal wenn es sich um rauh-zackige, gute Ansatzflächen aufweisende Stücke handelt. Der Boden müßte vielmehr an dem Stein festfrieren und diesen mit in die Höhe nehmen. Es wäre auch noch der andere Fall gut denkbar, daß der Stein zu groß und schwer ist oder aus einer anderen Ursache von seiner Unterlage durch die Kristallisationskraft des im Erdboden entstehenden Eises nicht losgelöst und abgehoben werden kann. In diesem Fall würde es ebenfalls nicht zu einer Spaltenbildung kommen können, sondern vielmehr zu einer in Beziehung auf die durch den Frost gehobene Umgebung vertieften Einsenkung der Bodenteile in unmittelbarer Nachbarschaft des Steines. Alle diese Umstände werden durch meine Annahme ausgeschaltet, daß der wärmeleitende Gesteinsbrocken die umliegenden Bodenschichten schnell austrocknet, so daß auf HÖGBOMS „Kontaktfläche“ eine Eisbildung nicht möglich ist. Der Boden kann sich vielmehr verhältnismäßig leicht von dem Steine ablösen.

Die Unterfläche wird beim ersten, nicht tiefwirkenden Frostangriff fest mit dem Liegenden verbunden bleiben. Dort kann allerdings nachträglich leichter eine hebende Wirkung des auskristallisierenden Eises zu erwarten sein, weil die Verdunstung des Wassers von der Unterfläche des Steines aus auch dann langsamer erfolgen wird, wenn dieser als guter Wärmeleiter und Wärmespeicher angesehen werden darf. Tritt nun eine so weitgehende Erniedrigung der Außentemperatur ein, daß der gesamte Wassergehalt des Bodens zum Gefrieren gebracht wird, so wird das Bodenvolumen durch die Ausdehnung der Haarspalten, bewirkt durch die zunehmende Ausdehnung des gefrierenden

Wassers, plötzlich vergrößert, die Oberfläche hebt sich, während der in ihr liegende Stein von dieser nach oben gerichteten Bewegung unbeeinflusst bleibt. Der Betrag, um welchen ein Gefrieren des kapillar im Boden verteilten Wassers die Oberfläche zu heben vermag, also die wahre Breite der um die einzelnen Steine gebildeten Spalten, bewegt sich nach meinen Messungen schon bei kleinen Steinen (von etwa 10 cm Durchmesser und 5 cm Dicke) zwischen 0,5 und 1,5 cm. Der Hebungsbetrag ist abhängig vom Wassergehalt des Bodens, der Temperatur und ihrem Gange, der Größe, Haftfestigkeit und Gestalt des Steines und muß nach meinem Dafürhalten durch Versuche zu ermitteln sein. Der Hebungsbetrag, oder vielmehr die wahre Breite der um einen bestimmten Stein gebildeten Spalte, ist die senkrechte Entfernung zwischen einem beliebigen Oberflächenpunkt des Steines und der darüber sich befindenden Unterseite der abgehobenen Bodenmasse.

Es kann sich also nicht, wie HÖGBOM dies annimmt, um eine randliche, gewissermaßen zentrifugale Auswärtsbewegung der Bodenmasse handeln, welche dem „ausfrierenden Steine“ zunächst benachbart ist. Es muß vielmehr eine allgemeine Hebung des Bodens eintreten, bedingt durch eine Volumvermehrung, welche ihrerseits wieder vom Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und von der Außentemperatur abhängig ist, den in der Erdoberfläche steckenden Stein aber zunächst unbeeinflusst läßt.

Andererseits kann allerdings heute noch ebensowenig entschieden werden, ob nicht eine zentripetale Bewegung der dem Stein am nächsten benachbarten Bodenteile durch die Kristallisationskraft der Eisbildung in den entfernteren hervorgerufen wird, da ja anzunehmen ist, daß den Stein eine Schicht mit vermindertem Wassergehalt umgibt. Möglich ist ein solcher Vorgang immerhin, aber seine Bedeutung darf hier wohl vernachlässigt werden, weil sich das Gefrieren in der Richtung des geringsten Widerstandes vollziehen muß, eine Ausdehnung der wasserhaltigeren Bodenteile daher senkrecht nach oben in den geringsten Widerstand bietenden Luftraum erfolgen wird. Auch eine solche, auf den Stein hin gerichtete Bewegung des umgebenden Erdbodens spricht gegen die HÖGBOMSche Annahme, daß die Spaltenbildung auf einer Abdrängung des den Stein umschließenden Bodens nach außen hin beruhe.

Ich habe die in der Umgebung von Bad Ems angetroffenen Verhältnisse in einigen schematischen Boden-

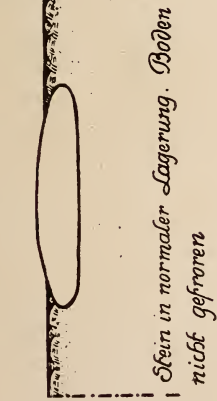
querschnitten wiederzugeben versucht, welche die Lagerungsverhältnisse vor und die Volumvermehrung und Aufwärtsbewegung der Bodenteile nach dem „Ausfrieren“ eines Steines wiedergeben wollen. (s. Texttafel.)

Ohne Zweifel ist auch diese Frosterscheinung in unseren Breiten sowohl im Mittelgebirge als auch im Flachlande ungleich verbreiteter, als man bisher annehmen mochte. Es mag jedoch sein, daß der ausnahmsweise strenge und lang andauernde Winter 1916/17 die Entstehung dieser Erscheinungen auch in solchen Gegenden begünstigt hat, wo sie sonst im allgemeinen fehlen. Sie können ohne Zweifel ferner auch praktisch von großer Bedeutung werden. Durch eine derartige Verlagerung, Verschiebung und damit verbundene Sortierung nach der Korngröße können u. a. die Pack- und Decklagen von Kunststraßen in ihrem Gefüge gelockert werden. Zu beachten ist, daß bei solchen künstlichen Aufschüttungen nach dem Abtauen der ursprüngliche, allein zweckmäßige Zustand nicht automatisch wiederhergestellt wird, sondern eine dauernde Schwächung des Gefüges zurückbleibt. Solche Auflockerungen der Straßenbeschotterung habe ich sowohl auf den im Kriege besonders stark beanspruchten Straßen der baltischen Provinzen beobachten können, als auch besonders in der Umgebung von Bad Ems. Im letzteren Falle trat einmal sogar als unmittelbare Folge des „Auffrierens“ einer Straße eine tiefgründige Zerstörung der Fahrbahn auf etwa 2,5—3 m Länge und 0,60 m Breite durch einen darüber fahrenden schwerbeladenen Lastkraftwagen ein. Solchen Vorgängen ist auch seitens der praktischen Geologie erhöhte Beachtung zu schenken.

Meine Beobachtungen über das „Ausfrieren“²⁾ von Steinen stehen zu einer von HAMBERG (6) (a. a. O. S. 604 ff.) entwickelten Theorie der Schuttsortierung durch Frost in einem gewissen Widerspruch. Er nimmt dabei an, daß

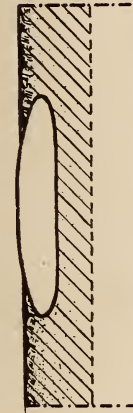
²⁾ Wenn ich hier fortwährend vom „Ausfrieren“ der Steine spreche, so geschieht es nur aus dem einen Grunde, weil diese unter den ohne das Zutun des Menschen in der Erdoberfläche liegenden festen Körpern weitaus am häufigsten sind. Ich betone aber ausdrücklich, daß ich genau die gleichen, hier von Gesteinsbrocken beschriebenen Erscheinungen auch an Baumwurzeln, Eisenstücken, Holz usw. beobachtet habe, so daß also die physikalische Zusammensetzung des „ausfrierenden“ Körpers im allgemeinen eine nur untergeordnete Rolle zu spielen scheint, abgesehen vom Wärmeleitungsvermögen und von der Beschaffenheit seiner Oberfläche.

I.



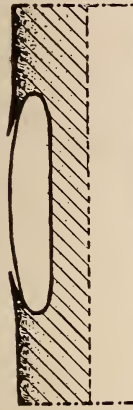
Stein in normaler Lagerung. Boden nicht gefroren

II.



Stein in gefrorenem Boden, ist mitangehoben, aber weniger als umgebender Boden, ragt weniger hervor.

III.



Stein in gefrorenem Boden. Dieser ist abgehoben und bildet eine runde tiefe Spalte.

B. I.



Tiefreichender Stein in normaler Lage, Boden nicht gefroren.

II.



Tiefreichender Stein mit feuchter Oberfläche. Gefrierender Boden klebt daran fest; deutlich markierte Einsenkung.

III.



Tiefreichender Stein mit trockener Oberfläche. Gefrierender Boden wird abgehoben. Spaltenbildung.

x 1 und x 2 = Volumensvermehrung durch das Gefrieren.

= Gefrierschicht.



Schematische Profile, das Verhalten „ausfrierender Steine“ darstellend bei verschiedener Größe und gleichbleibender Mächtigkeit der Gefrierschicht. (Nach Beobachtungen in der Natur entworfen.)

die Steine durch das aufeinanderfolgende Gefrieren und Wiederauftauen des Bodens in bezug auf ihre Umgebung relativ gehoben werden. Erste Voraussetzung dafür ist aber, daß kein echtes „Ausfrieren“ im Sinne HÖGBOMS sich entwickeln kann, also keine Ablösung des umgebenden Bodens vom Stein, unter Entstehung einer randlichen Spalte. Es muß vielmehr eine Hebung der ganzen Masse eintreten, mit Einschluß also der darin liegenden Steine. Dies kann geschehen, wenn die Frostwirkung so tief reicht, daß auch die Bodenfeuchtigkeit unter dem Steine gefriert und diesen mit anhebt. Weiteres Erfordernis ist aber dazu, daß der „ausfrierende“ Stein verhältnismäßig flach und daher weder durch seine Schwere, noch auch durch seine Erstreckung in den Untergrund in diesem gewissermaßen „verankert“ ist, wie ich es in den schematischen Querschnitten dargestellt habe.

Ich kann mich aber der Annahme nicht verschließen, daß ein in unserem Klima wohl die Regel bildendes „Ausfrieren“ im Sinne HÖGBOMS eine Schuttsortierung verzögert, wenn nicht völlig ausschließt. Möglicherweise liegt darin einer der wichtigen und bedeutenden Unterschiede zwischen der geologischen Wirkung des Frostes in unserer und der arktischen Klimazone, deren Natur bisher noch ungeklärt ist.

Neben dem echten „Ausfrieren“ von Steinen im Boden, welches sich in einer Hebung der ganzen, vom Frost erfaßten Bodenmasse gegen die Ruhelage des festen Körpers äußert, habe ich eine weitere ähnliche Erscheinung in zahlreichen Fällen beobachten können, welche im Gegensatz dazu nur auf der Bildung von „Stengeleis“ („Kamm-eis, Pipkrake“ HÖGBOMS)³⁾ beruhen konnte. Hier war der oberflächlichste Teil des Bodens durch das Aufwachsen von Eisprismen von seiner Unterlage abgehoben. Da Hebungsbeträge bis zu 12 cm selbst bei nur talergroßen, flachen Steinen festgestellt werden konnten, ist ein Hinweis darauf wohl nicht unberechtigt, daß bei der Untersuchung „ausgefrorener“ Steine stets auch die Möglichkeit zu berücksichtigen ist, daß die Bildung solcher auffallend weitklaffender Spalten auch auf die Stengeleisentstehung zurückgeführt werden kann. Denn eine solche anscheinend

³⁾ Über die Entstehung und Erklärung des „Stengeleises“ („Kamm-eis, Pipkrake“ HÖGBOMS) wird der zweite Teil dieser Arbeit handeln.

ursprüngliche Hebung des Bodens gegenüber dem einliegenden Stein kann nach meinen Beobachtungen auch mittelbarer Natur sein, wenn nämlich, wie später noch zu zeigen sein wird, Steine bei der Stengeleisbildung in die Höhe gehoben werden und als gute Wärmeleiter schnelleres Abtauen der ihnen unterlagernden Eisprismen bewirken, als dies in der Umgebung erfolgt. In diesem Falle hebt sich also der Boden nicht mehr um den Stein, sondern dieser senkt sich scheinbar in jenen ein unter Bildung einer Randspalte. Außerdem aber kann auch, worauf ebenfalls noch weiter unten zurückzukommen sein wird, bei Zunahme der Luftwärme und damit der Plastizität des Eises eine Verbiegung der unter dem Steine aufstrebenden Eisprismen in der Richtung des größten Gefälles hervorgerufen werden. Dann tritt ebenfalls eine Senkung des festen Körpers in bezug auf seine zeitweilige Umgebung ein, so daß von einem echten „Ausfrieren“ nicht mehr gesprochen werden darf.

Wie HÖGBOM das „Ausfrieren“ von Steinen beschreibt, ist es, wie bereits betont, letzten Endes immer auf eine Volumvermehrung des wasserhaltigen Bodens durch einen Gefriervorgang zurückzuführen. Tritt aber der sehr wohl mögliche und nicht eben seltene Fall ein, daß in der Zusammensetzung des Bodens die festen Körper gegenüber dem lockeren Material überwiegen, so wird dies in den Zwischenräumen herausgepreßt und bildet ein Reliefnetzwerk, dessen Maschen von den aus dem Boden hervorragenden Teilen fester Körper ausgefüllt werden. Solche Vorgänge kann man eigentlich in jeder Frostperiode an mit Kopfsteinen gepflasterten Straßen beobachten.

Endlich ist noch zu betonen, daß Steine u. dgl. auch „ausfrieren“ können im Sinne HÖGBOMS, ohne daß sich dies an der Oberfläche durch Spaltenbildung bemerkbar macht. Es ist dies ein der „Stengeleis“-Bildung ganz ähnlicher Vorgang, wobei eine dem Körper aufliegende ganz dünne Bodenschicht von ihm durch den Frost abgehoben wird. Es bildet sich dann ein Hohlraum zwischen der Oberfläche des Steines und der Unterfläche der auflagernden Gefrierschicht. Erst einmal konnte ich durch Zufall einen solchen Fall beobachten. Auffällig dabei war, daß der betreffende Kalksteinbrocken eine ziemlich breite, allerdings aber auch ganz glatte Oberfläche hatte. Ich habe für diese Erscheinung noch keine rechte Erklärung. Möglich ist sowohl, daß diese dünne Deckschicht durch die Aufwärts-

bewegung der randlich benachbarten Teile mitgenommen wurde, als auch, daß ein Seitendruck, verursacht durch die Volumvergrößerung des Bodens, eine Aufwölbung der dem Steine auflagernden Schicht zur Folge hatte. Ich glaube damit aber ein Beispiel im kleinen für diejenigen Vorgänge gefunden zu haben, welche HÖGBOM und andere von schwedischen Landstraßen usw. beschreiben. Da die Entdeckung einer solchen Hohlraumbildung aber noch größerem Zufall unterworfen ist, wie die übrigen Frosterscheinungen, so kann ich mir noch kein abschließendes Urteil darüber bilden.

Die Frage, welche Bodenarten infolge ihrer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften ein „Ausfrieren“ von Steinen am meisten begünstigen, kann heute noch nicht beantwortet werden. Es scheint aber, daß im Gegensatz zu der Bildung des Stengeleises sich alle Böden in dieser Beziehung recht gleichartig verhalten. Die Hauptbedingung wird immer bleiben, daß zur Entstehung von randlichen Frostspalten zwischen festen Körpern und dem Erdboden die Berührungsschicht und ihre Nachbarschaft so trocken ist, daß jene sich leicht voneinander ablösen können. Im anderen Falle halte ich ein „Ausfrieren“ von Steinen im Sinne HÖGBOMS, wenn auch nicht für unmöglich, so doch zum mindesten auf Einzelfälle von solcher Seltenheit beschränkt, daß mit ihnen als geologischen Faktoren nicht gerechnet zu werden braucht.

Ob eine nachweisbare Schuttsortierung durch das „Aufrieren“ der Böden und Steine eintritt, ist ebenfalls noch nachzuprüfen. Denkbar erscheint jedenfalls, daß beim Abtauen sich Verlagerungen nach den Rändern zu herausbilden können. Doch wird dies von der Art und dem Ansatzpunkte des Tauens abhängig sein. Auf die Bedeutung der ganzen Erscheinung als geologischen Faktors habe ich bereits oben hingewiesen. An Kunststraßen, Böschungen und anderen Werken der menschlichen Tätigkeit können jedenfalls Störungen auftreten, welche eine sorgfältigere Beobachtung dieses „Aufrierens“ wünschenswert erscheinen lassen. Damit aber werden sicher auch zahlreichere Fälle seines Auftretens beobachtet und an bisher unberücksichtigt bleibenden Orten unter den verschiedensten Verhältnissen nachgewiesen werden. Die Vermutung liegt nahe, daß auch hier, wie schon so manches Mal in der Geschichte der Geologie, erst eine empfindliche Störung der menschlichen Tätigkeit auf naheliegende, längst

bekannte, aber unbeachtete Erscheinungen aufmerksam macht und ihre Deutung schnell einer befriedigenden Lösung zuführt.

C. Über Frostspuren in austrocknenden Schlammpfützen und ihre Bedeutung als Merkmale für fossile Landbildungen.

HÖGBOM erwähnt (a. a. O. S. 301) eine auch im gemäßigten Klima recht häufig zu beobachtende Erscheinung an schlammigen Pfützen oder tagsüber auftauenden Wegen mit folgenden Worten: „Daß Erdmaterial durch Kristallisation verschoben werden kann, dafür gibt es auch andere (als Kammeis! D. Verf.) mehr verbreitete Zeugnisse, so z. B. kann man oft an kurz vorher aufgetauten Wegen die Spuren von Eisblumen erhalten sehen, welche von Verschiebungen in der obersten Bodenschicht zeugen.“

Nach meinen Beobachtungen handelt es sich dabei um eine Erscheinung, die ebenso häufig eintritt, als mit feuchtem tonigem Belag überzogene Bodenflächen vom Frost berührt werden. Man kann in solchen Fällen die Fiederstellung der Eisblumen ganz deutlich beobachten. Ihre „Hauptrippen“ können unter günstigen Umständen solche Tiefe und Breite erlangen, daß bei der Entstehung dieser eisblumenförmigen Kristallaggregate meßbare seitliche Bodenverschiebungen sich ergeben. An und für sich bringt ein einmaliges Gefrieren vielleicht noch keine in der Geologie zu berücksichtigende Umlagerung hervor. Es wirkt aber auch hier die immer wieder zu beobachtende Aneinanderreihung der Einzelfälle, welche diese Erscheinung zu einem nicht unwichtigen geologischen Faktor werden lassen.

Diese von B. HÖGBOM beschriebenen „Bodeneisblumen“ treten aber auch noch in einer anderen Ausbildungsform auf, welche er anscheinend nicht beachtet hat, trotzdem sie als wahrscheinlich fossil erhaltungsfähig größere Wichtigkeit erlangen können. In der Häufigkeit ihres Auftretens bleiben sie dagegen hinter den oben erwähnten Gebilden nicht unbedeutend zurück, zumal sie an mehr sandig-tonige Böden gebunden zu sein scheinen.

Es können sich nämlich durch das Gefrieren des in den obersten Bodenschichten enthaltenen Wassers dünne nadelförmige Eiskristalle bilden, welche sich nur wenig, dann aber stets unter 30° oder 60° verzweigen. Diese

Eisnadeln können die beträchtliche Länge von 0,5 m und eine Dicke von 0,5—0,8 cm erreichen. Sie erscheinen besonders auf dem Boden mit feinstem Schlamm erfüllter Wasserpfützen, deren Inhalt bis auf eine reichliche Durchfeuchtung des Bodenmaterials verdunstet oder abgeflossen ist. Günstig für ihre Entstehung scheinen leichte Nachtfröste zu sein, welche eine Erniedrigung der Lufttemperatur nur auf wenige Grade unter den Nullpunkt mit sich bringen, während die Luftwärme im Laufe des Tages wieder ansteigt.

Die Entstehung solcher Eisnadeln ist ziemlich leicht zu deuten. Die Kristalle nehmen ihren Ausgang von einem Kristallisationszentrum aus und wachsen so lange, wie ihnen aus der Umgebung noch Wasser zuströmen kann. LIESEGANG hat ähnliche Gebilde durch Unterkühlung stark wasserhaltiger Gelatinen hervorzubringen vermocht.

Es kommt mir hier vor allem darauf an, die fossile Erhaltungsfähigkeit solcher Eisnadeln, oder besser ihrer Hohlformen nachzuweisen. Sie können in vielen Fällen einen Anhalt dafür geben, ob einzelne bestimmte Schichten Landablagerungen sind. Denn zu ihrer Bildung ist erforderlich, daß halbfeuchter Schlamm dem Frost ausgesetzt wird. Eine solche Vorbedingung kann aber nur auf dem festen Lande gegeben sein. Weiter aber müssen die Hohlformen und ihre nachträgliche Ausfüllung durch neue Einschwemmung von suspendiertem Bodenmaterial einen Anhalt dafür geben, welches die ursprüngliche Oberfläche einer bestimmten Schicht sein muß, und welches das Liegende derselben ist. Ich kann damit einen Beitrag zu dem neuerdings durch HENKE und andere eingeleiteten Versuch geben, auf Grund der anorganischen Sonderausbildungen einzelner Schichtflächen die primäre Sedimentoberfläche auch dann zu ermitteln, wenn nachträgliche tektonische Bewegungen, Überkippungen oder Transversalschieferungen, Verwischung der ursprünglichen Schichtflächen oder Verlagerung ganzer Schichtenverbände hervor gebracht haben.

Ich habe in Kurland bei Kirche Ellern im Kreise Jakobstadt einen Vorgang bis in alle Einzelheiten beobachten können, welcher zur Beleuchtung des oben Gesagten vortrefflich geeignet scheint. Auf der Sohle eines seichten Straßengrabens hatten sich Ende März 1916 als Folge leichter Nachtfröste derartige Eisnadeln gebildet, welche durch die über dem Nullpunkt liegende Luftwärme während des Tages zum Auftauen gebracht wurden. Ihre

Hohlformen blieben aber ganz deutlich erhalten. Ich konnte in der Folge das allmähliche Abtrocknen des Grabenschlammes bis zu dem Zeitpunkt beobachten, wo die besonders feinkörnige Oberfläche durch die Austrocknung in der bekannten Weise zu reißen und sich tütenförmig zu rollen begann. Sechs Tage nach der Entstehung der Eisnadeln wurde die Sohle des Grabens etwa zur Hälfte durch einen neuen Zufluß von Wasser mit reichlicher Schlamm- und Sandführung überdeckt, so daß sich eine etwa 2 cm mächtige neue Schicht über der ursprünglichen Oberfläche ablagerte. Es gelang mir nach erneutem Abtrocknen der Grabensohle, eine Fläche von etwa 20 cm Kantenlänge mit Gummilösung zu tränken und einen Block von quadratischer Oberfläche und etwa 40 cm Dicke herauszuheben. Ich konnte die oberflächliche, nachträglich gebildete dünne Schlammschicht vorsichtig abpräparieren und die Hohlformen der Eisnadeln wiederfinden. Ihre nachträgliche Ausfüllung unterschied sich nur dadurch von den bekannten Ausfüllungen der Trockenrisse, z. B. im Buntsandstein, daß letztere fast regelmäßig unter Winkeln von 90° aneinander abstoßen, die Hohlformen der Eisnadeln dagegen unter Winkeln von 30° und 60° . Ich werde durch diese unmittelbare und einwandfreie Beobachtung zu der Annahme genötigt, daß solche Gebiete fossil erhaltungsfähig und unter Umständen sehr wohl dazu geeignet sind, z. B. eine Periodizität im Absatz diluvialer Land- oder küstennaher Schlamm- und Tonablagerungen erkennbar zu machen.

Ein photographischer Apparat stand mir leider damals nicht zur Verfügung. Eine nach der Natur von befreundeter Seite angefertigte Zeichnung ging mit einem Teile meines Gepäckes in der Folge des Feldzuges ebenso verloren, wie auch die aufgesammelten und mit Gummilösung getränkten Belegstücke, so daß ich mich nur auf meine Tagebuchaufzeichnungen stützen kann.

Die von HöGBOM erwähnte und oben beschriebene Erscheinung von Eisblumen „an neulich aufgetauten Wegen“ ist ohne Zweifel imstande, seitliche Verschiebungen von Bodenteilchen hervorzubringen, jedoch dürfte dieser Betrag Millimeter oder gar deren Bruchteile nur selten überschreiten. Zur Überschätzung der wahren Verschiebung gibt nämlich der Umstand Veranlassung, daß diese Eisblumen beim Abtauen gegenüber den trockneren Partien ihrer Umgebung besonders dunkel erscheinen, so daß man wohl an eine besondere Anreicherung von Bodenteilen

glauben könnte. Am deutlichsten beobachtet man dieses Bild auf Betonplatten von Gehsteigen oder zementierten Straßen. Eigene Untersuchungen haben mir aber gezeigt, daß in Wirklichkeit nur die Feuchtigkeit beim Gefrieren zu den „Eisblumen“ hinwandert und nur minimale Mengen von Bodenteilchen mitzunehmen imstande ist. Mit seltenen Ausnahmen wird man nach völligem Auftauen und Abtrocknen der betreffenden Unterlage keine Spur mehr von den ursprünglich durch ihre dunkle Farbe abstechenden „Eisblumen“ erhalten sehen. Die Sichtbarkeit dieser Gebilde im gefrorenen Zustande muß daher auf dem Vorhandensein durchsichtigen Eises und, wie eigene Untersuchungen mir bestätigten, auf der Reliefwirkung beruhen, d. h. auf der Wirkung einer seitlichen Beleuchtung und der Verteilung von Licht und Schatten.

Es bleibt mir hier noch ein Sonderfall zu besprechen übrig, welchen ich erst einmal zu beobachten Gelegenheit hatte. Auch unter der Eisbedeckung seichter, mit Wasser gefüllter Pfützen können sich ziemlich tiefe Einschnitte in den Boden bilden, wie ich sie oben als von Eisnadeln herrührend beschrieben habe. Auffallend ist dabei, daß die Schnittwinkel unregelmäßig sind, wenn auch solche von 30° und 60° vorkommen können.

HAMBERG (a. a. O. S. 596 ff.) hat gezeigt, daß in freiem Wasser schwimmendes Eis sich nach der Tiefe vorwiegend in basalen Tafeln ausbildet, welche sich unter den verschiedensten Winkeln schneiden. Ob seine Erklärungsweise die richtige ist, interessiert hier nur insofern, als sich beim Gefrieren zunächst zwischen diesen Tafeln noch Mengen von flüssigem Wasser erhalten können, bis die Unterkühlung weit genug fortgeschritten ist.

Eine allgemein verbreitete Erscheinung an gefrierenden und gleichzeitig austrocknenden Wasserpfützen ist die Herausbildung von Eistafeln, welche sowohl zum Untergrund, als auch zur Eisdecke fast oder völlig senkrecht stehen. Sie können sich nur in der Weise gebildet haben, daß die erste Abkühlung des Wasserinhaltes wohl zur Bildung der Decke und der Tafeln ausreicht, nicht aber zum Erstarren der ganzen Wassermenge. In der Folge aber vermindert sich diese, z. B. durch Verdunstung oder Einsickern in den Boden, der Wasserspiegel senkt sich, und es bleibt eine hohl aufliegende Decke übrig, welche nur durch die Auflagerung an den Rändern und diese Eistafeln abgestützt werden kann.

Solche fast senkrecht stehenden Tafeln können aber auch noch auf andere Weise entstehen. Entleeren sich sehr seichte Wasserpfützen während mehrerer aufeinanderfolgender Gefrierperioden, z. B. während mehrerer Frostnächte, ohne daß der gesamte Wasserinhalt zur Erstarrung kommt, so wird der jeweilige Wasserstand auch oberflächlich durch Ringe bezeichnet, welche sich gleich Isohypsen dem Untergrunde der Wasserlache angliedern. Diese markanten Linien kommen dadurch zustande, daß jeweils beim Neueinsetzen dieses Gefriervorganges die äußersten Wasserteile der Abkühlung am meisten ausgesetzt sind, gefrieren und damit eine Verbindung zwischen der Eisdecke und dem Pfützenboden herstellen. So entstehen gewundene und gebogene Tafeln, welche sich von den anderen, in flüssiger Umgebung entstandenen durch ihre Dicke meist deutlich unterscheiden. (s. Texttafel.)

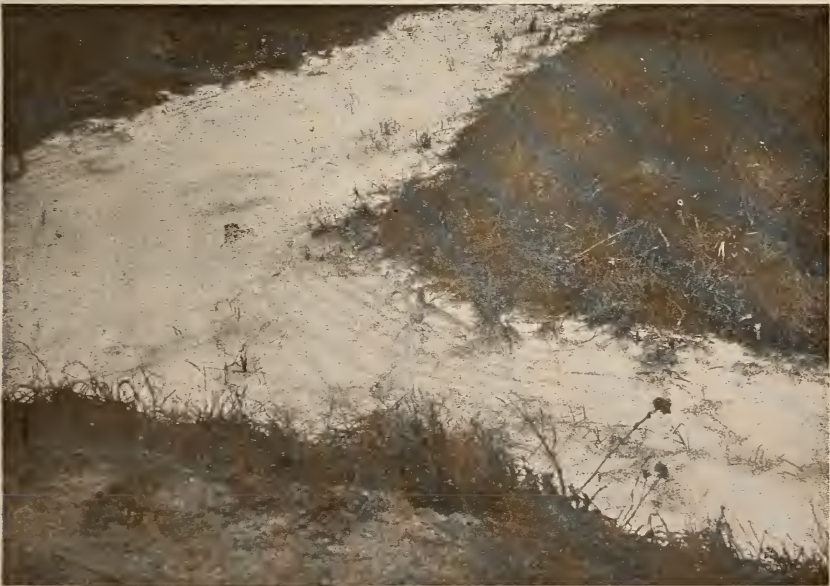
Letztere pflegen außerdem bedeutendere Größe zu erreichen. Ich konnte an ihnen senkrechte Erstreckungen bis zu 22 cm feststellen, bei den randlichen dagegen nur solche im Höchstbetrage von 4—5 cm. Anscheinend vermag die randliche Oberflächenspannung des Wassers größere Entfernungen zwischen Eisdecke und Boden nicht mehr zu überwinden. Ein experimenteller Nachweis bleibt auch hier noch zu führen.

Gemeinsames Merkmal aller dieser Eistafeln ohne Rücksicht auf die Art ihrer Entstehung ist, daß sie im Untergrunde ihres Bildungsortes deutliche, erhaltungsfähige Eindrücke hervorzubringen vermögen. Deren Tiefe erreicht nach dem einzigen von mir bisher beobachteten Falle bis zu 0,3 cm. In welcher Weise sich ein solches Eindringen der Eistafeln in den Boden vollzieht, und welche Rolle dabei der Kristallisationsdruck spielt, vermag ich einstweilen noch nicht festzustellen. Für die geologische Würdigung mag der Hinweis darauf genügen, daß auch diese durch das Gefrieren von Wasser hervorgebrachten Erscheinungen ohne Zweifel fossil erhaltungsfähig sind. Als Unterscheidungsmerkmal zwischen ihnen und den oben beschriebenen „Eisblumen“, welches dazu noch in vielen Fällen versagen wird, könnte ich bisher nur die Verschiedenartigkeit der Schnittwinkelgröße anführen, welche bei der Bildung von Eisnadeln im Boden ziemlich regelmäßig 30 oder 60° beträgt, während sie in den Pfützenböden sehr unregelmäßig ist und wohl vielfach durch gewundene und gebogene Furchen ersetzt wird. Für die

I.



II.



I. und II. Dünne Eisdecke auf gefrorenen Wasseransammlungen. Die dunkeln Linien bezeichnen Abstützungslinien und gleichzeitig Stadien der Deckensenkung, bedingt durch Erniedrigung des Wasserspiegels.

Bei Mitau, Dez. 1916. Verf. phot.

Auswertung als fossile Frostspuren kommen diese Unterschiede insofern nur wenig in Frage, als beide Erscheinungen unter allen Umständen an das feste Land und an ein Klima gebunden sein müssen, in welchem Abkühlung der Luft ein Gefrieren des flüssigen Wassers in der Natur hervorzubringen vermag.

Nachschrift.

Bei Durchsicht amerikanischer und englischer Literatur für andere Zwecke wurde ich nachträglich auf zwei wichtige Arbeiten aufmerksam, welche eine vollkommene Bestätigung meiner Vermutungen und theoretischen Ableitungen darbieten, daß nämlich die in halbfeuchten Lehm- und Schlammflächen sich bildenden Eiskristalle unter Umständen einen fossil erhaltungsfähigen Eindruck hinterlassen müssen. Beide sind von HÖGBOM nicht berücksichtigt worden.

So machen C. F. MARBUT und J. B. WOODWORTH unter der Überschrift: Frostspuren in Lehmputzen (Frost Marks on clay Bottoms [7]) die von mir beschriebene und ausgedeutete Erscheinung mit folgenden Worten bekannt:

„Wo immer kürzlich entstandene Lehmgruben im Herbst freiliegen, herrschen in diesen Breiten [bei Boston. Anm. d. Verf.] klimatische Bedingungen, welche die Entstehung von Spuren rasch vorübergehender meteorologischer Veränderungen auf ihrer Oberfläche begünstigen. Nach Regengüssen kann man vielfach Eindrücke von Regentropfen auf dem weichen Lehm der halbtrockenen Pfützen beobachten. Auch kommen Frostspuren von gefältelter, fächeriger Form vor. Typische Eindrücke von Eiskristallen, welche durch das Auflagern nadelförmiger Eiskristalle auf dem Boden oder durch deren Wachsen in den oberflächlichsten Lehmschichten entstehen, zeigen häufig die dem [kristallisierenden] Eis eigentümlichen Winkel von 30° und 60°. Beim Austrocknen des Lehms zieht sich seine Oberfläche zusammen und verzerrt diese [durch Eiskristalle hervorgerufenen] Figuren. Weiteres Austrocknen des Lehms durch die Sonne kann zur Bildung von Rissen Anlaß geben, welche den Schwächungslinien folgen, deren Verlauf durch die ursprünglich vorhandenen stärkeren Eisnadeln vorgezeichnet ist. Solche Merkmale einer ursprünglichen Berührung mit der Atmosphäre fehlen, soweit durch Beobachtungen festzustellen war, den älteren Schichtflächen vollständig, welche sich nach und nach beim Absatz der einzelnen Lehm-

schichten bildeten. Diese Beobachtung führt zu dem Schluß, daß der Ziegellehm während seiner ganzen Ablagerung ununterbrochen von stehendem Wasser bedeckt gewesen sein muß.“

Ähnliche Beobachtungen hat T. MCKENNY HUGHES bei seinen Untersuchungen über „Spuren von Land- und Süßwassertieren“ (8) gemacht. Auch seine Abbildungen decken sich genau mit meinen eigenen Beobachtungen, so daß ein Zweifel an der Identität der Erscheinungen, welche diesen und jenen zugrunde liegen, als ausgeschlossen gelten muß.

T. MCKENNY HUGHES äußert sich folgendermaßen zu dieser Frage:

„Berührt ein Nachtfrost die feuchte Oberfläche des Schlammes [in leergelaufenen, halbtrockenen Wasserlachen. Anm. d. Verf.], so breiten sich die wunderbarsten Gewirre von Eiskristallen vom Rande oder jedem hervorstehenden Stock oder Stein aus. Das Wasser kristallisiert dann frei von allen Verunreinigungen aus, und Eisnadeln schießen nach allen Richtungen durch den Schlamm. Folgt der Frostnacht ein Morgen, dessen Temperatur die Verdunstung begünstigt, so verdunstet das Eis unmittelbar [d. h. ohne zu schmelzen. Der Verf.], oder aber die Austrocknung des Schlammes geht rasch genug vor sich, um die Eindrücke dieser Gruppen von Eiskristallen nicht zu zerstören. Diese sind überaus schwierig zu erhalten (konservieren), da die so zerschnittene Oberfläche sehr leicht aufbricht und nur schwer abzuheben ist. Die merkwürdigen fiederartigen Spuren, wie sie auf Taf. X, Fig. 1 u. 2 abgebildet sind, stellen die Frostspuren im Schlamm dar, geben aber nur eine schwache Vorstellung von ihrer Schönheit in frischem Zustande in der Natur.“

Wenn auch durch diese älteren Arbeiten bereits die gleichen Erscheinungen kurz erwähnt worden sind, wie ich solche nach eigenen Beobachtungen beschreiben konnte, so daß mir also die Priorität nicht gebührt, so darf ich doch wohl die Tatsache hervorheben, daß mein Gedankengang — bei der vollkommenen Übereinstimmung mit diesen beiden älteren Autoren — ein richtiger gewesen ist. Sie bestärkt mich in der Annahme, daß derartige Eisnadelspuren in auf-trocknenden Lehm- und Tonböden fossil erhaltungsfähig sein müssen, so daß aus ihrem Vorhandensein unter Umständen wichtige Schlüsse auf die Art der Entstehung der betreffenden Gesteine oder Bodenarten gezogen werden können. Jedenfalls bietet ihre Auffindung z. B. eine sichere

Handhabe dafür, eine bestimmte Schicht als unzweifelhafte Landbildung anzusprechen, wenn sich das Auftreten dieser Frostspuren in verschiedener Höhe periodisch wiederholt. Andernfalls muß natürlich zunächst festgestellt werden, ob nicht eine nachträgliche — vorübergehende — Heraushebung aus stehendem oder fließendem Wasser, also Landbildung tektonischer Entstehung vorgelegen haben kann, während welcher Zeit Fröste ihre Spuren der Oberfläche haben aufdrücken können.

Literatur:

1. BERTIL HÖGBOM: Über die geologische Bedeutung des Frostes. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. XII, 1914, S. 258—389.
2. TARNUZZER: Die Schuttfacetten der Alpen und des hohen Nordens. PETERMANN'S Mitteilungen 1911.
3. K. SAPPER: Erdfließen und Strukturboden in polaren und subpolaren Gebieten. Intern. Mitt. f. Bodenkunde, 1914, Bd. IV, S. 52—67 (Abdr. aus: Berichte über die Fortschritte der Geologie, IV, 1913, 2/3, S. 37 ff.).
4. R. SERNANDER: Flytjord i svenska fjälltrakter. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 27, 2, 1905.
5. TH. C. E. FRIES: Botanische Untersuchungen im nördlichsten Schweden. Akad. Abhandl. Upsala 1913.
6. AXEL HAMBERG: Zur Kenntnis der Vorgänge im Erdboden beim Gefrieren und Auftauen, sowie Bemerkungen über die erste Kristallisation des Eises in Wasser. Geol. Fören. Förhandl., Bd. 37, 1915, Heft 5, S. 583—619.
7. N. S. SHALER, J. B. WOODWORTH and C. F. MARBUT: The Glacial Brick blays of Rhode Island and South Eastern Massachusetts (Die diluvialen Ziegellehne auf Rhode Island und im südöstlichen Massachusetts). Darin III: The blays about Boston by C. F. MARBUT and J. B. WOODWORTH. p. 992: Frost Marks on blay Bottoms (Fig. 39: Ice crystal marks). XVII. Annual Report U. S. A. Geol. Survey, Vol. I, p. 951—1004.
8. T. MCKENNY HUGHES: On Some Tracks of Terrestrial and Freshwater Animals. Quart. Journ. Geol. Soc. London, 40, 1884, pg. 178—186 (Pl. VIII—XI), bes. p. 184 (Pl. X, 1. u. 2).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft](#)

Jahr/Year: 1918

Band/Volume: [70](#)

Autor(en)/Author(s): Behr Fritz M.

Artikel/Article: [6. Über geologisch wichtige Frosterscheinungen in gemäßigten Klimaten. 95-117](#)