

Die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung.

VON

W. VON LOZINSKI,

Dr. Phil., Lemberg.

Vom morphologischen Standpunkte können wir zwei Haupttypen von Gebirgen unterscheiden, d. h. das Mittel- und das Hochgebirge, je nachdem das Relief nur durch die langdauernde, »säkulare« Abtragung bestimmt oder durch eine ausgedehnte Vergletscherung ausgestaltet wurde. Diesen beiden Grundtypen wird manchmal das sogenannte »Schuttgebirge« gegenübergestellt,¹ als würde es in morphologischer Hinsicht eine Sonderstellung einnehmen. Indes liegt kein Grund vor, das Schuttgebirge als einen besonderen Typus zu betrachten und vom Mittelgebirge zu trennen. Vielmehr stellt das Schuttgebirge nur eine Abart des Mittelgebirges dar, indem unter Umständen eine kahle Schuttzone in kleinerem oder grösserem Umfange sich entwickeln kann. Die Möglichkeit der Ausbildung einer Schuttzone durch die mechanische Verwitterung der Gesteine hängt von klimatischen Bedingungen ab. Gegenwärtig ist die Schuttzone einerseits in den Gebirgen der Trockengebiete vertreten, wo jähe Temperaturwechsel die rasche Zertrümmerung der Gesteine begünstigen, wie z. B. im Tiën-schan² oder im nordamerikanischen Felsengebirge.³ Andererseits geht überall in den zirkumpolaren Gebieten eine reichliche Schuttbildung durch die mechanische Verwitterung der Gesteine vor sich, wobei die sprengende Wirksamkeit des Spaltenfrostes in den Vordergrund tritt. Insbesondere fällt die starke Gesteinszertrümmerung in der nächsten Umgebung von ausgedehnten Inlandeismassen auf.⁴ Wäh-

¹ Vgl. z. B. PENCK, Morphologie der Erdoberfläche, Bd. II, S. 336.

² FRIEDERICHSEN, Forschungsreise in den zentralen Tiën-schan, Mitteil. d. Geograph. Ges. in Hamburg, Bd. 20, S. 157 ff. 1904.

³ DECKERT, Die Hochketten des nordamerikanischen Felsengebirges, Zeitschrift der Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Bd. 36. 1901.

⁴ V. DRYGALSKI (Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Bd. 27, S. 8—11. 1892.) hat in Grönland beobachtet, wie die Zertrümmerung der Gesteine durch den Spaltenfrost mit der Annäherung an den Rand des Inlandeises zunimmt. — Neuerdings hat O. NORDENSEJÖLD (Die neue Rundschau, I (1910), S. 208) aus Westgrönland über grossartige Wirkungen der mechanischen Verwitterung in der Nähe des Randes des Inlandeises berichtet.

rend nun die mechanische Zertrümmerung der Gesteine als vorherrschender Verwitterungsvorgang auf diese beiden extremen Klimazonen beschränkt ist, finden wir mit Erstaunen, dass auch im gemäßigten Klima, in den Gebirgen Mitteleuropas, die Schutzzone hier und da sich einstellt. So treten in den deutschen Mittelgebirgen, in den Karpaten und im südlichen Ural Blockanhäufungen (sog. Blockmeere) auf, die im obersten Teil der Mittelgebirgsrücken das anstehende Gestein mit einem mehr oder weniger geschlossenen Trümmermantel umhüllen und als eine dem gegenwärtigen Klima ganz fremde Erscheinung vorkommen. Soweit ich auf Grund von eigenen Beobachtungen sowie einer Umschau in der vorhandenen Literatur die geographische Verbreitung dieser eigentümlichen Blockanhäufungen in Mittel- und Osteuropa verfolgen konnte, ergibt sich die nachstehende Zusammenstellung,¹ in welcher auch die blockbildende Gesteinsart angeführt wird.

1) Hochwald im Hunsrück	Quarzit (Unterdevon).
2) Odenwald	Granit.
3) Harz	Granit und Quarzit (Silur).
4) Böhmerwald	Granit(z.T.Gneis, Glimmerschiefer).
5) Jeschken im Lausitzer Geb.	Altpaläozoischer Quarzschiefer.
6) Riesengebirge	Granit (z. T. Glimmerschiefer).
7) Grosse Heuscheuer (Hochfläche)	Quadersandstein (Emscher).
8) Sw. Krzyz-Rücken (Polnisches Mittelgebirge)	Quarzit (Unterdevon).
9) Babia Gora (westgalizische Karpaten)	Sandstein (Alttertiär).
10) Gorgany-Zug (ostgalizische Karpaten)	Sandstein (Oberkreide).
11) Südlicher Ural	Sandstein und Quarzit(Unterdevon).

In den aufgezählten Mittelgebirgen sind die Blockbildungen wie einzelte, durch die Vegetation umgrenzte Inseln zerstreut und heben sich durch ihr ganz fremdartiges Aussehen inmitten einer dicht bewachsenen Mittelgebirgslandschaft scharf ab. Immerhin aber tragen auch solche Rücken, deren Hochfläche und die obersten Gehängepartien von Blockbildungen bedeckt sind, den morphologischen Charakter eines Mittelgebirges

¹ Ausführlichere Angaben enthält meine Abhandlung: Über die mechanische Verwitterung, Bulletin Acad. des Sciences de Cracovie, Classe d. sciences mathém. et natur. 1909, I, S. 10 ff.

zur Schau. In den meisten Fällen haben die blockbedeckten Rücken eine breitschulterige, flachgewölbte Hochfläche, wie es in einem typischen Mittelgebirge die Regel ist. Der fremdartige Eindruck beruht nur darauf, dass die Oberfläche mit Blockanhäufungen dicht überzogen ist, über denen eine zusammenhängende Vegetationsdecke sich nicht auszubreiten vermochte. Seltener dagegen finden wir eine dachähnliche Zuspitzung der Rücken,¹ wie z. T. im ostkarpatischen Gorgany-Zuge. Manchmal streben aus der breiten Hochfläche der Rücken kegelförmige Erhebungen empor (z. B. Schneekoppe im Riesengebirge, Hohenstein und Lusen im Böhmerwald, Chomiak im ostkarpatischen Gorgany-Zuge u. v. a.), die wie riesige Schutthäufen aussehen und in einen so dichten Trümmermantel gehüllt sind, dass man unter dem letzteren einen felsigen Kern in relativ geringer Tiefe kaum vermuten würde. Wie tiefgreifend aber die mechanische Zertrümmerung äusserlich auch vorkommen mag, so bildet die Schutthülle immer nur eine dünne Haut, die das anstehende Gestein überzieht. Auf flachgewölbten Rücken tritt das anstehende Gestein stellenweise aus der Blockbedeckung in malerischen Felspartien zutage, wie es auch sonst auf Landflächen, die der säkularen Abtragung unterworfen waren, häufig der Fall ist. Derartige Durchragungen der felsigen Unterlage in der Gestalt von Rippen oder Klippen, wie z. B. die Quarzitzfelsen auf dem westlichen Abschnitte² des Zentralrückens des Polnischen Mittelgebirges oder auf der Hochfläche der Jurma³ im südlichen Ural, unterbrechen die Eintönigkeit der blockbedeckten Rücken und können durch die mechanische Verwitterung schliesslich in kleine Blockwälle oder Maulwurfhügeln vergleichbare Blockhaufen verwandelt werden.

Meine Studien über die Blockbildungen in den Karpaten und in den Sudeten haben zu dem wichtigen Ergebnisse geführt, dass *in der Gegenwart keine Weiterbildung von Blockanhäufungen erfolgt*. Vielmehr konnte ich überall nur feststellen, dass die Blockbildungen durch die allmähliche Ausbreitung der Vegetation immer mehr erobert und eingeschränkt werden. Wenn man die ebene Plateaufläche der Grossen Henschauer überblickt, auf deren kleinem Raume der Quadersandstein in riesige, durch tiefe Klüfte getrennte Blöcke aufgelockert ist, so be-

¹ Es darf daher die von E. RICHTER (Geomorphol. Unters. in den Hochalpen, Petermanns Mitteil, Erg.-Heft Nr. 132, S. 73) verlangte Zuspitzung der schuttbedeckten Rücken nicht als ein allgemeines Merkmal betrachtet werden.

² Nördlich von Monchocice bei Kielce.

³ Abgebildet in LOZINSKI, Über die mechanische Verwitterung etc. S. 21.

kommt man gleich auf den ersten Blick den Eindruck, als wäre der Vorgang der mechanischen Zertrümmerung schon längst erlahmt. Die Vegetation hat zwischen den riesigen Sandsteinblöcken Fuss gefasst und



Fig. 1. *Ein Blockfeld von Quarzit auf den Gehängen des zentralen Rückens des Polnischen Mittelgebirges.*

Nach einer fotogr. Aufnahme des Verfassers.

an vielen Stellen die klaffenden Klüfte mit einem Polster überbrückt. Die umfangreichen und vielseitigen Untersuchungen von E. OBST haben meine Beobachtungen an der Grossen Heuscheuer vollauf bestätigt und

dahin erweitert, dass im ganzen böhmisch-schlesischen Quadersandsteingebiete die Leistungen der Verwitterung hauptsächlich in das rauhe Klima der Diluvialzeit fallen.¹ In derselben Weise konnte ich an dem zentralen Quarzitrücken des Polnischen Mittelgebirges beobachten, wie der Umfang der Blockbildungen durch das Vordringen der Vegetation immer mehr verringert wird. Über dem höheren Teil der Gehänge und stellenweise auch auf der breiten, äusserst flachgewölbten Hochfläche des Quarzitrückens sind viele kleine, vereinzelte Blockfelder zerstreut und durch den Wald von einander getrennt. Wenn wir nun die Blockfelder des mittleren Abschnittes dieses Quarzitzuges, d. h. des sog. Sw. Krzyz-Rückens näher betrachten, so finden wir, dass sie nur noch in der Mitte aus scharfkantigen, ganz nackten Quarzitblöcken bestehen (Fig. 1). An den Rändern der einzelnen Blockfelder dagegen sind die Blöcke bereits mit einem dicken, schlüpfrigen Moospolster überzogen. Die Vegetation hat auch von den Zwischenräumen Besitz ergriffen und auf diese Weise geht ein jedes Blockfeld ringsum in dichten Wald über, wo zwischen den Bäumen noch Quarzitblöcke umherliegen. In der östlichen Verlängerung dieses Quarzitrückens kommen Blockfelder vor, in denen zwischen nackten Quarzitblöcken Brombeersträucher sich dicht angesiedelt haben. Im westlichsten Abschnitte dagegen, der bis in die unmittelbare Nähe der Stadt Kielce sich erstreckt, sind die Gehänge und die Hochfläche des blockbedeckten Quarzitrückens mit Wachholder bewachsen. So sehen wir allenthalben auf dem langgestreckten, zentralen Quarzitrücken des Polnischen Mittelgebirges, dass die Vegetation bereits zum grossen Teil sich der Blockbildungen zu bemächtigen vermochte und im weiteren Vordringen begriffen ist. Die gegenwärtigen, vereinzelt Blockfelder, welche von der Vegetation noch nicht erobert wurden, sind nur die letzten Überreste von ehemaligen, viel umfangreicheren Blockbildungen, die höchst wahrscheinlich einst eine zusammenhängende, vegetationslose Schutzzone bildeten. Ähnliches kann man auch sonst an Blockanhäufungen in den eingangs aufgezählten Gebirgen Mitteleuropas beobachten, wie z. B. im ostkarpatischen Gorgany-Zuge. Überall hat die Vegetation je nach den lokalen Bedingungen einen grösseren oder kleineren Teil der Blockbildungen schon besiedelt und breitet sich immer weiter über denselben aus.

¹ E. OBR, Die Oberflächengestaltung der schlesisch-böhmischen Kreide-Ablagerungen, Mitteilungen der Geograph. Ges. in Hamburg, Bd. 24, S. 85—104.

Nach dem gesagten unterliegt es keinem Zweifel, dass die Entstehung der Blockbildungen durch eine weitgehende mechanische Gesteinszertrümmerung nicht unter den gegenwärtigen klimatischen Verhältnissen, sondern im rauheren, vom heutigen erheblich abweichenden Klima einer längst verklungenen Periode erfolgte. Von vornherein gemahnen die Blockbildungen an das eiszeitliche Klima, und diese Vermutung wird bestätigt, wenn wir den Zeitabschnitt, in welchem sie hauptsächlich entstanden sind, ungefähr zu fixieren versuchen. Selbstverständlich konnte die Bildung von Blockanhäufungen durch die mechanische Verwitterung erst dann einsetzen, nachdem die gegenwärtig bedeckten Gebirgsrücken ihre heutige Oberflächengestaltung bereits erhalten haben. Da nun die endgültige Herausbildung des heutigen Reliefs, wenigstens im sudetischen¹ und karpatischen Gebiete, in einer jungtertiären, höchst wahrscheinlich pliozänen Hebungs- bzw. Erosionsphase stattfand, so muss auch die untere Grenze der Bildungszeit von Blockanhäufungen in diesen Gebirgssystemen am Ausgange der Tertiärperiode gesetzt werden. Schwieriger dagegen ist es, die obere Altersgrenze der Blockbildungen zu bestimmen. Aus dem Umfange, in welchem dieselben von der allmählich vordringenden Vegetation bisher erobert wurden, ersieht man, dass die Bildungszeit der Blockanhäufungen ziemlich weit zurückliegt. Wie wahrscheinlich aber die Annahme auch ist, die Blockbildungen wären hauptsächlich durch die gesteigerte Wirksamkeit des Spaltenfrostes im eiszeitlichen Klima entstanden, so lässt sich nur in wenigen Fällen ein direkter Beweis dafür erbringen, dass ihre obere Altersgrenze tatsächlich mit dem Schlusse der Diluvialzeit zusammenfällt. Mit voller Sicherheit können wir das diluviale Alter der Blockbildungen an Gebirgsrücken feststellen, in denen eiszeitliche Gletscherkare sich eingefressen haben, jedoch in solcher Entfernung voneinander, dass sie noch nicht durch scharf zugespitzte Rücken, vielmehr aber durch das breitgespannte Gewölbe der präglazialen, blockbedeckten Hochfläche getrennt werden, wie es im Riesengebirge der Fall ist. Wenn wir das Riesengebirge betrachten, so fällt es auf, wie rein und schuttarm die Kare sind, im Gegensatz zu den Blockbildungen, welche die präglaziale Hochfläche bedecken. Insbesondere vermissen wir Schutthalden, die seit dem Verschwinden der eiszeitlichen Gletscher am Fusse der steilen Karwände sich angehäuft hätten. Es hat in der postdiluvialen Zeit, seitdem die

¹ Vgl. auch FRECH, Bau der schlesischen Gebirge, Geograph. Zeitschrift, Bd. 8, S. 558.

Kare von den eiszeitlichen Gletschern ausgefegt wurden, in denselben eine Neubildung von Schutt in grösserem Umfange nicht stattgefunden. Wir müssen daher von den Blockanhäufungen auf der Hochfläche des Riesengebirges annehmen, dass sie nicht erst nach der Diluvialzeit, sondern hauptsächlich während derselben sich bildeten und seit ihrem Ausklingen eine wesentliche Erweiterung nicht erfahren haben. So bietet uns die relative Reinheit der eiszeitlichen Kare, wenn solche in blockbedeckten Rücken oder in benachbarten Gebirgstteilen vorhanden sind, den sichersten Beweis, dass seit der Diluvialzeit eine Weiterbildung von Schutt in grösserem Umfange nicht erfolgte.¹ Nach den

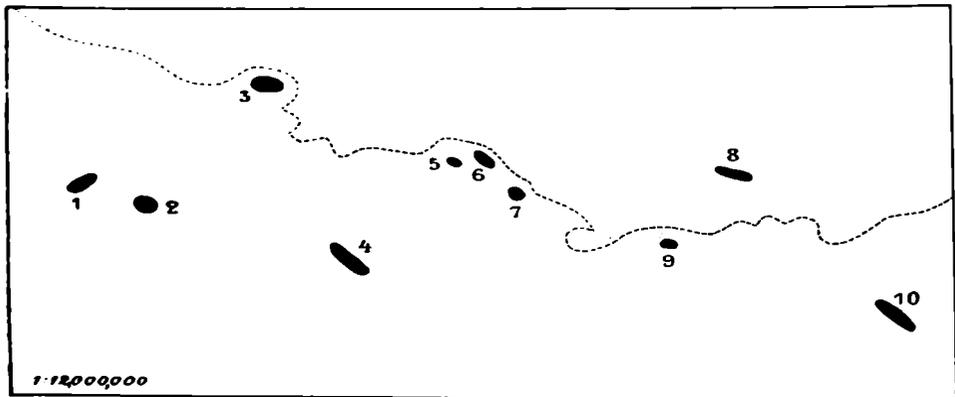


Fig. 2. Die Verbreitung der diluvialen Blockbildungen in Mitteleuropa.

Die gebrochene Linie bezeichnet den Südrand des diluvialen Inlandeises. Die Zahlen beziehen sich auf die Zusammenstellung im Text.

vorstehenden Ausführungen schliessen sich die untere und die obere Altersgrenze der Blockanhäufungen in den betrachteten Gebirgen Mitteleuropas so eng zusammen, dass wir mit vollem Recht ihre Entstehung in die Diluvialzeit versetzen und folglich dieselben als »Relikte« des eiszeitlichen Klimas ansprechen dürfen.

¹ Im trockenen Klima hingegen, wo heutzutage die Bedingungen einer überreichlichen Neubildung von Schutt gegeben sind, findet man bereits eine weit vorgeschrittene Ausfüllung der eiszeitlichen Kare mit Verwitterungsschutt, wie es DECKERT (a. a. O. S. 5) an einem Kar auf der Südseite des Pikes Peak beobachten konnte. Ebenso im trockenen Klima der spanischen Sierra Nevada scheinen seit der Diluvialzeit grössere Mengen von Verwitterungsschutt an den Wänden der eiszeitlichen Kare sich gebildet zu haben, soweit die Beobachtungen von QUELLE (Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1908, S. 311—312) es vermuten lassen.

Verfolgt man auf der Karte (Fig. 2) die geographische Verbreitung der Blockbildungen in Mitteleuropa, so fällt ihr Vorkommen in einer Zone längs dem Südrande des diluvialen Inlandeises auf. Der Zusammenhang mit der Südgrenze des Inlandeises tritt unverkennbar hervor und kann durch die schon eingangs betonte Tatsache begründet werden, dass auch gegenwärtig in der Umgebung von Inland-eismassen die intensivste mechanische Gesteinszertrümmerung stattfindet. Als das diluviale Inlandeis vom hohen Norden her sich bis in die mittleren Breiten erstreckte, hat es ohne Zweifel auf seine Umgebung einen erkaltenden Einfluss ausgeübt. Es muss daher während der Eiszeit in dem südwärts an den Eisrand angrenzenden Streifen Europas ein rauhes Klima geherrscht haben, von welchem wir mit C. A. WEBER¹ voraussetzen dürfen, dass Nachtfröste weit in den Sommer hinein dauerten. In diesem *periglazialen* Klima war der Spaltenfrost im höchsten Grade wirksam und konnte eine ebenso weitgehende mechanische Zertrümmerung der Gesteine herbeiführen, wie gegenwärtig in den Polarländern, in der Nähe der Inlandeismassen. Parallel mit der eiszeitlichen Depression der Schneegrenze haben auch die Höhengrenzen der Vegetation die gleiche Erniedrigung erfahren, so dass wir uns die Mittelgebirgsrücken in der Umrandung des nordischen diluvialen Inlandeises grösstenteils waldlos und mit nicht zusammenhängenden Pflanzenformationen bedeckt — wie die gegenwärtigen zirkumpolaren Vegetationsbezirke — denken müssen. Dadurch waren die günstigsten Bedingungen für die mechanische Tätigkeit des Spaltenfrostes gegeben. So sind die Blockbildungen in den Gebirgsrücken Mitteleuropas hauptsächlich durch die gesteigerte Wirksamkeit des Spaltenfrostes im periglazialen Klima der Diluvialzeit entstanden und stellen die eiszeitliche Schuttregion dar, die nachher von der Vegetation immer mehr erobert wurde. Diese Blockbildungen, deren letzte, von der Vegetation noch nicht besiedelte Überreste in den gegenwärtigen Blockfeldern uns entgegenreten und unter den heutigen klimatischen Verhältnissen als fremdartige Relikte der Diluvialzeit vorkommen, bezeichne ich als *die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung*.

Das Wesen der periglazialen Verwitterungsfazies liegt in der weitgehenden mechanischen Gesteinszertrümmerung »in situ« durch die intensive Wirksamkeit des Spaltenfrostes. Mit der Entstehung »in situ« hängt

¹ C. A. WEBER, Geschichte der Pflanzenwelt des norddeutschen Flachlandes, Résultats scientif. du Congr. intern. de Bot. Vienne 1905, S. 105.

es zusammen, dass viele Blockfelder aus wackelnden Blöcken zusammengesetzt sind, wovon man z. B. im ostkarpatischen Gorgany-Zuge oder im zentralen Quarzitrücken des Polnischen Mittelgebirges nur zu häufig und in der empfindlichsten Weise sich überzeugen kann. An geeigneten Stellen kann man überdies ganz deutlich sehen, dass die Blockbildungen sich noch zu ursprünglichen Bänken zusammenschmiegen lassen, wie ich es an dem Beispiele eines Blockfeldes von Quarzit im Polnischen Mittelgebirge zeigen konnte¹ und in ähnlicher Weise auch an den Blockbildungen von Granit im Odenwalde² beobachtet wurde. Wenn dagegen Blockanhäufungen in grösserem oder kleinerem Umfange von einer gleitenden Bewegung erfasst werden, so ist es nur eine sekundäre Begleiterscheinung, die zum Wesen der periglazialen Verwitterung nicht gehört. Dadurch unterscheidet sich die periglaziale Verwitterungsfazies in meiner Auffassung wesentlich von der »subglazialen« Verwitterungsfazies von J. G. ANDERSSON,³ der in erster Linie das seltsame Schuttgleiten in den subpolaren Gebieten als das bezeichnendste Merkmal würdigte. Indes hängt die Möglichkeit des teilweisen Hinabgleitens von Blockbildungen bloss von lokalen Nebenumständen ab, wobei allerdings die Neigung der Gehänge nicht an erster Stelle hervorzuheben wäre. Denn in Gebirgsrücken, die aus einheitlichen, permeablen Schichtenkomplexen aufgebaut sind, wie der ostkarpatische Sandsteinzug der Gorgany, finden wir selbst auf ziemlich steil geneigten Gehängeflächen die Blockfelder »in situ« angehäuft.⁴ Vor allem dagegen scheint der Schichtenbau, insbesondere das Vorhandensein einer undurchlässigen, schlüpfrigen Unterlage in Betracht zu kommen. Sind auch die Blockbildungen z. B. im Hochwald (Hunsrück) oder im südlichen Ural zum Teil einem eigenartigen Abgleiten unterworfen, so kann man andererseits noch mehr Beispiele anführen, wo die Blockbildungen in ihrem ganzen Umfange »in situ« sich angehäuft haben und heutzutage stabil bleiben (ostkarpatischer Gorgany-Zug, Polnisches Mittelgebirge). Es darf daher die Beweglichkeit der Blockbildungen keineswegs als ein Merkmal der

¹ v. LOZINSKI, Der diluviale Nunatak des Poln. Mittelgebirges, Zeitschrift d. Deutschen geolog. Ges. Bd. 61 (1909), Monatsber. Abb. auf s. 451.

² HAUCK, Morphologie d. kristallinen Odenwaldes, Verhandl. d. Naturhist.-Medizin. Ver. zu Heidelberg, Neue Folge, Bd. 10, S. 304. 1910.

³ J. G. ANDERSSON in Petermanns Mitteilungen, Bd. 49 (1903), S. 33. Ders. Solifluction, Journal of Geology, Bd. 14 (1906), S. 91 ff.

⁴ Es sei erinnert, dass in Spitzbergen HOLMSEN [Petermanns Mitteilungen, Bd. 56, I (1910), S. 201] noch auf Gehängen, deren Böschung 35° und mehr beträgt, »in situ« angehäuften Blockbildungen beobachtet hat.

periglazialen Verwitterungsfazies betrachtet werden. Wo immer im Schichtenbau die Bedingungen gegeben sind, kann ein Hinabgleiten von Blockbildungen eintreten und Denudationserscheinungen herbeiführen, welche äusserlich die periglaziale Verwitterungsfazies vortäuschen, jedoch mit ihr nichts gemeinsam haben.¹

Neben dem Spaltenfrost, in welchem wir den hervorragenden Faktor im periglazialen Klima gewürdigt haben, fiel auch dem Winde eine wichtige Rolle zu. Als das diluviale Inlandeis seine Maximalausdehnung erreichte, bildete sich über demselben das antizyklonale Windsystem aus, in dessen Bereich auch die an den Eisrand angrenzenden Gebiete kamen. Im Zusammenhange damit konnte die schon ohnehin intensive Wirksamkeit des Spaltenfrostes im periglazialen Klima unter Umständen noch mehr gesteigert werden.² In erster Linie aber waren die trockenen Winde, deren Herrschaft in weitem Umkreise sich auf die Umrandung des diluvialen Inlandeises erstreckte, dadurch von Bedeutung, dass sie die feinsten, bei der mechanischen Gesteinszertrümmerung entstehenden Verwitterungsprodukte auswehten. Höchst wahrscheinlich rührt das Staubmaterial, aus welchem der äolische Löss längs dem Südrande des Inlandeises aufgeschüttet wurde, zum nicht geringen Teil von den feinsten, windgetragenen Produkten der periglazialen Verwitterung her.³ Durch Winde wurden die periglazialen Blockbildungen von den feineren Verwitterungsrückständen so vollständig gereinigt, dass ihre Besiedlung durch die Vegetation in der Postdiluvialzeit nur sehr langsam fortschreiten und heutzutage noch nicht in vollem Umfange gedeihen konnte. Nur durch die mechanische Verwitterung »in situ« und die Auswehung von feineren Produkten ist zu erklären, dass im Gebiete der periglazialen Blockbildungen oft kleine, ringsum geschlossene Hohlformen vorkommen, die unter keinen Umständen vom fliessenden Wasser ausgeräumt werden konnten, wie z. B. ein beiderseits blind endender

¹ Wie z. B. das Abbrechen und Hinabgleiten von grossen Blöcken eines Kreidesandsteines auf den Gehängen der podolischen Cañons, wo ein fortwährendes Unterminieren durch die Abspülung unterlagernder Silurschiefer stattfindet. Vgl. die Abbildungen in v. LOZINSKI, Doliny rzek. Lemberg 1905, Taf. II B und III.

² RODLER (Vertikale Verteilung der Temperaturschwankungen um den Frostpunkt in der Schweiz. Zeitschr. d. österr. Ges. f. Meteorologie, Bd. 20, S. 7, 1887.) hat gezeigt, wie die Häufigkeit der Temperaturschwankungen um den Nullpunkt durch Winde beeinflusst wird.

³ v. LOZINSKI, Quartärstudien (III), Jahrbuch der K. K. geolog. Reichsanstalt, Bd. 60, S. 136—139. Wien 1910.

Gang auf der Hochfläche der Grossen Heuscheuer.¹ Im Gegenteil müssen wir annehmen, dass die abspülende Tätigkeit des atmosphärischen Wassers weit hinter der Auswehung durch Winde zurückblieb.

Während gegenwärtig die Schuttzone der Gebirge in den verschiedensten Gesteinsarten, ohne Rücksicht auf die petrographische Beschaffenheit ausgebildet ist, fällt die Tatsache auf, dass die Blockbildungen der periglazialen Verwitterungsfazies in Mitteleuropa sich nur auf die widerstandsfähigsten Gesteinsarten und zwar fast ausschliesslich auf Quarzit, die härtesten Sandsteine und Granit beschränken.² Gewiss wurden auch andere Gebirgsrücken, von welchen Gesteinen sie auch aufgebaut sein mögen, in demselben Masse vom periglazialen Klima der Diluvialzeit betroffen. Jedoch lieferten weniger widerstandsfähige Gesteine bei der mechanischen Verwitterung bedeutende Mengen von feinerem Schutt, welcher nach der Eiszeit, sobald das periglaziale Klima vorüber war, unschwer von der Vegetation besiedelt werden konnten. Die widerstandsfähigsten Gesteine dagegen zerfielen hauptsächlich in grosse Blöcke, wobei nur spärliche Mengen von feinsten Verwitterungsprodukten erzeugt und sofort vom Winde ausgefegt wurden, so dass die Vegetation heutzutage sich der blockbedeckten Gehänge in ihrem ganzen Umfange nicht bemächtigen konnte. Wie eng die Blockbildungen der periglazialen Verwitterungsfazies nur an die widerstandsfähigsten Gesteine gebunden sind, sehen wir am schönsten in der Sandsteinzone der Karpaten. Der ostkarpatische Gorgany-Zug, welcher aus dem widerstandsfähigsten, sog. »massigen« (Jamna-) Sandsteine aufgebaut ist, wird von blockbedeckten Rücken gekrönt, in denen die eiszeitliche Schuttregion heutzutage am grossartigsten sich erhalten hat. Im Gebiete des weniger widerstandsfähigen Magura-Sandsteines dagegen, welcher die Zentralrücken der Karpaten in grosser Ausdehnung zusammensetzt, finden wir keine Blockbildungen, mit der einzigen Ausnahme einer kleinen Schuttkappe auf dem Gipfel der Babia Gora (1725 m) in den westgalizischen Karpaten.

Die periglaziale Verwitterungsfazies konnte auf längere Zeit hin sich nur in den widerstandsfähigsten Gesteinen erhalten, die im periglazialen Klima hauptsächlich in grössere Blöcke zerfielen. Bei dem Mangel an feineren Verwitterungsprodukten breitete sich die Vegetation in der Postdiluvialzeit so langsam aus, dass die Blockbildungen — wenn auch durch das Verwachsen bereits bedeutend eingeschränkt —

¹ v. LOZINSKI, Über die mechanische Verwitterung etc. Abb. auf S. 12.

² Gneis und Glimmerschiefer sind zum geringsten Teil an den Blockbildungen beteiligt.

doch zum guten Teil noch gegenwärtig ganz nackt dastehen. Infolgedessen war der Spaltenfrost, allerdings mit erheblich abgeschwächter Intensität, auch in der Postdiluvialzeit und ist noch jetzt an den nackten Blockfeldern tätig. Es konnte jedoch die postdiluviale Wirksamkeit des Spaltenfrostes höchstens die weitere Zertrümmerung der Blöcke oder den allmählichen Zerfall von durchragenden Felsklippen stellenweise herbeiführen. Im grossen und ganzen aber sind die späteren Leistungen des Spaltenfrostes im Vergleiche mit der Diluvialzeit so geringfügig, dass sie gegenüber der fortschreitenden Eroberung der Blockbildungen durch die Vegetation verschwinden.

Während Quarzite und die härtesten Sandsteine unter allen klimatischen Bedingungen nur der mechanischen Verwitterung zugänglich sind, konnte bei dem Granit, nachdem er im periglazialen Klima der Diluvialzeit vornehmlich der mechanischen Wirksamkeit des Spaltenfrostes unterworfen war, in der Postdiluvialzeit die chemische Verwitterung eintreten. Eine derartige Verknüpfung von zwei Generationen der Verwitterungsprodukte habe ich an dem Granit des Riesengebirges dargestellt.¹

Dass eine ausgedehnte Eisfläche, wie das diluviale Inlandeis es war, einen erkaltenden Einfluss auf ihre Umgebung ausüben muss, unterliegt keinem Zweifel.² Zum Vergleich sei nur an die erkaltende Einwirkung von grösseren Meeresteilen, die durch mehrere Monate des Jahres eine starke Eisdecke tragen (Hudson Bai, Ochotskisches Meer),³ auf die angrenzenden Teile der Kontinente erinnert. Wie weit der erkaltende Einfluss einer grossen Eisdecke auf ihre Umgebung sich zu erstrecken vermag, entzieht sich einer näheren Schätzung. Immerhin aber müssen wir diesem Einfluss des diluvialen Inlandeises gewisse, nicht allzu weite Schranken setzen und dürfen denselben keinesfalls so grenzenlos walten lassen, wie es manchmal geschieht, wenn man der Ausbreitung des nordischen Inlandeises eine allgemeine Abkühlung der Atmosphäre zuschreibt und dadurch die diluviale Vergletscherung selbst der entferntesten Gebirge zu erklären versucht.⁴ Soweit es um

¹ v. LOZINSKI, Riesengebirge und Tatra, Geologisches Zentralblatt, Bd. 15, Ref. Nr. 33.

² Der Einfluss einer abschmelzenden Schnee bzw. Eisdecke auf das Klima benachbarter Gebiete ist von WOJKOF (Klimate der Erde, Bd. I, Kap. 4) dargelegt worden.

³ HANN, Handbuch d. Klimatologie, 2. Aufl., Bd. III, S. 262. 1897. КРЮКОВ, Handbuch d. Ozeanographie, 2. Aufl., Bd. I, S. 498. 1907.

⁴ HOLST, Connection of the Glacial Period with Oscillation of the Land, Geological Magazine, Dec. IV, Vol. 8 (1901), S. 214—215. W. WOLFF, Zur Kritik der Interglacial-Hypothese, Naturwiss. Wochenschrift, N. F. Bd. II, S. 303. 1902—03.

die Entstehung von Blockbildungen in mitteleuropäischen Gebirgen sich handelt, die noch zur näheren Umgebung des diluvialen Inlandeises gerechnet werden dürfen oder sogar — wie der Zentralrücken des Polnischen Mittelgebirges — einen eisumflossenen Nunatak bildeten (vgl. die Karte), so kann ohne Zweifel angenommen werden, dass sie in den Wirkungskreis des periglazialen Klimas kamen. Bei dem südlichen Ural, dessen grossartige Blockbildungen um 3—4 Breitengrade von der Südgrenze der nordischen Vereisung im Kamagebiete entfernt sind, tauchen schon Bedenken auf, ob es den Einfluss des diluvialen Inlandeises so weit auszudehnen angeht. Es kommen aber blockbedeckte Rücken und Gipfel, die denjenigen in der gebirgigen Umrandung des diluvialen Inlandeises ganz ähnlich sind, noch in so grosser Entfernung vor, dass irgend ein Einfluss der nordischen Eisausbreitung ausgeschlossen ist, wie in den Pyrenäen (Mont Perdu, Maladetta)¹ oder im Rilagebirge (Mussala).² Obwohl die diluvialen Blockbildungen in weit überwiegender Mehrzahl sich in kleinerer oder grösserer Entfernung an die Südgrenze des ehemaligen nordischen Inlandeises anschliessen, so sind sie jedoch nicht alleinig auf seine Umgebung beschränkt. Dieses führt notwendig zum Schlusse, dass zur Diluvialzeit die mechanische Gesteinszertrümmerung durch den Spaltenfrost zwar am intensivsten in der Umrandung des ehemaligen nordischen Inlandeises, im periglazialen Klima vor sich ging, immerhin aber auch sonst eine nicht unerhebliche Steigerung erfuhr.

Dass die gesteigerte Wirksamkeit des Spaltenfrostes zur Diluvialzeit nicht ausschliesslich an die unmittelbare Nachbarschaft des Inlandeises gebunden war, konnte ich ebenfalls an dem diluvialen Nunatak des Zentralrückens des Polnischen Mittelgebirges feststellen. In seiner nächsten Umgebung zeigt sowohl das glaziale, wie auch das fluvioglaziale nordische Diluvium eine überaus reichliche Beimengung von grossen und kleinen, kantigen oder höchstens kantenbestossenen Bruchstücken desselben devonischen Quarzites, aus welchem der blockbedeckte Zentralrücken aufgebaut ist. Es waren somit, als das nordische Inlandeis an den Zentralrücken herantrat, Quarzittrümmer schon in Fülle vorhanden. Danach ist anzunehmen, dass die intensive Tätigkeit des Spalten-

¹ LEYMERIE, Voyage au Mont-Perdu, Comptes rendus Acad. d. Sc. Paris, Bd. 29 (1849), S. 309. Ascension à la Maladetta, Ibid. Bd. 47 (1858), S. 121. — Eine treffliche Abbildung gibt LAPPARENT, Leçons de géographie physique, 2. éd., S. 216. 1898.

² CVIJIĆ, Das Rila-Gebirge, Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, Bd. 33 (1898), S. 228—229.

frostes gleichzeitig mit der Klimaänderung am Anfange der Diluvialzeit einsetzte, bevor noch das vom hohen Norden her sich langsam ausbreitende Inlandeis bis zum Polnischen Mittelgebirge gelangte.

Die allgemeine Verstärkung der Frostwirkungen, die in den diluvialen Blockbildungen zum Ausdrucke kommt, wurde selbstverständlich durch eine bedeutend vermehrte Häufigkeit der Temperaturschwankungen um den Nullpunkt hervorgerufen. Letzteres wäre aber schwer zu erklären, wenn man die diluviale Kälteperiode auf eine Verminderung der eingestrahnten Sonnenwärme zurückführen würde, da in dem Falle bloss eine Temperaturerniedrigung vorausgesetzt werden dürfte. Es kommt jedoch bei der Entstehung von Blockbildungen durch die gesteigerten Frostwirkungen in erster Linie nicht auf die absolute Temperaturerniedrigung, sondern auf einen häufigen Wechsel von Auftauen und Wiedergefrieren des Wassers an. Ein solches war aber nur unter der Bedingung möglich, dass in der Diluvialzeit die Ausstrahlung der Wärme von der Erdoberfläche erhöht wurde. Wir müssen daher annehmen, dass zur Diluvialzeit die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Wärmeausstrahlung grösser war,¹ was bei dem hentigen Stande unserer Kenntnisse nur durch eine Abnahme des Kohlensäuregehaltes erklärt werden kann. So erwächst aus unseren Betrachtungen ein gewichtiges Argument zu Gunsten der Kohlensäurehypothese der Eiszeit.

Nachdem wir in den diluvialen Blockbildungen, die nur an wenigen günstigen Stellen sich intakt erhalten haben, beredte Zeugen der intensiven Wirksamkeit des Spaltenfrostes in der Diluvialzeit erkannt haben, müssen wir diesen Faktor auch bei der Entstehung der ungeheuren, durch das nordische Inlandeis ausgebreiteten Schuttmassen würdigen. Mit vollem Rechte darf angenommen werden, dass das allmählich anschwellende Inlandeis auf der Oberfläche Skandinaviens neben anderen Verwitterungsprodukten auch Blockbildungen vorfand und sich derselben bemächtigte.² Von Blockbildungen, die durch das diluviale Inlandeis ergriffen wurden, dürfte ein grosser Teil der kantigen Geschiebe und erratischen Blöcke im nordischen Diluvium herrühren. Nach den vorstehenden Ausführungen ist es wohl denkbar, dass mit der Klimaänderung am Anfange der Diluvialzeit eine intensive mechanische Wirksamkeit des Spaltenfrostes einsetzte und auf nackten Gesteinsflächen

¹ Vgl. auch die Ausführungen von J. BARRELL, Relations between climate and terrestrial deposits, Journal of Geology, Bd. 16 (1908), S. 177 ff.

² GEINITZ, Das Quartär Nordenropas (in Lethæa geognostica), S. 86.

Blockbildungen vorbereitete, mit denen das inzwischen anwachsende und sich ausbreitende Inlandeis seinen Schutttinhalt bereicherte. Insbesondere an Erhebungen, wo solche die Oberfläche des diluvialen Inlandeises überragten, ist ein weitgehender mechanischer Zerfall des Gesteins zu Brocken und Blöcken voranzusetzen. Schliesslich hat auch bei der Entstehung der eiszeitlichen Gletscherkare die intensive Tätigkeit des Spaltenfrostes mitgewirkt. Wenn wir die Umbildung der präglazialen Talschlüsse und Gehängensichen in Kare deuten wollen, müssen wir ebenfalls die bedeutende Steigerung der Frostwirkungen an den die eiszeitlichen Firnmulden umschliessenden Wänden in Betracht ziehen.

Nachtrag. Zu der periglazialen Verwitterungsfazies sind noch die Blockfelder zu rechnen, welche kürzlich von TUTKOWSKI (Zemlewiedenie, Beil. zu Jg. 1909, S. 28—29) aus dem Gebiete des sogen. Owrutscher Sandsteines im Polessje beschrieben und abgebildet wurden. Am nächsten liegt die Annahme, dass diese Blockfelder durch die gesteigerte Wirksamkeit des Spaltenfrostes hart am Rande des diluvialen Inlandeises entstanden sind. Wenn dagegen TUTKOWSKI die Blockfelder als eine Wüstenerscheinung betrachtet, so verkennt er die grosse Ähnlichkeit der Verwitterungserscheinungen in polaren und trockenen Gebieten, wie sie insbesondere von PHILIPPI (Deutsche Südpolar-Expedition 1901—03, Bd. II, S. 64) mit vollem Nachdruck betont wurde.
