

Über Steinkessel

1.

Von

O. Vorweg,

Hauptmann a. D.



Selbstverlag des Verfassers.

Herischdorf im Riesengebirge.

1903.

Der hier vorliegende 1. Teil der Arbeit enthält, unter besonderer Bezugnahme auf die Steinkessel des Riesengebirges, eine umfassende Untersuchung über die verschiedenen Deutungsmöglichkeiten und eine wissenschaftlich begründete Strudelochtheorie. Das Endergebniss lautet, dass die Steinkessel des Riesengebirges nur als Gletschertöpfe gedeutet werden können und danach besonders deutliche Spuren der einstigen Vergletscherung abgeben.



1.

In meinem Aufsatz: „Beiträge zur Diluvialforschung im Riesengebirge“ im Jahrgang 1897 der Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, hatte ich unter anderem auch eine Strudelochtheorie, in ihren Grundzügen, meines Wissens als erster, aufgestellt und auf die Steinkessel des Riesengebirges angewendet. Das dort Vorgebrachte will ich, unter seiner Wiederverwertung, um Nachschlagen entbehrlich zu machen, hier vervollständigen.

Die wie auf der Drehbank hergestellten Steinkessel zeigen eine von allen anderen vorkommenden Hohlformen so deutlich unterscheidbare Gestalt, dass sie der, der überhaupt Blick für solche Sachen erlangt hat, leicht erkennt, und dass sie, wie ihr volkstümlicher Name: Hulzwaiblasitze anzeigt, schon vor Jahrhunderten die Aufmerksamkeit selbst der einfachen Gebirgsbevölkerung auf sich gezogen haben müssen und schon von dieser deutlich von allen anderen Hohlformen unterschieden worden sind. Die „Hulzwaibla“ sind Waldgeister.

Mit dem Namen: Steinkessel, wird der Deutung über die Entstehungsursachen nicht vorgegriffen, wie mit den Namen: Hulzwaiblasitze, Opferkessel, Witterlöcher, sondern nur das tatsächlich Wahrnehmbare gekennzeichnet. Der Name: Riesenkessel, scheint mir deshalb weniger bezeichnend, weil viele dieser Kessel als solche gar nicht riesenhaft erscheinen. Jättegryde = Jettegrytor, entspricht mehr unserem nicht mehr gebräuchlichen: Riesen-Hafen (=Topf), wird daher insoweit von dem Einwande

etwas weniger betroffen, enthält im übrigen aber offenbar ebenfalls eine der Sage entnommene Deutung.

Da die Steinkessel nur eine Einzelheit der Gestalt der Gesteinsoberfläche sind, so können sie auch nur als solche aufgeklärt werden. Es handelt sich dann im ganzen um die Geschlossenheit der Gesteinsoberfläche und um die Ursachen für deren Verminderung und Vermehrung, oder um die Gliederung und Ebenung der Gesteinsoberfläche*). In Hinsicht der Ursachen hängt die Oberflächengestalt dann ab von der Gesteinsbeschaffenheit einerseits und von den äusseren Einwirkungen andererseits. Die folgenden Erörterungen sollen in der Hauptsache auf granitische Gesteine und im besonderen auf den Riesengebirgsgranit, in dem hier allein Steinkessel gefunden worden sind, beschränkt werden.

Der Riesengebirgsgranit wechselt von feinkörnig (z. B. an der Glimmerschiefergrenze unter der Kuppe) bis grobkörnig (in den Taleinschnitten u. s. w.). Er ist ursprünglich abgesondert in Bänken oder Schalen parallel den Abkühlungsflächen, die zunächst diesen dünn (wenige Centimeter dick) sind und nach dem Innern zu dicker (bis mehrere Meter dick) werden; und andererseits senkrecht zu den Abkühlungsflächen und zu einander durch radiale Trennungsflächen. Dadurch entstehen parallelepipedische Blöcke, die entsprechend ihrer Absonderung im Kern am dichtesten sind und nach den Absonderungsflächen zu lockerer werden. Ausserdem sind die verschiedenen Blöcke verschieden dicht. An manchen

*) Auch für die Gestalt der Erdoberfläche im ganzen würde ich die hier gewählten Ausdrücke: ebenen und gliedern, für zutreffender halten, als die herrschenden Ausdrücke: aufbauen und abtragen, da jede der letzteren beiden Wirkungen sowohl ebenend, wie gliedernd wirken kann, die Gestalt der Erdoberfläche aber erst durch die Ebenung und Gliederung, nicht schon durch den Abtrag und Aufbau bestimmt wird.

kleineren, durch Steinbruchbetrieb erschlossenen Kuppen zeigen sich im Querschnitt die Schalen durch Bogenlinien begrenzt, die sich der Gestalt der Kuppe annähern und von denen je die obere einem kleineren Halbmesser zugehört, so dass die Schalen nach beiden Enden auskeilen. Zu der allgemeinen Absonderung kommen stellenweise noch Streifung, Schlieren und linsenförmige, basische Ausscheidungen. (Streifung war beispielsweise besonders schön westlich der Dachsbau, bei dem Eisenbahnbau Petersdorf-Landesgrenze, zum Vorschein gekommen. Stücke davon sind an den Wegeunterführungen u. s. w. eingemauert.) Die Schalenflächen der Granititblöcke zeigen stellenweise eine stärkere Krümmung, als der summarischen Oberfläche eines einheitlichen Granititlakkolithen entsprechen würde. Es würde sich dies vielleicht daraus erklären, dass das Magma, nach dem Emporquellen, noch Pressungen ausgesetzt gewesen ist, wie ja auch die verschiedene Neigung der verschiedenen Bänke an verschiedenen Stellen andeutet. (In dem Eisenbahneinschnitt für den Tunnel am Moltkefelsen waren an der blosgelegten Glimmerschiefergrenze sehr schön kleine Falten, Glimmerschiefer einschlüsse, Granititadern u. s. w. zu sehen.) Die Granititmasse ist schliesslich noch von zahlreichen Sprüngen durchsetzt, von Haarrisbreite bis Kilometerbreite, die teilweise mit Gestein, als Gänge, ausgefüllt sind. Diese nachträglich in dem erhärteten Gestein erzeugten Zerberstungs-sprünge müssen unterschieden werden von den während der Erhärtung des Gesteins entstandenen Absonderungs-klüften.

Von äusseren Einwirkungen auf die Gesteinsoberfläche sind bekannt, abgesehen von den Eingriffen der Menschen: Die chemische Zersetzung, die thermische Zerberstung, die Wirkungen bewegten Eises, bewegten Wassers und bewegter Luft, mechanische Wirkungen und der Pflanzenwuchs. Die jetzige Oberflächengestalt

ist an jeder Stelle dann das Ergebnis der (algebraischen) Summe aller in der Zeit an dieser Stelle eingetretenen Änderungen. Dass für die Entstehung der hiesigen Steinkessel nicht noch über die diluviale Eiszeit hinausgegangen zu werden braucht, bedarf wohl keiner weiteren Begründung. Es handelt sich dann also um die Wirkungen während und seit der diluvialen Vereisung. Da während dieser Zeit niemand dageigesessen und zugesehen hat, abgesehen davon, dass auch dann der Zusammenhang zwischen Ursachen und Wirkungen meist nicht ohne weiteres zu erkennen gewesen wäre, so zeugt es lediglich von geistiger Unmündigkeit, hier mit vermeintlichen Erfahrungserklärungen kommen zu wollen, vielmehr ist die wissenschaftliche Deutung der Erscheinungen hier darauf angewiesen, nachzusehen, mit welchen der auf Grund der gesicherten naturwissenschaftlichen Erkenntnis erklärbaren Gestalten die vorhandene Sachlage in lückenloser Übereinstimmung sich befindet, und zu entscheiden hat auf dem Gebiet der Wissenschaft allein nur das Schwergewicht der sachlichen Begründung und also der uneingeschränkte, sachliche Geisteskampf, nicht autoritative Behauptungen, die auch schon jeder Dummerjahn fertigbringt. Aus einer Einwirkung ferner, die die ganze Gesteinsoberfläche betrifft, kann nicht schon eine Einzelheit dieser erklärt werden. Wenn beispielsweise Löcher, Grate, Zapfen, Säulen, glatte Flächen, u. s. w. einfach autoritativ für Verwitterungswirkungen erklärt werden, so ist das unwissenschaftliche, willkürliche Deutelei.

In Hinsicht der aufgeführten äusseren Einwirkungen handelt es sich dann um die zwei Fragen: welche von ihnen in der in Betracht kommenden Zeit hier überhaupt zu nennenswerter Wirkung gelangt seien, und welches dann die Art und das Ausmass ihrer Wirkungen gewesen sei. Gletschereis kann hier nur während der diluvialen Vereisung gewirkt haben und nur da, wo es vorhanden

war. Pflanzenwuchs kann sich auf der für die Steinkessel wohl allein in Betracht kommenden schlesischen Seite des Gebirges wegen deren Steilheit erst verhältnismässig spät nach dem Verschwinden der Vereisung eingestellt haben. Rein mechanische Wirkungen sind hier nur von untergeordneter, nebensächlicher Bedeutung und werden entsprechend berücksichtigt werden. Die übrigen Wirkungen hängen in ihrem Mass und teilweise auch in ihrer Art auch vom Klima ab und nötigen daher zu einem Eingehen auch auf dieses.

Für die fernere Einteilung des Stoffes können verschiedene Rücksichten in Betracht kommen. Ich werde, da die Arbeit nicht für Schüler bestimmt ist, die wählen, die mir die geringste Zahl von Worten zu ermöglichen scheint.

Die Pflanzenwirkung.

Nach meinen hiesigen Beobachtungen wird durch die Pflanzenwirkung im ganzen die Unebenheit der Gesteinsoberfläche vermindert.

Wenn man von der frischen Bruchfläche ausgeht, dann erzeugt Verwitterung zunächst die leichte Trübung, die die Bruchfläche nicht mehr frisch erscheinen lässt. Weiterhin wird die Bruchfläche durch Verwitterung immer unebener, indem die leichter verwitterbaren Mineralien früher herauswittern, um schliesslich anzulangen entweder bei der zu Grus zerfallenden Gesteinsmasse, oder bei der festen Oberfläche, aus der (oft zollgrosse) Orthoklase zackig herausragen.

Wendet man sich nun der Pflanzendecke zu, da gewahrt man eine umgekehrte Stufenreihe. Zunächst zeigt sich die noch völlig zackige, feste Oberfläche des Gesteins mit dünnen, kleinen Flechten spärlich bedeckt. Darauf folgt ein mächtigerer, geschlossener Flechtenüberzug und darauf dann Moose von verschiedener Art und

Mächtigkeit. Hebt man in dieser Reihenfolge die Pflanzenpolster ab, da zeigt sich die Zackigkeit der Gesteinsoberfläche immer mehr vermindert, bis schliesslich unter einer, ein paar Zentimeter mächtigen, von den Wurzeln der darauf wuchernden Moose durchsetzten Boden- und Grusschicht eine geschlossene, glatte Gesteinsoberfläche liegt. Hiernach hat es den Anschein, dass die Pflanzenwirkung die Gesteinsoberfläche in gerade entgegengesetztem Sinne beeinflusse, wie die Verwitterung, dass sie die Orthoklasse grade aufzehre, die der Verwitterung am meisten trotzen.

Ist diese Vermutung richtig, dann würde man weiter vermuten können, dass die Lebensbedingungen für diesen Pflanzenwuchs um so günstigere seien, je zackiger die Gesteinsoberfläche ist und daraus wäre weiter zu vermuten, dass die durch die Verwitterung verursachten Unebenheiten durch den Pflanzenwuchs wieder abgeebnet werden und dass die Pflanzen von den Stellen durch sie verminderter Lebensvorteile zu den durch die Verwitterung vermehrter Lebensvorteile, von den ebeneren zu den unebeneren Stellen der Gesteinsoberfläche wandern. Diese einfachen Beziehungen werden aber verwickelt dadurch, dass die übrigen Bedingungen, von denen der Pflanzenwuchs abhängt, für verschiedene Stellen der Gesteinsoberfläche verschieden liegen, wie Befeuchtung, Luft, Belichtung, Beschattung. Immerhin scheint eine Bestätigung für das Gesagte darin zu liegen, dass ich irgend einen Parallelismus zwischen dieser Pflanzendecke und den grösseren Unebenheiten der Gesteinsoberfläche nicht habe feststellen können. Dies führt hier noch zu einer Rangordnung der Unebenheiten. Es müssen unterschieden werden die Unebenheiten, die durch verschieden rasches Auswittern der verschiedenen, einzelnen Mineralien entstehen, von den Unebenheiten die mehr oder weniger grosse Abschnitte der Gesteinsoberfläche, ohne Rück-

sicht auf die einzelnen Mineralien betreffen. Ich will die ersteren hier Mineralunebenheiten, die letzteren Gesteinsunebenheiten nennen. Dann zeigt sich also wohl ein Parallelismus (und damit zunächst die Vermutung einer Abhängigkeit) zwischen Pflanzenwuchs und Mineralunebenheiten, nicht aber zwischen Pflanzenwuchs und Gesteinsunebenheiten. Während bei dem einen Gesteinsblock die höchsten Kanten dicht mit Moosen besetzt und die geneigten Seitenflächen von Moosen frei und nur mit spärlichen Flechten besetzt sind, ist es bei einem anderen Block gerade umgekehrt und während an der einen Stelle Gesteinsvertiefungen mit Moospolstern ausgefüllt und die benachbarten Gesteinserhöhungen moosfrei sind, ist es an einer anderen Stelle gerade umgekehrt. An der einen Stelle ist die (später zu erläuternde) Stufenrinne mit einem langen, schmalen Moosstreifen versehen, während die Stufenwände frei sind, an der anderen Stelle ist es umgekehrt. Nirgends aber entsprach hierbei dem Rande des Moospolsters ein Rand im Gestein. Hier ergeben sich also auch für den Botaniker und den Pflanzenphysiologen entsprechende Reihen von Aufgaben. Bei lockerem Granit konnte ich mehrfach beobachten, dass während die nicht von Pflanzen bedeckten Stellen schon anfangen zu Grus zu zerfallen, dieselben Schalenschichten unter der Moos- und Bodenschicht noch geschlossen und glatt waren.

Es erübrigt nun noch die Frage, wie der Pflanzenwuchs auf bereits vorhandene, deutlicher ausgesprochene Vertiefungen wirke. Bei flachen Vertiefungen werden auch die Ränder von der Moosdecke überwuchert. Hier kann also der Pflanzenwuchs ebenfalls nur ebenend, Unebenheiten vermindern wirken. Etwas anders stellt sich die Sachlage bei solchen tieferen Vertiefungen, in denen Wasseransammlungen längere Zeit sich halten. Diese sind mitunter mit ganz besonders kräftig wuchernden

Moospolstern ausgefüllt. Vor Jahren fand ich bei einer der schon von Mosch beschriebenen „Opferkessel“-gruppen in der Gegend des Predigersteins derartige wasser- und moosgefüllte Vertiefungen, deren Boden nicht in sanfter Krümmung in die Seitenwände übergang, sondern mit einer, wenn auch stumpfen Kante, dagegen absetzte. Hier glaubte ich endlich eine entsprechende Mooswirkung erwischt zu haben. Aber seitdem habe ich andere wasser-erfüllte Vertiefungen mit ebenso kräftigen oder noch kräftigeren Moospolstern beobachtet, deren Boden in der üblichen sanften Krümmung in die Seitenwände übergang. Hier gerade, wo eine länger andauernde Wasseransammlung eine besonders kräftige Moosentwicklung zeitigt, müsste, wenn Moos Vertiefungen im Gestein zu erzeugen vermöchte, dies besonders deutlich in die Erscheinung treten. Nichts dergleichen ist wahrzunehmen.

Dass auch mit Moos ausgefüllte Löcher vorkommen, beweist noch nicht, dass diese Löcher durch Moos erzeugt sind, da sie ja auch schon vorher vorhanden gewesen und auf andere Weise erzeugt sein können. Die Wirkungen dagegen, deren Pflanzenwuchs überhaupt fähig ist, müssen, unter sonst gleichen Bedingungen, überall eintreten und also vorhanden sein. Wenn der Pflanzenwuchs im Granit Vertiefungen zu erzeugen im Stande wäre, dann müssten überall unter den sehr verschieden gestalteten Moospolstern entsprechend verschiedengestaltete Vertiefungen liegen, namentlich würden die schmalen (oft nur ein Paar Zentimeter breiten) Moosstreifen in den Stufenrinnen entsprechend schmale, lange Schlitze im Gestein herstellen müssen. Das gerade Gegenteil ist der Fall. Nach meinen hiesigen bisherigen Beobachtungen kann das Schlussergebnis nur lauten, dass der Verwitterung gegenüber, der Pflanzenwuchs ebenend und schützend, die Geschlossenheit der Gesteinsoberfläche vermehrend wirkt.

Das Klima.

Die Klimafrage ist die Vergletscherungsfrage überhaupt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann sie nur kurz gestreift werden. Auch verweise ich auf meinen früheren Aufsatz.

Nach dem jetzigen Stande der Erkenntnis erscheint mit grösster Wahrscheinlichkeit die diluviale Vergletscherung wohl als eine, die ganze Erde betreffende Erweiterung der jetzigen Vergletscherung, wie sie sich in der Hauptsache am einfachsten wohl durch einen tieferen Stand des Meeresspiegels erklären würde, vielleicht unter nebensächlicherer Mitwirkung noch anderer Faktoren, und also indem die Stellung der Rotationsaxe im Erdkörper dieselbe war, wie heut.

Ausgedehnte Einbrüche und Senkungen des Meeresbodens aber hätten wohl nichts befremdendes, einmal gegenüber der lebhaften Vulkantätigkeit in der Tertiärperiode im besonderen, und dann gegenüber der Tatsache im allgemeinen, dass die Meeresbecken mit ihren gewaltigen, selbst 7000 Meter überschreitenden Tiefen ja doch eben Senkungen und Einbrüche gegenüber dem Festlande darstellen. Es dürfte aber schon eine vergleichsweise recht kleine Senkung des Bodens eines der grossen Meeresbecken ausreichen die ganze Eiszeit zu erklären. Wer Zeit und Neigung dazu hätte, sollte einmal eine Rechnung darüber aufmachen. Für den Meeresspiegel und die damaligen Uferstrecken, die nach dem Meeresrelief, gegenüber dem jetzigen Landbestande, nicht sehr ausgedehnt gewesen sein können, hätte dann ungefähr dasselbe Klima bestanden, wie heut. Damit wäre der Forderung der nötigen Feuchtigkeit der Luft entsprochen, namentlich da, wie ich in meinem früheren Aufsatz für den nordatlantischen Ozean gezeigt habe, manche Meeresteile noch wärmer hätten werden müssen, wie heut. Ob

die Schwankungen in der diluvialen Vereisung sich schon allein erklären würden durch Wiederauffüllung des Meeresbodens, vielleicht im Verein mit Faltungsvorgängen, und durch erneute Einbrüche, oder ob dafür noch andere Faktoren in Frage zu ziehen wären, dafür würde die Zeitdauer der Perioden mit ins Gewicht fallen.

Das Höherrücken auch der diluvialen Vergletscherungsgrenze in Europa und Asien nach Osten zu, ebenso wie heut, verleiht jedenfalls der Annahme eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass die Luftdruckmaximum- und -Minimumwirtschaft über Europa-Asien und danach auf der ganzen Erde, in der Hauptsache dieselbe war, wie heut, dass also die das Wetter bedingenden Faktoren: Lage der Erdaxe, Lage und Ausdehnung der Erdteile u. s. w. im wesentlichen dieselben waren wie heut, nur dass der Meeresspiegel, gegenüber den Landgebieten, eine entsprechend tiefere Lage hatte, wie heut.

Dass auch für die Wetterverhältnisse Perioden bestehen, die mit grösster Wahrscheinlichkeit durch periodische Zustandsänderungen der Sonne bedingt sind, ist schon aus allgemeinen Gründen in hohem Grade wahrscheinlich. Aber für den blossen Analogieschluss von den mehr oder weniger wahrscheinlichen fünfunddreissigjährigen Perioden (Brückner) auf periodische Eiszeiten der Erde, wenn er mehr als eine Frage sein soll, fehlt bis jetzt wohl jede Begründung. Mit vielleicht noch etwas grösserer Wahrscheinlichkeit, auf Grund der bekannten Erscheinungen, liesse sich dem die Frage gegenüberstellen, ob die Einbrüche der Erdkruste sich gleichmässig über die Zeiten verteilen oder nicht vielleicht auch darin eine einfache oder mehrfache Periodizität bestehe, die dann wieder ihre Ursachen hätte.

Die von manchen als Vergletscherungsursache angenommenen Bewegungen Skandinaviens vermögen die Vergletscherungen der übrigen Gebiete nicht zu erklären.

Ein Phänomen, das die ganze Erde umspannt, aus einem einzigen Vorkommnis deuten zu wollen, ist ein arger Verstoss gegen die Logik, wie ich schon in meinem ersten Aufsatz, Seite 830, hervorgehoben habe. Die Rolle, die dabei dem Druck zudedacht ist, den die Eisdecke ausüben soll, scheint auch weniger in den Gesetzen der Mechanik und in sorgfältiger Rechnung begründet zu sein, als in dem I bersehen dieser, und die kalten Wasserströme beeinflussen ebensowenig, wie der Golfstrom das Klima der in Frage kommenden Gebiete unmittelbar, vielmehr geschieht dies nur mittelst ihrer Beeinflussung der Luftdruckmaximum und -Minimumwirtschaft. Wohl nur die Niveauänderungen können mit genügender Sicherheit auf Bewegungen Skandinaviens zurückgeführt werden, die sich durch Schwankungen des Meeresspiegels nicht auch erklären lassen, und nach jener Eisdruckhypothese würden beispielsweise die Gebirge auch infolge der Verwitterung wohl immer höher werden müssen, infolge der Druckentlastung durch die Fortführung der Sedimente, und die Tiefländer müssten erst recht in die Höhe schnellen und die Einsenkungen, wie das tote Meer, würden wohl schon fast wie Geschosse in die Höhe fliegen müssen. Ausserdem käme noch in Frage, ob die Entlastung durch das Moränenmaterial nicht vielleicht sogar grösser war, als die Belastung durch die jeweilige Eis- und Schneedecke.

Die von S. Arrhenius begründete und von F. Frech weiter verfolgte Kohlensäurehypothese*) ist angesichts der tropischen, tertiären Pflanzenwelt in hohen Breiten sehr bestechend. Aber gegen ihre Verwertung für die Erklärung der Eiszeit erheben sich einige Bedenken. Zunächst beruht der Ausgangsgedanke für diese Verwertung, nämlich, dass wenn Vermehrung der atmosphärischen

*) F. Frech. „Studien über das Klima der geologischen Vergangenheit.“ Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin Jahrgang 1902. Heft 7 und 8.

Kohlensäure die Wärme an der Erdoberfläche vermehrt, Verminderung der atmosphärischen Kohlensäure die Wärme an der Erdoberfläche so vermindern müsse, dass schliesslich selbst Eiszeiten entstehen, wohl auf einer Verwechslung. Die positive Zahlenreihe geht nur bis zur Null, nicht über die Null nach der negativen Seite hinaus. Die atmosphärische Kohlensäure wirkt nach Arrhenius für die Erde in gewissem Sinne ähnlich, wie ein Pelz für den menschlichen Leib, nur dass hier die Wärme durch die Lebensvorgänge, dort durch die Sonnenstrahlen erzeugt wird. Sie vermindern beide, entsprechend ihrer Dichte, die Einwirkung der anderen klimatischen Faktoren. So wenig nun das Ausziehen des Pelzes ein Erfrieren des Leibes im heissen Sommer verursachen würde, so wenig verursacht die Verminderung der atmosphärischen Kohlensäure eine Vereisung, vielmehr macht sie nur den übrigen klimatischen Faktoren entsprechend die Bahn frei, von denen es dann lediglich abhängt, ob eine Vereisung eintritt oder nicht. Diese Erwägung scheint in folgenden Wahrnehmungen eine Bestätigung zu finden. Wenn der von Arrhenius erschlossenen positiven Wirkung der Kohlensäure eine entsprechende negative gegenüberstände, dann hätte die Vereisung der Erde viel allgemeiner und ausgedeiteter sein müssen, als sie nach den bis jetzt vorliegenden Feststellungen gewesen ist, dann würde es beispielsweise kaum erklärbar sein, dass Böhmen und überhaupt das ganze Gebiet zwischen den Alpen und der nordischen Vereisung nicht vereist war. Durch die negative Kohlensäurehypothese müsste die Abhängigkeit der Vergletscherung von der Höhe über dem Meeresspiegel viel mehr vermindert sein, als den tatsächlichen Befunden (in den deutschen Mittelgebirgen, im Kaukasus, in den asiatischen Hochgebirgen u. s. w., entspricht. Dagegen hätte diese (hypothetische) allgemeine Herabdrückung der Temperatur doch eine entsprechende Her-

abdrückung der Luftfeuchtigkeit und damit der Vergletscherungsmöglichkeit bewirken müssen.

Schon aus allgemeinen Gründen ist es wahrscheinlich, dass auch der Kohlensäuregehalt der atmosphärischen Luft vielleicht mehrfachen periodischen Schwankungen unterliege. Aber auch gegenüber einer so grundstürzenden Kohlensäurevermehrung, die die Polarforscher nächstens vielleicht dort unter Palmen wandeln liesse, erheben sich einige Bedenken. Gegenüber dem Kubikinhalte der atmosphärischen Luft der Erde erscheinen auch die Vulkanröhrchen und -Felderchen der Tertiärperiode doch wohl etwas gar sehr winzig. Es lohnte sich doch darüber einmal eine Rechnung aufzumachen für den, der Zeit und Neigung dazu hätte. Je längere Zeit aber nötig würde für die Leistung der erforderlichen Kohlensäuremenge, desto mehr würde davon doch wieder durch Vermehrung des Pflanzenwuchses u. s. w. verbraucht werden. Hiernach scheint dies Kohlensäureergebnis wohl geeignet, neues Licht zu verbreiten, aber noch nicht geeignet, die Eiszeit zu erklären. Dieses Forschungsergebnis wird eben kein anderes Schicksal haben, als andere neue Gedanken. Zuerst vergeht mehr oder weniger lange Zeit, ehe der Verstand anderer ausreicht, den neuen Gedanken begreifen zu können, und dann verfällt man zunächst in eine Überschätzung seiner Bedeutung. Die allgemeine (schon von Herbert Spencer vor einem halben Jahrhundert begründete) Periodizität tritt eben auch hier in Erscheinung.

Hiernach ist es wohl das wahrscheinlichste, dass für das Riesengebirge zur Eiszeit ein Klima bestand, als ob es heut einige hundert Meter höher über dem Meeresspiegel läge, dass also weder Tropenklima, noch Polar-klima für es in Betracht komme. Im Interesse der Vollständigkeit soll aber in Hinsicht der Verwitterungsvorgänge doch auch ein Seitenblick auf jene Klimate geworfen werden.

Übrigens habe ich in meinem früheren Aufsatz, Seite 860, ein Verfahren gekennzeichnet, das eine zahlenmässige Feststellung des Klimas der Eiszeit ermöglichen würde. Dieser Gedanke scheint noch nicht die geringste Beachtung gefunden zu haben. Mit dem Interesse der Wissenschaft ist nur entweder der Nachweis seiner Verfehltheit oder seine Verwertung vereinbar. Danach scheint sich dieser Gedanke bis jetzt noch im ersten Stadium der eben erwähnten Periode zu befinden.*)

Die Wirkungen bewegten Eises, bewegten Wassers und bewegter Luft.

Die drei Träger der nicht sehr verschiedenen Bewegungserscheinungen sind auch nicht sehr verschieden von einander, und für jeden kommen hier in Betracht die Wirkungen, die er allein oder mittelst Gesteinsmaterials ausübt und entweder in lockeren Massen oder in festem Fels. Schon am besten aufgeklärt, aus Anlass der Wasserbautechnik, sind

die Wirkungen bewegten Wassers.

Das Gewicht fester Körper vermindert sich im Wasser um das Gewicht des verdrängten Wassers, bei ganzem Eintauchen also das spezifische Gewicht um 1. Bei Bewegung des einen in bezug auf das andere sind der Wasserstoss und der Wasserwiderstand proportional dem normalen Querschnitt des Steins, also bei auch drehender Bewegung desselben, proportional der zweiten Potenz seines mittleren Durchmessers (proportional dem Gewicht der Wassersäule des Querschnitts in der Zeiteinheit). Die Bewegungsgrösse des Steins dagegen ist proportional seiner Masse, also proportional der dritten Potenz seines mittleren Durchmessers und proportional seinem spezifi-

*) Ähnlich steht es auch noch mit einem Vorschlage, den ich auf dem 8. internationalen Geologenkongress vorgebracht habe. (Wie sollte dadurch nicht die Erinnerung an Schopenhauer aufgezwungen werden.)

schen Gewicht. Auf dieser Differenz zwischen zweiter und dritter Potenz beruht es ja auch, dass spezifisch schwerere Körper im Wasser und in der Luft sich mehr oder weniger lange schwebend erhalten können. Hiernach und nach der Gewichtsverminderung im Wasser ist es daher auch nichts weniger als überraschend, dass selbst grosse Felsblöcke durch Gebirgsbäche weiter bewegt werden, sofern sie nur genügend eintauchen. Lockere Massen aber, wie Ton, Sand, Kies, Schotter u. s. w., werden aus diesen Gründen den besonderen Bewegungsvorgängen entsprechende Gleichgewichtsflächen bilden, deren Gesetzmässigkeit aus Anlass der Wasserbautechnik auch schon grossenteils ihre Aufklärung gefunden hat. Eine dieser Beziehungen, die später noch Erwähnung finden wird, ist das sogenannte Gesetz der Serpentinbildung strömenden Wassers.

Für die Wirkungen bewegten Wassers auf festen Fels kommt auch die Adhäsion in Betracht, also dass eine an dem festen Körper haftende Wasserschicht sich bildet, so dass die Reibung nicht lediglich zwischen Wasser und Fels, sondern in erheblichem Masse zwischen dieser haftenden Wasserschicht und dem übrigen Wasser erfolgt. Diese haftende Schicht wirkt also wie ein schützendes Polster. Ein erheblicher Teil der Bewegungsgrösse wird schon durch diese haftende Schicht verzehrt. Beim Sandgebläse beispielsweise wird die feste Fläche unmittelbar durch die geschleuderten Projektile angegriffen. Bewegtem Wasser gegenüber dagegen wirkt zunächst die haftende Wasserschicht als Puffer und Verteiler des Stosses. Steht dann ausserdem noch eine mehr oder weniger mächtige Wasserschicht über der Felsfläche, so wirkt dies immer mehr als Schutz des Felsens, indem die Bewegungen in andere Richtungen umgesetzt werden und der Druck sich nach allen Seiten verteilt. Hiernach ist die mechanische Wirkung bewegten blossen Wassers

auf festen Fels entsprechend geringfügig. Anders liegt die Sache, wenn der Fels bröckelig ist (oder durch chemische und thermische Wirkungen allmählig geworden ist). Dann wird jeder einzelne Brocken, samt der haftenden Wasserschicht, je nach der Bewegungsgeschwindigkeit, durch das bewegte Wasser herausgewuchtet: dann tritt also der Fall lockerer Massen ein.

Zur mechanischen Einwirkung auf festen Fels bedarf bewegtes Wasser des Mittels der Reibsteine. Für diese kommen nun aber die vorhin erwähnten zweiten und dritten Potenzen und die Gewichtsverminderung im Wasser zur Geltung. Insoweit danach das Gesteinsmaterial im Wasser frei schwebt, kann es überhaupt keine Wirkung auf festen Fels ausüben, und wenn es schwebend nur seitlich an einer Felsfläche vorbei bewegt wird, kann die Wirkung nur entsprechend geringfügig sein und da es sich um zeitlich begrenzte Vorgänge handelt, nicht unbegrenzt wachsen. Danach wird das Gesteinsmaterial hauptsächlich unter der Wirkung der Erdschwere, also nach unten wirken, und ausserdem, wo es durch die Heftigkeit der Strömung gegen eine Felsfläche geschleudert wird. Feineres Gesteinsmaterial wird hierbei namentlich dann wirken, wenn es durch darüber lastendes Material am Ausweichen (am Schweben) gehindert ist. Gröberes Material wird reibend und kritzend, feineres, massenhaft vorhandenes, schleifend wirken. Das Gesteinsmaterial wird hierbei, seiner Dicke und Festigkeit entsprechend, rasch selbst zerrieben werden. Nennenswerte Wirkungen können daher nur eintreten, wo es ausreichend erneuert wird.

Von Bewegungsarten können hier unterschieden werden: Der Wassersturz, die Wasserströmung und der Wasserstrudel. Die Wirkungen der Wellenbewegung auf das Ufer fallen, wie sich zeigen wird, schon unter die vorgenannten Arten der Bewegung.

Dem Wassersturz wird nur der (ungefähr normale) Aufschlag des Wassers zugerechnet vom Regentropfen bis zum Wasserfall oder dem Auftreffen von Wasserstrahlen in anderer Richtung. Stromschnellen gehören danach zur Wasserströmung. Die Wirkungen des Wassersturzes auf lockere Massen fallen wegen der Bewegungen, die sie in diesen alsbald erzeugen, unter die Wirkungen der Wasserströmung. Es bleiben also hier nur die Wirkungen des Wassersturzes auf festen Fels zu betrachten.

Das Sprichwort: „Steter Tropfen höhlt den Stein,“ bringt allerdings eine Erfahrungstatsache zum Ausdruck. Aber das vorhin vorgebrachte lässt die mechanische Deutung dieser Wahrnehmung zunächst nicht sehr wahrscheinlich erscheinen, lenkt die Vermutung vielmehr auf chemische und thermische Folgewirkungen, und die Tatsache, dass es Gebirge auf der Erde überhaupt gibt, neben anderen Tatsachen, beseitigt einfach jene mechanische Deutung. Wenn man sich die Regengüsse zu vergegenwärtigen sucht, die seit der Bildung der festen Erdkruste auf diese niedergegangen sind, dann hätten, nach jener mechanischen Deutung, die durch mechanische Vorgänge entstandenen Gebirge durch den Aufschlag der Regentropfen wohl ebenso rasch wieder beseitigt werden müssen, als sie entstanden, denn für jede Erhöhung fehlte ja eine darüberstehende Wasserschicht, wenn auch nicht die haftende, und die eruptiv entstandenen Erhöhungen hätten immer nur kurzen Bestand haben können.

Wenn man dann neben einem mächtigen Wasserfall steht, wozu für uns auf der skandinavischen Halbinsel die reichlichste Gelegenheit geboten ist, und die Empfindung hat, als ob die ganze Umgebung unter der Wucht der donnernd stürzenden Wassermassen erbebe, und man forscht dann nach den mechanischen Wirkungen, da wird man unwillkürlich an das in der Sexta erlernte

Sprüchlein von den kreissenden Bergen und der Maus erinnert. Die summarische Bewegungsgrösse der stürzenden Wassermassen lässt sich unschwer berechnen. Danach lässt sich auch berechnen, eine wie dicke und breite Felsbank von ermitteltem Festigkeitskoeffizienten dadurch abgebrochen werden würde, wenn sie unterhöhlt wäre. Aber fester Fels kann dadurch wohl abgebrochen werden, wenn er hohl liegt; aber er wird nicht in Trümmer zerschlagen. Wenn dann das Wasser nicht unmittelbar auf den Fels (auf die haftende Schicht) stürzt, sondern auf eine mehr oder weniger mächtige Wasserschicht, dann ist offenbar schon bei sehr geringer Dicke dieser im Verhältnis zur Bewegungsgrösse des Wassers die mechanische Einwirkung des Sturzes auf den Fels so gut wie aufgehoben. Die Druckverteilung erfolgt nach allen Seiten und die stürzende Bewegung wird in andere Richtungen umgesetzt und es handelt sich nur noch um die Wirkungen strömenden Wassers. Andernfalls müsste ja auch ein einigermassen mächtiger Wasserfall ein immer tiefer werdendes Loch in die Erde schlagen, bis das stürzende Wasser jenseits einer gewissen Tiefe, als überhitzter Wasserdampf gewaltige chemische Wirkungen hervorbringen würde. Man könnte sich so in seinem Garten nach Belieben nicht nur heisse Quellen erzeugen, sondern auch die begehrtesten Stoffe aus dem Erdinneren heraufholen. Das einzige Staunenswerte gegenüber der Bewegungsgrösse stürzender Wassermassen ist die Geringfügigkeit ihrer mechanischen Wirkung auf festen Fels, und den Fabeleien anderer über die mechanischen Wirkungen, die bewegtes blosses Wasser auf festen Fels ausüben soll, fehlt jede Begründung. Damit ist in Hinsicht der Steinkessel auch die Tröpfelhypothese, wie ich sie der Deutlichkeit halber kurz nennen will, zunächst in betreff der mechanischen Wirkungen beseitigt. Mit blossem Wasser ist es hier also nichts. Aber die schon ange-

fürten Tatsachen lehren, dass auch mittelst Reibsteinen der Wassersturz keine Löcher in die Erde bohrt. Selbst wenn stürzendes Wasser mittelst der Reibsteine den Grund zunächst vertiefen sollte, so wächst damit die über dem Grund stehende Wasserschicht. Damit wird der Aufschlag der Steine zunächst gebrochen und durch die Umsetzung der heftigen Bewegung in die seitliche Richtung werden die Reibsteine ebenso rasch wieder hinaus und weiter befördert, wie sie hineingelangen, sodass sie dann den Grund des Wasserfalles nicht stärker angreifen können, wie das übrige Flussbett. Auch auf diese Weise können also keine Steinkessel erzeugt werden. Hierauf wird später noch bei der Gletschermühlentheorie zurückgekommen werden.

Die Wasserströmung.

Strömendes Wasser stellt in lockeren Massen, wie schon bemerkt, Gleichgewichtsflächen her und in festem Fels bedarf es für mechanische Einwirkung des Mittels der Reibsteine. Für eine später zu erörternde Frage kommt auch das sogenannte Gesetz der Serpentinbildung in Betracht. Diese Serpentinbildung beruht darauf, dass die aus lockeren Massen bestehenden Ufer eines fliessenden Gewässers nicht an allen Stellen gleich leicht angreifbar sind. Wenn das nun an irgend einer Stelle einen stärkeren Eingriff, eine noch so geringfügige Auskolkung zur Folge hat, so verstärkt dies nun seinerseits diese Wirkung. Die ursprüngliche Auskolkung lenkt die Strömung an dieser Stelle unter immer grösserem Winkel gegen das Ufer, wodurch dies immer stärker angegriffen und in Abbruch versetzt wird, und dies lenkt wieder einen immer stärkeren Strom unter immer grösserem Winkel gegen das Ufer. Hat dieser Vorgang an irgend einer Stelle einmal eingesetzt, dann wächst er sozusagen aus sich heraus immer mehr. Aber mit dieser wachsenden Auskolkung an der einzelnen Stelle ist der

Vorgang noch nicht zu Ende. Sobald die Auskolkung gross genug geworden ist, hat dies auch eine Ablenkung der Strömung (des Stromstrichs) des ganzen Gewässers, in der Richtung auf das andere Ufer zur Folge und dies ruft an entsprechender Stelle eine korrespondierende Auskolkung hervor, und so fort. Der entsprechende Vorgang vollzieht sich gleichzeitig auf dem Grunde des Gewässers, wobei die lockeren Massen im Strömungsschatten abgelagert werden. Ein ursprünglich gradliniger Flusslauf verwandelt sich auf diese Weise in einen Flusslauf in Schlangenlinie, bei dem die Schleifen immer mehr wachsen, bis deren Fusspunkte einander so nahe kommen, dass dort ein Durchbruch erfolgt, also eine Selbstregulierung eintritt, die Schleife abgeschnitten und der Flusslauf an der betreffenden Stelle wieder gerade gelegt wird. Mit Rücksicht auf die später zu erörternde Frage der Strudelochspiralen soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass dies die Wirkungen eines frei und unausgesetzt, linear dahinfließenden Wasserstromes sind. Etwas ganz anderes ist eine rotierende Wassermasse.

In festem Fels bedarf auch fließendes Wasser des Mittels der Reibsteine, um mechanische Wirkungen hervorzubringen. Quantitative Feststellungen sind mir noch nicht bekannt geworden. Um reine Werte zu erzielen, müssten chemische oder thermische Nebenwirkungen dabei ganz oder so gut wie ausgeschlossen sein. Wenn man das früher über die Differenzen Gesagte berücksichtigt, wird man die Wirkung nicht überschätzen. Bei natürlichen Gewässern sind ja auch stets chemische und thermische Wirkungen mit im Spiel, aber bei festem Fels stehen diese doch sozusagen im Dienste der Reibsteine. Da zeigt sich nun im Vergleich zu den Gewässern in lockeren Massen, dass auch hier die Serpentinbildung Platz greift, aber in viel engerem Spielraum, dass die Ufer im ganzen senkrecht oder nach der etwaigen Schich-

tung des Gesteins geneigt sind, und infolge der Serpentinbildung sogar überhängend, unterhöhlt werden können, und dass das Flussbett schmalere ist.

Der Wasserstrudel.

Der Wasserstrudel liefert, wie sich zeigen wird, den allein haltbaren Schlüssel für die Entstehung auch der Steinkessel. Aber von den drei Arten der Bewegung ist er noch am wenigsten erforscht. Daher muss er hier ausführlicher behandelt werden. Als ein Anhalt bietet sich dabei das schon besser erforschte Verhalten rotirender, fester Körper. Der Wasserstrudel ist eine rotierende Wassermasse mit im Gleichgewicht lotrechter Rotationsaxe. Erzeugt können Strudel werden zunächst durch Rotation eines eingetauchten, festen Körpers. Dies Mittel eignet sich für das Experiment um so mehr, als es leicht eine unmittelbare, willkürliche Feststellung der Rotationsgeschwindigkeit, des Strudeldurchmessers, u. s. w. ermöglicht. Dann entstehen Strudel an der Reibungsfläche zweier Wasserströme von verschiedener Geschwindigkeit. Diese Strudel schwimmen mit dem Strom weiter. Sie kommen daher hier nicht weiter in Betracht, da Strudellöcher stehende, an demselben Ort beharrende Strudel bedingen. Solche können noch erzeugt werden, wenn ein Wasserstrom auf ein solches Hindernis trifft, das ihn zur Umkehr zwingt, nicht schon durch eine stehende Welle überwunden wird. Das kann sowohl auf der Stosseite des Hindernisses, wie im Strömungsschatten der Fall sein. Den Anlass dazu können sowohl Emporragungen, wie auch Vertiefungen im Flussbett abgeben.

Für rotierende feste Körper gilt das Gesetz von der Stabilität der freien Axen. Mit dem Wasserstrudel handelt es sich nun nicht um einen festen Körper, sondern um eine flüssige Masse. Mit dieser Einschränkung müssen die Rotationsgesetze auch hier gelten. In der rotir-

enden Wassermasse ist die Strömungsrichtung stabiler, weniger leicht ablenkbar, als in dem linear frei dahin fließenden Gewässer. Bei einem, um eine freie Axe rotierenden, festen Körper hat diese, wenn keine andere Kraft auf den Körper wirkt, das Bestreben ihre Richtung im Raum beizubehalten. Wirkt eine ablenkende Kraft dauernd auf den Körper ein, wie beispielsweise die Erdschwere auf den schief gestellten Kreisel, dann beschreibt die Rotationsaxe einen Kegelmantel um die Richtung, die sonst die freie Axe behauptet haben würde. Wird, beispielsweise beim Kreisel durch die Reibung der Spitze am Boden, die betreffende Bewegung allmählich aufgezehrt, dann richtet er sich, unter der Wirkung der Erdschwere, allmählich so auf, dass die Rotationsaxe schliesslich lotrecht steht. Ganz entsprechend muss sich eine rotierende Wassermasse verhalten, bei der die Reibung sogar ringsum erfolgt, und schon mittelst des Theelöffels in der Theetasse kann man sich experimentel davon überzeugen.

Blosses Wasser würde in reinem Eise Strudelöcher erzeugen können. Es würde das da, wo man über die nötigen Mittel und die nötige Zeit verfügte, leicht durchexperimentiert werden können. Bei Oberflächenschmelzwasserströmen auf Gletschern sind ja hierher gehörige Erscheinungen zu beobachten. Aber das Eis pflegt nie rein zu sein. Die Darlegung des Strudelmechanismus wird daher durch solche gelegentliche Beobachtungen weniger gefördert.

Bei lockeren Massen wird es sich wiederum nicht bloß um Ausschürfung, sondern auch um Anschüttung handeln. Es müssen sich die der betreffenden Strudelwirkung entsprechenden Gleichgewichtsflächen bilden. Hier muss also die Strudelwirkung, als solche, die reine Strudelwirkung, zu besonders einwandfreiem Ausdruck kommen. Da will ich schon hier auf ein Gespenst auf-

merksam machen, das neben anderen noch immer in der Strudelfrage spukt, nämlich auf die „Spiralen“. Wo hat irgend jemand schon in Strudellöchern, in lockeren Massen Spiralen beobachtet, und wie sollten sie da auf Grund der bekannten Gesetze der Dynamik sich erklären lassen? Hierher gehörige Erscheinungen lassen sich beobachten bei Auskolkungen an Gewässern, bei Durchbrüchen bei Hochwässern und ferner werden die Sölle als Strudellöcher gedeutet. Auch diese Sache würde sich sehr leicht durchexperimentieren lassen. Mein Experimentierapparat beschränkt sich notgedrungen auf ein Glas Wasser, einen Theelöffel, einige Schrotkörner und etwas Sand.

Die Hauptsache, um die es sich hier handelt, sind nun die Strudellöcher in festem Fels, und zu deren Ausschürfung bedarf das Wasser wiederum des Gesteinsmaterials als Werkzeug. Zunächst muss der feste Fels, in dem ein Strudelloch entstehen soll, überhaupt zugänglich sein, blosliegen. Es werden sich aus dieser Bedingung später wichtige Beziehungen für die Lage von Strudellöchern ergeben. Dann kann das Gesteinsmaterial, das im Wasser frei schwebt, auch hier nicht wirken, sondern nur das Gesteinsmaterial, das entweder unter der Wirkung der Erdschwere auf dem Boden reibt (also lotrecht nach unten) oder das durch die Gewalt der Strömung oder durch darüber lastendes Material gegen den Fels gepresst wird. Für das Verhalten des Gesteinsmaterials kommt ferner in Betracht, ob und welche Strömungen in der im ganzen rotierenden Wassermasse vorhanden sind. In Bezug auf die endgiltige Gestalt des Strudelloches wird ferner noch unterschieden werden müssen zwischen der ursprünglichen Erzeugung des Loches und seinen nachträglichen Änderungen, insoweit es bereits erzeugt ist.

Von einer wissenschaftlichen Erklärung des Vor-

ganges kann nur dann und nur insoweit die Rede sein, als er auf die sichergestellten Gesetze der Dynamik zurückgeführt ist, nicht auf willkürlich aus der Luft gegriffene Phantastereien. Den Ausgangspunkt jedes wissenschaftlichen Erklärungsversuches muss hier das Verhalten des einzelnen Steins im Strudel bilden. Dafür kommen in Betracht: die früher erwähnten Differenzen, die haftende Schicht und die Bewegungsbedingungen des Strudels.

Der einfachste Fall ist ein Wasserstrudel, dessen Rotationsaxe lotrecht steht, bei dem also jedes Wasserteilchen einen wagerechten Kreis um die Rotationsaxe beschreibt. Die Tangentialgeschwindigkeit ist in der Rotationsaxe gleich Null und wächst proportional dem Halbmesser und der Rotations- (Wickel-)geschwindigkeit. Wegen der Reibung wird ferner in einem Kessel die Rotationsgeschwindigkeit von oben nach unten mehr oder weniger stark abnehmen. Für die Fortbewegung eines, auf dem Grunde liegenden, spezifisch schwereren Steines kommt zunächst die Tangentialgeschwindigkeit in Betracht, und zwar sind, unter Beachtung der früher erwähnten Differenzen und der Gewichtsverminderung im Wasser, die Trägheit des Steins und seine Reibung am Boden zu überwinden. Hier nun ergibt sich eine bemerkenswerte Beziehung. Wird zunächst der Halbmesser des Strudels einmal als unbegrenzt angenommen, dann gibt es für jede beliebige Rotationsgeschwindigkeit auf ihm einen Punkt (einen Abstand von der Rotationsaxe) wo die Widerstände des Steins gerade überwunden werden, wo also der Stein ebenso von dem Strudel mit herumbewegt werden würde, wie die Wasserteilchen die sonst an dieser Stelle sein würden. Jenseits und diesseits dieses Punktes ist das Verhalten des Steins dagegen das gerade entgegengesetzte. Dieser Abstand von der Axe mag als der Gleichgewichtsabstand bezeichnet wer-

den, der die Axenstrecke von der Umfangstrecke trennt. Der Gleichgewichtsabstand wird um so grösser, je kleiner die Rotationsgeschwindigkeit ist und je spezifisch schwerer und je grösser der Stein ist. Umgekehrt rückt der Gleichgewichtspunkt der Axe umso näher, je grösser die Rotationsgeschwindigkeit wird, und je kleiner die Differenz der spezifischen Gewichte und der Steingrösse wird. Die bestimmten Werte bleiben noch zu errechnen und experimentell zu ermitteln. Ich habe dazu nicht die Zeit und für genauere experimentelle Feststellungen, wie gesagt, auch nicht den nötigen Apparat. Nach vorläufigen, überschläglichen Ermittlungen wird unter den, für Steinkessel in Betracht kommenden Verhältnissen, nur bei grösseren Rotationsgeschwindigkeiten der Gleichgewichtsabstand noch in den Kessel fallen. Bei geringeren Geschwindigkeiten wird also der Kessel ganz in der Axenstrecke liegen. Im Wirklichkeitsfalle kann nun ein Stein, selbst wenn ihn der Zufall einen Augenblick in den Gleichgewichtsabstand brächte, nicht in diesem beharren. Die geringste Verzögerung seiner Bewegung durch eine Unebenheit am Boden müsste ihn der Axenstrecke, und die geringste Beschleunigung seiner Bewegung durch eine entgegengesetzte Unebenheit, der Umfangsstrecke überliefern. Der Gleichgewichtsabstand hat also in Wirklichkeit nur den Sinn, dass er die zwei Strecken von entgegengesetztem Steinverhalten von einander trennt, wobei aber zu beachten ist, dass nur bei grossen Rotationsgeschwindigkeiten die Umfangsstrecke noch in den Kessel fallen wird, dass also vermutlich die Mehrzahl der Kessel lediglich in der Axenstrecke liegen werden.

Fällt der Stein in die Umfangsstrecke, dann kommt für ihn die bekannte Beziehung in Betracht, die in der Technik durch die Separatoren ausgebeutet wird, dass die Zentrifugalkraft proportional dem Gewicht ist. Der spezifisch schwerere Körper nähert sich dem Rande und

wird dann längs diesem durch den Strudel herumbewegt. Ein einzelner Stein müsste also in diesem Falle längs des Kesselumfanges eine ringförmige Rinne ausreiben, also ähnlich wirken, wie ein Hohlbohrer. Weniger einfach (weil meines Wissens in der Wissenschaft der Mechanik noch nicht der Betrachtung unterzogen) gestaltet sich die Sache, wenn der Stein in die Axenstrecke fällt, also vermutlich wohl für die Mehrzahl der Fälle. In diesem Falle ist der Widerstand des Steins grösser, als die tangentielle Kraft des Wasserstrudels, also der Stein bewegt sich langsamer, als das Wasser. Das Wasser fliesst dann am Stein vorbei und übt damit einen entsprechenden Druck auf ihn aus. Konstruiert man nun für die Axenseite und die Umfangsseite des Steins die Kräfteparallelogramme, so ist der Druck auf den Stein, auf der Umfangsseite, entsprechend der Differenz der Rotationshalbmesser, grösser als auf der Axenseite. Der Stein wird dann also, entsprechend dieser Druckdifferenz, der Rotationsaxe angenähert. Er macht dabei eine mehr oder weniger grosse Zahl von Umläufen um diese, nähert sich dieser also in einer Spirallinie. Hat der Stein die Axe erreicht, dann wird er, wenn die an seinem Umfange anfassende Rotation des Wassers seine Reibung am Boden zu überwinden vermag, sich um seine Axe drehen und ein, seinem Umfange entsprechendes Loch in den Fels bohren. Das wird also um so eher der Fall sein, je grösser die Breitenausdehnung des Steins ist. Andernfalls wird er in der Axe zur Ruhe kommen. Also: fällt der Stein in die Umfangsstrecke, dann verfügt er sich an den Umfang und wirkt wie ein Hohlbohrer, fällt er in die Axenstrecke, dann verfügt er sich in die Axe und wirkt wie ein einfacher Bohrer. Die qualitative Seite dieser Erscheinungen lässt sich schon mittelst eines Glases Wasser, eines Theelöffels und etwas Material vorführen. Sobald man den Theelöffel herausgezogen hat,

vermindert sich allmählig die Rotationsgeschwindigkeit, und damit rückt der Gleichgewichtsabstand nach aussen, bis er den Rand erreicht hat.

Kommt zn dem ersten Stein ein zweiter, dann ändert sich auf der Umfangsstrecke nichts wesentliches. Sie werden dann eben beide am Umfange herumbewegt. Etwas weniger einfach gestaltet sich die Sache auf der Axenstrecke. Den Platz in der Axe findet der zweite Stein schon durch den ersten besetzt. Er kann das Axenziel nur erreichen, wenn es ihm gelingt, auf dem ersten Stein aufzusitzen. Gelingt ihm dies nicht, dann wird er durch den Strudel um den ersten Stein herumbewegt, dabei prallt er an diesen an und stösst damit diesen aus seiner Axenlage heraus. Also schon bei zwei Steinen (von genügender Grösse und bei genügender Rotationsgeschwindigkeit) ist von Ruhe keine Rede mehr. Sie wirken gemeinsam wie ein einfacher Bohrer. Für jeden weiter hinzukommenden Stein gilt das entsprechende. Macht man im Glase Wasser das Experiment mit reinem Sand, dann bildet sich um die Axe ein Sandhäufchen, dem die anderen Sandkörner in Spirallinien zueilen, und auf das sie dann, im Ganzen auch in Spirallinien, die aber durch die Widerstände entsprechend unregelmässig werden, mit grosser Hurtigkeit hinaufkraxeln, dabei den Berg immer steiler machend. Darauf, dass es die Strudelwirkung ist, die die Sandkörnchen der Axe zutreibt, erfolgt dann zum Schluss noch eine Gegenprobe. Sobald nämlich die Rotationsgeschwindigkeit sich noch mehr vermindert hat, bricht der steile Sandberg plötzlich herunter und böschet sich flacher ab.

Das über die Bewegungen der Reibsteine im einfachsten Falle hier vorgebrachte wird vorläufig genügen, um nun zunächst die Reibtätigkeit im einfachsten Falle zu betrachten. Der Kürze halber soll der Reibstein als Stein und die Kesselwand als Fels bezeichnet werden.

Aktion und Reaktion sind einander gleich. Die Reibarbeit am Stein und am Fels müssen einander gleich sein. Beide sind proportional dem Druck des Steins gegen den Fels und dieser hängt ab von der Bewegung des Steins. Am Boden, also lotrecht nach unten, ist der Druck auch proportional dem Gewicht des Steins im Wasser. Ein Unterschied im Reibergebnis wird dagegen durch verschiedene Härten bedingt werden. Ist der Stein n mal so hart, wie der Fels, dann wird in derselben Zeit von dem Fels n mal so viel abgerieben werden, wie vom Stein. Das Reibpulver wird durch den Strudel immer sofort beseitigt werden, sodass also immer Stein auf Fels reiben wird. Auch die Steine werden also durch die Reibtätigkeit aufgezehrt, und die kleinen entsprechend rascher, als die grossen. Eine nennenswerte Einwirkung auf den Fels kann daher nur erfolgen, wenn dauernder Wiederersatz des Gesteinsmaterials eintritt. Es würden sich leicht Zahlenwerte gewinnen lassen. Beispielsweise in den Steinschneidereien wurde der Quarzsand, der unter die zahnlosen Sägeblätter kam, so rasch zu Pulver zerrieben, dass man deshalb seine Zuflucht zu hartem Stahlschrot genommen hat, der entsprechend langsamer verbraucht wird. Es gibt dies Beispiel auch einen Anhalt für die Wirksammachung von Sand, also von Reibsteinen von sehr kleinem Durchmesser. Ein anderes Beispiel ist die Vorführung der Durchbohrung von Steinwerkzeugen durch den Kustos in dem Altertümernuseum in Zürich, mittelst eines in rasche Rotation versetzten, hölzernen Röhrchens, unter das ebenfalls Sand getan ist. Im Wasser verliert auch das Sandkorn entsprechend an Gewicht. Dazu kommt, dass im wirklichen Strudel kaum aufwärts führende Nebenströmungen fehlen werden. Infolge der früher erwähnten Differenzen würden daher einzelne Sandkörner wohl hauptsächlich nur im Wasser schweben und in der in Frage kommenden Zeit überhaupt keine wahr-

nehmbare Wirkung auf den Fels ausüben. Wenn Sand wirken soll, muss er noch besonders gegen den Fels gepresst werden, und im Wasser noch mehr, als in der Luft. In den erwähnten beiden Beispielen geschieht dies mittelst fester Gegenstände. Im Sandgebläse, wo er als Projektil wirkt, geschieht dies durch die ihm erteilte Geschwindigkeit. Im Wasserstrudel wird dies hauptsächlich durch die Belastung durch Sandmassen und Steine geschehen müssen.

Ein grösserer Reibstein wird hiernach jedesmal eine verhältnismässig tiefe Rinne einschneiden, die verhältnismässig rücksichtslos durch die verschiedenen Mineralien und verschiedenen Stellen gehen würde. Das einzelne Sandkorn dagegen wird jedesmal nur eine entsprechende, kaum wahrnehmbare, feine Abreibung machen. Der Sand wird erst durch seine Massenhaftigkeit wirken. Der gröbere Reibstein wird scheinbar rücksichtslos wegarbeiten, was er trifft, der Sand dagegen wird sich der vorhandenen Gestalt anschmiegen, nur die Oberfläche abschleifen. Der gröbere Reibstein wird die grobe Steinmetzarbeit verrichten, der Sand die feine Arbeit des Ziseleurs. Einen mehr aktiven Unterschied in der Ausarbeitung wird der Sand nur bewirken können dadurch, dass er an der einen Stelle stärker belastet oder gepresst und zusammengehalten ist, an einer anderen dagegen etwas mehr Auflockerung, im Wasser schweben, Platz greift. Bei ausreichender Andauer solcher Wirkungsunterschiede wird dies dann entsprechende Gestaltungsunterschiede zur Folge haben. Beispiele bieten die Eisenbearbeitungsmaschinen. Ein Stahldaumen schneidet mit einem Zuge einen starken Eisenspahn heraus und zieht, scheinbar rücksichtslos, eine tiefe Furche. Das Schleifpulver dagegen macht nur die im groben bereits vorhandene Oberfläche glatt. Ein anderes Beispiel bieten die Gletscherschliffe und -Schrammen.

Es soll nun zunächst das Verhalten des Gesteins

betrachtet werden, um darauf dann noch auf die Einzelheiten und Abweichungen vom einfachsten, und da zunächst auf den Beginn eines Strudeloches und das Zustandekommen von Strudeln einzugehen. Wegen der mehr oder weniger heftigen Bewegungen des Strudels und der Reibsteine werden Strudellöcher überhaupt nur zu stande kommen können, wo der Fels eine gewisse Festigkeit hat. Bei lockerem Fels, beispielsweise bei lockeren Schiefnern, werden Steinkessel deshalb nicht entstehen können, weil durch jene heftigen Bewegungen die Kesselwände zerstört werden. Die Bedingungen, zunächst für das Zustandekommen von Steinkesseln durch Strudelwirkung sind hiernach um so besser, je fester der Fels ist. Hierin liegt, wie sich später zeigen wird, ein Unterschied gegenüber dem Zustandekommen von Vertiefungen durch andere Agentien. Dann gilt auch hier das Gesetz von der Aktion und Reaktion und dies, also die Verschiedenheiten in der Gesteinsbeschaffenheit, bedingen wesentlich die Verschiedenheiten in der Gestalt der Strudellöcher. Der einfachste Fall wäre ein völlig gleichförmiges, feinkörniges, festes Gestein von gleichförmiger Festigkeit in den verschiedenen Richtungen und das in der in Frage kommenden Zeit nicht durch andere Agentien merkbar angegriffen würde. Es wäre nun zu untersuchen, was zu stande kommt unter den vorhin aufgeführten einfachsten Bedingungen, und darauf, was zu stande kommt, wenn jene Bedingungen variiert werden. Zunächst können unter diesen einfachsten Bedingungen nur regelmässige (wie auf der Drehbank hergestellte) Gestalten zu stande kommen. Im Falle der Umfangswirkung (Separatorenwirkung) müsste ein einzelner Stein eine seiner Grösse entsprechende, regelmässige, kreisförmige Rinne einschneiden. Infolge der starken Reibung des Wassers in einem so engen Hohlringe, namentlich in anbetracht der haftenden Schicht, müsste selbst bei grosser Rotationsgeschwindigkeit die

Bewegung bald zum Erliegen kommen. Eine solche Hohlbohrerrinne könnte also nicht sehr tief werden. Bei mehr Reibsteinen würde eine Änderung gegen diesen Fall wohl nur dahin eintreten, dass die Arbeit in kürzerer Zeit geleistet würde und vielleicht, dass die Hohlbohrerrinne etwas weiter und damit auch etwas tiefer würde. Im Falle der Axenwirkung müsste ein Kessel von völlig regelmässiger Gestalt zu stande kommen, der bei wachsender Tiefe aus einem lotrechten, cylindrischen Rohr bestände, das unten durch eine Kugelfläche (genauer vielleicht durch eine parabolische Fläche) abgeschlossen wäre. Die Reib-tätigkeit könnte hier in der Hauptsache nur am Boden, und am meisten in der Mitte erfolgen, und nur bei grösserer Anhäufung von Steinen und Sand, insoweit diese noch durch den Strudel bewegt würden, würden die Seitenwände über dem Boden noch angegriffen werden. Wie grobkörnig das Gestein werden kann, wenn es nur gleichförmig bleibt, ohne dass in diesen Beziehungen eine Änderung eintritt, bliebe noch festzustellen. Der hiesige Granit ist vielfach sogar grosskörnig, und auch in diesem Falle sind die Mineralien gleichförmig, rücksichtslos abgearbeitet, wie auf der Drehbank. Ich mache schon hier darauf aufmerksam, worauf ich schon mit dem einleitenden Satz von der „Gestalt“ hingewiesen habe, dass es sich für die Deutung der Steinkessel nicht blos um die Frage handelt, wie Vertiefungen im Gestein entstehen können, sondern vielmehr, wie Vertiefungen von solcher regelmässigen, typischen, gegenüber den Mineralbestandteilen rücksichtslosen Gestalt (und solcher Lage) entstehen können.

Den äussersten Gegensatz zu der gleichförmigen Gesteinsbeschaffenheit bilden ausgeprägt geschichtete Gesteine, bei denen also die Festigkeit in der Schichtrichtung eine andere ist, als senkrecht dazu, und bei geneigter Schichtung. Das ausgezeichnetste Beispiel, das mir be-

kannt geworden ist, auch noch in anderen Hinsichten, bilden die zahlreichen und formenreichen Strudellöcher in der alten Imatrastromschnelle (in Finland) die aus Anlass des siebenten internationalen Geologenkongresses schön zugänglich gemacht worden waren.

In weniger widerstandsfähigem Gestein wird die Bohrarbeit unter sonst gleichen Umständen rascher vorwärts schreiten, als in widerstandsfähigerem Gestein. Bei geschichtetem Gestein pflegt die Festigkeit in der Schicht-richtung geringer zu sein als senkrecht dazu. Daher wird, wenn die Schichten geneigt sind, das Strudeloch nicht lotrecht nach unten gehen, sondern nach Seiten der Schichtrichtung von der lotrechten abweichen. Die Axe des Strudelochs wird in Hinsicht der Bohrarbeit die Resultante zwischen der lotrechten und dem Schichtenfall bilden. Ein ausgezeichnetes Beispiel hierfür bilden, wie gesagt, die Imatrastrudellöcher. Die Schichten streichen Nord-Süd und fallen gegen Osten, während die Imatra von Norden nach Süden fliesst. Dementsprechend ist in der jetzigen Stromschnelle das rechte Ufer geböscht und das linke unterhöhlt und die Axen der Strudellöcher in der alten, längst trocken gelegten Stromschnelle, fallen gegen Osten, aber mit grösserem Neigungswinkel, als das Gestein.

Ist das Gestein, auch abgesehen von der Schicht-richtung, noch von ungleichmässiger Festigkeit, dann wird dies entsprechend auf die Bohrarbeit wirken. Ändert sich beispielsweise der Widerstand in der Lotrechten, dann wird in den weicheren Stellen nicht nur die Bohrarbeit rascher vor sich gehen, sondern über jeder härteren Stelle wird auch jedesmal eine Erweiterung der weicheren eintreten. Sind die festen und minder festen Stellen verhältnismässig unregelmässig im Gestein verteilt, dann wird auch die Gestalt der Strudellöcher entsprechend von der regelmässigen abweichen. Auch hierfür bieten die

Imatrastrudellöcher ein ausgezeichnetes Beispiel. Das granatreiche, gneissartige, grobschichtige Gestein setzt sich zusammen aus granitischen, fast biotitfreien und aus biotitreichen Partien von bis 10 Zentimeter und mehr Mächtigkeit, und die Strudellöcher zeigen mancherlei Ausbauchungen und gewundene Formen. Durch die Verschiedenheiten im Widerstande des Gesteins lässt sich un schwer die überwiegende Mehrzahl der Verschiedenheiten in der Strudellochgestaltung erklären. Es erscheint wohl nicht nötig alle möglichen Kombinationen hier vorzuführen.

Diese Abweichungen von der regelmässigen Gestalt des Strudelloches haben nun Abweichungen der Rotationsaxe von der lotrechten Stellung zur Folge. Damit aber wird die Stabilität der Rotationsaxe gestört und dies kann nun seinerseits Unregelmässigkeiten in der Gestalt zur Folge haben, deren Ausmass ja von der Festigkeit des Gesteins und der Andauer der Wirkungen abhängen wird. Insbesondere werden unter Umständen sich die Wasserteilchen nicht mehr in wagerechten, sondern in geneigten Kreislinien bewegen können, was dann in geneigten Kritzen in den Seitenwänden zum Ausdruck kommen wird. Ferner haben Abweichungen dadurch andere Abweichungen zur Folge, dass die Reibsteine durch die Abweichung in andere, bestimmte Richtungen geführt werden, als sie durch den Strudel geführt worden wären, und in Folge dessen an den betreffenden Stellen stärker reiben.

Wie schon bemerkt, wird in weicherem Gestein die Bohrarbeit rascher von statten gehen, in derselben Zeit also ein tieferes Loch zu Stande kommen. Aus noch zu erwähnenden Erscheinungen muss aber geschlossen werden, dass die Granititblöcke im Kern am dichtesten sind und nach den Absonderungsflächen zu lockerer werden. Damit steht es im Einklang, dass randliche Steinkessel tiefer zu sein pflegen, als mehr in der Mitte gelegene.

Nach unten zu nimmt wegen der Reibung die Rotationsgeschwindigkeit ab. Die Bohrarbeit muss daher auch bei Axenlöchern schliesslich zum Erliegen kommen. Je grösser oben die Rotationsgeschwindigkeit und je kleiner die Anzahl der Reibsteine, also auch die Reibung ist, desto tiefer wird ein Loch werden können. Beide Bedingungen haben aber für offene Flussläufe eine grössere Wahrscheinlichkeit, als für die Wasserströme unter dem Gletschereise, die im allgemeinen geringere Geschwindigkeit haben, aber dauernd reichlicheres Material zuführen werden. Werden wechselnde Mengen von Material zugeführt, was die Folge von Hochwasser und Niedrigwasser wird sein können, die wieder viel mehr für offene Flussläufe, als für Wasserströme unter dem Gletschereise eintreten werden, dann wird ein vorhandenes Strudeloch mit Material verfüllt werden können. Die Bohrarbeit wird dann erst das Material wieder herauschaffen müssen. Dabei wird aber eine Erweiterung des Loches eintreten, namentlich wenn das Hochwasser die Stromgeschwindigkeit so steigert, dass Umfangs-(Hohlbohrer-)wirkung eintritt. Je nachdem hierbei die Verfüllung aus Sandmassen oder mehr groben, vielleicht sogar teilweise festgeklemmten Steinen besteht, wird ausserdem die Rotation so abgelenkt werden können, dass unregelmässige Ausbauchungen und Kritzen in geneigter Lage werden entstehen können. Solche Hochwässer treten aber in offenen Flussläufen periodisch ein. Sie werden Verfüllungen des verschieden tiefen Loches mit verschiedenen Füllmengen herbeiführen und damit in verschiedenen Höhen Erweiterungen und Unregelmässigkeiten in dem Loch verursachen können.

Soeben ist die Möglichkeit erwähnt worden, dass die grössere Stromgeschwindigkeit bei Hochwasser die Axenwirkung in Umfangswirkung überführe. Auch die umgekehrte Möglichkeit besteht daher. Wenn reich-

licheres Reibmaterial eine breitere Hohlbohrerrinne erzeugt hat, dann muss lange, ehe diese Bohrarbeit zum Erliegen kommt, die Rotationsgeschwindigkeit sich so vermindern, dass die Axenwirkung eintritt, d. h. der Bohrkern entsprechend weggearbeitet wird. Da mit dem Tieferwerden des Loches in Folge der Reibung die Rotationsgeschwindigkeit sich überhaupt vermindert, wird also nicht nur die Abarbeitung entsprechend Schritt halten müssen, sondern sie muss zunehmen, bis schliesslich der Bohrkern ganz abgearbeitet ist und nur noch Axenwirkung stattfindet. Wo die Rotationsgeschwindigkeit gross genug ist, dass überhaupt Umfangswirkung (Hohlbohrerwirkung) eintritt, wird also zu Anfang der Bohrkern am grössten werden können und dann, je tiefer das Loch wird, immer kleiner werden und schliesslich ganz verschwinden. Auch dies alles liesse sich leicht unter Gewinnung von Zahlenwerten durchexperimentieren. Es müsste dabei zuerst leicht zerstörbares und dabei möglichst gleichmässiges Material, beispielsweise gebrannter Ziegel, benutzt werden.

Der Beginn einer Strudelwirkung ist für beide Arten von Wirkungen offenbar am gesichertsten, wenn der Strudel auf Grund einer anderweit entstandenen Vertiefung sich bildet. Weniger einfach gestaltet sich offenbar der Anfang, wenn nur ein mehr oder weniger niedriges, frontales Hindernis den Anlass zum Strudel bildet. Je niedriger das Hindernis ist, je niedriger also auch der ursprüngliche Strudel ist, desto kleiner werden die Reibsteine sein müssen, bis hinunter zum Sand, wenn sie überhaupt in die Bahn des Strudels gezwungen und nicht vielmehr aus diesem hinausbewegt werden sollen. Im Falle der Axenwirkung werden die Steine durch den Strudel zusammengehalten und also wirken, bis sie selbst verschlissen sind. Im Falle der Umfangswirkung muss dagegen der Reibstein, der vor dem Hindernis in die

Strudelbahn gezwungen wird, auf der anderen Seite, in Folge seiner grösseren Zentrifugalkraft, den Strudel wieder verlassen. Hier werden also die aufeinanderfolgenden Reibsteine zunächst am Hindernis eine Vertiefung einreiben, und in dem Masse, als diese tiefer wird, werden die Steine immer länger in der Strudelbahn festgehalten werden, bis schliesslich der Ring geschlossen ist, wo dann der vorhin erörterte Vorgang Platz greifen muss. Die Hohlbohrerwirkung wächst also von vorwärts nach rückwärts, und indem sie dabei vorwärts tiefer ist, als rückwärts.

Wie früher erörtert, stellen sich schon in Hinsicht der Gestalt der Strudellöcher gewisse Unterschiede ein, je nachdem sie in offenen Gewässern oder in Schmelzwasserströmen unter dem Gletschereise entstanden sind. Noch mehr ist dies, wie noch zu erörtern bleibt, in Hinsicht ihrer Lage der Fall. Damit ist die Möglichkeit einer Unterscheidung gegeben, die sich für andere Zwecke nützlich erweist. Der Name: Gletschertopf, ist schon lange eingebürgert. In meinem ersten Aufsatz habe ich dem den Namen: Flusstopf, hinzugefügt. Hiernach unterscheide ich die durch Wasser erzeugten Strudellöcher in: Gletschertöpfe, Flusstöpfe und Brandungstöpfe. Dazu kommen dann noch die durch Wind erzeugten Strudellöcher, für die aber, da ihre Axe wohl der wagerechten näher liegen wird, als der lotrechten, der Name; Topf, sich vielleicht weniger empfiehlt, und die daher hier als: Wirbelwindlöcher bezeichnet werden sollen.

Damit Strudelwirkung in festem Fels überhaupt zu Stande kommt, müssen sich über diesem vereinigen eine genügend mächtige, genügend andauernde Wasserströmung von genügend grosser Geschwindigkeit einerseits, und ein Strömungshindernis, das Strudel veranlasst und Gesteinsbrocken (bis hinunter zum Sand), die als Reibsteine dienen können, andererseits. In Hinsicht der Strom-

geschwindigkeit ist nur nötig, dass sie ausreichend gross ist, dagegen ist es an sich gleichgiltig, wodurch sie ihrerseits erzeugt wird, ob durch gleichmässiges Gefälle oder durch einen Wassersturz oder durch Verengung des Querprofils oder durch Brechen (Abreissen) einer Welle u. s. w.

Die Rotation des Wassers ist an sich unabhängig von der Richtung der sie erzeugenden Wasserströmung. Ein sehr deutliches Beispiel hierfür bieten ebenfalls die Imatraflusstöpfe. Hier bildet die Horizontalprojektion der geneigten Strudellochaxen mit der Strömungsrichtung einen rechten Winkel, also den grössten, der möglich ist. Wenn der Strudel erzeugt wird durch einen mehr oder weniger steilen Wassersturz, dann muss ausserdem der herabfallende Wasserstrom kompensiert werden durch einen aufwärts gehenden. Dadurch werden die Reibsteine entsprechend in Mitleidenschaft gezogen. Sie werden auch aufwärts bewegt und dabei überhaupt nicht wirken, oder ihre Reibung wird entsprechend vermindert. Ihr Wiederherabsinken ist aber nicht lediglich durch den herabgehenden Strom bedingt, und daher wird, in Folge des Wasserwiderstandes, auch ihr Wiederauftreffen im ganzen geringer sein, als sonst der Fall wäre. Die Bohrarbeit wird also in Summa entsprechend geringer ausfallen, als bei einem normalen Strudel. Auch hierfür würden sich durch das Experiment leicht bestimmte Zahlenwerte gewinnen lassen. Die mit diesem Fall zusammenhängende Gletschermühlenshypothese bleibt noch zu erörtern.

Zunächst soll hier auf die Brandungstöpfe eingegangen werden. Die Wasserströmung, die die brandende Welle darstellt, muss ganz entsprechend wirken, wie jede andere Wasserströmung. Wo sie auf ein Hindernis trifft, wird sie zum Ausweichen gezwungen. Dies wird teils nach oben erfolgen können, (rückwärts über-

schlagende Welle) teils nach der Seite. Das seitliche Ausweichen wird einen (oder auch mehrere) Wirbel erzeugen, der in dem Masse, als die Strömung kräftig und der Ablenkungswinkel gross ist, dort vorhandene lose Steine in entsprechende Bewegung bringen wird. Damit ist die Möglichkeit der Ausbohrung von Strudellöchern gegeben. Immerhin ist die Anzahl der Bedingungen, die sich vereinigen müssen, nach Art und Mass so gross, dass einerseits der Fall vielleicht nicht sehr häufig vorkommen wird, dass andererseits, wo die Bedingungen überhaupt gegeben sind, sie vermutlich auch für eine grössere Anzahl von Töpfen gegeben sein werden. Sowohl die vorstürmende, wie die zurücklaufende Brandungswelle bilden Wasserströmungen, von denen die letztere die schwächere ist. Wenn im Verhältnis zum Strudeloch, die Schwingungsdauer gross genug ist, wird die Bewegung der Reibsteine durch die zurücklaufende Welle in gleichem Sinne beeinflusst werden, wie durch die vorstürmende, was aber übrigens für die Ausbohrung des Loches kein Erfordniss ist. Die sich ändernde Geschwindigkeit der Wasserströmung in der Wellenbewegung wird verschieden starke Reibung der Steine auf ihrem Wege bedingen und, namentlich wenn die Gesteinsbeschaffenheit in gleichem Sinne wirkt, einen nicht wagenrechten Boden des Strudelochs zur Folge haben. Die Arbeit der Reibsteine wird insoweit intermittierend sein, als die brandende Welle intermittierend ist. Mit steigender Flut wird daher die Zeitdauer der Reibungsperiode immer länger werden, um schliesslich, wenn der Topf ganz unter Wasser bleibt, ununterbrochen sein zu können. Wenn die brandende Welle über breitere Felsflächen (eine Brandungsterasse) schlägt, werden die vorhandenen losen Steine in die Vertiefungen gespült werden, und wenn das neu herbeigeschaffte Schuttmaterial nicht sehr bedeutend ist, wird ihre reibende Wirkung hauptsächlich

jenen zu gute kommen. Die Brandungsterasse wird dann verhältnismässig weniger angegriffen werden und dagegen werden die vorhandenen Strudellöcher um so rascher an Tiefe zunehmen. Sobald der Wasserstand über der Felsoberfläche eine Höhe erreicht, wo das nach der Tiefe zu rasch abnehmende Ausmass der Wellenbewegung der Wasserteilchen beim Branden eine ausreichende Stromstärke nicht mehr zu erzeugen vermag, wird die Reibfähigkeit zum Erliegen kommen. Dies wird beispielsweise eintreten können, wo die Brandungsterrasse tief genug abgearbeitet ist, oder durch positive Strandverschiebung. Wo die Brandungsterrasse landeinwärts wächst, werden immer neue Reihen von Brandungstöpfen entstehen können, namentlich wenn noch eine positive Strandverschiebung hinzukommt, so dass schliesslich über die ganze Fläche Brandungstöpfe verteilt sein können. Umgekehrt werden dann aus dem Vorhandensein solcher Töpfe entsprechende Schlüsse gezogen werden können.

Wo die Reibarbeit zum Erliegen gekommen ist, wird doch die geringere Strömung noch ausreichen den Topf mit Schutt, Sand, Thon, u. s. w. zu verfüllen und dadurch entsprechend vor Zerstörung zu bewahren. Für alle Strudellöcher und daher auch für die Brandungstöpfe gilt, dass ihre Entstehung und Erhaltung um so mehr gewährleistet ist, je widerstandsfähiger das Gestein gegen mechanische und chemische Einwirkungen ist, also je dauerbarer die Lochwände sind. Danach haben Strudellöcher beispielsweise in festem Granit sozusagen gesichertere Daseinsbedingungen, als beispielsweise in lockeren Schiefen einerseits und in Kalkgesteinen andererseits.

Es käme nun darauf an nachzuforschen, ob in jetzigen und früheren Felsenküsten und Brandungsterrassen solche Töpfe oder deren Überreste sich auffinden liessen. Ich habe im Sommer 1893 an der Felsenküste Norwegens,

südwestlich von Langesund, Gelegenheit gehabt zur Zeit der Ebbe am Strande mit Rollsteinen erfüllte Steinkessel zu beobachten, welche erstere jede hineinschlagende Welle in strudelnde Bewegung brachte.

Die Gletschermühlentheorie habe ich schon so ausführlich in meinem früheren Aufsatz behandelt, dass ich mich hier kurz fassen kann. Zunächst ist der Gedanke, dass durch den Wassersturz mittelst Steinen Kessel erzeugt werden könnten, schon nach dem vorhin vorgebrachten nicht haltbar. Nur insofern der in eine Vertiefung schräg einfallende Wasserstrahl einen Strudel erzeugt, vermag dieser wie jeder Strudel zu wirken. Dabei ist aber, wie vorhin gezeigt, die Strudelwirkung entsprechend geringer, als bei einem durch Wasserströmung erzeugten Strudel. Wenn kein Loch vorhanden ist, kann aber der Wassersturz die Steine nicht zusammenhalten und also auch kein Loch erzeugen. Es bleibt dann nur noch die Frage, ob durch eine Gletschermühle das für die Strudelerzeugung nötige, sozusagen stellvertretende Loch gebildet werden könne. Die in dem Grundmoränenmaterial vorhandenen und in dieses gelangenden Steine werden durch den Wassersturz beiseite geschleudert und in der Richtung der Strömung weiter bewegt werden. Nun muss aber das Wasser wieder abfließen, und das geschieht unter dem Eise, und der abfließende Strom wird auch die in Bewegung gebrachten Steine mitnehmen. Schon hiernach ist nicht zu ersehen, wie eine Gletschermühle einen steinbewegenden Strudel auf dem Grunde überhaupt solle zu stande bringen können. Dazu kommt, dass wenn ein Strudel entstände, dieser die Eiswände so stark angreifen würde, dass eine weite, wassererfüllte Höhlung entstände, in der von einer Einwirkung von Steinen auf den Felsgrund wiederum keine Rede sein würde. Dazu kommt ferner, dass die Gletschermühlen weitemarschieren und daher nicht ein Loch, sondern eine

Rinne erzeugen müssten. An der Stelle, an der das Gletscherbett anfängt steiler zu werden, öffnen sich auf dem Gletscher Querspalten, die zunächst Haarrissbreite haben, dann beim weiterrücken des Eises breiter werden und, wenn es nicht zu einem Gletschersturz kommt, in dem das Eis überhaupt in Trümmer auseinanderbricht, sich früher oder später wieder allmählig schliessen. Die Oberflächenschmelzwasserströme werden durch die sich öffnende Gletscherspalte abgeschnitten und erzeugen in dieser, so lange der Wasserstrom im Vergleich zur Spaltenbreite noch mächtig genug ist, Gletschermühlen, die nun mit der Spalte weiter rücken, bis hinten eine neue Spalte sich beginnt zu öffnen und diese den vorhandenen Mühlen das Wasser abschneidet. Durch diesen Vorgang könnten, wie gesagt, nicht Kessel, sondern, wenn überhaupt, nur Rinnen oder mehr oder weniger lange Wannan erzeugt werden. Dazu kommt nun aber noch, dass die Oberflächenschmelzwasserströme auch nach der Seite sich vorlagern und daher nach einander an verschiedenen Stellen des Querschnitts Mühlen erzeugen können. Ferner sollen durch das Vornüberneigen der Gletscherspalten und Mühlen beim Vorrücken entsprechend geneigte Strudelöcher erzeugt werden. Dieser Gedanke beruht auf Ver- kennung des Strudelmechanismus und namentlich der Rolle, die die Richtung der Erdschwere dabei spielt. Für die geneigte Stellung von Strudellochachsen vermag ich bis jetzt keinen anderen Grund zu entdecken, als die schon erwähnte verschiedene Widerstandsfähigkeit des Gesteins in verschiedenen Richtungen.

Es soll nun auf die Spiralenfrage eingegangen werden. Von vielen wird behauptet, dass die Wände von Strudellöchern spiralg wären und sein müssten, so- dass ihr Vorhandensein und Nichtvorhandensein darüber ent- schiede, ob Strudelloch oder nicht. Ich habe mich dann lange vergebens nach einem Erklärungsversuch um-

gesehen und, abgesehen von einem hierfür nicht in Frage kommenden Experiment, einen solchen endlich entdeckt in der neuesten, neunten Auflage von H. Credners „Elementen der Geologie,“ wo es auf Seite 129 unten heisst: „Sie zeigen nicht selten auf ihrer glattgeschliffenen Innenseite spiralige, der allmählichen Einbohrung entsprechende, Furchen —.“ (Diese Worte sind hier hervorgehoben.) Danach würde es sich also um einen, der Propfenzieherwirkung entsprechenden Vorgang handeln. Die Frage lässt sich in zwei Fragen teilen: 1. Sind die Wände aller zweifellosen Strudellöcher in der Tat spiralig, und 2. folgt aus den Gesetzen der Mechanik die Notwendigkeit dieser Spiraligkeit? Wie sich zeigen wird, müssen diese Fragen nicht nur beide verneint werden, sondern ich muss noch hinzufügen, dass, obschon ich eine verhältnismässig grosse Zahl von Strudellöchern in den Alpen, in Norwegen, im Riesengebirge und dann an der Imatra zu sehen bekommen habe, mir sogar noch kein einziges vorgekommen ist, an dem ich spiralige Wände hätte entdecken können. Die abgewinkelte, stetige Schraubenlinie ist eine schräge Linie. Umgekehrt wird eine gegen den Horizont geneigte Furche oder Ausbauchung in einer Vertiefung auf den Unkundigen den Eindruck eines Schraubengewindes machen. An und für sich ist aber für eine, auf Ungleichmässigkeit des Gesteins beruhende Ausbauchung jede beliebige Richtung gleich wahrscheinlich, und die wagerechte Richtung ist dann nur eine unter mathematisch unendlich vielen Richtungen. Ferner ist schon aus dem vorhin Vorgebrachten erkennbar, wie in bereits vorhandenen Strudellöchern, namentlich aus Anlass von Hochwässern, auch Kritzen in schräger Richtung erzeugt werden können. Dass es sich aber nicht um Spiralen handelt, ist ja schon daraus erkennbar, dass die verschiedenen, scheinbaren Spiralen desselben Loches nicht mit einander korrespondieren.

Was nun die entscheidende Frage der Notwendigkeit betrifft, so wäre es Sache derer, die diese behaupten, auf Grund der Gesetze der Mechanik, den Beweis dafür zu erbringen. Dass sie das bisher unterlassen haben, wird daher wohl seine nur zu triftigen Gründe haben. Mir ist nur ein einziger Versuch bekannt geworden, der Frage experimentel zu Leibe zu gehen. K. Keilhack hat durch hineinfallenlassen eines Wasserstrahls in ein Glas Wasser Sandkörnchen zum Aufwirbeln in spiraligen Linien gebracht.*) Damit handelte es sich also um die nachträgliche Wirkung in einem Strudeloch, insoweit es bereits vorhanden ist. Dann können freischwebende Sandkörnchen und Steine, obendrein in der nur in Frage kommenden Zeit, eine wahrnehmbare Wirkung überhaupt nicht ausüben. Wenn dies aber der Fall wäre, dann könnte sie nur in einer allgemeinen Erweiterung des Loches, nicht im Einschneiden von Spiralen bestehen, da ja jeder Punkt der Wände die gleiche Wahrscheinlichkeit hat, getroffen zu werden, obendrein, da mit dem Tieferwerden des Loches die Ausgangspunkte sich verschieben.

Nach der vorhin erwähnten Deutung müssten die Reibsteine bei einem einmaligen Umlauf so viel Gesteinsmasse fortnehmen, als der Steigung der Spirale entspräche. Es kommt vor, dass diese Scheinspiralen selbst unter 45° gegen die Horizontale geneigt sind. Betrüge dazu der Umfang des Strudeloches 1 Meter, dann müssten also die Reibsteine mit einmaligem Umlauf das Loch um 1 Meter vertiefen. Man braucht sich das doch blos zu vergegenwärtigen, um die staunenswerte Haltlosigkeit jenes Deutungsversuches ohne weiteres zu erkennen. Die Reibsteine müssen viele Umläufe machen, ehe die Vertiefung des Loches für das Auge überhaupt wahrnehmbar wird und da können diese etwaigen Kritzen in

*) Zeitschrift der Deutschen geologischen Gesellschaft. Jahrgang ?.

den Seitenwänden für das Auge also nur parallel dem Boden liegen.

Nun scheinen anderen für ihre lediglich autoritative Behauptung der Spiralennotwendigkeit, die ihnen auch unverständlich gebliebenen Serpentin, in düsterem Nebel vorgeschwebt zu haben. Daher soll auch darauf hier noch eingegangen werden. Wie fließende Gewässer Serpentin zu stande bringen, ist vorhin erörtert worden. Dabei handelt es sich also um einen linearen, frei dahin fließenden Wasserstrom, dessen Strömungsrichtung in vergleichsweise labilem Gleichgewicht sich befindet. Hier dagegen handelt es sich um eine rotierende Wassermasse, in der die Strömungsrichtung in vergleichsweise stabilem Gleichgewicht sich befindet. Das sind verschiedene Dinge. Das Analogon zu den Serpentin in der Fläche sind die spiralförmigen Windungen im Raume, wie sie an Gletschermühlen zu beobachten sind. Auch hierbei handelt es sich um einen linearen, unausgesetzt frei dahin fließenden Wasserstrom, nicht um eine rotierende Wassermasse. Bedingung für das Zustandekommen einer Gletschermühle ist, dass der Wasserstrom gegenüber der Breite der Gletscherspalte mächtig genug ist, um deren Seitenwände noch angreifen zu können, was beim Beginn einer Spaltenbildung ja immer der Fall sein wird. Sobald der Oberflächenschmelzwasserstrom die Gletscherspalte erreicht hat, fällt das Wasser in dieser hinunter. Ist nun der Wasserstrom so mächtig, dass er dabei die Spaltenwände angreifen kann, so geschieht dies da stärker, wo er stärker auftritt. Das wird bei seinem oberen Eintreten die gegenüberliegende Spaltenwand in entsprechender Tiefe unter der Oberfläche sein. Hier entsteht eine Auskolkung, die nun den Strom entsprechend nach der entgegengesetzten Wand ablenkt. Da hierbei der Fall, dass dies genau normal zur Wand geschehe nur ein Fall unter mathematisch unendlich vielen ist,

ausserdem auch das Eis nicht überall gleich widerstandsfähig ist, so wird dabei auch stets eine seitliche Ablenkung des Stromes erfolgen, im ganzen also ein spiralisches Gewinde zu stande kommen. Mit den Strudellöchern handelt es sich aber um eine rotierende Wassermasse. Jene, von den Serpentinien ausgehende Behauptung stellt sich hiernach als ein verschwommener, geisteschwacher Analogietrugschluss heraus.

Ehe auf die Lage der Strudellöcher eingegangen wird, soll erst noch ein Blick auf die Gletscherwirkungen, insoweit sie hier in Betracht kommen, geworfen werden. Der schlesische Hang des Riesengebirges, der allein für die Steinkessel in Betracht kommt, ist verhältnismässig steil, aber unterbrochen durch eine Vorhöhenreihe und also mit dazwischen gelegener, streichender Einsenkung. Ausserdem ist er gegliedert durch die Gewässer in der Fallrichtung. Verhältnismässig geschlossene oder enge Vertiefungen werden durch das Grundmoränenmaterial wohl angefüllt und ausgeebnet worden sein, wobei vielleicht das Wasser dann noch die Trümmer zusammengefroren haben wird, während auf allen verhältnismässigen Erhöhungen der Gletscher allen lockeren Fels als Grundmoränenmaterial weiter befördert haben wird. Da der schlesische Hang auch heute noch nicht sehr stark gegliedert ist, so werden damals ziemlich überall Untergletscherwasserströme haben bestehen können, auch da, wo heut Erhöhungen liegen. Strudellöcher konnten nun ferner nur da entstehen, wo der feste Fels zugänglich war, wo also die Grundmoräne nicht zu mächtig war. Das wird aber auf den höher gelegenen Stellen mehr der Fall gewesen sein, als in den tieferen, namentlich als am Fusse eines Hanges. Die Untergletscherwasserströme werden sich ferner, wegen der Reibung im Eise und in der Grundmoräne im ganzen mit verhältnismässig geringerer Geschwindigkeit bewegen, als offene Gewässer. Die

nötige Stromgeschwindigkeit wird daher nur an steileren Stellen vorhanden gewesen sein. Ferner muss die nötige Wassermenge vorhanden sein, die nicht schon am Ursprung eines Gewässers gegeben sein kann. Bei Gletschern aber erfahren die Wassermenge und die Stromgeschwindigkeit eine wesentliche Verstärkung durch die Gletschermühlen. Die Querspalten entstehen aber an den Stellen, an denen das Gletscherbett anfängt steiler zu werden. Aus allen diesen Gründen haben unter den hiesigen Verhältnissen die erhöhten ebenen Kanten steilerer Hänge die grösste Aussicht für Gletschertopfstehung. Dem entspricht beispielweise die Steinkesselreihe: Kynast — Sabrich — Holzberg bei Kiesewald — Adlerfels bei Schreiberhau. Während hiernach also die Gletschertöpfe heut auf den Erhöhungen liegen, nicht in den Vertiefungen und Wasserläufen, liegen die Flusstöpfe in den letzteren. Die Flusstöpfe sind nun im hiesigen Gebirge überaus spärlich, trotzdem an zahlreichen Stellen die Gelegenheit zu ihrer Bildung gegeben wäre. Ich erkläre mir dies daraus, dass die starke Blockbewegung bei Hochwässern nicht die Zeit zu ihrer Bildung lässt, die Sachlage immer bald wieder verändert, ausser an geeigneten Stellen, die ausserhalb des Bereichs der Bewegung der gröberen Blöcke liegen, wie das beispielsweise mit dem Kramstaschen Flusstopf*) an der Lomnitz der Fall ist. Dem früher Dargelegten entspricht es ferner, dass wohl am oberen Ende von Wasserfällen Flusstöpfe aufgefunden worden sind, wie beispielsweise am Zackelfall, nicht aber im Wassersturz.

Wenn die betreffenden Steinkessel Gletschertöpfe sind, dann dürfen sie da nicht vorkommen, wo keine Vergletscherung stattgefunden hat. Die Grenzen der einsti-

*) Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft. Jahrgang 1895.

gen Vergletscherung sind aber nicht in die Gegend eingetragen, wie die Linien auf einer Landkarte. Von den Spuren, die die Gletscher unmittelbar hinterlassen haben, ist ein grosser Teil seit der Vergletscherung wieder beseitigt oder mehr oder weniger zweifelhaft geworden. Es sind nur noch Reste vorhanden, aus denen das Bild erst konstruiert werden muss. Da ist es aber ein ganz grober Verstoss gegen die Logik, wie ich schon in den einleitenden Worten meines früheren Aufsatzes hervorgehoben habe, für diese Grenzbestimmung sich auf den betreffenden kleinen Zipfel der gesamten Vergletscherung beschränken zu wollen. Im Gegenteil kann, gerade wegen der Lückenhaftigkeit der Überreste, die zuverlässige Gewähr für örtliche Grenzbestimmungen nur in dem Rahmen der Gesamtvergletscherung gefunden werden. Wo nach diesem auch nur die Möglichkeit einstiger Vergletscherung nicht bestritten werden kann, da kann das Gebiet nicht als nicht vergletschert gewesen angesprochen werden, gleichviel, ob sich Reste noch finden oder nicht. Vielmehr ist dann zu untersuchen, ob Gründe vorliegen, die die Beseitigung der Reste erklärlich machen. Für jene Gegenprobe für das Vorkommen von Steinkesseln können daher nur Gebiete dienen, für die nach der Gesamtheit der Erscheinungen einstige Vergletscherung ausgeschlossen erscheint. Für ein solches Gebiet gilt bis jetzt Böhmen und damit das Granitgebiet von Karlsbad. Da habe ich nun Erkundigungen eingezogen und von einem Kenner jenes Gebietes, dem K. K. Oberbergkommissär Herrn Rottky in Falkenau die Erklärung erhalten, dass in dem dortigen Granitgebiet bis jetzt weder Steinkessel, noch andere Gletscherspuren entdeckt worden seien und die freundliche Ermächtigung, mich auf ihn, als meinen Gewährsmann berufen zu dürfen. Die einzige zuverlässige Gegenprobe, die hiermit bis jetzt vorliegt, bestätigt also die Gletschertopfdeutung. Flusstöpfe und Brandungstöpfe

können selbstverständlich in nicht vergletschert gewesenen Gebieten vorkommen.

Die besondere Lage der mir im Riesengebirge bekannt gewordenen Steinkessel steht ihrer Deutung als Gletschertöpfe nicht entgegen. Das erste Verzeichnis dieser Kessel hat Mosch angelegt. *) Auf Grund dessen hat dann Berendt ein Verzeichnis herausgegeben. **) Doch ist auch dies nicht vollständig. Es wäre so recht eigentlich eine Aufgabe des Riesengebirgsvereins, ein solches Verzeichnis oder vielmehr eine sachkundige, wissenschaftlich brauchbare Aufnahme anzulegen und die noch vorhandenen Kessel vor ihrer Zerstörung zu bewahren, wie ich schon wiederholt, so im Jahre 1900 in der Schlesischen Zeitung, angeregt habe. Aber in der Leitung dieses Vereins fehlt für solche Aufgaben die nötige Sachkenntnis und daher auch das nötige Interesse, wie ich in meiner jüngsten Schrift ***) etwas näher gekennzeichnet habe.

Die Windwirkung.

Blosser Wind kann ebenso wie blosses Wasser nur bei lockeren Massen in gegebener Zeit Wirkungen hervorbringen, bei Fels also nur insoweit dieser durch andere Ursachen (Verwitterung) bröcklich wird. Diese Erscheinungen der Fortwehung und Anwehung sind im grossen schon ausgiebig beobachtet und erörtert.

Auf festen Fels kann der Wind nur mittelst mit-

*) V. F. Mosch. „Die alten heidnischen Opferstätten und Steinaltertümer des Riesengebirges.“ Abdruck aus dem Neuen Lausitzer Magazin. Görlitz, 1785.

**) G. Berendt. „Spuren einer Vergletscherung des Riesengebirges.“ Jahrbuch der kgl. preuss. geolog. Landesanstalt für 1891. Berlin, 1892.

***) O. Vorwerg. „Über Schneeschuhwettläufe.“ Leipzig, H. G. Wallmann, 1903.

geführten Gesteinsmaterials wirken und zwar in der Hauptsache vermutlich durch den Aufschlag dieses. Dieses ganze Gebiet würde sich mittelst der künstlichen Sandgebläse unter Gewinnung von Zahlenwerten sehr leicht durchexperimentieren lassen. Zu vermuten ist, dass durch die Geschosswirkung des Sandgebläses die Mineralien nach ihrer Härte angegriffen werden. Bei dem hiesigen Granitit würden also der Biotit und die Feldspäte stärker angegriffen und die Quarze herauspräpariert werden. Die Gesteinsoberfläche würde also das gerade umgekehrte Aussehen zeigen, wie in Folge der Verwitterung.

Experimentel festzustellen bliebe ferner, ob nicht auch eine der Strudelwirkung entsprechende Wirkung zu Stande komme. Insoweit ich mit der Mechanik bekannt bin, wüsste ich keinen Grund, der dies ausschliessen sollte. Wenn auch in Folge der Elastizität der Luft der Wirbelmechanismus entsprechend anders gestaltet sein muss als beim Wasser, und wenn auch das Gesteinsmaterial hierbei mehr hüpfende, als reibende Bewegungen ausführen wird, so besteht doch die Vermutung, dass auch auf diese Weise die den Steinkesseln ähnliche Gestalt gewisser Vertiefungen, bei deren Entstehung im Übrigen die Verwitterung stark mitwirken mag, zustande komme. Vielleicht wird sich auf diese Weise ein Teil der Vertiefungen erklären, von denen aus den Wüsten und Steppen berichtet wird. Die Axen dieser Vertiefungen werden nun aber, entsprechend der Richtung der Winde, der wagerechten näher liegen als der lotrechten, und ihre Gestalt wird vermutlich auch weniger drehrund sein, als die der Strudellöcher. Für die Steinkessel des Riesengebirges kommt schon aus diesen beiden Gründen diese Deutungsmöglichkeit nicht in Betracht, abgesehen noch von der Frage, ob hier, für den Hang der schlesischen Seite des Gebirges, überhaupt jemals Sandgebläsewirkung

von genügender Stärke und genügender Andauer bestanden hat.

Die Verwitterung.

Nach dem Vorbilde der schönen Genusregel: „Was man nicht dekliniren kann, das sieht man für ein Neutrum an“, könnten gewisse Erscheinungen auf dem Gebiet der geologischen Forschung durch die Regel gekennzeichnet werden: Was man nicht erklären kann, spricht man für Verwitterung an. Es ist zum Staunen, was heut alles einfach mit dem Wort: Verwitterung abgemacht wird. Dabei sind die Betreffenden auch so vorsichtig, nicht zu verraten, was sie sich bei dem Wort: Verwitterung wohl eigentlich gedacht haben mögen. Das Wort Verwitterung bezeichnet eine Gruppe von Wahrnehmungen, die durch das Zusammenwirken verschiedener Ursachen zu stande kommt. Es ist daher auch nur anwendbar, wo es sich um die summarische Zusammenfassung dieser Gruppe von Erscheinungen handelt. Für die Deutung dieser Erscheinungen dagegen muss auf die, nach dem jeweiligen Stande der Erkenntnis zur Strecke gebrachten einzelnen Ursachen zurückgegangen werden. Abgesehen von den vorstehend bereits erörterten Ursachen, kommen dann noch in Betracht chemische und thermische Wirkungen.

Bei den thermischen Wirkungen handelt es sich um rasche, grosse Temperaturunterschiede und zwar handelt es sich dabei um den Unterschied zwischen der strahlenden und der leitenden Wärme. In den Wüsten in niederen Breiten, bei fast beständig wolkenfreiem Himmel, beginnt die Sonne mit ihrem Aufgang die ihr zugekehrten Felsoberflächen zu bestrahlen. Je mehr sich der Strahlungswinkel dem Rechten nähert, desto stärker wird die Bestrahlung (eine desto grössere Menge von Strahlen entfällt auf die gleiche Fläche). Bei wagerechten Felsoberflächen ist also zu Mittag die Bestrahlung am

stärksten, um dann bis zum Sonnenuntergang wieder abzunehmen, worauf dann die Wärmeausstrahlung aus den Felsen das Übergewicht erlangt und bis zum Morgen wächst. Durch die Bestrahlung wird lediglich die den Wärmestrahlen zugängliche Molekülschicht der Felsoberfläche getroffen. Von diesen aus verbreitet sich die Wärme nach dem Innern des Felsens lediglich durch Wärmeleitung. Durch die Temperaturerhöhung jeder folgenden Molekülschicht wird entsprechend Wärme verbraucht und da die Bestrahlung nicht andauert sondern nach ungefähr 12 Stunden durch einen ungefähr zwölfstündigen Wärmeabfluss abgelöst wird, so ist in dieser täglichen Periode der Temperaturunterschied in der Oberflächenschicht am grössten und in jeder folgenden Molekülschicht kleiner, um schliesslich in einer gewissen Tiefe unter der Oberfläche gleich Null zu werden. Die Ausgiebigkeit der Wärmeleitung hängt ab von der Leitungsfähigkeit des Gesteins und von dem Temperaturunterschiede. Sie ist daher in der Nullschicht gleich Null und am grössten an der Oberfläche, und zwar wird dieser Unterschied um so grösser, je geringer die Leitungsfähigkeit des Gesteins ist. Im ganzen bewirkt Temperaturerhöhung eine Volumenvergrösserung und Temperaturerniedrigung eine Volumenverminderung, und andererseits pflegt bei den in Frage kommenden Gesteinen die Zugfestigkeit geringer zu sein als die Druckfestigkeit. Soll die Zugfestigkeit durch Volumenvermehrung oder -Verminderung überwunden werden, so muss die abreissende Schicht auch eine gewisse, entsprechende Dicke haben, die um so geringer wird sein können, je grösser die Temperaturunterschiede werden, ausserdem aber auch von der Korngrösse und Mineralbeschaffenheit des Gesteins abhängen wird. Der Volumunterschied zwischen der abreissenden Schicht und dem Gestein wird um so rascher wachsen, je geringer die Leitungsfähigkeit des

Gesteins (und je grösser der Temperaturunterschied) ist. Bei Eisen ist die Wärmeleitfähigkeit so gross, dass da kein Abreissen eintritt. Ein sehr anschauliches Bild für diese Art von Vorgängen bietet das Zerreißen und Aufblättern der Oberflächenschicht thonigen Bodens in austrocknenden Pfützen. Hier wird die Volumenverminderung der Oberflächenschicht durch die Verdunstung des Wassers bewirkt, während der darunter liegende Boden durch die Oberflächenschicht gegen die Wasserverdunstung geschützt ist. An die Stelle der Moleküle treten hierbei die Bodenteilchen. Zuerst und am raschesten vermindert sich das Volumen der obersten Bodenteilchenschicht. Die nächste Folge sind feine, radiale Risse. Sobald sich nun das Volumen der nächsten Schicht zu vermindern beginnt, findet diese, da sie ja auch an der obersten Schicht haftet, den geringsten Widerstand, wenn sie ihrerseits längs der bereits vorhandenen radialen Risse zerreisst. Da bei diesem Vorgange die Volumenverminderung von oben nach unten abnimmt, so muss dies ausserdem für die einzelnen durch die radialen Risse gebildeten Tafeln ein Aufkrümmen bewirken, das sobald es stark genug geworden ist, sobald die Tafel dick genug geworden ist, zu einem Abreissen in der Fläche, von den radialen Rissen her, und darauf zu einem wirklichen Aufkrümmen führen wird. Gegenüber diesen durch die Wasserentziehung verursachten Wirkungen wird, wo es sich um die Wärme handelt, jeder Riss oder Sprung ausserdem eine Unterbrechung der Wärmeleitung bewirken, insofern die Luft ein schlechter Wärmeleiter ist und ausserdem sich bewegt. Dies wird auch seinerseits in dem Sinne wirken, dass längs der ursprünglich entstandenen Risse auch das Weiterreißen erfolgt. Die Spannkraft, die vorhin mit dem Aufrollen bezeichnet worden sind, werden bei Gestein verhältnismässig früher zum Abreissen in der Fläche führen und ohne dass es zu

einem Aufrollen kommt. Radiale Risse werden wohl nur durch Abkühlung verursacht werden. Dagegen dürften Flächenrisse sowohl durch Erwärmung, wie durch Abkühlung entstehen können. Wenn grosse Felsblöcke zerspalten, wie J. Walther berichtet*), so wird das wohl nicht als ein einmaliger Vorgang zu erklären sein, sondern als ein allmähliges Weiterreissen längs den ursprünglichen Rissen, wobei die verschiedene Erwärmung und Abkühlung der entgegengesetzten Seiten des Blockes, nach seiner Stellung zum Sonnengange, mit in Betracht kommen wird. Die Herren Wüstenforscher sollten auch der Orientierung aller einschläglichen Erscheinungen zum Sonnengange ihre Aufmerksamkeit widmen. Je grösser die Temperaturunterschiede bei demselben Gestein werden, desto dünner werden die Abrissplatten werden können, und sobald sich die Temperaturunterschiede auf ein gewisses Mass gegenüber der Zugfestigkeit verringern, wird es zu einem Abreissen in der Fläche überhaupt nicht mehr kommen. Grosse Temperaturunterschiede bietet sowohl das Tropenklima wie das Polarklima. Dort werden daher auch die ähnlichen Erscheinungen zu erwarten sein. Dagegen hat das Polarklima vor dem Tropenklima noch die Wirkung des gefrierenden Wassers voraus, die es mit dem Winterklima der gemässigten Zonen und dem Klima der Hochgebirge teilt. Diese Wirkung kann keine Risse erzeugen, sondern nur vorhandene, anderweit entstandene Risse erweitern und dadurch vermutlich unter Umständen zum Weiterreissen bringen. Da mittelst des gefrierenden Wasser das Gestein auch auf seine Druckfestigkeit in Anspruch genommen wird, so habe ich in den einleitenden Worten für die thermischen Wirkungen das Wort: zerbersten gewählt, das sprachgebräuchlich sowohl für zerbersten wie für zerdrücken und für zerbrechen benutzt

*) J. Walther. „Das Gesetz der Wüstenbildung“. 1900.

werden kann. Ich habe hier also unterschieden zwischen thermischer Zerberstung und chemischer Zersetzung oder kurz zwischen Zerberstung und Zersetzung. Ob in unserem Klima die Temperaturunterschiede jemals gross genug werden um ihrerseits (ohne gefrieren des Wassers) bei granitischen Gesteinen Zerberstung zu Stande zu bringen, darüber liegen wohl noch keine einwandfreien Feststellungen vor. Nur so viel lässt sich wohl sagen, dass wenn solche Wirkungen überhaupt vorkommen sollten, sie jedenfalls zu den sehr seltenen Ausnahmefällen gehören werden.

Dass durch diese thermischen Wirkungen ohne Wasser Steine zerreißen und Oberflächentafeln abspalten können, ist nach dem Dargelegten verständlich. Wie aber dadurch Steinkessel sollten erzeugt oder durch Herstellung von Sprüngen auch nur vorbereitet werden können, dafür fehlt die Erklärung. Ebenso ist verständlich, wie durch Gefrieren des Wassers das Gestein auf Grund vorhandener Klüfte und Sprünge zerbrochen werden kann, nicht aber nach dem bis jetzt vorgebrachten, wie dadurch Steinkessel sollten hergestellt werden können.

Für die hier in Frage kommenden chemischen Wirkungen ist das Wasser der Träger. Wenn daher J. Walther die chemische Verwitterung in der Wüste, für die er ausdrücklich auch das Wasser als Träger anerkennt, „trockene Verwitterung“ benennt, so ist diese Bezeichnung unzutreffend und irreführend. Der Zweck der wissenschaftlichen Forschung ist aber nicht Irreführung und Erschwerung der Erkenntnis, sondern Gewinnung und Förderung neuer Erkenntnis. Da das gleiche Recht jeder auf jedem Gebiet hätte, so ständen wir mit diesem Jägerlatein, mit dem J. Walther ja keineswegs allein Aufsehen macht, vor einem Sprachwirrsal, gegenüber dem der babylonische Sprachenwirrwarr ein harmloses Kinderspiel wäre, das alle Wissenschaft unmöglich machen

würde. Keines Menschen Leben würde mehr ausreichen, sich selbst für ein beschränktes Gebiet auch nur noch mit der Bedeutung der wunderbaren und teilweise kinnladenzerbrechenden und geschmackvollen (Deflation u. s. w.) Namen, bekannt machen zu können. Diese Verirrung, durch die die Erkenntnis heut in grober Weise geschädigt wird, ist eine Folge des Fachspezialistentums auf unzureichender allgemeiner Erkenntnisgrundlage. Damit allein aber könnte die Wissenschaft nicht bestehen.

Die Wüsten, die Tropengebiete und die Polargebiete kenne ich aus eigener Anschauung nicht. Ich bin daher auf die Schilderungen anderer angewiesen. Wer sich nicht auf ein ganz enges Spezialgebiet beschränkt, ist zeitlich ausser stande, alles vorhandene lesen zu können, namentlich auf geologischem Gebiet, auf dem vielfach der Wortreichtum, die Breite und die Wiederholungen an die Massenhaftigkeit der Formationen gemahnen. Für die Wüste beschränke ich mich hier in der Hauptsache auf das Werk J. Walthers, der jüngst das Verdienst sich erworben hat, Wüsten zu bereisen und die Ergebnisse seiner Vorgänger zu verwerten. Doch muss ich es hier bei wenigen beispielsweisen Anführungen bewenden lassen. Einerseits nimmt Walther in der Wüste gewaltige Wirkungen chemischer Zersetzung an, andererseits soll jahrelang kein Tropfen Regen fallen. Wie soll das miteinander vereinbar sein? Wenn alle zehn Jahre einmal ein gewaltiger Wolkenbruch niedergeht, so mag das den Augen und der Haut des davon Betroffenen grossartig vorkommen. Die summarische Wirkung für die Gegend aber kann, gegenüber den regenreichen Gebieten, nur winzig klein sein. Seine gewaltigen, chemischen Wirkungen schiebt er namentlich auch auf die hohen Temperaturen. Für diese Art von Wirkungen sind durch die von Daurée begonnenen Experimente ja zuverlässige Grundlagen gewonnen. Um überhitzte Wasserdämpfe handelt es sich

nun hier doch nicht, dagegen hauptsächlich um Wassermangel und der seltene Regen hat auch keine hohen Temperaturen. Dann können, wie vorhin dargelegt, die hohen Temperaturen nur an der Oberfläche, nicht im Inneren des Gesteins bestehen. Hierin liegt ein grundsätzlicher Gegensatz gegen die heissen Quellen. Damit entfällt auch, was Walther von den „starken Lösungen“ und der „inneren (chemischen) Verwitterung“ behauptet. Das aus dem Gestein durch das eingedrungene Wasser gelöste Salz soll die Felsen „erweichen“. Da die Temperatur des sonnenbestrahlten Gesteins von aussen nach innen abnimmt, so muss das eingedrungene Wasser beim Aufsteigen infolge der Oberflächenabdunstung immer wärmer werden, also seine Lösungsfähigkeit immer mehr vermehren, also der Prozentsatz des gelösten Salzes immer kleiner werden gegenüber dem, das es gelöst enthalten könnte. Wenn eine Auslaugung in dem von Walther angenommenen Ausmass überhaupt stattfände, dann könnte das gelöste Salz jedesmal hauptsächlich nur aus den tiefsten Stellen der Haarrisse stammen, wo also das Wasser nicht sehr warm sein wird, da es in dem darüber gelegenen Gebiet ja schon früher in der Hauptsache ausgelaugt worden sein müsste. Bei dem Wassermangel der Wüste einerseits und den nicht hohen Temperaturen im Innern des Gesteins andererseits, ist vielmehr zu vermuten, dass diese Salzauslaugung winzig klein sein werde im Vergleich zu der in unserem gemässigten Klima. Dagegen dürfte in der Zerkleinerung des Gesteins durch die thermischen Wirkungen und die Windwirkungen eine Aufbereitung für die Salzauslaugung in der Wüste gegeben sein. Da sich das Aufsteigen des Wassers in den Haarrissen und Spalten des Gesteins infolge der gewaltigen Sonnenwirkung doch in verhältnissmässig kurzer Zeit vollziehen muss, und wie gesagt, das Wasser hierbei wärmer wird, also seine Lösungsfähigkeit vermehrt,

so kann auch nicht, wie Walther behauptet, das Auskrystallisieren des Salzes zersprengend wirken, vielmehr kann das winzige Bischen Salz, das überhaupt nur in Frage kommen wird, erst auf der Oberfläche ausgeschieden werden. Von der „tief verborgenen Grundwasserschicht“ werden keine hohen Temperaturen angegeben, und empordringen infolge der Oberflächenabdunstung, in den tief hinabdringenden Rissen und Spalten kann das Wasser offenbar nur sehr spärlich, denn sonst könnten, wenn jahrelang kein Tropfen Regen fällt, jene Wasseransammlungen nicht bestehen. Wenn Granit, der unter dem Hammerschlage zerbröckelt, noch ganz frisch aussieht, so würde ich, vorbehaltlich des Ergebnisses genauer Untersuchung, im Gegensatz zu Walther vermuten, dass eben nicht chemische Zersetzung, sondern thermische Zerberstung vorliege. Es würde zu weit führen, noch weiter auf Einzelheiten einzugehen. Das Vorgebrachte wird schon genügen zu dem Schluss, dass auch hier das Behaupten viel leichter ist, als das Begründen. Die Wissenschaft ist nun aber mit dem Mangel behaftet, an das letztere geistig minder leichte Verfahren gebunden zu sein, und wer dieser Aufgabe geistig gewachsen ist, hat eben nicht nötig, Wechsel auf seine persönliche Autorität auszustellen.

Wenn der Wüstenlack in der Tat eine Schutzrinde darstellt, dann wäre es ja erklärlich, dass die nicht lackierte Seite rascher der Zerstörung anheimfalle und Höhlungen entstehen. Aber wenn der Lack von der Sonne abhängt, dann müsste er nach deren Lauf orientiert sein, und wie verhielte sich die Sache dann unter dem Äquator? Die Höhlungen lägen dann auf der Schattenseite, also auf der Seite, auf der die Temperaturunterschiede am geringsten sind. Warum entstünden dann ferner an den Stellen, an denen der Lack abgesprungen ist, keine Vertiefungen? Angaben über die Orientierung nach dem Lauf der Sonne,

deren Strahlen in der Wüste eine so gewaltige Rolle spielen, habe ich auch in Walthers Werk nicht finden können, und bis jetzt scheint mir in dieser ganzen Lackfrage der Wissbegierige der am meisten lackierte zu sein.

Nach den Bildern in Walthers Werk und nach den Photographieen aus Innerasien, die J. Futterer auf der Naturforscherversammlung in Hamburg, 1901, vorlegte, scheinen die Axen der kesselartigen Vertiefungen, die hier allein in Frage kommen würden, der Wagerechten näher zu liegen, als der Lotrechten, auch scheinen sie nicht die drehrunde Gestalt der Wasserstrudellöcher und der Riesengebirgssteinkessel zu haben. Danach schon sind sie so wesentlich verschieden von diesen, dass sie für deren Deutung nicht in Betracht kommen können, abgesehen davon, dass ihre eigene, haltbare Deutung ja erst noch gefunden werden soll. Ihre Gestalt und Beschaffenheit, insoweit sie aus den Bildern beurteilt werden kann, würde dagegen der Mitwirkung des Sandgebläses nicht widersprechen.

Aus den Polargebieten sind mir auch nur autoritative Urteile bekannt geworden: Die betreffenden Steinkessel wären durch Verwitterung entstanden. Behaupten kann jeder. Wissenschaftlichkeit ist dazu nicht erforderlich. Dieses plumpe Verfahren einfacher, autoritativer Behauptungen auf dem Gebiet der wissenschaftlichen Forschung zeugt lediglich von geistiger Unmündigkeit und verdient keine weitere Beachtung.

Mir scheint, dass in Hinsicht der Verwitterung, gegenüber unserem gemässigten Klima, zwei Arten von Klimaten sich unterscheiden lassen: bei dem einen, und zwar bei dem feuchten Tropenklima, hat die chemische Zersetzung einen wesentlich höheren Betrag, vermutlich unter erhöhter Mitwirkung des Pflanzenwuchses (zersprengender Wirkung der Wurzeln u. s. w.); bei dem anderen, und zwar bei dem Wüstenklima, dem Polarklima

und dem Hochgebirgsklima, hat die thermische Zerberstung einen wesentlich höheren Betrag, bei den letzten beiden Klimaten unter Mitwirkung gefrierenden Wassers, bei dem ersten unter Mithilfe der Windwirkung.

In unserem Klima ist das Wasser sowohl der Träger der chemischen Zersetzung, wie auch, durch sein Gefrieren, in der Hauptsache der thermischen Zerberstung. Beides ist in der Hauptsache abhängig vom Regen- und Schneefall. Die Ergebnisse beider Wirkungen werden um so grösser ausfallen, je öfterer Wechsel eintritt zwischen Gefrieren und Auftauen und zwischen Befeuchtung und Luftzutritt. Die chemische Zersetzung wird geringer ausfallen unter länger andauernder Wasserbedeckung oder Wasserabwesenheit, und die thermische Zerberstung wird geringer ausfallen unter länger andauernder Schnee- oder Eisbedeckung oder länger andauerndem Nichtgefrieren (im Innern des Gesteins). Da der Regen und die Verwitterung die ganze zugängliche Gesteinsoberfläche betreffen, so zeugt es lediglich von staunenswertem Mangel an Logik, einfach autoritativ mit dem Wort: Verwitterung die einzelne Vertiefung für erklärt zu halten.

Die Erscheinungen, die der hiesige Granit zeigt, nötigen ferner zu folgender Vorstellung: Bei seiner ursprünglichen Verfestigung hat der Granit, unabhängig von seiner Mineralbeschaffenheit, an verschiedenen Stellen ein verschieden dichtes Gefüge erhalten. An den Stellen lockereren Gefüges dringt das Wasser auf den Trennungsflächen der Mineralien und den Rissen und Sprüngen leichter ein und damit beginnt die chemische Zersetzung und dazu vermehren dann noch die thermischen Wirkungen die Lockerheit des Gefüges. Von der Gestalt der Stellen minderen Gefüges werden dann die Gestalten abhängen, die Verwitterung zu Stande bringt. Dies, im Interesse besserer Übersicht vorausgeschickt, sind nun

die hier wahrnehmbaren Erscheinungen der Erörterung zu unterziehen.

Der Granitit des Riesengebirges verwittert sehr ungleichmässig. Während an der einen Stelle die Verwitterung so rasch vorwärts schreitet, dass Jahr für Jahr eine Grussschicht für technische Zwecke gewonnen werden kann und an noch unberührter Stelle das Gestein bis mehrere Meter tief zu Grus aufgelöst ist, der noch in ursprünglicher Lage befindlich, die Structur des Gesteins mit seinen Gängen u. s. w., noch deutlich erkennen lässt, liegt an anderer Stelle, unter einer nur ganz dünnen Verwitterungskruste, ein völlig frisch aussehendes Gestein mit glänzenden Feldspäthen. Oft finden sich solche Gegensätze nahe nebeneinander, anderwärts wieder kommen Übergänge im Grade der Verwitterung vor. An der einen Stelle sind die Gänge noch frisch und fest und der grobkörnige Granitit erscheint bereits als Grus, an der anderen Stelle ist der Granitit noch fest und der Gang in Auflösung begriffen. Wenn nun Verwitterung die Steinkessel zu erzeugen im Stande wäre, dann müssten diese doch offenbar um so häufiger vorkommen, je leichter verwitterbar der Granitit ist. Das gerade Gegenteil ist aber der Fall. Diese Steinkessel finden sich überhaupt nur, wo der Granitit von allerwiderstandsfähigster, allerfestester und am allerschwersten verwitterbarer Beschaffenheit ist und wo er diese Beschaffenheit schon von weitem dadurch verrät, dass er heut als Block oder Riff oder Kamm oder Gipfel über die Umgebung emporragt. Mit der Strudelochdeutung stehen diese Tatsachen in vollkommenem Einklange, mit der Verwitterungsdeutung in unlösbarem Widerspruch. Wenn Verwitterung Steinkessel zu erzeugen im Stande wäre, dann wäre nicht einzusehen, warum diese nicht auch in dem lockereren Granitit, und auch in den weicheren geschichteten Gesteinen vorkommen sollten. Ferner wäre

dann zu erwarten, dass sie allmählig immer grösser würden, bis sie auf diese Weise schliesslich den Rand des Gesteinsblockes oder der betreffenden Gesteinspartie erreichten und ihre Grösse würde dann der Ausdruck ihres Alters sein.

Was Verwitterung überhaupt zu leisten im Stande ist, muss sie unter sonst gleichen Umständen überall und zu jeder Zeit leisten. Wenn Verwitterung die Ursache wäre, dann müsste das ganze Gebirge und noch darüber hinaus alle Felsoberflächen, die heute oder zu irgend einer Zeit einmal der Verwitterung ausgesetzt waren, von solchen Steinkesseln wimmeln. Diese Steinkessel sind aber eine über Erwarten spärliche und beschränkte Erscheinung.

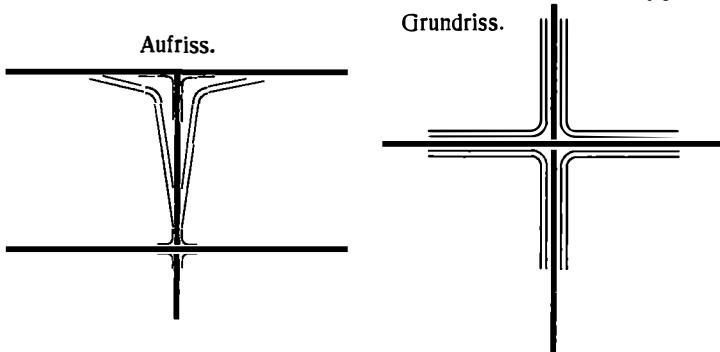
Die vorhin hervorgehobenen Unterschiede im Grade der Verwitterung sind auch zu beobachten, ohne dass makroskopische Unterschiede im Mineralgemenge wahrzunehmen wären. Dagegen zeigen auch die widerstandsfähigsten Granitpartien, die also heut über die Umgebung emporragen, insoweit sie den Atmosphärlinien ausgesetzt sind, Oberflächenverwitterung. Diese beiden Wahrnehmungen, die weiterhin noch vervollständigt werden, nötigen eben zu der vorausgeschickten Vorstellung. Bei der Oberflächenverwitterung ragen die oft zollgrossen Orthoklase zackig heraus, während die Quarze, Biotite (und Plagioklase) hinweggeräumt sind. Nicht tief darunter liegt dann meist ein völlig frisch aussehendes Gestein. Die den Atmosphärlinien zugänglichen Oberflächen sind ursprünglich die Absonderungsflächen der Blöcke. Das erste Stadium der Verwitterung eines Blockes ergibt daher die „Wollsackform“. Die Verwitterung ergibt hier also konvexe, nicht konkave Formen, und das wird sich noch weiter herausstellen. Das ist von entscheidender Wichtigkeit für die Steinkesselfrage. Hieraus, wie aus dem Umstande, dass selbst bei leicht ver-

witterndem Granitit schliesslich noch feste, schwer verwitterbare Kerne übrig bleiben, ist zu schliessen, dass bei den Blöcken die Dichtigkeit im Kern am grössten ist und nach den Absonderungsf lächen zu lockerer wird, was ja auch schon aus der Art der Absonderung in Blöcke überhaupt zu vermuten ist. Hierbei bringt manchmal die Verwitterung einen schichtweisen, schaligen Bau zum Vorschein. Hieraus wäre zu schliessen, dass die Abnahme der Dichtigkeit von dem Innern nach den Absonderungsf lächen nicht stetig sondern rhythmisch erfolge, dass sich also im Block im kleinen wiederhole, was die Absonderung der Blöcke im grossen darstellt. Dies verstärkt noch die Unfähigkeit in konkaven Formen verwittern zu können. Ausserdem geht aus dem vorhin gesagten hervor, dass die verschiedenen Bänke verschieden dicht sind. Wenn eine tiefer liegende Bank zunächst von den Klufflächen und dann auch bald von den Schalenflächen her rascher verwittert, als die darüber liegenden Bänke, so werden letztere immer mehr überhängend, bis sie schliesslich das Gleichgewicht verlieren und herunterstürzen oder in seltenen Fällen, ein wackliger Block übrig bleibt. Bei weiterem Fortschreiten der Verwitterung entstehen dann die Blockmassen. Damit wird die Angriffsfläche für die Verwitterung entsprechend vergrössert. Die weitere Folge ist dann, dass während nur die festeren Kerne sich länger erhalten, die Hauptmasse allmählig zu Grus zerfällt und durch die Tageswässer abwärts gespült wird, bis schliesslich Pflanzenwurzeln und Wald den lockeren Massen Halt bieten. Die allgemeine Abtragung des Gebirges schreitet daher auch nicht gleichmässig von der allgemeinen Felsoberfläche nach dem Innern zu fort, sondern wo eine tiefer liegende, noch genügend zugängliche Bank leichter verwittert, kommt alles darüber liegende mit zu Fall, und die Tageswässer setzen dann mit ihrer modellierenden

Wirkung ein. Andererseits haben sich schwerer verwitterbare Felspartien länger erhalten und überragen nun, während ihre einstige Nachbarschaft zu Grus zerfallen und hinabgespült ist, als Gipfel oder Kamm oder Riff oder Block die jetzige allgemeine Oberfläche. Dass sich diese Erscheinung nur als Folge der Verwitterung deuten lässt, und nicht als ursprünglich entstandene Magmaoberfläche, das wird weiter dadurch bestätigt, dass einerseits selbst Lavaoberflächen Gestaltungen von anderem Charakter zeigen, und dass es sich andererseits wie die Korngrösse der Mineralbestandteile beweist, hier überhaupt nicht um ursprüngliche Magmaoberflächen handelt, sondern von den Stellen ab, wo noch die krystallinischen Schiefer in ursprünglicher Lage aufliegen, um das einstige Innere des Lokkolithen. Die jetzigen Emporragungen sind also die Überreste einer einst höheren, allgemeinen Felsoberfläche. Ihre Oberfläche ist als solche also älter, als die Oberfläche ihrer niedereren Umgebung. Ein Teil dieser jetzigen Emporragungen sind nun die Träger der Steinkessel. Das steht in vollkommenem Einklang mit der Deutung als diluvialer Strudellöcher und in völlig unlösbarem Widerspruch mit der Verwitterungsdeutung. Dass diese Kessel nur auf jetzigen Emporragungen vorkommen, beweist dass sie alter Entstehung sind. Wie sollte nun Verwitterung heut nicht vermögen, was sie vor Zeiten vermocht hat? Wenn Verwitterung die Ursache wäre, warum sollten dann auf der Emporragung Steinkessel vorkommen und daneben nicht und warum auf der einen Emporragung und nicht auch auf der anderen? Strudellöcher dagegen können nur entstanden sein, wo eine genügend mächtige, strudelbildende Wasserströmung vorhanden war. Danach ist es vollkommen erklärlich, wenn nicht auf allen jetzigen Emporragungen Steinkessel sich finden. Diluviale Gletscherhöpfe sind ferner erzeugt durch die damaligen Gletscher-

wasserströme. Dies erklärt es, dass sie damals entstanden sind und heut nicht mehr entstehen. Die Strudellöcher ferner, die damals neben den jetzigen Emporragungen entstanden waren, haben mit dem Verschwinden dieser Felspartieen eben notgedrungen mit verschwinden müssen. Manche dieser Felspartieen sind heute noch als abgestürzte Blöcke vorhanden und da hat die einstige Oberfläche heute gelegentlich eine andere Lage.

Die Absonderungsflächen der Blöcke, insoweit sie jeweils den Atmosphärien zugänglich sind, sind wie gesagt ursprünglich die Angriffsflächen der Verwitterung, und, wie schon bemerkt, ist zunächst den Absonderungsflächen das Gefüge am lockersten, am leichtesten durch Verwitterung angreifbar. Demgemäss erweitern sich radiale Klufflächen oben zunächst zu Rinnen und dann weiterhin zu immer tiefer hinabreichenden Schlitten, Klüften. Wo sich solche Klufflächen kreuzen, ergibt dies durch die raschere Abrundung der von beiden Seiten angreifbaren Kanten entsprechende Vertiefungen. Alle diese Hohlformen aber sind das Ergebnis konvexer, nicht konkaver Abwitterung der Blöcke und ihre Gestalt steht in geradem Gegensatz zu der der Steinkessel. Der Fortschritt der Verwitterung auf solchen Klufflächen und Kluftecken verläuft, wie das an beliebig vielen Stellen im Gebirge in allen Stadien des Fortschritts zu beobachten ist, im Grundriss und im Aufriss nach nebenstehenden Schemas: Diese, im Grundriss und im Aufriss typisch



konvexen (sternförmigen) und gestreckten, spaltenartigen Gestalten, die eben der Ausdruck der Absonderung des Granitits sind, bilden den vollkommensten, äussersten Gegensatz zu den im Grundriss und im Aufriss typisch konkaven und runden Gestalten der Steinkessel. Schon hieraus ist nur der Schluss möglich, dass die Steinkessel nicht durch Auswitterung von Klüften und Kluftecken entstanden sein können. Derselbe Schluss wird sich später noch aus anderen Beziehungen ergeben. Ferner wenn Steinkessel durch Auswitterung von Klüften und Kluftecken entstanden, dann müssten einerseits alle die zahllosen ausgewitterten Klüfte und Kluftecken im Gebirge mit Steinkesseln erfüllt sein, was ganz und gar nicht der Fall ist, vielmehr sind, wie schon bemerkt, die Steinkessel eine über Erwarten spärliche und beschränkte Erscheinung, und andererseits dürften ausserhalb der Klüfte keine Steinkessel vorkommen und doch ist dies der Fall. Die Steinkessel haben in Bezug auf die Klüfte alle möglichen Lagen, ganz ausserhalb derselben und mehr oder weniger nahe ihrer Mitte von diesen durchschnitten. Daraus ist nur der Schluss möglich, dass Steinkessel und Klüfte unabhängig von einander entstanden seien. Beweisend sind hier die Steinkessel, die ganz ausserhalb von Klüften liegen. Ich wähle hier ein auch sonst deutliches Beispiel, das auf bequemem Promenadenwege, von mehreren Orten aus in kurzer Zeit zu erreichen ist. Der Promenadenweg, der von Kiesewald (bei Petersdorf) auf den Holzberg, auf dessen Nordostseite hinaufführt, endet bei einer der Steinkesselgruppen dieses Berges. Gleich der erste mit Steinkesseln versehene Block, zu dem man kommt, liegt noch in ursprünglicher Lage, mit seiner Längenerstreckung nach Südost. In (vermutlich) ganzer Mächtigkeit ist nur noch seine Nordwesthälfte erhalten. Von seiner Südosthälfte dagegen fehlt an der ursprünglichen Mächtigkeit die obere Hälfte. Der eine Kessel ist

nun so eingesenkt, dass er ungefähr zur Hälfte in den dickeren und zur anderen Hälfte in den dünneren Teil des Blockes fällt. Die Abmessungen dieses sehr regelmässig gestalteten Kessels sind; ganze Tiefe in dem dickeren Teil des Blockes: 1,60 Meter, in dem dünneren Teil: 0,75 Meter. obere Breite in dem dünneren Teil des Blockes: 1,35 Meter; Dieser Kessel greift bis fast zur unteren Bankfläche des Blockes durch und in der Mitte (der tiefsten Stelle) seines Bodens ist der Durchbruch (vielleicht erst nachträglich durch die Verwitterung) erfolgt. Alles Regenwasser fliesst also hier durch dieses Loch im Boden ab. Dieser Kessel ist weder durch eine Kluft durchschnitten, noch zeigt sein oberer Rand eine Abflussrinne, sogar trotzdem zwischen dem oberen Kesselrande und der einen Blockklufffläche nur sehr wenig Fels steht.

Die Witterlochautoritäten lade ich hiermit ein an diesem Kessel ihre Künste zu zeigen. Können sie das hier nicht, dann dürfen sie getrost ihr Geschäft überhaupt aufgeben.

Das Gletschereis muss auf den erhabenen Flächen der steilen, schlesischen Seite des Gebirges allen lockeren Fels hinweggeräumt und in die Vertiefungen geschafft haben. Die Gletschertöpfe entstanden dann in frischem, festem Fels, in dem auch die Klüfte noch nicht geöffnet gewesen sein werden. Seit dem Verschwinden des Eises hat dann Verwitterung auch diese Klüfte geöffnet und Abflussrinnen zu Wege gebracht. So ist das Zusammenkommen von Klüften und Kesseln erklärbar. Umgekehrt ist es nicht erklärbar. Der eben erwähnte Kessel liefert einen tatsächlichen Beweis hierfür. Hier kam es, infolge des Loches im Boden, zu keinem Überfliessen des Wassers und da ist auch keine Abflussrinne entstanden, und trotzdem er ganz ausserhalb der radialen Klüfte liegt, ist er gerade ein besonders schöner Kessel.

Die Granititblöcke sind nach ihrer Absonderung im Kern am dichtesten und werden nach den Absonderungsflächen zu lockerer. Ein Strudeloch, das über oder nahe neben einer lotrechten Klufffläche entstand, konnte daher in dem hier lockereren Gestein in derselben Zeit rascher an Tiefe zunehmen, als ein Strudeloch, das mehr in der Mitte des Blockes lag. Damit steht es im Einklang, dass manche Steinkessel, die die gekennzeichnete Lage haben, tiefer sind, als benachbarte.

Wo die Granititbänke geneigte Lage haben, da entstehen durch stärkeres Abwittern der obersten, am längsten den Atmosphärien ausgesetzten Kluffflächen staffelförmig übereinander liegende Rinnen und auf der entgegengesetzten Seite des Blockes entsprechend Stufen. Ähnliche Erscheinungen in kleinerem Massstabe sind auch an einzelnen Blöcken zu beobachten, woraus, wie früher bemerkt, auf schalenförmigen Bau dieser zu schliessen ist. Die Streifung und die Schlieren im Granitit werden in Bezug auf Verwitterung ähnlich wirken, wie diese Schalen. Wo Gänge den Granitit durchsetzen, da werden je nachdem die Gangmasse oder die Granititmasse rascher verwittert, entsprechende Abweichungen verursacht, doch sind sie als solche überall leicht zu erkennen.

Wo bei einem diluvialen Strudeloch, das über einer Klufffläche entstanden war, der eine der beiden Blöcke (vielleicht durch raschere Verwitterung der Unterlage) später heruntergebrochen und vielleicht noch weiter zerstört worden ist, da kann heut nur noch der aufrechte, seitlich offene Strudelochrest vorhanden sein. Solche seitlich mehr oder weniger aufgeschlitzte Kessel habe ich kurz halbe Kessel genannt.

Wenn ein Block, in dem ein Strudeloch sich befand, später umfiel, da hing es von der Seite ab, auf die er dabei kollerte, welche Lage heut der Steinkessel hat. Ob aber ein Block umgefallen ist oder noch in ur-

sprünglicher Lage sich befindet, das ist aus der Lage des Blockes überhaupt, aus seiner Gesteinsbeschaffenheit und der seiner Nachbarschaft und gelegentlich aus der Streifung und Schlierung zu erkennen.

Da seit der diluvialen Vereisung alle zugänglichen Felsflächen der Verwitterung ausgesetzt waren, so können auch die widerstandsfähigsten Felspartien heut nicht mehr in ursprünglicher Beschaffenheit vorhanden sein. Demgemäss sind auch hier nicht mehr die ganzen diluvialen Strudellöcher, sondern nur noch deren mehr oder weniger erhebliche Überreste, stellenweise nur noch die untersten Näpfe vorhanden. Je unerheblicher diese Reste werden, desto zweifelhafter kann ihre Deutung werden. Für die Frage überhaupt, ob Strudelwirkung oder nicht, ist dies aber deshalb ohne Belang, weil es an ausreichenden Resten nicht fehlt. Die Abmessungen dieser Reste geben auch einen Anhalt für die Abmessungen der einstigen Gletschertöpfe, und da die vorhandenen Reste in allerwiderstandsfähigstem Granitit sich finden, so folgt daraus, dass die Vergletscherung nicht von kurzer Dauer gewesen sein kann.

Auch der allerfesteste Granitit zeigt, insoweit er den Atmosphärien ausgesetzt ist, Oberflächenverwitterung. Entsprechend zeigen auch die Wände der Steinkessel Oberflächenverwitterung, die sich aber doch von der Verwitterung der freien Oberflächen dadurch unterscheidet, dass nicht die Orthoklase zackig herausragen, sondern die Mineralien gleichmässig (wie mit dem Meissel) abgearbeitet erscheinen und nur die Schliefflächen und meist auch die Schrammen weggewittert sind. Nur wo diluviale Strudellöcher alsbald nach ihrer Herstellung mit schützendem Lehm so verhüllt worden wären, dass auch nicht durch Risse in ihm die Atmosphärien an die Kesselwände hätten gelangen können, hätte die ursprüngliche Beschaffenheit der Wände besser erhalten bleiben können.

Ein solcher Fall ist aber im hiesigen Gebirge noch nicht beobachtet worden. Wo verfüllte Kessel hier bisher ausgeräumt worden sind, bestand die Füllmasse neben Gesteinsgruss aus Humus. Ehe aber diluviale Strudellöcher hier mit Humus verfüllt sein konnten, müssen sie lange offen gestanden haben. Auch wirkt hierbei Humus nicht wie Lehm. Auch der Kramstasche Flusstopf war nicht mit Lehm, sondern mit Steinen, Grus und Sand verfüllt. Die steilen Hänge der schlesischen Seite des Gebirges, die dadurch bedingte grosse Stromgeschwindigkeit der offenen Rinnsale, war im ganzen auch wenig geeignet zur Ablagerung feiner Lehmteilchen. Nun kommen ja hier auch lehmige Ablagerungen vor. Unter dem Moltkefelsen sind solche sogar für technische Zwecke ausgebeutet worden. Aber einerseits sind dort noch keine Steinkessel aufgedeckt worden und andererseits lässt die Beschaffenheit dieser Ablagerung vermuten, dass sie junger Entstehung sei.

Die Reibsteine ferner rührten doch von zerstörtem Fels her. Zerstört wird aber im ganzen der lockerere Fels leichter worden sein als der festere. Deshalb und wegen ihrer geringen Abmessungen müssen sie der frei zugänglichen Verwitterung entsprechend rasch zum Opfer gefallen sein, insoweit sie nicht schon durch die Reib-tätigkeit aufgezehrt waren. Damit steht es im Einklang, dass in den hiesigen Steinkesseln nur noch Grus, aber keine Reibsteine mehr gefunden werden und müssten noch vorhandene Reibsteine vielmehr die Vermutung aufdrängen, dass es sich um ein Strudeloch junger Entstehung handle.

Wenn hier Steinkessel vorkommen, deren unterer Teil noch die typische runde Gestalt hat, während der obere Teil schon etwas zackig und unregelmässig ist, so steht auch dies mit der Strudelochdeutung im Einklang, mit der Verwitterungsdeutung dagegen im Wider-

spruch. Der untere Teil des Loches ist in jedem Falle der jüngere, mag es durch Ausstrudlung oder durch Verwitterung entstanden sein. Da ist es erklärlich, dass der ältere Teil des Loches schon mehr durch Verwitterung entsprechend verändert ist, als der jüngere, obendrein wenn der obere Teil der Absonderungsfläche des Blockes näher, also in lockerem Gestein liegt. Wie sollte dagegen Verwitterung dazu kommen gerade dem jüngeren Teile des Loches eine vollkommener Abrundung zu verleihen, insofern sie überhaupt abrundend zu wirken vermöchte, als dem älteren Teil. Die Wirkungen deren Verwitterung überhaupt fähig ist, müssen doch gerade um so deutlicher ausgeprägt sein, je länger sie schon am Werke ist.

Der hiesige Granitit verwittert, wie vorhin erörtert, sozusagen grundsätzlich in konvexen Formen und daraus folgt der entsprechende Schluss auf sein Gefüge. Da nun die hiesigen Steinkessel nur in allerfestem Granitit vorkommen, so soll der Vorsorge halber noch die Frage aufgeworfen werden, ob dieser Granitit der aussen ebenfalls lediglich konvex verwittert, in seinem Inneren nicht vielleicht konkav verwittert, wäre es auch nur zum Possen oder vielleicht aus geheimer Sympathie für die Witterlochautoritäten. Aber dann müssten überall in dem sonst gleichartigen festen Granitit Steinkessel vorkommen und das ist, wie mehr bemerkt, ganz und gar nicht der Fall. Dann aber müsste die zu Grunde liegende abweichende Gesteinsbeschaffenheit doch irgend wie sich bemerklich machen. Da sind die einzigen wahrnehmbaren Erscheinungen in diesem Sinne die basischen Ausscheidungen. Wo ich diese Erscheinung hier bisher besichtigt habe, sind Linse und Granititmasse nicht durch eine Trennungsfläche gesondert, wie die Gerölle in den Konglomeraten, sondern sie gehen in mehr oder weniger breiter Zone ineinander über. Dadurch ist es ausgeschlossen,

dass durch herausfallen einer solchen Linse eine Vertiefung entstehen könnte. Ferner treten diese Linsen an abgewitterten Blockflächen als Erhebungen hervor. Sie müssen also langsamer verwittern, als die umschliessende Granitmasse. Dies wird weiter dadurch bestätigt, dass wo der Granit schon zu Grus zerfällt, diese Linsen noch als solche erhalten bleiben. Dadurch ist es ausgeschlossen dass durch Auswittern solcher Linsen Vertiefungen entstehen könnten. Die chemische Gesteinsbeschaffenheit ist in Bezug auf Verwitterung eben nur der eine Faktor, der andere ist die physikalische Gesteinsbeschaffenheit. Aus der basischeren Beschaffenheit folgt daher nicht schon die raschere Verwitterung; vielmehr beweisen die eben erwähnten Vorkommnisse, dass hier gerade umgekehrt, bildlich ausgedrückt, im Parallelogramm der Kräfte die Verwitterungsergebnisse mit der physikalischen Komponente den kleineren Winkel bildet. Dazu kommt schliesslich noch, dass diese Linsen im ganzen viel geringere Abmessungen haben, als die Steinkessel.

Es erübrigen nun noch die Fragen: wie Verwitterung auf anderweit entstandene Vertiefungen wirke und wie es hier mit dem Sprichwort: „Steter Tropfen höhlt den Stein“, also mit der Tröpfelhypothese stehe. Anderweit entstandene Vertiefungen bieten die geringfügigen Unebenheiten der oberen Blockflächen, die früher erwähnten stärker gekrümmten Bankflächen, insofern der Block so umgefallen ist, dass seine untere Seite oben ist, die Klüfte und Kluftecken, die Schalenrinnen und -stufen, die Vertiefungen, die durch rascher auswitternde Gangmassen und durch Herausbrechen grösserer und kleinerer Gesteinsstücke entstehen und endlich Strudellöcher. Die ganze Mannigfaltigkeit dieser Gestalten lässt sich in die zwei Gruppen sondern, in Löcher und Rinnen. Durch öfteren Wechsel von Befeuchtung und Luftzutritt und von Gefrieren und Auftauen wird, wie schon früher be-

merkt, die Verwitterung beschleunigt. Diese Sachlage ist aber in flachen Vertiefungen gegeben, diese werden also durch Verwitterung vertieft werden. Damit aber kehrt sich dieses Verhältnis sehr bald in sein Gegenteil um. Sobald die Vertiefungen so tief geworden sind, dass im Sommer länger dauernde Wasseransammlungen und im Winter länger dauernde Schneeansammlungen darin sich bilden können, ist die Umfassung der Vertiefung einem häufigeren Wechsel von Befeuchtung und Luftzutritt und von Gefrieren und Auftauen ausgesetzt, als die Vertiefung und würde daher nun durch die Verwitterung stärker angegriffen werden als die Vertiefung. Das heisst also durch Verwitterung können im Granit nur flache Vertiefungen entstehen. Ausserdem sind sie, in Folge ihrer Entstehung an die ursprünglich gegebene Grundrissform gebunden. Entsprechend der unregelmässigen Gestalt der Unebenheiten der Bankflächen werden durch Verwitterung Vertiefungen von unregelmässigem Grundriss entstehen, wie solche im Gebirge ja in zahllosen Beispielen zu beobachten sind. Nun lag für mich der Gedanke ja nahe, den ich schon lange vor Abfassung meines ersten Aufsatzes anderen Herren an Ort und Stelle auseinandergesetzt habe, dass eine gewisse abrundende Wirkung hierbei möglich sein könne. Wenn im Grundriss nämlich ein Sporn in die Vertiefung vorgreift, wird er von beiden Seiten durch die Verwitterung angegriffen werden, also rascher zurückweichen, als der benachbarte Rand. Aber hierdurch werden in der gegebenen Zeit wohl Ecken abgerundet, aber nicht ein im ganzen unregelmässiger Grundriss in einen regelmässigen verwandelt und gar die drehrunden Gestalten der Steinkessel hergestellt werden können. Die Oberflächenverwitterung mit ihren zackig herausragenden Orthoklasen ist hier ja allenthalben zu beobachten. Wenn aber Verwitterung bis metertiefe Vertiefungen zu erzeugen im Stande wäre,

dann müssten diese durch die Mineralbeschaffenheit bedingten Ungleichmässigkeiten noch viel grösser werden, ähnlich wie bei dem in rascher Verwitterung begriffenen lockereren Granitit. In den Steinkesseln ragen aber die Orthoklase nicht zackig heraus, sondern wenn schon die Wände nicht mehr glatt, sondern rauh sind, so sind doch die Mineralien gleichmässig abgearbeitet.

Wo das überschüssende Wasser aus Vertiefungen auf der niedrigsten Linie abfließt, da wittert allmählig eine entsprechende flache Rinne heraus. Solche Rinnen sind beispielsweise auf dem Rande von Steinkesseln zu beobachten, die nicht durch Klüfte durchschnitten sind oder bei denen die Klüfte erst später sich geöffnet haben. Dass diese reinen Verwitterungsrinnen in dieser Weise entstanden sein müssen, dafür liefert einen Gegenbeweis beispielsweise der erwähnte Steinkessel vom Kiesewald, der keine solche Rinne hat. Wo zwischen zwei benachbarten Kesseln die Zwischenwand nur dünn ist, da wird diese, da sie durch die Verwitterung von beiden Seiten angegriffen wird, rascher vertieft werden (wo nicht schon durch die Tätigkeit der Reibsteine die Zwischenwand beseitigt worden und dadurch eine wannenartige Gestalt entstanden ist.)

Die radialen Kluftflächen werden durch die Verwitterung sehr rasch zu Klüften geöffnet. Sobald dies aber geschehen ist, fließt alles Wasser rasch in die Tiefe. Die Befeuchtung dauert daher auf diesen Kluftflächen stets kürzere Zeit, als auf den Bankflächen. Entsprechend muss auch die Verwitterungswirkung hier geringer sein. Hierdurch ist es auch ganz ausgeschlossen, dass hier durch Verwitterung erheblichere Erweiterungen entstehen könnten. Da nun die heut durch Klüfte durchschnittenen Steinkessel ganz dieselbe typische Gestalt, wie die ausserhalb der Klüfte gelegenen haben, so liegt hierin ebenfalls ein allgemeiner Beweis, dass die

Steinkessel nicht durch Auswitterung entstanden sein können.

Der Regen betröpfelt die ganze Gesteinsoberfläche, kann daher nicht einzelne Verwitterungsvertiefungen zur Folge haben. Dazu müsste es schon an bestimmter Stelle besonders tröpfeln. Durch die stärkere und häufigere Befeuchtung wird an solcher Stelle in der Tat eine flache Vertiefung auswittern können, für die dann ebenfalls das vorhin in Hinsicht der Vertiefungen allgemein vorgebrachte gilt. Dass nun aber die Steinkessel nicht auf diese Weise entstanden sein können, dafür stellt sich hier noch eine besondere Beziehung heraus. Jede solche Tröpfelung setzt doch eine überragende Felspartie voraus, von der es auf die betreffende Stelle heruntertröpfelt. Zu jedem vorhandenen Steinkessel würde also eine Tröpfelanstalt hinzu hypothetisirt werden müssen, die in geradem Gegensatz stände zu der heutigen Sachlage. Wo nun ferner gar die Steinkessel gruppenweise vorkommen, und das ist die Regel, da würden höchst wunderbar gestaltete Tröpfelapparate nötig werden. Man würde schon zu sinnreich ausgedachten Eisenkonstruktionen seine Zuflucht nehmen müssen, um überhaupt damit zu Stande zu kommen, denn wenn man etwa meinen wollte, dass einer nach dem anderen zu Stande gekommen sein könnte, dann müssten die Kessel nach ihrem Alter verändert sein, und ferner müsste das Tröpfeln immer so lange innegehalten haben bis der überragende Fels wieder bis zum Mittelpunkt des nächsten Kessels hinweggewittert gewesen wäre.

Verwitterung greift allerdings das Gestein an. Aber um diese Frage handelt es sich hier eben nicht, sondern um die Frage, in welchem Sinne und in welchem Ausmass sie umgestaltend auf die Gesteinsoberfläche wirke und zwar auch noch innerhalb der gegebenen Zeit und im Verein mit den übrigen Einwirkungen.

Nach dem hier dargelegten steht der Deutung der hiesigen Steinkessel als Strudellöchern und als Gletschertöpfen nichts entgegen. Dagegen hat sich keine andere Deutung als haltbar erwiesen. Hiernach muss das Schlussergebnis lauten, dass nach dem hier Vorgebrachten die Steinkessel des Riesengebirges nur als Gletschertöpfe gedeutet werden können. Danach sind sie besonders deutliche Spuren der einstigen Vergletscherung und insoweit auch ihrer Ausdehnung, als diese nicht geringer gewesen sein kann. Diese Ausdehnung steht aber im Einklang mit anderen Beziehungen, die ich teilweise schon in meinem früheren Aufsatz, teilweise an anderer Stelle dargelegt habe.
