

Sitzungsberichte

der

Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Mathematisch-physikalische Klasse

Jahrgang 1909, 8. Abhandlung

Untersuchungen über Wackelsteine und damit
zusammenhängende Denudationserscheinungen

von

Siegmund Günther

Vorgelegt am 6. März 1909

München 1909

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)



DRUCKSCHRIFTEN

der

KGL. BAYER. AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN

(mathematisch-physikalische Klasse)

Die mit * bezeichneten Schriften sind zwar nicht in Sonderabdrücken erschienen, es kann aber das Heft der Sitzungsberichte, in dem sie gedruckt sind, zu 1 Mark 20 Pfg. bezogen werden.

In dem nachfolgenden Verzeichnisse ist A. = Abhandlungen, Sb. = Sitzungsberichte.

- | | |
|---|------------|
| Bergeat, Alfr. Die äolischen Inseln. XX, 1 1899 | 16 M. |
| Egger, Jos. G. Foraminiferen und Ostrakoden der Kreidebildungen in den bayerischen Alpen. XXI, 1 1899 | 14 M. |
| Fraunhofer, Jos. Gesammelte Schriften. 1888 | 12 M. |
| Fuchs, J. Nep. Chemie und Mineralogie. Rede. 1824 | 60 S. |
| — Theoretische Bemerkungen über die Gestaltungszustände des Eisens. VII, 1 1852 | 60 S. |
| Glungler G., Das Eruptivgebiet zwischen Weiden und Tirschenreut und seine kristalline Umgebung 1905, 2. | 1 M. |
| Groth, Paul. Ueber die Molekularbeschaffenheit der Krystalle. Festrede. 1888 | 80 S. |
| — Führer durch die Mineraliensammlung des bayerischen Staates. 1891. 80 | 1 M. |
| * Gümbel, Karl Willh. Ueber das Vorkommen des Antozon-haltigen Flussspathes bei Wölsenberg. 1863 I S. 301. | |
| * — Ueber das fränkische Knochenbett des Keupers und seine Pflanzenschichten. 1864 I S. 215. | |
| * — Vorkommen von unteren Triassschichten in Hochasien. 1865 II S. 348. | |
| * — Ueber neue Funde von Gosauschichten und Wilserkalk. 1866 II S. 158. | |
| * — Weitere Mittheilungen über das Vorkommen von Phosphorsäure in Schichtgesteinen Bayerns. 1867 II S. 147. | |
| * — Ueber die geognostischen Verhältnisse des Montblanc nach Favre. 1867 II S. 608. | |
| * — Ueber Pyrophyllit als Versteinerungsmittel. 1868 I S. 498. | |
| — Ueber Gliederung der Procänschichten in Böhmen. X, 2 1868 S. 501 | 2 M. 60 S. |
| * — Der Riesvulkan. 1870 I S. 153. | |
| * — Ueber die Foraminiferen der Gosau- und Belemniten-Schichten. 1870 II S. 278. | |
| * — Geognostische Verhältnisse des Ulmer Cementmergels und über seine Foraminiferen. 1871 S. 38. | |
| — Sogenannte Nulliporen, I. Abtlg. Nulliporen des Pflanzenreichs (Litiothamnium). XI, 1 1871 S. 1 | 1 M. 50 S. |
| — Desgl. II. Abtlg. Nulliporen des Thierreichs (Dactyloporen). XI, 1 1871 S. 60 | 2 M. 40 S. |
| * — Gletschererscheinungen aus der Eiszeit. 1872 S. 223. | |

Sitzungsberichte

der

Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

Mathematisch-physikalische Klasse

Jahrgang 1909, 8. Abhandlung

Untersuchungen über Wackelsteine und damit
zusammenhängende Denudationserscheinungen

von

Siegmond Günther

Vorgelegt am 6. März 1909

München 1909

Verlag der Königlich Bayerischen Akademie der Wissenschaften

in Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth)

Die Tatsache, daß es „Wackelsteine“ gibt, ist zwar eine längst bekannte, aber der Name selbst ist erst vor nicht sehr langer Zeit von der Wissenschaft rezipiert worden. Häufig angewandt scheint er auch jetzt noch nicht zu werden, obwohl er sehr bezeichnend ist; ob er noch anderswo als in den Schriften v. Gümbels¹⁾ und Loewls²⁾ vorkommt, kann zunächst nicht entschieden werden. Wir nennen so einen Felsblock, der auf so schmaler Unterlage aufruht, daß er anscheinend allen Gesetzen der Stabilität Hohn spricht und mit verhältnismäßig geringer Kraftanstrengung zum Wackeln gebracht werden kann oder doch gebracht werden zu können scheint — denn daß in allen Fällen ein leichter Druck diese oszillierende Bewegung

¹⁾ W. v. Gümbel, *Geologie von Bayern*, Kassel 1880, S. 220. „Wir erwähnen hier gelegentlich jene durch Verwitterung erzeugten, bei verschiedenen Felsformen vorkommenden Ausbildungen, bei welchen ein kopfartiger, großartiger Stein auf einer verhältnismäßig so kleinen Basis aufsitzt, daß er sich bewegen legt (Wackelstein).“ Beiläufig bemerkt, ist die Gümbelsche Abbildung recht wenig überzeugend. Denn der Deckstein hat mit seinem Supporte eine so große Fläche gemeinsam, daß man annehmen muß, er befinde sich in einem recht stabilen Gleichgewichte.

²⁾ F. Loewl, *Geologie*, Leipzig-Wien 1906 (11. Band des Sammelwerkes „Die Erdkunde“), S. 249. „Wenn die Säulen einen Hut aus härterem Gesteine tragen, so pflegen sie sich zu Pilzfelsen zu entwickeln, einer Pfeilerform, die allen Felswüsten eigentümlich ist, und deren Ausbildung dadurch begünstigt wird, daß der Sand auf dem Boden und in geringer Höhe darüber weggetrieben wird, und daß daher die Winderosion am Fuße eines Steinpfeilers am stärksten angreift. „Wackelsteine“ entstehen dadurch, daß einzelne Felspartien durch die Entfernung einer weicheeren Lage untergraben werden und schließlich nur noch unsicher auf der Unterlage ruhen.“

auszulösen vermag, steht keineswegs fest. Die Entstehung solcher Formen ist keine so ganz einfache, wie man vielleicht auf den ersten Blick glauben möchte, indem vielmehr verschiedene Ursachen unter Umständen den gleichen Effekt hervorbringen. Zunächst soll davon gesprochen werden, wo man derartige Gebilde wirklich antrifft; sehr zahlreich sind sie nicht, wenn man natürlich die zahlreichen Vorkommnisse ausschließt, welche den Sachverhalt sozusagen nur in Miniatur hervortreten lassen. Unsere Aufzählung kann aus naheliegenden Gründen nicht daran denken, eine vollständige zu sein, aber es dürften wenigstens die bekannteren und interessanteren Vertreter dieser Spezies morphologischer Eigentümlichkeiten ihre Stelle gefunden haben.

Am frühesten vielleicht hat sich damit v. Leonhard beschäftigt, dem überhaupt das wohl zu wenig anerkannte Verdienst zugesprochen werden muß, auf Besonderheiten des Oberflächenbildes ein sehr aufmerksames Auge gerichtet zu haben. Nachdem er ganz allgemein von den Blockmeeren gehandelt und als ein besonders klassisches Beispiel solcher Trümmeranhäufungen die Luisenburg im Fichtelgebirge (bei Wunsiedel) besprochen hat, wo, wie wir von Gümbel erfuhren, dergleichen lose aufliegende Felsen vorkommen, geht er zu dem analogen Phänomen in der englischen Landschaft Cornwall über und spricht sich darüber aus, wie folgt:¹⁾ „Dem Volke in Cornwall gilt seit langer Zeit sein Logan Rock oder Rocking Stone — schwebender Fels — als besondere Merkwürdigkeit. Aber der Gegenstand machte auch die Aufmerksamkeit von Antiquaren und Geologen rege und veranlaßte mehrfache Untersuchungen. Unfern Landsend, beim Dorfe Trereen, auf einem ins Meer hinausragenden Haufwerke granitischer Blöcke, schwebt, wahrhaft schauerlich, ein ungeheure Gesteinmasse. Der sphäroidische Granitblock, wie gesagt wird, über 60 Tonnen (120 000 Pfund) schwer, ist in dem Grade in seinem Gleichgewichte er-

¹⁾ K. C. v. Leonhard, *Geologie oder Naturgeschichte der Erde auf allgemein faßliche Weise abgehandelt*, 2. Band, Stuttgart 1838, S. 148 ff.

halten, daß eines Mannes kräftiger Arm ihn hinundherzuwiegen, ihn in schwankende Bewegung zu bringen vermag.“ Die eine große Dosis altkeltischen Aberglaubens bekundenden Landleute bringen den Fels, der ja (Fig. 1) abenteuerlich genug aussieht, mit alten keltischen Sagen in Verbindung und behaupten, daß es als ein Gottesurteil galt, ob jemand den Schwebestein ins Schwingen versetzen konnte oder nicht. Dann fährt v. Leonhard fort: „Ähnliche Tatsachen sieht man auch noch an einigen anderen Orten, namentlich auf der westindischen Insel Spanish Town“ — gemeint ist Jamaika —, „von Columbus als ‚die Große Jungfrau‘ (Virgen gorda) bezeichnet“. ¹⁾ Die Übersetzung „Dicke Jungfrau“ wäre richtiger.

Einzelne weitere Vorkommnisse dieser Art finden sich in der Literatur, wiewohl nur ziemlich spärlich, angegeben. Ein besonders schönes Exemplar hat Kuntze in Südamerika angetroffen; von ihm gibt er den folgenden Bericht:²⁾ „Auf der Sierra de Tandil findet man mächtige Steinblockmeere und pseudoglaziale Rundhöcker, von denen einer mit dem berühmten Rocking Stone, dem schwingenden Stein, nach einem Bilde, das nach einer Photographie gefertigt ward, hier wiedergegeben wird. Diese Gebilde sind auch schon für glazial gehalten worden, aber sicher mit Unrecht, schon weil diese Blockmeere bloß aus anstehendem Gestein bestehen. Santiago Roth führt zur Bekräftigung, daß die Sierren de Tandil und de la Ventana als alte Kuppen früherer großer primärer Gebirgsketten durch heute dort noch wirkende Naturkräfte, nicht aber durch Gletscher oder durch Überschwemmungen verwittert seien, auf, daß Gerölle nur in nächster Nähe, nicht aber in den Lößebenen vorkommen“. In Fig. 2 wird dieser besonders merkwürdige Wackelstein dargestellt. Das Lot, welches man sich aus seinem Schwerpunkte auf die Grundfläche gefällt zu denken hat, wird mit dem Fußpunkte vom Rande des winzigen Flächenstückes, das der Block mit der Unterlage gemein hat, nur um wenige

¹⁾ Nach v. Leonhard gibt unsere Fig. 1 den „Logan Rock“ wieder.

²⁾ O. Kuntze, Geogenetische Beiträge, Leipzig 1895, S. 15 ff.

Millimeter abweichen können; gleichwohl ruht das eigenartige Naturdenkmal offenbar im stabilen Gleichgewichtszustande.

Die Neue Welt weist noch andere Beispiele für die Existenz charakteristischer Wackelsteine auf. Wohl der größte, den es gibt, der anscheinend seinen Cornwaller Genossen noch an Volumen übertrifft, gehört dem sogenannten „Göttergarten“ am Fuße des Pikes Peak in der „Front Range“ der Rocky Mountains an; eine imposante Masse aus rotem triassischen Sandstein (Fig. 3), welche zu den „Clous“ dieses Naturmuseums sonderbarer Erosionsgebilde¹⁾ gerechnet wird. Das Gefühl, dieser Riese stehe nur ganz zufällig aufrecht und müsse im nächsten Augenblicke das Gleichgewicht verlieren, wird wohl jedem kommen, der zu seinen Füßen steht und bewundernd zu ihm aufblickt. Durchweg sonst ist auch der Wackelstein umgeben von Blöcken, die einen Vergleich ermöglichen; im „Göttergarten“ fehlen derartige Vergleichsobjekte in der näheren Umgebung fast gänzlich, und durch diesen Mangel wird das Massige, Gigantische des Anblickes noch verstärkt.

¹⁾ Die vorhandenen amerikanischen Nachrichten über den Garden of the Gods sind meist nicht erschöpfend. Generell beschäftigen sich mit den Denudationserscheinungen des Westens der Union in G. K. Gilberts großem Sammelwerke (Report on the Geology of Positions of Nevada, Utah, California, and Arizona, examined in the Years 1871 and 1872) die Beiträge von Wheeler-Humphrey (Report upon Geographical and Geological Explorations and Surveys west of the hundredth Meridian, 3. Band, Washington 1875) und J. J. Stevenson (Report of the Geology of the Territory of Colorado, examined in 1873, ebenda). Wir kommen auf einzelne einschlägige Verhältnisse noch zurück. Am meisten darf man erwarten von einer Abhandlung Endlichs (On some striking Products of Erosion in Colorado etc., Geological and Geographical Survey of the Territories, 4. Band, Washington 1878). Die Einteilung der Skulpturformen, die hier gegeben wird, kann man vollkommen billigen, ebenso auch den Hinweis auf gewisse Analogien mit den Erdpyramiden (S. 845); aber im Detail wird auf die Formenmannigfaltigkeit nicht eingegangen, von welcher der Autor selbst (S. 835 ff.) sagt, es sei nicht zu verwundern, daß sie auf die Phantasie des Naturmenschen einen tiefen Eindruck gemacht und ihm das Walten übernatürlicher Kräfte nahe gelegt haben müsse.

Zu den in unserem Sinne bemerkenswertesten Erdstellen sind jedenfalls die Falkland-Inseln zu rechnen. Mit den sogenannten Steinströmen derselben haben sich wohl alle Forscher befaßt,¹⁾ welche ihr Weg nach dieser entlegenen Küste führte, aber in tiefer eindringender Weise charakterisierte sie zuerst Darwin,²⁾ der anlässlich seiner berühmten Erdumseglung sich daselbst etwas länger aufzuhalten in der Lage war. Daß diese groteske Trümmeransammlung, deren Entstehung zu Hypothesen aller Art Veranlassung gegeben hat,³⁾ auch einzelne

1) Wir verweisen bezüglich der Literatur auf die Monographie von B. Stechele (Die „Steinströme“ der Falkland-Inseln, Münch. Geogr. Studien, herausgeg. von S. Günther, 20. Stück, 1906). Der erste Autor, von dem eine Schilderung des in Rede stehenden Steinfeldes herrührt, war Pernetty (Histoire d'un voyage aux Jsles Malouines, 2. Aufl., 2. Band, Paris 1770, S. 1 ff.). Soudt gaben außer Darwin noch selbständige Beschreibungen Wyville Thomson (The Atlantic, 2. Band, London 1877, S. 245 ff.) und R. Vallentin (Notes on the Falkland Islands, Manchester Memoirs, 18. Band, 1903—1904). Andere Reisende, die auch an Ort und Stelle waren, beschränken sich darauf, die Mitteilungen Darwins und Thomsons zu zitieren. Vgl. auch: H. Hefß, die Gletscher, Braunschweig 1904, S. 396.

2) Ch. Darwin, Journal of Researches into the Natural History and Geology of the Countries visited during the Voyage of H. M. S. Beagle round the World under the Command of Capt. Fitz Roy R. N., London 1860, S. 102 ff.; On the Geology of the Falkland Islands, Quart. Journ. of the Geol. Soc. of London, 2. Band (1846), 1. u. 2. Teil. Im Deutschen geben Darwins Originalbericht wieder die Übersetzung von J. V. Carus (Stuttgart 1875, S. 216 ff.) und (teilweise) Kuntze (Geogenetische Beiträge, Leipzig 1895, S. 15.)

3) Nach Stecheles fleißiger Zusammenstellung ist zur Erklärung der „Stone Rivers“ an folgende Ursachen appelliert worden: Vulkanausbrüche, Erdbeben, Schollenbrüche, Faltung, Gewölbeaufsprengung, Berg-rutsche, Wassertransport, Moränenreste, Lawinenbewegung. Eine bunte Musterkarte, welcher gegenüber Thomsons Vermutung, es möchten durch inneren Gebirgsdruck große Felspartien zertrümmert und in eine sehr langsame Rutschbewegung versetzt worden sein, insofern einen Fortschritt bedeutet, als keine äußeren Kräfte, für deren Auftreten der ganze Oberflächencharakter des Archipels nicht den mindesten Anhaltspunkt bietet, herangezogen werden. Die Originalphotographie von Schulz, die die Zeitschrift „Globus“ (60. Band, S. 183) nach dem von jenem Reisenden herausgegebenen Album „Falkland Islands“ abbildet, läßt an der scharfen Ausprägung des reinen Blockmeertypus keinen Zweifel.

Felsindividuen in fast unmöglich scheinender Situation aufzuweisen haben würde, war von vornherein zu erwarten. Darwins Schilderung¹⁾ gibt Belege genug an die Hand.

Die vier Beispiele — Cornwall, Sierra Tandil in Argentinien, Göttergarten und Falkland-Inseln —, deren wir bisher Erwähnung taten, mögen als die klassischen bezeichnet werden; daran, daß noch da und dort ein Sachverhalt wiederkehrt, der ja an und für sich keineswegs ganz unerwartet ist, ist nicht zu zweifeln.²⁾ Überall da, wo sich ein Wackelstein findet, kann aber unmöglich der Erdboden jemals auch nur wenig aus seiner Ruhe gebracht worden sein; solche Naturdenkmäler bekunden folglich die Erdbeben-Immunität der fraglichen Gegenden. In der Tat hat man auch von Erderschütterungen in Südwestengland, im östlichen Argentinien, im Colorado-Prairiegebiete³⁾ und im Falkland-Archipel kaum je etwas genommen.

¹⁾ Aus dem, was Darwin über die „Ruinen einer ungeheuren alten Kathedrale“ — Pernetty spricht von „Torruinen“ — berichtet, geht hervor, daß an der fraglichen Stelle viele größere und kleinere Blöcke in einer anscheinend ganz unmöglichen Anordnung gelagert sind. Der Platz befindet sich auf dem Gipfel eines niedrigen Berges, von dem der „Strom“ der Trümmer sich in das benachbarte Tal hinabzieht. Einige von den dort die Oberfläche bedeckenden, meist nach parallelepipedischer Absonderung losgelösten Tafeln können Anspruch auf die Bezeichnung „Wackelstein“ erheben.

²⁾ Einer Mitteilung von Herrn Prof. Martin (Nürnberg), mit dem der Verfasser bei der Bereisung der Insel Sardinien zusammentraf, ist zu entnehmen, daß dortselbst, nächst dem Städtchen Nuoro, ein Wackelstein sich befindet, der gelegentlich zu Volksbelustigungen Anlaß gibt. Auf einem der Gipfel des Pilatus lagerte nach Herrn Prof. A. Heim (Zürich) ehemals auch ein solcher Fels in Balancierlage, der Gnippstein genannt, der heute jedoch nicht mehr zu sehen ist. Kleinere Erdbeben sind in der Umgebung des Vierwaldstätter-Sees nichts Unerhörtes; wahrscheinlich hat ein solches die Bergspitze um die Zierde gebracht, von welcher sie noch den Namen trägt. Herrn Dr. F. Fischer (Fürth) ist eine Nachricht über eine analoge Erscheinung in der von Urgebirgsblöcken übersäten Umgegend des oberpfälzischen Marktfleckens Regen zu danken.

³⁾ In seinem großen, für diesen Teil der Erdbebenwissenschaft bahnbrechenden Werke über seismische Geographie gibt Montessus de

Was nun das Zustandekommen jener eigentümlichen Anordnung von Felsblöcken anlangt, so scheinen zwei Möglichkeiten wohl auseinandergehalten werden zu müssen. Die etwas kurzen Schilderungen v. Gümbels und Loewls, auf welche oben bezug genommen wurde, weisen nur je auf die eine Seite hin, während die andere unberücksichtigt bleibt. Schon aprioristisch betrachtet, wird man in einem Wackelsteine, je nach der besonderen Gestaltung der Verhältnisse, das Endergebnis eines gewöhnlichen Verwitterungsprozesses oder dasjenige eines stetig fortschreitenden Zerstörungsaktes der Winderosion anzusprechen haben. Diese Vorgänge sind, für sich betrachtet, so verschieden, wie überhaupt morphologische Eingriffe in das Gefüge eines geschlossenen Felsmassives nur sein können, aber trotzdem führen sie zu Endzuständen, welche, wenigstens auf den ersten Blick, gar keinen abweichenden Charakter zu haben scheinen.

Betreffs der Entstehung der sogenannten Blockmeere, welche zwar nicht an das Auftreten von Granit und Syenit direkt gebunden sind, im Bereiche dieser Massengesteine aber sicher am häufigsten und bei Sedimentärbildungen jedenfalls in einer weit weniger typischen Ausprägung vorkommen, besteht jetzt kaum noch irgendwelche Meinungsverschiedenheit. Die von Goethe¹⁾ bereits mit voller Deutlichkeit ausgesprochene

Ballore eine dem neuesten Stande unseres Wissens entsprechende Einteilung der Erdoberfläche in Maximal- und Minimalschüttergebiete. Zu den letzteren gehört ein elliptisch geformtes Areal am Ostabhange der Felsengebirge und in der sich östlich anschließenden Prärie. Vgl. hiez u Montessus de Ballore, *Les tremblements de terre, géographie sismique*, Paris 1906, a. v. St.; Sieberg, *Der Erdball, seine Entwicklung und seine Kräfte*. Eßlingen-München 1908, S. 335 ff.

¹⁾ Vgl. Goethes dem Jahre 1820 entstammenden Essay „Die Luisenburg bei Alexandersbad“ (sämtliche Werke in 40 Bänden, 40. Band, Stuttgart 1869, S. 83 ff.). Der wunderbare Anblick dieser anscheinend so gewaltigen Zerstörung mache es wohl begreiflich, daß man, um ein derartiges Chaos zu erklären, „Fluten und Wolkenbrüche, Sturm und Erdbeben, Vulkane und was nur sonst die Natur gewaltsam aufregen mag, hier zu Hilfe ruft“. Getreu seiner ganzen aktualistischen Richtung lehnt der Dichter jede einmalige Kraftwirkung ab und führt die Zustände auf

Ansicht, daß einzig und allein die Verwitterung — und zwar die chemische weit mehr als die mechanische — den Zerfall bedingt, und daß von der Beziehung katastrophal wirkender Agentien durchaus abzusehen ist, wird allgemein geteilt.

Ein Erklärungsversuch, der zu Goethes Zeit nicht wohl möglich war, obwohl gerade er noch am ersten auf ihn hätte verfallen können,¹⁾ soll hier nur kurz gestreift werden, weil eine ernsthafte Befürwortung desselben nur selten hervorgetreten ist; es wurde oben erwähnt, daß ein deutsch-argentinischer Forscher solche Möglichkeiten, die also doch wohl von irgend einer Seite geltend gemacht worden sein müssen, zurückweisen zu sollen geglaubt hat. Man könnte nämlich solche Trümmeransammlungen allenfalls auch als diluviale Residuen auffassen, die, je nachdem man die Drift- oder Glazialtheorie bevorzugt, auf eine Hochflut oder auf Moränenbildung zurückzuführen wären. Kenner der Örtlichkeit²⁾ stellen beides auf das entschiedenste in Abrede, soweit eben die Sierra Tandil in Betracht kommt. Von Vereisungserscheinungen im Fichtelgebirge kann erst recht nur im bescheidensten Maße die Rede sein. Es bleibt also dabei, daß die Wackelsteinbildung in der Regel die einfachste Konsequenz eines durch Verwitterung herbeigeführten Gesteinzerfalles ist. Ein größerer Block war mutmaßlich lange Zeit von kleineren Fragmenten umgeben, die ihn stützten und

langsame und ruhige Veränderungen zurück, indem er darauf hinweist, daß noch mehrere Felspartien, die der Verwitterung besser widerstanden, sich ganz im ursprünglichen Zustande befänden, der aber, weil er nichts Außergewöhnliches darbiete, nicht beachtet werde.

¹⁾ Man sollte nicht vergessen, daß der große Dichter tatsächlich einer der ersten war, die dem Transporte der Findlinge durch die sich ungewöhnlich stark ausdehnenden Gletscher das Wort redeten, und zwar bereits zu einer Zeit, da die von Venetz gegebenen Aufschlüsse über das Erratikum im Wallis noch nicht die Streitfrage zu einer akuten gemacht hatten. Der Name Goethes muß immer mit denen von Deluc, Esmark und Playfair zusammen genannt werden (Günther, Geschichte der Naturwissenschaften, 2. Band, Leipzig 1909, S. 226).

²⁾ Der Verfasser erholte sich diesen Aufschluß persönlich bei Herrn Prof. Dr. Hauthal (früher in La Plata, jetzt in Hildesheim), der die merkwürdige Erdstelle aus eigener Anschauung genau kennt.

in seiner Lage erhielten, bis die natürlichen Denudationsfaktoren eine dieser Stützen nach der anderen entfernten. In hunderten von Fällen mag dann der seiner Pilotierung beraubte Fels umgestürzt sein und sich in eine ungezwungen stabile Lage eingestellt haben; in einigen wenigen dagegen war von Anfang an jene eigenartige Stabilität vorhanden, welche eben das Wesen des Wackelsteines ausmacht, und der Denudationsvorgang hatte daran nichts mehr zu ändern.

Niemals wird natürlich mit voller Sicherheit entschieden werden können, ob nicht neben der langsamen Arbeit der Gesteinsauflösung auch andere erosive Agentien eine gewisse Mitwirkung betätigt haben. Wie wir oben sahen, schreibt diesen u. a. Loewl einen sehr kräftigen Anteil zu, und speziell bei dem Riesenblocke des „Göttergartens“ wird an eine energische Winderosion gedacht werden dürfen. Es ist nicht zu leugnen, daß gegen eine längere Zeit ziemlich allgemein gebilligte Auffassung, welche jenem Momente einen sehr weiten Geltungsbereich zusprach, eine Reaktion eingetreten ist,¹⁾ so daß vielleicht jetzt, wie man das in der Geschichte der Wissenschaft so oft wahrzunehmen Gelegenheit hat, die Deflation einigermaßen in ihrer Bedeutung unterschätzt zu werden beginnt. So dürfte es sich empfehlen, dieser Frage eine eingehendere Erörterung zu widmen.

Daß zunächst diese Art der Zerstörung, falls wir die

¹⁾ Bezug genommen wird hier auf die noch nicht in den Druck gekommenen Vorträge von Passarge und Penck über die Probleme der Wüstenbildung. Der 17. Deutsche Geographentag (in Lübeck) bot den genannten beiden Geographen die Möglichkeit, sich über die von ihnen in verschiedenen Erdräumen gewonnenen Anschauungen in öffentlicher Sitzung auszusprechen. Bei manchen Meinungsverschiedenheiten im einzelnen traten auch viele Übereinstimmungen hervor, so insbesondere auch in der Bewertung der der Tätigkeit bewegter Luft zuzusprechenden Leistungsfähigkeit. Es wurde von beiden Seiten betont, daß Walther, auf dessen Arbeiten wir gleich nachher zu sprechen kommen werden, die Windenergie zu hoch eingeschätzt habe, und daß auch in der Wüste die Wassererosion gar nicht die unbedeutende Rolle spiele, an die man vielfach glaubte.

Möglichkeit ihres Vorhandenseins zugeben, die Verwandlung einer isolierten Gesteinsmasse in ein Felsstück von höchst gewagter Lage zuwege bringen kann, ist äußerst wahrscheinlich. Regenfall ist im Staate Colorado verhältnismäßig eine Seltenheit, wogegen „heftige Windstöße und Staubstürme“ — von dem Vorkommen der letzteren hatte der Verfasser selbst Gelegenheit sich zu überzeugen — als häufige Ereignisse anzusehen sind. So charakterisiert Hann,¹⁾ auf das Zeugnis Garnetts hin, die klimatischen Verhältnisse am Fuße der East Range²⁾ der Felsengebirge. Eine gewisse Prädisposition des Materiales, welche den Angriff der mit Sand beladenen Luftströmungen erleichtert, scheint gegeben durch die sehr scharfen Temperaturgegensätze, welche hier zu konstatieren sind, und welche, namentlich soweit Tag und Nacht sich entgegenstehen, geradezu an das erinnern, was aus wirklichen Wüsten bekannt ist. „Die tägliche Wärmeschwankung“, sagt Hann, „erreicht als Effekt der Wärmeausstrahlung bei Nacht und der Insolation bei Tag hier ein Maximum. Tageschwankungen von 20° bis 24° im Mittel sind nicht ungewöhnlich, und gelegentlich kommen solche bis zu 30° und darüber vor. Wenn am Morgen strenger Frost herrscht, bringt die Sonne bis zum Nachmittag doch Sommerwärme.“ Solcher Wechsel der Temperatur lockert das Gefüge auch des festeten

¹⁾ J. Hann, Handbuch der Klimatologie, 3. Band, Stuttgart 1897, S. 344 ff.

²⁾ Gegenden der hier gekennzeichneten Art haben zumeist auch starken Taufall, und dessen Mitwirkung soll nicht unterschätzt werden. An jeder einigermaßen geschützten Stelle des Felsens, wo sich das aus der Luft niedergeschlagene oder nach vorhergegangener Absorption aus dem Steine wieder austretende Wasser einige Zeit halten kann, ohne der sonst überall sich geltend machenden Verdunstung zu unterliegen, hilft der Tau, wie sonst zurückgebliebenes Regenwasser, mit, den Fels zu zersetzen. Es bildet sich allmählich ein anfänglich nur minimaler Hohlraum aus, der jedoch durch die Luft und ihre Geschosse ziemlich rasch ausgetieft werden kann und, indem er mit anderen Miniaturlöchern zusammenwächst, der Entstehung größerer Öffnungen im Gesteine Vorschub leistet.

Körpers und schafft schwache Punkte, an denen jeder Eingriff sich leichter betätigen kann. Die chemische Verwitterung wird infolge der sehr beträchtlichen Lufttrockenheit herabgesetzt, und an ihre Stelle treten die molekularen Spannungszustände, welche die Konsequenz eines unaufhörlich mit großer Amplitude sich vollziehenden Wechselspieles von Ausdehnung und Zusammenziehung sein müssen.

Die Abhobelung durch das Sandgebläse ist durch Walther¹⁾ und Thoulet²⁾ gründlich studiert worden. Auch dann, wenn man, worauf oben verwiesen ward, die Allgemeingültigkeit der auf Deflation zurückgeführten Wirkungen nicht zugesteht, wird zuzugeben sein, daß die Wind- und Sanderosion da, wo alle Voraussetzungen für sie gegeben sind, die Zerstörungsbilder schafft, mit denen uns Walthers lebensvolle Darstellung bekannt macht. Zu allererst wird die Gesteinswand, gegen welche, um mit v. Richthofen³⁾ zu sprechen, der anstürmende Wind seine Projektile schleudert, gefurcht und durchlöchert, je nachdem eben die Punkte geringerer Widerstandsfähigkeit mehr eine longitudinale oder flächenhafte Anordnung zeigen. Die Löcherbildung durch äolische Korrasion verdient, weil sie die erste Etappe des die Pilzfelsen und „Monumente“ bildenden Prozesses bildet,⁴⁾ noch etwas näher betrachtet zu werden. Gerade bei ihr scheint sich

¹⁾ J. Walther, Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung; Untersuchungen über die Bildung von Sedimenten in der ägyptischen Wüste, Abhandl. d. K. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch., Math.-phys. Kl., 16. Band (1891), Nr. III.

²⁾ T. Thoulet, Expériences synthétiques sur l'abrasion des roches par le sable, Compt. Rend. de l'Acad. Franç., 104. Band, S. 381 ff.

³⁾ F. v. Richthofen, Führer für Forschungsreisende, Hannover 1901 (Berlin 1886), S. 430.

⁴⁾ Unter dem Namen „Accidental Monuments“ kennt man in Nordamerika diese isolierten Säulen. Der Vergleich mit den Erdpyramiden hinkt, wie Penck (Morphologie der Erdoberfläche, 1. Band, Stuttgart 1894, S. 234 ff.) bemerkt, insofern, als die Lehmgebilde sich fast ausnahmslos nach unten verbreitern, die „Monumente“ hingegen nach unten verjüngen.

die Eigenart der Winderosion besonders gut im einzelnen erkennen zu lassen.¹⁾

Selbstverständlich kann auch die Struktur des der äolischen Einwirkung ausgesetzten Körpers eine solche sein, daß er nicht facettiert und durchlöchert, sondern auf einem namhaften Teile

¹⁾ Daß Nischenbildung auch ohne jede Mitwirkung des Windes eintreten kann, wird niemand bezweifeln wollen; sprechen dafür doch schon ansehnend die Dolinen des Karstes und die sogenannten Opferkessel der deutschen Mittelgebirge. Ein tieferes Studium wandte der Angelegenheit zu Stefanini (*Nicchie d'erosione nei terreni plioceni della Vald'Era*, Riv. Geogr. Ital., 16. Jahrgang, 4. Heft); vgl. auch eine zweite Abhandlung dieses Autors (*Fenomeni carsici nei gessi della Val d'Era*, a. a. O., 14. Jahrgang, 10. Heft). Diese durchweg sehr weiten Höhlungen mit ganz unregelmäßiger Umrandung finden sich mehrenteils da vor, wo Sandstein- und Tonlager sich berühren, so daß mithin der genannte Geologe gerade dieses Zusammentreffen von Schichten sehr verschiedenartigen Charakters für eine unerläßliche Voraussetzung des Eintiefungsprozesses erklären zu müssen glaubt. Die Verwitterung tut sicherlich bei diesen Gebilden das meiste. Höchst belehrend sind die Skizzen, welche uns K. Futterer (*Durch Asien; Erfahrungen, Forschungen und Sammlungen während der von Dr. Holderer unternommenen Reise*, fortgesetzt von F. Noetling, 2. Band, Berlin 1905) verschiedene Male vorlegt. Wir lernen Muldenbildungen im anstehenden Granit (S. 178) kennen, welche wohl reine Verwitterungsphänomene sind, und auch bei den Höhlen von Kara-Küstül (S. 181) dürfte in der Hauptsache, wenschon der Wind wenigstens die Desquamation, die schalenförmige Absonderung befördert, dasselbe gelten. Die Tufflöcher bei Jantschi (Tafel XIII) hinwiederum haben mehr eine doppelte Bildungsursache aufzuweisen, indem der staubführende Wind „Wirbelkessel“ ausgeblasen hat, wie sie gelegentlich auch unsere Breiten besitzen (Futterer, Ein Beispiel für Winderosion am Heidelberger Schloß, *Mitteil. d. Bad. Geol. Landesanstalt*, 3. Band, 3. Heft, 1897). Rein äolisch ist dagegen, wie schon aus den scharfen Rändern zu schließen, die Beanspruchung tertiärer Sandsteine bei Kutscha (S. 138) gewesen. Wie der Windschliff Quarzitgerölle — es sei nur an die bekannten facettierten Dreikanter erinnert — umgestaltet, lehren uns zwei Beispiele (S. 281 ff.). Als ein geradezu klassisches Land der Felslochbildung hat die Insel Korsika zu gelten, so daß Penck sogar (a. a. O., 1. Band, S. 214) den Vorschlag machte, gewisse Hohlformen überhaupt mit dem dort üblichen Namen „Tafoni“ zu belegen. Mit Vorliebe ist der Granit das von ihnen aufgesuchte Gestein, aber sie fehlen auch im Kalkstein nicht, so daß doch wohl außer der chemischen

seiner Oberfläche einfach glatt poliert wird. Einen interessanten Fall dieser Art hat u. a. Ascherson beobachtet.¹⁾ Die Norm jedoch ist dies nicht, vielmehr werden da, wo der Bodenwind eine kräftigere Korrasion auszuüben imstande ist, stets sehr leicht sich jene Windtische bilden, auf welche, als Deflationsprodukte, Gilbert²⁾ unsere Aufmerksamkeit gelenkt hat, und gleicherweise die vielgenannten Pilzfelsen, die man als das letzte Stadium des Abnützungsprozesses der Säule aufzufassen hat.³⁾ Äußerst phantastische Gestalten dieser Gebilde sind in manchen Wüsten keine Seltenheit, während sie allerdings in anderen gänzlich fehlen,⁴⁾ gerade wie auch die grotesken „Säulenhallen“ oder „Galerien“ nur eine regional be-

Verwitterung und der im Winter, bei reichlichem Schneefalle, ziemlich ergiebigen Wassererosion noch eine weitere Ursache im Spiele sein muß. Die Exposition der „tafonierten“ Felswände läßt annehmen, daß der über Korsika mit oft verheerender Energie wehende Wind in Betracht zu ziehen ist, und daß der marine Salzstaub, den er aus dem westlichen Mittelmeere heranzführt, dabei eine gewisse aktive Rolle zu spielen berufen ist. An anderem Orte soll das noch zu wenig studierte Phänomen näher gewürdigt werden.

1) Schweinfurth bemerkt (Prof. Dr. P. Aschersons Reise nach der kleinen Oase, 16. März bis 10. Mai 1876, Petermanns Geogr. Mitteil., 1876, S. 266), daß ein breiter Gürtel von Felsplatten „durch Sandtreiben eine gletscherartige Politur“ erhalten hatte.

2) Gilbert, Natural Wind Blast, Report of the Wheeler Expedition, Washington 1875, S. 82.

3) Viele einschlägige Mitteilungen macht Walther (a. a. O., S. 24 ff., S. 402, S. 424, S. 464). Schon früher wußte De Bary (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdk. zu Berlin, 1876, S. 178) zu berichten: „In Tusili sind Felsen häufig, deren Form der Gestalt von Pilzschwämmen ähnlich sieht, indem ein mächtiger Block auf einer schlanken Basis ruht“; immerhin bekunden diese Worte nicht mit voller Sicherheit, ob man es da mit Monolithen zu tun hat. Aber auch O. Fraas (Aus dem Orient, Stuttgart 1867, S. 20) und Schweinfurth (Im Herzen von Afrika, 1. Band, Leipzig 1874, S. 40) bestätigen das Dasein solcher Gebilde im Bereiche des ostafrikanischen Wüstengebietes. Aus Hochasien bildet Futterer einige schöne Paradigmen von Pilzfelsen ab (a. a. O., 2. Band, S. 310).

4) So fehlen sie beispielsweise ganz und gar nach Passarge (s. o.) in Südalgerien.

grenzte Verbreitung haben.¹⁾ Die „Monumente“ der westlichen Prairie weisen einstweilen noch keine so auffälligen Unterschiede in ihren oberen und unteren Breitendimensionen auf, daß man von einem „steinernen Hutpilz“ zu sprechen berechtigt wäre, aber ein Ansatz zu einem solchen ist in der Tat gemacht.

So liegt denn auch der Gedanke nicht ferne, die in Fig. 4 wiedergegebene Erscheinung des Wackelblockes im „Göttergarten“ mit der Deflation in ursächliche Verbindung zu bringen; um so mehr, da an die Herauspräparierung aus einem Blockmeere, wie sie sonst als die Regel zu betrachten ist,²⁾ kaum gedacht werden kann. Steht doch das merkwürdige Exemplar der Wirkung destruktiver Faktoren nahezu isoliert da, und neben den allerorts aufragenden Massiven von bizarrer Form sind umherliegende lose Trümmerstücke nur in geringer Menge vorhanden. Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß der längs des Talbodens besonders kräftig abschleifende Wind den kurzen Stiel des dereinstigen Monumentfelsens vollständig durchgesägt und so dessen Niedergleiten auf die Basis des Naturparks bewirkt haben könnte, dünkt uns nicht gering. Einen strikten Beweis dafür anzutreten, ist freilich nicht gut möglich, aber es spricht dafür auch der Umstand, daß die Seitenflächen der auf winziger Unterlage sich erhebenden polyedrischen Masse deutlich die Spuren einer Abscheuerung erkennen lassen, welche schwerlich auf den seltenen Niederschlag meteorischen Wassers, weit eher vielmehr auf die Tätigkeit des Sandgebläses hinzuweisen scheinen.

„Wackelsteine“ sind somit, dies ist das Ergebnis unserer

1) Auch diese Exkavationen gestatten nicht eine schablonenhafte Zurückführung auf übereinstimmende kausale Momente. Jene südwestafrikanischen Exemplare z. B., welche der Verfasser in der reichhaltigen Original-Aquarellsammlung von Prof. Pechuel-Loesche (Erlangen) sah, sind unverkennbar Zeugen einer mächtigen Erosion des Windes, und andererseits zeigte Passarge (s. o.) Photogramme vor, die auf die Verwitterung als mindestens stark prävalierende Ursache zu schließen nötigen.

2) Vgl. Penck, a. a. O., 2. Band, S. 151 ff.; Supan, Grundzüge der physischen Erdkunde, Leipzig 1896, S. 347 ff.

Überlegungen, stets ein Schlußpunkt langwieriger und langsam wirkender Denudationsvorgänge. Chemische Verwitterung und Wasserwirkung sind in der Mehrzahl der Fälle die vorwiegend maßgebenden Faktoren; die letztgenannte vor allem auch in Bezug auf die Wegführung der kleineren Felsblöcke, in welche die größere Masse eingebettet lag, ehe sie sich in der gegenwärtigen überraschenden Ansicht den Augen darstellte. Aber es ist auch denkbar, daß die vom Winde und seiner Festkörperladung ausgehende Aktion das anstehende Gestein an einer nachgiebigen Stelle derart bearbeitete, um die dem Boden zunächst anliegenden Teile gänzlich zu zerstören und wegzuführen, worauf dann der obere Teil, nur noch von einer Miniaturbasis getragen, in eine den Gesetzen der Statik anscheinend Hohn sprechende Lage geriet. Individuelle Untersuchung des einzelnen Vorkommnisses wird demgemäß erst die näheren Umstände für die Genese eines bestimmten „Wackelsteines“ zu ermitteln vermögen.

Fig. 1.



Logan rock, der schwebende Fels, an der Küste von Cornwall.

Fig. 2.



Pseudoglaciale Bildungen in der Sierra de Tandil, Argentinien.

Fig. 3.



Nach einer Photographie die nicht bezeichnet ist.