

Sitzungsberichte
der
mathematisch-physikalischen Classe
der
k. b. Akademie der Wissenschaften
zu München.

1901. Heft I.



München.
Verlag der k. Akademie
1901.

In Commission des G. Franz'schen Verlags (J. Neuber)

Akustisch-Geographische Probleme.

Von S. Günther.

(Eingelaufen 5. Januar.)

Wie bereits an anderer Stelle¹⁾ bemerkt wurde, muss als derjenige Teil der allgemeinen Physik, der mit der physikalischen Erdkunde die mindest lebhaften Beziehungen unterhält, die Lehre vom Schalle bezeichnet werden. Es wurde aber an jenem Orte zugleich betont, dass doch in neuerer Zeit eine ganze Anzahl von Fragen hervorgetreten ist, welche gleichmässig den Geographen und den Akustiker interessieren. Die bis zu einem gewissen Grade vielleicht auch einzubeziehende Fortpflanzung des Schalles unter verschiedenen äusseren Bedingungen soll hier ausgeschlossen bleiben, weil Untersuchungen der letzten Jahrzehnte hierüber eine vollständige Klärung gebracht haben, und ebenso soll von der vielgestaltigen Erscheinung des Echos nicht weiter die Rede sein, obwohl dieselbe, wie man u. a. von Hirn²⁾ und von v. Fischer-Benzon³⁾ erfahren hat, noch manches Rätsel aufgibt. Unser Zweck ist es vielmehr, das gesamte Material, welches sich bezüglich der, wenn der Ausdruck gestattet ist, spontanen Schallphänomene nach und nach angesammelt hat, kritisch zu würdigen und deren Erklärung, soweit möglich, zu erbringen oder doch,

¹⁾ Günther, Handbuch der Geophysik, 2. Band, Stuttgart 1899, S. 41.

²⁾ Hirn, Les échos multiples, Mondes, 2. Serie, 36. Band, S. 266 ff.

³⁾ v. Fischer-Benzon, Das tönende Echo, Zeitschrift für physikalischen Unterricht, 1. Band, S. 116 ff.

falls es noch zu sehr an empirischen Daten fehlt, vorzubereiten. Mit dem Worte „spontan“ soll angedeutet werden, dass eine Ursache dieser Lufterschütterungen, die bald als blosses Geräusch, bald auch als eigentliche Klänge und sogar unter der Gestalt musikalischer Tonfolgen auftreten, zunächst nicht erkennbar ist, und eben die Aufsuchung dieser Ursachen erscheint als eine Pflicht, welcher bisher nur in sehr beschränktem Masse genügt werden konnte. Wie schon bemerkt, fehlt noch viel, dass man heute schon soweit wäre, die gewünschte Abhilfe vollständig zu erbringen, und ehe eine solche erhofft werden kann, muss eben die Analyse der Erfahrungsthatfachen weiter fortgeschritten sein, als dies zur Zeit der Fall ist.

Man wird sich nicht darüber wundern können, dass Vorkommnisse dieser Art, namentlich in früherer Zeit, abenteuerliche und mystische Deutung gefunden haben; dass aber auch noch viel später selbst in naturwissenschaftlichen Kreisen der Aberglaube den Weg der exakten Forschung kreuzte, liesse sich an mancherlei Belegen nachweisen.¹⁾ In manchen Fällen kommt die Tier- und Pflanzenwelt bei diesen Tönen als massgebender Faktor in betracht; die hierher gehörigen Objekte sollen uns nicht weiter beschäftigen, und es reicht hin, ihrer in einer Randnote²⁾ Erwähnung zu thun. Dass der in einer

¹⁾ Ein drastischer Beleg ist beispielsweise ein von grosser Gelehrsamkeit zeugender Aufsatz, den der Mediziner v. Autenrieth veröffentlichte (Ueber Stimmen in der Höhe, Morgenblatt für gebildete Stände, 1827, Nr. 297—306), der für solche spontane Töne zwar nicht direkt, aber doch in einiger Umschreibung, das Hereinragen höherer Gewalten in unser Erdenleben in anspruch nimmt.

²⁾ Dahin gehört z. B. das berühmte Geschrei, das mehrere Reisende zur Nachtzeit auf der Insel Ceylon gehört haben wollten, und das nach J. Davy (An Account of the Interior of Ceylon, London 1821) thatsächlich von einem allerdings seltenen Vogel, dem „Ulama“ (Teufelsvogel) herrührt. Einen eigentümlich musikalischen Baum hat Schweinfurth (Im Herzen von Afrika, 1. Teil, Leipzig-London 1874, S. 105) im obersten Nilgebiete angetroffen. Die Dornen der Flötenakazie werden durch Insektenstiche zu unförmlichen, zahlreiche Oeffnungen aufweisenden Missgebilden aufgetrieben, und wenn der Wind durch diese Löcher dringt,

falschen, anthropomorphistischen Auffassung erzeugte Mensch vergangener Jahrhunderte aus diffusen Geräuschen alles mögliche und unmögliche herauslesen zu können vermeinte, darf uns nicht wunder nehmen. Wer sich mit der Geschichte der Erd- und Naturkunde im Mittelalter und auch noch in den folgenden Jahrhunderten abgegeben hat, wird nicht in Verlegenheit sein, diese Behauptung durch Beispiele zu stützen,¹⁾ und auch das XIX. Jahrhundert ist an Rückfällen in eine

so erhält der in der Nähe des Baumes Befindliche den Eindruck, als ob aus jenem Flötentöne hervorkämen. Und wenn viele solche Bäume neben einander stehen, so erhebt sich ein Flöten und Pfeifen, wie von tausend Stimmen. Dadurch, dass Schweinfurth einen „Schoffar“-Hain — dies ist die Benennung von *Acacia fistulosa* bei den Schilluk-Negern — in der Nähe von Kairo anlegen liess, ist das Studium dieser immerhin merkwürdigen Schallerscheinung wesentlich erleichtert worden.

¹⁾ Derjenige Teil der damals bekannten Erde, der von düsteren Sagen und Vorstellungen besonders heimgesucht ward, ist ohne Zweifel Island. Darauf hatte bereits K. v. Maurer (Zur Volkskunde Islands, Zeitschrift des Vereins für Volkskunde, 1891, S. 42) aufmerksam gemacht, und neuerdings hat Thoroddsen in seinem verdienstlichen Werke (Geschichte der isländischen Geographie, deutsch von A. Gebhardt, 1. Band, Leipzig 1897) die einschlägigen, für uns hier besonders wichtigen Momente zusammengestellt. Von den im Treibeise heulenden Stimmen der verdammtten Seelen weiss schon Saxo Grammaticus, der bekannte dänische Historiker und Geograph des XII. Jahrhunderts, zu erzählen (a. a. O., S. 61). Hier war es also das allerdings schreckhafte Getöse der sich an einander reibenden Treibschollen, welches in der angegebenen Weise umgedeutet wurde, aber auch die Stimmen der im Fegefeuer Schmach tenden glaubte man in dem Brüllen der isländischen Vulkane zu vernehmen (K. v. Maurer, Die Hölle auf Island, Zeitschrift etc., 1894, S. 256 ff.) zu vernehmen. Die deutschen Beschreiber Jakob Ziegler und Sebastian Münster nahmen dergleichen bereitwillig hin. Sogar noch gegen Ende des XVI. Jahrhunderts ist der Wittenberger Mathematiker Peucer von den „schluchzenden“ Stimmen überzeugt, die aus der Tiefe des Hekla-Kraters kommen (Thoroddsen, S. 142); ja künftige Kriege sollen sich sogar durch den Lärm im Inneren jenes Feuerberges voraus ankündigen. Es dauerte bis tief ins XVII. Jahrhundert hinein, ehe Island seiner Eigenschaft als klassisches Land geographischer Fabuliererei, hauptsächlich dank den Bestrebungen höher gebildeter Volksgenossen, ganz entkleidet wurde.

solche Denkweise nicht arm.¹⁾ Wir werden noch zum öfteren Veranlassung haben, darauf hinzuweisen, dass auf diesem, wie auf manchem anderen Gebiete die objektive Betrachtung der Dinge erst ganz allmählich zu ihrem Rechte gelangt ist.

Prüft man die einzelnen Vorkommnisse, wie sie uns beschrieben werden, genauer, so gewinnt man die Ueberzeugung, dass sich dieselben wesentlich in drei Gruppen sondern lassen. An der Spitze stehen diejenigen Geräusche und Klänge, welche bei der Bewegung lockerer Gesteinsfragmente entweder unmittelbar entstehen oder doch mit solchen in ursächliche Verbindung gebracht werden können. Der tönende Sand, um die übliche Bezeichnung zu gebrauchen, hat schon wiederholt zu Erörterungen Anlass gegeben, während freilich eine zusammenfassende Behandlung dessen, was man von der Sache weiss, noch vermisst wird. Weiterhin haben eigentümliche Töne und Tonverbindungen an die Reihe zu kommen, welche man ausschliesslich im Bereiche einzelner Oertlichkeiten von genauer geographischer Abgrenzung zu hören Gelegenheit hat, deren auslösender Grund mithin notwendig in lokalen oder doch regionalen Verhältnissen gesucht werden muss, welche es bestimmten physikalischen Gesetzen ermöglichen, sich in einer sonst minder leicht zu beobachtenden Weise zu bethätigen. Zum dritten endlich sind die abrupten Lufterschütterungen namhaft zu machen, welche für gewisse Gegenden und Landstriche charakteristisch zu sein scheinen und, je nachdem, unter den verschiedenartigsten Namen in der Wissenschaft bekannt geworden sind, worüber, wie gleich hier

¹⁾ Einer sehr drastischen Thatsache gedenkt v. Autenrieth am bezeichneten Orte. Der kühne Robbenschläger J. Weddell, der im Jahre 1823 die höchste südliche Breite für sehr lange Zeit erreicht hatte (Fricker, Antarktis, Berlin 1898, S. 43), schilderte die Südlichen Shetland-Inseln als von monströsen Zwittergebilden bewohnt und wollte dort die sonderbarsten Laute gehört haben. Bekanntlich sind ähnliche Behauptungen auch kürzlich wieder aus dem hohen Norden zu uns gedrungen, und auch bei anderen Polarfahrern lässt sich eine gewisse Neigung, in der Einsamkeit Phantasien nachzuleben, nicht verkennen.

hervorgehoben werden möge, eine Abhandlung von L. Weber¹⁾ die beste Auskunft, die sich überhaupt vorläufig geben lässt, erteilt. Dieser unserer Klassifikation gemäss zerfällt auch die vorliegende Studie ganz von selbst in drei getrennte Abteilungen.²⁾

I. Der tönende Sand.

Wer über Sand wegschreitet, vernimmt sehr leicht ein knirschendes Geräusch. Dass dessen Ursache in der Reibung der Gesteinspartikeln liegt, steht ausser Zweifel, und wenn es also auf solche Weise zur Bildung eines wirklichen Tones kommt, so gehört derselbe unzweifelhaft in die Klasse der sogenannten Reibungstöne, wie sie von Strouhal eingehenderer Untersuchung unterworfen worden sind,³⁾ mag auch die Art und Weise, wie dieser Physiker die Reibung wirken liess, von der uns hier interessierenden noch so sehr verschieden sein. Mit Melde⁴⁾ werden wir zunächst besser von Reibungsgeräuschen sprechen, wie sie stets auftreten, wenn die Luft aus einer schmalen Oeffnung zu entweichen genötigt ist. Auf dem Wege der Resonanz kann diese wirre Folge rascher Luftimpulse geregelt werden, so wie dies Tyndall⁵⁾ mit folgenden Worten ausspricht: „Der dünne Luftstrom brandet gegen die scharfe Kante der Oberlippe und bringt da ein schwirrendes Geräusch hervor, aus welchem gewisse Impulse

¹⁾ Leonhard Weber, Ueber die sogenannten Mistpoeffers, Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereines für Schleswig-Holstein, 11. Band, S. 66 ff.

²⁾ Der Verf. nimmt die Gelegenheit wahr, für sachdienliche Mitteilungen den Herren Prof. Dr. S. Ruge in Dresden, Prof. Dr. O. Lenz in Prag und Dr. H. J. Klein in Köln seinen verbindlichen Dank auszusprechen.

³⁾ V. Strouhal, Ueber eine besondere Art der Tonerregung, Annalen der Physik und Chemie (2), 5. Band, S. 216 ff.

⁴⁾ F. Melde, Akustik; Fundamentalserscheinungen und Gesetze einfach tönender Körper, Leipzig 1883, S. 250.

⁵⁾ J. Tyndall, Der Schall, deutsch von H. Helmholtz und G. Wiedemann, Braunschweig 1869, S. 229 ff.

durch die Resonanz der Pfeife verstärkt und in einen Ton verwandelt werden.“ Eine Pfeife im gewöhnlichen Sinne ist nun zwar in unserem Falle nicht vorhanden, wohl aber eine Vielzahl von Pfeifen winzigster Dimensionen. Stellen wir uns nämlich eine Sandfläche vor, wie sie uns etwa in Dünen- und Wüstengebieten entgegentritt, so erscheint dieselbe als ein Aggregat kleiner Körperchen von wesentlich gleicher Grösse und Beschaffenheit, die sich nur locker berühren, so dass überall Luft zwischen ihnen eingeschlossen ist. Der Tritt des Wanderers nähert diese festen Teilchen einander, und die Luft zwischen ihnen wird komprimiert und strömt aus zahllosen Oeffnungen mit relativ grosser Geschwindigkeit aus. Bei schneller Bewegung auf angenähert ebenem Boden ändert der den Luftaustritt bewirkende Anstoss unausgesetzt seinen Platz, und so ist kein Grund zu besonderer Verstärkung der Schrilltöne gegeben, wie sie andererseits platzgreifen muss, wenn eine grössere Partie von Sandkörnern nicht nur vorübergehend, sondern dauernd in Bewegung gesetzt wird, falls etwa eine geneigte Fläche, die ein leichtes Abrutschen der Sandmasse im Gefolge hat, begangen wird. Aus der Natur der Reibungstöne scheint also von vornherein, ohne dass auf eigentliche Erfahrung bezug genommen wird, hervorzugehen, dass ein lebhafteres Tönen des Sandes nur unter gewissen Bedingungen zu erwarten ist, während unter gewöhnlichen Umständen nur leise Geräusche das Ohr treffen, die sehr häufig so wenig intensiv sein werden, dass sie die Aufmerksamkeit kaum zu erregen vermögen. Nicht zu verstehen wäre auch, inwiefern die petrographische Beschaffenheit der Felsmasse, durch deren Verwitterung und Zerfall sich der Sand gebildet hat, auf dessen akustische Eigenschaften einen Einfluss ausüben sollte. Sehen wir nun zu, wie sich mit unseren auf rein physikalischem Wege gewonnenen Leitsätzen das von der geographischen Litteratur gelieferte Material verträgt. Vor allem wird sich zeigen, dass in der That ausschliesslich aus Dünen- und Wüstenländern die einschlägigen Wahrnehmungen stammen.

Beginnen wir mit den ersteren. Wer jemals einen Dünen-

hügel erstiegen, wird sich erinnern, dass es dabei, wenn der Fuss in die lockere Sandmasse einsank, niemals ganz ohne akustische Begleiterscheinungen abging. Ausnahmsweise verstärken sich dieselben, und solche Klangphänomene haben gelegentlich von sich reden gemacht.

Als in den siebziger Jahren L. Meyn mit der geologischen Aufnahme der Insel Sylt beschäftigt war, fesselte ihn der Anblick der stattlichen Uferhöhen, als deren Baustoff sich reiner Kaolinsand herausstellte.¹⁾ Die Aehnlichkeit desselben mit demjenigen, der ihm früher auf Bornholm zu Gesichte gekommen war, fiel ihm auf; geognostisch sei zunächst zwischen diesen beiden Sanden nicht der geringste Unterschied ausfindig zu machen, und trotzdem sei der Ursprung ein ganz abweichender. Derjenige auf der dänischen Insel sei nämlich der Rest eines zerstörten jurassischen Kohlengebirges. Nur das Gehör lasse anscheinend die Verschiedenheit erkennen. Nach Meyn²⁾ gibt der Jurasand Bornholms, zumal bei „schleifender“ Bewegung des darüber hinwandelnden Fusses, einen eigentümlich schrillen Ton von sich, von dem auf Sylt nichts bekannt sein soll. Welchen sanguinischen Hoffnungen sich dieser gewiegte, mit der Feldarbeit ausserordentlich vertraute Forscher hingab, erhellt daraus, dass er den knirschenden Ton zum Range eines leitenden Prinzipes bei stratigraphischen Untersuchungen zu erheben geneigt war.³⁾ „Ein Charakter dieser Art und von so grosser Seltenheit kann unter Umständen ein ebenso sicherer Leitfaden werden, als die beste Leitmuschel.“ Vielleicht käme man an der Hand dieses Hilfsmittels sogar soweit, jurassische Kohlenlager aufzuspüren. Einigermassen stört diese Hoffnungsseligkeit die Thatsache, dass man auch an der pommerschen Küste bei Kolberg tönenden Sand bemerkt habe, doch hilft über den möglichen Einwand die weitere Hypothese hinweg, dass wohl das in Bornholm anstehende

¹⁾ L. Meyn, Geognostische Beschreibung der Insel Sylt und ihrer Umgebung. Abhandlungen zur geologischen Spezialkarte Preussens und der thüringischen Staaten, 1. Band, 4. Heft, Berlin 1876.

²⁾ Ebenda, S. 30 (634) ff.

Küstengebirge die Ostsee unterteufen und mit Ausläufern bis unter den gegenüberliegenden Strand reichen möge.

Diese Andeutung Meyns erregte einiges Aufsehen, obwohl sie zunächst von anderer Seite nicht bestätigt wurde; der beste geographische Kenner der Kolberger Gegend wenigstens, P. Lehmann, weiss von merkwürdigem Sande nichts zu berichten.¹⁾ Jedenfalls bat zu Beginn der achtziger Jahre Baird in Washington die preussische Geologische Landesanstalt um die Uebersendung einer Probe „klingenden Sandes von Kolberg“. Man war mithin auch anderwärts auf die ganz unzutreffende Vermutung geführt worden, es liege da eine Spezialität von Sand vor, während es sich doch nur um eine Eigenschaft ausgedehnter Sandflächen handeln konnte. Deshalb hielt es Berendt für angezeigt, in einer eigenen Veröffentlichung²⁾ die erforderliche Aufklärung zu geben. Er selbst hatte bei seinen Begehungen der deutschen Ostseeküste die fraglichen Töne mehrfach wahrgenommen: im Samland, auf der Kurischen und auf der Frischen Nehrung, bei Rügenwaldermünde, Heringsdorf und auf der an Mecklenburg angrenzenden, vorpommerschen Halbinsel Darss. Nicht immer lasse sich das oft ziemlich kräftige, „kreischende“ Geräusch nach freiem Belieben hervorrufen; frisch getrockneter Sand biete dazu die günstigsten Bedingungen; vielleicht wirke ein leichter Salzüberzug mit, der nicht lange haften. Jedenfalls habe die Sache keinen eigentlich geognostischen, sondern bloss einen physikalischen Untergrund, und von Leitmerkmalen im Sinne Meyns könne keine Rede sein. „Damit aber fällt auch die Hoffnung, in diesem Klingen des Sandes ein spezielleres Unterscheidungsmerkmal der Sande, eine mit einer Leitmuschel vergleichbare Handhabe zur Auffindung dieser oder jener Formation erhalten zu können“. Von Berendt wird offenbar der springende Punkt, auf den es

¹⁾ Paul Lehmann, Das Küstengebiet Hinterpommerns; Wanderungen und Studien, Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 19. Band, S. 332 ff.

²⁾ Berendt, Ueber „klingenden“ Sand, Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 35. Band, S. 864 ff.

ankommt, richtig betont. An und für sich ist jede Sandansammlung dazu geeignet, Klangerscheinungen durch eine schleifende, d. h. eine relativ grössere Bodenparzelle in Mitleidenschaft ziehende Fussbewegung auslösen zu lassen, und der Erklärung ist dann, wenn solche Erscheinungen ausbleiben, eigentlich ein viel weiteres Feld eröffnet, als wenn sie sich in der zu erwartenden Weise einstellen.

Von den Dünen weg wenden wir uns den Wüsten zu, in deren Bereiche wir auf eine reichere Ausbeute von Beobachtungstatsachen rechnen dürfen. Schon einer der ersten Europäer, die in der Wüste zu reisen gezwungen waren, der Flämänder Ruysbroek, weiss von sonderbarem, trommelartigem Getöse in den weiten Sandebenen Innerasiens zu erzählen, und ein gleiches gilt von dem Italiener Marco Polo, der auf einer südlicher gelegenen Route dem gleichen Ziele im fernen Osten zustrebte. Man hat wohl diese Nachrichten rein subjektiv gedeutet und in ihnen Ausgeburten eines durch die angreifende Monotonie der Wüstenfahrt krankhaft beeinflussten Empfindungsvermögens erblickt, wie ja wirklich auch moderne Forschungsreisende sich solchen Einwirkungen nicht immer zu entziehen im Stande sind.¹⁾ Paulmier, dem wir eine wertvolle Ausgabe des Polo'schen Berichtes verdanken, spricht²⁾ demzufolge von „Halluzinationen“, zitiert aber doch auch eine unzweifelhaft reelle Mitteilung von solchen, der Wüste eigentümlichen Beeinflussungen des Gehörorganes. Es ist ja durchaus nicht zu wundern, dass Menschen, deren Gemüt ohnehin mysteriösen Einflüsterungen zugänglich ist, die Töne, die sie vernehmen, und von deren Herkunft sie sich keine unmittelbare Rechenschaft geben können, mit einer überirdischen Welt in Verbindung bringen. In dem erwähnten, reichhaltigen Aufsätze v. Autenrieths ist auch, mit Bezugnahme auf Angaben des

¹⁾ Man vergleiche z. B., was der Botaniker A. v. Bunge über seinen Ritt durch die persische Wüste Lut und über die dort erlebten Sinnes-täuschungen meldet (Die russische Expedition nach Chorassan in den Jahren 1858 und 1859, Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1860, S. 223).

²⁾ Paulmier, Le livre de Marco Polo, 1. Band, Paris 1865, S. 150.

bekannten Erforschers Persiens, J. Morier, der Fabelwesen gedacht, mit denen — Ghohols, Dschins — das persische Volk die weiten Sand- und Salzwüsten seines Reiches bevölkert hat, grossenteils auch unter dem Zwange unverständener Sinnes-
eindrücke. Genaue, von zuverlässigen Berichterstattern stammende und teilweise auch kontrollierbare Nachrichten über Schallphänomene im Wüstensande liegen von drei überaus
distanten Orten vor, nämlich aus Afghanistan, aus der westlichen Sahara und vom Ufer des Roten Meeres. Fürs erste sollen der erste und dritte Fall besprochen werden, während der zweite, über den man weitaus am besten unterrichtet ist, zuletzt an die Reihe zu kommen hat. Die einzige
sonst noch anzuführende Erwähnung des klingenden Sandes rührt her von den Sandwich-Inseln und findet sich in einer Abhandlung von Meinicke.¹⁾

Gegen Ende der dreissiger Jahre durchzog J. Wood den Hindukusch auf einem seitdem von Europäern nur sehr wenig betretenen Wege. Als er die Gebirgslandschaft Koh-Daman erreicht hatte, erfuhr er von den Eingeborenen, dass hier eine
Merkwürdigkeit gezeigt werde²⁾; es sei dies Reig-Rawan, der bewegte und dabei tönende Sand. Die Klänge, die man dort höre, seien schrecklich und geisterhaft. Solche Schilderungen reizten den Reisenden, sich den Ort genauer anzusehen; er begab sich dahin in ziemlich skeptischer Stimmung, fand
aber die Dinge im grossen und ganzen so, wie man sie ihm beschrieben hatte. Die Neigung des mit lockerem Sande bedeckten Hügels betrug ungefähr 45°; derselbe war der Sonnen-
bestrahlung ausgesetzt, so dass an der Oberfläche eine Tem-

¹⁾ Meinicke (Der Gebirgsbau der Gruppe Hawaii, Petermanns Geogr. Mitteilungen, 1874, S. 210) spricht von dem Berglande von Napali und erwähnt der dortigen Sanddünen (Nohili der Insulaner), auf denen durch das Herabrollen von Sandkörnern ein eigenartiges, oft donnerartiges Getöse erzeugt werde. Vgl. hiezu Gaea, 14. Band, S. 671 ff.

²⁾ J. Wood, Personal Narrative of a Journey to the Source of the River Oxus, by the Route of the Indus, Kabul and Badakshan, London 1841, S. 180 ff.

peratur von $39\frac{1}{2}^{\circ}$, etwa zehn Zoll tiefer immer noch eine solche von fast 24° herrschte. Wie bei solchen Gelegenheiten immer, begaben sich sechs Männer auf den Gipfel der Anhöhe, um mit kräftiger Bewegung („the party above came trampling down“) beim Herabgehen den Sand durcheinanderzubringen. Der Zweck, einen grossen Lärm hervorzubringen, wurde allerdings, ungeachtet man den Versuch mehrmals wiederholte, nicht erreicht, aber ein Ton liess sich immerhin vernehmen, gleichend dem einer weit entfernten Trommel, gemässigt durch eine sanftere Musik. Wir werden uns überzeugen, dass dieser Tontypus auch anderwärts zur Geltung kommt. Wood möchte das „Wunder“ des Reig-Rawan mit der bekannten Schallverstärkung in einer sogenannten Flüstergalerie in Verbindung bringen, und insofern hat er darin recht, als auch in einer derartigen Galerie eine Summation ungemein vieler, an und für sich überaus schwacher Einzelklänge zu einem sehr lauten Gesamtklange bewirkt wird. Massgebend ist aber da die Vereinigung zurückgeworfener Schallstrahlen in einem Brennpunkte, und insofern steht die Analogie zwischen beiden Geschehnissen doch nur auf sehr schwachen Füßen.

Die afrikanische Wüste ist schon oft zum Gegenstande monographischer Darstellung gemacht worden, aber nur einmal begegnet uns die Akustik des Sandes. K. A. v. Zittel, Schirmer, J. Walther, um nur einige der bekanntesten Autoren namhaft zu machen, lassen diesen Gegenstand unberührt. Dagegen war O. Lenz in der Lage, Erfahrungen darüber zu sammeln, wie sich dies am besten aus seinen eigenen Worten¹⁾ ergibt. „Inmitten der Einöde hört man plötzlich, aus dem Inneren eines Sandberges herauskommend, einen langen dumpfen Ton, wie von einer Trompete, der einige Sekunden anhält, dann aufhört, um nach kurzer Zeit aus einer anderen Gegend wieder zu ertönen. Es macht dies in der totenstillen, menschenleeren Wüste einen unheimlichen Eindruck. Es muss hier gleich bemerkt werden, dass es sich durchaus nicht etwa

¹⁾ O. Lenz, Timbaktu, 2. Band, Leipzig 1892, S. 53 ff.

um eine akustische Täuschung, wie man etwa auch optischen Täuschungen unterworfen ist, handelt; nicht nur ich, sondern alle meine Leute hörten diese dumpfen Töne, und der Führer Mohammed hatte uns schon am Tage vorher auf dieses Phänomen aufmerksam gemacht“. Lenz bringt, anderer Naturstimmen nur im Vorbeigehen gedenkend, dieses Tönen der Sandhügel in engen Kausalzusammenhang mit der analogen Tonbildung auf der Sinaihalbinsel, deren Kennzeichnung wir uns für die dritte Stelle vorbehalten hatten, und wir halten dafür, dass er sich dabei im vollen Rechte befindet. Wir werden auf die Einzelheiten seines Erklärungsversuches nochmals zurückkommen, wenn wir zuvor das Verhalten des sinaitischen Glockenberges, der nicht mehr isoliert, sondern als Zielpunkt zahlreicher schriftstellerischer Aeusserungen dasteht, näher kennen gelernt haben.

Diesen Namen — Djebel Nakus — führt eine litorale Erhöhung am Golf von Suez, nach Rüppell¹⁾ etwa 3½ Stunden nordwestlich von dem bekannten Küstenplatze Tor gelegen, deshalb, weil das arabische Märchen dorthin die Stätte eines versunkenen Klosters verlegt, dessen Glocke sich noch ab und zu vernehmen lasse. Der erste Europäer, der das allgemeine Interesse auf diese merkwürdige Erdstelle lenkte, war der bekannte Orientreisende Seetzen, der Studienfreund A. v. Humboldts von Göttingen her.²⁾ Als er mit seinen Leuten den Berg bestieg, vernahm er³⁾ zuerst ein leises, säuselndes Geräusch, welches nicht aus dem inneren Felsen selbst, sondern von dem diesen bedeckenden, lockeren Quarzsande kam und nach und nach dem Tönen eines Brummkreisels ähnlich ward, schliesslich aber in ein starkes Dröhnen überging. Bloss die Bewegung,

¹⁾ E. Rüppell, Reisen nach Nubien, Kordofan und dem petraeischen Arabien, Frankfurt a. M. 1829, S. 206 ff. („Der tönende Berg Nakus“).

²⁾ K. Bruhns, Alexander v. Humboldt; eine wissenschaftliche Biographie, 1. Band, Leipzig 1872, S. 89.

³⁾ In seinem Reisewerke (Berlin 1854, ed. Kruse) gedenkt Seetzen der Sache nicht; vgl. dagegen die Notiz Monatl. Korrespondenz zur Beförderung der Erd- und Himmelskunde, 26. Band, S. 395 ff.

nicht aber der Wind schien ihm dabei mitzuwirken, und zumal durch absichtliches Herabrutschen von der steilen Höhe brachte er ein immer stärkeres Wogen des zuerst unerheblichen Klanges zuwege. Die starke Lufterschütterung, welche eintritt, wenn eine Klangscheibe, ein Gong, mit einem Schlägel bearbeitet wird, hat eine sehr grosse Aehnlichkeit mit dem musikalischen Rauschen des Sandes, und da solche Instrumente in den Könobien des Ostens viel gebraucht werden, so hatte man auch den Schlüssel zur Erklärung der Volkssage. Es spricht sehr zu gunsten Seetzens, dass er gleich anfangs die nüchterne, in der Hauptsache zutreffende Interpretation des Vorganges gab. Das Rutschen des Sandes erzeugt Luftwellen, deren Amplitude anfänglich sehr klein ist und stetig grösser wird.

Seetzens Eröffnung machte viel von sich reden, zumal da sie bald nachher auch von anderen Reisenden bestätigt ward. Eine Notiz in einer geachteten französischen Zeitschrift, die übrigens auf die näheren Umstände nicht eingeht, sprach den Glockenberg sogar für eine Weltmerkwürdigkeit an.¹⁾ Auch Arago widmete dem „unterirdischen Geräusch zu Nakus“ eine Betrachtung, die aber den Kern der Sache nicht trifft.²⁾ Wirk-

¹⁾ Sur les bruits souterrains qu'on entend à Nakous, Annales de Chimie et de Physique (1), 33. Band, S. 439 ff. „Il y a près de Tor une montagne qui sous le rapport des circonstances physiques est peut-être une des plus remarquables non seulement à l'Arabie Pétrée, mais du monde entier“.

²⁾ Für den Bericht Aragos war ebenso, wie für denjenigen Brewsters (Edinburgh Journal of Science, 7. Band, S. 51) die Erzählung eines Engländers Gray bestimmend gewesen, der, offenbar voreingenommen, den ganzen Hergang durch eine trübe Brille betrachtet und an die Mitwirkung vulkanischer Kräfte appelliert hatte. Seiner Ansicht nach sollte der Lärm die primäre, das Abrutschen des Sandes die sekundäre Erscheinung sein. Daher kommt auch die unzutreffende Bezeichnung des Geräusches als eines „unterirdischen“, was es in keiner Weise ist. Aus diesem Grunde stellt auch Arago den Glockenberg in Parallele zu anderen Erdgegenden, die mit ihm nicht das mindeste zu thun haben, zu deren Besprechung vielmehr erst in der zweiten und dritten Abteilung dieser Abhandlung Anlass gegeben ist. Vgl. F. Aragos Sämtliche Werke,

lich wertvolle Ermittlungen verdanken wir, nächst und nach Seetzen, einzig Rüppell, Ehrenberg und Palmer.

Von Rüppells Ortsstudie hatten wir schon zu sprechen; sie ist besonders deshalb von Wert für uns, weil sie uns ein gutes Bild von den Terrainverhältnissen liefert. Der Glockenberg ist eigentlich ein Sandsteinplateau von namhafter Höhe, welches oben in eine Flugsandebene übergeht. Statt steil abzufallen, zeigt sich die Uferhöhe durch eine „Felshöhle“, wie sich Rüppell ausdrückt, aufgeschlossen; dies ist ein schräg vom Meere aus ansteigender Einschnitt, dessen Böschungswinkel auf nahe an 50° geschätzt wird. Nicht bloß die Decke, sondern auch der ganze Untergrund besteht aus feinem Sande, so dass jeder Fusstritt das labile Gleichgewicht stört. Man kann nach Willkür die ganze Masse zum Rollen, und damit zugleich zum Tönen, bringen, und auch ein Windstoss kann diesen Effekt erzielen. Dass die Reflexion des einmal erregten Schalles von den Wänden des Hohlraumes eine verstärkende Wirkung ausübt, wird man Rüppell unbedingt zugeben.

Ehrenbergs an Ort und Stelle gemachte Beobachtungen wurden nahe gleichzeitig mit denjenigen seines Landsmannes in Deutschland bekannt,¹⁾ machten aber weit mehr von sich reden. Dass die Bewegung des in der Hohlkehle aufsteigenden Wanderers die massgebende Ursache sei, wird unumwunden anerkannt. Neu ist, dass die Intensität des Tones als eine so beträchtliche geschildert wird. „Mit einem leisen Rauschen anfangend, ging das Geräusch allmählich in ein Murmeln, Summen und zuletzt in ein Dröhnen von solcher Heftigkeit

deutsch von W. G. Hankel, 15. Band, Leipzig 1860, S. 572. Der Herausgeber Hankel, welcher die Mitteilungen der deutschen Berichterstatter kannte, berichtigt den Irrtum des französischen Physikers in einer Randnote und konstatiert: „Das Geräusch entsteht nur durch das Herabrollen des Sandes“.

¹⁾ Ehrenberg, Ueber das eigentümliche Getöse zu Nakuhs am Berge Sinai, Ann. d. Phys. u. Chem., 15. Band, S. 312 ff.; Schriften der Berliner Gesellschaft Naturforschender Freunde, 1829, S. 398 ff.; Laue, C. G. Ehrenberg, ein Vertreter deutscher Naturforschung im XIX. Jahrhundert, Berlin 1895, S. 98.

über, dass man es mit einem fernen Kanonendonner hätte vergleichen können, wenn es nicht anhaltender und gleichförmiger gewesen wäre". Ehrenberg bemerkte auch, dass das langsame Erlöschen des Getöses mit der Beruhigung der aufgeführten Sandlagen zeitlich Hand in Hand geht. Auch wies er, dem eine ganze Reihe spontaner Schallerscheinungen bekannt war, jeden Zusammenhang derselben mit dem Djebel Nakus zurück und liess einzig und allein die Rutschbewegung des Sandes als Tonquelle zu.

Der englische Archäologe Palmer, der sich übrigens in dem diesem Phänomene gewidmeten Abschnitte seines Reiseberichtes¹⁾ auch in naturwissenschaftlichen Dingen gut beschlagen zeigt, charakterisiert die Art des Tönens ganz ebenso, wie dies ziemlich viel früher Ehrenberg that. Je höher man das amphitheatralische Thal hinaufkam, umso mehr verstärkte sich der Schall, und ebenso waren die dröhnenden Klänge desto kräftiger, je weniger bereits die Ruhe der lockeren Sandmassen gestört war. Es ist, so hebt Palmer hervor, eine rein örtliche Erscheinung und hängt zugleich von der Reibung und von der Erwärmung ab. Die präzise Betonung dieses letzteren Momentes ist neu, indem früher nur Wood, wie wir uns erinnern, auf die starke Temperaturerhöhung der obersten Schichten des rutschenden Sandes hingewiesen hatte. Bei einem Thermometerstande von etwas über 16° sei die Schallentwicklung lange keine so mächtige gewesen, als bei einem Thermometerstande von nahe 42°. Auch merkt Palmer an, dass die Feinheit der Sandkörner einen unterstützenden Faktor darstelle.²⁾ Jedenfalls steht der Bericht dieses englischen Reisenden, obwohl derselbe nicht in erster Linie von naturwissenschaftlichen Interessen geleitet war, in bezug auf Genauigkeit

¹⁾ E. H. Palmer, *The Desert of the Exodus*, 1. Teil, Cambridge 1871, S. 217 ff.

²⁾ Einige benachbarte Sandhügel blieben, während der Glockenberg erdröhnte, völlig neutral, allein sie bestanden aus gröberen Körnern und besaßen — hierauf wird gleich nachher zurückzukommen sein — sämtlich einen kleineren Böschungswinkel.

und allseitige Würdigung aller beeinflussenden Umstände obenan. Auch dadurch bekundet Palmer seine Objektivität, dass er nicht versucht, ein Schallphänomen, das nicht weit vom Glockenberge seinen Sitz hat, auf die gleiche Ursache zurückzuführen.¹⁾

Eine gewisse Schwierigkeit für den Erklärer bietet nun aber die neuerdings hervortretende Thatsache, dass der Djebel Nakus mit der Zeit entschieden schweigsamer²⁾ geworden

¹⁾ Auch auf dem Sinai selbst hört man bisweilen dumpfe Töne, die den Arabern umso mehr Stoff zu superstitiöser Deutung geben, als der von Gott angeblich mit eigener Hand gespaltene Berg (Kazwinis Kosmographie, deutsch von Ethé, 1. Halbband, Leipzig 1868, S. 363) vom Volke mit banger Scheu betrachtet wird. Wir lesen bei Palmer (S. 261) über diese Lufterschütterungen: „They are in all probability caused by large masses of rocks becoming detached by the action of frost and rolling wight a mighty crass over the precipice into the valley below“. Zweifellos wird hier angespielt auf ein der Wüste eigentümliches Vorkommnis, nämlich auf die als eine natürliche Folge des jähren Wechsels von Tageshitze und nächtlicher Kühle sich häufig vollziehende Abtrennung von Gesteinsstücken, die mit jähem Krachen abspringen. Es liegen hierüber unwidersprechliche Zeugnisse von J. G. Wetzstein (Reiseberichte über Hauran und die Trachonen, Berlin 1860, S. 20) und O. Fraas (Aus dem Orient, Stuttgart 1878, 1. Teil, S. 38 ff., 2. Teil, S. 110) vor, wie nicht minder von dem berühmten Afrikaforscher Livingstone.

²⁾ Gegen Ende der siebziger Jahre befand sich Th. Löbbecke am Golfe von Suez. Der kurze Bericht, den er von seinem Besuche des Glockenberges abstattet (Sitzungsberichte der Niederrheinischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Bonn, 1880, S. 82 ff.), und der von keiner besonderen Vertrautheit mit früheren Mitteilungen über den tönenden Sand zeugt, gewinnt dadurch an Bedeutung, dass es dem Erzähler nicht gelang, die Masse in Bewegung zu bringen und damit die Töne zu erzeugen. Erst der Abendwind verhalf ihm dazu, „einen eigentümlich vibrierenden“ Ton zu vernehmen, den auch er mit dem Erklängen eines Gongs vergleicht. Jedenfalls also war jetzt, etwa zehn Jahre nach Palmers Anwesenheit an Ort und Stelle, die Sandmasse weniger leicht zum Tönen zu erregen. In den neunziger Jahren endlich bestieg Herr Professor Dr. Rothpletz den Uferhang, ohne überhaupt irgendwelcher Klangerscheinung inne zu werden; auch in der Tagespresse stösst man nicht mehr auf Angaben dieser Art.

ist. Zunächst scheint eine Naturerscheinung mit dem Orte, an dem sie zu wiederholten Malen beobachtet worden war, untrennbar verwachsen zu sein; freilich weiss man von den Echos, dass ganz geringe Umgestaltungen der reflektierenden Wände diesen Widerhall abgeschwächt oder ganz vernichtet haben,¹⁾ und so darf man von vornherein auf eine geminderte Stabilität akustischer Erscheinungen gefasst sein. Und im vorliegenden Falle liegt eine einfache Hypothese nahe genug, durch deren Anwendung man sich von einer fortschreitenden akustischen Trägheit des Sandes Rechenschaft zu geben vermag. Die Töne werden immer matter werden, je mehr sich das Profil der Sandanhäufung seiner natürlichen Gleichgewichtslage nähert.

Durch das Studium der Profile von Stratovulkanen, welche sich je gleichfalls zum grossen Teile aus losem Materiale aufbauen, ist man mit der Kurve bekannt geworden, welche die Oberfläche einer Sand- oder Schuttanhäufung bestimmt, wenn diese im stabilen Gleichgewichtszustande verharren soll. Nach J. Milne²⁾ wäre dies eine sogenannte logarithmische Linie; indessen ist in dieser Bestimmung, wie aus den umfangreichen Versuchen von Loewe³⁾ erhellt, nur eine Annäherung an die Wahrheit zu erblicken, indem man nicht einen konstanten, sondern thatsächlich einen vom Böschungswinkel selbst bis zu einem gewissen Grade abhängigen Reibungskoeffizienten zu Grunde zu legen hat. Auf die Form der Gleichung der Profilkurve kommt es hier nicht an; vielmehr genügt es, festgestellt zu haben, dass eine Anhäufung unheim vieler, gleich grosser Körperchen, welche ganz den Wirkungen der Schwerkraft, Adhäsion und Reibung unterworfen

¹⁾ Gehlers Physikalisches Wörterbuch, 2. Auflage, besorgt von Muncke, 3. Band, Leipzig 1827, S. 96.

²⁾ J. Milne, On the Form of Volcanos, Geological Magazine (2), 5. Band, S. 337 ff.; Further Notes on the Form of Volcanos, ebenda (2), 6. Band, S. 506 ff.

³⁾ F. Loewe, Alte und neue Versuche über Reibung und Kohäsion von Erdarten, München 1872.

ist, unter dem Gesamteinflusse dieser Kräfte eine Gleichgewichtslage annimmt, für deren Oberfläche eine gegen aussen konkave Leitkurve von ganz bestimmter Beschaffenheit massgebend ist. Diese wird aber nicht sofort, sondern, wie man auch an den Schutthalden unserer Berge konstatieren kann, erst nach und nach erreicht, und wenn sie erreicht ist, so können örtliche Gleichgewichtsstörungen keinen nachhaltigen Effekt mehr erzielen. Offenbar meint Palmer dasselbe, wenn er sagt, die Neigung des Abhanges sei der „angle of rest“ des Sandes im Normalstande. Man beachte wohl, dass von Rüppell und Ehrenberg der Böschungswinkel auf 50° , von Palmer hingegen nur auf 30° veranschlagt wird; wenn also auch wohl schwerlich die genannten Reisenden mit Klinometern versehen waren, um genauere Messungen vorzunehmen, so ist der Unterschied von 20° denn doch ein zu bedeutender, um blossen Schätzungsfehlern zugeschrieben werden zu können. Bedenkt man vielmehr, dass ein Zeitraum von mehr denn vierzig Jahren beide Beobachtungen trennt, so kann man sich der Vermutung nicht entziehen, dass im Laufe der Zeit eine Abflachung der Wände des Amphitheaters stattgefunden hat. Und dass es damit auch zu einer grösseren Verfestigung der Masse und infolgedessen wieder zu geringerer Geneigtheit des Sandes, die Rutschklänge hervorzubringen, kommen musste, ist nicht minder eine physikalische Notwendigkeit.

Anders liegen die Dinge, wenn man die von Lenz beschriebenen Sandhügel der westlichen Sahara ins Auge fasst. Dies sind nämlich echte Dünen. „Die langgestreckten Sanddünen von Igidi, welche ganze Bergreihen mit scharfen Kanten und Spitzen bilden, haben, wie alle Dünen, eine flach ansteigende, dem Winde zugewendete Fläche und einen stärker geneigten, zum Teile sogar sehr steilen Absturz auf der entgegengesetzten Seite.“¹⁾ Wenn also eine ganze Karawane sich

¹⁾ O. Lenz, S. 56, Ueber die gestaltlichen Verhältnisse der Kontinentaldünen geben Aufschluss: Sokolow-Arzruni, Die Dünen; Bildung, Entwicklung und innerer Bau, Berlin 1894; Bertololy, Kräuselungsmarken und Dünen, Münchener Geographische Studien, 9. Heft, 1900.

auf der Leeseite eines solchen Sandberges abwärts bewegt, so ist es nicht zu wundern, dass eine progressive Verschiebung der ganz labil gelagerten Korpuskeln eintritt, welche die bekannten Geräusche und Töne auslöst.

Auch Lenz macht, ebenso wie Seetzen und Ehrenberg es thaten, die Reibung für die erste Entstehung dieser Klänge verantwortlich, deren stetige Verstärkung dann unbedingt als eine Resonanzerscheinung aufgefasst werden muss. Ob man jedoch mit ihm den einzelnen Quarzkörnchen eine gewisse „Klangfähigkeit“ beilegen darf, erscheint nicht sicher; wir kommen vielmehr auf die gleich eingangs verlaubliche Ansicht zurück, dass nicht sowohl die wechselseitige Reibung der einzelnen Teilchen an einander, sondern wesentlich der erzwungene Austritt der bis in grössere Tiefen hinab das lockere Gefüge der Sandmasse durchdringenden Luft sich zuerst als diffuses Reibungsgeräusch, wie es Meyn und Berendt kennen, und allgemach als wirklicher Reibungston im Sinne der Strouhal-Meldeschen Definition (s. o.) bemerklich macht. Bei den flachen baltischen Sandanhäufungen verblieb es beim Knistern, Knirschen, Kreischen; die mächtigeren Sandberge Afrikas, Arabiens, Turkestans gewähren die Möglichkeit wirklicher Tonbildung. Und mit dieser Auffassung sehr wohl vereinbar ist endlich auch die mehrseitig gemachte Wahrnehmung, dass Erhitzung des Sandes der Intensität des Schalles förderlich ist, indem sich eben die eingeschlossene Luft an sich schon in lebhafterem Bewegungszustande befindet.

Hiemit beschliessen wir den ersten Teil unserer Ausführungen. Das Phänomen des tönenden Sandes kann als ein in der Hauptsache geklärtes gelten, indem lediglich die sekundäre Mitwirkung anderer Faktoren, wie etwa der Windrichtung, mangels ausreichender Erfahrungsdaten noch einigermaßen in Frage bleibt. Es wäre zu wünschen, dass man hinsichtlich der der zweiten und dritten Abteilung zugewiesenen Schallerscheinungen auch bereits zu einem gleich befriedigenden Gesamtergebnis gelangen könnte.