

Tönender Sand.

Von Dr. **PAUL DAHMS** in Zoppot a. Ostsee.

Mit 2 Figuren im Text.

Gesteine von dichtem Gefüge geben beim Schlagen, besonders in dünneren Partien, einen mehr oder weniger deutlichen Klang; wo sie sich in Platten absondern oder trennen lassen, entstehen Töne von ausgeprägterem Charakter. Zu diesen Gesteinen gehört u. a. der bekannte Phonolith. Doch nicht allein plutonische Gesteine zeigen diese Eigenart; so beschreibt z. B. **TINGLE**¹⁾ eine gewisse Sorte von grauem, oolithischen Sandstein, der beim Anschlagen mit dem Knöchel oder einem harten Körper wie Bronze tönt. Er stammt in allen Fällen aus einem Steinbruch bei Kwan Ko Shan, etwa 17 englische Meilen südlich von Ch'üfu. Der meiste Stein zeigt die erwähnte Erscheinung nicht, zeitweise findet man aber reiche Adern von ihm. Steingongs aus diesem Material trifft man in allen Teilen des Landes, ihre Verwendung ist bereits seit Jahrhunderten bekannt.

Eigenartig ist auch das Geräusch, das beim Zusammenschlagen von Geröll und Gesteinsbrocken in der Brandung entsteht. Läuft eine starke Flutwelle über einen Strand mit derartigen Stücken, so führt sie diese beim Anprall mit sich den Strand hinauf und läßt sie bei ihrem Zurückfluten wieder zurücklaufen. Die vielen Zusammenstöße, die in unregelmäßiger Stärke und Aufeinanderfolge dabei zustande kommen, machen wohl auf das menschliche Ohr den Eindruck eines Geschreis. Dabei bedingt die Größe der Kiesel, Feuersteinknollen oder Gesteinsbrocken bis zu einem gewissen Grade die Tonhöhe; diese wechselt bei großen Geröllen von einem Gebrüll bis zu einem Geschrei, bei abnehmender Größe von einem Geschrei bis zu dem „Geräusch von bratendem Speck“, um bei einer Größe der Kiesel, die der des Kiesel gleichkommt, zu einem bloßen Zischen zu werden²⁾. Sehr selten wurde ein herbes, schrilles Geschrei, das mit dem Ruf des Perlhuhns (guinea-fowl) verglichen wird, beobachtet. Es wird dadurch erzeugt, daß man ganz geringe Mengen des Sandes

¹⁾ **TINGLE**, ALFRED: Sounding Stones at Ch'üfu, Shantung. Nature. Nr. 1888, vol. 73, 1906, S. 222, 223.

²⁾ **TYNDALL**, JOHN: Der Schall. Autorisierte deutsche Ausgabe, herausgegeben durch H. HELMHOLTZ und G. WIEDEMANN. Braunschweig 1869. S. 65, 66 Anm.

gewisser Geiser, deren einer in Maine und deren anderer in Kansas liegt, in feuchtem Zustande zwischen Daumen und Zeigefinger drückt¹⁾.

Eine weitere Veranlassung zum Tönen von Gesteinen liegt in solchen Gegenden vor, wo der Schutz der Wolken fehlt und die Erhitzung am Tage nebst der durch Ausstrahlen veranlaßten Abkühlung während der Nacht bedeutende Temperaturschwankungen auftreten lassen. Wärmemessungen der französischen Saharaexpedition, die sich während eines ganzen Jahres hinzogen, ergaben einen Jahresunterschied von 70° , während SVEN HEDIN auf den Wüstenplateaus in Tibet einen solchen Unterschied je nach der Jahreszeit zwischen $+70^{\circ}$ C und -32° C nachwies. Für Askabad konnte J. WALTHER ferner während 16 Stunden einen Wärmeunterschied von 45° C nachweisen. Dieser stete schroffe Wechsel wirkt auf die Gesteinsrinde in erhöhterem Maße ein als auf den Kern, und damit erklärt sich bei größeren Felsblöcken das regelmäßige Abblättern der äußeren Teile. An Granitkuppen bedingt die Sonnenbestrahlung ein schichtenweises Abspringen der oberflächlichen Parteen, doch dringt die Wirksamkeit der Sonne nur bis zu 5 bis 10 cm in die Tiefe. Das Zerspringen größerer Blöcke beschreibt S. PASSARGE aus Nordafrika und andere Beobachter aus dem Süden des Kontinents; desgleichen erwähnt H. BASEDOW aus Australien ein donnerähnliches Krachen, das in stillen Nächten häufig die Wüste durchzittern soll. Hier bedecken scharfkantige Bruchstücke von Quarz und Chaledon, die durch Sonnenbestrahlung zersprangen, im Gebiete der „Stony Flats“ meilenweit den Boden²⁾.

Solch ein Splittern wird sich besonders bei harten Gesteinen bemerkbar machen, die infolge ihres dichten Gefüges beim Anschlagen klingen, wie z. B. beim Granit und Basalt. So ist auch das klingende Krachen zu erklären, daß von verschiedenen Beobachtern in den gewaltigen Granitsteinen der riesigen Tempelbauten von Karnak bei Sonnenaufgang wahrgenommen wurde, von J. BANKES im Portikus des Tempels auf der Nilinsel Philä, in den Granitbrüchen von Assuan und in den sogenannten „Musiksteinen“ des Orinoko, die A. v. HUMBOLDT besuchte³⁾. Durch derartige Verschiebungen im Inneren von Gesteinen, die einen Ausgleich der Spannungen, wie sie durch die Erwärmung von seiten der Sonne hervorgerufen werden, bezwecken, erklärt sich auch das Tönen der berühmten Memnonssäule.

Das Material dieses interessanten Bauwerks besteht aus einem sehr harten und spröden Kieselkonglomerat. Im Jahre 27 v. Chr. wurde der Oberteil

¹⁾ MAC JVOR, A.: Musical Sands. Temple Bar, vol. 106, Nr. 418, Sept. 1895, S. 79—85; vergl. S. 85.

²⁾ E. BEHM, vornehmlich nach D. LIVINGSTONE: Südafrika im Jahre 1858. PETERMANN'S Mitteilungen 1858. S. 181. — FRECH, FR.: Wüsten und Dünen in der Gegenwart. Monatshefte f. d. naturw. Unterricht aller Schulg. Band 2, Heft 4, 1909, S. 158—177; vergl. S. 160, 161, 168.

³⁾ ROSENFELD, GEORG: Tönende Steine. Kosmos Bd. 5, Heft 4, 1908, S. 101, 105; vergl. S. 102, 103.

des nördlicheren der beiden Kolosse herabgeworfen. Seit dieser Zeit erklangen bei Sonnenaufgang aus dem zerklüfteten Gestein zitternde Töne, die durch das Abplatzen kleiner Gesteinstückchen, durch innere Verschiebungen oder gar durch die hindurchziehende Luft hervorgerufen sein sollen. Durch die Restauration des Standbildes — wahrscheinlich durch SEPTIMIUS SEVERUS — wurden, wie Inschriften angeben, die hellen Töne so gedämpft, daß sie nicht mehr zu hören waren. Der älteste Berichterstatter des Tönens ist STRABO¹⁾, der selbst den Ton, wie von einem nicht starken Schläge herrührend, in der Morgenfrühe wahrnahm und in vorsichtiger Weise dahingestellt sein läßt, ob dieser von dem Fußgestell oder von der Statue komme, oder ob vielleicht einer von den Leuten den Ton erzeugte, die in der Nähe oder um das Fußgestell herum ihren Wohnsitz aufgeschlagen hatten. PAUSANIAS²⁾ läßt das Standbild dagegen einen Schrei ausstoßen, den er mit dem Tone vergleicht, der beim Reißen an der Saite einer Lyra entsteht. Viele Inschriften zeugen von dem Tönen der Statue. LETRONNE³⁾ zitiert die von der Hofdichterin BALBILLA herrührende, welche in höfischem Geschmack und mit Phantasie abgefaßt, zur Vorsicht bei der Beurteilung und Verwertung der anderen Inschriften mahnt. Auch heute noch wird für Reisende auf Wunsch der Koloß künstlich zum Tönen gebracht³⁾.

Reiseberichte und wissenschaftliche Arbeiten behandeln im Laufe der letzten 50 Jahre den sogenannten tönenden Sand. Wiederholt aufgesucht und erwähnt ist der musikalische Glockenberg oder Gebel Nakus auf der Halbinsel Sinai. Der erste Europäer, der hierher kam und Beobachtungen anstellte, war ULRICH JASPER SEETZEN (1808), dem verschiedene andere bald folgten⁴⁾. Eine eingehende Schilderung der geologischen Verhältnisse gibt WARD⁵⁾. Der Berg liegt nördlich von der Stadt Tor oder Tur dicht am Roten Meer; der Weg zu ihm führt über einen sich weithin erstreckenden Sandstreifen, auf dessen einer Seite das Meer, auf dessen anderer ein steiles, meist senkrecht abstürzendes Gehänge von tertiärem Sandstein verläuft. Wo die Felsart geringeren Zusammenhang zeigte, haben die Atmosphärlilien tiefe Furchen eingeschnitten, deren eine unter 40° bis 45° Neigung bei etwa 15 m Breite bis zum Gipfel des Berges reicht und eine Böschung von gelbem glänzenden Sand darstellt. Mauerähnlich emporsteigende Sandsteinpartien schützen sie zu beiden Seiten gegen den Wind. Beim langsamen Emporklimmen entsteht bald ein schwach

1) ΣΤΡΑΒΩΝΟΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ — STRABONIS Geographica. Graece cum versione reficta. Curantibus C. MÜLLERO et F. DÜBNERO. Parisiis. 1853. Lib. XVII. cap. 1. S. 693, Z. 5—17.

2) PAUSANIAE Descriptio Graeciae. Instruxerunt JO. HENR. CHR. SCHUBART et CHR. WALZ. Lipsiae. Vol. I, 1838. Lib. I, cap. 42, 2, S. 211—213.

3) ROSENFELD: a. a. O., S. 103—105.

4) Der tönende Sand auf der Insel Eigg, ein Gegenstück zum Gebel Nakus und Rag-Rawan. PETERMANN'S Mitteilungen. 1858. S. 406.

5) WARD: Sur le Gebel Nakous dans le presqu'île Sinai. Bulletin de la société géologique de France. t. 13, s. 2, 1855 à 1856, Paris 1856, S. 389—391.

musikalischer Klang, der steigt und dann wieder sinkt und mitunter an Töne einer Flöte erinnern soll. Dann setzen kräftige Orgeltöne ein, so stark, daß der ganze Hügel zu beben scheint. Dieses Phänomen ist stets mit einer Bewegung des Sandes verbunden. Wenn man z. B. beim Gehen den Fuß vom Boden hebt, so rollt der lockere Sand augenblicklich von allen Seiten herbei, um die entstandene Vertiefung auszufüllen, und erzeugt Töne, wie sie eben beschrieben wurden. Lockert sich der Sand unter der Wirkung von Sonne oder Wind und gleitet er hernieder, so entstehen gleichsam von selbst aus dem Bergesinneren jene Töne, die zur Entstehung der Fabel von einem hier eingeschlossenen Kloster, dessen Glocken man hört, Veranlassung gaben. Große Sandmassen erregen dabei die stärksten Töne. Die Größe der beteiligten Körnchen bestimmte bereits EHRENBURG (1823) zu 1,5 bis 3,5 mm im Durchmesser¹⁾. Etwa 40 engl. Meilen nördlich von Kabul in Afghanistan, nach dem Hindu-Kusch hin, liegt nahe am Fuß des Gebirges der Hügel Reg-Rawan²⁾ oder „Sich bewegender Sand“. Er ist etwa 133 m hoch, und bis zu seinem Gipfel steigt eine lichte Sandschicht mit 40° Neigung empor. Diese ist wie beim Gebel Nakus an beiden Seiten von steileren Felsbänken eingefast, die aus Kalk- und Sandstein bestehen.

Ähnliche Beobachtungen machte LORTET³⁾ in Nubien am Tempel von Abu-Simbel; hier senkt sich von dem oberen, 60 m über dem Nil liegenden Plateau ein Lager aus sehr feinem Sande herab. Das ganze benachbarte Gestein besteht aus dem manganhaltigen, goldgelben, nubischen Sandstein. Eine andere, mit sehr feinem Sand gefüllte Böschung steigt nördlich von dem kleinen Tempel trichterartig zum Nil hinab, etwa unter 45°. Im Norden und Süden wird sie von zwei Felsengraten eingeschlossen. Wegen der großen Beweglichkeit des Sandes ist der Abstieg mit großer Vorsicht durchzuführen, auf halbem Wege setzt dann das Tönen der sich bewegenden Körner mit einem eigenartigen Brummen ein.

Ferner erwähnt CHARLES DARWIN in seinem „Journal of Researches“ unter dem 29. Juni 1835 den „Schreier“ oder „Brüller“, El Bramador, einen Hügel in der Nähe von Copiapó in Chile⁴⁾.

Diesen eigenartigen akustischen Erscheinungen an dem herniederrieselnden Sande von Gehängen gewisser Lokalitäten entspricht das Tönen eines Sandes, den W. R. TRINK⁵⁾ an der Südwestküste von Hawai antraf. Er fand hier einen 20 m hohen Sandwall, der die Eigentümlichkeit besaß, wie ein Melodium

1) STERNE, CARUS: Musikalischer Sand. Prometheus Nr. 17, Bd. 1. 17. 1890, S. 257—260; vergl. S. 258.

2) Der tönende Sand auf der Insel Eigg usw. S. 406.

3) LORTET: Sons émis par le sable en mouvement. Comptes rendus. t. 136. Janv. — juin 1903, S. 925, 926.

4) CH. DARWINs gesammelte Werke. Bd. I. Reise eines Naturforschers um die Welt. Aus dem Engl. v. J. VICTOR CARUS. E. Schweitzerbart (E. Koch)-Stuttgart. 1875, S. 414, 415.

5) Vergl. ROSENFELD: a. o. O.; S. 101.

zu tönen, wenn man mit der Hand kreisförmig in seinen Körnern herumrührte. Ließ man sich mit ausgebreiteten Armen von ihm herabgleiten, so daß möglichst viel Sand in Bewegung geriet, so verstärkte sich der Ton immer mehr und wuchs schließlich bis zum Rollen fernen Donners an. Dieser Sand ist vulkanischen Ursprungs und zeigt die Eigentümlichkeit, daß feine, vielfach auf der einen Seite geschlossene Kanäle ihn durchziehen. — Hierher sind wahrscheinlich auch die „bellenden“ Sande der Insel Kauai zu rechnen, von denen mehrere Reisende berichten. An der Südküste verläuft eine Reihe Sanddünen parallel der Küste, die am Westende in eine besonders regelmäßige endet. Die von ihr herabgleitenden Sande, die fraglos wohl aus kompakten Körnern bestehen, geben Gelegenheit zur Entstehung eines Geräusches, das an das Gebell eines Hundes erinnern soll¹⁾. Von solchen bellenden Sanden besitzt die Gruppe der Hawai-Inseln noch mehrere andere Fundorte.

Eingehend hat über tönenden Sand im Ufergelände C. CARUS-WILSON gearbeitet und das Ergebnis seiner Untersuchungen in einer größeren Schrift niedergelegt²⁾. Leider gelang es mir nicht, diese einzusehen; erst nach verschiedenen Anfragen bei der Bournemouth Natural Science Society und einem Londoner Buchhändler konnte der neue Wohnort des inzwischen verzogenen Autors ermittelt werden, und erfuhr ich dann, daß die Arbeit vergriffen sei. Dagegen war Herr CARUS-WILSON in Strawberry Hill (Middlesex) so liebenswürdig, mir einen Artikel zugehen zu lassen, der in kurzer, übersichtlicher Form die Hauptdaten seiner Forschungen wiedergibt³⁾. Diesen lege ich hauptsächlich meinen eigenen Beobachtungen und Betrachtungen als Ausgangspunkt zu Grunde, um eine schnelle Übersicht der Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste zu ermöglichen.

Allgemeines. — Die Zusammensetzung des Sandes ist von keinerlei Bedeutung; er mag aus Quarz, Kalkstein oder anderem Material bestehen. — Bereits bei einem ersten Besuche der Studlandbucht, Dorsetshire, kam CARUS-WILSON zu der Auffassung, daß der hier angehäuften Sand tönen müsse. Das schloß er aus dem Umstande, daß die Sande an der Bai begannen und sich in der vorherrschenden Windrichtung hinzogen; sie mußten deshalb freier von kleinen Teilchen sein als das Material der Sandbänke, wohin sie geweht wurden. Hier war die Bucht auch freier und flacher als an anderen Stellen in der Nähe und gestattete so eine wirksame Trennung der Körner durch Wind und Wellen. Der interessierende Sand zieht sich ungefähr 1 km nach dem Hafen Poole hin, er scheint überall durch den Wind gesondert zu sein und verläuft in einer schmalen Zone von etwa 9—13 m Breite zwischen dem ausgeblasenen Sande der Landseite und der Hochwassermarke. Wo er auf der einen Seite des Streifens von der See befeuchtet oder auf der anderen mit dem feineren

¹⁾ MAC IVOR: a. a. O.; S. 82, 83.

²⁾ Musical Sands. Read before the Bournemouth Society of Natural Science, published in November 1888.

³⁾ Musical Sands at Studland Bay. The Bournemouth Graphic. 4th June 1904, p. 337.

Sandmaterial vermischt war, blieb er stumm. — Um einen bestimmten Ton hervorzubringen, mußten die Körner des Sandes von der Studland-Bai gleiche Korngröße haben. — Die größten Körner gaben die tiefsten Töne; an einer Stelle war dieser Ton so tief, daß man annehmen durfte: das Tönen würde überhaupt nicht mehr hörbar gewesen sein, wenn die Körner nur noch ein wenig größer gewesen wären. — Bei einem weiteren Besuche ließ sich tönender Sand an verschiedenen Stellen der Küste antreffen, er war hier durch die gemeinsame Arbeit des Windes und der Wellen von den feineren Körnern befreit.

Bestehen die Körnchen eines Sandes aus verschiedenartigem Material, so werden die härteren ebenso wie die kantigen die anderen ritzen und schrammen, mit feinem Mineralpulver bedecken und ihrer fein abgerundeten und polierten Oberfläche berauben. Derartig veränderte Sandkörner bringen aber kein Tönen mehr hervor. Die Flüssigkeitsteilchen, die bei feuchten Körnchen die Oberfläche bedecken, würden nach ihm auch als Verunreinigungen aufzufassen sein.

Auf Grund dieser Erfahrungen und von Beobachtungen im Gelände konnte die folgende Einteilung der Sande gegeben werden: 1. musikalischer (musical), 2. solcher, welcher zeitweise seine Fähigkeit zu tönen einbüßt (killed), und 3. solcher, der diese Fähigkeit bisher überhaupt noch nicht besaß (mute).

Die Veränderungen durch das Aneinanderreiben sowie die am Tönen hemmenden Beimengungen können aber beseitigt werden¹⁾, wenn man nicht-tönenden Sand siebt, um die feinen Teilchen zu entfernen und Körner von gleichmäßiger Größe zu erhalten, durch Herabrollenlassen über eine geneigte rauhe Glasplatte die runden von den kantigen trennt und durch Kochen in verdünnter Salzsäure die Oberflächen säubert.

Da die eben kurz angeführte Methode ausnahmslos zum Ziele führte und alle nicht tönenden Sande musikalisch wirksam machen kann, haben sie jemals Töne ausgesandt (killed) oder nicht (mute), so werden die Gruppen Nr. 2 und Nr. 3 zusammen zu betrachten sein. — Durch die künstliche Behandlung erhielt man schließlich einen Sand, der in gewissen glasierten Gefäßen einen musikalischen Ton gab, und zwar so klar wie jeder andere bekannte, tönende Sand.

Diesem Sand von der Studland-Bucht schließen sich die Sande aus zwei weiteren Baien an; beide liegen in Neu-England und zwar die eine bei Manchester, Mass., die andere in der Nähe von Small Point, Maine. Sie sind von harten Felswänden eingeschlossen und ohne jeden Wasserzufluß, der ihnen Schlickmaßen zuführen könnte. Daher sind die Sande auch sehr rein und nach jeder Flut frei von kleinen anhaftenden Teilchen. Sie setzen sich hauptsächlich aus kantigen Quarzkörnern zusammen. Trotz der hier unerwartet

¹⁾ CARUS-WILSON, CECIL: On the Production of musical Notes from non-musical Sands. The Chemical News. Vol. LXIV, Nr. 1650, 1891, S. 25. — CARUS-WILSON, CECIL: The Production of musical Notes from non-musical Sands. Nature Nr. 1136, vol. XLIV, 1891, S. 322, 323.

auf tretenden Kanten gelang es S. SKINNER¹⁾ an ihnen die meisten Versuche zu bestätigen, die CARUS-WILSON von seinem Material beschrieb, am besten freilich in einer glasierten Tasse, wenn er mit einem harten Stößel arbeitete. Nach kurzer Zeit versagte dann freilich das Tönen, und der Sand mußte gewaschen werden, um wieder musikalisch zu werden.

Lange Zeit war in Nordamerika nur die „Singende Bucht“ von Manchester bekannt, bis H. C. BOLTON und A. JULIEN in Amerika sich für das Zustandekommen der Töne interessierten. Mit Hilfe des „Smithsonian Institution“ und seiner Korrespondenten sammelten sie überall Proben von Sand, und ihr Verzeichnis von solchem, der Töne gab, weist jetzt über 100 Fundorte auf; bereits nach kurzer Zeit des Sammelns konnten sie allein für die Küste der Vereinigten Staaten am Atlantischen Ozean deren nicht weniger als 74 nachweisen²⁾.

Sande, die beim Stören ihrer Lagerung tönen oder klingen, scheinen nach diesen Ergebnissen reichlich und nicht, wie man bisher meinte, nur selten vorhanden zu sein. Es unterliegt keinem Zweifel, daß man viele Fundorte noch nicht kennt; der Mangel an geschulten Beobachtern einerseits und der Umstand, daß die Körner nicht überall und zu jeder Zeit an derselben bemerkenswerten Stelle deutlich vernehmbare Töne geben und zeitweise sogar stumm sind, erklärt diese Tatsache.

Die Bedingungen, die BOLTON und JULIEN in betreff des Zustandekommens von Tönen bei Sanden verlangen, decken sich im allgemeinen mit denen von CARUS-WILSON. Auch sie setzen Sauberkeit, Staubbefreiheit und gleiche Größe der Körner voraus; die von ihnen aufgestellte Theorie weicht dagegen ab. Sie halten ein bloßes Reiben der Sandkörner aneinander nicht für genügend zu dem Zustandekommen eines hörbaren Tones, selbst wenn Millionen von Oberflächen sich gleichzeitig dabei beteiligten. Nach ihnen ist vielmehr die größere Freiheit zu einer oszillierenden Bewegung von Bedeutung; sie nehmen an, daß die Körnchen durch Häutchen von verdichteter Luft umgeben sind, die wie elastische Kissen wirken. Wird der Sand irgendwie befeuchtet und dann getrocknet, so lagern und kondensieren sich Luft oder Gase, die vordem durch das Wasser verdrängt wurden, wieder auf seinen Oberflächen und bilden jene Häutchen, die trotz ihrer Dünne ausreichen, um den Individuen genügend freies Spiel zu gestatten, wenn sie durch eine Störung in Schwingung gesetzt werden. Diese Durchfeuchtung besorgen am Seestrande Wellen oder Regen, deren Rolle in der Wüste ein gewöhnlich recht starker Nachttau einnimmt. Werden die Gase entfernt, so wird der Sand „stumm“; deshalb wird er auch durch die Einwirkung von Hitze, Reibung und Schlag „getötet“ (killed), während andererseits Proben von tönendem Sande, die jahrelang ungestört

¹⁾ SKINNER, S.: Specimens of singing Sand from New England. *Nature*. Nr. 1991, vol. 77, 1907, S. 188.

²⁾ *Annals of the Academy of sc.* New York 1887; vergl. STERNE, CARUS: S. 259 und MAC JVOR, A.: a. a. O., S. 79. 80.

aufbewahrt wurden, ihre akustische Eigentümlichkeit beibehalten hatten. Füllt man etwa 1 l einer bestimmten Probe in einen Sack und schüttelt diesen kräftig, so erhält man von ihr die stärkste Klangwirkung; bei stiller Nacht konnte man den kreischenden Ton auf weitere Entfernung hören.

Wenn CARUS-WILSON für das Tönen des Sandes die Bedingung aufstellt, daß die Körner nach Möglichkeit abgerundet seien, so wird man auch dort nach diesen akustischen Erscheinungen suchen dürfen, wo durch andere Kräfte als die der Brandung eine fortgesetzte, rollende Bearbeitung stattfand. In recht guter, oft sogar vollkommener Weise wird sie dort erreicht, wo der Wind die Körner oft und kräftig vor sich hertreibt. Die geheimnisvollen Stimmen der Wüste, wie Reisende sie so oft hören, finden hierdurch eine einfache Erklärung, so die akustischen Erscheinungen der Wüste Lob-Nor in China, die mit den wunderbarsten Melodien gefüllt sein soll, und desgleichen die Sandhügel von Afghanistan und Arabien. Als BOLTON den Gebel Nakus mehrere Tage lang studiert hatte, kam er zu der Überzeugung, daß er es hier mit keinem Unikum zu tun haben könnte. Bei der Fortsetzung seines Zuges nach Suez untersuchte er deshalb jeden Steilabhang von aufgewehtem Sand und fand dabei eine steile Sandbank auf einem kleinen Hügel von nur 15 m Höhe, den die Beduinen Ramadan nannten; dieser gab einen lauten brummen- den Ton von sich, der freilich nicht so stark war, wie der des Glockenberges.

Anders als die von CARUS-WILSON behandelten Sande verhält sich wohl eine Reihe weiterer, zu denen auch der unserer Küste gehört. Als erster aus dieser Gruppe, den man am besten als Verbindungsglied zwischen beiden Gruppen hinstellt, wurde der tönende Sand auf der Insel Eigg der Bai von Laig an der Westküste von Schottland von dem schottischen Geologen HUGH MILLER¹⁾ beschrieben. Die Senkungen und Spalten des dortigen oolithischen Sandsteinlagers sind mit einem feinen Quarzsand gefüllt, der rein weiße Farbe hat und bei seiner Helligkeit das Licht stark reflektiert. Er ist durch den Zerfall des dort anstehenden Sandsteins entstanden. Die Stelle, die uns besonders interessiert, lautet im Wortlaute der Übersetzung folgendermaßen:

„Mit der Betrachtung einiger Muscheln beschäftigt nahm ich einen eigenthümlichen Laut wahr, welchen der Sand bei dem Tritte meiner Gefährten von sich gab. Ich trat ihn mit dem Fuße in schiefer Richtung, wo die Oberfläche trocken und lose in der Sonne lag, und der hervorgelockte Laut war ein gellender, sonorer Ton, einigermaßen dem ähnlich, welchen ein gewichster Faden erzeugt, wenn er, zwischen den Zähnen und der Hand angespannt, mit dem Nagel des Zeigefingers geschnippt wird. Ich ging über den Sand hin, ihn bei jedem Schritt in schiefer Richtung stoßend, und bei jedem Stoß wiederholte sich der gellende Ton. Meine Begleiter kamen zu mir heran, und wir führten ein Konzert auf, in welchem wir uns zwar einer nur geringen Mannigfaltigkeit der produzierten Töne rühmen, aber wenigstens für ein Instrument, welches dieselben hervorgebracht hätte, ganz Europa herausfordern konnten.“

¹⁾ The Cruise of the Betsey; or, a Summer Ramble among the fossiliferous Deposits of the Hebrids. With Rambles of a Geologist. — Vergl.: Der tönende Sand auf der Insel Eigg usw. S. 405.

Durch diese Mitteilungen veranlaßt, berichtete N. GIRSCHNER¹⁾ über ähnliche Eigenschaften des Strandsandes von Kolberg, besonders von dem, der östlich vom Hafen, „da wo die Badebuden stehen“, anzutreffen ist. Der Grundmasse nach bestehen seine Körner aus kleinen, glänzenden Quarzkugeln, diesen sind andere von derselben Größe beigemengt, die durch Eisenoxyd rot²⁾ und braun gefärbt sind, und ferner sehr glänzende von einem Eisenerz. Dieser schön gefärbte Sand wurde weithin, besonders nach Berlin, als Streusand versandt. Über sein Tönen heißt es:

„Geht man nun zu gewissen Zeiten (denn das Phänomen tritt keineswegs immer auf) durch denselben, so hört man das tönende Klingen, namentlich wenn man mit dem Fuße in schiefer Richtung stößt, genau so, wie es MILLER beschreibt. Nach einiger Übung ist man im Stande, diese merkwürdigen Töne so laut und schrillend werden zu lassen, daß sie weithin hörbar sind. Bezeichnend für dieselben möchte auch sein, daß meine Kinder, im Sande spielend, sie „Sandmusik“ nannten.“

Die Beschreibung eines weiteren Vorkommens von klingendem Sande gibt der bekannte Geologe L. MEYN³⁾. Er berichtet, daß der Quarzsand des jurassischen Gebirges auf Bornholm „bei jedem Schritt, namentlich bei etwas träger schleifender Bewegung, einen schrillen Ton von sich“ gibt. Diese Erscheinung kam ihm derart eigentümlich vor, daß er das Klingen unter Umständen zur Bestimmung verwenden zu können glaubte, „etwa als Handhabe zur Entdeckung jurassischer Kohlen“.

Eine Menge von Fundorten für dieses Vorkommen führt G. BERENDT⁴⁾ auf. Er traf den tönenden Sand auf der Kurischen Nehrung und im Samlande, sowie auf der Frischen Nehrung, am Danziger Strande und an Stellen der pommerschen Küste, bei Rügenwaldermünde, Kolberg und Heringsdorf, auf Usedom, schließlich auch auf der Halbinsel Dars, nahe der mecklenburgischen Grenze. Nach jahrelangen Erfahrungen kam er zu der Überzeugung, daß klingender Sand am ganzen deutschen Ostseestrande vorkomme⁵⁾, und tatsächlich ist er nunmehr auch an der Küste Dänemarks nachgewiesen worden, sowie an dem Nordseegestade Englands in vielen Seebädern.

Von der Erscheinung selbst schreibt er folgendermaßen:

„Einmal gehört, suchte ich nämlich in der Folge unwillkürlich bei Strandmärschen oder sonstigen Besuchen des Strandes jenen Ton von Neuem hervorzurufen. Zuweilen gelang es

1) GIRSCHNER, N.: Der tönende Sand bei Kolberg. PETERMANN'S Mitteilungen. 1859, S. 119.

2) Hierzu rechnet GIRSCHNER irrthümlicher Weise wohl auch die vorhandenen Granatkörnchen.

3) MEYN, L.: Geognostische Beschreibung der Insel Sylt und ihrer Umgebung nebst einer geognostischen Karte im Maßstabe 1:100000 sowie einer Lithographie, 2 Tafeln Profile und 1 Holzschnitt im Text. Abhandlungen zur geologischen Spezialkarte von Preußen und den Thüringischen Staaten. Bd. 1, Heft 4. 1876, S. 634 (30).

4) BERENDT, G.: Über „klingenden Sand“. Zeitschrift der Deutsch. geolog. Ges. Jahrgang 1883, S. 864, 865.

5) Nach freundlicher Mitteilung des Herrn Prof. BEHRENDT in Memel gehört die Erscheinung des „klingenden Sandes“ auch am dortigen Strande zu den bekanntesten Erscheinungen.

mir; weit häufiger aber waren meine Bemühungen auch bei dem schleifendsten Gange vergebens. Was aber besonders hervorgehoben zu werden verdient, ist, daß an derselben Stelle, wo Tags zuvor noch der schrille Ton mit Leichtigkeit derart zu steigern war, daß Begleiter sich die Ohren zubielen und selbst das Tosen der Brandung das pfeifende Kreischen nicht ganz zu übertönen vermochte, es in den folgenden Tagen trotz aller Bemühungen nicht gelang, auch nur das leiseste derartige Tönen hervorzurufen.“

Diese zitierte Stelle ist in mehr wie einer Hinsicht bemerkenswert. Sie weist darauf hin, daß man erst einmal wissen müsse, worauf es ankomme, und dann, daß das eigenartige Tönen nach dem Orte des Auftretens und seiner Intensität dem Wechsel unterworfen ist. Da es nicht jederzeit auftritt und beim Rauschen der Brandung auch dann nicht vernehmbar ist, wenn es nur mäßige Stärke hat, so ist es sehr vielen Anwohnern des Strandes kaum bekannt. Leute, die an der Küste geboren und alt geworden, Lotsen und Schiffer, haben meist wenig darauf geachtet und wissen daher auch kaum Auskunft über diese Sache zu geben. Daher ist es zu verstehen, daß Arbeiten, die sonst in vorzüglicher Weise über die Erscheinungen am Meeresstrande Aufschluß geben, über diesen Punkt, ohne ihn auch nur zu erwähnen, hinweggehen¹⁾. Daß bereits früher das Tönen des Sandes mit Interesse verfolgt wurde, beweist eine Stelle in der Arbeit HUGH MILLERS²⁾, in der es heißt, daß es weder ihm noch früheren Forschern, die dieser Frage nahe traten, aufzuklären gelungen sei, woher der sonderbare Unterschied zwischen dem musikalischen Sande vom Gebel Nakus, vom Reg-Rawan und von der Insel Eigg einerseits und „dem gewöhnlichen, stummen Sand unserer Seeküsten“ andererseits komme; dann aber auch, wie es überhaupt möglich sei, „daß eine zur Erzeugung von Tönen anscheinend gänzlich unfähige Anhäufung von Quarzpartikeln tönend wird“. Von Interesse ist schließlich die Meinung N. GIRSCHNERS³⁾, daß es mit dem Sande vom Gebel Nakus und vom Reg-Rawan eine andere Bewandnis haben müsse, wie mit dem von der Insel Eigg und dem Strande Kolbergs.

Zur Untersuchung des Sandes vom Strande in Westpreußen wurde in den ersten Tagen des April 1908 links vom Seesteg in Zoppot eine größere Probe aufgelesen. Das Material besteht fast ausnahmslos aus mehr oder weniger abgerundeten Quarz-, Granat- und Eisenerzkörnchen. Die ersteren sind teilweise von Sprüngen durchsetzt. Öfter sind sie auf diesen zerbrochen und nachträglich an den Kanten wieder abgeschliffen, teils liegen — aber nur selten — frische Trümmer vor. Diese Körnchen sind in zwei Größen vorhanden, wobei die kleineren weniger abgerundet sind als die größeren. Sie sind teils klar, teils mehr oder weniger von Bläschen durchsetzt. Auf ihren Sprüngen und auf den Oberflächen haben sich häufig gelbliche bis bräunliche Eisenerze niedergeschlagen; diese letztere

1) BOHN, H.: Physikalische Beobachtungen. Natur und Schule. Bd. 4, Heft 5, S. 223 bis 228. — DEECKE, W.: Einige Beobachtungen am Sandstrande. Zentralblatt für Mineralog., Geolog. u. Paläontolog. 1906. Nr. 23, S. 721—727. — KRAEPELIN, KARL: Naturstudien in der Sommerfrische. B. G. TEUBNER. 1906 u. a.

2) Vergl. S. 406.

3) S. 119.

Hülle kann dabei so dick und vollkommen werden, daß eine schnelle Entscheidung schwer fällt, ob tatsächlich inkrustierte, respektive infiltrierte Quarzindividuen oder vielleicht Körner von Eisenerz vorliegen. Die letzteren sind rund oder länglichrund und liegen wohl auch in kleinen Trümmerstücken vor; es handelt sich um Magnetit, um ein schwach magnetisches, titansäurereiches Erz und um nicht magnetisches Titaneisen. Daneben finden sich grünliche Brocken von Hornblende und Augit. Granat, der seiner Form nach den anderen Komponenten des Sandes entspricht, kommt in zwei Ausbildungen vor; von diesen ist die blaßrosa gefärbte Varietät die häufigere, während die andere dunkelrote stark zurücktritt. — Vereinzelt wurden auch Epidotkörnchen angetroffen. Feldspat und Glimmer scheinen zu fehlen; die leichte Zersetzbarkeit des einen und die vollkommene Spaltbarkeit des anderen Minerals erklären diesen Umstand.

Da die Eisenerze nicht einheitlich mit dem Magneten zu entfernen waren, mußten die einzelnen Bestandteile mit Wachsfaden und Messerklinge voneinander getrennt werden; es ergab sich als Zusammensetzung der Sandprobe:

Sandkörnchen (Quarz)	98,975 %
Granat	0,243 %
Eisenerze, Hornblende, Augit und andere Mineralien	<u>0,782 %</u>
In Summa	100,000 %

Wie weitere Untersuchungen zeigen, beteiligen sich an diesen Eisenerzen und sonstigen schweren Bestandteilen, wenn man von ihren reichlich auftretenden Verwachsungen mit Quarz absieht:

Magneteisenerz	3,27 %
Schwach magnetisches, titansäurereiches Erz	8,16 %
Unmagnetisches Titaneisen, Hornblende, Augit und andere Mineralien	<u>88,57 %</u>
In Summa	100,00 %

Das spezifische Gewicht beträgt als Mittel dreier Ermittlungen nach Korrektion auf den leeren Raum und auf Wasser von $+4^{\circ}\text{C.}$: 2,639, der mittlere Wert des Kornradius $240,37 \pm 28,99 \mu$.

Da gelegentlich der Gedanke ausgesprochen ist, daß kohlensaurer Kalk oder Kochsalz eine Verkittung der oberflächlich liegenden Körnchen veranlasse, war auch zu dieser Frage Stellung zu nehmen. Zuerst wurde eine Probe mit verdünnter Salzsäure behandelt. Es zeigte sich alsbald ein Aufperlen kleiner Bläschen, die aber, wie mit Hilfe der Lupe zu ermitteln war, von winzigen Splittern kalzinierter Muschelschalen und Schneckengehäuse herrührten. Der auf diese Weise gelöste und als Kalziumoxalat gefällte Gehalt der Sandprobe an Kalziumkarbonat beträgt 0,216 %.

Da dieses Ergebnis den natürlichen Verhältnissen nicht entspricht, wurde zum Extrahieren der Sandprobe siedendes destilliertes Wasser verwendet. Auch diese Bedingungen werden den natürlichen nicht genau entsprechen, zumal TORNÖE in 1 l Meerwasser 48 cm^3 Kohlendioxyd fand, das auf Kalziumkarbonat

kräftig lösend einwirkt. Da aber nicht bekannt ist, was für Veränderungen das vorliegende Material erlitt, seit es das Meer verließ, mögen auch die auf erwähntem Wege gewonnenen Resultate aufgeführt werden: Das Aufkochen mit destilliertem Wasser und Dekantieren wurde so oft wiederholt, bis Höllensteinlösung den schon von Beginn nur schwach auftretenden Chlornachweis nicht mehr gab. Die erhaltene Flüssigkeit hatte ein schwach milchiges Aussehen und opalisierte. Sie ging in ihrer Trübung unverändert durch das Filter und schied beim Eindampfen auf dem Wasserbade unter Krustenbildung eine schwärzliche Substanz ab. Diese schwarze Färbung verschwand beim Glühen vor dem Gebläse; sie muß organischen Stoffen zugeschrieben werden. Eine zarte, auftretende Röte wies bei dieser Gelegenheit auf Spuren von Eisenoxyden im wässerigen Auszug hin. Unter dem Mikroskop zeigten sich in diesem neben feinen, erdigen Partien winzige Mineralbrocken von mehr oder weniger rundlicher Form oder in Spaltstücken, sowie kleine Überreste und Gebilde organischer Natur.

Da trotz wiederholten Filtrierens die trübende Masse aus der Abkochung nicht entfernt werden konnte, sich nach drei Monaten noch fast wie zu Anfang in ihr erhielt und auf Zusatz von Elektrolyten — verwendet wurden verschiedene Säuren und eine Lösung von Natriumnitrat — ausfiel, so handelte es sich um eine „kolloid veranlagte“ Substanz¹⁾, wie man Körper von solcher Eigentümlichkeit, z. B. Ultramarin, Ton, Zement, Talk, Feldspate und ähnliche Mineralien, heute bezeichnen möchte. — Mit Kobaltlösung befeuchtet und geglüht, gibt die Sandprobe eine schöne, blaue Färbung; sie weist darauf hin, daß man es mit einem Minerale der Ton-Gruppe zu tun hat. Auch der Umstand, daß Lösungen von Natriumhydroxyd, Natriumcarbonat und verwandten Verbindungen die trübenden Stoffe besonders leicht zum Niederfallen bringen, läßt auf Tonsuspensionen schließen. Diese feinen Körperchen stammen teils wohl, wie die organischen Überreste, aus dem Weichselstrom, dessen Sinkstoffe von der Küstenströmung bei starkem Nordost seitlich fortgeführt und abgesetzt werden²⁾, teils rühren sie aus dem Material her, aus dem sie hervorgingen. Das entspricht den von A. JENTZSCH niedergelegten Resultaten, nach denen Diluvialgrand 3,8 % und Diluvialsand 0,5 % tonartige Teilchen, berechnet als Mittelwerte aus den Analysen der Königl. Geologischen Landesanstalt, enthält.

Bei den organischen Teilchen handelt es sich wahrscheinlich um die veränderten Reste jener schaumigen Massen pflanzlichen Ursprungs, die ich bereits früher beschrieb³⁾ und die durch eine gelbe und braune Färbung schließlich

¹⁾ ROHLAND, P.: Über das Verhalten von suspendierten Stoffen im Kristalloid- und Kolloidzustand. Naturw. Wochenschrift. N. F. Bd. 8, Nr. 8, 1909, S. 121. — ROHLAND, PAUL: Über das Faulen der Tone. Zeitschrift für anorg. Chemie. Bd. 41, 1904, S. 325—336, Vergl. II.

²⁾ SONNTAG, P.: Strandverschiebungen und alte Küstenlinien an der Weichselmündung bei Danzig. Zeitschrift des Westpreuß. Geschichtsver. Heft 50. S.-A. Seite 4.

³⁾ DAHMS, PAUL: Beobachtungen und Betrachtungen an Danzigs Ostseeküste. Natur und Schule. Bd. 2, Heft 8, 1903, S. 489, 490.

zu einer schwarzen gelangen, entsprechend dem Übergange in Ulmin- und schließlich in Huminstoffe. Daß ihnen auch Pilzsporen beigemischt waren, ergab sich aus einigen unbeabsichtigten Kulturversuchen. Zum Zweck des Vergleiches waren nämlich einige Sandproben mit Wasser ausgekocht und das erhaltene milchige Dekokt mit einer Natriumnitrat-Lösung versetzt. Die Klärung trat alsbald ein, aber in zwei Fällen entwickelten sich infolge der zugesetzten „Nährlösung“ außerdem noch schön ausgebildete Pilzkolonien von kugeligter Gesamtform und radialer Anordnung von Einzelindividuen. — Die dunkeln, organischen Beimengungen anderer Sandproben bestehen für gewöhnlich zum Teil aus zerriebenen Torfmassen, Sprockholzstückchen oder verwesenden Algen.

Der Gehalt der Abkochung an Chlornatrium beträgt nur 0,00007 %, ein Wert, der sich mit dem geringen Salzgehalte der Ostsee gut in Einklang bringen läßt. So betrug dieser im Jahresmittel für das Oberflächenwasser im Jahre 1876 vor Neufahrwasser nur 5 ‰¹⁾.

Ferner wurde Sand mittels siedenden Wassers bis zu seiner Erschöpfung ausgelaugt und das Filtrat auf dem Wasserbade eingedampft, bis zur Gewichtskonstanz auf 100° C erwärmt, der Rückstand gegläht. Wird das suspendierte Mineral auf die Formel für Kaolinit JOHNSTON und BLAKE: $2 \text{H}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$ berechnet, so sind in 0,334 g Rückstand, herrührend von 100 g ausgekochtem Sand, enthalten:

(Ca.Fe) CO_3	0,0084 g entspr.	25,1 %
$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O} \cdot 2 \text{SiO}_2$. . .	0,0216 „ „	64,7 „
Organ. Substanz	0,0033 „ „	9,9 „
Na Cl	0,0001 „ „	0,3 „

In Summe: 0,0334 g entspr. 100,0 %

Der untersuchte Sand enthält mithin 0,216 % Kaolinit, d. h. ungefähr halb so viel tonartige Substanz wie JENTZSCH für Diluvialsand als Mittelwert fand²⁾.

Ferner ergibt sich aus diesen Daten, daß weder Kalziumkarbonat und in noch viel geringerem Maße Kochsalz in genügender Menge vorhanden ist, um die einzelnen Körnchen miteinander zu verkitten oder auch nur lose aneinander haften zu lassen.

Wenn schließlich die Vermutung ausgesprochen wurde, daß ein reichlicher Gehalt von Sanden an hyalinem Quarz Veranlassung zur Erregung von Tönen geben könnte, so trifft das für dieses Material — und wohl auch für jedes andere, das hier in Frage kommt — nicht zu³⁾.

¹⁾ LAKOWITZ, C.: Die Danziger Bucht. Beiträge zur Landeskunde Westpreußens. Festschrift zum XV. Geographentag. Danzig. 1905. S. 56.

²⁾ GERHARDT, PAUL: Handbuch des Deutschen Dünenbaues, herausgegeben unter Mitwirkung von Dr. JOHANNES ABROMEIT, PAUL BOCK, Dr. ALFRED JENTZSCH. Berlin 1900, S. 26.

³⁾ JRVING, A.: Musical Sands. Nature Nr. 2073, Vol. 81. 1909. S. 99.

Bevor ich auf das eigentliche Tönen unseres Strandes eingehe, scheint es mir wichtig, über die Körner des Sandes und ihre Packung einige Betrachtungen anzustellen. Wie WOLLNY experimental nachwies, kommt jeder Korngröße eine ganz bestimmte Lagerung zu, d. h. eine ganz bestimmte Weite der Porenkanäle; und zwar werden solche Kapillardurchmesser die höchsten Werte für kapillare Hebung von Flüssigkeit ergeben, die hinsichtlich ihrer Größe am besten übereinstimmen. Der Meniskus wird dabei um so stärker gekrümmt sein, je enger die Röhren sind. Mit dieser Krümmung steigt aber auch der Oberflächendruck, und im Zusammenhang mit ihm findet wieder ein weiteres Ansteigen in den Luftröhren statt¹⁾, die mit den weiteren Kapillarröhren in Zusammenhang stehen.

An einer Reihe von Sandproben wurden Messungen vorgenommen, um die Korngröße zu ermitteln. In jedem einzelnen Falle wurden 50 Messungen der Länge nach und ebensoviel quer ausgeführt. Die mittlere Differenz wurde in der zweiten Spalte der nachstehenden Tabelle, auf Prozente berechnet, eingetragen. Die letzte enthält zur allgemeinen Übersicht das Mittel aus den 10 größten ermittelten Werten für die Korngröße. — Die Angaben sind nach zunehmender Korngröße geordnet.

Es scheint nicht unangebracht, die durch diese direkte Messung gewonnenen Resultate mit den Werten zu vergleichen, die man beim Trennen der Körner nach ihrer Größe durch Sieben erhält. Da hierbei auch längliche, bezw. splitterige Stücke durch die Maschen schlüpfen, sobald ihr kleinster Durchmesser geringer ist als der der Maschenweite, können von nicht kugelförmigen Sandindividuen leicht falsche Vorstellungen erweckt werden. Vergleicht man in der beigegebenen Tabelle die Werte der kürzeren Durchmesser mit den durch direkte Messung ermittelten, so zeigt sich auf den ersten Blick jener scheinbare Widerspruch. Der kürzere Durchmesser von Nr. 2 bis Nr. 5 tritt z. B. gegen den von Nr. 1 stark zurück, und ähnliche, weniger scharf ausgesprochene Verhältnisse weisen auch Nr. 6 bis Nr. 10 auf. Kleine Unterschiede der Sandkörner in der Nähe der durch die festgelegten Korngrößen gezogenen Grenzen bedingen diese Widersprüche. Ein Ausgleich der Verhältnisse durch die längeren Durchmesser kommt dabei kaum in Betracht. Andererseits ist dabei zu bedenken, daß die jedesmalige Messung der einzelnen Individuen mit einem großen Aufwand von Zeit verknüpft ist und bei einer nicht genügenden Anzahl von Untersuchungen leicht beanstandet werden kann. — Jedenfalls scheint mir die durchgeführte Gegenüberstellung in diesem Falle beachtenswert.

¹⁾ Vergl. KÖHLER, EMIL JOHANNES: Über einige physikalische Eigenschaften des Sandes und die Methoden zu deren Bestimmung. Diss. (Karlsruhe); Druck b. U. E. Sebald-Nürnberg. 1906. S. 52, 63.

Nr.	Fundort	Radius des Kornes in μ	Mittlere Differenz zwischen Länge und Breite in %	Mittel aus den 10 größten Messungen in μ	Längerer Durchmesser				Kürzerer Durchmesser			
					2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,2 mm	0,2-0,1 mm	2-1 mm	1-0,5 mm	0,5-0,2 mm	0,2-0,1 mm
1	Ablage bei Ossecken - Wierschütz, Kreis Laubenburg (Pomm.)	108,52 $\pm$ 15,22	28,05	337,9	4	80	16	—	—	48	52	—
2	Strand bei den Kolberger Bädern	169,39 $\pm$ 24,83	29,32	543,4	—	8	88	4	—	2	86	12
3	Strand beim Kolberger Deep .	177,97 $\pm$ 20,93	23,52	527,8	—	14	86	—	—	—	96	4
4	Strand bei den Kolberger Bädern, enthält etwas reichlicher Eisenerze	181,35 $\pm$ 21,06	23,23	520,0	—	8	92	—	—	—	100	—
5	Strand unterhalb Dunoßly Casfle bei Oban (Schottland) . . .	191,26 $\pm$ 32,50	34,44	591,5	—	28	72	—	—	2	94	4
6	Sorebohm bei Kolberg . . .	213,01 $\pm$ 24,64	23,13	609,7	—	38	62	—	—	10	88	2
7	Elysium bei Kolberg	223,15 $\pm$ 27,89	24,99	664,3	—	56	44	—	—	14	86	—
8	Heubude bei Danzig; Probe 1	228,35 $\pm$ 29,58	25,90	707,2	—	54	46	—	—	10	88	2
9	Zoppot	240,37 $\pm$ 28,99	24,12	777,4	2	56	42	—	—	30	64	6
10	Heubude bei Danzig; Probe 2	279,18 $\pm$ 41,42	29,66	846,3	—	74	26	—	—	30	70	—
11	Glettkau bei Danzig	313,50 $\pm$ 40,76	26,00	994,5	4	88	8	—	—	62	38	—

Zur Charakteristik der aufgeführten Proben mögen die folgenden Angaben dienen:

1. Das spezifische Gewicht wurde zweimal bei verschiedener Temperatur festgestellt und ergab nach der Korrektur in beiden Fällen den Wert 2,6449. Bei der Feinheit und dem fast vollständigen Fehlen aller Beimengungen zeigt die vorzugsweise aus Quarzkörnchen bestehende Masse eine weißliche, fast weiße Farbe. Im Sonnenlichte soll die Küste mit diesem Sande stark blendend wirken. Wie Versuche mit der Probe ergeben, erweist der Sand sich als tönend, wenn er in einem glasierten Porzellangefäß mit einem Stahlstabe stark gestoßen wird. Da reichlich Bruchstücke vorliegen, deren Kanten und Ecken kaum abgerundet sind, so ist das Tönen unter diesen Verhältnissen recht auffallend. — Die Probe sammelte Herr Prof. Dr. SONNTAG-Danzig.

2. Das Material und seine musikalischen Eigenschaften sind bereits beschrieben¹⁾.

3. Die Probe wurde bei bedecktem Himmel und schwacher Brise gesammelt (16. 4. 08). Kräuselmacken (ripplemarks) waren auf dem tönenden Sande überall vorhanden und hatten eine Entfernung von etwa 6 cm voneinander. Die oben liegenden, etwas zusammenhängenden, trockenen Körner gingen langsam in die tieferen, loser gelagerten über; der feuchte Untergrund begann etwa 15 cm unterhalb der Oberfläche. — Das Tönen ließ sich überall wahrnehmen, besonders stark in der Nähe des Strandes, wo die trockene Schicht nur eine Dicke von 1—3 cm hatte. Das Korn ist verhältnismäßig gleichartig ausgebildet und meist abgerundet, doch sind viele Trümmerstückchen vorhanden. erinnert sehr an 2.

4. Der Sand enthält wie die Bezeichnung bereits angibt, etwas reichlicher Eisenerze wie 2. Auch er gibt ein Tönen von sich.

5. Es liegen fast nur Bruchstücke vor, die nur selten oder kaum abgerundet sind, entsprechend der mittleren Differenz zwischen Länge und Breite zu 34,4 %, und fast ausschließlich aus Quarz mit etwas Eisenerz bestehen. Sowohl am Fundort wie bei künstlicher Behandlung erwies er sich als stumm. Da die Bucht von der Insel Kerrera fast vollständig eingeschlossen ist, so findet an dem Gestade kaum Wellenschlag und dadurch bedingte Abrundung der Körnchen statt.

6. Beim Sammeln des Sandes war der Himmel bedeckt, während eine starke Brise wehte. Infolge der lauten Brandung war das Tönen am Strande nur schwierig wahrnehmbar. Sich lang hinziehende Streifen, die durch Magnet-eisenerz ein geflammtes Aussehen erhalten hatten, wurden abgeschritten; auch sie gaben die Töne. Der Sand erinnert an Probe 2 und 3.

7. Die Granate und Eisenerze sind hier weniger abgerundet als die Quarze. Mit Hilfe des Magneten allein konnten 9,486, d. h. rund 9½ % Magneteisenerz abgehoben werden. Ein Tönen konnte weder an der Fundstelle noch später

¹⁾ GIRSCHNER, N.: Der tönende Sand bei Kolberg. S. 119.

experimentell hervorgerufen werden. Der Probe war viel staubförmiges Material beigemischt.

8. Der Sand zeigt ein deutliches Tönen; die Körner sind meist schön rund und liegen in zwei verschiedenen Größen (ca. 1 : 2) vor.

9. Eine genauere Beschreibung ist S. 41 ff. gegeben.

10. Die Probe zeigt das Tönen noch deutlicher wie Probe 8.

11. Das Material fiel durch seine Korngröße auf, war durch Windwirkung freigelegt und verlief auf der Vordüne am Fuße der eigentlichen Düne nahe den Bädern Glettkaus unter Bildung von Kräuselmarken, die 19 cm Abstand hatten. Die Körner waren nicht gleichmäßig groß aber meist abgerundet, entsprechend der mittleren Differenz zwischen Länge und Breite zu 26 %. Den Untergrund bildete feinkörnigerer, feuchter und deshalb fester Sand. Der Sand tönt bereits für sich, mehr freilich noch, wo er in den gewöhnlichen Flugsand des Strandes übergeht. Sein spez. Gew. ergab sich als Mittel dreier Bestimmungen nach Reduktion zu 2,6364. —

Wie die Tabelle zeigt, sind die Körnchen bei allen Proben nur sehr selten vollständig kugelförmig, was in gutem Einklange damit steht, daß nach PRAFFS Untersuchungen die Werte für die Härte beim Quarz auf Endfläche und Säulenfläche sich wie 133 : 180 zueinander verhalten. Wenn ALLEN HAZEN¹⁾ dagegen bei dem für die Stadt Lawrence in Amerika verwendeten Filtersand ein Axenverhältnis 1,38 : 1,05 : 0,69 fand, so liegt hier sicher der absonderliche Fall vor, daß die Quarze Schichten entstammen, die senkrecht zur Hauptaxe der parallel orientierten Quarze einem einseitigen Druck ausgesetzt waren — Die Sande unserer Meeresufer bestehen aus kleinen Rotationssphäroiden, im Gegensatz zu denen der Flußränder. Zum Vergleich wurden verschiedene Proben von solchem Material ebenfalls in den Kreis der Untersuchung gezogen: aber ohne befriedigendes Ergebnis. Eine Probe wurde bei Pieckel, eine andere oberhalb der FISCHERSchen Brauerei in Neufahrwasser vom Ufer der Weichsel aufgelesen. Ihre Körnchen waren jedoch wie bei dem Talsande von Weißhof fast ausschließlich aus Bruchstücken gebildet. Eine weitere Probe vom Bach im Schmieraer Tal zeigte freilich verhältnismäßig gut gerundetes Material, enthielt jedoch soviel Staub und Beimengungen, daß ein Tönen ohne vorherige Reinigung ausgeschlossen war.

KÖHLER ermittelte von Sandproben verschiedenartiger Korngrößen das Volumen des lose eingeschütteten Materials, dann verdichtete er durch leichtes Anklopfen an die Glasfläche das Volumen bis zur Konstanz und las wieder ab. Jedesmal zeigten die reduzierten Volumina eine deutliche Zunahme mit Abnahme der Korngröße. Ferner ergab sich, und das ist für unsere Strandsande von Bedeutung, daß das Gemenge aller untersuchten Sandsorten (von 1,25 Korndurchmesser bis zur Staubform hinab), sowohl „im losen als auch im verdichteten Zustand, ein kleineres Volumen einnimmt, als jede einzelne

¹⁾ Vergl. KÖHLER a. a. O.; S. 20, 21.

Sorte, und dementsprechend das kleinste Hohlraumvolumen besitzen muß¹⁾. — Es ist hervorzuheben, daß die Ergebnisse KÖHLERS gut mit dem SPRINGS²⁾ übereinstimmen. Nach letzterem sinkt feiner Sand von 5—10 μ mittlerer Korngröße, der mit Salzsäure aus Hesbaye-Ton extrahiert und fein gebeutelt wurde, bei wiederholten Stößen um etwas über 16 % zusammen, nach ersterem beträgt die Abnahme des Volumens für Material vom Korndurchmesser 0,0—0,15 μ an 22,85 %. Für eine rechnerische Ermittlung der vorliegenden Bedingungen haben diese Versuche nur geringeren Wert, weil man hier nicht ohne weiteres festzustellen vermag, ob das dichtere Zusammentreten der Körnchen durch den Übergang der vorliegenden in eine dichtere Packungsart bedingt ist oder vielleicht durch ein Zusammenrücken der Körnchen, wobei deren umgebende Lufthüllen sich an den Berührungspunkten vielleicht gegenseitig abplatten.

Für das Tönen unseres Strandsandes sind diese Tatsachen dagegen von großer Bedeutung. Hat man sich an einer besonders interessanten Stelle längere Zeit aufgehalten, um hier Studien über das Tönen bzw. die Tonhöhe anzustellen, so durchwühlt man dabei den Strand derart, daß die natürliche Lagerung der Körnchen verloren geht, und damit schwindet gewöhnlich die Möglichkeit des Tönens für den Sand mehr und mehr. Das gleiche zeigt sich, wenn man Studien über das Tönen von Sand etwa in einer Porzellanschale anstellt. Ist das Material stumm geworden, so gelingt es in der Regel durch einige Stöße mit der Hand wieder eine bestimmte, dichtere Lagerung und ein bestimmtes Zusammenrücken der Körnchen anzubahnen: Damit ist dann aber wieder die Möglichkeit des Tönens gegeben. Daß eine ganz bestimmte Lagerung des Sandes an unserer Küste den musikalischen Effekt bedingt, geht auch aus dem Umstande hervor, daß das Tönen schwindet, sobald der Sand im Winde zu treiben beginnt.

Die Grenze für ein kapillares Aufsteigen des Wassers und damit für ein Zusammenrückenlassen der Sandkörnchen ist nach HÜBBE durch die Korngröße 2,2 mm gegeben, während bei ungleichem Material, in einem Gemische aus verschiedenen Korngrößen die kapillare Hebung mit mittlerer Geschwindigkeit erfolgt, im Vergleich zu denjenigen in den einzelnen Komponenten³⁾. Ferner muß hervorgehoben werden, daß „die verschiedenen physikalischen Eigenschaften der Mineralien sowohl gewisse Unterschiede in den Formen der Gemengteile eines Sandes und damit eine mehr oder weniger dichte gegenseitige Lagerung desselben bedingen, als auch ein verschiedenes Verhalten dieser Gemengteile dem Wasser gegenüber im Gefolge haben“⁴⁾.

1) KÖHLER: a. a. O., S. 44.

2) SPRING, W.: Quelques expériences sur l'imbibition du sable par les liquides et les gaz ainsi que sur son tassement. Bulletin de la société Belge de géologie usw. Mémoires, tome XVII, 2. série, année 1903. Bruxelles 1903—1904, S. 13—33; vergl. S. 16, 23.

3) KÖHLER: a. a. O., S. 55, 56, 57.

4) KÖHLER: a. a. O., S. 65.

Ein Versuch, die Körner in innigere Beziehung hinsichtlich ihrer Lagerung zueinander zu bringen, gelang SPRING unter Anwendung des luftleeren Raumes. Es handelt sich hierbei um die Entfernung der Gasmolekeln, welche von den oberflächlichen Körpermolekeln durch Adhäsion gebunden werden und ihrerseits die bereits erwähnte Hülle bilden, deren Dichte von innen nach außen abnimmt; bei dieser Adsorption ist freilich wieder eine Menge von Gesichtspunkten zu berücksichtigen, die durch verschiedene Kräfte und Eigenschaften von Körper und Gas bedingt sind¹⁾. — Bei SPRINGS Versuchen sank die Sandsäule von 240 mm um 48 mm, d. h. um 20 % zusammen. Der Sand war in der Luft also gleichsam suspendiert gewesen. Ließ man Luft hinzu und schüttelte, so nahm er sein altes Volumen annähernd wieder ein²⁾. Diese von SPRING gewonnenen Werte scheinen mir eine günstige Gelegenheit zu bieten, die Dicke der Lufthülle um jedes Sandkorn zu berechnen.

Denkt man sich kugelige Quarzkörnchen senkrecht aufeinander gepackt und bezeichnet ihre Anzahl mit y und die Dicke der umhüllenden Luft mit x , so ergeben sich folgende beiden Gleichungen:

$$\begin{aligned} y. (2r + 2x) &= a = 240 \\ y. 2r &= b = 192, \end{aligned}$$

wo r den Radius des Quarzkorns — hier gleich $3,75 \mu$ — a die Höhe der Sandsäule vor, b diese Höhe nach dem Evakuieren bedeutet. Hieraus ergibt sich die Dicke der Lufthülle

$$x = \frac{r. (a-b)}{b} \mu = 0,9375 \mu,$$

auf 1 mm^2 würden also $0,0011914 \text{ mm}^3$ Luft kommen. Nach CHAPPUIS³⁾ lösen sich freilich von 1 mm^2 nur $0,00035 \text{ mm}^3$ ab, freilich arbeitete er nur mit einem Temperaturintervall von 0° — 180° und mit Glasoberflächen. Die oben aufgeführten Gleichungen gelten auch für den Fall, daß die Körnchen in den Sandsäulen so gelagert waren, als wären ihre Zentren die Eckpunkte eines Tetraeders. In diesem Falle wären die Produkte auf den linken Seiten der Gleichungen mit $\frac{a}{3} \sqrt{6}$ zu multiplizieren, und diese Größe würde sich fort-heben, wenn man die Gleichungen löste. Die beiden erwähnten Packungsarten stellen die äußersten Grenzen für alle anderen möglichen dar; sie geben in dieser Hinsicht also den gleichen Wert, und damit auch alle anderen Lagerungsverhältnisse.

1) KAYSER, HEINRICH: Über die Verdichtung von Gasen an Oberflächen in ihrer Abhängigkeit von Druck und Temperatur. Zweiter Teil. IV.; POGGENDORFFS Annalen. N. F. Bd. 14; 1881, S. 450—468; vergl. S. 463, 464.

2) SPRING: a. a. O. S. 23.

3) CHAPPUIS, P.: Nachtrag zu der Abhandlung: Über Verdichtung der Gase auf Glasoberflächen. POGGENDORFFS Annalen. XIX. S. 671—675, vergl. S. 674.

Auch durch Erhitzen entfernte SPRING¹⁾ die Hüllen der Sandkörnchen, und zwar sackte der Sand nach einigen Stößen hier fast ebenso zusammen wie im luftleeren Raume; die Differenz betrug nur 3 mm. Freilich ging SPRING bei seinen Versuchen bis zur Rotglut hinauf. — Ferner stellte KÖHLER²⁾ bezüglich der Volumenabnahme beim Erhitzen des Sandes Versuche an. Bei dem Arbeiten mit dem Bunsen-Brenner erhielt er aber bei einem Korndurchmesser von 0,0 bis 0,15 mm nur 2,62% und bei Benutzung eines Ölbadess von 300° C nur 0,90% Abnahme.

Um zu ermitteln, ob bei dem Erhitzen des Sandes am Strande durch die Strahlen der Sonne ein dichteres Zusammenrücken der Sandteilchen stattfände, senkte ich eine Glasröhre mit fest gestoßenem Sand und ein Thermometer in ein hohes Becherglas mit Wasser und erhitze dieses. Beim Anwachsen der Temperatur von 17° bis 100° wurde zuerst eine Abnahme des Volumens wahrgenommen, die auf die zuerst eintretende Erweiterung des Glasgefäßes zurückgeführt werden muß. Später stieg es dann wieder bis zu seinem Ausgangsniveau. Erst bei 90° C begann ein schwaches Zusammensinken des Sandes, doch wurde nun der Versuch abgebrochen, da so hohe Temperaturen bei der Erwärmung des Strandsandes nicht in Frage kommen können.

Eine Sackung des Sandes, die eine Annäherung der einzelnen Individuen veranlaßt, kann also in verschiedener Weise hervorgerufen werden: durch Erschütterung, durch Befeuchtung, im luftleeren resp. luftverdünnten Raum, und durch Erhitzen. Hier soll vorzugsweise von der zweiten Möglichkeit der Verdichtung des Sandes die Rede sein, von der Sackung durch Wirkung der Feuchtigkeit.

Nach einer Reihe von Versuchen drängte sich der Gedanke auf, es sei vielleicht möglich, daß bei trockenem Material wie bei reichlicher Befeuchtung eine losere Art der Übereinanderschichtung der Körnchen vorliege, während bei nur verhältnismäßig geringer eine dichtere Art eintreten könnte. Dieses schien um so eher möglich, als nach SPRING³⁾ die Durchtränkung des Sandes genau in demselben Augenblick zum stehen kommt, wo die Kapillarkräfte der Zwischenräume das Maximum ihrer Leistung zum Ausdruck bringen. In dem Augenblicke, wo der Sand mehr Wasser aufnimmt, als die einzelnen Kapillarkräfte erfordern, beginnt er zu zerfließen.

Bei der losesten Packung liegen je 8 Körnchen so, daß ihre Mittelpunkte die Ecken eines gedachten Hexaeders zu bilden scheinen, bei der festesten liegen dagegen 4 Körnchen in der Weise zusammen, daß ihre Mittelpunkte die Eckpunkte eines Tetraeders ergeben. Bei der ersten Art steht jedes Kügelchen mit 6 anderen in Berührung, bei der zweiten dagegen mit 12. Hier wird jedes von 6 andern, die mit ihm in derselben Ebene liegen, berührt; dabei entstehen oberhalb und unterhalb je 6 Lücken, in deren je 3 ab-

¹⁾ SPRING: a. a. O., S. 23.

²⁾ KÖHLER: a. a. O., S. 46—48.

³⁾ SPRING: a. a. O., S. 19. 20.

wechselnden oben und unten noch je 3 berührende Kugeln hinzukommen. Die erstere Art der Packung will ich der Kürze wegen als hexaedrische, die andere als tetraedrische bezeichnen. Bei der ersten beträgt das Verhältnis der Hohlräume zum Gesamtvolumen 47,64 %, bei der zweiten nach EDM. VAN AUBEL und E. CUVELIER und anderen¹⁾ etwa 26 % (25,95 %).

Zur Anstellung der Versuche wurde trockener Sand in ein Schälchen gebracht und destilliertes Wasser hinzugetropt. Die Körnchen ballten sich zusammen, und die so entstehenden Kugeln wurden mittels der Pinzette in dem noch trockenen Material herumgewälzt. Diese Ballen wurden mit den anhaftenden Körnchen in ein abgewogenes Gläschen gebracht und dann gewogen. Darauf wurde unter zartem Aufstoßen mittels eines feinen Röhrchens ohne Berührung der Glaswand soviel Wasser zugeträufelt, bis der Sand gesackt war, sich annähernd horizontal eingestellt hatte und wie mit einer dünnen Firnisschicht überzogen zu sein schien. War aus Versehen zuviel Wasser hinzugekommen, so wurde es mittels einer feinen Kapillare abgehebert; in diesem Falle zeigte der durchtränkte Sand etwa dieselbe Konsistenz wie Honig und hatte beim Kippen des Glases die Neigung zu einem trägen Fließen. Nach dem Trocknen bei 100° im Luftbade hielten die Körnchen beim Kippen des Gefäßes noch so fest zusammen, daß sie erst durch kleine Stöße veranlaßt werden konnten auseinanderzurollen. Das verdunstende und sich vermindernde Wasser hatte die Körnchen fest zusammengesaugt; eine Erscheinung, die durch die Kontraktion bei der Oberflächenspannung der verdunsteten Flüssigkeit bedingt ist.

Die gewonnenen Werte wurden dann in Rechnung gezogen, und zwar die Menge des trockenen Sandes nach Ermittlung des spez. Gew. als Wasser, so daß die Volumina von durchfeuchtetem Material und von dem zugesetzten Wasser vorlagen und mit einander verglichen werden konnten. Da der Sand von Zoppot die gleichen Eigentümlichkeiten zeigt, wie der meiste von anderen Teilen unserer Küsten, so wurden in erster Linie mit ihm derartige Versuche angestellt. In zweiter Linie kamen hinzu Sandproben aus Ablage bei Ossecken-Wierschutzin, Kr. Lauenburg (Pomm.), und von Glettkau, in der Nähe des Ostseebades Zoppot, die entweder ein besonders feines oder grobes Korn besaßen.

¹⁾ JOHNSEN, A: Über dichteste Kugelpackung in Erbsen- und Rogensteinen und die Entstehung des „Dodekaedrischen Kalkes“. Zentralblatt für Mineralogie usw. 1909. Nr. 10; 1909, 302—311; vergl. S. 309.

Zoppot	1	2	3	4	5	6	7	8
Gläsern leer	5,241	6,464	7,548	3,741	5,240	6,465	7,548	3,744
Gläsern mit geklumptem Sande	8,902	10,657	12,895	8,625	10,168	10,892	12,289	10,641
Gläsern mit soviel Wasser, daß die Hohlräume des Sandes gerade ausgefüllt werden	8,538	10,227	12,326	8,107	9,571	10,324	11,767	9,864
Gläsern mit losem Sande	8,195	9,850	11,960	7,798	9,247	10,038	11,482	9,455
Sand bei loserer Packung	3,661	4,193	5,347	4,884	4,928	4,427	4,741	6,897
Sand bei festerer Packung	3,297	3,763	4,778	4,366	4,331	3,859	4,219	6,120
Loser Sand	2,954	3,386	4,412	4,057	4,007	3,573	3,934	5,711
Mehr an Wasser bei loserer Packung	0,707	0,807	0,935	0,827	0,921	0,854	0,807	1,186
Mehr an Wasser bei festerer Packung	0,343	0,377	0,366	0,309	0,324	0,286	0,285	0,409
Loser Sand, auf Wasser berechnet	1,119	1,283	1,672	1,537	1,518	1,354	1,491	2,164
Gesamtvolumen für losere Packung	1,826	2,090	2,607	2,364	2,439	2,208	2,298	3,350
Hohlräume bei loserer Packung	0,707	0,807	0,935	0,827	0,921	0,854	0,807	1,186
Anteil der Hohlräume am Gesamtvolumen in %	38,72	38,61	35,86	34,98	37,76	38,68	35,12	35,40
Gesamtvolumen für festere Packung	1,462	1,660	2,038	1,846	1,842	1,640	1,776	2,573
Hohlräume bei festerer Packung	0,343	0,377	0,366	0,309	0,324	0,286	0,285	0,409
Anteil der Hohlräume am Gesamtvolumen in %	23,46	22,71	17,96	16,74	17,59	17,44	16,05	15,90

Ablage bei Ossecken-Wierschutzn, Kr. Lauenburg (Pomm.)	1	2	3	4	5	6	7
Gläsern leer	5,2160	6,3449	5,9492	5,4025	6,8449	5,9461	5,4911
Gläsern mit geklumptem Sande	8,7134	10,7070	10,5533	9,7593	11,9270	10,2527	8,8276
Gläsern mit soviel Wasser, daß die Hohlräume gerade ausgefüllt werden	8,9490	10,9816	10,8472	10,0467	12,2337	10,4548	9,0037
Gläsern mit losem Sande	8,2311	10,1882	9,9308	9,1640	11,1948	9,6298	8,3343
Sand bei loserer Packung	3,4974	3,8621	4,6061	4,2668	5,0821	4,3076	3,3365
Sand bei festerer Packung	3,7330	4,1367	4,8980	4,5542	5,3888	4,5087	3,5126
Looser Sand	3,0151	3,3433	3,9816	3,6715	4,3499	3,6837	2,8432
Mehr an Wasser bei loserer Packung	0,4823	0,5188	0,6245	0,5953	0,7322	0,6239	0,4933
Mehr an Wasser bei festerer Packung	0,7179	0,7934	0,9164	0,8827	1,0389	0,8250	0,6694
Looser Sand, auf Wasser berechnet	1,1400	1,2641	1,5054	1,3881	1,6446	1,3928	1,0750
Gesamtvolumen für losere Packung	1,6223	1,7829	2,1299	1,9834	2,3768	2,0167	1,5683
Hohlräume bei loserer Packung	0,4823	0,5188	0,6245	0,5953	0,7322	0,6239	0,4933
Anteil der Hohlräume am Gesamtvolumen in % . . .	29,73	29,10	29,32	30,01	30,81	30,94	31,45
Gesamtvolumen für festere Packung	1,8579	2,0575	2,4218	2,2708	2,6835	2,2178	1,7444
Hohlräume bei festerer Packung	0,7179	0,7934	0,9164	0,8827	1,0389	0,8250	0,6694
Anteil der Hohlräume am Gesamtvolumen in % . . .	38,64	38,56	37,84	38,87	38,71	37,20	38,37

Glettkau	1	2	3	4
Gläschen leer	5,2143	6,8449	5,9481	5,4912
Gläschen mit geklumptem Sande	9,0730	11,5005	10,3071	10,6300
Gläschen mit soviel Wasser, daß die Hohlräume gerade aus- gefüllt werden	8,8271	11,2703	9,9346	10,3101
Gläschen mit losem Sande . .	8,4153	10,6940	9,5428	9,8019
Sand bei loserer Packung . .	3,8587	4,6556	4,3590	5,1388
Sand bei festerer Packung . .	3,6129	4,4254	3,9865	4,8189
Loser Sand	3,2010	3,8491	3,5947	4,3107
Mehr an Wasser bei loserer Packung	0,6577	0,8065	0,7643	0,8281
Mehr an Wasser bei festerer Packung	0,4118	0,5763	0,3918	0,5082
Loser Sand, auf Wasser be- rechnet	1,2142	1,4600	1,3635	1,6351
Gesamtvol. für losere Packung	1,8719	2,2665	2,1278	2,4632
Hohlräume bei loserer Packung	0,6577	0,8065	0,7643	0,8281
Anteil der Hohlräume am Ge- samtvol. in %	35,14	35,58	35,92	33,62
Gesamtvol. für festere Packung	1,6260	2,0363	1,7553	2,1433
Hohlräume bei festerer Packung	0,4118	0,5763	0,3918	0,5082
Anteil der Hohlräume am Ge- samtvol. in %	25,33	28,30	22,31	23,71

Werden die berechneten Proben nebst den Ergebnissen, nach der Korngröße geordnet, zusammengestellt, so erhält man folgende Werte für das hinzugekommene Wasser in %, wenn man für den Sand von Glettkau Nr. 4 der losesten und Nr. 2 der dichtesten Packung als zu stark abweichend vernachlässigt:

	Glettkau	Zoppot	Ablage
adius des Kornes in μ	313	240	108
Hohlräume bei loserer Packung in % .	35,55	31,11	30,19
Hohlräume bei dichterer Packung in %	24,91	16,95	38,31

Diese Zusammenstellung ergibt im Vergleich mit den beiden bereits angeführten Werten — für die hexaedrische (47,64) und die tetraedrische (25,95) Packung — daß wir es hier mit keiner von beiden zu tun haben. Der ersteren kommt — wie wohl zu erwarten war — keiner der drei gefundenen Werte nahe, während sie mit der Korngröße abnehmen. Dem für die tetraedrische Packung zugrunde gelegten Werte nähern sich die ermittelten teilweise recht sehr — wie z. B. der für den Sand von Glettkau — teils gehen sie sogar darüber hinaus. Es bleibt immer zu bedenken, daß die Kugelform der Sandsorten eine recht primitive ist, während andererseits immerhin nicht verkannt werden kann, daß die nach dieser Methode mit aller Sorgfalt ermittelten Werte für den Sand von Ablage verhältnismäßig gut übereinstimmende Resultate geben. Es erinnert diese Tatsache an eine Mitteilung SPRINGS¹⁾, nach der Sand unter Umständen viel mehr Wasser festzuhalten vermag, als den Zwischenräumen zwischen den Körnern der Rechnung nach entspricht. Diese Wassermenge kann über das Doppelte des berechneten Wertes hinausgehen, so daß man annehmen müßte, die Körnchen berührten sich nicht mehr. Eigenartig ist in diesem Falle, wie bereits hervorgehoben, die Übereinstimmung der erhaltenen Werte jeder Probe und die immerhin große, auftretende Festigkeit des geklumpten Sandes, die es gestattet, die Sandklümpchen mit der Pinzette zu fassen. — Jedenfalls belegen die ermittelten Werte, daß wir es nicht mit kugelförmigem Material zu tun haben, und daß für den Sand an unseren Küsten andere Bedingungen für das Zustandekommen des Klingens vorliegen müssen, als sie CARUS-WILSON und BOLTON mit JULIEN aufstellten.

Alle Versuche, die Dicke der Lufthülle in die Rechnung einzuführen und so die Mehraufnahme an Wasser für die dichteste Packung des Sandes von Ablage zu erklären, waren ohne Ergebnis. Ebenso wenig erfolgreich war das Bestreben, durch volumetrische Messungen mehr Klarheit in diese Frage zu bringen. Hierzu wurden Proben der betreffenden Sande in graduierte Röhren gebracht, durch Stöße auf ein konstantes Niveau eingestellt und dann gewogen. Die aufgestellten Werte stellen das Mittel aus je 3 gut zusammenpassenden, ermittelten dar. Der besseren Übersicht halber sind die spezifischen Gewichte und die abgerundeten Werte für die Korngröße dazugesetzt.

	Glettkau	Zoppot	Ablage
Volumen-Gewicht (Gewicht von 1 cm ³)	1,801	1,759	1,710
Radius des Kornes in μ	313	240	108
Spezifisches Gewicht	2,6364	2,6390	2,6449

¹⁾ SPRING: a. a. O., S. 13.

Diese Gesetzmäßigkeit zwischen der ersten und zweiten Wertreihe fand ich nachträglich bei KÖHLER¹⁾ in Form des Gesetzes niedergelegt, „daß im luft-trockenen Zustand der feinere Boden ein größeres Hohlraumvolumen besitzt als der gröbere“.

Bereits von N. GIRSCHNER ist stillschweigend eine Teilung der Sande nach der Eigenart des geologischen Befundes und des Phänomens vorgenommen. Erinnert man sich daran, daß die Eigenart des Tönens und der Entstehungsweise für das Vorkommen in Arabia Petraea, Afghanistan und Nubien, sowie für den von CARUS-WILSON beschriebenen Sand übereinstimmt und diese nebst anderen weniger interessierenden Funden am besten zu einer Gruppe vereinigt werden, so erscheint es andererseits vorteilhaft, gerade diese Gruppe und die andere, zu welcher unser Strandsand gehört, bezüglich ihrer Unterschiede und ihrer Übereinstimmung zu vergleichen.

Unterschiede. Bei den Sanden der Studlandbai reiben sich nach CARUS-WILSON Millionen von Sandkörnern. Während man die Schwingungen von nur zweien nicht hören würde, läßt das Zusammenwirken dieser vielen Schwingungen, die von Millionen kleiner Sandkörnern stammen und annähernd gleiche Länge haben, einen Ton von genügender Stärke hervorgehen²⁾. Werden diese Sande in eine Tasche gefüllt und gestoßen oder mit der Hand durchgerührt, so geben sie bei völliger Trockenheit einen schrillen Ton, ebenso, wenn eine Menge davon von oben her auf eine ungestörte Oberfläche herabfällt, beim Aufschlagen. Bei allen diesen Versuchen sind die Körner lose und hängen nicht zusammen. Der Sand tönte noch mehr, wenn man ihn rieb, z. B. eine Tasche aus Segeltuch mit ihm füllte und diese über den Sand dahinzog: dann erklangen die lautesten Töne. — Es mag hier nochmals hervorgehoben werden, daß bei den Sanden der Studlandbai die feineren Körner hohe und die gröberen Körner tiefere Töne ergaben und daß manche Körner einen Ton von derartiger Tiefe erklingen ließen, daß der Experimentator an der äußersten Grenze der Wahrnehmbarkeit zu sein glaubte.

Übereinstimmungen. — Die Körner des tönenden Sandes müssen nach Möglichkeit trocken, rund, sauber, poliert und gleich groß, sowie frei von einem beigemengten Material sein. Weil diese Bedingungen nicht überall erfüllt werden, ist auch nicht jede Sandanhäufung musikalisch. — Außer den eben aufgeführten Bedingungen für die Beschaffenheit gut tönenden Sandes verlangt CARUS-WILSON³⁾ ferner noch, daß die Körner genügenden Spielraum haben, um gegeneinander gleiten und schleifen zu können. — Werden die tönenden Sande der Studlandbai mit dem Fuße gestoßen, so geben sie, wie zeitweilig auch die unseres Strandes, einen schrillen Ton. Auch am Gestade

¹⁾ KÖHLER: a. a. O., S. 40.

²⁾ Musical Sands at Studland Bay. a. a. O., S. 357. — CARUS-WILSON, CECIL: The Production of musical Notes from non-musical Sands. Nature Nr. 1136 a. a. O., S. 322. — CARUS-WILSON, CECIL: Musical Sands. Nature Nr. 1995, vol. 77, 1908, S. 271, 272.

³⁾ CARUS-WILSON: The Production of musical Notes usw., Nature, a. a. O., S. 322.

der Studlandbai lagerte trockener Sand oberhalb der Wassermarke — in einem Falle von 10 cm Dicke — auf einem feuchten Sandlager, wie das am Ostseestrande für das Zustandekommen von Tönen fast die Regel ist. Je schneller ein schwerer Gegenstand über den Sand gezogen wird, desto lauter und schriller werden die Töne, „jedenfalls wegen der verstärkten Geschwindigkeit der ausgesandten Schwingungen“. — Aus dieser Angabe ist leider nicht zu erkennen, ob CARUS-WILSON mit dem Lauter- und Schrillerwerden das Auftreten und Vorherrschen von Obertönen meint. Bei den entsprechenden Erscheinungen in unserem Gebiete ändert sich die Tonhöhe allein im Einklang mit der Geschwindigkeit des den Ton erregenden Körpers, sie ist hier nicht an die Korngröße des Sandes gebunden. —

An einem Tage, als das Tönen des Sandes an der Studlandbai besonders stark war, wurde eine dicke Tannenstange, an deren Ende ein Resonator angebracht war, über den Sand hingeschleift. Die hierbei entstehenden Töne ließen sich deutlich weithin vernehmen. Der tönende Sand hatte in seinem Verlauf zur Küste etwa 7 m Breite und ein paar hundert m Länge¹⁾. Bei uns liegen ähnliche Verhältnisse vor und gelegentlich kann man auch an der Ostseeküste durch den nachschleppenden Spazierstock oder Schirm einen auf weite Strecken hin vernehmbaren, eigenartigen, hohen Ton hervorrufen. —

Die Hauptmasse des Sandes besteht an der Studlandbucht aus runden, polierten und nur selten kantigen Quarzkörnern, darunter findet man auch solche aus Feuerstein, Milchquarz, Muschelresten und Eisenerz. — Die Zusammensetzung entspricht also der des Sandes an unserer Ostseeküste, wenn wir Feuerstein durch Granat ersetzen, und von größeren Beimengungen von Muschelresten für die Strandpartien, wo der Sand tönt und die meist etwas hinter resp. auf der Vordüne beginnen, absieht. —

Dem Sande von der Studlandbucht und dem unserer Küste ist der Umstand gemeinsam, daß Seewind infolge seiner Feuchtigkeit jede musikalische Bestrebung unterdrückt. — Für den Sand am Hafen Poole vom Studlandbucht-Typus kommt nach neueren Untersuchungen CARUS-WILSONS andererseits freilich noch der Umstand hinzu, daß vorherrschend westliche Winde die feineren Sandteilchen herausblasen und der See zutreiben. Die mikroskopische Untersuchung ergab die Richtigkeit dieser Annahme. Der Landwind befördert das Tönen hier also in zweifacher Weise²⁾.

Zur Erzeugung eines Tones genügt an unseren Küsten bereits ein sehr dünnes Lager der trocknen Sandkörner, doch nur, wenn man den Fuß darüber hinwegzieht, aber nicht, wenn man von oben her herabschlägt oder herabstößt. —

Gelegentlich eines Besuches der Studlandbucht, als der Sand besonders kräftig tönte, füllte CARUS-WILSON³⁾ Proben des feineren Sandes von der See-

¹⁾ CARUS-WILSON: The Production of musical Notes usw. Ebenda, S. 322.

²⁾ CARUS-WILSON, CECIL: Musical Sands, Nature Nr. 2072, Vol. 81. 1909; S. 69.

³⁾ CARUS-WILSON: The Production of musical Notes usw. Ebenda, S. 322.

seite und solche des gröberen Materials von der Landeite in Behälter, um sie zu Hause zu untersuchen. Hier ergab sich, daß der gröbere scharf bestimmte höhere Töne erschallen ließ, während der feinere stumm blieb. — Es entspricht diese für den feineren Sand angeführte Tatsache den an der Ostsee gemachten Erfahrungen durchaus; eine nähere Erörterung dieses Umstandes soll an späterer Stelle erfolgen. —

Wird der Sand der Studlandbucht zu Hause untersucht, so gibt er wieder einen Ton, wenn man ihn in einem glasierten Porzellengefäß mit einem harten Gegenstandes schlägt und stößt. Die Wandungen vermehren hier — nach CARUS-WILSON — die Stärke der Schwingungen durch Vergrößerung der Berührungsoberfläche. Ähnliche Versuche habe ich mit unserem Seesande angestellt und gelegentlich auch entsprechende Erfolge erzielt. — Als eine der wichtigsten Bedingung für das Tönen des Sandes ist nach CARUS-WILSON eine möglichst vollkommene Rundung des Kornes anzusehen. Ein Blick auf die Tabelle mit den Maßen für die Korngrößen zeigt, daß die mittlere Differenz zwischen Länge und Breite für die Sandproben vom Kolberger Strande — dazu vom Kolberger Deep und von Sorebohm — Heubude (Probe I) und Zoppot eine verhältnismäßig geringe ist. Von solchen kugelförmigen Quarzkörnchen spricht auch HUGH MILLER bei Besprechung des tönenden Sandes der Insel Eigg und N. GIRSCHNER bei Beschreibung des Kolberger Vorkommens. Wie CARUS-WILSON¹⁾ experimental bestätigte, wird die Zahl der Schwingungen bei Tönen feinen Sandes dadurch verstärkt, daß man die Anzahl der Körnchen mit geglätteten Oberflächen vermehrt. So vermag man auch am Experimentiertische den Ton zu verstärken, bis er hörbar wird. Das kann jedoch nur dadurch erreicht werden, daß man für einen genügenden Prozentsatz von solchen Körnchen sorgt, welche die geforderten Bedingungen erfüllen.

Irrtümlicher Weise scheint stellenweise die Ansicht zu herrschen, daß das Tönen des Sandes durch das Vorhandensein scharfer Ecken bedingt sei, die an den Flächen der benachbarten Körnchen schrammten und dadurch die hohen Töne veranlaßten. So nahm auch L. MEYN zuerst an, daß der ihn interessierende, jurassische Kaolinsand von Bornholm eine „größere Scharfkantigkeit“ haben müsse als andere nicht tönende Vorkommnisse; er war deshalb erstaunt, als er bei näherer Betrachtung mit der Lupe erkannte, daß gerade das Gegenteil der Fall war. Auch WARD²⁾ erklärt das Tönen des musikalischen Glockenberges auf der Halbinsel Sinai durch das gegenseitige Aneinanderreiben von Quarzsand „pur et cristallin, comme les angles primitifs de chaque grain sont vifs et parfaits,“ ebenso beschreibt SKINNER die tönenden Sande von zwei Seebuchten Neuenglands als hauptsächlich aus kantigen, klaren Quarzstücken zusammengesetzt. CARUS-WILSON³⁾ ist der Meinung, daß es sich in diesem Falle um eine ungenaue Ausdrucksweise des Berichterstatters und um

1) CARUS-WILSON: The Production of musical Notes usw., Nature a. a. O., S. 323.

2) WARD: Sur le Gebel Nakous usw. S. 391.

3) CARUS-WILSON, CECIL: Musical Sands. Nature Nr. 1993, vol. 77, 1908. S. 222.

Individuen handele, deren ursprünglich scharfe Kanten nachträglich in der Brandung abgerundet seien. Auch der Sand der Studlandbucht enthält kantige Quarzkörner, aber sehr selten. Die beigemengten, scharfkantigen Bestandteile machen den Ton dumpf und lassen ihn bei häufiger Bewegung der Körnchen gegeneinander schließlich versagen. Wieweit eine Modifikation der letzten Angaben möglich oder wieweit die Entstehung des Tones in diesem Falle eine Abänderung erfahren kann, ist nach bloßem Studium von Berichten unmöglich.

Aus den Versuchen NESSIGS¹⁾ mit Sandproben aus Oder, Rhein, Donau, Saale, Elster u. a. ging hervor, daß Flußsande von einer Korngröße, die 1 mm und weniger beträgt, zahlreiche splitterige, namentlich Quarzbestandteile enthalten. Das hat nach HÜBBE¹⁾ seinen Grund darin, daß die schwereren Körner auf den Boden des Stromes gerollt, die kleineren und leichteren aber schwebend davon getragen werden und deshalb ihre Ecken behalten. Werden, wie in der Brandung am Meeresstrande, auch die feinkörnigen Bestandteile einer mehr rollenden Bewegung ausgesetzt, so erhalten sie wie die anderen Politur. Damit paßt die Angabe von G. BERENDT gut überein, daß er „in sonstigem Sande, in Sandgruben oder auf sandigster Haide“ tönenden Sand nie angetroffen habe²⁾.

Es wurde oben bereits erwähnt, daß der Seewind mit seiner Feuchtigkeit das Zustandekommen von Tönen nicht gestattet. Ebenso wenig ist jede andere Feuchtigkeit geeignet, diese akustische Erscheinung auftreten zu lassen. Fallender Regen läßt sie sofort aussetzen, doch veranlassen Sonnenschein und Wind alsbald wieder ihr Auftreten. N. GIRSCHNER ist der Meinung, daß die Durchfeuchtung des Sandes durch die brandende See und darauf trocknende Wirkung der Sonne die wesentlichen Bedingungen für das Zustandekommen des Tönens seien, das dann mehrere Tage anhalte, um sich später wieder zu verlieren. Dagegen soll es vergebens sein, einen Ton hervorzubringen, wenn der Strandsand von stärkerem Regen durchfeuchtet und dann von der Sonne getrocknet worden sei. Da er der Meinung ist, daß das Seewasser den Strand mit einem feinen Überzug von Seesalz bekleidet, so sieht er diese Auffassung durch Tatsachen belegt. Dem entgegen ist zu erwidern, daß auch eine bloße, kräftige Durchfeuchtung des Sandes und späteres Abtrocknen bereits zur Entstehung der Töne genügt. So wirkungsvoll wie die brandende See wirkt Regen freilich nicht; wird doch durch reichliche Wassermassen des Meeres der Strandsand völlig zum Sacken gebracht, so daß seine Körnchen eine ganz bestimmte, dichtere Anordnung erfahren. Durch diese Einebnung werden später die vorteilhaftesten Bedingungen für die Erregung des Tönens gegeben, so daß beim Begehen des Strandes der Fuß die oberste Körnchenschicht besonders bei mehr oder weniger schleppendem Gange tangential berühren kann. Der Regen befeuchtet die Körner nur oberflächlich, vermag den zertretenen Strand nicht einzuebenen, so daß der Fuß des Strandwanderers viel weniger Gelegenheit

¹⁾ Vergl. KÖHLER: S. 18—20.

²⁾ BERENDT: a. a. O., S. 865.

als im anderen Falle hat, diese kürzlich feucht gewesene, unregelmäßige Oberfläche zu berühren. Außerdem geben die reichlichen Wassermassen der See noch Gelegenheit zur Bildung einer feuchten, festen Bank des Untergrundes, was ebenfalls von hoher Bedeutung ist. niederfallender Regen läßt nach den Untersuchungen von G. VAN DER MENSBRUGGHE⁵⁾ die Teilchen eines so feinen Sandes, wie er zum Hervorbringen von Tönen notwendig ist, sich fest aneinander schließen, so daß den später niederfallenden Tropfen der Weg in die Tiefe versperrt wird und von der Bildung eines festen, feuchten Lagers in der Tiefe nicht die Rede sein kann.

Hinzukommt, daß Regen die Entfernung von Staubteilchen nur einseitig besorgt. Die Wassertropfen gleiten mit den Verunreinigungen bis zum tiefsten Punkte jedes Kornes, um sich endlich loszulösen und auf die nächst tieferen Sandteilchen niederzusinken, bis ein weiteres Einsinken in den Grund unmöglich wird. Die Staubteilchen bleiben also in dem Bereiche der Oberfläche. Hinzu kommt, daß sie bei ihrer teilweise colloidalen Natur das Bestreben haben, an den feuchten Oberflächen immer wieder emporzukriechen. Das Seewasser arbeitet dagegen, wie soeben beschrieben wurde, in ganz anderer Weise; außerdem schlägt es die Teilchen nieder und wäscht sie dann aus dem Sande tüchtig heraus. Daß auch Körnchen von minderwertiger Rundung aber großer Sauberkeit Töne hervorgehen lassen, bewiesen die bereits erwähnten Sande von Neuengland, welche bei jeder Flut von etwaigen abgeschabten Teilchen befreit werden.

Inwiefern Feuchtigkeit das Zustandekommen von Tönen bei Sanden im allgemeinen bedingt, geht aus dem Folgenden hervor. Reisende, die den Glockenberg am frühen Morgen besuchten, und Strandwanderer, die zu derselben Zeit ihre Beobachtungen anstellten, konnten keinen Ton wahrnehmen; der Nachttau durchfeuchtete noch die obere Schicht des Sandes und machte ihre Körnchen dadurch schwer beweglich. Wenn dann aber die Sonne längere Zeit gewirkt hatte, so stellte sich das Tönen allmählich ein; das fand in den meisten Fällen freilich erst gegen Mittag oder am Nachmittage statt. In beiden Fällen wurde das Auftreten der Töne durch die Mitwirkung eines schwachen Windes gefördert. Ob ein solcher nur die letzte Spur der Feuchtigkeit entfernt oder durch seinen Druck die Körnchen einander stark nähert und die Luftmengen zwischen ihnen erheblich verdichtet, ist schwer zu entscheiden. Bei stärker und länger wehendem Winde wird freilich die Sandfläche

⁵⁾ MENSBRUGGHE G., VAN DER: Remarques sur la constitution de la couche superficielle des corps solides. Bulletins de l'académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique. Bruxelles 1894. S. 877—884. — MENSBRUGGHE, G. VAN DER: Remarques sur quelques phénomènes d'imbibition. Ebenda. 1901, S. 372—377. — DAHMS, PAUL: Beobachtungen und Betrachtungen an Danzigs Ostseeküste. Natur und Schule. 1903. Bd. 2, Heft 7, S. 422—426 und Heft 8, S. 485—491; vergl. S. 425, 426. — DAHMS: Beobachtungen und Betrachtungen an Danzigs Ostseeküste. Schrift. d. Naturf. Ges. in Danzig. N. F. Bd. 11, Heft 1 und 2. 1904, S. LVII—LIX.

in Bewegung gesetzt und inbezug auf das Zusammenrücken der Sandkörnchen, beziehungsweise die Verdichtung der sie trennenden Lufthäutchen das Entgegengesetzte erreicht werden wie vordem.

Falls die See mit ihrem Salzgehalte allein das Phänomen des tönenden Sandes hervorbrächte, müßte es ein andauernder feiner Regen, wie er bei uns gelegentlich wohl auch mehrere Tage lang anhält, vernichten. Bei meinen Gängen am Ufer habe ich aber nicht bemerkt, daß der Regen für die Dauer irgend wie störend auf die Fähigkeit des Sandes zu tönen gewirkt hätte. Das läßt sich besonders gut an einem feinkörnigen Gestade wahrnehmen, wenn abwechselnd Sonnenschein und Regen tätig sind. Sobald der Strand oberflächlich abgetrocknet ist, zeigt er sich auch wieder bereit zu tönen. Besonders vor etwa 1 $\frac{3}{4}$ Jahren, als ich dauernd den Strand in der Umgegend von Kolberg abstrich, habe ich diese Tatsache öfters nachweisen können. — Es sei mir gestattet, aus der letzten Zeit hier einige Wahrnehmungen anzuführen. Am Nachmittage des 7. Juli 1909 regnete es unter starkem Gewitter kräftig; ein Platzregen folgte auf den anderen bis zum Morgen des nächsten Tages. In der Mittagszeit des 8. Juli besuchte ich den Zoppoter Strand, der nun von der Sonne beschienen war, während ihn ein frischer Westwind, d. h. ein Landwind, abtrocknete. Obgleich der Sand noch überall feucht war, zeigte er sich an den höher liegenden Ufern des kleinen Gewässers, das zwischen dem Ende der Südstraße und der Gasanstalt Zoppots der Ostsee zueilt, bereits trocken. Wenn er hier auch von den vielen Besuchern des Gestades ständig zertreten wird und ein Tönen an dieser Stelle aus diesem Grunde bisher noch nicht wahrgenommen werden konnte, erwies er sich an diesem Tage nach der Durchtränkung durch den Regen als musikalisch.

Der Ton bildet sich, wie auch G. BERENDT¹⁾ angibt, sobald der Seewind nachläßt, die See zurücktritt und Sonnenschein und Wind den frisch entblößten Strand schnell trocknen. Es hat sich dann oberflächlich etwas wie eine feine Kruste gebildet, und das war wohl die Veranlassung zur Entstehung der Hypothese, daß bei dem Tönen eine dünne, durch Salze zusammengekittete Decke aus kleinen Körnchen das Wesentliche sei. Tatsächlich erscheint der Sand „wie leise gekittet . . . ähnlich wie solches bei jedem völlig naß aus einem Brunnen, Bohrloch oder dergleichen kommenden, demnächst mehr oder weniger schnell trocknenden Sande, trotz gänzlicher Reinheit von allen tonigen Bestandteilen, der Fall zu sein pflegt“.

Auch beim Verdunsten von Wasser bei einer Reihe von Versuchen mit Seesand zeigten sich ähnliche Verhältnisse. Wird Sand in Gefäßen von etwa 3 und auch mehr Zentimeter Weite mit Wasser befeuchtet und dann langsam erwärmt, so läßt sich zeigen, daß der schließlich vollkommen trockene Sand beim Umwenden des Gefäßes nicht hervorrollt sondern in sich verkittet zu sein scheint. Erst durch Störung dieser dichten Packung durch Aufstoßen

¹⁾ BERENDT, G.: Über „klingenden Sand“, a. a. O., S. 865.

oder Hineinstoßen mit einem Stift werden die bestehenden Verhältnisse gestört, so daß der Sand herausrinnt. Auch bei dem Sande am Gestade der Ostsee bildet sich durch dichteres Zusammentreten der Körnchen, besonders an der Oberfläche, der Oberflächenspannung von Flüssigkeiten entsprechend, eine derbere Struktur und darüber ein festes Sandhäutchen. Wie die niedergelegten quantitativen Versuche ergeben, findet bei mäßiger Durchtränkung des Sandes eine erhebliche Zusammenziehung statt, durch welche die einzelnen Körner zusammengehalten werden. Hat das Wasserhäutchen genügende Festigkeit, um leichtere Körper — wie Nähnadeln und Wasserschnecken¹⁾ — zu tragen, so gilt das ebenso von dem Sandhäutchen, das bei geringerem Wassergehalte des Bodens durch die Wirkung der Kapillarkräfte erzeugt wurde. Dieses Sandhäutchen hat seine größte Festigkeit, wenn es eben entstanden ist; wenn später die unter ihm liegenden Körner trocknen und sich auszuweiten streben, erfährt es einen Druck, dem seine Festigkeit endlich zum Opfer fällt. Bei anhaltender Bestrahlung durch die Sonne rücken die Sandkörnchen wieder auseinander; es tritt eine Lockerung des Strandsandes ein. — Läßt man durchfeuchteten Sand in einem Schälchen durch Erwärmen nicht zu langsam abtrocknen, so geht das Auseinanderrücken der Körnchen am Ende des Versuches recht lebhaft vor sich. Wie eine dicht über den Sand gelegte und berußte Glasscheibe zeigt, werden sie bei dem Übergang des bereits trockenen Sandes aus der dichteren in die lockere Packung zum Teil von ihren Nachbarn in die Höhe geschleudert. Das Sandhäutchen gibt auch die Veranlassung zum Tönen des Sandes; der Fuß des Wanderers zerstört gleichsam einen festen Körper, und das entstehende Geräusch erinnert an das Frou-Frou der Seide oder an das sog. Zinngeschrei.

Um nachzuweisen, daß ein Befeuchten mit völlig reinem Wasser und ein nachträgliches Trocknen bereits zum Hervorrufen des Tönens genügt, wurde folgender Versuch angestellt. In einer Porzellanschale wurden etwa 300 g Seesand, der vorher wiederholt ausgekocht war, bis in dem Dekokt chemisch kein Chlornatrium mehr nachgewiesen werden konnte, und auch keine anderen fremden Bestandteile mehr beigemischt waren, mit destilliertem Wasser befeuchtet und mit Chlorkalzium unter einer luftdicht abschließenden Glocke an einem unbeleuchteten Orte aufgestellt. Nach etwa 4 Wochen wurde der Sand hervorgeholt und untersucht; er gab ein deutliches Tönen. — Damit scheint mir ebenfalls die geringe Menge Seesalz, die in jedem Sande am Gestade anzutreffen ist, bei diesem akustischen Phänomen keine oder nur eine äußerst untergeordnete Rolle zu spielen. —

Daß die obersten Teilchen des trocknen, oben liegenden Sandes einen festeren Zusammenhang zeigen, konnte ich verschiedene Male am Kolberger und gelegentlich auch am Strande der Umgebung Danzigs wahrnehmen. Für

¹⁾ BROCKMEIER, H.: Wie kriechen unsere Wasserschnecken an der Wasseroberfläche? Naturw. Wochenschrift. N. F. Bd. 8, Nr. 21, 1909, S. 321—323.

gewöhnlich gehen die oberen, trockenen und fester zusammenhängenden Körner langsam oder rasch in die tiefer liegenden, ebenfalls trockenen aber lose zusammenhängenden über, unter denen dann der von unten her durchtränkte Untergrund liegt. Bei einigen Abgrabungen, die mir von Interesse erschienen, da ich die Tiefe des feuchten Sandes unter der Oberfläche ermitteln wollte, traf ich auf zwei eigenartige Erscheinungen. Jede Entfernung von Sand veranlaßte ein Herberieseln der benachbarten Körnchen; aber diese kamen nicht von überall gleichzeitig herbei. Die obersten, dicht miteinander zusammenhängenden behielten in Form einer dünnen Platte ihre Lage vorläufig bei. Es gelang, diese verhältnismäßig feste Schicht weithin zu unterhöhlen, indem man den losen Sand einfach entfernte und die anderen, dicht unter der obersten Partie gelagerten Körnchen von selbst herbeirollen ließ. Die Platte hatte eine

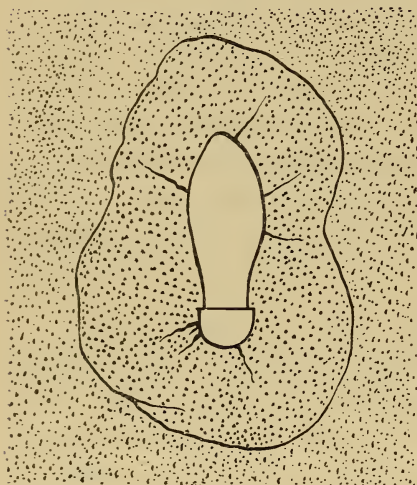


Fig. 2. Die oberste Sandschicht bildet ein einheitliches Ganze. Ein Fußtritt preßt eine Scholle daraus hervor.

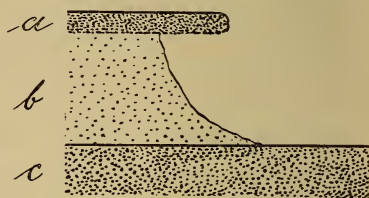


Fig. 1. Sand von verschiedenem Feuchtigkeitsgehalte.

Dicke von etwa $\frac{1}{2}$ bis $1\frac{1}{2}$ cm und stürzte erst herab, wenn ihr Gewicht den Zusammenhang zwischen den Körnchen überwog; selbstverständlich spielt hier die Korngröße und die Dicke der Schicht eine entscheidende Rolle. Die nebenstehende Fig. 1 illustriert diese Erscheinung; a stellt die festere, b die losere Sandschicht dar, nachdem ein senkrechter Spatenstich gemacht wurde, c den feuchten Untergrund. Tritt man auf solche dünnen Plattenpartien, so bricht der Fuß durch sie hindurch und preßt den lockeren Sand unter ihnen zusammen, der dann seinerseits auszuweichen strebt und, von unten her drückend, eine mehr oder minder rundliche Scheibe herausbricht und emporhebt; Fig. 2 stellt diese Verhältnisse dar und zwar von oben und im Querschnitt. Dieselben Erscheinungen habe ich vom Danziger Strande bereits früher beschrieben¹⁾.

Auch bei den tönenden Sanden der ersten Gruppe, wie sie besonders von CARUS-

WILSON behandelt sind, zeigt sich eine flächen- oder schichtenartige Bewegung des Materials auf dem Gehänge abwärts, wenn der nötige Anstoß dazu gegeben wird. Derartige Erscheinungen beschrieben WELLSTED und SEETZEN vom Gebel Nakus und LORTET vom Sande von Abu-Simbel; sie haben freilich

¹⁾ A. a. O.: Natur und Schule, S. 488.

mit den verwandt erscheinenden, ähnlichen Bildungen am Ostseestrande nichts zu tun.

Wo Kräuselmarken (ripplemarks) sich an unserer Küste etwa in 6 cm Entfernung voneinander, gut ausgebildet, hinziehen, ist für gewöhnlich ein passender Ort, um den Sand ertönen zu lassen. Dabei scheint die Gesetzmäßigkeit zu herrschen, daß die Töne um so lauter sind, je näher die Marken zusammenliegen. Das ist jedoch nicht immer der Fall. So beobachtete ich am 29. März 1908 bei einer Strandwanderung von Plehnendorf nach Weichselmünde ein recht lautes Tönen. Bereits dort, wo auf dem Rücken der Vordüne an kaum trockenen Stellen durch ihre hellere Färbung auffallende, völlige trockene Körnchen vom Landwinde geweht waren, machten sich schwache akustische Erscheinungen bemerkbar. Auf dem Plateau zwischen Vordüne und der ersten großen Düne ließen sich beim Wandern schrille Töne wahrnehmen — deren Höhe beim Abklingen entschieden höher wurden. Hier zeigten sich Kräuselmarken in 6—6,5 cm Entfernung voneinander. Diese verschwanden nach den eigentlichen Dünen hin; der sich hier vollständig plan- und gleichmäßig erstreckende Sand zeigte dasselbe Tönen, ebenso der an den Dünengehängen. Überall war hier freilich ein feuchter Untergrund nachzuweisen.

Auch an einem anderen Tage fiel das Fehlen der Kräuselmarken auf, dabei hatte der Strand ein Aussehen, als wenn es ganz unmöglich wäre, ihn zum Tönen zu bringen. Die diesbezügliche Beobachtung wurde am 15. August 1908 gelegentlich eines Spazierganges am Strande von Brösen über Glettkau nach Zoppot gemacht. Vom Wasser bis zu den eigentlichen Dünen hin war das ganze Gelände von Menschen- und Pferdetritten aufgewühlt und deshalb durchaus uneben. Trotzdem machte sich sowohl bei Sonnenschein wie später bei bedecktem Himmel das Tönen des Sandes ganz vorzüglich bemerkbar. Um nun zu erkennen, ob das Tönen auch nach dem wiederholten Betreten des Bodens anhält oder ob es schließlich nur versage, weil man bei fortgesetztem Schaben mit dem Fuße auf die feuchten Partien kommt, wurde folgender Versuch gemacht. Mit Hilfe eines Papierblattes wurde an einer bestimmten Stelle des Strandes der trockene Sand vollständig abgetragen und dann von den herumliegenden Partien des Strandes trockenes Material fein über die entblößte Stelle gepudert. Sowohl beim Schlagen mit dem Knöchel wie beim Stoßen mit dem Fuß machte sich das Tönen auch jetzt bemerkbar. An je drei solcher Versuchsstellen wurden mehrere derartige Proben durchgeführt und, nachdem der günstige Erfolg festgestellt war, an weiteren heißen Tagen dieses Augustmonats mit demselben Glück wiederholt. Es wollte freilich scheinen, als ob das Tönen auf den bekannten natürlichen Geländen lauter wäre. Nur an heißen, trockenen Sommertagen habe ich auch späterhin bei diesen Versuchen den gleichen Erfolg gehabt. Jedenfalls war die Tatsache von hohem Interesse, daß der Zusammenhang der tönenden Sandkörnchen gestört werden kann, ohne daß der akustische Effekt verloren geht. Wie der bereits oben beschriebene Versuch ergibt, findet beim Erwärmen von Sand bis

zu 100° C. ein Zusammensinken der Körnchen kaum statt, da die feinen Luft-hüllen bis zu diesem Temperaturpunkt nicht einmal teilweise entfernt werden; noch viel weniger ist das für die Temperatur der Fall, die unser Strandsand im Sonnenbrande heißer Tage aufweist.

Zur Erklärung, daß auch erwärmter Sand Neigung zum Tönen hat, möchte ich auf einige Erscheinungen an einem Körper, der mit Quarz große Ähnlichkeit hat, dem Glase, hinweisen. Wischt man mit einem Tuche eine Kochflasche mit heißem Wasser oder ein Pyknometer, das man zum Zweck des vollständigen Trocknens über einem Brenner erwärmte, ab, so zeigt das erwärmte Glas eine eigenartige Erscheinung. Das Tuch fährt nicht mehr ohne jede Reibung über das Glas dahin, es scheint hier und dort an ihm haften zu bleiben und es treten sogar Obertöne auf, die an jene erinnern, die beim Reiben des Glases mit einem feuchten Körper bemerkbar werden. Selbst wenn sich die Temperaturzunahme in ganz bescheidenen Grenzen hält, entsteht ein derartiges Haften von Glas und Tuch bereits, z. B. wenn man einen Glasstab kräftig reibt, um ihn elektrisch zu machen. Vielleicht liegen deshalb beim Quarz des Sandes teilweise auch ähnliche Verhältnisse vor wie beim Glase, daß er im Sonnenbrand etwas klebrig wird und mit seinen Genossen zusammenhaftet, entsprechend der Tatsache, daß viele Körper bereits weit unter ihrem Schmelzpunkte neben den festen schon flüssige Molekeln enthalten¹⁾. Es sei hier nur erwähnt, daß man am Experimentiertische durch Erwärmen des Sandes die Vorgänge in der Natur wiederholen kann. — Auch durch fortgesetzte Stöße kann man die Körnchen, wie W. SPRING zeigte, mehr zusammenbringen; sie sinken bei dem von ihm verwendeten Material um etwas mehr als 16 % zusammen. Versuche zeigen, daß man auch auf diese Weise tönenden Sand erzeugen kann.

Tönenden Sand habe ich auch im Winter häufig beobachten können. Fast stets lag dann wieder die feste Sanddecke vor, von der bereits früher die Rede war. Ein Fall scheint mir aber besonders erwähnenswert! Es handelt sich um einen Strandspaziergang von Brösen nach Zoppot am 7. Februar 1909 in den Nachmittagsstunden zwischen 2½ und 3½ Uhr. Morgens hatte die Temperatur —4° C. betragen, jetzt betrug sie im Sonnenschein (nach dem meteorologischen Tempel im Zoppoter Kurhausgarten) +2°, während ein kräftiger Wind ein vollständiges Tauen verhinderte. Auf den durchtränkten Untergrund und das Eis über den Pfützen war trockener Sand geweht, der dicht zusammenliegende Kräuselmarken zeigte und besonders stark tönte. Infolge des frischen Windes wanderte der Sand stellenweise. — Hier haben wir es wohl unbedenklich mit Sandpackungen zu tun, die durch den trockenen Wind zusammengetrieben waren. Von dem fast planen Gelände sind die

1) SPRING, W.: Sur l'apparition, dans l'état solide, de certaines propriétés caractéristiques de l'état liquide ou gazeux des métaux. Bulletins de l'Académie Royale des Sciences, des Lettres et des Beaux-arts de Belgique. Bruxelles. 1894. s. 3, t. XXVII, S. 23—46.

Körnchen bis zu irgend einer Unebenheit des Bodens geführt und dort durch neu und zwar kräftig hinzugerollte weitere vermehrt. Der feste Untergrund, der überall nachzuweisen war, wo sich ein Tönen vernehmen ließ, diente sicher dazu, diese akustischen Erscheinungen verstärkt zum Ausdruck zu bringen.

In dieser Weise ist auch die Entstehung von Tönen zu deuten, wenn bei fast ruhiger See der Landwind den Sand dem Wasser zutreibt. Dann bilden sich auf dem feuchten Untergrunde zwischen Vordüne und See dicht an und auf dem feuchten Strand dünne, trockene, resp. getrocknete Sandstreifen von etwas über mm-Dicke, die ebenfalls, aber nur ein äußerst schwaches Tönen zeigen. Der feuchte Untergrund liegt in verschiedenen anderen Fällen bei kräftigsten, akustischen Erscheinungen etwa 3—6 cm unter der Oberfläche, in einem besonderen betrug die Entfernung sogar 15 cm; auch hier wurde ein deutliches Tönen vernommen. Der schönste Effekt wurde, soweit ich mich entsinne, auf einem Marsch längs des Strandes am Kolberger Deep erzielt; hier lag der durchtränkte Untergrund bereits in 1 cm Tiefe. Diese Vorbedingungen deutet bereits N. GIRSCHNER als notwendig für das Zustandekommen von Tönen am Strande. Nach ihm müssen die brandenden Wogen über den Strand hinweggegangen sein und ihn durchfeuchtet haben; dann mußte ihn bald darauf die Sonne bis etwa 1 Fuß tief austrocknen. Unter diesen Umständen gewänne der Sand die Fähigkeit, mehrere Tage lang zu tönen. Im allgemeinen treffen seine Angaben also das Richtige; Meinungsverschiedenheiten treten nur auf, wenn von dem Sande der Dünengehänge die Rede ist; „Derselbe Sand, unmittelbar dahinter von dem Seewinde in den Dünen angehäuft, zeigt keine Spur des Tönens“, sagt er in seiner Skizze. Abgesehen davon, daß es eigenartig wäre, wenn der Sand auf der einen Seite der Düne tönen sollte, auf der anderen aber nicht und daß die Erscheinung auf der Seeseite nicht allzu selten auftritt, mag folgendes herangezogen werden. Die landwärts liegende Dünenseite hat keinen oder kaum einen vom Wasser durchtränkten Untergrund, die auffallenden Atmosphärien versinken hier schnell in die Tiefe. Man muß eine Menge günstig zusammen treffende Umstände abwarten, um ein Auftreten des Tönens auch hier anzutreffen: Kräftigen Regen, bald darauf einsetzenden, stark wirkenden Sonnenschein und Landwind. Dabei darf man den günstigen Augenblick, den der stärksten Kohärenz der Körnchen, nicht verpassen, denn beim oberflächlichen Trocknen geht diese durch ein Optimum, um dann bald wieder zu verschwinden. Hinzukommt, daß man diese Partie des Geländes wegen ihres unbequemen Weges und ihrer Öde nur selten aufsucht und daß das Tönen nicht von jedermann festgestellt werden wird, besonders da es in vielen Fällen einer gewissen Übung bedarf, um es nachzuweisen. Für den Sand der Insel Eigg gibt HUGH MILLER ebenfalls an, „daß da, wo ein feuchtes, halb zusammenhängendes Lager unter dem trockenen und losen Sand vorkam, die Töne am lautesten, schärfsten und leichtesten durch den Fuß hervorzubringen waren“. Wie sehr das Zustandekommen eines Tones von dem feuchten Untergrunde abhängig ist, zeigt

an vielen Tagen ein bloßes Beschreiten des Strandes senkrecht auf die Wasserkante hin. Solange man sich auf trockenem Material befindet, ist nichts besonderes wahrnehmbar, doch wird ein Ton hörbar, sobald sich feuchtes, nicht zu tief darunter befindet. Hierbei lassen sich auch Übergänge nachweisen. — CARUS-WILSON hebt es als besonders bemerkenswert hervor, daß bestimmte Proben von dem Sande der Studlandbucht bei einem Besuch der Küste Töne gaben, wie an Ort und Stelle, wenn man sie aufblas und in einer Büchse schüttelte; feiner Sand, wie er etwa dem unseres Seestrandes entsprechen würde, zeigte diese Eigentümlichkeit dagegen nicht. Die Daten, die er über seine Beobachtungen gibt, entsprechen teilweise den Verhältnissen des heimischen Geländes. So sagt er an einer Stelle, daß ein sehr dünnes Lager der Sandkörner zur Erzeugung eines Tones genüge, wenn man den Fuß darüber hinwegziehe, aber nicht, wenn man von oben nach unten hinaufschlüge. Für die Sande der Studlandbucht hebt er als allgemeingiltig die Eigentümlichkeit hervor, daß sie nur an Ort und Stelle ihre tönende Eigenschaft besäßen — das gleiche gilt fast ausnahmslos für die der Ostsee — und daß sie bei östlichen Winden verstummen. Die östlichen Winde bedeuten — wie bereits erwähnt — für die Studland-Bucht Seewinde.

Zu Hause beim Schlagen in einem Porzellangefäße (Teetasse) gibt der Sand, den CARUS WILSON beschreibt, einen schrillen Ton; das gilt auch für den, der beim Schütteln in der Büchse, wie eben erwähnt wurde, stumm war; dabei dienen die glasierten Wandungen des Porzellans dazu, die Stärke der Schwingung durch Vermehrung der Berührungsoberfläche zu vermehren. Einige Sandproben der Studlandbucht tönen aber auch bei dieser Behandlung nicht; sie beanspruchen noch einen kleinen Holzuntersatz, den CARUS WILSON¹⁾ als „coaxer“ (etwa: „Schmeichler“) bezeichnet und der durch Resonanz die Tonverstärkung bewirkte. In ähnlicher Weise wird der feuchte Untergrund unserer Sande als Schallverstärker wirken und selbst von solchen Stellen des Strandes noch Töne ausgehen lassen, die ohne diesen feuchten Untergrund sich kaum bemerkbar machen würden. Auch von dem Material unseres Strandes gilt das Gesetz, daß es nur dort tönt, wo es in situ angetroffen wird; und deshalb sind auch alle die Wünsche unerfüllbar, die eine Zusendung wirklich tönenden Sandes von unserem Seestrande betreffen.

Eine Verstärkung des Tones durch Hohlräume ist auch bei einigen natürlichen Vorkommnissen bekannt. JAMES BLAKE untersuchte den musikalischen Sand von der Südwestküste von Hawai (Sandwichinseln), wo dieser einen etwa 20 m hohen Wall bildet; unter dem Mikroskop zeigten sich die Körner, welche vulkanischen Ursprungs sind — wie bereits erwähnt — röhrenförmig durchbohrt und meist an dem einen Ende geschlossen, so daß sie kleine Resonatoren darstellten²⁾. Dieselbe Rolle übernehmen schluchtenartige Einschnitte an Plateau-

1) CARUS WILSON: The Production of musical Notes usw. Nature a. a. O., S. 323.

2) Vergl. ROSENFELD: a. a. O., S. 101.

rändern und im Gebirge, z. B. am Tempel von Abu-Simbel in Nubien und dem Reg-Rawan in Afghanistan. Mit ihrer Hilfe erklärt BOUBÉE¹⁾ auch das donnerartige Geräusch am Gebel Nakus, von dem WARD und andere Autoren uns berichten.

Doch auch vollständig abgeschlossene Räume kommen als Schallverstärker in Frage. So berichtet M. H. GRAY²⁾ von dem Besuche eines „El Punto del Diabolo“ benannten Ortes, der ein paar Kilometer von der Stadt Copiapo in Chile entfernt liegt und mit dem tönenden Sandhügel „El Bramador“ identisch sein dürfte³⁾, den DARWIN 1835 erwähnt. Es geht das Gerücht, daß der Sand hier über eine alte Silbermine geweht sei, und den Besuchern drängte sich sofort die Vorstellung auf, daß der Schall sich in dem Gewölbe des alten Werkes brechen und dadurch derart verstärken möchte. Mit einer unterirdischen Wasserzirkulation steht z. B. auch die Bildung von größeren Hohlräumen im Inneren von Wanderdünen in Beziehung. Dampfe, donnerartige Getöse im Dünenwalle, wie Bewohner der Nehrung und Touristen sie gelegentlich wahrnehmen, künden von deren Einsturz, ohne daß die Düne irgendwie ihre Gestalt veränderte. Auch wenn in Triebssandstellen, z. B. in dem Terrain nördlich von Rossitten und Nidden auf der Kurischen Nehrung, eintretender Frost den Sand stark lockert und längere Zeit kein Tauwetter eintritt und damit die Wasserzufuhr aus den Dünen aufhört, bilden sich Hohlräume, indem sich der Sand unter der gefrorenen Decke „setzt“⁴⁾. Auch die donnerartigen Geräusche, die am Kongo und vor allem im Gangesdelta als Barisal guns (Barisalschüsse, nach der Stadt Barisal in Delta bezeichnet) bekannt sind, werden meist auf das Einstürzen von Sandbänken zurückgeführt⁵⁾.

Durch die Resonanz werden die Töne des Sandes besonders laut, so verglich man sie für den vulkanischen Sand von Hawaii mit dem Rollen fernen Donners, für den von LORTET beschriebenen Sand aus Nubien mit einem tönenden Brummen, das am besten dem einer Dynamomaschine entspricht, während für den Gebel Nakus fast ausschließlich der Donner zum Vergleiche herangezogen wird. Die Schwingungen, die bei diesen Tönen zustande kommen, machen sich

¹⁾ WARD: a. a. O., S. 392.

²⁾ GRAY, A. H.: Musical Sands in Chile. Nature Nr. 2074, Vol. 81, 1909, S. 126, 127

³⁾ CARUS-WILSON, CECIL: Musical Sands. Nature 2075, Vol. 81, 1909, S. 159.

⁴⁾ ZWECK, ALB.: Die Bildung des Triebssandes auf der Kurischen und der Frischen Nehrung. Königsberg i. Pr., HARTUNGsche Buchdr. 1903, S. 21, 22, 34.

⁵⁾ REGENSBERG, FR.: Rätselhafte Knallgeräusche. Kosmos 1909, Bd. 6, Heft 1, S. 19—21, vergl. S. 19. — Die sog. „Bergschläge“ wurden früher ebenfalls meist durch den Einsturz von Hohlräumen erklärt. Nach den Untersuchungen von HANKAR-URBAN und A. RZEHAK sind sie nunmehr auf Spannungen zurückzuführen, die in älteren oder gegenwärtigen Bewegungen der Erdrinde ihren Ursprung haben. Für die Gegend von Carrara bringt FERNAND DELHAYE diese teilweise von Detonationen begleiteten Bewegungen des Gesteins mit den Faltungen der Miocänzeit in Beziehung. (Les bruits de montagnes aux carrières de marbre de la région de Carrare. Bull. de la Société Géologique de Belgique. Liège t. 35, 1907—1909. S. 35—38. — Dort ist auch die weitere Literatur angegeben!)

an den bewegenden Händen und Füßen bemerkbar, erinnern beim Glockenberge an die beim Spiele einer großen Orgel entstehenden und sind so stark, daß der Boden in zitternde Bewegung gerät; durch diese und das laute Geräusch werden die mitgeführten Tiere, Kamele und Pferde, derart verwirrt, daß sie unruhig werden und der vermeintlichen Gefahr zu entfliehen trachten. Wie HUGH MILLER¹⁾ bereits richtig bemerkt, scheint die Analogie „dem einen Ohre nach der einen Richtung stärker, einem anders gebildeten Ohre nach einer anderen Richtung, aber der Laut stimmt mit keinem sonst in der Natur erzeugten genau überein“. Ich muß mich damit begnügen, auf die Belegung dieser Behauptung des Gelehrten an Ort und Stelle zu verweisen²⁾.

Von der Verstärkung der Töne an unserem Strandsande durch Resonanz ist oben bereits gesprochen. Wenn MILLER sie deshalb für die Insel Eigg mit denen vergleicht, den ein gewichster Faden gibt, der zwischen Zähnen und Hand gespannt wird, so trifft er in mehr wie einer Hinsicht das Richtige. Auch hier sind die erzeugten hohen Töne so schwach, daß sie kaum bemerkt werden würden, käme ihnen nicht die Resonanz der Mundhöhle und die gute Leitungsfähigkeit der Schädelknochen für den Schall zu Hilfe. Im übrigen gibt er an, daß dem Boden ein beständiges „wu, wu, wu“ entstieg, eine Darstellungsweise, die freilich nicht ohne weiteres genau orientiert. Es ist kein einheitlicher Ton, der beim Stoßen mit dem Fuße erhalten wird; jedesmal steigt er bei seinem Abklingen etwa um eine Quinte bis Oktave in die Höhe. Da der Ausgangston sehr verschieden sein kann, läßt sich ein genau passender Vergleich mit anderen akustischen Erzeugnissen kaum geben. Am meisten wurde ich bei meinen Beobachtungen am Strande erinnert an jenes eigenartige Geräusch, das man auf einer Geige hervorrufen kann, wenn man ihre Saiten unterhalb des Steges mit dem Bogen streicht, vielleicht auch an das von Stärkekörnchen — vorzugsweise solchen von Kartoffel und besonders von Mais —, die man zwischen den Fingern gegeneinander reibt, oder an das von geputzten Äpfeln, die gegeneinander bewegt werden.

Von Stärkesorten wurden zum Vergleiche vier geprüft. Besonders die Körnchen des Mais machten sich tönend bemerkbar, während die von Hafer und Weizen sich fast stumm verhielten. Unter dem Mikroskop zeigten sich die des Mais als vielkantig, meist recht stark abgerundet, und von zweierlei Größe (Verhältnis cr. 1:2 oder 1:3), die der Kartoffel als ovale Körnchen von verschiedenen Größen, die ineinander übergehen und in ihren äußersten

¹⁾ a. a. O., S. 406.

²⁾ A. MIETHE führt das Tönen des Sandes darauf zurück, daß das durch Reibung seitens der Schuhsohlen erzeugte Geräusch von den Hohlräumen zwischen den Körnern wie von Resonatoren verstärkt wird. Je nach deren verschiedenen mittleren Größen soll der Ton höher oder tiefer sein. Mit Zunahme des mittleren Durchmessers der Sandkörner sinkt, wie der Versuch zeigt, die Tonhöhe. (Prometheus No. 1052, Jahrg. 21, 1909, S. 190). — Dieser Erklärungsversuch wird freilich dadurch hinfällig, daß ein bloßes Befeuchten, das die Hohlräume noch gänzlich freiläßt, bereits das Zustandekommen des Tones verhindert. Die Hohlräume dienen jedenfalls als Resonatoren, die eigentlichen Tonerreger sind jedoch in den Sandkörnchen zu suchen.

Maßen ungefähr das gleiche Verhältnis zeigen, wie beim Mais. Hafer und Weizen haben ausgesprochen große oder kleine Körnchen, wobei die kleineren vielleicht die Rolle von Staub spielen und das Zustandekommen von Tönen verhindern.

Der Vergleich der Tonentstehung wie bei geputzten Äpfeln entspricht etwa dem Zustandekommen des Tones, wie CARUS-WILSON ihn darstellt, die glatte Oberfläche, die von anhaftenden Erdteilen befreit ist, gibt Obertöne, etwa wie der bereits zum Vergleich herangezogene Wachsfaden. Wollte man Tonhöhe und Abänderung genau angeben, so wäre eine Notenschreibart etwa in der Form erforderlich, wie sie neuerdings bei Niederlegung des Vogelgesanges zur Anwendung gelangt. Daß beim Tönen unseres Strandsandes ebenfalls Vibrationen entstehen, kann man durch die Schuhsohle bei kräftigeren akustischen Wirkungen wahrnehmen. — Es sei noch erwähnt, daß zur Nachahmung, resp. zu einem eingehenderen Studium der Tonentstehung, mit Vogeldunst der feinsten erhältlichen Nummer (Durchmesser rund 1,4 mm) Versuche angestellt wurden. Ergebnisse irgendwelcher Art wurden nicht erhalten, auch dann nicht, als die kleinen Kugeln in ein Porzellangefäß geschüttet und hier mit einem Stahlstabe gestoßen wurden. Ich führe das ungünstige Ergebnis auf die geringe Elastizität und die Weichheit des Bleis zurück. TYNDALL war, als er die Arbeiten von CARUS-WILSON¹⁾ verfolgte, der Meinung, daß die lautesten Töne von solchen Sanden ausgesandt werden möchten, die wenn möglich aus Rubin und Diamant beständen.

Auch die Tonhöhe ist bei tönenden Sanden festgestellt worden. CARUS-WILSON ermittelte sie für den bereits erwähnten feinen Sand von der Studlandbai, den er bei der Prüfung zu Hause als verstummt (mute) ansehen mußte, beim Schlagen in einer Teetasse als a in altissimo (a_4 mit 3480 Schwingungen), doch hatte dieser Ton lange nicht die Intensität, wie der vom Sande an der Bucht. Ein anderer Sand, der nach der bereits beschriebenen Methode, von Staubteilchen und unregelmäßig geformten Bestandteilen befreit, poliert und getrocknet war, gab beim Stoßen im Porzellangefäß den Ton f_4 mit 2762 Schwingungen. Wenn die Sande der Studlandbucht in der Weise ihr Tönen zustande kommen lassen sollen, daß jedes Korn für sich tönt und die winzigen Einzeleffekte sich addieren, scheint in der Kleinheit ihrer Individuen ein Widerspruch zu liegen. Ist nämlich, wie J. H. POYNTING²⁾ vermutet, der Grundton von der Zeit bedingt, die eine elastische Welle braucht, um halb um das Korn zu laufen, so müßte bei dem Elastizitätsmodulus 10^{11} und der Dichte $2\frac{1}{2}$ die Schwingungszahl des Grundtons nicht kleiner als 10^6 sein; solche Töne würden nach VON HELMHOLTZ aber nicht mehr wahrnehmbar sein.

Für den Sand am Ostseestrande liegen die Verhältnisse, die das Tönen hervorbringen, eindeutig fest. Es handelt sich in jedem Falle darum, daß eine Packung der Sandkörnchen in irgend einer Weise zerstört wird, die

1) CARUS-WILSON, CECIL: Musical Sands, Nature Nr. 1993, Vol. 77, 1907, S. 222.

2) POYNTING, J. H.: Musical Sands, Nature Nr. 1994, Vol. 77, 1908, S. 248.

dichter ist als gewöhnlich, sei es, daß sie aneinander haften oder — wie bei starker Kälte — in anderer Weise näher aneinander gerückt sind. Je fester die Teilchen zusammenhaften, desto intensiver wird der erzeugte Ton sein. Die Tonhöhe freilich ist von der Geschwindigkeit abhängig, mit der diese festere Packung von einem Körper gestört wird. Auf meine Bitte überließ mir Herr Prof. Dr. WIEN aus der Sammlung der Königl. Technischen Hochschule in Danzig-Langfuhr leihweise eine GALTON-Pfeife, die dem physikalisch-mechanischen Institut von Prof. Dr. M. TH. EDELMANN in München entstammt. Mit dieser und einigen Stimmgabeln habe ich wiederholt die Tonhöhe des natürlich gelagerten Sandes zu bestimmen versucht, leider ohne allzu großen Erfolg. Das teilweise Mißlingen läßt sich damit begründen, daß niemals ein einheitlicher, scharfer Ton hervorgerufen wird, sondern meist ein Abschwenken zu größerer Höhe zu bemerken ist. Außerdem ist dem Ton des Sandes bei genauerem Beobachten ein gewisses Rauschen beigemischt, das durchaus störend wirkt. Da ein größerer Körper bei gleicher Kraftentfaltung mit geringerer Geschwindigkeit durch den Sand gleitet als ein kleinerer, so wird im allgemeinen ein Fuß tiefere Töne, der Knöchel eines umgeschlagenen Fingers solche von mittlerer und die Spitze eines schnell bewegten Stockes solche von höherer Lage erzeugen. — Bei der Zusammenfassung seiner Betrachtungen über das Tönen des Sandes sagt A. MAC JVOR, daß große Massen Sand, die steile Abhänge hinabrollen, auch einen mächtigeren und tieferen Ton hervorrufen als solche von der flachen Meeresbucht, wo nur kleine Sandmengen bewegt werden; diese Töne sind sehr hoch und werden sogar schrill. „Daraus ist ersichtlich, das jedes Tönen des Sandes von jeder Fundstelle auf dieselbe Veranlassung zurückzuführen ist“¹⁾. — Ändert man die Geschwindigkeit des bewegten Gegenstandes etwas ab, so tut es auch die Tonhöhe; Kleinkörnigkeit und Sauberkeit des Materials sind auch hier wieder von großer Bedeutung. Zur Erläuterung dieser Angaben diene folgendes Beispiel. Am 3. Juli ergab sich für den Sand aus der Nähe des Bächleins, das in der Nähe der Zoppoter Rieselfelder in die See geht, bei 19° Luft- und 19,5° Sandtemperatur durch Stoßen des Sandes als jedesmaliger, höchster Ton unter annähernd gleicher Kraftentfaltung:

mit dem Schuh: a	(217,5 Schwing.),
mit dem Knöchel: fis ₂	(731,6 „),
mit der Stockspitze: a ₃	(1740 „).

Beim Stoßen von Sandproben mit einem harten Stabe in einem Porzellan-gefäß gab der Sand von Ablage den Ton e₂ zu 651,8 Schwingungen. — Ich habe hier aber nochmals darauf hinzuweisen, daß die gegebenen Zahlen nicht absolut sind und nur Werte angeben, die zum Experimentator und dem Eifer, mit dem er den Sand bearbeitet, in inniger Beziehung stehen.

¹⁾ A. a. O., S. 83.

Für den Sand der Ostseeküste und besonders den aus der Umgebung von Danzig läßt sich das Zustandekommen des Tönens auf zweierlei Weise nachweisen. Einmal, und zwar in den meisten Fällen, handelt es sich um das Zerstören einer besonders dichten Packung der Körnchen, entstanden unter Einwirkung von Wasser — besonders von Seewasser. Die Kapilarattraktion läßt diese dicht aneinander treten und diese Anordnung auch nach Verdunsten des Wassers vorläufig beibehalten. Erst wenn einwirkende Wärme die Körnchen sich dehnen läßt, wird die oberflächlich gebildete, und als solche nachweisbare Sandhaut gesprengt, so daß diese sehr dichte Lagerung verloren geht. Diese oberflächliche Haut, welche die Sandindividuen zusammenpreßt und verfestigt, wird durch den Fuß des Strandwanderers zerstört, und es entstehen ähnliche Geräusche, wie beim Zinngeschrei oder dem Rauschen der Seide. Andererseits werden durch den Wind die größeren, besonders gut gerundeten Quarzkörnchen von dem feinkörnigeren, leichteren, unregelmäßiger geformten Sande befreit und zusammengetrieben. Es entstehen Kräuselmacken, die meist die Stellen guten Tönens verraten. Wie ich vermute, liegen auch in diesem Falle die Körnchen besonders dicht zusammen, so daß bei der gewaltsamen Zerstörung ihres Lagers der Ton in ähnlicher Weise hervorgerufen wird, wie bei dem durch das Wasser dicht gelagerten Material. Kräuselmacken auf frisch getrocknetem Sande bezeichnen Stellen besonders kräftigen Tönens. Auch kräftige Erwärmung und Frost lassen die Körnchen aneinander haften oder dichter zusammentreten. Feuchte Sandlager im Untergrunde verstärken die erzeugten Töne. Diese hängen ihrer Höhe nach von der Geschwindigkeit ab, mit der der ganze Sandkomplex in Schwingungen gerät bzw. zerstört wird. Es findet demgemäß in diesem Falle kein Zustandekommen der Töne dadurch statt, daß die Körnchen sich einzeln für sich bewegen und ein Zusammenwirken ihrer Schwingungen den Ton erzeugt.

* *

Die vorliegende Studie wurde der Hauptsache nach bereits vor meiner Übersiedelung von Danzig nach Zoppot, Ende März 1909, fertiggestellt. Es gereicht mir zur besonderen Befriedigung, den Herren: CARUS-WILSON in Strawberry Hill, Prof. Dr. LAKOWITZ-Danzig, Sekretär der Bournemouth Natural Science Society E.E. MARKWICK-Boscombe, Kgl. Landesgeologe Dr. MESTWERDT-Berlin, Prof. Dr. SIMSON-Danzig, Prof. Dr. SONNTAG-Danzig und Hochschulprofessor Dr. WIEN-Danzig, die mich durch Beschaffung oder Überlassung von Literatur oder Material unterstützten, an dieser Stelle nochmals meinen Dank aussprechen zu können.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften der Naturforschenden Gesellschaft Danzig](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [NF_12_4](#)

Autor(en)/Author(s): Dahms Paul

Artikel/Article: [Tönender Sand. 32-73](#)