

III. Ueber zwei ausgezeichnete Fälle des Reflexionstons zweiter Gattung; von J. J. Oppel.

(Aus d. Jahresbericht. d. physikal. Vereins zu Frankfurt a. M. 1869—70.)

Als vor 16 Jahren der Schreiber dieser Zeilen die Aufmerksamkeit der Akustiker auf jene seltsamen Töne zu lenken suchte, welche durch Reflexion eines beliebigen starken Geräusches an den Stäben eines *Gitters* erzeugt werden ¹⁾ und für welche er daher den Namen „*Reflexionstöne*“ oder auch „*Gittertöne*“ vorschlug, sprach er am Schlusse des betreffenden Aufsatzes ²⁾ die Vermuthung aus, daß es noch eine zweite Gattung von Reflexionstönen geben möge; daß die Empfindung eines Tones im musikalischen Sinne auch durch wiederholte Zurückwerfung irgend einer Lufterschütterung zwischen zwei hinlänglich nahen *parallelen Wänden* möglich sey. Die Vermuthung bestätigte sich bald ³⁾; ja es zeigte sich, daß dieser „*Reflexionston*“ zweiter Art für den einmal darauf aufmerksamen Beobachter nichts weniger als eine seltene Erscheinung, daß es vielmehr in langen Gängen, schmalen Zimmern, engen Straßen oder Feldwegen zwischen Mauern, kurz überall wahrzunehmen ist, wo zwischen parallelen oder nahezu parallelen, nicht über sechs Meter entfernten Wänden eine momentane Schall-Erregung stattfindet. Jenes schmale Gäschen vor dem Eschenheimer Thor zu Frankfurt a. M., welches die erste Beobachtung lieferte (und welches später den officiellen Namen „*Gärtnerweg*“ erhielt) ist neuerdings mit Basalt gepflastert worden, wodurch der klangvolle, metallische Ton nur an Stärke und Deutlichkeit gewonnen hat, so daß es seitdem auch von vielen

1) Pogg. Annalen Bd. 94 S. 357 ff., S. 530 ff.

2) Ib. Bd. 94 S. 570—71.

3) Ib. Bd. 101 S. 105—133.

anderen Personen unabhängig und selbstständig beobachtet worden. Es giebt zugleich (wie z. B. in unserem Jahresbericht 1860—61 S. 53 usw. nachgewiesen worden) das einfachste und bequemste Mittel zur Beurtheilung der geringsten Abweichungen zweier Wände von der parallelen Lage, sowie zur Schätzung ihrer Distanz ab, welche beiden Verhältnisse somit das Ohr weit sicherer und genauer als z. B. das Auge zu schätzen vermag. Nimmt in einem solchen Gange usw. die Tonhöhe des Kluges meiner Schritte z. B. um eine kleine Terz oder nur um einen halben Ton plötzlich zu oder ab, so weiß ich alsbald, daß der Gang hier um $\frac{1}{6}$, beziehungsweise um $\frac{1}{12}$ seiner bisherigen Breite enger oder breiter geworden. Ist der Ton im *allmählichen* Sinken begriffen, so weiß ich, auch wo ich es mit dem Auge noch lange nicht wahrnehmen kann, daß mein Weg *allmählich* breiter wird, und höre zugleich um wie viel die Breite z. B. auf je 10 Schritt zunimmt. Die in alten Städten, wie die unserige, früher so häufigen Außentreppen vor den Hausthüren sind in neuerer Zeit gesetzwidrig geworden; sollen Stufen zur Thüre emporführen, so muß diese zurück-, jene müssen einwärts (innerhalb der Grundfläche des Hauses) gelegt werden, so daß sie sich bei den neueren Häusern *zwischen zwei Wänden* befinden. Steige ich daher solche Stufen hinauf, so sagt mir der Ton c^1 , in welchem meine Tritte bis zur Hausthür wiederhallen, *sofort* aufs Bestimmteste daß (bei mittlerer Lufttemperatur) die Wände zu meiner Rechten und Linken 130^{cm} entfernt, resp. die Stufen 130^{cm} breit sind; ist der Gang einen halben, einen ganzen Ton, oder eine kleine, eine große Terz usw. höher oder tiefer, so brauche ich dieses Maas nur um $\frac{1}{12}$, $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$ seines Betrages zu verringern oder zu vergrößern, um die richtige Dimension fast bis auf eine Fingerbreite genau zu haben, jedenfalls aber genauer als das Auge sie schätzen würde. Rolle ich einen Kupferstich oder einen Bogen Zeichenpapier zusammen, so herrscht in dem dadurch entstandenen Geräusch ein bestimmter Ton entschieden vor,

und belehrt mich unmittelbar über die *Breite* meines Papiers. Vernehme ich jetzt, beim Zusammenrollen in der *anderen* Richtung etwa die Quarte des vorigen Tons, so weiß ich ohne alle Messungen, daß die beiden Dimensionen des Blattes sich wie 3 zu 4 verhalten usw. Ebenso kann umgekehrt ein zusammengerolltes Notenblatt von *bekannter* Breite, zumal wenn es aus etwas steifem und hartem Papier besteht, geradezu eine *Stimmgabel* ersetzen ¹⁾. Daß endlich den besagten Tönen, wie den meisten anderen, auch die harmonischen *Obertöne* nicht fehlen, ist bereits im Jahresbericht 1861—62 S. 43 ausführlich erwähnt worden.

Ich habe mir diese flüchtige Erinnerung an früher besprochene Einzelheiten des Zusammenhanges wegen und in der Voraussetzung erlaubt, daß sie nicht allen Lesern der folgenden Zeilen (zu deren Verständniß sie erforderlich schienen) noch ganz geläufig seyn werden. Zwei mir in den letzten Jahren vorgekommene ausgezeichnete und in jeder Beziehung lehrreiche Fälle nämlich eben dieses Reflexionstones *zweiter* Gattung sind es, über die ich hier kurz zu berichten habe.

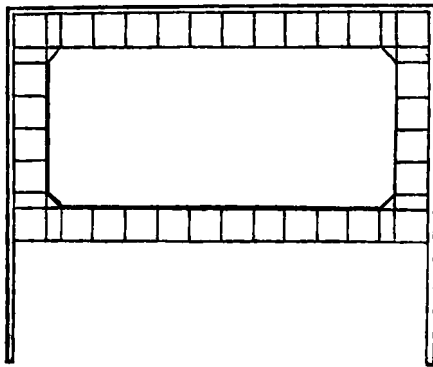
In dem anderthalb Meilen von Frankfurt entfernten romantisch gelegenen Gebirgsorte *Kronberg*, der als Sommeraufenthalt von hier aus viel benutzt zu werden pflegt und in welchem ich vor mehreren Jahren gleichfalls einige Wochen zubrachte, befand sich damals eine kleine Badeanstalt, die von einem dort begüterten Frankfurter, wenn ich nicht irre, zunächst für sich und der Seinen Bedürfnisse angelegt, doch auch dem übrigen Publikum im Falle des Begehrens zugänglich gemacht war. In dem kleinen Zimmerchen befand sich eine ausgemauerte und an ihrer ganzen Innenseite mit quadratförmigen Porcellan- oder glasierten Thonplatten (wie man sie vielfach für Oefen verwendet) ausgelegte Badewanne von länglich-viereckiger Gestalt und mäßigen Dimensionen. Sowohl in dem einen der Badezimmerchen selbst, als namentlich in dieser Wanne

1) Vergl. Jahresbericht 1862—63 S. 14—16.

zeigte sich ein eigenthümlicher und bei der letzteren höchst auffallender Wiederhall von bestimmter Tonhöhe, der durch jedes beliebige Geräusch geweckt ward. Für den in der Wanne befindlichen Beobachter genügte das mindeste Plätschern des Wassers, das leiseste Räuspern, ein ganz schwacher Schlag in die Hand, ja jedes tiefere Athmen und selbst das Ticken der in der Hand gehaltenen Taschenuhr, um jenen eigenthümlichen Ton in deutlichster Weise hervorzulocken. Aber nicht sowohl ein Ton war es, als vielmehr ein *Accord*, und zwar, wie mir gleich bei der ersten Beobachtung auffiel, ein *dissonirender*, also nicht etwa ein durch bloße Obertöne bewirkter. Die beiden Töne, welche sich am entschiedensten geltend machten, bildeten das Intervall einer zu knappen *None*, so zwar, daß ich den tieferen derselben als das kleine Ges (ges⁰), den höheren als ein etwas zu tiefes as¹ ansprach.

Beim nächsten Besuch nahm ich zum Zweck einer Vergleichung der betreffenden räumlichen Dimensionen einen Centimeter-Maafsstab mit.

Die vier Ecken der Badewanne waren durch je eins der erwähnten quadratischen Thonplättchen, das im Winkel von ungefähr 45° gegen die benachbarte Wand stand, abgekantet, so daß der horizontale Durchschnitt eigentlich ein Achteck von dieser Form bildete.



Die längeren Saiten bestanden aus je 10, die kürzeren aus je 4 der erwähnten quadratischen Thonplatten, so daß, mit Hinzunahme der 4 schräg gestellten an den Ecken, der ganze Umfang der vertikalen Wände von je 32 Platten gebildet ward, während der obere Rand der Wanne noch von einem in horizontaler Ebene liegenden Kranze ähnlicher Platten (und Plattentheile) nach Art der nebenstehenden Figur umgeben war, der dann an drei Seiten unmittelbar an die Wand des Zimmerchens stieß. Beim Anblick dieser Gestalt und besonders dieser Lage der vorhandenen zwei Paare paralleler Wände kam mir sofort der Gedanke, daß der eine von jenen beiden hervorstechenden Tönen durch die longitudinalen, der andere durch die transversalen Luftschwingungen oder Echos zwischen diesen Wänden hervorgebracht werden möge. Und in der That würde das beobachtete *Intervall* dieser beiden Haupttöne mit einer solchen Annahme in leidlich befriedigender Weise stimmen. Da nämlich die quadratförmigen Platten alle von gleicher Größe sind und sich demnach (mit Berücksichtigung der schräg gestellten) der Abstand der beiden kürzeren Seiten zu dem der beiden längeren wie

$$(10 + \sqrt{2}) : (4 + \sqrt{2})$$

verhält, so müßte das fragliche Intervall der beiden erzeugten Reflexionstöne durch den Bruch

$$\frac{10 + \sqrt{2}}{4 + \sqrt{2}} = 2,11^1)$$

ausgedrückt seyn, während das Verhältniß der gleichschwebend-temperirten *None* $= 2\frac{6}{7} = 2,857$ also etwas größer ist. Erwägt man indeß, daß die *wahrgenommene* None gleich von Anfang als eine knappe erschien, und daß überdies die erwähnten schrägen Abkantungen der vier Ecken vielleicht nicht genau unter 45° gestanden, sondern möglicherweise mit den längeren Seiten des Grundvierecks einen etwas stumpferen Winkel gebildet haben mögen, als mit den kürzeren, wodurch der tiefere der

1) Immer bis auf $\frac{1}{4}$ der letzten Decimale genau.

beiden Töne etwas tiefer und gleichzeitig der höhere etwas höher werden, d. h. das Intervall zwischen beiden sich etwas *vergrößern* mußte, so wird die Differenz zwischen Beobachtung und Theorie nicht mehr allzugroß, und die letztere somit genügend erscheinen.

Weit weniger will sie dagegen, seltsamerweise, mit der absoluten Tonhöhe stimmen. Die quadratförmigen Thonplatten, von denen ich *mehre* sorgfältig gemessen, zeigten, fast genau gleich, eine Seitenlänge von 130^{mm}. Dies würde für die größere der beiden in Rede stehenden Dimensionen $130 \cdot (10 + \sqrt{2})^{\text{mm}} = 1^{\text{m}},484$, und für die kleinere $130 \cdot (4 + \sqrt{2})^{\text{mm}} = 0^{\text{m}},704$ ergeben (Beides auf $\frac{1}{5}^{\text{mm}}$ genau). Da nun die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls in der Luft $= c \sqrt{1 + \alpha t}$ ist, wobei t die Temperatur in Centesimalgraden über Null, α den bekannten Ausdehnungscoefficienten der Luft ($= 0,00366$) und c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei 0° vorstellt (welche letztere nach den zuverlässigsten neueren Untersuchungen 332^m,37 gesetzt wird) so ergibt sich für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei mittlerer Temperatur (etwa 14° angenommen ¹⁾) einen Werth von 340^m,68. Dividirt man diesen durch die beiden obigen Zahlen (1,484 und 0,704), so erhält man als Schwingungszahlen der gesuchten Töne 229 $\frac{1}{2}$ und 484 d. h. (wenn man a^1 nach der französischen Normalstimmung zu 435 Schwingungen annimmt) etwa die Töne b^0 (etwas tiefer) und h^1 (etwas höher), also allerdings die „knappe None“, aber die absolute Tonstufe fast um eine Terz zu hoch.

Diese Differenz ist nun offenbar viel zu groß, um auf Rechnung von Ungenauigkeiten oder unvermeidlichen Beobachtungsfehlern gesetzt zu werden. Ob die beobachteten Tonhöhen (ges° und as¹) nach der Stimmgabel, oder nach bloßer Schätzung des Ohrs bestimmt worden, hatte ich zwar nicht ausdrücklich dazu notirt; doch ist das letztere äußerst unwahrscheinlich, weil ich die Unsicherheit meines Ohrs im Bestimmen absoluter Tonhöhen von jeher kenne

1) Ich hatte sie in Ermanglung eines Thermometers nicht gemessen.

und darum so positive Angaben ohne Vergleichung der Stimmgabel nicht leicht machen werde, wenigstens nicht ohne die ausdrückliche Hinzufügung, daß sie auf bloßer Schätzung beruhen. Was ferner die Temperatur betrifft, so war sie, trotz des zwischen Mauern eingeschlossenen, an sich kühlen Locals, im Sommer und über dem warmen Wasser des Bades etwas höher, als oben angenommen; d. h. jene Differenz wird dadurch eher noch vergrößert, als beseitigt. Endlich sind bei obiger Rechnung allerdings die beim Zusammenfügen jener glasirten Thonplatten unvermeidlichen Fugen oder Zwischenräume unberücksichtigt geblieben; allein sie waren, nach einer der ursprünglichen Notiz ausdrücklich beigeschriebenen Bemerkung, äußerst unbedeutend, die Platten *sehr genau* an einander gefügt, so daß die Annahme von 1^{mm} für ihre durchschnittliche Breite gewiß eher zu groß ist, und selbst letztere würde die gefundene Tonhöhe noch lange nicht um einen Viertelton herabdrücken.

Ich bekenne daher offen, daß ich vorerst in der That keinen Ausweg sehe, als etwa die Annahme einer Unvollkommenheit der Theorie; insbesondere die Vermuthung, es möge vielleicht bei *solchen* parallelen Wänden, deren Zwischenraum nach *einer* Seite hin (d. h. im vorliegenden Fall nach oben) *offen* ist, irgend eine Correction in dem Sinne anzubringen seyn, daß diese seitliche (zumal einseitige) Oeffnung des Zwischenraums gleichsam eine Ausbiegung der Luftbewegung herbeiführen, d. h. so wirken könnte, als ob der Abstand der parallelen Wände etwas größer wäre. Es würde eine derartige Annahme wenigstens nicht ganz ohne Analogie seyn. Denn auch die offenen Labialpfeifen geben ja sämmtlich einen etwas tieferen (oft bedeutend tieferen) Ton als den ihrer Länge theoretisch entsprechenden, einen Ton, der dann zugleich eine Function ihrer *Weite* ist, der so vielleicht in unserem Falle auch mit von der Breite (resp. Höhe) der parallelen Wände abhängen und da diese (über dem die Wanne halb erfüllenden Wasser) nur noch ziemlich klein war, um so

größeren Modificationen unterliegen möchte (Von der Form jener Function würde es dann abhängen, ob beide Töne um ein gleiches Intervall, oder vielleicht der höhere um ein etwas größeres herabgedrückt werden, und somit die oben noch etwas zu klein gefundene Distanz der beiden Töne von einander eine weitere Erklärung finden würde). Indem ich jedoch diesen Gedanken nur als einen unmaßgeblichen Einfall ausspreche, muß ich die Beurtheilung seiner Zulässigkeit den Männern vom Fache, sowie die Vergleichung mit weiteren Thatsachen späterer Beobachtung überlassen.

Die Beantwortung der Frage, warum man die nämliche Erscheinung in gewöhnlichen Bade-Anstalten nicht beobachte, scheint mir nicht eben fern zu liegen. Die gewöhnliche Form der Badewannen nämlich eignet sich zwar (wie bereits im Jahresbericht 1858—59 S. 43 gelegentlich bemerkt worden) sehr gut zur *Reproduction* eines gegebenen Schalls oder (fertigen) Tons mittelst Concentration der Schallwellen, — einem akustischen Versuch, welcher die Wirkung der sogenannten Flüstergalerien oder Schallgewölbe in sehr einfacher Weise zu veranschaulichen und zu ersetzen vermag ¹⁾, — stellt aber der hier in Rede stehenden *Erzeugung* eines selbständigen Tones durch wiederholten Reflex zwei wesentliche Hindernisse entgegen. Denn erstlich pflegen die beiden langen Seitenwände einer solchen Wanne von gewöhnlicher Form nicht einander parallel (und im Verhältniß ihrer Kürze, auch nicht „nahezu parallel“), sondern nach dem Fußende hin stark *convergent* zu seyn, was jede von einem beliebigen zwischenliegenden Punkte ausgehende Schallwelle nach ganz wenigen Reflexionen alsbald aus dem Bereiche dieser Wände hinausführen wird, während die meist sehr starke *Krümmung* des

1) Das Ticken einer 1 bis 2 Fufs hoch über dem Fußende der Badewanne aufgehängten Taschenuhr z. B. wird von dem im Bade Liegenden ganz so vernommen, als ob sich die Uhr *dicht hinter* seinem Kopf befände; während es sofort verstummt, wenn man die Uhr z. B. über dem *Kopfende*, also dem Ohr viel näher, aufhängt.

Kopf- und Fußendes selber auch zwischen diesen keine regelmäßig wiederholten Reflexionen zu Stande kommen läßt. Und zweitens ist in den meisten Fällen die ganze Wandung in vertikaler Richtung konisch d. h. sich nach oben *erweiternd* und mit dem horizontalen Boden *stumpfe* Winkel bildend, ein Umstand, welcher offenbar ein noch rascheres Heraustreten jeder zwischen ihr im Gang gekommenen Schallwelle aus der Wanne zur Folge haben d. h. die Erzeugung eines zusammenhängenden regelmäßigen Wellenzuges verhindern muß.

Von den Tönen, welche, wie anfangs bemerkt, in dem Zimmerchen selber, *aufserhalb* der Badewanne, und weit *weniger stark* als jene, resonirten, war der auffallendste und deutlichste nach meiner damals gemachten Notiz a^0 , während ich den schwächeren, der um eine gute große Terz tiefer klang für einen zwischen e^0 und f^0 liegenden Ton ansprach. Es stimmt dies mit den Dimensionen des Raums wiederum viel besser. Die kleinste derselben nämlich, die Breite des Zimmerchens, war um zwei der erwähnten Thonplatten größer als die Länge des Hohlraums der Wanne, betrug also etwa $1^m,744$. Diefß liefert einen Ton, der nur Weniges tiefer ist als a^0 , und die Differenz (von weniger als $\frac{1}{2}$ Ton) könnte hier recht wohl auf Rechnung der wahrscheinlich höheren Temperatur kommen. Die *Höhe* des Zimmers, welcher ich den zweiten, schwächeren Reflexionston zuschrieb, *schätzte* ich (durch ungefähres Messen mit meinem Stocke) auf $\frac{4}{3}$ der Breite, und es würde sich so auch das e^0 und f^0 leidlich erklären. Die noch etwas größere *Länge* des Raums konnte, da die Vorderwand durch die vertiefte Eingangsthür, ein Fensterchen, ein Tischchen und einen kleinen Spiegel unterbrochen, und die gegenüberliegende Rückwand überdiefß mit einem Vorhang (!?) bedeckt war, wohl überhaupt nicht mitwirken.

Ich komme nun zu dem zweiten, noch merkwürdigeren Fall dieser eigenthümlichen Art von Tönen. Wenn das nach oben Offenseyen eines solchen, zwischen parallelen Wänden liegenden Ganges oder Raumes vielleicht eine

Abnormität in der Tonbildung bedingt, so müßte letztere in einem auch *oben und unten geschlossenen* Gange von *gleicher* Höhe und Breite um so energischer und vollkommener, am Vollkommensten aber vielleicht *dann* ausfallen, wenn die zur Längenrichtung normalen Dimensionen eines solchen Hohlraums *sämmtlich einander gleich* wären. Ein Beispiel dazu lieferte die Gunst des Zufalls.

Während der ersten Monate des Jahres 1869 lag auf einem Wiesengrunde westlich von unserer Stadt, nahe dem rechten Ufer des Mains, etwas unterhalb des Winterhafens, und hart am Rande des Schienenstranges, der die westlichen Bahnhöfe mit den östlichen verbindet, ein mächtiges *hölzernes Rohr*, welches, an die Riesenteleskope der Engländer erinnernd, dem Vernehmen nach die Bestimmung hatte, an dieser Stelle in den Main versenkt und dort ummauert zu werden, um als Verlängerung für die Einmündung der im Bau begriffenen städtischen Kanäle diese vor Versandung usw. zu schützen. Ein hiesiger Chemiker, zugleich eifriges Mitglied unseres Vereins, machte mich darauf aufmerksam, daß dieses Rohr von jedem in seiner Nähe entstehenden Geräusche sowohl z. B. von dem der dort öfters übenden Trommler, spielender Kinder usw. als auch namentlich von jedem mit der Hand gegen einen der provisorischen Böden des Rohrs geführten Schlage ein höchst eigenthümliches, *wenigstens achtfaches* „Echo“ hervorbringe, welches er meiner Beobachtung aufs Angelegentlichste empfahl ¹⁾.

An Ort und Stelle angelangt, fand ich eine aus dicken tannenen Bohlen künstlich zusammengefügte, ganz gerade, genau cylindrische Röhre von fast 60 (einfachen) Schritten in der Länge und etwa 5 Fußs Weite, gleichsam eine

1) „Gehen Sie nur einmal hinunter! Es fällt allen Leuten auf, die da vorüberkommen; es ist ein ganz sonderbarer Ton, der sich mit Worten gar nicht beschreiben läßt: Sie müssen ihn selber hören! Es ist ein ganz kurioser Klang, gar nicht wie ein gewöhnliches Echo; es klingt ganz anders, ordentlich komisch möchte man sagen; ich weiß selber nicht, wie ich ihn bezeichnen oder womit ich ihn vergleichen soll.“

kolossale Orgelpfeife vorstellend. Ein Paar Spatziergänger waren gleichfalls mit deren Betrachtung und mit Beobachtung des „eigenthümlichen Echos“ beschäftigt. Von einem derselben erfuhr ich, daß das Rohr anfangs an beiden Enden offen gewesen und erst kürzlich zum vorläufigen Schutz gegen nächtliche Besucher, gegen Verunreinigungen und dgl. mit den aufgenagelten Böden versehen worden sey. Die letzteren bestanden aus einfachen tannenen Brettern und ließen hier und dort fingerbreite Ritze, durch welche man in das Rohr hineinrufen und den Wiederhall der Stimme beobachten konnte, woran sich dann auch die dort spielenden Knaben zu wiederholten Malen ergötzen. Ich fand sofort, daß der eigenthümliche, „mit Worten gar nicht zu beschreibende“ Klang zusammengesetzt war aus

1) einem mehrfachen gewöhnlichen Echo des ursprünglichen Schalls, welches diesen in gleich großen Intervallen von $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{3}$ Secunde 10 bis 11mal wiedergab, und

2) einem gleichzeitig erklingenden, starken und dauern- den, hohen *musikalischen Ton* (oder vielmehr *Accord*) von eigenthümlicher Klangfarbe und *stetig veränderlicher* Ton höhe.

Es bedurfte, um diesen Complex von Tönen zu wecken, nicht einmal des Hineinrufens in die Röhre. Jeder noch so leise Schlag mit *einem* Finger an ihren Boden, jedes in der Nähe eines der Böden *laut* gesprochene Wort, ja jedes etwas stärkere Geräusch, das sich in einer Entfernung von 30 und mehr Schritten hören ließ, ward von dem Rohr alsbald beantwortet, und selbst jedes der verschiedenen „Donnerwetter“ welche nach der (allerdings mit respectablem Lungenaufwande promulgirten) Meinung eines auf dem Plan in der Nähe beschäftigten preussischen Unterofficiers „gleich hereinschlagen“ sollten in die „verfluchten Kameeler“, die er für die Zwecke seines Staates zu dressiren hatte, fand sofort eine *schrillende Erwiederung* in dem Rohre, die auch selbst den scharf markirten Tonvocalen *u* und *ee* des letzt genannten Ehrentitels noch besonders zu Theil ward. Der neben dem eigentlichen

Echo hörbare continuirliche Ton, der allerdings etwas eigenthümlich klang, fast wie das vielstimmige Miauen eines Chors a tempo einfallender Katzen, kam *nicht sofort* im Moment des ursprünglichen Schalls, z. B. des Anschlagens mit dem Finger an den Boden des Rohrs, sondern erst mit dem *ersten* Echo zum Vorschein und dauerte dann, stetig abnehmend, bis zum letztverklingenden fort.

Eine etwas genauere Beobachtung versparte ich mir auf einen zweiten Besuch zu günstigerer Tagesstunde, wo mir jene nicht durch Commandorufe, Trommler und Signaltrompeter erschwert ward. Mit Stimmgabel, Fadenpendel und Maafsstab bewaffnet, konnte ich wenigstens noch einiges Thatsächliche genauer constatiren. Ich begann mit Messung der Dimensionen des Rohrs. Der äufsere Durchmesser betrug an beiden Enden, und zwar horizontal und vertikal gemessen, 143 bis 144 Centimeter (d. i. wahrscheinlich 5 Fufs „Frankfurter Werkmaafs“, welche nach meiner früheren Reductionsskala $= 1^m,428$ seyn würden), die Dicke der Holzwände, soweit man sie durch die Ritzen der Böden messen konnte, 8,5 bis 8,6^{cm} (wahrscheinlich $3\frac{1}{2}''$); es würden sonach für den lichten Durchmesser 126 bis 127^{cm} (resp. 4' 5") übrig bleiben. Die starken Bohlen, aus welchen die Röhre bestand, waren auf sehr künstliche Weise, gleichsam kammartig in einander greifend, zusammengefügt und überdies von 51 starken, etwa 3 bis 4 Finger breiten eisernen Reifen zusammengehalten, von welchen einer an jedem Ende und die 49 übrigen in gleichen Zwischenräumen angebracht waren, so dafs die äufsere Oberfläche des Rohrs dadurch in 50 Abtheilungen von ziemlich (nicht ganz) gleicher Länge zerfiel. Ich maafs mehrere dieser Abtheilungen und fand ihre Länge mit Einchluss einer Reifbreite im Durchschnitt $= 0^m,855$, so dafs die Länge des Ganzen (ausschliesslich der Dicke der ausfen angenagelten Böden) etwa 42^m,810 ($50 \cdot 0,855 + 0,06$) betragen wird (also wahrscheinlich 150 Fufs hiesigen Maafses, welche $= 42^m,83$ seyn würden).

Die Erklärung des eigentlichen mehrfachen Echos hat

hienach nicht die mindeste Schwierigkeit. Ich konnte bei einem leisen Schlage mit der Hand 10 bis 11, bei einem stärkeren mit der Faust, dem Stock oder einem Stein gegen den Boden des Rohrs zuweilen 15 bis 16 Wiederholungen unterscheiden, von denen mit dem Fadenpendel gemessen *beinahe* 4 auf jede Sekunde kamen. Rechne ich der Einfachheit *gerade* 4 und nehme die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei der herrschenden Frühlingstemperatur zu 340^m an, so wäre der von *einem* Echo zum anderen zurückgelegte Weg $= \frac{340}{4} = 85^m$, fast genau die doppelte Länge des Rohrs. In der That muß nämlich, da für den Beobachter das am *diesseitigen Boden* der Röhre entstehende Echo natürlich nicht zu Gehör kommen kann, der Schall jedesmal die *doppelte* Länge derselben zurücklegen, und zwei Beobachter, die sich, an beiden Enden des Rohres stehend, die Momente des Hörbarwerdens etwa durch coincidirende Handbewegungen (gleichsam Tactschlagen) einander signalisirten, würden offenbar bemerken, daß die einzelnen Schläge für sie alternirend erfolgten.

Der sonderbare singende oder miauende Ton, der diese isolirten Schläge continuirlich begleitete, begann zwar, wenn man z. B. mit der Hand an den *diesseitigen* Boden der Röhre schlug, wie schon angedeutet, nicht sofort mit dem Hörbarwerden dieses Schlages, sondern genau mit dem des ersten Echos. Begab sich dagegen der Beobachter an das *jenseitige* Ende des Rohrs, während ein diesseits bleibender Begleiter das Geschäft des Anschlagens an den Boden übernahm, so setzte der continuirliche Ton *sofort* mit dem ersten Hörbarwerden des Schlages selber ein. Er begann in beiden Fällen gleichmäfsig mit großer Stärke und in bedeutender Höhe, dauerte zwischen und während der wiederholten Echos *ununterbrochen* fort, ward aber gleich ihnen immer schwächer und schwächer, *sank* dabei von seiner ursprünglichen Tonhöhe anfangs sehr rasch, dann langsamer und zuletzt sehr langsam herab, so daß er sich einem bestimmten *Grundton* asymptotisch näherte und endlich

mit den letzten Schlägen des Echos in einem gleichzeitigen bei ganz stiller Luft oft reizenden Smorzando verklang; — kurz, ich fand darin fast genau meinen vor 20 Jahren an der Eisenbahnbrücke (etwas oberhalb des nämlichen Platzes) kennen gelernten *Gitterton* wieder ¹⁾ — und zwar ein wahres Prachtexemplar desselben, insofern es ihn an Stärke und Deutlichkeit bei weitem übertraf, gleichsam vielstimmig erschien, und auch (nicht, gleich jenem, in der drei- und viergestrichenen Octave, sondern) mehr *mitten* im Bereiche der gewöhnlich vernommenen musikalischen Tonreihe lag. Jenes Ende, welchem er sich asymptotisch näherte, war (für den Hauptton wenigstens) fast genau das *eingestrichene E* (*e'*).

Was die Erklärung des Phänomens betrifft, so dachte ich allerdings auf den ersten Blick, eben wegen dieser frappanten Aehnlichkeit mit dem besagten „Gitterton“ an die Möglichkeit, daß das Rohr auch an seiner Innenseite durch eine Art von Reifen gestützt, oder durch ähnliche Hervorragungen von gleicher Distanz in viele Abtheilungen seiner Länge nach getheilt seyn, und der successive Schallreflex an diesen Hervorragungen den continuirlichen Ton in gleicher Weise erzeugen möge, wie dort der an den Stäben des Gitters. Die cylindrische Form würde dann auch die große Tonstärke durch Concentration hinlänglich erklärt haben. So viel ich aber bei der im Innern des Rohrs herrschenden Finsterniß durch die Ritzen der Böden erkennen konnte, war von solchen Hervorragungen oder Reifen nichts vorhanden, sondern die innere Fläche ganz ununterbrochen und glatt cylindrisch, hier und dort die jenseitigen Ritzen spiegelnd. Eine etwas nähere Erwägung, insbesondere des beregten Umstandes, daß der Ton nur bei jenseitigem Anklopfen usw. sofort mit dem erregten, bei diesseitigem dagegen erst begann, nachdem der Schall in gerader Richtung *zweimal die Länge des Rohrs durchlaufen*, brachte mich alsbald von jener Vermuthung ab, zu der Ueberzeugung, daß der in Rede stehende Klang nichts

1) Vergl. dessen Schilderung in Pogg. Ann. Bd. 94 S. 357 u. 358.

anderes sey als eine Species des Reflexions *zweiter* Gattung, hervorgerufen zunächst durch das Echo und durch die zickzackförmige Zurückwerfung der sich kugelig ausbreitenden (regelmäßig reflectirten) Schallwelle an den *glatten Seitenwänden* des Rohrs. Die cylindrische Gestalt des letzteren (gegenüber den prismatisch parallelen Wandungen eines zwischen Mauern oder Bretterwänden hinlaufenden engen Gäschen usw.) kommt dabei der Entstehung jenes eigenthümlichen miauenden Tons noch besonders zu statten, indem sie nämlich durch die ohne Zweifel eintretende *Convergenz* der reflectirten Schallwellen nach der Axe des Rohrs hin eine Vergrößerung der Schwingungsamplitude und eine entsprechende Verstärkung des Tons zur Folge haben wird, die durch das theilweise Zusammentreffen mit der der späteren Bodenreflexe („Echos“) um so bedeutender werden muß. Wenigstens wird es mir nur dadurch erklärlich, wie der bei einem Stabgitter immer nur ganz schwache, und bei einem engen Gange nur durch starkes Auftreten ¹⁾ noch in einiger Entfernung hörbar zu machende Reflexion gerade hier in einer Stärke und Mächtigkeit auftrat, die ihn auch solchen Personen, welche an akustische Beobachtungen gar nicht gewöhnt sind, nicht bloß wahrnehmbar, sondern geradezu „auffallend“ erscheinen läßt ²⁾. Man denke dabei an die analoge Wirkung des Sprachrohrs und der bekannten engeren cylindrischen Communicationsröhren.

Dafs aber die Luftbewegung hier eine mannigfach complicirte seyn mußte, beweisen zum Theil noch die folgenden Thatsachen, deren detaillirte Erklärung ich compe-
tenteren Beurtheilern überlassen muß.

Der in e^1 auslaufende continuirliche Ton, dessen Wellenlänge also um ein *sehr Merkliches* hinter dem lichten Durchmesser des Rohrs zurückblieb, war zwar am Schärft-
sten und Ungetrübtesten beim Anschlagen *in der Mitte* der Böden, wie die Symmetrie des Ganzen erwarten liefs,

1) Vergl. die Beobachtung in Pogg. Ann. Bd. 101 S. 120 u. 121.

2) Siehe oben die Anmerkung S. 378.

aber auch den stets von einem zweiten, viel tieferen und undeutlicheren, schnarrenden, fast schmetternden Ton begleitet, welcher gleichfalls während seines Erklingens *stetig herabzusinken* schien und schwächer ward. Ob es vielleicht ein *Combinationston* zwischen den späteren Stadien des ersten und den früheren (höher liegenden) der folgenden Reflexionen sey, wage ich nicht zu entscheiden, da mir die genaue Auffassung seiner Tonhöhe und seines Verlaufs nicht gelang. Schlug man dagegen etwas *seitwärts* von der Mitte an den Boden, so „klang“ jener hohe singende Ton merklich anders, und zwar unverkennbar *durch Mitklingen* zum Mindesten eines dritten Tons und Schwächerwerden des ersten. Dieser *dritte* (resp. vierte) Ton war dem ersten (hohen) an Deutlichkeit, Klangfarbe und Mangel des Schnarrens oder Schmetterns weit ähnlicher als dem zweiten, und sank auch, gleich jenem, stetig und gleichsam parallel mit ihm zu einem asymptotischen Ausklange herab, lag aber mit diesem Ausklange und in noch höherem Grade mit seinem hohen Einsatze um ein nicht Unbedeutendes und, wie es schien, mit der Stelle des Anklopfens *wechselndes* Intervall *tiefer* als jener erste. War ich z. B. mit dem Anklopfen vom Centrum aus nach der Peripherie allmählig weiter rückend, etwa bis in die Mitte des Halbmessers gelangt, so lag das Ende dieses „dritten“ Tons um eine gute Quinte (oder gar eine Duodecime??), der Anfang desselben aber um ein noch größeres Intervall *tiefer* als bei jenem, und noch immer mit vernehmbarem, nur schwächer gewordenen ersten Ton, der offenbar beim Anschlagen im Centrum ein Maximum der Tonstärke hatte.

Rief man (durch eine der Ritzen des Bodens) in das Innere des Rohrs entweder im *eingestrichenen E* oder in einem ihm sehr nahe liegenden Ton (etwa f' oder es') stark hinein, so *fiel das mehrfache Echo des Rufes ganz weg*: der Ton klang einfach aber stark und anhaltend nach, was mir ziemlich erklärlich schien, da hier das Echo zu der Hauptmasse des ohnehin die Zwischenzeiten ausfüllenden Eigentons der Röhre nichts Neues hinzubringen

vermag. Rief ich in einem *höheren* Ton (viel höher reichte ich freilich auch mit der Fistelstimme nicht!) so trat an die Stelle des wiederholten Echos ein periodisches Anschwellen des Tons im Tempo des Echos; war dagegen der gerufene Ton um mindestens eine Terz oder Quarte tiefer als jenes *e'*, so entstand wiederum, wie beim Anklopfen, mit und neben den hohen singenden Ton das 9 bis 12 fache Echo des (natürlich möglichst kurzen) Rufs.

Die allerdings nicht unerheblichen Abweichungen von dem früher beschriebenen Reflexion in engen Gäschen usw. werden sich ohne Zweifel zumeist aus der rings geschlossenen cylindrischen Form der reflectirenden Fläche erklären lassen. Ich erinnere mich ähnliche Wahrnehmungen, wenn auch von geringerer Vollkommenheit, in den Stollen verschiedener Bergwerke (z. B. in der auch von hier aus öfters besuchten „Goldgrube“ oberhalb Homburg und Oberursel, ferner in einem Stollen bei Weilburg, und einem anderen bei Wetzlar usw.) wiederholt gemacht zu haben. Eine ähnliche Mitwirkung des seitlichen Reflexes aber, wie in dem beschriebenen Rohr, muß wohl, sollte ich denken, in minderer Dimension auch bei den größeren *Orgelpfeifen* vorkommen, und es ist mir, wie ich zum Schlusse bemerken will, in der That zuweilen so vorgekommen als ob beim plötzlichen Intoniren der stark registrirten Kirchenorgel der Ton durch einen *rasch herabsinkenden* höheren Nebenklang verunreinigt, gleichsam getrübt erschien.

