Annalen der Physik

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

NEUE FOLGE.

BAND 69.

ANNALEN
DER
PHYSIK UND CHEMIE.

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH

F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF.

NEUE FOLGE.

BAND 69.

DER GANZEN FOLGE 305. BAND.

UNTER MITWIRKUNG

DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

UND INSBESONDERE VON

M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON

G. UND E. WIEDEMANN.

MIT ACHT FIGURENTAFELN.

LEIPZIG, 1899.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Inhalt.

Neue Folge. Band 69.

Neuntes Heft.

Zehntes Heft.

Elftes Heft.

Ausgegeben am 7. November 1899.

Zwölftes Heft.

Ausgegeben am 15. December 1899.

Nachweis zu den Figurentafeln.

Ausgegeben am 14. September 1899.

1899. № 9.

ANNALEN

DER

PHYSIK UND CHEMIE.

BEGRÜNDET UND FORTGEFÜHRT DURCH

F. A. C. GREN, L. W. GILBERT, J. C. POGGENDORFF.

NEUE FOLGE

BAND 69. HEFT 1.

DER GANZEN FOLGE 305. BANDES 1. HEFT

UNTER MITWIRKUNG

DER DEUTSCHEN PHYSIKALISCHEN GESELLSCHAFT

UND INSBESONDERE VON

M. PLANCK

HERAUSGEGEBEN VON

G. UND E. WIEDEMANN.

MIT VIER TAFELN.

EX·UMBRA·IN·SOLEM

LEIPZIG, 1899.

VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH.

Bestellungen auf die „Annalen" werden von allen Buchhandlungen, von den Postämtern und von der Verlagsbuchhandlung angenommen. Preis für den in 12 Heften (= 3 Bänden) ausgegebenen Jahrgang 42 ℳ.

Inhalt.

---

5. *Ueber die höchsten hörbaren und unhörbaren Töne von $c^5 = 4096$ Schwingungen ($ut_7 = 8192$ v s), bis über f^9 (fa_{11}), zu 90 000 Schwingungen (180 000 v s), nebst Bemerkungen über die Stosstöne ihrer Intervalle, und die durch sie erzeugten Kundt'schen Staubfiguren;*

von Rudolph Koenig.

Die oft citirte Reihe sehr hoher Stimmgabeln, mit der Despretz im Jahre 1848 seine Untersuchungen über die Grenze der Hörbarkeit der höchsten Töne angestellt, war von Marloye angefertigt worden, welcher erklärt[1]), dieselbe von c^6 bis c^7 vermittelst der Schätzung ihrer musikalischen Intervalle mit dem Ohre gestimmt zu haben, und dass er darauf auch noch hätte das Intervall der höheren Octave dieses letzten Tones stimmen können, also c^8(ut_{10} = 65,536 $v\,s$), welcher Ton schon sehr beträchtlich über der mittleren Grenze der Hörbarkeit normal hörender Menschen liegt. Nun ist es allerdings möglich, dass es Menschen geben kann, deren Gehör die angeborene oder durch Uebung erlangte Fähigkeit besitzt, auch noch Töne zu vernehmen und ihre musikalischen Intervalle zu erkennen, die wegen ihrer Höhe für gewöhnliche Ohren nicht mehr existiren, aber leider ist es in solchen Fällen immer so gut wie unmöglich, sich mit Sicherheit davon zu überzeugen, ob diese Fähigkeit bei den betreffenden Personen denn auch wirklich existirt oder nur eingebildet ist. Mein schon aus diesem Grunde nur sehr geringer Glaube an die Richtigkeit der von Marloye hergestellten Töne schwand vollständig, als gleich in den ersten Jahren, nachdem ich 1858 angefangen hatte, mich mit der Anfertigung akustischer Apparate zu beschäftigen, ich mehrfach Gelegenheit hatte, an Musikern die Beobachtung zu machen, dass bei ihnen allen, trotz ihres oft sogar aussergewöhnlich gut ausgebildeten musikalischen Gehörs,

---

1) Marloye, Einleitung zu seinem Catalog von 1851, p. 7.

die Beurtheilung der musikalischen Intervalle immer schon in der oberen Hälfte der Octave von c^4 cis c^5 anfing, erst unsicher und dann vollständig fehlerhaft zu werden. Unter solchen Umständen schien es mir nöthig, dass Töne, welche über $c^5(ut_7)$ hinausliegen, nothwendig entweder durch eine ganz objective Methode hergestellt werden müssten, oder in Ermangelung einer solchen, wenigstens durch eine Methode, bei der das Ohr nichts zu verrichten hätte, was die Fähigkeiten des gewöhnlichen guten Gehörs überschritte, und dass in jedem Falle auch die Richtigkeit ihrer Stimmung sich durch eine dieser Methoden immer müsste mit Sicherheit prüfen lassen, wenn sie in der Wissenschaft wirklich verwerthbar sein sollten. Ich construirte also im Jahre 1874 eine Reihe von Stimmgabeln, welche ich so massiv als möglich wählte, um mit denselben recht starke Differenztöne zu erhalten, vermittelst deren Verwendung ich beim Stimmen bis zu $f^7(fa_9 = 43\,690{,}6\ vs)$ gelangte. Die Zinken dieser letzten Gabel hatten nur noch eine Länge von 14 mm, welche gleich ihrer grössten Dicke war, was denn natürlich zur Folge hatte, dass sie schon allein nur noch schwer in Schwingung versetzt werden konnte, und es noch schwieriger war, ihren Ton zugleich mit dem der nur wenig längeren ihr vorhergehenden Stimmgabel e^7 stark genug für die Erzeugung des Differenztones hervorzulocken. Gabeln mit dünneren Zinken für die gleichen Töne mussten natürlich leichter erregbar ausfallen, dafür wäre aber bei ihnen auch wieder der Ton schwächer geworden, und ich glaubte daher annehmen zu dürfen, dass man auch mit solchen Gabeln vermittelst der angewendeten Stimmmethode nicht viel weiter würde gelangen können. Jedenfalls liess ich es damals bei dieser ersten Stimmgabelreihe bewenden, es schien mir aber interessant, nun auch noch zu zeigen, welche Dimensionen die anderen Tonwerkzeug nach ihren Schwingungsgesetzen berechnet, annehmen müssen, um solch hohe Töne erzeugen zu können, und so stellte ich, ausser einer Reihe von transversalschwingenden Stahlstäben, wie ich eine solche schon 1867 auf der Ausstellung in Paris gezeigt hatte, auch noch Reihen von longitudinalschwingenden Stäben, von Platten und von Orgelpfeifen her, welche ich alle 1876 auf die Ausstellung in Philadelphia schickte, in der Absicht, nach dem Schlusse derselben eine Beschreibung dieser Arbeit zu veröffentlichen. Da erfuhr ich dort in der Ausstellung selbst, dass Preyer kürzlich eine Arbeit[1]) hätte erscheinen lassen, in welcher er über eine Stimmgabelreihe spräche, die bis zum e^8 hinaufreichen sollte, und darauf las ich dann auch selbst in seiner Schrift, dass er über dieselbe sagt (p. 21): „Innerhalb der ganzen Reihe lassen sich sehr deutliche Differenztöne erzeugen, und dadurch wird die Richtigkeit der Tonhöhe der Gabeln bewiesen," und weiter (p. 22): „Da es aber in der grossen Höhe auf einige Schwingungen mehr oder weniger zuerst nicht ankam, so wurden die Differenztöne zum Stimmen benutzt." Hiernach musste man also nothwendig annehmen, dass seine Gabeln wirklich vermittelst der Differenztöne gestimmt waren und folglich nur ganz kleine Fehler haben konnten. Da jedoch diese Resultate Preyer's in vollkommenem Widerspruche mit meinen eigenen Beobachtungen standen, so würde ich nach meiner Heimkehr von Amerika der Sache sofort auf den Grund zu kommen gesucht haben, wenn es mir nicht unmöglich gewesen wäre, dieses zu thun, ohne dabei vor allen Dingen auch die von Preyer angewendete Gabelreihe, oder doch wenigstens eine solche Reihe gleichen Ursprunges einer Prüfung zu unterwerfen, über welche aber den Bericht zu erstatten mir dann voraussichtlich sehr schwer gewesen sein würde, ohne mich dabei, in meiner Eigenschaft als Verfertiger akustischer Apparate, dem Verdachte auszusetzen, vielleicht nicht allein im rein wissenschaftlichen Interesse in dieser Angelegenheit das Wort genommen zu haben. Ich beschloss also, mit allen Mittheilungen über die höchsten Töne zu warten, bis die besagten Stimmgabeln erst einmal von irgend einem anderen Gelehrten, ohne meine Betheiligung dabei, geprüft sein würden, und begleitete vorläufig nur die Anzeige meiner Stimmgabelreihe von c^5 bis f^7 in meinem Catalog von 1882 (Nr. 47) und in dem von 1889 (Nr. 50) mit einer kleinen Notiz, in welcher ich, nach der Beschreibung, wie man die Gabeln zu zweien auf dem Gestelle zu befestigen hätte, sagte: „Schon mit den drei letzten Stimmgabeln über c^7 wird die Hervorbringung und Beobachtung dieser Töne recht schwer,

1) W. Th. Preyer, Die Grenzen der Tonwahrnehmungen.

ich habe daher vorgezogen, die Reihe mit f^7 abzuschliessen, damit man mir nicht den Vorwurf machen könne, in das Reich der Einbildung zu gerathen. Für fast alle Ohren ist übrigens die Grenze der Hörbarkeit mit diesen letzten Tönen nicht nur erreicht, sondern sogar überschritten, und für bejahrte Leute sinkt diese Grenze gewöhnlich bis unter $c^7 =$ 16384 Schwingungen."

Seitdem hat nun aber, wie bekannt, zuerst Melde 1894 nachgewiesen, dass in Stimmgabelreihen gleicher Art und gleichen Ursprunges, als der von Preyer angewendeten, schon c^6 um eine kleine Terz falsch war, bei einem c^7 aber der Fehler sogar eine volle Octave betrug, worauf dann 1897 Stumpf und Meyer in der von Preyer selbst benutzten Serie nicht nur Fehler gleicher Grösse vorfanden, sondern auch noch constatirten, dass die Gabeln in derselben nicht einmal „ununterbrochen in die Höhe gehen", obgleich Preyer (S. 21) noch ganz besonders betont hatte, dass wenn sie von c^4 an der Reihe nach erklingen, er stets „vollkommen deutlich erkennt, dass sie bis zum e^8 immer höher werden". Damit scheint mir der Grund also wohl nun fortgefallen zu sein, aus welchem ich früher Anstand nahm, meine persönlichen Bemerkungen, die ich bei der Beschäftigung mit den höchsten Tönen gemacht, zu veröffentlichen, und so will ich sie nun, aber auch jetzt noch mit Ausschluss jeder Beurtheilung oder Kritik fremder Arbeiten, in Folgendem zugleich mit meinen neuesten Untersuchungen über diesen Gegenstand zusammenstellen, was mir dann auch noch Gelegenheit geben wird, meine früheren Untersuchungen über Stösse und Stosstöne durch die Beobachtung der Stosstöne an Intervallen der höchsten Töne vervollständigen zu können.

I. Ueber die höchsten Töne, welche man durch directes Stimmen herstellen kann.

1. Stimmgabeln von c^5 bis fis^7, vermittelst der Stosstöne gestimmt.

Ehe ich nach der Herstellung der oben erwähnten Reihe sehr massiver Stimmgabeln zur Anfertigung neuer vermittelst der Stosstöne gestimmter Reihen schritt, machte ich zahlreiche Versuche mit Stimmgabeln von sehr verschiedener Masse und auch von sehr verschiedener Form, bei denen sich herausstellte, dass die Gabeln für die höchsten Töne, welche am leichtesten in Schwingung versetzt werden konnten und mit denen sich auch am besten die Stosstöne mit genügender Deutlichkeit erzeugen liessen, bedeutend geringere Masse haben mussten, als die Gabeln der alten Reihe, so dass also z. B. die Gabel für f^7 jetzt nur noch Zinken hat, deren grösste Dicke unten etwa 6 mm und oben 4 mm, bei einer Länge von 12 mm, beträgt. Alle diese neuen Stimmgabelreihen umfassen aber auch wie die alte die Töne der diatonischen Tonleiter von $c^5 (ut_7 = 8192\ v\,s)$ bis $f^7 (fa_9 = 43690{,}6\ v\,s)$. Mit den tiefsten Stimmgabeln derselben bis etwa zum g^5 oder a^5 erhält man noch ohne jede Schwierigkeit ganz leicht zu beobachtende Stosstöne, indem man die betreffenden zwei Gabeln schnell hintereinander anschlägt; über a^5 hinaus klingen die Gabeln aber nicht mehr, nachdem man sie angeschlagen hat, lange genug nach, man ist daher gezwungen, sie durch einen Bogenstrich zu erregen und ihre Töne während desselben zu beobachten. Stosstöne können unter solchen Umständen dann natürlich nur entstehen, wenn zwei Gabeln zu gleicher Zeit angestrichen werden. Für ein solch gleichzeitiges Anstreichen zweier Gabeln bedient man sich am besten eines besonders zu diesem Zwecke hergerichteten schweren Ständers aus Gusseisen, welcher eine Art von doppelter Schraubenpresse trägt, wie Fig. 96 in meinem illustrirten Catalog von 1889 zeigt. Auf diesem Gestelle befestigt man die beiden Stimmgabeln mit ihren Flächen dicht nebeneinander und mit ihren Zinkenenden in gleicher Höhe, man fasst dann den Contrabassbogen mit beiden Händen am Frosch und am Kopfe und stellt dadurch aus ihm einen Doppelbogen her, dass man die beiden Zeigefinger durch die Mitte seines Bezuges steckt, wo man dann mit demselben Bogenstriche über die Enden der Gabeln beide zugleich zum Schwingen bringt. Soll der Bogen nur für diese Experimente dienen, so ist es zweckmässig, etwa ein Fünftel der Haare des Bezuges aus seiner Mitte für das bequemere Durchstecken der Finger herauszuschneiden. Ohne diese Vorsicht, den Bezug des Bogens in der angegebenen Weise in zwei Theile zu theilen, führt beim Anstreichen der Oberfläche der Zinken immer ein Theil der Haare zwischen die beiden Gabeln und verhindert dabei die Entstehung ihrer Schwingungen.

Diese Experimente lassen sich ganz leicht bis etwa zum g^6 ausführen, über diese Grenze hinaus gelingen sie aber immer schwerer, und hat man erst c^7 von 16384 Schwingungen überschritten, so gehört schon eine sehr grosse Uebung und Sicherheit im Anstreichen dazu, noch Stosstöne mit den Gabeln bis f^7 hervorzubringen. Alle meine Versuche aber, auch noch das g^7 auf diese Weise zu erreichen, brachten mich trotz meiner grossen Uebung und auch Geduld nur noch bis in die Mitte zwischen f^7 und g^7, wo die Mühe und Anstrengung, den Stosston noch hervorzubringen, schliesslich so gross wurde, dass ich es aufgab, weiter zu gehen und es auch für $f\sharp^7$ bei der einen Gabel, mit der ich es erreicht, bewenden liess, und in der Folge die Reihe der Gabeln immer schon bei f^7 abbrach.

2. Bemerkungen über die Stosstöne beim Zusammenklange zweier Töne von c^5 bis fis^7.

Ich lasse nun hier die Tabelle folgen, welche sämmtliche Stosstöne enthält, die sich mit allen zwischen diesen Gabeln möglichen Intervallen hervorbringen und beobachten lassen, sodass sie füglich als eine Fortsetzung der von mir früher in meiner Abhandlung „Ueber den Zusammenklang zweier Töne“[1]) gegebenen angesehen werden kann, in welcher ich sämmtliche Stösse und Stosstöne zusammengestellt habe, die sich an Intervallen mit den Grundtönen von Contra $F\,(\underline{fa}_1)$, Gr. $C\,(ut_1)$, Kl. c, c^1, c^2, c^3, c^4 beobachten lassen. In folgender Tabelle (vgl. p. 632 u. 633) für die Intervalle mit den Grundtönen von c^5 bis f^7 habe ich nur eine etwas andere Anordnung gewählt, die mir hier angemessener schien. In dieser enthält die Verticalcolumne links die Grundtöne mit ihren Verhältnisszahlen und Schwingungen, die Horizontalreihe oben die höheren Töne mit ihren Verhältnisszahlen sämmtlicher Intervalle. Die oberen Stosstöne der Intervalle der ersten Periode von 1 : 1 bis 1 : 2 habe ich einfach, die unteren Stosstöne der Intervalle der zweiten Periode von 1 : 2 bis 1 : 3 doppelt in derselben unterstrichen.

1) R. Koenig, Pogg. Ann. **157.** p. 203—215. 1875; Quelques Exp. p. 113—124.

Tabelle der direct beobachteten Stosstöne bei Intervallen mit den Grundtönen von c^5 bis f^7.

	27 d^5 ($ré^7$)	30 e^5 (mi_7)	32 f^5 (fa_7)	36 g^5 (sol_7)	40 a^5 (la_7)	45 h^5 (si_7)	48 c^6 (ut_8)	54 d^6 ($ré_8$)	60 e^6 (mi_8)	64 f^6 (fa_8)	
$24 = c^5$ (ut_7) $= 4006$ *v d*	8:9 $1 = c^2$	4:5 $1 = c^3$	3:4 $1 = f^3$	2:3 $1 = c^4$	3:5 $\underline{1 = f^3}$	—	—	4:9 $\underline{\underline{1 = c^3}}$	—	—	—
$27 = d^5$ ($ré_7$) $= 4608$ *v d*	—	9:10 $1 = c^2$	27:32 $5 = a^2$	3:4 $1 = g^3$	27:40 $13 = 2218{,}6$ $14 = 2389{,}3$	3:5 $\underline{1 = g^3}$	9:16 $\underline{2 = c^3}$	—	9:20 $\underline{\underline{2 = c^3}}$	27:64 $\underline{\underline{10 = a^3}}$	—
$30 = e^5$ (mi_7) $= 5120$ *v d*	—	—	15:16 $1 = f^1$	5:6 $1 = c^3$	3:4 $1 = a^3$	2:3 $1 = e^4$	5:8 $\underline{2 = c^4}$	5:9 $\underline{1 = c^3}$	—	—	—
$32 = f^5$ (fa_7) $= 5461{,}3$ *v d*	—	—	—	8:9 $1 = f^2$	4:5 $1 = f^3$	32:45 $13 = 2218{,}6$	2:3 $1 = f^4$	16:27 $\underline{5 = a^3}$	—	—	—
$36 = g^5$ (sol_7) $= 6144$ *v d*	—	—	—	—	9:10 $1 = f^2$	4:5 $1 = g^3$	3:4 $1 = c^4$	2:3 $1 = g^4$	—	—	—
$40 = a^5$ (la_7) $= 6826$ *v d*	—	—	—	—	—	8:9 $1 = a^2$	5:6 $1 = f^3$	20:27 $7 = 2389{,}3$	—	—	—
$45 = h^5$ (si_7) $= 7680$ *v d*	—	—	—	—	—	—	15:16 $1 = c^2$	5:6 $1 = g^3$	3:4 $1 = e^4$	45:64 $19 = 3242{,}6$	—

	27 d^6 ($ré_8$)	30 e^6 (mi_8)	32 f^6 (fa_8)	36 g^6 (sol_8)	40 a^6 (la_8)	45 h^6 (si_8)	48 c^7 (ut_9)	54 d^7 ($ré_9$)	60 e^7 (mi_9)	64 f^7 (fa_9)	22993 *v d*
$24 = c^6 (ut_8) = 8192$ *v d*	8:9 $1 = c^3$	4:5 $1 = c^4$	3:4 $1 = f^4$	—	—	—	—	—	—	—	—
$27 = d^6 (ré_8) = 9216$ *v d*	—	9:10 $1 = c^3$	27:32 $5 = a^3$	3:4 $1 = g^4$	—	—	—	—	—	—	—
$30 = e^6 (mi_8) = 10240$ *v d*	—	—	15:16 $1 = f^3$	5:6 $1 = g^4$	(3:4 $1 = a^4$)	—	—	—	—	—	—
$32 = f^6 (fa_8) = 10922{,}6$ *v d*	—	—	—	8:9 $1 = f^3$	4:5 $1 = f^4$	—	—	—	—	—	—
$36 = g^6 (sol_8) = 12288$ *v d*	—	—	—	—	9:10 $1 = f^3$	4:5 $1 = g^4$	(3:4 $1 = c^5$)	—	—	—	—
$40 = a^6 (la_8) = 13653{,}3$ *v d*	—	—	—	—	—	8:9 $1 = a^3$	5:6 $1 = f^4$	20:27 $7 = 4778{,}6$	—	—	—
$45 = h^6 (si_8) = 15360$ *v d*	—	—	—	—	—	—	(15:16 $1 = c^3$)	5:6 $1 = g^4$	—	—	—
$48 = c^7 (ut_9) = 16384$ *v d*	—	—	—	—	—	—	—	8:9 $1 = c^4$	(4:5 $1 = c^5$)	—	—
$54 = d^7 (ré_9) = 18432$ *v d*	—	—	—	—	—	—	—	—	9:10 $1 = c^4$	27:32 $5 = a^4$	—
$60 = e^7 (mi_9) = 20480$ *v d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	15:16 $1 = f^3$	—
$64 = f^7 (fa_9) = 21845{,}3$ *v d*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1148 *v d*

Ein Blick auf diese Tabelle lässt sofort erkennen, dass die Intervallweite, bis zu welcher sich Stosstöne beobachten lassen, mit der Höhe des Grundtones immer kleiner wird, sodass sie, die für den Grundton c^5 noch bis über eine None reicht, für c^6 nur noch eine Quarte, für c^7 gar nur noch etwas über einen ganzen Ton, und für e^7 und f^7 bloss noch einen halben beträgt. Es ist hiernach sehr möglich, dass die grosse, ja sogar unüberwindliche Schwierigkeit, auf welche ich bei meinen Versuchen noch über das oben erwähnte fis^7 hinaus weiterzustimmen, gestossen war, zum Theil auch darin seinen Grund gehabt haben wird, dass das Intervall 15 : 16 für den Grundton f^7 schon die grösste Weite besass, bei welcher sich hier überhaupt noch ein Stosston bilden konnte, und dass es also vielleicht möglich wäre, wenn man mit dem erhaltenen fis^7 als Grundton, eine andere Stimmgabel noch höher zu stimmen versuchte, um mit dieser zuerst zwischen fis^7 und g^7 zu gelangen, und darauf die auf solche Weise gewonnene Gabel dann wieder als Grundton benutzte, dann mit einer dritten Gabel schliesslich das g^7 noch zu erreichen. Eine solche Arbeit würde aber immerhin so schwierig auszuführen sein, dass sie wohl kaum die Mühe lohnen dürfte, besonders da sich ein gleiches Resultat, wie man weiterhin sehen wird, jetzt auf weit einfachere Weise erreichen und sogar weit übertreffen lässt.

Dass die Intervallweite, in deren Grenzen Stosstöne überhaupt hörbar sind, mit der Höhe der Grundtöne so beträchtlich abnimmt, ist jedenfalls höchst bemerkenswerth. Man begreift in der That nicht, warum z. B. g^6 mit d^6 (3 : 4), ganz vortrefflich den Ton $1 = g^4$ giebt, aber mit c^6 (2 : 3), keine Spur von einem Stosston hören lässt. Es lässt sich dieses weder dadurch erklären, dass etwa das Intervall 3 : 4 als ein kleineres besser hörbar sein sollte als die Quinte, da ja in allen tieferen Lagen gerade der Stosston der Quinte, als aus dem oberen und unteren Stosston zugleich bestehend, ganz besonders stark zu sein pflegt, noch lässt sich der Grund davon in dem Umstande finden, dass die Intensität der sehr hohen Stimmgabeltöne mit ihrer Höhe schnell bis zu Null abnimmt, denn die Intensität von g^6 bleibt in den beiden angegebenen Fällen dieselbe, während von den Grundtönen aber gerade c^6 stärker ist als d^6.

Eine ganz genaue Grenze der Intervallweite für einen gegebenen Grundton wird sich natürlich darum nie mit Bestimmtheit angeben lassen, weil dieselbe zwar hauptsächlich, aber doch nicht nur allein von der Tonhöhe des Grundtones abhängt, und auch die Intensität der primären Töne und das mehr oder weniger empfindliche Gehör des Beobachters nicht ohne Einfluss auf sie sind, aber die von mir mit den von

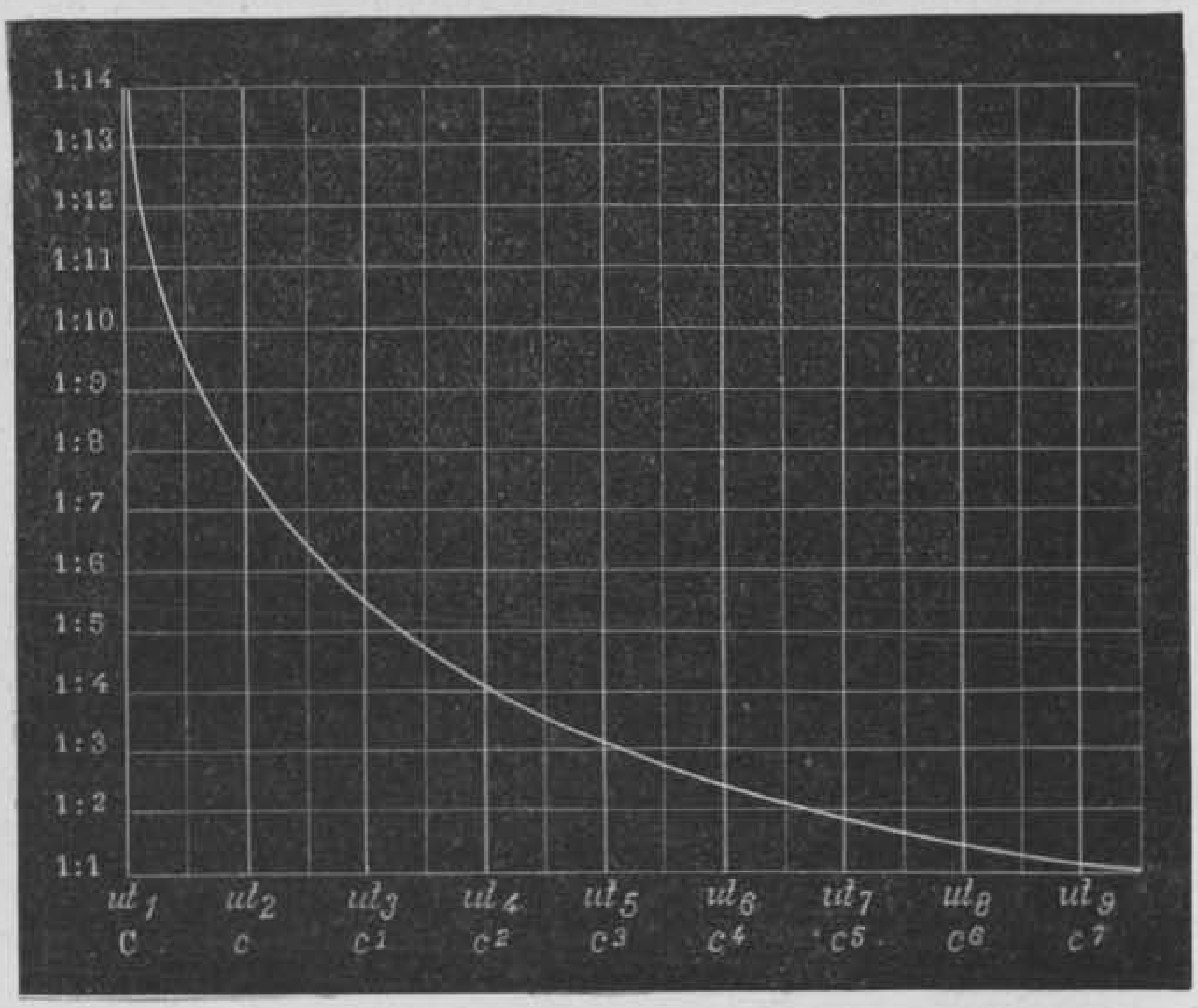

Fig. 1.

mir angewendeten Tönen erhaltenen Resultate lassen sich für die Grundtöne der neun Octaven Gr. C bis c^7 sehr annähernd genau durch die Fig. 1 gegebene Curve darstellen, wovon man sich durch eine Vergleichung mit den in den beiden Tabellen zusammengestellten Experimenten überzeugen kann. In dieser Figur sind auf der Abscissenlinie in gleichen Abständen voneinander die Grundtöne in Octaven aufgetragen, und ist die Weite der Intervalle seitlich neben der Ordinate der Intervallweite des Grundtones Gr. C (ut_1), verzeichnet.

Eine zu grosse Enge des Intervalles ist der Hörbarkeit der Stosstöne ebenfalls nicht besonders günstig. So hört man bei $h^6 c^6 (15:16)$ zwar den Ton $1 = c^2$ noch recht gut, doch bringt man ihn nur noch mit sehr starkem Anstreichen der Gabeln heraus, und bei $h^6 : c^7 (15:16)$ ist der Ton $1 = c^3$ schon so schwach, dass man ihn kaum mehr vernehmen kann. Eine ganz besonders merkwürdige Thatsache ist aber jedenfalls die, dass Stosstöne, welche in eine Gegend der Scala fallen, in der das Ohr meistens Töne zu hören gut gewöhnt ist, auch dann noch von solchen Personen vernommen werden können, für welche die sie hervorbringenden primären Töne selbst schon über der Grenze der Hörbarkeit liegen.

Als ich im Jahre 1874 die erste Reihe Stimmgabeln von c^5 bis f^7 stimmte, welche ich 1876 in Philadelphia ausstellte, und dann gegen 1880 eine neue, über welche ich in meinem Katalog von 1882 unter Nr. 47 eine kurze Notiz gab, hörte ich noch alle Töne, mit welchen ich arbeitete. Im Jahre 1890, als ich neue Gabelreihen herzustellen hatte, bemerkte ich, dass f^7 mir ganz unhörbar geworden war und ich auch e^7 nur noch mitunter, etwa bei aussergewöhnlich gut gelungenem Bogenstriche, oder auch, wenn meine Ohren in einem besonders guten Zustande sein mochten, wirklich gut hörte. Jetzt endlich in meinem 67. Jahre, geht es mir mit dem d^7 schon ebenso wie vor zehn Jahren mit dem e^7, welches ich nun gar nicht mehr vernehmen kann, dieses hat mich jedoch nie gehindert, und hindert mich auch jetzt noch nicht, mit Sicherheit bis zum f^7 meine Gabeln vermittels der Stosstöne genau stimmen zu können. Auch ist es den verschiedenen Gelehrten, vor welchen ich im Laufe der letzten Jahre Gelegenheit hatte, diese Experimente zu wiederholen, ausnahmslos ohne grosse Mühe immer gelungen, die Stosstöne zu hören, welche vermittelst der Gabeln von c^7 bis f^7 erzeugt wurden, obgleich nicht einer von ihnen die Töne selbst alle bis zum f^7 hinauf hören konnte und die Grenze ihrer Hörfähigkeit mitunter kaum viel über c^7 zu liegen schien. Auch konnte in allen diesen Fällen von einer etwaigen Illusion keine Rede sein, da die betreffenden Hörer die von ihnen vernommenen Töne unter den Hülfsgabeln immer selbst herausfanden. Das auffallendste Hören von Stosstönen, deren primäre Töne nicht vernommen wurden, hatte ich aber Gelegenheit an einem

Musiker zu beobachten. Er stand noch in den besten Mannesjahren und hatte ein sonst so gut ausgebildetes musikalisches Gehör, dass er alle Stosstöne, welche ich ihn bei Intervallen, die sowohl mit den tiefsten wie mit den allerhöchsten Stimmgabeln der ganzen Reihe gebildet waren, hören liess, immer ohne die geringste Unsicherheit und ohne jedes Zögern sofort richtig erkannte und auch mit den entsprechenden Hülfsgabeln angeben konnte, die Töne der Gabeln selbst hörte er aber nur bis a^6, und schon h^6 existirte für ihn nicht mehr, sodass die Grenze seiner Hörfähigkeit also zwischen a^6 und h^6, und somit eine ganze Quinte tiefer lag als die höchsten Töne des Intervalles $e^7:f^7$, dessen Stosston er noch ohne jede Schwierigkeit hören und erkennen konnte. Ich erfuhr später, dass er einige Zeit vorher, ehe ich ihn kennen lernte, eine lange, schwere Krankheit durchzumachen gehabt hätte, und vielleicht mag diese bei ihm ein Sinken der Hörgrenze für die höchsten Töne zur Folge gehabt haben.

Unter allen Stosstönen in obiger Tabelle befinden sich nur drei, welche der Gattung der unteren Stosstöne der zweiten Periode angehören und bei den Intervallen $c^5:d^6$ (4 : 9), $d^5:e^6$ (9 : 20) und $d^5:f^6$ (27 : 64) vernommen werden, dass man zwei dieser Töne bei Intervallen mit dem Grundton d^5 erhält und nur einen mit dem von c^5, hat seinen Grund offenbar darin, dass von $c^5:d^6$ bis zu $c^5:e^6$ die Intervallweite gleich um eine ganze Tonstufe zunimmt, dagegen aber von $d^5:e^6$ bis zu $d^5:f^6$ nur um einen halben Ton, sodass die äusserste Grenze der Intervallweite, bis zu welcher sich noch ein Resultat aus Zusammenklängen mit den Grundtönen c^5 und d^5 erhalten lässt, zwischen 4 : 9 und 2 : 5 fällt.

Obere Stosstöne der Intervalle der ersten Periode von 1 : 1 bis 1 : 2 findet man in der Tabelle sechs bei den Zusammenklängen $c^5:a^5$, $d^5:h^5$, $d^5:c^6$, $e^5:c^6$, $e^5:d^6$ und $f^5:d^6$. Auch bei den drei ersten dieser Stosstöne bemerkt man wieder, dass aus dem gleichen Grunde wie bei den vorher erwähnten, man mit dem Grundtone c^5 nur einen einzigen oberen Stosston bei $c^5:a^5$ (3 : 5) erhält, dass ein solcher sich aber nicht mehr bei der Erweiterung dieses Intervalles um einen ganzen Ton, von $c^5:a^5$ bis zu $c^5:h^5$ (8 : 15), hören lässt, während man mit dem Grundtone d^5 das Intervall $d^5:h^5$ (3 : 5), um einen halben

Ton bis zu $d^5:c^6 (9:16)$ erweitern kann, ohne dass sein Stosston verschwindet. Die Hörbarkeit der oberen Stosstöne der ersten Periode zeigt sich also ebenso wie die der unteren Stosstöne der zweiten Periode durchaus abhängig von dem directen Abstande des höheren Tones vom Grundtone, wogegen seine Stellung zum ersten harmonischen Tone des Grundtones ganz gleichgültig zu sein scheint, denn der untere Stosston der zweiten Periode verschwindet, wenn sich der höhere Ton des Intervalles $c^5:d^6$ um einen ganzen Ton, statt nur um einen halben von der Octave des Grundtones entfernt, während der obere Stosston der ersten Periode des Intervalles $c^5:a^5$ aufhört, hörbar zu sein, wenn sich der höhere Ton dieser Octave des Grundtones gerade um einen ganzen Ton nähert, statt nur um einen halben.

Eine besondere Aufmerksamkeit verdient bei den oberen Stosstönen der ersten Periode auch noch das sehr starke und alleinige Auftreten derselben bei den Intervallen $3:5$, $c^5:a^5$ und $d^5:h^5$. In der That, bei dem gleichen Intervalle $3:5$, mit den Grundtönen c^1, c^2, c^3 gebildet, ist bei $c^1:a^1$ der untere Stosston, $2=f$, weit stärker als der obere, $1=F$, der sich direct noch kaum vernehmen lässt. Bei $c^2:a^2$, $c^3:a^3$ gleicht sich die Intensität der beiden Töne dann aber mehr und mehr aus, bis diese bei $c^4:a^4$ schliesslich gleich stark geworden sind, bei $c^5:a^5$ endlich ist dann aber der untere Stosston $2=f^4$ nicht nur schwächer gegen den oberen geworden, sondern sogar schon so vollständig verschwunden, dass man keine Spur mehr von ihm hört, und allein nur noch den oberen Stosston $1=f^3$, und zwar dieses f^3 ganz ebenso stark als bei der Quarte $c^5:f^5 (3:4)$, wo es ebenfalls allein, aber als unterer Stosston auftritt.

Alle anderen beobachteten Stosstöne in der Tabelle gehören der Klasse der unteren Stosstöne der ersten Periode an, welche ihrer Schwingungszahl nach also mit den Differenztönen zusammenfallen, und sie sind es auch, welche man nur allein als Hülfsmittel beim Stimmen der höchsten Töne zu verwenden hat, wobei man dann immer hauptsächlich solche Intervalle wird zu wählen haben, deren höherer Ton so viel als möglich in die Mitte der Intervallweite fällt, in welcher für den gegebenen Grundton sich Stosstöne überhaupt beobachten lassen, weil man diese unter solchen Umständen dann am stärksten und deutlichsten hörbar erhält.

Nach der Erfüllung der Bedingung, die Stosstöne nur überhaupt erst deutlich hervorzubringen, ist dann das Wichtigste, ihre Tonhöhe genau bestimmen zu können, da hiervon auch die Genauigkeit abhängt, welche sich beim Stimmen mit ihrer Hülfe erreichen lässt. Werden Stosstöne durch tiefere, lange anhaltende Töne erzeugt, und haben dann auch selbst eine längere Dauer, so existirt keine Schwierigkeit, ihre Tonhöhe vermittelst der Stösse mit Hülfsgabeln, deren Schwingungszahlen bekannt sind, ganz ebenso genau zu bestimmen, als die eines primären Tones von gleicher Schwingungsdauer; aber wenn schon die primären Töne, durch welche sie hervorgebracht werden, wie die der sehr hohen Stimmgabeln, nur noch während der ganz kurzen Zeit eines Doppelbogenstriches existiren, so hat auch das Erklingen der Stosstöne dann eine so kurze Dauer, dass es so zu sagen nur dem momentanen Aufleuchten eines Lichtblitzes gleicht, und es somit unmöglich sein würde, die Methode der Stösse bei ihrer Vergleichung mit Hülfstönen zur Verwendung zu bringen, es bleibt also unter solchen Umständen dann kein anderes Mittel übrig, als die Uebereinstimmung der Stosstöne mit den Hülfstönen vermittelst des musikalischen Gehörs abzuschätzen. Ich habe gefunden, dass eine solche Schätzung dadurch sehr erleichtert wird, dass man mit passenden kleinen Stimmgabeln die Hülfstöne ebenso kurz und schnell abgebrochen mehrmals hintereinander hervorbringt, wie die Stosstöne unter einer Reihe aufeinanderfolgender Doppelbogenstriche sich hören lassen. Auch kann man dem Ohre noch dadurch zu Hülfe kommen, dass man den betreffenden Stosston abwechselnd mit einem etwas zu hohen und einem etwas zu tiefen Hülfston vergleicht, und ferner ist es zweckmässig, für einen zu stimmenden Ton sich nie nur mit der Bestimmung des Stosstones von einem einzigen Intervall zu begnügen, sondern vielmehr immer, so weit dieses angeht, mit dem gleichen Tone die Stosstöne mehrerer Intervalle zu erzeugen und dann zu bestimmen, wodurch man besonders verhütet, dass die etwa begangenen Fehler bei den aufeinander folgenden Gabeln der Reihe sich summiren könnten. Aber trotz aller angewendeten Sorgfalt bleibt die Anwendung des musikalischen Gehörs natürlich doch immer eine Quelle von Fehlern, die schon störend werden könnten, wenn nicht ein bei der Schätzung der Tonhöhe des Stosstones begangener Fehler immer nur einer weit geringeren Ungenauigkeit des Intervalles der ihn hervorbringenden Töne entspräche, wie man aus folgendem Beispiel erkennen kann. Bei dem Intervalle der Secunde $8:9$ ist der Stosston $= 1$, erweitert man diese Secunde aber allmählich, indem man ihren höheren Ton bis zur Terz $8:10$ erhöht, so wird der Stosston schliesslich $= 2$, sodass also während der Erweiterung des Intervalles um nur einen Ton er selbst eine ganze Octave durchlaufen hat, woraus hervorgeht, dass, wenn man beim Stimmen der Intervalle zwischen $8:9$ und $8:10$ in der Schätzung des Stosstones einen kleinen Irrthum beginge, dieses nur einen sechs Mal kleineren Fehler bei den Intervallen zur Folge haben möchte. Wie gering darum auch in Wirklichkeit diese Fehler ausfallen, davon kann man sich durch folgende einfache Experimente mit einigen Stimmgabeln aus der Reihe selbst Rechenschaft geben.

Das Intervall $a^5:d^6$ ist, bloss nach den Noten gerechnet, eine Quarte, und wenn diese rein wäre, so müsste sie bei $3:4$ den Stosston d^4 hören lassen, wie d^6 wirklich genau mit c^6 $(8:9)$ den Stosston $1 = c^3$, und mit h^5 $(5:6)$ den Stosston $1 = g^4$ giebt, da es sich hier aber um Töne der auf den Grundton c etablirten diatonischen Tonleiter handelt, so ist das Verhältniss von $a^5:d^6$ in Wirklichkeit $20:27$, und also um ein Komma, $80:81$, weiter, als das reine Quartenintervall $3:4$; diese kleine Abweichung lässt aber schon einen so beträchtlichen Unterschied zwischen dem Stosstone dieses gestörten Intervalles und dem Hülfstöne d^4 hören, dass man offenbar noch weit geringere Abweichungen von der Reinheit des Intervalles $3:4$ würde sofort bemerken können, als die um ein Komma. — Man kann das gleiche Experiment auch mit den Tönen a^6, h^6, c^7 und d^7 machen, aber in diesem Falle befindet sich der Stosston von $a^6:d^7$ schon an der Grenze seiner Hörbarkeit und ist nur noch schwer zu erhalten.

Aus den vorstehenden Erörterungen geht also hervor, dass man vermittelst der Stosstöne Stimmgabeln, welche gut gearbeitet sind, um ihr Maximum von Intensität zu geben, sehr wohl mit grosser Genauigkeit bis zum f^7 und selbst bis zum fis^7 stimmen kann, und dass sich auch die Richtigkeit ihrer Stimmung immer mit einigen Doppelbogenstrichen sofort nachweisen lässt, aber diese Stimmmethode hat darum doch den Nachtheil, dass sie nicht gestattet, einen einzelnen bestimmten Ton direct, ohne eine mehr oder weniger grosse Anzahl von Zwischengabeln herzustellen, welche so zu sagen die Brücke bilden müssen, über welche man erst zu ihm gelangen kann, indem man von c^5 ausgeht, einem Tone, für den sich noch Stimmgabeln herstellen lassen, welche eine genügend lange Schwingungsdauer und auch genügend grosse Schwingungsamplituden haben, um vermittelst der optischen und akustischen Präcisionsmethoden noch direct mit den Schwingungen der Normalstimmgabel von $c^1 = 512\,v\,s$ bei 20° Cels. in genaue Uebereinstimmung gebracht werden zu können. Es soll daher im nächsten Abschnitt nun eine Methode besprochen werden, welche, ohne jede Mitwirkung des Ohres, die directe Herstellung jedes beliebigen Tones bis weit über die Grenze der Hörbarkeit hinaus gestattet.

3. Stimmgabeln von c^5 bis über f^9 zu 90000 Schwingungen, vermittelst der Kundt'schen Staubfiguren gestimmt.

Bekanntlich hat Lord Rayleigh [1]) gezeigt, wie man die Wellenlänge eines hohen Tones erhalten könne, indem man in einiger Entfernung von der Tonquelle den Ton von einer Glasplatte reflectiren lässt, und in den auf diese Weise zwischen der Tonquelle und der reflectirenden Fläche erzeugten stehenden Wellen die Stellen der aufeinanderfolgenden Knoten und Bäuche vermittelst einer sensitiven freien Flamme unter starkem Drucke bestimmt, welche in ersteren ihre grösste Ruhe, in den letzteren aber die grösste Bewegung zeigt. Diese Methode scheint mir jedoch für die Töne der elastischen festen Körper, wie die der Stimmgabeln, Stäbe etc., sehr schwer anwendbar, besonders weil diese alle immer nur von einer sehr kurzen Dauer sind, und ich glaube daher vielmehr, in der Methode der Staubfiguren von Kundt das eigentlich beste, einfachste und bequemste Mittel sehen zu müssen, vermittelst dessen

1) Lord Rayleigh, Phil. Mag. **7.** p. 153. 1879; Rayleigh Sound, second edition **2.** p. 403. 1896.

sich die Wellenlänge sehr hoher Töne, und somit also auch ihre Schwingungszahl, mit grösster Genauigkeit ermitteln lässt.

Während einiger Versuche, welche ich im vorigen Sommer anstellte, um die mechanische Wirkung zweier gleich hoher und für das Ohr ungefähr gleich starker Töne zu prüfen, von denen einer durch longitudinale, der andere durch transversale Schwingungen erzeugt wurde, war es mir aufgefallen, wie sehr leicht und mit welcher Schärfe die Staubfiguren von Kundt unter gewissen Bedingungen durch starke, sehr hohe Stimmgabeln, wie ich sie für die Beobachtung der Stosstöne construire[1]), in Röhren hervorgerufen wurden; und so fing ich an zu untersuchen, bis zu welcher Höhe auch die Stimmgabeln einer Reihe für die höchsten Töne, wie ich sie im Vorhergehenden beschrieben, der gleichen Wirkung fähig sein möchten, weil dann die Staubfiguren in Röhren, welche die halben Wellenlängen der Töne sichtbar darstellen, bis zu dieser Höhe hin als höchst bequemes, von den Leistungen des Ohres vollständig unabhängiges Mittel zum Stimmen der Stimmgabeln mussten verwendet werden können. Gleich bei meinen ersten Versuchen hatte ich fast ohne jede Mühe die Staubwellen mit allen Stimmgabeln für die Töne von c^5 bis c^7 erhalten, und als ich darauf nach einer Unterbrechung diese Experimente wieder aufnahm, konnte ich auch mit den Tönen von c^7 bis f^7 noch ebenso gute Staubfiguren erzeugen, wie auch ferner noch mit der kleinen oben erwähnten Stimmgabel für den höchsten Ton, welchen ich überhaupt, und nur einmal, vermittelst der Stosstöne gestimmt, und mit der ich etwa die Mitte zwischen f^7 und g^7 erreicht zu haben meinte. Diese bildete in einer Röhre von 6 mm Durchmesser, Halbwellen von ungefähr 7,45 mm Länge.

Nimmt man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft bei der Temperatur von 0° zu 330,60 m an und die Zunahme dieser Geschwindigkeit für 1° Cels. zu 0,60 m, so erhält man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft bei 20° Cels. = 342,60 m, welchen Werth ich bei allen folgenden Tonhöhebestimmungen durch die Länge der Halbwellen immer zu Grunde gelegt habe. Die Schwingungszahl der kleinen Gabel war hiernach also gleich

1) Catal. Nr. 201. 1889.

342600/7,45 = 45986,5 *v s*, und fiel somit auch wirklich gerade zwischen *fis*^{7} (43690,4 *v s*) und *ges*^{7} (47185,6 *v s*).

Bis hierher hatte es sich immer nur noch um Schwingungen und Tonhöhen gehandelt, die auch schon auf anderem Wege nachgewiesen worden waren, jetzt aber versuchte ich denn auch zwei winzige kleine Stimmgabeln, welche sich unter den zahlreichen anderen befanden, die ich für die Versuche, um die beste Stimmgabelform für sehr hohe Töne zu ermitteln, früher angefertigt hatte. Diese kleinen Stimmgabeln, deren nach oben zu verjüngte Zinken bei einer Länge von 9 und 8,5 mm, unten nur eine Dicke von etwa 3 mm und oben von 1,75 mm hatten, waren noch nie weder direct vernommen worden, noch hatten sie jemals einen Stosston miteinander oder mit anderen Tönen zusammen hören lassen, aber ein Bogenstrich reichte bei jeder von ihnen hin, sofort die Staubwellen in der ganzen Länge der Röhre von 6 mm Durchmesser hervorzubringen, welche für die eine 8,55 mm, für die andere 8,2 mm lang waren, sodass ihre Töne demnach entsprechend zwischen *d*^{7} und *e*^{7} und zwischen *e*^{7} und *f*^{7} fielen, und ich also aus ihnen sofort ein genau gestimmtes *e*^{7} und ein *f*^{7} herstellen konnte. Diese Gabeln entsprechen also, wegen der geringen Dicke ihrer Zinken, Tönen, welche ich an starken, für die Erzeugung der Stosstöne gefertigten Gabeln früher noch direct gehört, und deren Stosstöne ich auch jetzt noch vollständig gut vernehme, und wenn sie mir, wie auch anderen Beobachtern immer vollständig stumm geblieben waren, so zeigt dieses, welche grosse Rolle die Intensität bei sehr hohen Tönen in Bezug auf ihre Hörbarkeit spielt, und dass Stimmgabeln, welche für die Hervorbringung der Stosstöne genügend stark gefertigt sind, zwar auch immer vortrefflich für die Erzeugung der Staubwellen dienen können, dass aber weniger massive Stimmgabeln für dieselben Töne, selbst wenn sie vollkommen gute Staubwellen erzeugen, darum noch keineswegs immer auch hörbare Stosstöne hervorzubringen im Stande sein werden.

Es galt nun zu ermitteln, bis zu welcher Höhe vermittelst dieser Methode der Staubfiguren sich noch würden Stimmgabeln mit genau bestimmten Schwingungszahlen herstellen lassen. Ein vorläufiger Versuch mit einer alten etwas rohen Stimmgabel, deren parallele Zinken von unten bis oben eine gleiche Dicke von etwa 3 mm hatten, aber im Verhältniss zu ihrer Länge offenbar zu weit voneinander abstanden, brachte mich bei der Verkürzung ihrer Länge nur bis in die Nähe von h^7, mit Stimmgabeln aber, die ich darauf in passender Form für diese Experimente gefertigt hatte, gelang es mir schliesslich, sämmtliche Töne der diatonischen Tonleiter von g^7 (sol_9) bis f^9 ($fa_{11} = 174762{,}6$ v s) herzustellen, allerdings nicht ohne grosse Mühe, denn von c^8 ab wurde mir schon jeder nächst höhere Ton immer schwerer und schwerer zu erreichen. Es ist wahr, dass, wenn ich ihn erst erlangt und darauf mit ihm mehrfach Staubfiguren erzeugt hatte, es mir dann immer bald viel leichter wurde, solche von Neuem mit ihm zu erhalten. Mit den Tönen e^9 und f^9 ist es mir auch jetzt noch mitunter schwer, ihre Staubwellen hervorzubringen, wenn sie jedoch plötzlich hervorspringen, sind sie stets noch so bestimmt gezeichnet, dass mit diesen Tönen die möglichst höchste Grenze noch nicht erreicht zu sein scheint, und dass ich daher hoffte, vielleicht noch die runde Zahl von 100000 Schwingungen, welche nur noch um weniger als eine kleine Terz höher als f^9 ist, erreichen zu können. Dieses gelang mir jedoch nicht. Nachdem ich eine Schwingungszahl mit einer nur sehr wenig kürzeren Halbwellenlänge als 1,9033 mm erreicht, welche letztere genau 90000 Schwingungen entspricht, war es mir nicht mehr möglich, noch weitere Staubwellen hervorzurufen. Da die Länge der Zinken der höchsten Gabeln, im Verhältniss zur Breite der Spalte zwischen ihnen, schliesslich sehr gering geworden war, so glaubte ich, dass Gabeln für die gleichen Töne mit schmaleren Spalten vielleicht noch eine etwas grössere Schwingungsfähigkeit besitzen würden, und construirte also für diese noch eine neue Reihe von Gabeln, bei welchen die Spalten für c^9 und d^9 1,5 mm, für e^9 und f^9 1,0 mm, und bei zwei Gabeln für die etwa über f^9 hinaus zu erreichenden Töne nur 0,5 mm Breite hatten, aber auch mit diesen konnte ich nicht weiter vordringen und sah mich also gezwungen, schliesslich bei den erreichten 90000 Schwingungen die ganze Stimmgabelreihe bis auf weiteres abzubrechen.

Die Töne über c^5 hinaus, welche man hiernach mit sehr genauer Stimmung jetzt herstellen kann, erstrecken sich also über vier und eine halbe Octave, und man könnte sie füglich in drei Gruppen eintheilen, nämlich in die der durchaus hörbaren Töne von c^5 bis c^7, in die der Töne von c^7 bis c^8, zwischen welchen die Grenze ihrer Hörbarkeit bei verschiedenen Personen und bei Personen verschiedenen Alters schwankt, und endlich in die der durchaus unhörbaren Töne von c^8 bis $f^9 + 2618{,}6 = 90000$ Schwingungen, und was sich über diesen letzten Ton hinaus noch etwa sollte erreichen lassen.

Ich gebe hier folgend die Tabelle sämmtlicher von mir hergestellter Töne der letzten beiden Gruppen von c^7 bis zu 90000 Schwingungen, mit den Längen ihrer Halbwellen in der Luft bei der Temperatur von 20° cent. ($L/2$), der Schallgeschwindigkeit von 342,60 m und ihren Schwingungszahlen in einfachen Schwingungen ($v\,s$) und in Doppelschwingungen ($v\,d$).

Tabelle der Stimmgabeln für die Töne von c^7 bis zu 90000 Schwingungen mit den Längen ihrer Halbwellen und ihren Schwingungszahlen.

c^7 (ut_9)	$L/2$ =	10,4553 mm	32768	$v\,s$	16384	$v\,d$
d^7 ($ré_9$)	$L/2$ =	9,2936	36864	$v\,s$	18432	$v\,d$
e^7 (mi_9)	$L/2$ =	8,3642	40960	$v\,s$	20480	$v\,d$
f^7 (fa_9)	$L/2$ =	7,8418	43690,6	$v\,s$	21845,3	$v\,d$
g^7 (sol_9)	$L/2$ =	6,9702	49152	$v\,s$	24576	$v\,d$
a^7 (la_9)	$L/2$ =	6,2732	54613	$v\,s$	27306,6	$v\,d$
h^7 (si_9)	$L/2$ =	5,5761	61440	$v\,s$	30720	$v\,d$
c^8 (ut_{10})	$L/2$ =	5,2276	65536	$v\,s$	32768	$v\,d$
d^8 ($ré_{10}$)	$L/2$ =	4,6468	73728	$v\,s$	36864	$v\,d$
e^8 (mi_{10})	$L/2$ =	4,1821	81920	$v\,s$	40960	$v\,d$
f^8 (fa_{10})	$L/2$ =	3,9207	87381,3	$v\,s$	43690,6	$v\,d$
g^8 (sol_{10})	$L/2$ =	3,4851	98304	$v\,s$	49152	$v\,d$
a^8 (la_{10})	$L/2$ =	3,1366	109226,6	$v\,s$	54613,3	$v\,d$
h^8 (si_{10})	$L/2$ =	2,7880	122880	$v\,s$	61440	$v\,d$
c^9 (ut_{11})	$L/2$ =	2,6138	131072	$v\,s$	65536	$v\,d$
d^9 ($ré_{11}$)	$L/2$ =	2,3234	147456	$v\,s$	73728	$v\,d$
e^9 (mi_{11})	$L/2$ =	2,0911	163840	$v\,s$	81920	$v\,d$
f^9 (fa_{11})	$L/2$ =	1,9604	174762,6	$v\,s$	87381,3	$v\,d$
		1,9033	180000	$v\,s$	90000	$v\,d$

Fig. 2 zeigt die Staubfiguren der Töne c^5, c^6, e^6, g^6, c^7, Figg. 3, 4, 5 die der Töne von c^7 bis c^8, von c^8 bis c^9 und von c^9 bis f^9, nebst drei mit der Stimmgabel von 90000 Schwingungen erhaltenen Figuren, in fast genau natürlicher Grösse.

Die Glasröhren waren mit einem ihrer Enden in Rinnen, unter federnden Stahllamellen, auf einem Brette befestigt, das sie

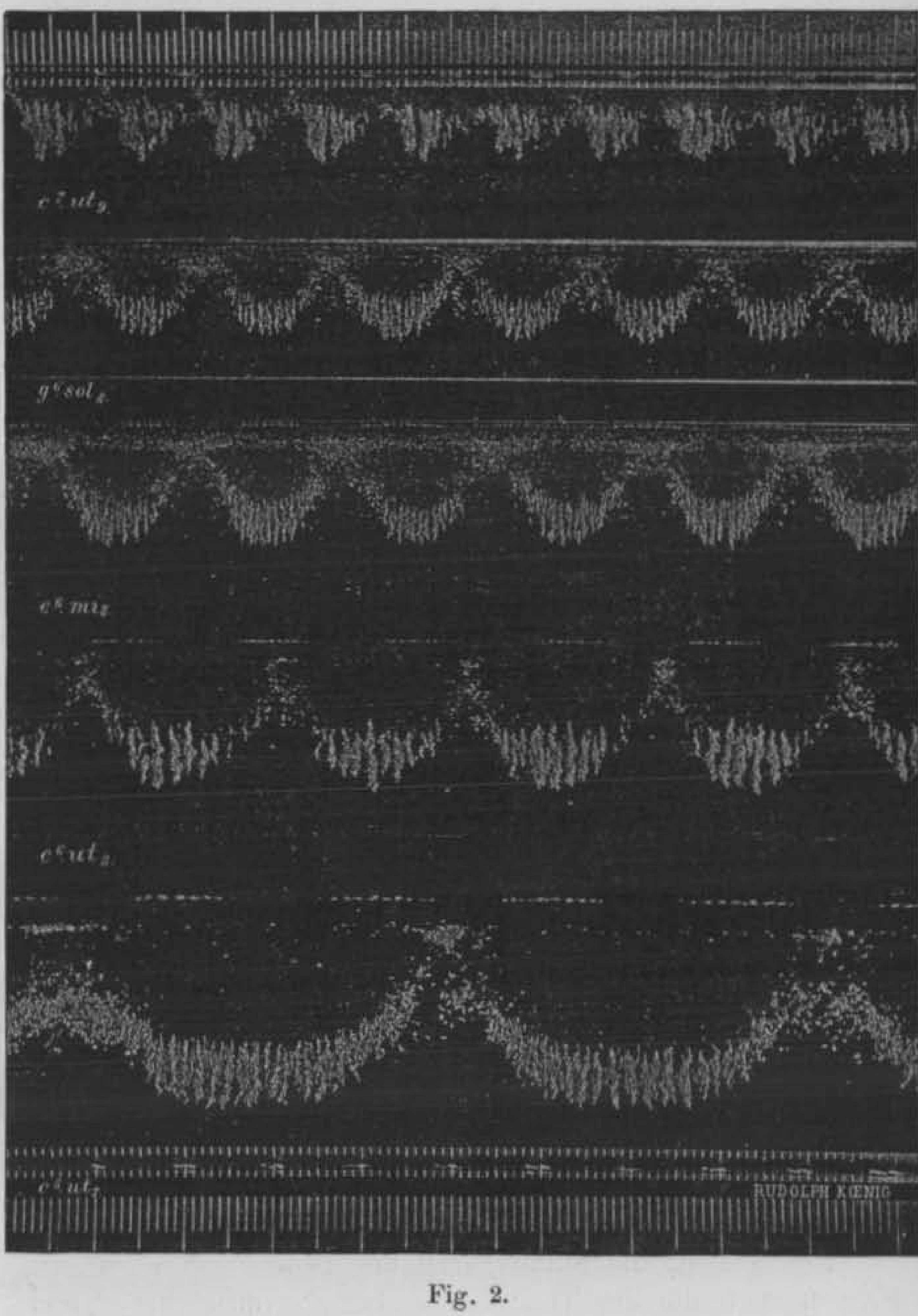

Fig. 2.

seitlich über einer schwarzen Sammetfläche überragten, zwischen zwei in Millimetern getheilten Maassstäben, welche jedoch natürlich zu ganz genauen Messungen der photographirten Staubwellen nicht werden dienen können, da die Staubwellen

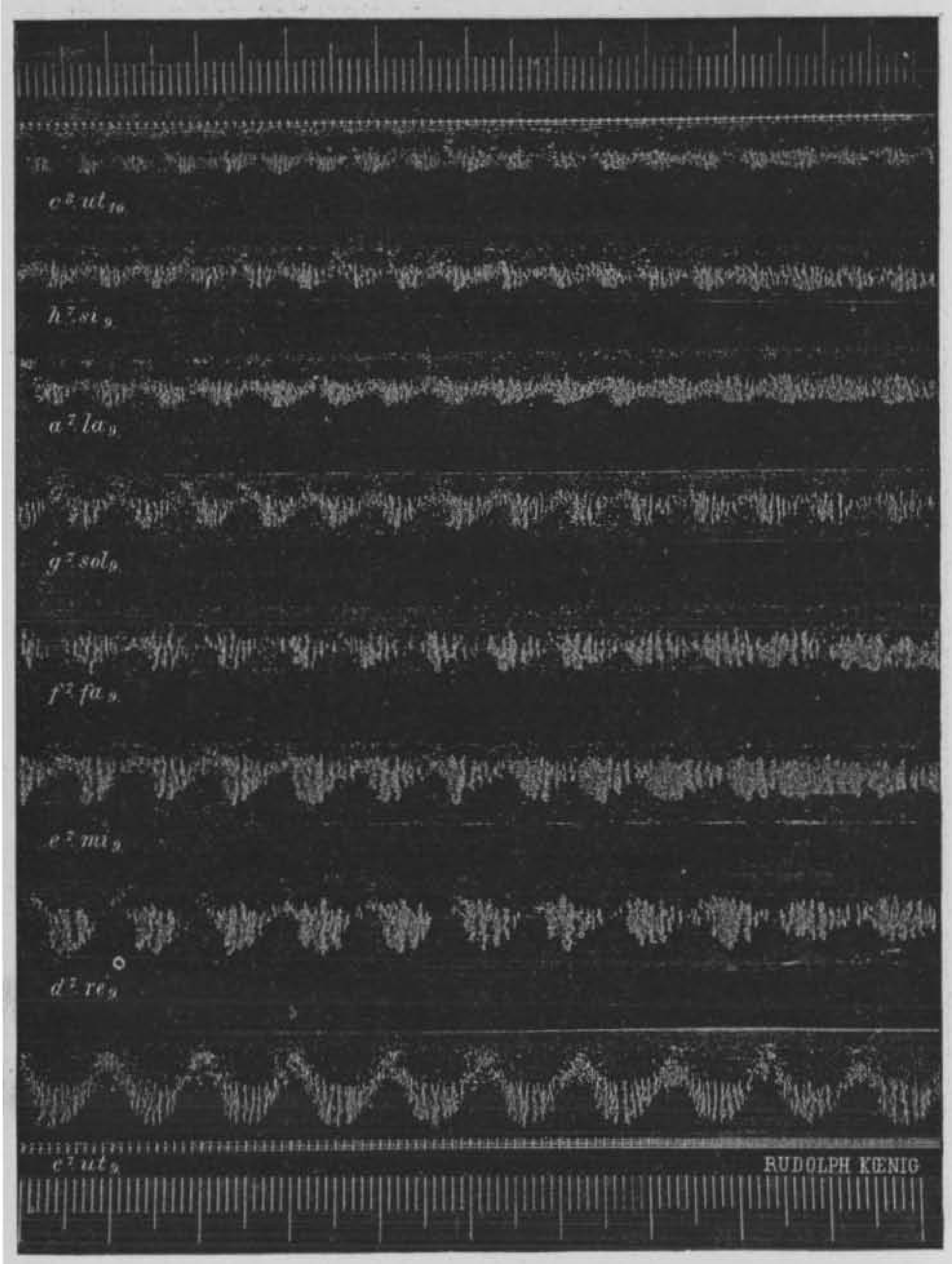

Fig. 3.

und die Theilungen beim Photographiren sich nicht genau in der gleichen Ebene befanden. Da schon die geringste Erschütterung hinreicht, diese Staubfiguren, besonders die der höchsten Töne, theilweise oder gar ganz zu zerstören, so ist

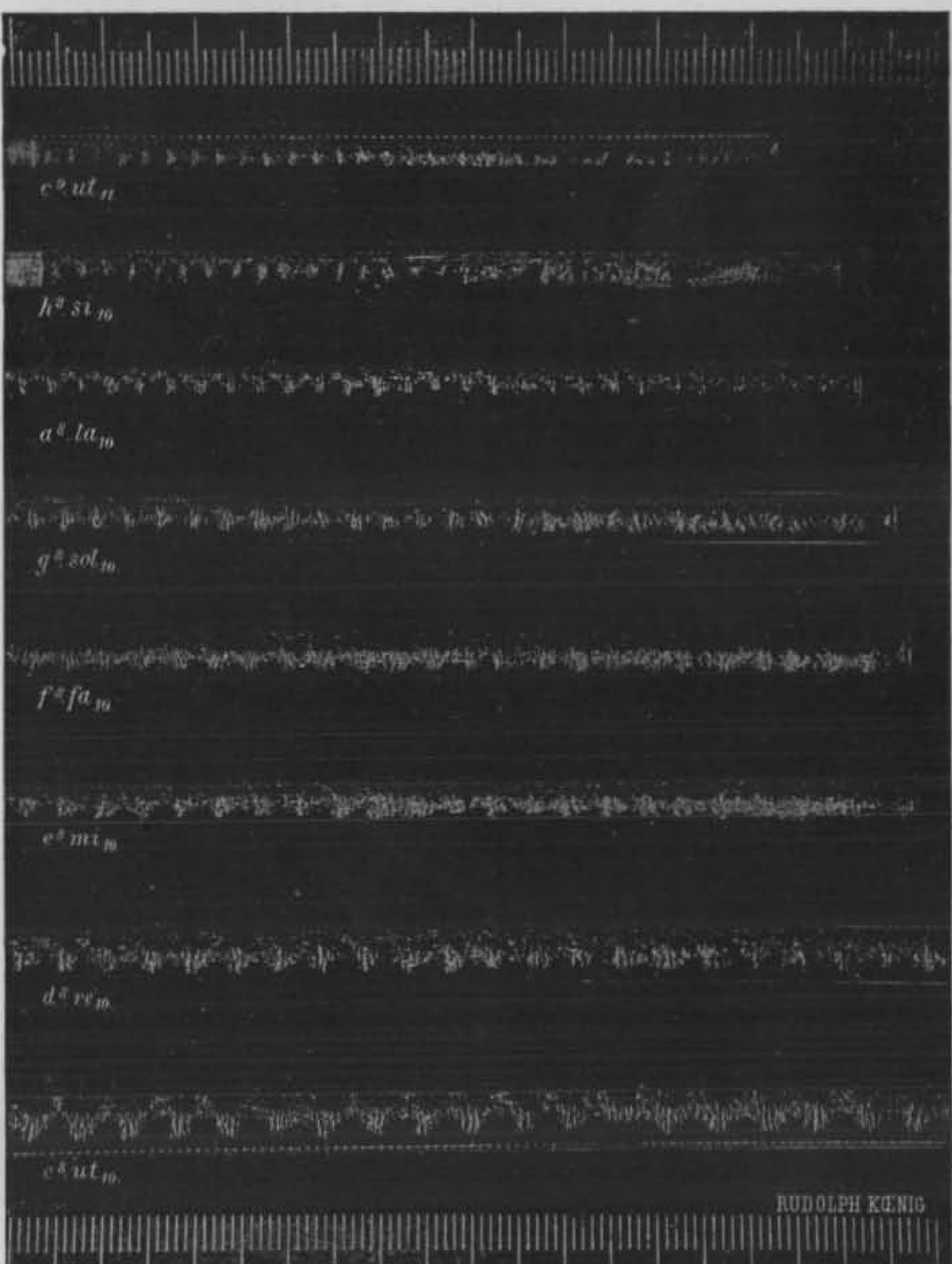

Fig. 4.

es nicht leicht, eine grössere Anzahl solcher Glasröhren nahe aneinander zu befestigen und dabei jeden, auch selbst geringsten

Anstoss zu vermeiden, was dann zur Folge hat, dass schliesslich einzelne dieser Figuren nicht mehr die ganze Schärfe

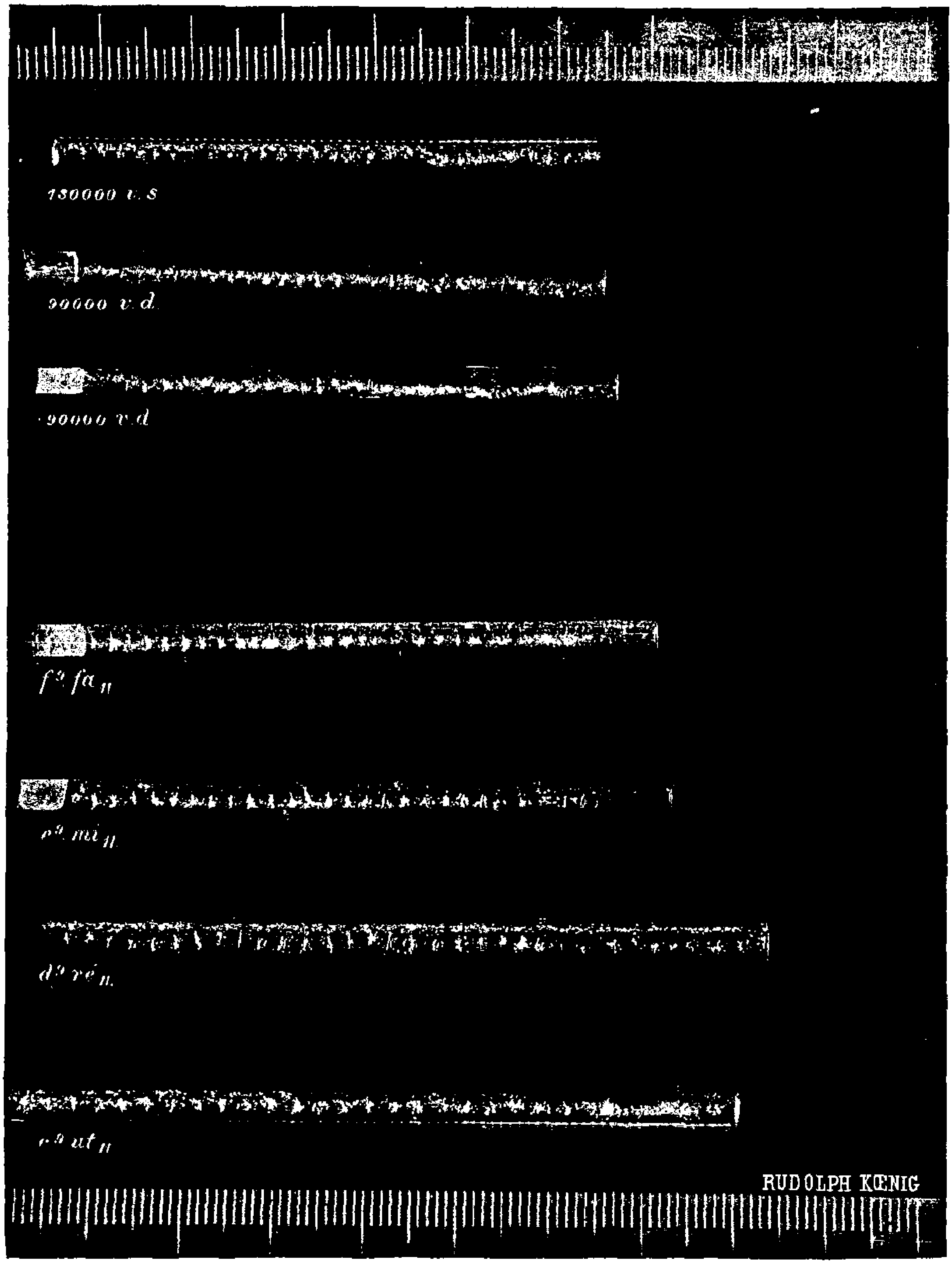

Fig. 5.

zeigen, wie im Augenblick, in welchem sie eben während des Bogenstriches hervorgesprungen waren. Die Photographien selbst aber verdanke ich Hrn. Prof. Marey, welcher so freundlich war, dieselben bei mir und unter seiner eigenen Leitung aufnehmen zu lassen, wofür ich ihm, wie auch den Herren Lucien Bull und Kossonis in seinem Laboratorium, die mich dabei unterstützten, hiermit meinen aufrichtigen und herzlichsten Dank sage. Die Figg. 2—6 sind heliographisch von P. Dujardin ausgeführt worden.

4. Bemerkungen über die Staubfiguren der Töne von c^5 bis f^9.

Der Grad der Genauigkeit der Bestimmung von Schwingungszahlen, welcher sich vermittels der Methode der Staubfiguren erreichen lässt, hängt von der Messung der Länge der Staubwellen in den Röhren ab, und von der Uebereinstimmung der Länge dieser Wellen mit der Länge der Wellen derselben Töne in der freien Luft.

Um die directe Messung der Länge der Staubwellen in den Röhren mit absoluter Genauigkeit ausführen zu können, müsste man in zwei Wellen zwei sich ganz genau entsprechende Punkte auffinden können, und man weiss, dass dieses bei den verhältnissmässig noch langen Halbwellen von c^4 bis c^5 allerdings nicht gut angeht, doch lässt sich die hieraus entspringende Fehlerquelle erstens schon dadurch verringern, dass man statt die Mittelpunkte zweier Knoten oder zweier Bäuche in zwei Wellen aufzusuchen, vielmehr zwei Punkte wählt, welche von der Mitte der Knoten oder Bäuche gerade so weit in derselben Richtung entfernt sind, dass ein Abstand von dieser überhaupt nicht mehr zweifelhaft sein kann, wodurch in jedem Falle schon die Möglichkeit, dass sich die Ungenauigkeiten in den Bestimmungen der beiden Punkte summiren könnten, verhindert wird, dann aber ist es möglich, den Mittelwerth der Halbwellenlänge aus Messungen sehr beträchtlich viel zahlreicherer Wellenreihen abzuleiten, als man es bis jetzt immer gethan hat. Ich fand in der That, dass eine Stimmgabel c^5 mit Zinken von 20 mm Breite[1]) nicht nur in einer Röhre von 23 mm Durchmesser eine Reihe von 38 bis 40 gut ausgebildeter Halbwellen, wie sie Fig. 2 zeigt, hervorrief, sondern dass in zwei aneinander gesetzten und luftdicht miteinander verbundenen gleichen Röhren die Bildung der 75—80 auf-

1) Aus Cat. Nr. 201. 1889.

einanderfolgenden Halbwellen auch noch durchaus nichts zu wünschen übrig liess. Erst nach dem Ansatz noch einer dritten solchen Röhre wurden die Rippen der Halbwellen weniger scharf, ohne jedoch dass die Wellen selbst, welche jetzt eine Reihe von 115—120 bildeten, darum ihre Messbarkeit verloren hätten. Mit einer Stimmgabel c^6[1]) erhielt ich in zwei aneinander gesetzten Röhren von 20 mm ebenfalls 90 bis 100 aufeinanderfolgende gut messbare Halbwellen, und mit der Stimmgabel c^7, aus demselben Satze, in einer Röhre von 11 mm Durchmesser, auch noch gegen 100 gut ausgebildeter Halbwellen, welche sich jedoch nach Ansatz einer zweiten gleichen Röhre nicht mehr hervorrufen liessen.

Es ist offenbar, dass man sich bei der Bestimmung der beiden sich entsprechenden Punkte in zwei Wellen weder um die Hälfte, noch um ein Viertel einer Halbwelle wird irren können, selbst die Annahme, dass der Irrthum ein Achtel oder ein Zehntel ihrer Länge sollte betragen können, dürfte durchaus übertrieben erscheinen, ein Fehler dieser letzten Art, welcher bei der directen Messung nur einer einzigen Halbwelle die Bestimmung der Schwingungszahl dann allerdings um einen ganzen Ton fälschen würde, müsste aber auf hundert Wellen vertheilt, welche man mit den Tönen von c^5 bis c^6 ganz bequem erhalten kann, nur noch einen Fehler von weniger als einem Komma bedingen. Bei den Tönen über c^7 hinaus muss aber die Länge der Röhren dann einer immer geringeren Anzahl von Halbwellen gleich werden, wenn man in ihnen gute Staubwellen erhalten will. So fand ich, dass in der Mitte der Octave von c^8 bis c^9, in Röhren, deren Länge etwa die von 50 Halbwellen der betreffenden Töne war, sie sich schon schlecht oder gar nicht mehr bildeten, während sie nach der Verkürzung der gleichen Röhren um 10 bis 15 Halbwellen dieser Töne sofort wieder erhalten werden konnten. Wenn bei sehr hohen Tönen die höchst mögliche Genauigkeit in ihrer Tonbestimmung hiernach also allerdings etwas geringer wird, so gewinnt sie andererseits auch wieder durch den Umstand, dass die vermittelst dieser höchsten Töne hervorgerufenen Staubfiguren schliesslich nur noch in einer Reihe

1) Aus Cat. Nr. 50. 1889.

ganz kleiner gleicher Anhäufungen in den Wellenbäuchen bestehen, welche wie eine Reihe einzelner Perlen in gleichen Abständen aneinander aufgereiht liegen, deren Mittelpunkte sich mit grosser Genauigkeit bestimmen lassen.

Für die Herstellung der Töne über c^7 schien mir übrigens die möglichst genaue Messung der Länge einer Reihe von 20 Halbwellen durchaus hinreichend, und so habe ich bei derselben immer nur Röhren angewendet, welche nicht mehr als 30 Halbwellen der betreffenden Töne enthalten konnten, wo ich dann immer mit Fortlassung einiger Wellen an den Enden der Röhre die gewünschte Reihe von 20 gleichmässigen Halbwellen erhalten, und gewöhnlich sogar von mehreren verschiedenen Ausgangspunkten messen konnte.

Die Weite der Röhren ist bei diesen Experimenten von noch viel grösserer Wichtigkeit als ihre Länge, denn wie man weiss, ist erstens die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles in der Luft in zu engen Röhren geringer als in der freien Luft, sodass also auch die Staubwellen in solchen eine Verkürzung erleiden müssen, dann aber bewirkt eine nicht genügende Weite der Röhren auch, dass in ihnen die Länge der Staubwellen in merklicher Weise von der Intensität der sie erzeugenden Töne abhängig wird. Es war hiernach also aus doppeltem Grunde wichtig, zu untersuchen, welchen Durchmesser eine Röhre mindestens haben müsse, damit sich ein gegebener Ton in ihr ungestört und mit gleicher Geschwindigkeit wie in der freien Luft fortpflanzen könne. Nach Kundt soll dieser Durchmesser immer zum wenigsten gleich der Viertelwelle des Tones sein, doch da er seine Untersuchungen nicht auf die sehr hohen Töne ausgedehnt hat, so dürfte man nicht berechtigt sein, ungeprüft anzunehmen, dass seine Regel auch auf diese anwendbar sein müsse.

Unter dem Einflusse der Stimmgabel c^5 mit der Zinkenbreite von 20 mm, entstanden bei der gerade im Zimmer herrschenden Temperatur Staubwellen, deren Länge in Röhren von 27, 23 und 20 mm Durchmesser immer 41,6 mm betrug, die Intensität des Tones mochte sein, welche sie wollte. Die Veränderung in derselben wurde nicht durch verschieden starkes Anstreichen der Gabel bewirkt, sondern dadurch, dass man die vor dem offenen Ende der Röhre wirkende Zinkenfläche der Gabel, welche immer gleich in möglichst starke Schwingungen versetzt wurde, von diesem offenen Ende allmählich entfernte, bis die Staubfiguren anfingen, undeutlich und nicht mehr gut messbar zu werden, was bei den Röhren von 27 und 23 mm Durchmesser geschah, wenn die Entfernung der Zinkenfläche von ihrem offenen Ende etwa 50 mm, bei der von 20 mm Durchmesser etwa 20 mm betrug. In Röhren mit Durchmessern von 15 und 20 mm war die durchschnittliche Länge der Halbwellen dann aber bei stärkstem Tone 41,4 mm geworden, und fand sich bei geschwächtem Tone, wenn die Entfernung der Stimmgabelzinke von dem offenen Ende der Röhre von 15 mm Durchmesser 15 mm, von dem der Röhre von 10 mm Durchmesser etwa 7 mm betrug, = 41,4 bis 41,5 mm, sodass in diesen beiden Fällen sich also schon der Einfluss der zu geringen Weite der Röhre sowohl auf die Länge der Staubwellen erkennen lässt, wie auch dass diese Länge hier nicht mehr von der Intensität des Tones ganz unabhängig ist. In einer Röhre von 8 mm Durchmesser bilden sich die Staubwellen in der Nähe des offenen Endes schon sehr schlecht aus, sie bestehen hauptsächlich nur noch aus einer Folge von Rippen, in denen die Gliederung nur sehr wenig ausgeprägt ist und die im übrigen Theil der Röhre gut ausgeprägten Halbwellen sind nicht gleichförmig, so betrug ihre Länge bei starkem Tone in der dem geschlossenen Ende der Röhre zunächst liegenden Hälfte 41,3 mm und in der anderen Hälfte nur 40,4 mm. Auch änderte sich diese Länge mit der Intensität des Tones, doch waren alle diese Erscheinungen so schwankend und gestatteten so wenig wirklich genaue Messungen, dass ich sie nicht weiter untersucht.

An den mit der Stimmgabel c^6 erzsugten Staubwellen, welche nur noch die halbe Länge als die von c^5 haben, lassen sich die Messungen schon mit sehr viel grösserer Genauigkeit ausführen. In einer Röhre von 20 mm Durchmesser, und welche die Länge von etwa 50 Halbwellen des Tones hatte, erhielt ich alle diese Halbwellen von einem ihrer Enden bis zum anderen so scharf ausgebildet, dass verschiedene Messungen von 40 Halbwellen enthaltenden Reihen immer fast ganz genau denselben Mittelwerth von 20,85 mm für eine Halbwelle ergaben, welcher auch bei den verschiedenen Abständen der

Gabelzinke vom offenen Ende der Röhre bis zu 50 mm durchaus unverändert blieb. In einer Röhre von 15 mm Durchmesser erhielt ich auch noch gute Staubfiguren in ihrer ganzen Länge, und fand bei der stärksten Intensität des Tones die Länge der Halbwellen = 20,78 mm, und bei einem Abstande der Gabelzinke von 40 mm = 20,85. In einer Röhre von 10 mm Durchmesser entstanden weit weniger gute Staubfiguren, welche sogar in der Nähe ihres offenen Endes schon ganz schlecht waren, und die Länge der Halbwellen in ihr bei stärkstem Tone war = 20,71 mm, beim schwächsten = 20,85 mm. In einer Röhre von 8 mm endlich bildeten sich gute Staubwellen nur noch in den ihrem geschlossenen Ende zunächst liegenden zwei Dritteln ihrer Länge, welche bei stärkstem Tone 20,60 mm, beim schwächsten 20,70 mm lang waren.

Die Stimmgabel c^7 erzeugte in einer etwa 95 Halbwellen des Tones langen Röhre mit dem Durchmesser von 15 mm, von einem bis zum anderen Ende scharf ausgeprägte, aber unregelmässig geformte Wellen, in deren Folge sich jedoch eine gewisse Periodicität erkennen liess und in denen die Rippen nicht senkrecht zur Axe der Röhre standen, sondern sich abwechselnd bald nach einer, bald nach der anderen Seite hinneigten. Diese Art der Staubfiguren zeigt immer eine zu grosse Weite der Röhre an. In einer Röhre von 14 mm Durchmesser waren die Wellen schon etwas regelmässiger, sie wurden es aber ganz und gar erst, wenn der Durchmesser der Röhre nur noch 11 mm betrug, wo dann auch die Länge der Halbwellen bei verschiedener Intensität des Tones immer dieselbe von 10,45 mm blieb. In Röhren von 10 oder gar 9 mm Durchmesser lässt sich aber dann schon wieder der Einfluss der zu geringen Weite der Röhre beobachten, und in einer Röhre von 5 mm Durchmesser betrug die Länge der Halbwellen bei stärkstem Tone nur noch 10,0 mm, bei schwächstem 10,3 mm.

Aus diesen Beobachtungen geht also hervor, dass für den höchsten musikalischen Ton c^5 die Regel von Kundt noch vollständig gültig ist und man sie also für ihn Röhren, deren Durchmesser gleich der Viertelwelle des Tones ist, anwenden kann, für c^6 ist aber die passendste Röhrenweite ungefähr gleich der Halbwelle des Tones, denn wenn diese noch drei Achtel der Wellenlänge beträgt, zeigt sich in den Staubwellen schon der schädliche Einfluss eines zu geringen Durchmessers, und bei der Weite von einer Viertelwelle wird die Röhre für alle genaueren Experimente sogar schon geradezu unbrauchbar. Die von mir experimentell gefundene passendste Weite für alle Töne über c^6 bis zu den höchsten hin, wuchs dann aber nur noch von der Hälfte bis etwa zu zwei Drittel der Wellenlänge, und betrug also für c^7 11 mm, für c^8 5,5 mm, für c^9 3 mm, und ähnlich so dann auch für alle Zwischentöne.

Die Fig. 6 veranschaulicht den Einfluss der Röhrenweite auf die Staubfiguren durch zwei Gruppen von drei Staubfiguren, welche mit den Stimmgabeln c^7 und c^8 in einer zu weiten, in einer passenden und in einer zu engen Röhre erzeugt wurden, und ausserdem zeigt die einzelne Röhre über diesen beiden Gruppen auch noch die Figur von c^9 in einer zu weiten Röhre allein.

Die Grenzen der geringsten und grössten Weite der Glasröhren, bei welcher ein gegebener Ton gute Staubwellen in ihnen erzeugen kann, rücken mit der Höhe dieses Tones immer näher aneinander, sodass es bei den höchsten Tönen zwischen c^9 und 90 000 Schwingungen schon schwer ist, Glasröhren von genau richtigem Durchmesser anzutreffen, was mir der hauptsächlichste Grund dafür zu sein scheint, dass die Staubfiguren dieser Töne, wie man aus Fig. 5 ersehen kann, alle immer nur in einem Theile der Röhrenlänge, statt von einem Ende bis zum anderen derselben gut ausgebildet sind.

Die Wanddicke der Glasröhren hat natürlich auf die Bildung der Staubfiguren in ihnen an und für sich gar keinen Einfluss, da jedoch bei diesen Experimenten der Rand der Röhre nie die Oberfläche der Gabelzinken überragen darf, um nicht die Bewegung des anstreichenden Bogens zu stören, so wird der Mittelpunkt der Röhrenöffnung um so weiter von dem Ende, und also gerade von dem am stärksten schwingenden Theile der Gabelzinke entfernt, als die Wanddicke der Röhre zunimmt, was dann bei den höchsten Tönen das Gelingen der Experimente oft schon ganz und gar verhindern kann, da bei diesen der blosse Durchmesser der Röhrenöffnung schon immer nur noch sehr wenig kleiner ist als die ganze Zinkenlänge der Stimmgabeln. Man muss also für die höchsten Töne Röhren wählen, deren Wände immer so dünn als möglich sind.

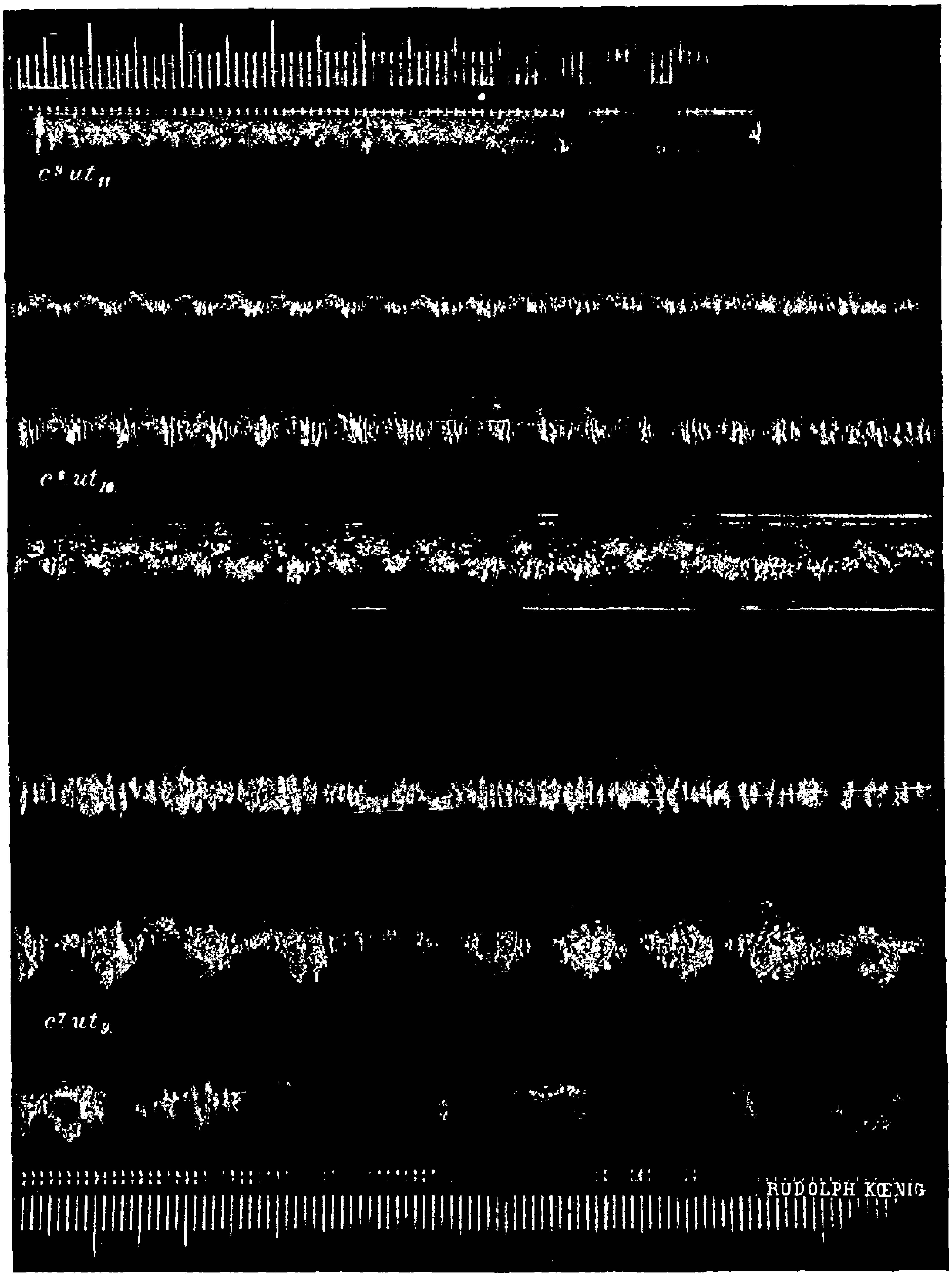

Fig. 6.

Das offene Ende der Glasröhre muss für diese Versuche immer senkrecht zu ihrer Längenaxe gut eben geschliffen sein, um parallel und dicht vor die schwingende Zinkenfläche der Stimmgabel eingestellt werden zu können. Da die Röhre auf ihrem Gestelle natürlich immer eine durchaus horizontale Lage haben muss, weil sonst der Staub sich in ihrem tiefer liegenden Theile anhäufen würde, ist es nöthig, dass die Zinkenfläche immer genau senkrecht vor ihr eingestellt werden könne und zu diesem Zwecke ist die Schraubenpresse, in welcher der Stiel der Stimmgabel befestigt wird, auf ihrem eisernen Ständer drehbar, was gestattet, dieser jede

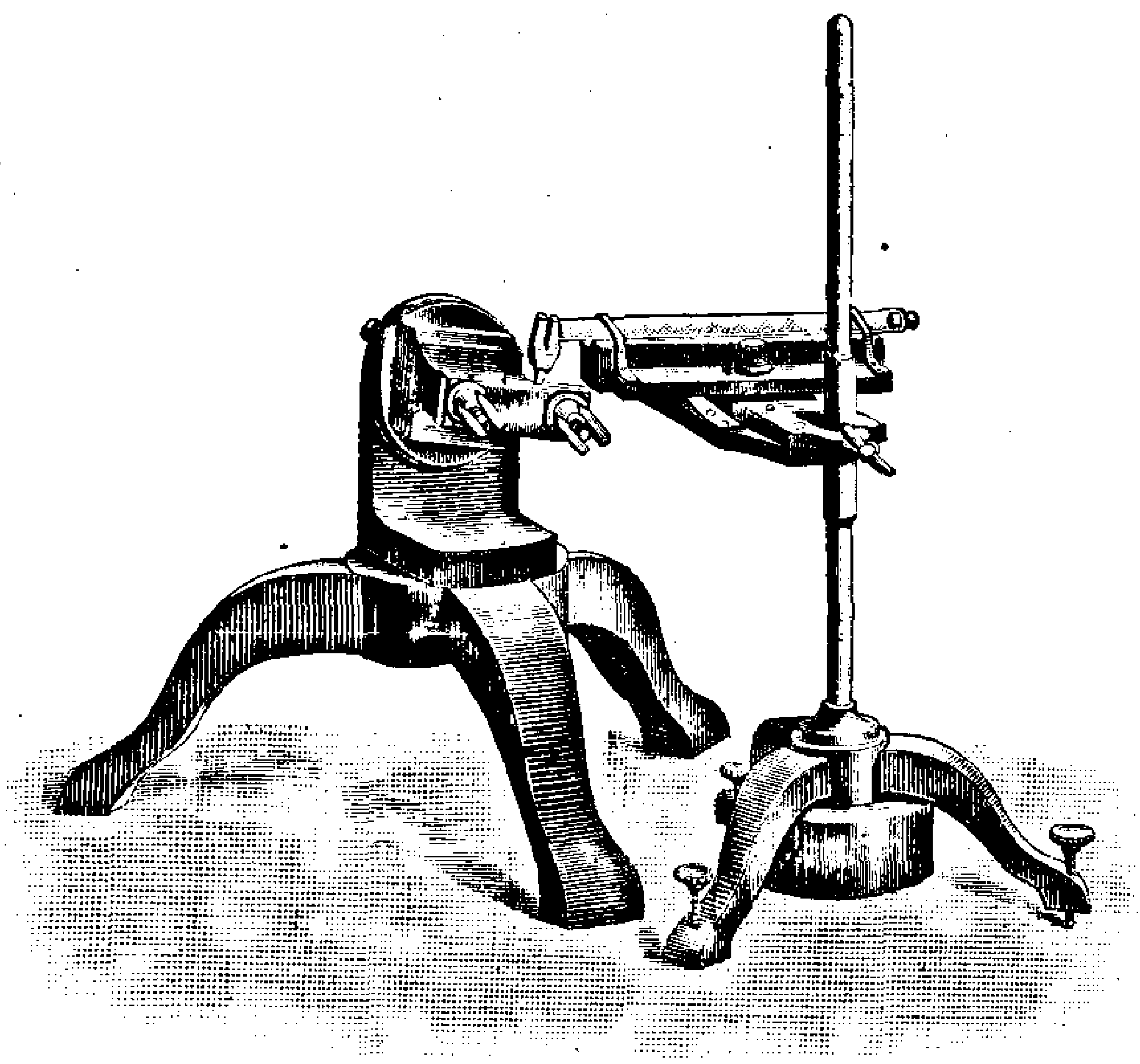

Fig. 7.

beliebige Neigung zu geben. Fig. 7 zeigt die ganze Zusammenstellung während eines Versuches.

Das gute Gelingen der Staubfiguren ist auch von dem angewendeten Staube nicht ganz unabhängig, und ich fand, dass sich Korkfeilicht am besten für diese Experimente eignete, besonders wenn man ihn für die verschieden hohen Töne mit verschiedener Körnergrösse wählte. Ich wendete fünf Sorten an, welche vermittelst einer Reihe von fünf Sieben hergestellt waren, deren Löcher von einem zum andern immer kleiner wurden, sodass sie auf einem Quadratcentimeter annähernd 277, 670, 1660, 3080 und 4444 Löcher enthielten, oder genau nach den Angaben der Fabrik der Drahtnetze 45, 70, 110, 150 und 180 Maschen auf einem Zoll zu 27 mm. Ich verwendete die erste und zweite Sorte hauptsächlich für die Töne von c^5 bis c^7, und die beiden nächsten dann für die höheren Töne. Das letzte feinste Sieb mit 4444 Löchern hatte aber einen so feinen Staub ergeben, dass er ganz so wie Lycopodiumpulver wirkte, sich wie dieses mehlartig zusammenbackte und auch an den Wänden der Röhre zu fest anklebte, wenn man auch auf die Reinigung dieser vor der Einführung des Staubes in sie alle nöthige Sorgfalt verwendet hatte.

Wenn der Staub in der Röhre gleichmässig vertheilt ist und auf dem Boden derselben eine Linie bildet, so muss man die Röhre um ihre Axe drehen, um dieser Linie eine höhere Lage auf der Seitenwand zu geben, unter dem Einflusse des Tones bilden sich dann sehr oft noch die Wellenfiguren ganz vortrefflich, selbst in Fällen, in denen sich die am Boden befindliche Staublinie gar nicht mehr rühren will, und zeigt dann die bogenförmigen Zacken, in denen die Staubrippen wie Fransen herabzuhängen scheinen, eine Form, welche auch für die Bestimmung der Knotenstellen bei den tieferen Tönen vortheilhaft ist, bei denen sie oft recht scharfe Spitzen bildet, wie man besonders gut auf Fig. 2 sehen kann. Bei den ganz hohen Tönen habe ich häufig auch noch einen anderen kleinen, aber oft sehr erfolgreichen Kunstgriff angewendet. Wenn nämlich auch die hochgelegte Staublinie sich durchaus nicht mehr rühren wollte, gab ich einen kleinen Schlag gegen das Gestell, auf welchem die Röhre befestigt war, sodass der Staub der hochgelegten Linie niederfiel und auf dem Boden der Röhre eine neue Staublinie bildete, welche ich so schnell als möglich durch Drehung der Röhre wieder in eine hohe Lage brachte, um dann den Bogenstrich über die Gabel sogleich folgen zu lassen. In sehr vielen Fällen habe ich bei diesem Verfahren dann die Figur erhalten, wahrscheinlich wohl, weil der während des ersten Niederfallens gelockerte Staub noch nicht Zeit gehabt hatte, in der neu gebildeten Linie sich wieder zu fest zusammenzubacken, ehe die Wirkung des Tones erfolgte.

5. Prüfung einer mit Hülfe der Stosstöne gestimmten Stimmgabelreihe von c^5 bis f^7 vermittelst der Kundt'schen Staubfiguren.

Es ist nach den vorstehenden Erörterungen selbstverständlich, dass man vermittelst der Staubfiguren nun auch mit Leichtigkeit wird prüfen können, bis zu welcher Genauigkeit in der Stimmung der hohen Stimmgabeln ich es vermittelst der Anwendung der Stosstöne hatte bringen können, ich finde aber dass die Prüfung einer von mir gelieferten Stimmgabelreihe durch irgend einen anderen Gelehrten und ohne mein Zuthun, zweckentsprechender sein dürfte, als wenn ich meine eigenen Messungen an einer von mir selbst früher gestimmten Stimmgabelreihe nun mit dieser in ihrer Anwendung neuen Methode von Kundt geben möchte. Eine solche Arbeit ist aber, jetzt auch schon wirklich, und zwar von Hrn. Dr. Schwendt in Basel ausgeführt worden, der eine der einzigen sechs von mir mit Stosstönen gestimmten vollständigen Stimmgabelreihen von c^5 bis f^7 besitzt, welche ich überhaupt jemals geliefert habe.[1]) Nach einigen Mittheilungen darüber, wie ich meine Versuche mit den Kundt'schen Staubfiguren in Verbindung mit den hohen Stimmgabeln angestellt, war es auch ihm sehr bald gelungen, gute Staubfiguren mit den Tönen von c^5 bis f^7, seiner ganzen im Jahre 1897 von mir bezogenen Stimmgabelreihe zu erhalten und dann die nöthigen Messungen an denselben zu vollziehen. Da Hr. Dr. Schwendt die Resultate dieser Messungen nun schon selbst veröffentlicht hat[2]), so kann ich natürlich einfach auf seinen Aufsatz verweisen, aus welchen man ersehen wird, wie gering überall der Unterschied zwischen den erforderten und den von ihm gefundenen Werthen ist. Als ein Beispiel mag seine Bestimmung der Schwingungszahl seines höchsten Tones f^7 dienen, für welche er statt 43690,6 *vs*, 31 *vs* mehr gefunden. Nun sind seine Messungen aber bei 15° ausgeführt, während die Gabel in Ueber-

1) Von den anderen fünf Stimmgabelreihen sind zwei in Amerika, eine ist in England, eine in Frankreich und eine in Russland.

2) A. Schwendt, Archiv für die ges. Physiol. 75. p. 346. 1899. Experimentelle Bestimmung der Wellenlänge und Schwingungszahl höchster hörbarer Töne, mit Benutzung von Hrn. Rudolph Koenig brieflich mitgetheilter praktischer Anleitungen, ausgeführt von A. Schwendt.

einstimmung mit der Normalgabel $c' = 512$ *vs* bei 20° construirt war. Da der Einfluss der Wärme auf Stimmgabeln aus Stahl für $1^0 = \pm 0{,}0001117$ *vs* ist[1]), so muss also eine Gabel f^7 von 43690,6 *vs* bei 20°, bei der Temperatur von 15° $43690{,}6 \,.\, 0{,}0001117 \,.\, 15 = 24{,}4$ *vs* mehr machen, wodurch der schon an und für sich so kleine Unterschied von 31 *vs* zu einem von 6,6 *vs* verringert wird, und dann die durch beide verschiedene Methoden erhaltenen Werthe so gut wie vollständig übereinstimmen.

Paris, Juni 1899.

(Schluss im nächsten Heft.)

1) R. Koenig, Wied. Ann. **9.** p. 408. 1880; Quelques Exp. p. 185.

(Eingegangen 7. Juli 1899.)