

Aus der Universitäts-Ohrenklinik in Berlin.

## Ueber Fehlerquellen bei der Tonuntersuchung Schwerhöriger nebst einigen physiologisch-akustischen Bemerkungen.<sup>1)</sup>

Von August Lucae.

M. H.! Es wird Ihnen wohl allen bekannt sein, daß ich bereits vor einigen Jahren auf die mannigfachen Fehler aufmerksam machte,<sup>2)</sup> welche allen unseren Tonuntersuchungen anhaften und aus diesem Grunde speziell die Diagnose derjenigen zahlreichen Ohrenleiden, bei der wir wegen des meist negativen objektiven Befundes gerade auf diese Untersuchungsmethode angewiesen sind, erheblich trüben müssen. Wenn sich hierbei meine Kritik zunächst gegen die Bezold'sche sogenannte „kontinuierliche Tonreihe“ richtete, so geschah dies hauptsächlich, um auf den großen Mangel hinzuweisen, daß Bezold sich für den unteren Teil der Tonskala nur Stimmgabeln und keiner Resonatoren zur eventuellen Verstärkung der schwachen Gabeltöne bediente.

Mein Mahnruf hat nur ein schwaches Echo gefunden. Denn nach wie vor beherrscht die „kontinuierliche Tonreihe“ sowohl die ohrenärztliche Sprechstunde als auch den akustischen Markt, und von einer Benutzung von Resonatoren verlautet nichts. Es geht dies wenigstens aus den otologischen Publikationen hervor sowie aus neuerlichen Mitteilungen, die ich verschiedenen Kollegen verdanke, die sich wohl eine teure „kontinuierliche Tonreihe“ angeschafft haben, von meiner Kritik jedoch gar keine Kenntnis genommen hatten.<sup>3)</sup> Es scheint mir daher an der Zeit, gerade hier in diesem Kreise auf diesen Gegenstand zurückzukommen, und ich werde aus der großen Zahl der Fehler, die teils in den von uns benutzten Hilfsmitteln selbst liegen, teils von dem untersuchenden Arzte und den Kranken begangen werden, nur einige Hauptmängel, die den Instrumenten selbst anhaften, hervorheben und sie Ihnen ad aures demonstrieren.

1) Nach einem am 12. Dezember 1905 in der Berliner otologischen Gesellschaft gehaltenen Vortrag, den ich hier wegen der Wichtigkeit des Gegenstandes einem größeren Leserkreise zur Kenntnis gebe. — 2) Ueber den diagnostischen Wert der Tonuntersuchungen mit besonderer Berücksichtigung der Bezold'schen „kontinuierlichen Tonreihe“ und der von mir geübten Untersuchungsmethode. Archiv für Ohrenheilkunde Bd. 57, S. 205. — 3) Sehr charakteristisch war die Bemerkung eines jüngeren Kollegen, der, als ich ihn auf die Notwendigkeit der Resonatoren aufmerksam machte, dies wohl einsah, dazu aber bemerkte, es sei doch so bequem, einfach mit der Stimmgabel zu untersuchen.

Zum näheren Verständnis muß ich schon mit einigen Worten auf meine damalige Arbeit mit einigen Ergänzungen zurückkommen. Bezold<sup>1)</sup> verwendet bekanntlich für die untere Hälfte der Tonskala vom Subkontra-C bis zum c<sup>3</sup> Stimmgabeln mit verschiebbaren Gewichten, für die obere Skala gedackte Pfeifen mit ausziehbarem Stempel und für die höchsten ultramusikalischen Töne eine von Edelmann vortrefflich konstruierte, neue Galtonpfeife. Letztere ist eine Modifikation der einfacheren und in ihren Tönen weniger umfangreichen Galtonpfeife von R. König, wie ich solche bereits seit 30 Jahren besitze.

Halten wir uns zunächst nur an die vom ästhetischen Standpunkte wirklich als musikalisch zu bezeichnenden, vom Kontra-G bis c<sup>5</sup> reichenden Töne, welche nach meiner vieljährigen Erfahrung im allgemeinen zu einem hinreichenden Sprachgehör genügen, so behauptet Bezold, daß die belasteten Stimmgabeln und gedackten Orgelpfeifen „die reinsten Töne geben, d. h. weil sie, insbesondere die ersteren, nur den Grundton für sich und nicht wie sämtliche andere Musikinstrumente gleichzeitig eine größere oder kleinere Menge an Obertönen enthalten.“

Es sei hier gleich dazu bemerkt, daß dies nur im allgemeinen von den gedackten Pfeifen gilt. Was nun vor allem die Stimmgabeln betrifft, welche uns für die Diagnostik unentbehrlich geworden sind zum Vergleich der Luftleitung mit der Knochenleitung, insbesondere zur Prüfung des Rinneschen Versuches, so ist hier die brennende Frage: „Geben die Stimmgabeln — wie Bezold auf Grund der Helmholtzschen Autorität behauptet —, abgesehen von ihren unharmonischen, bei lautem Anschlag ohne weiteres hörbaren Obertönen, wirklich nur ihren Grundton?“ abermals von mir dahin zu beantworten, daß Helmholtz in seinen „Tonempfindungen“ die jedem guten Physiker und Musiker bekannte Tatsache auffallenderweise völlig ignoriert, daß in jeder Gabel die höhere Oktave rein enthalten ist, wie Georg Quincke mit Hilfe von Interferenzapparaten durch Vernichtung, resp. Dämpfung des

Grundtons vor etwa 40 Jahren schlagend nachgewiesen hat.<sup>2)</sup> Man braucht hierzu nur den einfachsten Quinckeschen Interferenzapparat in Form eines kleinen, aus Glas oder Metall hergestellten T-Rohres, an welchem (wie in beistehender, in  $\frac{1}{3}$  der natürlichen Größe gezeichneter Abbildung) bei G mit Hilfe eines kurzen Gummiröhrchens eine gewöhnliche, in jeder Musikalienhandlung etwa für 1 M. zu beziehende, auf den sogenannten Kammerton gestimmte a<sup>1</sup>-Gabel SG, bei B ein zum Ohr des Untersuchenden führender Gummischlauch BO in beliebiger Länge angebracht ist, während bei J die aus Glas oder Metall angefertigte Interferenzröhre ebenfalls mit einem kurzen Gummiröhrchen befestigt ist. Wichtig ist, daß die Länge dieses Interferenzschenkel JR möglichst genau der Viertelwellenlänge von a<sup>1</sup> von 435 Schwingungen entspricht, d. h. etwas über 18 cm beträgt.

Hat man das Ende des Ohrschlauches bei O luftdicht ins Ohr und die Gabel durch Anschlag bei S in Schwingungen gesetzt, so wird man neben deutlicher Dämpfung des Grundtons ein helles Hervortreten der Oktave wahrnehmen, sobald man bei R mit dem Finger die Röhre JR luftdicht abschließt. Die Erklärung ist folgende: Die Schwingungen der Gabel gelangen in das Ohr des Untersuchers sowohl direkt

flektiert, auf dem Umwege JR + RJ. Die letztere Wegstrecke ist aber = der halben Wellenlänge von a<sup>1</sup>, so zwar, daß für diesen indirekten Wellenzug bei + eine Interferenz mit dem direkten, durch GBO zum Ohr gehenden Wellenzug stattfindet, demnach für a<sup>1</sup> an dieser Kreuzung Luftverdichtung und Luftverdünnung zusammenfallen. Die Oktave a<sup>2</sup> tritt aber um so deutlicher hervor, als ihre ganze Wellenlänge = der Länge von JR + RJ ist, ihre beiden, bei + zusammentreffenden Wellenzüge sich daher hier in derselben Phase befinden. Der Grundton würde vollständig erlöschen, wenn nicht der indirekte Wellenzug durch die Reflexion in dem Interferenzschenkel abgeschwächt würde. Die Folge hiervon ist, daß der Versuch bei sehr kleinen, mit Gewichten belasteten, tiefen Gabeln, welche an sich nur einen schwachen Ton ergaben, weniger deutlich ausfällt. Trotzdem ist es mir mit derselben Anordnung gelungen, auch aus solchen belasteten, auf die Töne A und c abgestimmten Gabeln die Oktave deutlich zu erzeugen.<sup>1)</sup>

Noch schöner und für ein ganzes Auditorium auch objektiv läßt sich die Oktave an unbelasteten, weniger laut an belasteten tieferen Gabeln mittels Helmholtzscher Resonatoren demonstrieren. Ich habe dies zuerst bereits vor fast 35 Jahren an einem Orte, wo solches kaum gelesen wird,<sup>2)</sup> genau beschrieben, und zwar gelegentlich eines Referats über die Politzer'schen, angeblich von Obertönen ganz freien, mit Klemmen (Gewichten) versehenen Gabeln, wo ich wörtlich sage: „Diese Stimmgabeln haben allerdings neben dem Vorteil, sie auf verschiedenen hohe Töne abzustimmen, die Eigentümlichkeit, daß beim Tönen derselben keine Obertöne wahrnehmbar sind. Ganz getilgt werden jedoch die Obertöne hierdurch keineswegs. Denn nähert man z. B. eine derartige c<sup>1</sup>-Gabel einem auf c<sup>2</sup> abgestimmten Resonator, so vernimmt man ganz deutlich den Ton c<sup>2</sup>.“ Um einem immerhin möglichen Irrtum vorzubeugen, ist dies, wie ja schon aus dem obigen Ausdruck „objektiv“ für den Kenner hervorgeht, so zu verstehen, daß der betreffende, auf die Oktave abgestimmte Resonator nicht in das Ohr gesteckt, sondern frei in der Hand gehalten wird mit nach unten gekehrter, durch den Finger verschlossener Ohröffnung, während die Stimmgabel dem breiteren Schalloch genähert wird. Stärker und länger ertönt bei diesen Versuchen die Oktave aus den unbelasteten tieferen Gabeln heraus, während die Oktave der belasteten dies nur kürzere Zeit tut, doch immer lange genug, um von seiten des Kranken bedenkliche Verwechselungen mit dem Grundton hervorzurufen.

Ich muß diese objektive Verwertung der Helmholtzschen Resonatoren zu dem vorliegenden Zwecke besonders betonen, weil derselbe Oktavenversuch bei der üblichen subjektiven Anwendung der Resonatoren nicht gut gelingt. Bewaffnet man z. B. sein Ohr mit dem für c<sup>1</sup> bestimmten Resonator und hält die c-Gabel direkt vor das Schalloch, so überwiegt der Grundton c mit solcher Stärke, daß die weit schwächere Oktave nur von einem musikalischen Ohr vernehmbar ist. Bei dem objektiven Verfahren haben wir dagegen den Vorteil, z. B. bei demselben Versuch nach dem Anschlag der großen c-Gabel den Moment abzuwarten, wo weder der die Gabel in der Hand haltende Experimentator noch die Zuhörenden den Grundton, dagegen um so kräftiger und allein die Oktave hören, sobald die Gabel dem Schalloch des Resonators genähert wird.

Als Ergänzung zu meinen a. a. O. gemachten Berichten über diese Versuche bemerke ich, daß es mir durch die Güte des Herrn Geh. Rats Passow, der mir einige der Bezold'schen Tonreihe angehörnde tiefe Gabeln zur Verfügung stellte, gelungen ist, an drei vorzüglich gearbeiteten Edelmann'schen Gabeln die Oktave sehr deutlich durch die entsprechenden Resonatoren nachzuweisen. Es waren dies die großen, mit starken Laufgewichten versehenen Gabeln c, welche mit entsprechender Einstellung des Gewichts C und mit dem c-Resonator kräftig die Oktave c gaben; ferner die g-Gabel, welche, mit dem Laufgewicht auf c eingestellt, deutlich das c<sup>1</sup> hören ließ und endlich die g<sup>1</sup>-Gabel, die auf c<sup>1</sup> mit dem Laufgewicht eingestellt, deutlich das c<sup>2</sup> ergab.

<sup>1)</sup> Vgl. a. a. O. S. 208.

<sup>2)</sup> Im Jahresberichte der gesamten Medizin 1870, Bd. 2, S. 417. Die von Politzer damals (Beiträge zu den Hörprüfungen mittels der Stimmgabel. Wiener medizinische Presse 1870, No. 12 und 13) beschriebenen, mit „Klemmen“ versehenen Gabeln, welche ja den Vorzug der größeren Kraft für sich haben, boten im Prinzip mir nichts Neues. Im Jahre 1864 kaufte ich mir in Berlin ein Paar solcher kleineren, mit verschiebbaren Gewichten versehenen Gabeln, welche zusammen die chromatische Tonleiter von c<sup>1</sup> bis c<sup>2</sup> enthielten, als sogenannte „englische“ Gabeln. Diese von mir seitdem bei den Ohrenärzten überall eingeführten Instrumente stammen in Wirklichkeit aus der Fabrik von Weissbach in Mehlis (Thüringen), wo sie bereits seit den dreißiger Jahren des vorigen Jahrhunderts angefertigt werden.

<sup>1)</sup> Aus der großen Zahl der hierhergehörigen Publikationen Bezold's seien hier nur folgende zitiert: Münchner medizinische Wochenschrift 1892, No. 38, und in den gesammelten Abhandlungen und Vorträgen „Ueber die funktionelle Prüfung des menschlichen Gehörorgans“ 1897, „Das Hörvermögen der Taubstummen etc.“ 1897, „Hörvermögen der Taubstummen und darauf fußender Sprachunterricht durch das Gehör“, Vortrag, gehalten auf der Versammlung deutscher Ohrenärzte und Taubstummenlehrer zu München, den 16. September 1899 (Sonderabdruck der Allgemeinen Zeitung), Bericht über die Versammlung des Bundes deutscher Taubstummenlehrer zu Hamburg (30. September bis 3. Oktober 1900), S. 128. — 2) Poggeendorfs Annalen Bd. 128, S. 177.

Wie ich ebenfalls bereits a. a. O. hervorhob, besitze ich aus Edelmanns Werkstatt für die nach Bezolds Ansicht für das Sprachgehör nötigsten Töne  $b^1$ — $g^2$  drei mit Laufgewichten versehene Gabeln, von denen ich das  $c^2$  mit dem auf  $c^2$  abgestimmten Resonator genau untersuchte, ohne jedoch die Oktave zu erzeugen, und zwar selbst bei starkem Anschlag mittels des Edelmannschen mit Gummi gepolsterten Hammers. Es stimmt dies auch mit der Erfahrung an unbelasteten Gabeln überein, daß, je höher die Töne, desto schwächer die Oktave in ihnen enthalten ist. Bei starkem Angeben klingt jedoch aus jeder  $c^2$ -Gabel die höhere Oktave kräftig hervor. Letzteres ist sehr wichtig, einmal, weil Bezold zur Prüfung der Hörzeit auch unbelastete Gabeln benutzt und ferner, weil nach meiner Untersuchung der zuletzt erwähnten hohen, belasteten  $c^2$ -Gabeln Edelmanns diese sich überhaupt durch Anschlag mit einem gepolsterten Hammer in viel zu schwache Schwingungen setzen lassen. Für diese hohen Gabeln eignet sich am besten das Anstreichen mit einem Cellobogen, auf welches jedoch belastete Gabeln garnicht ansprechen. Ich will hier gleich bemerken, daß meine beiden, zu einem stets gleichmäßigen Anschlage mit einem Schlagwerk versehenen Gabeln  $c$  und  $c^1$  ausnahmsweise durch einen Stahlhammer angeschlagen werden. Für das tiefe  $c$  wird hierzu eine kleine belastete Gabel benutzt, wodurch die hohen Obertöne wenigstens vermieden werden.

A. a. O. habe ich bereits mitgeteilt, daß auch meine große C-Gabel mittels des Resonators sehr deutlich die Oktave  $c$  hören läßt. Dasselbe ist der Fall bei der klinischen, von Appun gelieferten C-Gabel.

Man sieht also, daß alle unsere Gabeln, namentlich aber die tieferen Gabeln, die Oktave sehr kräftig, resp. lange enthalten, und dies gilt auch von den so verbreiteten Edelmannschen Gabeln trotz ihrer großen Belastung. Gegenüber den sofort ins Ohr fallenden, unharmonischen, sehr hohen Obertönen der unbelasteten Gabeln ist diese Tatsache um so wichtiger, als die Oktaven sich vollständig latent verhalten und nur durch die obigen Hilfsmittel in die Erscheinung treten. Welche diagnostische Irrtümer hier begangen werden können, sei nur durch folgendes Beispiel erläutert: Man nehme den Fall, daß ein Patient den Ton  $c^1$  deutlich zu hören angibt; prüfen wir nun weiter mit der  $c$ -Gabel und finden wir, daß dieser Ton ebenfalls, aber nur kürzere Zeit gehört wird, so ist in vielen Fällen die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß der Patient statt des Grundtons  $c$  nur die Oktave gehört hat; und zwar ist dies um so unwahrscheinlicher, als bei der großen Aehnlichkeit von Grundton und Oktave sehr leicht eine Verwechslung dieser Töne eintritt.)

In den von mir bereits 1874 zur Untersuchung empfohlenen Resonatoren haben wir nun ein ausgezeichnetes Mittel, die Töne nicht nur zu reinigen oder, wie man sich mathematisch ausdrückt, reine Sinusschwingungen zu erzeugen, sondern sie gleichzeitig wesentlich zu verstärken. Diese Frage der Intensität der anzuwendenden Töne ist, wie ich ebenfalls bereits a. a. O. hervorgehoben, eine noch viel wichtigere als die der absoluten Reinheit und bei der Benutzung von tiefen Stimmgabeln von einer fast verhängnisvollen Bedeutung, weil die an sich schon weit geringere physiologische Energie der tiefen Töne durch die Gabeln im Verhältnis zu den hohen Tönen so stark herabgesetzt wird, daß sämtliche tieferen Gabeln fast bis zur eingestrichenen Oktave nur in der Nähe der Ohrmuschel deutlich gehört werden.

Wenn dies nun auch einerseits ein Vorteil ist, da wir hierdurch imstande sind, jedes Ohr für sich und auch die Knochenleitung einigermaßen isoliert von der Luftleitung zu untersuchen, so werden namentlich die tieferen Töne per Luftleitung im Gegensatz zu den entsprechenden Tönen der musikalischen Instrumente, vor allem aber der menschlichen Stimme, auf deren Verhältnis zu den Tönen es uns in erster Linie bei unserer Untersuchung ankommt, künstlich so gedämpft, daß uns eine einmalige, nur mit einer Gabel vorgenommene Tonprüfung bei negativem Ausfall keineswegs darüber belehrt, wie der betreffende Ton überhaupt perzipiert wird. Ein Beispiel mag dies weiter in flagranter Weise zeigen: Finden wir, daß in einem Falle eine kleine, belastete  $c$ -Gabel, die beim stärksten Anschlage eine Hörzeit von 60 Sekunden hat, überhaupt nicht gehört wird, so fragt es sich zunächst, ob nicht eine große, unbelastete  $c$ -Gabel, die über

150 Sekunden Hörzeit hat, in demselben Falle vernommen wird, was in der Tat in sehr vielen Fällen zutrifft. Fällt jedoch auch hier unsere Untersuchung negativ aus, so müssen wir den betreffenden Resonator zuhelfe nehmen und werden in einer großen Reihe von Fällen beobachten, daß der Ton nun sehr leicht gehört wird, während das Ohr in andern Fällen selbst beim stärksten Anschlag der großen Gabel auch auf den Resonator nicht reagiert. Erst im letzteren Fall hat man ein Recht, Inseln und Lücken in der Tonskala anzunehmen und diese Defekte auf eine Labyrinth-erkrankung zu beziehen, während in den Fällen, wo die betreffenden Töne mit dem Resonator noch gehört werden, eine Affektion des inneren Ohrs im Bereiche dieses Tones ausgeschlossen ist.

Dieser Satz enthält keine bloße Hypothese, sondern beruht auf einer praktischen Verwertung einer Helmholtzschen Mitteilung<sup>1)</sup> bei Gelegenheit der Empfehlung seiner Resonatoren zur Beobachtung der Obertöne:

„Wird dagegen der Eigenton des Resonators angegeben, so schmettert dieser mit gewaltiger Stärke in das Ohr hinein. Es wird hierdurch jedermann, auch selbst mit musikalisch ganz ungeübtem oder harthörigem Ohr, in den Stand gesetzt, den betreffenden Ton, selbst wenn er ziemlich schwach ist, aus einer großen Zahl von Tönen herauszuhören.“

Es ist hieraus wohl sicher zu schließen, daß in solchen Fällen von „Harthörigkeit“ nur ein Hindernis in der Schallleitung vorliegt und eine Labyrinth-erkrankung, zunächst im Gebiet des betreffenden Tons, auszuschließen ist. Von diesem Gesichtspunkte aus habe ich seit dem Jahre 1874 in einer großen Zahl von Fällen mit den Resonatoren vergleichende Beobachtungen angestellt, die mir sowohl prognostisch als auch therapeutisch wichtige Resultate geliefert haben. Ich fand nämlich, daß in der ersten Reihe von Fällen die Prognose insofern eine günstigere ist, als gewisse Kranke, die vorher nur mit dem Resonator den betreffenden Ton hören konnten, später sogar die kleine belastete, schwache Gabel ohne denselben hören konnten. Diese Erfahrung machte ich, wie a. a. O. berichtet, zuerst bei der Nachbehandlung von Radikaloperierten, und ich werde später zeigen, daß ich dieselbe Beobachtung auch bei verschiedenen Fällen von sogenannter Sklerose gemacht habe, während ich in keinem Falle, wo der Versuch selbst mit einer großen Gabel und dem Resonator negativ ausfiel, bisher eine Besserung erlebt habe.

Auch der Resonator könnte gelegentlich zu einer Fehlerquelle Veranlassung dadurch geben, daß durch dessen festes Einsetzen in das Ohr der Ton per Knochenleitung übertragen werden könnte. In vielen Fällen kann man diesen immerhin möglichen Fehler dadurch vermeiden, daß man den Resonator garnicht mit dem Ohr verbindet, sondern ihn nur mit der Schallöffnung nach oben vor das zu untersuchende Ohr hält und die Stimmgabel gleichzeitig vor dem Ohr und der Schallöffnung des Resonators schwingen läßt.

Im allgemeinen genügt es, für die Stimmgabeln  $c$  bis  $c^3$  in Oktavenfolge vier kugelförmige Resonatoren vorrätig zu haben, die man sich aus Messingblech bei jedem intelligenten Klempner machen lassen kann. Die zum Teil aus den Helmholtzschen Angaben<sup>2)</sup> entnommenen und teils von mir selbst gefundenen Maße sind folgende:

Tonhöhe	Durchmesser der Kugel in Zentimetern	Durchmesser der Schallöffnung
$c$	24	4,5
$c^1$	13	3,3
$c^2$	7	2,0
$c^3$	4,5	1,8

Weit billiger und zu unserm Zweck vollkommen genügend sind zylindrische, aus Pappe oder Weißblech angefertigte Resonatoren, welche sich für über  $c^2$  hinausgehende Töne jedoch nicht eignen. Die Maße für sie sind in Zentimetern:

Tonhöhe	Länge	Durchmesser des Schalloches
$c$	65	4
$c^1$	33	6
$c^2$	15	6

<sup>1)</sup> Ich halte es für sehr wahrscheinlich, daß hierin auch die Erscheinung zum Teil begründet ist, daß die Kranken eine vor das Ohr gehaltene Gabel auf der linken oder rechten Seite höher oder tiefer zu hören behaupten.

<sup>1)</sup> Lehre von den Tonempfindungen. 3. Aufl. 1870. S. 74. — <sup>2)</sup> Lehre von den Tonempfindungen. 4. Auflage 1877, S. 602.

Durch Herrn Kaumann, Diener im Berliner physiologischen Institut, Dorotheenstraße 95/96, sind diese drei sehr gut aus Weißblech gearbeiteten Resonatoren bei Entnahme des ganzen Satzes zu 3 Mark pro Stück zu beziehen.

Für die vierte Oktave lassen sich Resonatoren aus physiologisch-akustischen Gründen nicht gut anfertigen, sie sind auch für gewöhnlich garnicht nötig, weil wir hier bereits mit dem Tone  $c^4$  in das Bereich der sogenannten Resonanztöne des Ohrs treten. Schon das mit einem Stahlhammer angeschlagene oder angestrichene  $c^4$  bringt bei Normalhörern bereits in unmittelbarer Nähe des Ohrs eine schmerzhaft starke Tonempfindung hervor. Wie ich an einem andern Orte<sup>1)</sup> zeigte, lassen sich diese Töne der viergestrichenen Oktave aber noch wesentlich dadurch verstärken, daß man mit der Hohlhand um die Ohrmuschel greift und auf diese Weise das Ohr erweitert. Es läßt sich dies Mittel auch bei Kranken insofern diagnostisch verwerten, als in den Fällen, wo z. B. die sehr herabgesetzte Perception für  $c^4$  durch diesen Kunstgriff keine Besserung erfährt, eine unheilbare Affektion des Labyrinths mit großer Wahrscheinlichkeit vorliegt und daher die Prognose eine schlechte ist. Da ich am letztgenannten Orte nachwies, daß das durch diesen Kunstgriff erzielte Besserhören der Sprache überhaupt darauf beruht, daß die in den Sprachlauten enthaltenen hohen Töne und Geräusche dabei schärfer gehört werden, so kann der praktische Arzt im allgemeinen auch schon ohne weitere akustische Hilfsmittel die genannte Prognose in den Fällen stellen, wo besonders harthörnde Personen durch die hinter das Ohr gehaltene Hohlhand keinerlei Besserung des Sprachgehörs erzielen.

Auffallend ist, daß in der Ohrenheilkunde gar kein Gebrauch gemacht wird von den außerordentlich reinen und kräftigen Resonanzapparaten, die bereits viele Dezennien vor der Erfindung der Helmholtzschen Resonatoren in Gestalt der meist auf den Kammerton  $a^1$  gestimmten und auf Resonanzkästen befestigten Stimmgabeln in allen akustischen Kabinetten zu finden sind. Wegen ihres außerordentlich starken Tones eignen sie sich allerdings mehr in Fällen von doppelseitiger Taubheit, da sich in einseitigen Fällen das gute Ohr kaum ausschließen läßt. Ich führe diesen Apparat hier aber ganz besonders an, weil er ein scharfes Licht wirft auf eine sowohl in theoretischer als auch praktischer Beziehung wichtige, elementare musikalische Erscheinung, über deren Erklärung ich mich leider mit Bezold nicht einigen kann. Letzterer ist nämlich der Ansicht, daß die Kraft der so leicht hörbaren musikalischen Instrumente durch deren Klangfülle, resp. nach der Helmholtzschen Theorie durch die den Grundton in größerer oder geringerer Zahl und Stärke begleitenden Obertöne bedingt ist.

Sagt er doch wörtlich: „Die Grundgewalt der Bässe sowohl im Orchester als in der menschlichen Stimme rührt vielmehr von ihrer reichlichen Ausstattung mit weithin vernehmbaren Obertönen, als in der Stärke ihres Grundtons selbst ab“ und an einer andern Stelle in bezug auf die hohen Stimmgabeltöne: „Noch viel intensiver klingen die nicht so vollkommen obertönefreien Pfeifen, deren Töne auf weite Fernen vernehmbar sind und selbst Türen und Wände durchdringen.“

Hiergegen ist zu bemerken, daß die durch die Obertöne bedingte Klangfülle der musikalischen Instrumente an sich nichts mit der Stärke zu tun hat. Sie bleibt dieselbe beim Forte und Piano. Der Grund, weshalb wir diese Töne so deutlich wahrnehmen, liegt vielmehr wesentlich darin, daß unser Ohr durch die atmosphärische Luft unmittelbar mit den resonierenden Lufträumen der musikalischen Instrumente verbunden ist. Bei den Blasinstrumenten und bei der menschlichen Stimme geschieht dies dadurch, daß die betreffenden, an die Luft grenzenden Hohlräume entweder direkt oder mittels Zungen (Stimmbänder) in Schwingungen gesetzt werden, bei den Saiteninstrumenten durch die mit Schallöchern versehenen Resonanzkästen. Unter den musikalischen Instrumenten zeigen diese Erscheinung am besten die fast ganz obertönefreien, tiefen, gedackten Pfeifen, welche selbst beim

schwächsten Anblasen weithin vernehmbar sind, während gleich tief gestimmte, sehr starke Stimmgabeln nur in der Nähe des Ohrs wahrgenommen werden, weil sie eben als feste Körper ihre Schwingungen der Luft schwer mitteilen. Am klarsten wird diese Tatsache nun bewiesen durch die obige, mit dem Resonanzkasten versehene Stimmgabel. Streicht man sie kräftig an, so wird man außer einigen vielleicht im Anfang bemerkbaren, schnell verklingenden Obertönen sofort einen anhaltenden, starken, ideal reinen und aus Sinusschwingungen bestehenden Klang wahrnehmen, der sofort verschwindet, sobald man das Schalloch des Resonanzkastens mit der Hand verschließt. Allbekannt ist der Schulversuch, wie durch Vermittlung der mitschwingenden, durch das Schalloch mit der Atmosphäre verbundenen Luft des Resonanzkastens eine zweite, gleichgestimmte, mit Resonanzkasten versehene Gabel auf zehn Meter Entfernung zur Resonanz gebracht werden kann, was aber nicht geschieht, sobald während des Schwingens der Gabel das Schalloch dauernd verschlossen bleibt.

Dieser Versuch beweist also unzweifelhaft, daß die Stimmgabel für sich allein ihre Schwingungen als fester Körper der Luft schlecht abgibt und wir ihren Ton wie bei den genannten musikalischen Instrumenten und der menschlichen Stimme nur durch Vermittlung des gleichgestimmten, mit der atmosphärischen Luft frei kommunizierenden Resonanzkastens kräftig wahrnehmen.

Eine sehr auffallende Ausnahme machen hier nur die hohen Stimmgabeln bereits vom  $c^3$  an, namentlich jedoch die der viergestrichenen Oktave, welche ohne weitere Hilfsmittel, namentlich beim starken Anstreichen, sehr scharf auf unser Ohr weithin einwirken. Vom physikalischen Standpunkt erscheint dies um so paradoxer, als die Größe der Stimmgabeln nichts damit zu tun hat. Schlage ich z. B. eine sehr große  $c$ -Gabel kräftig an, so wird sie einem Auditorium erst dadurch hörbar gemacht, daß der Griff der Gabel fest auf einen Tisch gestemmt und hiermit, durch Mitschwingung der Tischplatte, die schwingende Fläche vergrößert und so die Uebertragung auf die Luft erleichtert wird. Dagegen wirkt eine viel kleinere, mit dem Bogen angestrichene  $c^4$ -Gabel mit viel kleinerer Fläche fast schmerzhaft auf unser Ohr. Man hat diese eigentümliche, widersprechende Erscheinung daher rein physiologisch zu erklären versucht, und ich habe unter anderm nachzuweisen gesucht, daß die Helmholtzsche Annahme, daß der äußere Gehörgang als gedackte Pfeife einen Resonanzboden darstellt, erst durch die Hensensche Entdeckung der reaktiven Zuckung des Tensor tympani an Wahrscheinlichkeit gewonnen hat,<sup>1)</sup> wenn man nicht die A. Ficksche Erklärung vorzieht, daß der Acusticus in derselben Zeiteinheit durch das  $c^4$  16mal so oft gereizt wird wie durch das tiefe  $c$ . In derselben Arbeit habe ich auch eine bisher unbekannte Erklärung der Gebrüder Weber<sup>2)</sup> mitgeteilt, welche die Erscheinung physikalisch dahin erklärt: „wenn ein und dasselbe Luftteilchen in einer gegebenen Zeit viel Stöße von einem schwingenden Körper erfährt, werden ihm die Schwingungen leichter mitgeteilt, als wenn es in derselben Zeit wenige erhält.“ In unserm obigen Beispiel würde die umgebende Luft demnach durch die  $c$ -Gabel nur 128, dagegen durch die  $c^4$ -Gabel 2048 Stöße erhalten. Ohne hier weiter die Frage zu erörtern, ob sich die größere Empfindungsstärke der hohen Gabeln mehr physiologisch erklären läßt, möchte ich hier doch einen Versuch anführen, den ich bereits vor mehr als 30 Jahren Herrn Prof. G. Quincke gezeigt habe und der einfach darin besteht, daß man selbst eine sehr starke  $c^4$ -Gabel mit fingerdicken Zinken sehr leicht durch Anblasen mit dem Mund in Schwingungen versetzen kann.<sup>3)</sup> Nach dem Gesetz der Reziprozität wird durch diese Tatsache die Theorie der Gebrüder Weber um so annehmbarer; denn ebenso leicht wie durch eine Luftbewegung, ähnlich der Aeolsharfe, die hohen Gabeln in Schwingung gesetzt werden, müssen sie auch ihre Bewegung an die umgebende Luft abgeben.

1) Studie über die Natur und die Wahrnehmung der Geräusche. Archiv für Anatomie und Physiologie. Physiologische Abteilung. Supplement. 1904. — 2) Wellenlehre, 1825, S. 533.

3) Wählt man hierzu eine tiefe Gabel, so werden beim Anblasen nur die weit hörbaren hohen Obertöne, aber nicht der Grundton hervorgebracht.

1) Ueber Mängel der Hörtröhre und über zwei wichtige, von Normal- und Schwerhörigen bisher wenig beachtete Hilfsmittel. Münchner medizinische Wochenschrift 1905, No. 5.

Komme ich von dieser physiologisch-akustischen Abschweifung, die, wie ich später zeigen werde, auch von großer, praktischer Bedeutung ist, auf mein eigentliches Thema zurück, so handelt es sich schließlich nur noch um eine kurze Besprechung der für die hohen und höchsten Töne benutzten gedackten Pfeifen. Es wurde bereits oben darauf hingewiesen, daß die gedackten Pfeifen überhaupt fast frei von Obertönen sind<sup>1)</sup> und letztere mit der Höhe der Töne immer mehr schwinden, was auch bei den Pfeifen zutrifft. Ein merklicher, die Diagnose sehr störender Umstand macht sich indessen bei den höchsten, ultramusikalischen Pfeifentönen in Form der Galtonpfeife bemerkbar. Es ist dies nämlich das durch den zum Anblasen an der Pfeife angebrachten Ballon entstehende Windgeräusch, welches jeden Ton begleitet und von unmusikalischen, resp. unaufmerksamen Patienten sehr leicht mit dem eigentlichen Ton verwechselt werden kann. Sehr viel zweckmäßiger finde ich die bereits seit 1874 zur Untersuchung von Kranken von mir benutzten Königschen Stahlzylinder, namentlich in Gestalt des von mir a. a. O. beschriebenen Apparates, in welchem sieben solcher, mittels Darmsaiten in festen Holzrahmen nebeneinander aufgespannter Zylinder auf die Töne  $c^5$ ,  $e^5$ ,  $g^5$ ,  $c^6$ ,  $e^6$ ,  $g^6$  und  $c^7$  abgestimmt sind und mittels eines verschiebbaren Hammers gleichmäßig angeschlagen werden können. Der eine theoretische Vorzug der neuen, von Edelmann konstruierten Galtonpfeife, selbst so hohe Töne zu geben, welche über die obere Hörgrenze hinausgehen, wird durch die von mir benutzten Königschen Zylinder reichlich dadurch ausgeglichen, daß ich durch Dämpfung der Schwingungen der Zylinder durch Fingerdruck den eigentlichen Klang vollkommen auslöschen und auf diese Weise bei jedem Patienten leicht feststellen kann, ob er nur den Hammerschlag oder bei Aufhebung der Dämpfung auch den Klang zu hören vermag. Im übrigen kommt man in praktischer Beziehung mit der bis zum  $c^7$  von 16,384 Schwingungen reichenden Tonhöhe der Königschen Zylinder nach meiner a. a. O. auch bereits gegebenen Auseinandersetzung vollkommen aus.

#### Nachtrag.

Nach Abschluß der vorliegenden Arbeit sehe ich mich noch zu folgenden Bemerkungen veranlaßt.

1. Herr Prof. Dr. Edelmann in München macht neuerdings darauf aufmerksam<sup>2)</sup>, „daß mit dem Grundton wahrscheinlich bei jeder Gabel (auch bei den belasteten der älteren Form) auch die Oktave desselben auftritt“ und fügt, offenbar ohne Kenntnis meiner obigen, fast 35 Jahre zurückliegenden gleichen Beobachtungen, hinzu: „In der Tat kann man mittels geeigneter Resonatoren die Oktave wahrnehmbar machen, wenn man solche dem Stiele oder dem Zinkenende nähert.“ Im übrigen ist es für mich eine Genugtuung, daß endlich auch von Edelmann selbst, dem Verfertiger der Bezoldschen Gabeln, meine bezüglichen kritischen Bemerkungen eine Bestätigung erfahren.

Was die weiteren von Edelmann gemachten Angaben über das Erklängen der Oktave im Stiele der Gabeln betrifft, so habe ich bereits im Jahre 1893 auf der zweiten Versammlung der otologischen Gesellschaft in Frankfurt a. M.<sup>3)</sup> demonstriert, daß dies jedes musikalische Ohr ohne weiteres wahrnehmen kann. Man braucht hierzu z. B. nur eine kleine, mit Gewichten beschwerte A- oder c-Gabel, an deren Stiel eine kleine, knopfartige Platte aus Hartgummi, wie sie zum Aufsetzen auf den Schädel üblich, angebracht ist. „Schlägt man eine solche Gabel an den Zinkenenden an (wobei bekanntlich sich nur ein Klapp hören läßt) und bringt die Platte schnell vor die Ohröffnung, so hört man bei normalem Ohr neben dem Grundton außerordentlich deutlich die Oktave und nach dem Abklingen dieser nur noch kurze Zeit undeutlich den Grundton, der jedoch mit voller Kraft und Klarheit wiederkehrt, sobald man die Gewichte der Ohröffnung nähert.“

2. Um die Oktave bei der Krankenuntersuchung auszuschalten, vergaß ich, ein sich von selbst aus meiner obigen Mitteilung ergebendes, seit längerer Zeit von mir erprobtes Mittel mitzuteilen. Es besteht einfach darin, daß der Untersuchte zunächst mit Hilfe des entsprechenden Resonators die Hörzeit für die Oktave feststellt und dann erst die Untersuchung mit dem Grundton der Gabel vornimmt. Hier bewährt sich wieder meine stets mit gleich-

mäßiger Stärke anzuschlagende, mit einem Schlagwerk versehene, belastete c-Gabel, in welcher die Oktave  $c^1$  eine mittlere Hörzeit von zwölf Sekunden besitzt, sodaß die ursprüngliche Hörzeit dieser Gabel von 50 Sekunden auf 38 Sekunden herabgesetzt wird. Nachdem dies einmal festgestellt, brauche ich nicht mehr bei jedermaliger Untersuchung zu dem genannten Zweck den Resonator zu Hilfe zu nehmen, was aber selbstverständlich alle diejenigen Untersucher tun müssen, welche, wie leider meist immer noch üblich, die Stimmgabeln mit einer nicht zu messenden Stärke einfach anzuschlagen pflegen.

<sup>1)</sup> Nur beim sogenannten Ueberblasen stellen sich gelegentlich unangenehm klingende hohe Obertöne ein.

<sup>2)</sup> „Die longitudinalen Schwingungen des Stieles einer tönenden Stimmgabel.“ Zeitschrift für Ohrenheilkunde Bd. 51, S. 64.

<sup>3)</sup> Archiv für Ohrenheilkunde Bd. 35, S. 139.