Vereinfachung der mikroptischen Stimmgabel und deren Verwendung

Von Dr. H. J. L. Struycken

To cite this article: Von Dr. H. J. L. Struycken (1921) Vereinfachung der mikroptischen Stimmgabel und deren Verwendung, Acta Oto-Laryngologica, 3:1, 362-371, DOI: [10.3109/00016482109121195](https://doi.org/10.3109/00016482109121195)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.3109/00016482109121195>

Published online: 08 Jul 2009.

Submit your article to this journal [↗](#)

View related articles [↗](#)

Vereinfachung der mikroptischen Stimmgabel und deren Verwendung.

Von Dr. H. J. L. STRUYCKEN,
Breda (Holland).

Im Jahre 1904 habe ich in der Zeitschrift für Ohrenheilkunde¹ Stimmgabeln beschrieben, mit denen es möglich war, die Amplitude von 100 bis 10 Mikra optisch während der Schwingung zu verfolgen. Da während des Krieges die Anfertigung der Mikrophotographien nicht möglich war, habe ich versucht, diese ganz auszuschalten und durch das reelle Bildchen einer Gruppe leuchtender Punkte zu ersetzen. Dies ist mir gelungen. Es hat sich herausgestellt, daß auf diese Weise nicht nur die optische Einrichtung eine viel einfachere, sondern auch die Beobachtung eine bequemere ist.

An Stelle des photographischen Bildchens wird eine kleine, starke bikonvexe Linse angebracht, welche von einem auf ein Meter entfernten, stark beleuchteten Punktbilde ein wo möglich fünfhundertfach verkleinertes Bildchen entwirft (Fig. 1 u. 2). Dieses Bildchen wird dann durch eine ähnliche Linse, welche an der andern Zinke der Stimmgabel befestigt ist, beobachtet. *Durch zweckmäßige Diafragmierung* ist es möglich, eine scharfe Zeichnung zu erhalten, wobei dann auch die Farbenzerstreuung nicht störend einwirkt. Auch ist man imstande, die sphärische Aberration fast ganz auszuschalten, wenn man nur den Punkt, den man gerade scharf beobachten will, in die Mitte des Gesichtsfeldes bringt. Die Beobachtung von einer Amplitude von *ein* Mikron ist dann mit einer einfachen, nicht achromatischen Linse

¹ Z. f. O. Bd. XLVI, S. 318.

ohne Beschwerde möglich und kann also die normale Grenzamplitude der Stimmgabel G (96) optisch abgelesen werden.

Das Licht einer elektrischen Lampe wird mit einer dünnen schwarzen Metallplatte verdeckt, in welcher sechs kleine Löcher

Fig. 1.

Fig. 2.

von z. B. 1 mm angebracht sind. Dieselben sind in der Weise angeordnet, daß die zwei Löcher der oberen Reihe 10 mm, die mittleren 5 mm, die der unteren Reihe 2.5 mm auseinander liegen. Die leuchtende Punktenfigur sieht also in der Ruhe aus wie die

Fig. 3.

Fig. 3⁽¹⁾. Wird diese Figur auf 1 m Entfernung durch die beiden kleinen an der Stimmgabel angebrachten Linsen beobachtet, so sieht man die Punktenfigur in der gleichen Größe wie mit dem bloßen Auge, nur umgekehrt und lichtschwächer.

Schwingt nun die Gabel, dann bewegen sich die beiden kleinen Linsen *entgegengesetzt*, was zur Folge hat, daß alle Punkte Licht-

linien werden. Diese Lichtlinien haben die *doppelte* Amplitude der Stimmgabel. Das reelle Bildchen, welches von der ersten Linse gebildet wird, erhält die Amplitude der Zinke, an der sie befestigt ist; die zweite Linse an der anderen Zinke fügt noch eine gleiche Wegstrecke in der entgegengesetzten Richtung hinzu.

Ist das reelle Bildchen also fünfhundertfach kleiner wie die Punktenfigur in der Metallplatte, so wird, wenn die unteren Lichtlinien Fig. 3⁽²⁾ einander berühren, eine Stimmgabelamplitude von 10 μ angezeigt; bei Fig. 3⁽³⁾, wo die mittleren Linien einander berühren, ist die Amplitude schon auf 5 μ heruntergegangen. Berühren sich die oberen Linien, dann entspricht das 2.5 μ , während Fig. 3⁽⁴⁾ durch einfache Verdopplung der Punkte angibt, daß *ein* Mikron erreicht ist.

Welchen Radius muß die Linse haben, damit das reelle Bildchen von einem Gegenstand auf 1 m Entfernung eine fünfhundertfache Verkleinerung erhält? Setzen wir die Verkleinerung einer kleinen bikonvexen Linse mit dem Radius r auf ein Tausendstel von r , was annähernd richtig ist, dann geht daraus hervor, daß für eine fünfhundertfache Verkleinerung ein Radius von 2 mm genügt.

Es ist aber wünschenswert, daß auch größere Ausschläge der Gabel abgelesen werden können. Hierzu braucht man nur die Beobachtung in einer Entfernung von 10 cm anstatt von 1 m anzustellen, und man wird dann zehnfach größere Werte finden.

Optisch ablesen kann man also 100, 50, 25, 10, 5, 2.5 und 1 μ . Die dazwischen gelegenen Werte kann man leicht schätzen, gegebenenfalls kann man sie auch genau bestimmen, indem man die Beobachtung in geeigneter Entfernung anstellt. Bei der klinischen Untersuchung braucht man aber eine solche Genauigkeit nicht; die Wertunterschiede, welche hier bestimmt werden, sind fast immer größerer Ordnung.

Bei den leichteren Formen von Schwerhörigkeit können aber, besonders für die höheren Töne, die Grenzamplituden nicht mehr abgelesen werden. Nur das logarithmische Dekrement setzt uns in den Stand, dieselben zu bestimmen, da sie öfter bis auf ein *Millionstel von einem Mikron* heruntergehen. Es geschieht dies auf folgende einfache Weise. Die Zeit, welche eine Stimmgabel braucht,

damit ihre Amplitude von $100\ \mu$ auf $10\ \mu$ und von $10\ \mu$ auf $1\ \mu$ heruntergeht, beträgt, wenn die Gabel nur freihängend am Stiele festgehalten wird (siehe Fig. 4), fast immer die gleiche Sekundenzahl. Diese Sekundenzahl wollen wir *Dezimierzeit* nennen. Auch bei weiter fortschreitender Abnahme darf man annehmen, daß diese ohne große Fehler mit derselben Regelmäßigkeit fortfährt. Dies ist aber nur dann der Fall, wenn die Stimmgabel peinlichst vor Berührung mit anderen Gegenständen, wie den Wimpern, den Brauen oder dem Brillengestell des Beobachters, dem Ohr oder selbst den Haaren des Untersuchten, geschützt wird; auch darf keine Schraube gelockert sein usw.¹

Die geringste Berührung der Zinke dämpft die Schwingung und ändert somit die Zeit des Ausklingens. Bei der klinischen Untersuchung habe ich es darum vorgezogen, die Gabeln aufrecht stehend in einen Kasten derart unterzubringen, daß *unabsichtliche Berührung ganz ausgeschlossen* ist und die Untersuchung auch von weniger Geschulten gemacht werden kann. Die Ausklingezeit der Gabel ist dann freilich etwas kürzer, als wenn die Gabel hängend gehalten wird, und auch das Dekrement ist dann nicht so regelmäßig.

Fig. 4.

¹ Viele Untersucher wollen das Dekrement nicht benutzen, da es nach ihrem Dafürhalten zu unregelmäßig und zu wechselnd ist. Als Beispiel gibt Quix (Z. f. O., Bd. 57, H. 2/3) das Dekrement von c'' . Suche ich mir aber aus seinen Zahlen die Dezimierzeit von 40 bis $4\ \mu$, von 30 bis $3\ \mu$ und von 20 bis $2\ \mu$ zusammen, so finde ich 43, respektive 44, 45.7 Sekunden. Ein Fehler also, von nur 6.5%. Nun glaube ich doch, daß Quix seine Forderung an Genauigkeit viel zu hoch stellt, denn wenn wir bei der Untersuchung mit Flüsterstimme feststellen können, ob ein Kranker die Flüsterlaute auf eine Entfernung von 6 oder 8 m versteht, so können wir schon recht zufrieden sein, und doch macht das schon einen Unterschied von 25 bis 30%.

Meines Erachtens können wir mit den Stimmgabeln auf oben angegebene Weise die Hörschärfe bei leichteren Fällen mit einer Genauigkeit von zehn Prozent bestimmen und bei weiter fortgeschrittenen Fällen noch viel genauer, da die Grenze sich dann immer mehr dem optisch wahrnehmbaren Werte nähert.

Wie sich die Genauigkeit für Flüsterstimme zu jener mit Stimmgabeln verhält, zeigt die graphische Fig. 5. Als Beispiel nehme ich eine Gabel von 500 Schwingungen und eine Dezimierzeit von nur 20 Sekunden. Diese Gabel wird, nachdem der Ton für einen Kranken, der Flüsterstimme nur noch *ad concham* hört, verschwunden ist, von einem normalen Ohr noch 70 Sekunden gehört. Die graphische Darstellung zeigt, daß von einem Kranken, dessen angebliche Gehörschärfe zwischen 6 und 8 m schwankt, mit der Gabel viel genauere Grenzen erhalten werden können, selbst wenn wir einen Fehler von 10% annehmen.

Fig. 5.

Bei der klinischen Untersuchung benutze ich nur fünf Stimmgabeln mit den Schwingungszahlen 100, 500, 1000, 2000 und 3000. Also annähernd die Töne G , c^2 , c^3 , c^4 und g^4 . Von diesen Gabeln wird G frei in der Hand gehalten. Die Grenzamplitude dieser Gabel kann fast immer optisch genau abgelesen werden, da das normale Minimum schon bei einem halben Mikron

liegt. Bei dieser Gabel brauchen wir das Dekrement nicht, doch lesen wir die Grenzamplitude ab. Die vier anderen Gabeln werden in kleinen Holzkasten untergebracht, wie Fig. 6⁽¹²³⁾ angibt. Der Stiel wird von einer doppelten Filzhülle umgeben und dann zwischen zwei leichten Holzklötzchen lose geklemmt. Die zusammenverschraubten Holzklötzchen sind wieder von einem weichen Lederfutteral umgeben. Die Gabel steht senkrecht und ruht auf einem Filzring. Durch diese Einpackung wird erreicht, daß *kein Klang an den Kasten selbst abgegeben wird*, und daß die Gabel *ziemlich genau nach dem mathematischen Gesetz ausklingt* und vor jeder Berührung gesichert ist.

Oben an einer Seite befindet sich eine viereckige Öffnung (O), durch welche der Ton der Gabel hinaustreten und vom Patienten belauscht werden kann. Durch Drehen am Knopf (K) wird die

Gabel automatisch angeschlagen, und zwar immer mit gleicher Stärke, so daß eine *Anfangsamplitude* von zehn Mikra erreicht wird. Anfangs brachte dieses große Schwierigkeiten mit sich, doch wenn nur die Gabel vorher immer in Ruhe gestellt wird und die

Fig. 6 (1).

Fig. 6 (2).

Fig. 6 (3).

Hammerbewegung auch bei großer Weglänge mit gleichbleibender Schnelligkeit stattfindet, kann eine Anfangsamplitude erreicht werden, welche nur ein oder zwei Mikra von der beabsichtigten abweicht.

Die vier Gabelkasten sind kreuzweise auf einem Gestell untergebracht, so daß durch eine Vierteldrehung jedesmal eine andere Gabel dem Pa-

tienten zugeführt wird. Wird jetzt eine der Gabeln zum Klingen gebracht, so ist der Ton, obwohl die Gabel nur eine Amplitude von zehn Mikra hat, doch in einiger Entfernung gut zu hören. Allmählich erlischt der Ton, und am Ende ist der Patient genötigt, das Ohr an die viereckige Öffnung des Kastens zu legen. Ist auch in dieser

Stellung der Ton verschwunden, so sagt er dies an und es wird die Sekundenzahl, die Hörzeit also, nach 10μ abgelesen. Setzen wir den Fall, ein Kranker hört den Ton einer Gabel noch h Sekunden nach 10μ ; die Dezimierzeit sei d , $1 - \frac{h}{d}$, so lehrt eine einfache Berechnung, daß $1 - \frac{h}{d}$ der Logarithmus des Minimum perceptibile ist. Praktisch ist es besser, ein etwas anderes Maß zu benutzen. Die kleinste Amplitude, welche noch von normalen Ohren gehört wird, ist niemals kleiner als ein Millionstel von einem Mikron; nennen wir diese Größe ein **Phon** ($= \frac{1}{100}$ Angström), so können wir immer die Hörschärfe in positiven Zahlen in dieser Größe ausdrücken, und auch der Logarithmus ist immer positiv. Der Logarithmus des Minimum perceptibile ist dann $7 - \frac{h}{d}$. Die Dezimierzeit ist von jeder Gabel im Kasten voraus bestimmt und an der Außenseite vermerkt; in der Seitenwand sind aber zwei kleine Öffnungen angebracht, da, wo an den Gabeln sich die kleinen Linsen befinden, wodurch man jeden Augenblick imstande ist, sowohl die Anfangsamplitude als die Dezimierzeit einer Kontrolle zu unterwerfen. In einigen Minuten kann für oben genannte fünf Stimmgabeln von jedermann die Hörgrenze bestimmt werden. Wird dann noch die obere Grenze mit dem Monochord und die Grenze für Knochenleitung für G bestimmt, so hat man genügend feste Punkte erhalten. Wird ja auch beim Farbensinn nicht für jede Nuance eine Untersuchung angestellt.

Für jeden untersuchten Patienten zeichne ich die erhaltene Exponente der **Phon** auf nebenstehende Graphik (Fig. 7) ein. Die Abszissen sind die Logarithmen von 0 bis 7. Die kleinsten Werte werden bei normalem Gehör gefunden, doch bilden diese keine scharf begrenzte Linie, sondern einen breiten Streifen, da allerlei Umstände, wie gespannte Aufmerksamkeit, Übung, akustische und psychische Ermüdung, Tageszeit, Wetter usw. mehr oder weniger Einfluß haben. Auch bei pathologischen Fällen kann man öfter bei wiederholter Aufnahme sehr auseinander gehende Werte finden, besonders hat *Ohrensausen von der Höhe des untersuchten Tons* einen störenden Einfluß auf die Genauigkeit; in anderen Fällen dagegen ist die Grenze sehr genau auf einige Mikra festzustellen. Auch findet man Fälle, wo das Gehör

für einfache Töne fast ganz normal ist und doch das Verständnis für Sprachlaute mehr oder weniger beeinträchtigt ist. Amplitudenwerte größer als 10^8 Phon ($\frac{1}{10}$ mm) sind immer etwas zweifelhaft, weil diese Amplitude auch schon taktile Empfindungen auslöst.

Die *Ordinaten* geben auf geeigneten Abständen die Schwingungszahlen der benutzten Stimmgabeln an; diese Zahlen stimmen ungefähr mit den an der oberen Seite eingeschriebenen Tönen. Die Entfernung ist willkürlich genommen, denn wollte man die musikalische Skala benutzen, so würde die Länge viel zu groß werden und der für uns weniger wichtige Teil der Töne von 100 bis 1000 einen viel zu großen Raum einnehmen. Die untere Ordinate ist verlängert, damit auch die obere Grenze für Luft- und Knochenleitung eingezeichnet werden kann.

Man hat mir eingewendet, daß dieses Verfahren nur die Grenzamplitude der Stimmgabelzinke und nicht die der Luft bestimme, und daß man mit jeder Gabel für denselben Ton eine andere Größe finden würde, abhängig von Form,

Gewicht, Größe der Gabel usw. Das kann ich aber nicht zugeben, denn genaue Untersuchungen¹ haben ergeben, daß die Luftamplitude im Gehörgang dieselbe Größe erhält wie die der Stimmgabelzinkenenden, vorausgesetzt, daß diese letztere dem Durchschnitt des Gehörganges wenigstens gleich ist. Die Gabel soll aber dem Ohr soviel wie möglich genähert werden, denn in einiger Entfernung haben die Dimensionen der Gabel großen Einfluß. Auch bei der Bestimmung der Grenze für Knochenleitung² können nur Gabeln

Fig. 7.

¹ Vox, 1914, H. 4.

² Die Knochenleitung kann mit der Gabel *G* bestimmt werden; man braucht den Stiel nur gegen den Proc. mastoid. oder sonst am Kopf anzudrücken und, sobald der Kranke angibt, die Gabel nicht mehr zu hören, die Grenzamplitude abzulesen. Die wenigen Sekunden, die dazwischen vergehen, können vernachlässigt werden, da die Dezimierzeit der Gabel wenigstens 60–120 Sekunden beträgt.

von gleichem Bau und Größe in Vergleichung gezogen werden. Daß es im allgemeinen wünschenswert ist, *nicht zu kleine* Gabeln zu benutzen, liegt daran, daß diese für Störungen beim Ausklingen bei unabsichtlichen Berührungen usw. viel empfindlicher sind und daß sie auch viel zu schnell ausklingen.

In einer weiteren Mitteilung werde ich die in pathologischen Fällen erhaltenen Ergebnisse mitteilen.

Erklärung zu den Abbildungen.

Fig. 1: Schematischer Durchschnitt durch die Mitte der kleinen Linsen. o und o' sind Diafragmaöffnungen von 1 mm, D und D' kleine Schirme, l und l' die kleinen Linsen mit einem Radius von 2 mm, die Entfernung der Linsen ist ungefähr 3 mm, das von l' gebildete reelle Bildchen wird durch l wieder vergrößert und vom Auge umgekehrt und lichtschwächer wahrgenommen.

Fig. 2: Schema der Befestigung an den Gabelzinken. Der Teil b kann mittels eines Stiftes, welcher durch m gesteckt wird, in die Richtung der Pfeile ganz wenig verschoben werden. Der Teil a auf ähnliche Weise, doch nur in eine Richtung senkrecht auf die vorige. Die Zentrierung von oben nach unten wird durch einfache Verbiegung von a oder b leicht hergestellt und braucht nur ausnahmsweise geändert zu werden. Die ganze optische Einrichtung wird durch eine Metallhülse gegen Staub und Beschädigung geschützt.

Fig. 3 (1): Das umgekehrte Bild der leuchtenden Punkte bei ruhender Stimmgabel.

(2): Bei einer Schwingungsamplitude von 10 μ .

(3): Bei einer Schwingungsamplitude von 5 μ .

(4): Bei einer Schwingungsamplitude von 1 μ .

Fig. 6 (1): Durchschnitt der Stimmgabel im Kasten. D Kastenwand, c^3 Stimmgabel, O Öffnung zum Anhören, F Filzring, H Holzklemmen, L Lederfutteral, m Feder, welche mit der Schraube s eingestellt werden kann. K Drehknopf. Jede Vierteldrehung drückt die Feder m einige Millimeter zurück und läßt sie dann zurückschnellen. Als bald stößt dieselbe auf ein kleines Filzkissen, doch das Hämmerchen n schnell weiter, bis es an die Zinke anprallt, um dann sofort durch die schwache Feder u wieder gegen die Feder m gezogen zu werden. n Ein zweckmäßig gepolstertes Hämmerchen mit langem Stiel, welcher sich *um die Achse p leicht drehen* kann. Dieses Hämmerchen ist so ausbalanciert, daß es *mit gleichbleibender Geschwindigkeit* die Strecke bis an die Zinke zurücklegt, auch dann, wenn die Gabel sich auf einige Milli-

meter größerer Entfernung befinden sollte. Die Gabel ist nämlich nur sehr wenig fest eingeklemmt und wird, wenn der Kasten nicht genau senkrecht gehalten wird, in einer oder der anderen Richtung ausweichen; auch in diesen Fällen soll aber der Anfangsausschlag immer $10\ \mu$ betragen.

Fig. 6 ⁽²⁾: Die Einrichtung zur automatischen Dämpfung der Gabel vor dem Anschlag ist in der Zeichnung nicht angegeben.

Fig. 6 ⁽³⁾: Querdurchschnitt durch den Gabelstiel und die Holzklemmen. Das Kreuz, welches die Feder m jede Vierteldrehung anspannt und löst.