X.

Bemerkungen zu den Arbeiten von Prof. Ostmann: „Schwingungszahlen und Schwellenwerte“, und „Ein objektives Hörmaß“.

Von

F. H. Quix in Utrecht.

Die späteren Bemerkungen von Prof. Ostmann zu meiner Diskussion nach seinem Vortrag auf der 73. Naturforscherversammlung zu Kassel im September 1903, welche Bemerkungen er damals nicht beantwortet hat, sowie die Qualifizierung meiner Einwände als nicht sachgemäß (dieses Archiv, Bd. LXI. S. 133), haben mich veranlaßt, die Arbeiten Herrn Ostmanns näher zu betrachten¹⁾.

Es kommt mir dies um so mehr erwünscht, da die Bestimmung der Hörschärfe einer totalen Umwälzung untergehen muß, und es mithin im Interesse der Otologie erscheint, jede Arbeit, welche diesem Ziele nachstrebt, einer genauen Prüfung zu unterziehen.

Da meine diesbezüglichen Arbeiten, welche meistens in der holländischen Sprache erschienen, in den Arbeiten Ostmanns nicht erwähnt werden, möchte ich dieselben kurz anführen.

Im Jahre 1901 habe ich damit begonnen, die Stimmgabeln der Edelmannschen Tonreihe näher zu untersuchen mit Bezug auf die relative Geschwindigkeit des Abklingens der verschiedenen Töne, welche man mittelst Verschiebung der Laufgewichte bei diesen Gabeln erhalten kann. Darauf folgten Untersuchungen über die Empfindlichkeit des Ohres für die verschiedenen Töne der Tonleiter²⁾.

1) Die weitere Bemerkung von Herrn Ostmann, daß ich zu diesen Einwänden nicht das formelle Recht hätte (s. dieses Archiv, Bd. LXI, S. 133), ist mir ganz unverständlich.

2) 1. F. H. Quix, Onderzoekingen omtrent de wijze van iuttrillen van stemvorken. Onderzoekingen Physiol. Laboratorium der Utrechtsche

Während dieser Untersuchungen, welche einen physiologischen Zweck hatten, lernte ich die Stimmgabel und Flöte näher kennen, und habe ich später eine Methode ausgearbeitet, um die Stimmgabel sowie die Pfeife auch in der Ohrenheilkunde zur exakten Bestimmung der Gehörschärfe auf physikalischer Grundlage anzuwenden. Diese Methode wurde von mir in einem Vortrag auf der Niederländischen Versammlung von Ohrenärzten im Mai 1902 zu Utrecht¹⁾ auseinandergesetzt und demonstriert, und später in der Zeitschrift für Ohrenheilkunde²⁾ publiciert.

Auch will ich hier die diesbezüglichen Arbeiten meines Landsmannes Struycken erwähnen³⁾, welche auch vor den Publikationen Ostmanns erschienen sind.

Die erste mir bekannte Arbeit von Ostmann, diesen Gegenstand betreffend, erschien 1903⁴⁾.

In dieser Arbeit ist Herr Ostmann zu ganz eigentümlichen Beziehungen einerseits zwischen den normalen Schwellenwerten (ausgedrückt durch die Größe der Amplitude), andererseits zwischen diesen und den Schwingungszahlen der Stimmgabel ge-

Hoogeschool 5^e reeks, deel II, afl. 2. Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde 1901, deel I, No. 8.

2. F. H. Quix, Onderzoek over de gevoeligheid van het oor door de Toonladder (Basgedeelte en midden octaven). Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde 1901, deel II, No. 25.

3. H. Zwaardemaker en F. H. Quix, Onze gehoorscherppte voor de tonen van midden octaven en discant. Nederlandsch Tijdschrift voor Geneeskunde 1902, deel II, No. 19.

4. Dieselben, De gevoeligheid van het oor voor de verschillende tonen der toonladder Onderzoekingen. Physiol. Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool 5^e reeks, deel IV, afl. 1.

5. Dieselben, Schwellenwert und Tonhöhe Arch. für Anatomie und Physiologie. 1902. Supplement.

6. Dieselben, Über die Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für Töne verschiedener Schwingungszahl. Ebenda. 1904.

7. Dieselben, Oppervlakken van gelijke geluidsterkte om een stemvork. Onderzoekingen Physiologisch-Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool 5^e reeks, deel III, afl. 2.

8. F. H. Quix, Over de intensiteit van het geluid eener stemvork, zooals dit afhankelijk is van amplitude en afstand. Onderzoekingen Physiologisch Laboratorium der Utrechtsche Hoogeschool. 5^e reeks, deel III, pag. 240.

1) Nederl. Tijdschrift voor Geneeskunde 1902, deel II, No. 8 u. 9.

2) Zeitschrift für Ohrenheilkunde. Bd. XLV. Heft 1.

3) Siehe Struycken Zeitschrift für Ohrenheilkunde.

4) Paul Ostmann, Schwingungszahl und Schwellenwerte. Arch. für Anatomie und Physiologie. Physiol. Abtheilung 1903.

kommen. Wenn ich die Hauptsachen zusammenfasse, so sind diese die folgenden:

1. Für je vier Oktaven (sub contra — kleine Oktave) der C- und G-Töne ein Absinken des Schwellenwertes für je eine Gabel auf rund $\frac{1}{15}$ des Wertes der tieferen Gabel. Von dem letzteren experimentell bestimmten Schwellenwerte ausgehend, meinte Herr Ostmann die Schwellenwerte für die höheren Gabeln c¹, g¹ bis c⁴—g⁸ berechnen zu können.

2. Eine Bestätigung dieses gesetzmäßigen Absinkens der Schwellenwerte durch das Verhältnis der experimentell gefundenen Schwellenwerte zu den Schwingungszahlen der zugehörigen C- und G-Gabeln.

Ähnliche Verhältnisse wurden für die D-, E-, F-, A- und H-Gabeln gefunden.

3. Eine weitere Stütze für die sub 1 und 2 ausgedrückten Gesetze, wenigstens für die C- und G-Gabeln, durch die berechneten Schwellenamplituden als Ordinate aus den Abklingcurven dieser Gabeln, deren Gleichungen einfache Exponentialfunktionen sein sollen.

Wir wollen nun diese drei Punkte, welche zu ganz eigentümlichen Gesetzen geführt haben, etwas näher betrachten.

ad 1. Herr Ostmann fand für die Schwellenamplitude bei den unbelasteten Gabeln die folgenden Werte:

C (große Oktave)		0,067 mm
G (= =)		0,012 "
c (kleine Oktave)		0,0045 "
g (= =)		0,0009 "

Aus diesen Resultaten folgt, daß die Schwellenwerte sowohl von C zu G wie von c zu g auf rund $\frac{1}{5}$ sanken; dagegen von C zu c wie von G zu g auf rund $\frac{1}{15}$.

Getroffen durch dieses gleichmäßige Absinken der Schwellenwerte im Intervall einer Oktave, prüfte Hr. Ostmann noch andere Gabeln, und da es nicht möglich war, die Reizschwellenamplituden bei Gabeln höher als g experimentell festzustellen, bestimmte er die Schwellenwerte der belasteten Gabeln der Contra- und Subcontraoktave. Er konnte also auch noch die Schwellenwerte für C², G², C¹ und G¹ bestimmen und fand nun dasselbe Verhältnis, so daß die Schwellenwerte aller C- und G-Töne teils auf belasteten, teils auf unbelasteten Gabeln in Oktavenintervallen in der fallenden geometrischen Reihe 1, 15, 15², 15³ usw. abnahmen.

Ich muß aus diesen Analysen ableiten, daß Herr Ostmann keinen Unterschied zwischen Schwellenamplituden bei belasteten und unbelasteten Gabeln macht.

Nun ist es eine Tatsache, daß man für denselben Ton (*ceteris paribus*) ganz verschiedene Schwellenamplituden findet, je nachdem man diesen Ton bestimmt auf verschiedenen Gabeln. Einige Beispiele aus einer meiner Arbeiten¹⁾ dürften dazu genügen.

So fand ich als Schwellenamplitude (die Stimmgabel wurde immer auf dieselbe Weise mit einem binauralen Stethoskop an derselben Stelle belauscht).

G ² auf Gabel (Edelmann) Nr. 1				belastet 4,31 mm
=	=	=	Nr. 2 (unbelastet C)	= 3,0 =
D ¹	=	=	Nr. 2 (=)	= 0,375 =
=	=	=	Nr. 3 (unbelast. G)	= 0,194 =
Fis	=	=	Nr. 4 (unbelastet c)	= 0,032 =
=	=	=	Nr. 5 (unbelastet g)	= 0,0155 =
C	=	=	Nr. 4 (unbelastet c)	= 0,058 =
=	=	=	Nr. 2 (unbelastet C)	unbelast. 0,050 =
G	=	=	Nr. 5 (unbelastet g)	belastet 0,0178 =
=	=	=	Nr. 3 (unbelastet G)	unbelast. 0,00527 =

Wenn Herr Ostmann die Schwellwerte für C, c, G und g nicht auf unbelastete, sondern gerade wie die Töne der Subcontra- und Contraoktave auf belastete Gabeln bestimmt hätte oder umgekehrt, so würde er ganz andere Werte gefunden haben, welche sich diesem eigentümlichen Gesetze nicht fügen konnten.

Nun will ich nicht bestreiten, daß die von Ostmann gefundenen Werte sich diesem Gesetze fügen, ich halte dies jedoch für einen Zufall, denn aus meinen ausführlichen Bestimmungen geht ein solches Gesetz gar nicht hervor. Außerdem sind die Schwellenwerte für Töne aus der Subcontra- und Contraoktave bei verschiedenen Bestimmungen so weit auseinander liegend, daß ein Mittelwert nur wenig bedeutet und jedenfalls nicht zur Auffindung eines Gesetzes herangezogen werden darf.

Die Töne D, E, F, A und H konnte Herr Ostmann allein auf belasteten Edelmannschen Gabeln hervorbringen. Aber auch hier tut sich etwas ähnliches vor, denn jeder Ton kann in den meisten Fällen auf zwei Gabeln erhalten werden.

Schade, daß Herrn Ostmann diese Möglichkeit nicht auf-

1) F. H. Quix, Onderzoekingen over de gevoeligheid van het oor door de toonladder. Nederl. Tijdschrift voor Geneeskunde 1901, deel II, No. 25, pag. 1378 en 1383.

gefallen ist, denn sodann wäre es ihm klar geworden, daß jeder Ton ganz verschiedene Normalamplituden haben kann, daß Normalamplituden ohne weiteres nicht miteinander vergleichbar sind, und man an eine Normalamplitude für einen Ton auf einer Gabel nicht auf die Normalamplitude seiner Oktave auf einer ganz anderen Gabel schließen kann.

Jedoch vorausgesetzt, dieses Verhältnis wäre wirklich richtig in den vier unteren Oktaven, so ist dennoch kein einziger Grund vorhanden anzunehmen, daß dies auch so in den höheren Oktaven sein muß. Herr Ostmann extrapoliert sogar bis in die 8 mal gestrichene Oktave, also über eine Strecke, welche nicht weniger als zweimal größer ist, wie die experimentell untersuchte Strecke. Dies ist jedenfalls unerlaubt, um so mehr, weil schon längst bekannt ist, daß jenseits der 4 mal gestrichenen Oktave das Minimum audibile wieder rasch ansteigt, um an der oberen Grenze relativ sehr groß zu sein¹⁾.

ad 2. Herr Ostmann hat wohl erkannt, daß die Stützen sub 1, besprochen für die Gesetzmäßigkeit der Schwellenamplitudenabnahme, durch die ganze Tonleiter hindurch nicht genügend sind. Er findet nun eine weitere Bestätigung dieses gesetzmäßigen Absinkens in dem Verhältnis der experimentell gefundenen Schwellenwerte zu den Schwingungszahlen der zugehörigen C- und G-Gabeln. Nach Herrn Ostmann ergab sich folgendes überraschendes Ergebnis²⁾:

Wurden die Schwingungszahlen für G^2 , G^1 , G , g usw. durch die steigende geometrische Reihe 9 , 9×30 , 9×30^2 , 9×30^3 usw. dividiert, so erhielt man Zahlen, welche nur so weit von der Größe der für die G-Gabeln experimentell gefundenen Schwellenwerte sich entfernten, daß die Differenzen ohne weiteres als Fehlerquellen betrachtet werden konnten und mußten, und welche weiter mit den Zahlen fast genau zusammenfielen, welche man unter Benutzung der fallenden geometrischen Reihe 1 , 15 , 15^2 , 15^3 usw. als Schwellenwerte für die G-Gabeln von g^1 aufwärts aus den experimentell bestimmten Werten für die tieferen G-Gabeln entwickelt hatte.

Ähnliche Verhältnisse fand Herr Ostmann für die C-, D- usw. Töne.

1) Wie weit auch die Untersuchungen von M. Wien einerseits und H. Zwaardemaker und F. H. Quix anderseits auseinandergehen, in diesem Punkte sind sie völlig übereinstimmend.

2) Schwellenwert und Tonhöhe. S. 323.

Wie nun schon Schäfer¹⁾ hervorgehoben, ist dies nichts anderes als eine kleine Umrechnung.

Nehmen wir aus Schwellenwert und Tonhöhe Tabelle I, S. 324, so fand Herr Ostmann als Schwellenamplitude für G^2 2,8 mm, für

$$G^1 \text{ 0,169 mm, so daß } \frac{a G^2}{a G^1} = \frac{2.8}{0.169} = 15 \dots \dots (1)$$

$$a G^1 = \frac{2.8}{15} = \frac{a G^2}{15}.$$

usw.

Um aus der Schwingungszahl für $G^2 = 24$ die Größe der Schwellenamplitude 2.8 zu erhalten, muß man 24 durch 9 dividieren; $2.8 = \frac{24}{9} = \frac{n}{9} \dots \dots (2)$

Aus dieser Gleichung folgen aber von selbst:

$$\begin{aligned} \frac{2.8}{15} = G^1 &= \frac{24}{9 \times 15} = \frac{2 \times 24}{9 \times 15 \times 2} = \frac{2n}{9 \times 30}; \\ \frac{2.8}{15 \times 15} = G &= \frac{24}{9 \times 15 \times 15} = \frac{4 \times 24}{9 \times 15 \times 15 \times 4} = \frac{4n}{9 \times 30^2}; \\ \frac{2.8}{15 \times 15 \times 15} = g &= \frac{24}{9 \times 15 \times 15 \times 15} = \frac{8 \times 24}{9 \times 15^3 \times 2^3} = \frac{8n}{9 \times 30^3}; \end{aligned}$$

usw.

Es sind dies alles identische Gleichungen, welche weiter nichts ausdrücken, als was man selbst in (1) und (2) niedergelegt hat.

ad 3. Um auch die Unrichtigkeit der sub 3 ausgedrückten Stütze zu beweisen, müssen wir zu den Tabellen für die Amplitudenmessungen schreiten, welche Herr Ostmann in seiner zweiten Arbeit: „Ein objektives Hörmaß“, gegeben hat.

Daß die Abklingcurven der Gabeln in jener Weise, wie sie Ostmann untersucht hat, keine einfachen Exponentialcurven sind, werde ich nun weiter zeigen.

Wenn die Curven einfache Exponentialcurven sind, oder was dasselbe sagt, wenn die Amplitudenabnahme in geometrischer Reihe stattfindet, so muß das Decrement konstant sein, ganz unabhängig von den Punkten der Curven, an denen man dieses Decrement bestimmt, und muß man durch Berechnung von jedem Punkte in der Curve ausgehend für die Schwellenamplitude denselben Wert finden.

Wie weit Herr Ostmann in seinen Curven davon entfernt gewesen ist²⁾, kann aus den folgenden Tabellen (I—V) hervor-

1) Schäfer, Zeitschrift für Ohrenheilkunde. 1903.

2) Wenn die Curven einfache Exponentialcurven sind, ist es ganz unnötig, die Curven zu konstruieren und zu interpolieren, denn in diesem Falle

gehen, zu deren Zusammenstellung ich ganz willkürliche Zahlen aus den Ostmannschen Tabellen genommen habe.

Die Tabellen bedürfen noch einer kleinen Erläuterung.

Nehmen wir z. B. die Gabel C (Tabelle I). Aus den gemessenen Amplituden 2.7 mm und 2.376 mm bei den Zeitpunkten 9' und 17'' findet man das Decrement α aus der Gleichung

$$\begin{aligned} \alpha_{17''} &= a_{9''} e^{-\alpha(17''-9'')} \\ 2,376 &= 2,7 e^{-8\alpha} \\ \alpha &= 0,01598. \end{aligned}$$

Ist α bekannt, dann kann man die Schwellenamplitude bei 5' 9'' (im 1. Versuch) berechnen aus

$$\begin{aligned} a_{5'9''} &= a_{17''} e^{-\alpha(5'9''-17'')} \\ a_{5'9''} &= 0,024 \text{ mm,} \end{aligned}$$

während $a_{5'9''}$ experimentell durch Ostmann gemessen wurde und 0,060 mm betrug.

Nimmt man, wie Herr Ostmann in seinen späteren Arbeiten, die Intensität des Schalles einer Gabel proportional dem Quadrat der Amplitude, so betrug die Intensität bei 17'' $\left(\frac{a_{17''}}{a_{5'9''}}\right)^2$ mal die Intensität bei 5' 9''. Nimmt man für $a_{5'9''}$ den berechneten Wert, so ist dieser Betrag 11270, dagegen 1568 wenn man die wirklich gemessene Amplitude herbeizieht. Hätte man also nicht die ganze Curve experimentell gemessen, sondern allein das Decrement zwischen 9'' und 17'' berechnet, so wäre die Tabelle für die Hörschärfe ganz falsch gewesen, denn im ersteren Falle ist die pathologische Hörschärfe bei 17 Sekunden $\frac{1}{1568}$, im letzteren Falle $\frac{1}{11270}$.

Aus den Spalten der Tabellen zeigt sich nun, daß das Decrement nicht konstant, und bei den höheren Gabeln dies auch nicht annähernd ist. Die Folge dieser Inkonstanz des Decrements ist, daß man ganz andere Werte für die Schwellenamplitude findet, je nachdem man von verschiedenen Zeitpunkten in der Curve mit verschiedenem Werte für das Decrement ausgeht.

Im allgemeinen differiert die berechnete Schwellenamplitude um so mehr von der wirklichen, je früher man in der Curve den Ausgangspunkt wählt und je höher die Gabel ist. Bei höheren läßt sich die Gehörsschärfe bei jeder Sekunde aus einer einfachen Berechnung ableiten.

Gabeln als c^2 kann man nur ein relativ sehr kleines Stück der Curve im Anfange wirklich messen, und müssen die aus diesem Decrement berechneten Schwellenamplituden von den wirklichen sehr verschieden sein; außerdem ist das Decrement in diesem kleinen Stück der Curve sehr inkonstant, so daß man noch mit verschiedenen Werten für das Decrement zu ganz verschiedenen Schwellenamplituden kommen kann.

Einige Beispiele werden dies weiter erhellen (s. Tabelle I—V S. 126 u. f.).

Herr Ostmann hat aus seinen zwei gefundenen Werten für c^3 nämlich $0,9955 \times 10^{-6}$ ¹⁾ und $0,263 \times 10^{-5}$ den Mittelwert $0,1277 \times 10^{-5}$ angegeben. Es ist aber kein einziger Grund anzuführen, weshalb dieser Mittelwert mehr dem Wirklichen näher kommt, als die zwei angegebenen und die anderen in Tabelle IV berechneten. Aus den Bestimmungen von Herrn Ostmann für Gabel c^3 läßt sich gar nicht ableiten, welche die wirkliche Schwellenamplitude gewesen ist.

Noch schlimmer wird die Sache bei c^4 . Wie Herr Ostmann in einer Note zu seiner Tabelle D selbst erwähnt, ist die aus der 3. und 5. Sekunde berechnete Ordinate (Schwellenamplitude) kleiner, die aus der 5. und 9. größer als der für die 3. und 9. Sekunde²⁾ berechnete Wert, und doch führt er den aus der 3. und 9. Sekunde berechneten Wert $= 0,3461 \times 10^{-6}$ als eine Stütze für seine Behauptung an.

Wenn Herr Ostmann diese Zahlen angegeben hätte, so wie auch einige mehr für g^3 , so wäre es jedem Leser klar geworden, daß von einer Stütze gar keine Rede sein kann. Ich werde dies in der folgenden Tabelle V noch dartun.

Durch diese Bemerkungen meine ich völlig bewiesen zu haben daß die von Ostmann gefundenen Gesetze unrichtig sind.

1) Für die Zahl 0,0000009955 werde ich die einfachere Schreibweise $0,9955 \times 10^{-6}$ anwenden.

2) Es ist mir nicht deutlich, aus welcher Bestimmung Herr Ostmann das Decrement zwischen 3 und 9 Sekunden berechnet hat, denn in den drei Versuchen (S. 52) kommen diese Sekunden nicht in demselben Versuche vor. Die Bestimmung des Decrements aus zwei Amplitudenmessungen, zu zwei verschiedenen Versuchen gehörend, kann ungenau sein durch Änderung der Spannung. Dies gilt auch für andere Gabeln.

3) Unbegreiflicherweise hat Herr Ostmann für g' in seiner Tabelle D nur einen Wert angegeben, welcher sich sehr schön seinem Gesetz fügt. Wie man jedoch sogleich mit dem ersten Blick auf die Tabellen für g' sehen kann, ist von einem konstanten Decrement gar keine Rede, und kann man sehr verschiedene Schwellenamplituden berechnen.

TABELLE I.

Gabel C.

1	2	3	4	5	6	7	8
Versuch und Seite	Zu Grunde gelegt wurden die in den Sekunden gemessenen Amplituden in m. m.	Berech- netes De- crement α	Schwellenamplitude $a_n = a_s' g''$		Verhältnis der physika- lischen Intensität $\left(\frac{a_p}{a_n}\right)^2$		a_p
			Als Ordinaten der Expo- nentialkurve berechnet	Durch Ost- mann wirklich gemessen	Aus der in (4.) berech- neten Schwellen- amplitude	Aus der gemessenen Schwellen- amplitude	
1. Versuch S. 31	9"—17" 2,7—2,376	0,01598	0,0224	0,060	$1,13 \times 10^4$	$1,57 \times 10^3$	a_{17}''
"	9"—15" 2,7—1,134	0,0155	0,0259	"	$1,92 \times 10^2$	$3,57 \times 10^2$	a_{15}''
"	1,5"—3',5" 1,134—0,208	0,0143	0,03605	"	$3,3 \times 10$	$1,2 \times 10$	$a_{3'6}''$
"	3',5"—4',1" 0,208—0,112	0,011	0,05282	"	4,5	3,5	$a_{4'1}''$

TABELLE II.

Gabel g (kleine Oktave).

1	2	3	4	5	6	7	8
Versuch und Seite	Zu Grunde gelegt wurden die in den Sekun- den gemesse- nen Amplituden in m. m.	Berech- netes De- crement α	Schwellenamplitude $a_n = a_{2'23}'' (e)$		Verhältnis der physika- lischen Intensität $\left(\frac{a_p}{a_n}\right)^2$		a_p
			Als Ordinaten der Expo- nentialkurve berechnet	Durch Ost- mann wirklich gemessen	Aus der in (4.) berech- neten Schwellen- amplitude	Aus der gemessenen Schwellen- amplitude	
2. Versuch S. 39	19"—23" 0,225—0,180	0,05579	0,15437 $\times 10^{-3}$	0,0009	$1,36 \times 10^6$	$4,0 \times 10^4$	a_{23}''
	1'5"—1'48" 0,027—0,0045	0,04167	0,7951 $\times 10^{-3}$	"	$3,2 \times 10$	$2,5 \times 10$	$a_{1'40}''$
	1,45"—1'57— (34)	0,05719	0,4267 $\times 10^{-3}$	"	$4,0 \times 10$	9,0	$a_{1'57}'' -$ (34)
	0,054—0,0027						

TABELLE III.

Gabel g'.

1	2	3	4	5	6	7	8
Versuch und Seite	Zu Grunde gelegt wurden die in den Sekunden gemessen- en Ampli- tuden . . . in m. m.	Berech- netes Decrement α	Schwellenamplitude $a_n = a_2'33''$		Verhältnis der physika- lischen Intensität $\left(\frac{a_p}{a_n}\right)^2$		a_p
			Als Ordinat der Expo- nential- kurve be- rechnet	Aus den Schwin- gungszahlen durch Ost- mann ber.	Aus der in (4.) be- rechneten Schwellen- amplitude	Aus der dch. Ostmann berechneten (5.) Ampli- tude	
1. Versuch S. 43	2''—6'' 1,080—0,540	0,1733	0,4671 $\times$ 10 ⁻⁴	0,64 $\times$ 10 ⁻⁴	1,34 $\times$ 10 ²²	1,04 $\times$ 10 ⁸	a ₆ ''
2. Versuch S. 44.	32''—49'' 0,105—0,054	0,04077	0,7777 $\times$ 10 ⁻³	=	4,82 $\times$ 10 ³	1,04 $\times$ 10 ⁶	a ₄₉ ''
3. Versuch S. 45	1,9''—1,18'' 0,018—0,009	0,07702	0,2794 $\times$ 10 ⁻⁴	=	1,04 $\times$ 10 ⁵	2,88 $\times$ 10 ⁴	a _{1'18} ''

TABELLE IV.

Gabel c³.

1	2	3	4	5	6	7	8
Versuch und Seite	Zu Grunde gelegt wurden die in den Sekunden gemessenen Amplituden in m. m.	Berech- netes Decrement α	$a_{57''5'} (19\frac{1}{2})$		Verhältnis der physika- lischen Intensität $\left(\frac{a_p}{a_{57''5'}}\right)$		a_p
			Als Ordinat der Expo- nentialkurve berechnet	Durch Ostmann wirklich gemessen	Aus der in 4. be- rechneten Amplitude	Aus der durch Ost- mann in 5. gemessenen Amplitude	
2. Versuch S. 50	4''—8'' 0,063—0,036	0,1399	0,2807 $\times$ 10 ⁻⁴	0,135 $\times$ 10 ⁻²	1,65 $\times$ 10 ⁶	7,11 $\times$ 10 ²	a ₈ ''
"	8''—16'' 0,036—0,018	0,08665	0,494 $\times$ 10 ⁻³	=	1,33 $\times$ 10 ³	1,78 $\times$ 10 ²	a ₁₆ ''
"	16''—34'' 0,018—0,0045	0,07702	0,7034 $\times$ 10 ⁻³	=	4,1 $\times$ 10	1,1 $\times$ 10	a ₃₄ ''
"	38''—41'' ₅ 0,0081—0,0054	0,1158	0,846 $\times$ 10 ⁻³	=	4,1 $\times$ 10	1,6 $\times$ 10 ¹	a _{41''₅}

TABELLE V.

(Erweiterte Tabelle D, Ostmann Obj. Hörn. S. 23).

1	2	3	4	5	6	7
Schwellenwerte für	Versuch und Seite	Zu Grunde gelegt wurden die Sekunden	Gemessene Am- plituden bei den Sekunden in (3)	Berechnete Schwellenampli- tude	Durch Ost- mann be- rechnete Schwellen- amplitude	Durch Ost- mann an den Schwingungs- zahlen be- rechnete Schwellen- amplitude
c ¹	1,43	2''—6''	1,080—0,540	0,4671 $\times$ 10 ⁻¹¹	—	—
	=	16''—31''	0,216—0,108	0,3846 $\approx$ 10 ⁻⁸	—	—
	=	51''—1',00''	0,036—0,018	0,1395 $\approx$ 10 ⁻⁴	—	—
	2,44	32''—49''	0,105—0,054	0,777 $\approx$ 10 ⁻³	—	0,53 $\times$ 10 ⁻⁴
	=	1'21'',5—1'35'' (40)	0,0054—0,0027	0,153 $\approx$ 10 ⁻⁸	—	—
	3,45	1',9''—1'18''	0,018—0,009	0,2794 $\approx$ 10 ⁻⁴	—	—
	?	8''—65''	?	—	0,64 $\times$ 10 ⁻⁴	—
c ³	2,50	4''—8''	0,063—0,036	0,1304 $\times$ 10 ⁻⁷	—	—
	=	16''—34''	0,018—0,0045	0,9489 $\approx$ 10 ⁻⁵	—	—
	3,51	3'',5—9''	0,054—0,0315	0,107 $\approx$ 10 ⁻⁵	—	0,141 $\times$ 10 ⁻⁵
	?	8''—15''	?	—	0,9955 $\times$ 10 ⁻⁶	—
	?	50''—57''	?	—	0,263 $\times$ 10 ⁻⁵	—
c ⁴	2,52	3'',—5'',5	0,009—0,0045	0,4531 $\times$ 10 ⁻⁷	—	—
	=	5'',5—9'',5''	0,0045—0,000225	0,339 $\times$ 10 ⁻⁵	—	0,91 $\times$ 10 ⁻
	?	3''—9''	?	?	0,3461 $\times$ 10 ⁻⁶	—

Wir kommen nun zu seiner zweiten Arbeit: „Ein objektives Hörmaß“.

Zuerst zu den Tabellen.

Aus dem vorangehenden folgt ohne weiteres, daß alle Tabellen, bei denen die Größe der Schwellenamplituden nicht direkt gemessen, sondern aus den Schwingungszahlen falsch berechnet sind, unrichtig sein müssen, weil die Schwellenamplitude als Hörmaßeinheit angenommen ist.

Wie kolossal groß die Fehler durch diese Annahme sein können, geht aus den Spalten 6 und 7 der Tabellen hervor.

Durch diesen Umstand können die Tabellen für c¹, g¹, c², g², c³ und c⁴ der Wahrheit nicht entsprechen, sondern müssen außerordentlich weit davon entfernt sein. Es bleiben also noch die Tabellen für C, G, c und g.

Zu diesen Tabellen habe ich noch die folgenden Bemerkungen:

Aus den Tabellen für die verschiedenen Versuche bei jeder Gabel geht hervor, daß die Spannung bei allen Versuchen nicht immer dieselbe gewesen ist. Z. B. bei C (S. 32) ist in beiden

Versuchen die Amplitude nach 4 Sekunden 3,24 mm, in dem 2. Versuche nach 8 Sekunden 2,7 mm, dagegen in dem 3. Versuche nach 9 Sekunden 2,7 mm. Die Gabel muß also im 2. Versuche fester eingeklemmt gewesen sein, als in dem 3. Versuche.

Sehen wir nun die definitive Tabelle für Gabel C (S. 55), so finde ich als Amplitude bei 17 Sekunden 2,376 mm angegeben aus dem 2. Versuche; und bei 31 Sekunden 1,890 mm aus 3. Versuche genommen. Dies ist natürlich nicht erlaubt. Wenn die Gabel in zwei Versuchen nicht genau in derselben Weise abgeklingen ist, können die zwei Versuche nicht kombiniert werden zu einer definitiven Tabelle.

Ähnliche Fehler haben sich bei den drei anderen Gabeln eingeschlichen. Es ist nun sehr schwer, die Gabel immer in derselben Spannung in einem Stativ zu befestigen, und wenn Herr Ostmann einmal mit dem Figürchen von Gradenigo und bei den höheren Gabeln mit der Modifikation Struycken gearbeitet hat, bin ich überzeugt, daß er die alte Methode von Helmholtz verlassen wird, denn mit der erstgenannten Methode kann man der Amplitudenabnahme folgen beim Verklingen in der Hand und ganz genau messen.

Ich bedaure sehr, daß aus diesen Gründen die Tabellen von Herrn Ostmann für die Gabeln höher wie g gar keinen, und die vier tieferen nur wenig Wert haben, denn aus eigenen Erfahrungen im Anfang meiner Untersuchungen weiß ich, daß diese Versuche und Tabellen viele Mühe und Arbeit verursacht haben müssen.

Wir kommen zum Schluß zur Anwendung des objektiven Hörmaßes.

Bei der Hörprüfung geht Herr Ostmann nicht von einem konstanten Anschlage aus, sondern er verwendet zum Auffinden eines festen Punktes in der Ausklingcurve einen Kunstgriff, der indes schon sehr alt ist und von Lucae angegeben ist, nämlich den, daß der Untersucher vor oder nach der Prüfung des kranken Ohres seine eigene Schwellenamplitude aufsucht¹⁾.

Diese Methode hat jedoch in der Otologie keinen Eingang gefunden, und mit Recht aus den folgenden Gründen.

1. Schwankt die Schwellenamplitude bei jeder Bestimmung, und besonders bei den tieferen Gabeln, es ist dies immer ein Fehler, welchen man nicht umgehen kann.

1) Siehe Jacobson, Dieses Arch. Bd. XXIV. S. 39.
Archiv f. Ohrenheilkunde, LXIII. Bd.

2. Wenn die pathologische Hördauer wenig differiert mit derjenigen des Untersuchers, ist die genaue Bestimmung auf diese Weise nicht mehr möglich, denn das Ohr des Untersuchers kann den Ton nicht mehr auffinden, wenn die Tonintensität in die Nähe der Schwellen gekommen ist. Um so mehr ist dies ein Fehler, als immer einige Sekunden vergehen zwischen dem Zeitpunkte, daß der Patient den Augenblick angibt, in welchem der Ton für sein Ohr verklingt und man die Gabel an sein eigenes Ohr gebracht hat. Bei den höheren Gabeln ist dieser Fehler sehr groß, weil diese Gabeln rasch verklingen.

3. Wie ich an anderer Stelle ausführlich auseinander gesetzt habe, ändert sich die Intensität des Schalles in der Umgebung einer Gabel durch die Anwesenheit der Interferenzflächen, die stielwärts abnehmenden Amplituden usw. von Punkt zu Punkte. Man muß also immer die Gabel gerade an derselben Stelle und denselben Abstand ihrer Zinken dem Ohre gegenüber halten. Dieses ist nun, wenn man sein eigenes Ohr untersucht, nicht möglich, selbst nicht, wenn man in den Spiegel schaut.

4. Ist die Abklingkurve der Gabel verschieden, je nachdem sie horizontal, vertikal oder in anderen Stellungen gehalten wird.

5. Wird bei den meisten Gabeln, besonders bei den tieferen zu einer Bestimmung nach dieser Weise mehr Zeit gefordert, wie zu derselben nach einem konstanten Anschlage, weil die tieferen Gabeln in pathologischen Fällen, in den weitaus meisten Fällen sehr kurz, normal jedoch sehr lang gehört werden.

Ein Sperrer nach Ostmann ist zum Erhalten einer konstanten Anfangsamplitude weniger geeignet, da gerade durch dieses Instrument alle Obertöne, und sogar am stärksten auftreten, weil am Ende der Zinken alle Töne einen Schwingungsbauch haben. Auch ist nach eigener Erfahrung der Ausschlag mit einem Sperrer nicht immer konstant.

In einem Punkte bin ich noch principiell anderer Ansicht wie Herr Ostmann, was nämlich die Ausmessung der Gehörschärfe aus den in der Abklingkurve bekannten Amplituden der Gabel anbetrifft.

Es kommt mir vor, daß Herr Ostmann in seiner Arbeit: „Objektives Hörmaß“ die Bedeutung dieser Frage unterschätzt hat. Denn er sagt auf S. 28, nachdem er hervorgehoben hat, daß man nach zwei Arten die Bestimmung notieren kann, nämlich die Hörschärfe umgekehrt proportional dem Quadrate der Amplitude, oder ausgedrückt in Vielfachen oder Normalamplituden:

„Doch muß der praktischen Erfahrung die Entscheidung überlassen bleiben, welche Art der Bestimmung und Aufzeichnung sich am zweckmäßigsten erweist. Einfacher und deshalb praktisch wohl handlicher ist die Bezeichnung der Hörschärfe nach der Zahl der Normalamplituden, bei der der Ton verklingt.“

Es ist hier nun nicht die Frage, was praktisch handlicher und einfacher, sondern was richtig ist; praktisch am handlichsten ist noch immer die alte Bezeichnung in Bruchteilen der normalen Sekundenzahl, und Herr Ostmann bestreitet selbst diese Methode, weil dieselbe nicht der Wahrheit entspricht. Will man nun mit dieser Methode brechen, so muß man consequent bleiben und die Intensität des Schalles als Ausmaß zugrunde legen.

Ich muß hier ausdrücklich hervorheben, daß Herr Ostmann in seinem Vortrage zu *Kassel* nur sprach von Bezeichnung in Vielfachen der Normalamplituden, ganz im Einklange mit seinen angegebenen Tabellen, was mir damals die Bemerkung in den Mund legte, daß ein Ausmaß nach der Größe der Amplitude unnatürlich und nicht physiologisch richtig sei, weil die Amplitude der Gabel nicht der Reiz für das Ohr ist, sondern die Intensität des von ihr (Gabel) erregten Schalles.

Es wundert mich sehr, daß Herr Ostmann mich nun nach Stellen in seiner Arbeit verweist, in welchen er hervorhebt, daß die Intensität jetzt wohl allgemein und unbestritten dem Quadrate der Amplitude proportional gesetzt wird¹⁾.

Ich habe niemals behauptet, daß Herr Ostmann dies nicht wüßte, oder diesbezüglich andere Vorstellungen hätte, sondern allein daß er diesen Maßstab damals nicht bei seiner Hörschärfbestimmung verwendet, was deutlich aus dem oben citierten Satz von Ostmann hervorgeht, welcher dem gegen mich verwendeten Citat unmittelbar auf S. 28 seiner Monographie folgt.

Es freut mich sehr, daß Herr Ostmann in seiner späteren Arbeit auch, wie ich, die Intensität des Schalles als Hörmaß annimmt, sich also meinen Bemerkungen anschließt.

Daß die Tonstärke allgemein und unbestritten proportional dem Quadrate angenommen wird, darf ich bestreiten; dies sind jedoch physikalische Probleme, über welche wir uns hier nicht verbreiten können. Allein ich möchte betonen, daß ich in mei-

1) Dieses Arch. Bd. LXI. S. 133.

nen ersten Arbeiten, dem physikalischen Usus folgend, diese Proportionalität angewendet habe¹⁾. Später bin ich aus verschiedenen Gründen davon abgekommen, und halte ich eine Proportionalität mit einem Exponent zwischen 1 und 2, im Mittel 1, 2, für genauer. Auch fand der italienische Physiker Stefanini²⁾ die Tonstärke einer Gabel mehr der ersten Potenz der Amplitude wie dem Quadrate proportional.

In diesem Probleme befinden Prof. Zwaardemaker und ich uns in Controversen mit Prof. M. Wien, Physiker aus Danzig, und wir hoffen, daß aus diesen Meinungsverschiedenheiten nützlichcs für die Otologie hervorgehen wird.

Auch muß ich die zweite Bemerkung Herrn Ostmann's refutieren, nämlich daß mein Einwand: „Die von Herrn Ostmann gefundenen Normalamplituden haben auch deshalb keinen reellen Wert, weil von mehreren Stimmgabeln derselben Tonhöhe, aber von verschiedenem Bau und Maße jede ihre eigene Normalamplitude hat“, allein dann berechtigt sei, wenn Herr Ostmann die Behauptung aufgestellt hätte, daß man mit jeder C- oder G-Gabel seine Hörprüfungstabellen benutzen könne. Auch ohne diese Behauptung ist dieser Einwand berechtigt, weil aus dem Vorangehenden erwiesen ist, daß Herr Ostmann zuseinen eigentümlichen Gesetzen kam durch die nicht erwähnte und unrichtige Annahme, daß die Normalamplitude für denselben Ton auf verschiedenen belasteten und unbelasteten Gabeln gleich groß ist, und die Schwellenamplituden in den Tabellen für c^1 , g^1 , c^2 , g^2 , c^3 und c^4 nach diesem falschen Gesetz berechnet, diese Tabellen wertlos machen.

Auch glaube ich, daß diese Normalamplituden Herrn Ostmann vor dem Geiste schwebten, bei dem Gedanken Stimmgabeln anfertigen zu lassen nach einem bekannten Modell, für welche dieselbe Tabelle benutzt werden konnte. In seiner letzten Arbeit ist auch Herr Ostmann schon teilweise von dieser Utopie abgekommen. Hoffentlich wird er sich mir nun bald ganz anschließen und jede Gabel als ein physikalisches Individuum betrachten, welches gesondert geeicht werden muß, gerade wie auch jedes Thermometer gesondert geeicht wird. Findet man zwei in physikalischem Sinne ganz identische Gabeln, so

1) Nederl. Tijdschrift voor Geneeskunde 1902, deel I, No. 8.

2) Stefanini, Sulla legge di oscillazione del diapason e mesure dell' intensita del' suono. 1889.

muß dies als ein großer Zufall angesehen werden, dessen Erreichung die Gabeln sehr teuer machen muß und außerdem zwecklos ist, weil es leichter und rascher geht, jede Gabel gesondert zu aichen. Auch genügt dieselbe Dämpfung (Decrement) nicht zur physikalischen Identität zweier Gabeln¹⁾.

Es wird jedem, welcher sich etwas eingehend mit der Frage der Hörschärfebestimmung beschäftigt hat, wohl klar sein, daß in diesem mühseligen Problem noch nicht das letzte Wort gesprochen ist. Es rührt dies besonders davon her, daß vom Schalle physikalisch hierzu nicht genügend bekannt ist. Die Stimmgabel, welche wir bis heute in der Otologie nicht entbehren können, ist ein sehr compliciertes Instrument, dessen viele physikalischen Probleme noch der Lösung warten. Seitens der Physiker wird dieses Thema nur wenig bearbeitet, und so müssen wir, wenn wir weiter kommen wollen, selbst unbeholfene Versuche anstellen.

Diese Umstände geben das formelle Recht, die Untersuchungen Anderer mit den eigenen zu vergleichen und c. q. Einwände zu erheben. —

1) Ostmann, Dieses Arch. Bd. LXI. S. 131.