

dem Schlagraume befestigte, wurde im Thermometer eine Erwärmung von 7 Linien beobachtet. Die Büschel-Entladung war in eine aus Büscheln und Funken zusammengesetzte Entladung übergegangen.

## V. *Versuche über die Unterscheidung differenter Schallstärken;*

*von Th. Renz und Aug. Wolf,*

Med. stud. in Tübingen.

(Mitgetheilt aus dem Archiv für phys. Heilkunde.)

Während verschiedene Angaben über unser Vermögen, einander naheliegende *Tonhöhen* (also die Schwingungszahlen tönender Körper) zu unterscheiden, vorliegen, fehlen noch Versuche über die Feinheit unseres Unterscheidungsvermögens für einander nahe stehende Ton- (Schall-) *stärken*, mit andern Worten, für die Intensitätsunterschiede der Stöße, welche das Gehörorgan treffen. Durch Hrn. Prof. Vierordt aufgefordert, unternahmen wir es in dieser Richtung zu experimentiren.

Die in jeder Beziehung beste Methode wäre, wenn es gelänge, Töne von verschiedener aber naheliegender Intensität so hervorzubringen, daß diese Intensitäten objectiv genau gemessen werden könnten. Allein die Schwierigkeiten, dieser Forderung zu genügen, sind für alle und jede Gattung von Tonwerkzeugen so groß, ja unübersteiglich, daß wir auf dieses Verfahren verzichten mußten. — Es ist hiemit freilich die Aufgabe und die Bedeutung der Versuchsergebnisse etwas verändert, denn es versteht sich, daß das, was für die Feinheit unseres Unterscheidungsvermögens hinsichtlich naheliegender *Tongrößen* <sup>1)</sup> gilt, durchaus nicht

1) In der Tonscale selbst werden wiederum Differenzen hinsichtlich der Feinheit unseres Unterscheidungsvermögens naheliegender Tonstärken vor-

in gleicher Weise für *Schallgrößen* gelten kann, und am wahrscheinlichsten ist wohl die Vermuthung, daß unser dießfallsiges Unterscheidungsvermögen für Töne weit feiner sey; denn der Ton ist ein elementarer und darum viel leichter auffassbarer Oscillationsvorgang, während die Schalle und Geräusche sehr verwickelte Vibrationserscheinungen darstellen.

Um nun Schalle von verschiedenen aber naheliegenden und objectiv meßbaren Intensitäten zu erzeugen, ist gewiß die einfachste und sicherste Methode die: daß man *dieselbe* Schallquelle von constanter Intensität benutzt, sie aber in verschiedene genau zu messende Abstände vom Ohr bringt. Hiezu wählten wir am Besten das Tiktak der Taschenuhr, dessen Stärke zwar innerhalb größeren Zeiten, niemals aber — *worauf es bei unseren vergleichenden Messungen allein ankommt* — innerhalb weniger Sekunden variirt. Leider ist es uns nicht möglich gewesen einen guten Chronometer zu unsern Versuchen benutzen zu können, dessen Schallstärke viel constanter seyn muß als bei einer gewöhnlichen Taschenuhr.

Für die Versuche gab uns Hr. Prof. Vierordt folgenden Apparat an: Ein horizontales 175 Centimeter langes und 14 Centimeter breites Brett ist auf seiner Oberseite mit einer 9 Centimeter breiten Längsrinne versehen, in welcher ein unten und an den Seiten mit Tuch umlegter gut anschließender Schieber von Holz sich bewegen läßt. Der Schieber trägt einen senkrechten Stab ebenfalls aus Holz, dessen oberes Ende auf der Vorderseite gut gepolstert ist. Auf diesem Polster ruht die Taschenuhr. — Mit dem einen Ende des horizontalen Brettes ist fest verbunden ein senkrechttes Brett, in dessen oberem Theil ein Loch (Ohrloch) viel weiter als das äußere Ohr, sich befindet. Der Gehörgang des Hörenden fällt in die Mitte dieses Loches. Für möglichst bequeme Anlegung des Kopfes an das Ohr-

kommen; und zwar wahrscheinlich zu Gunsten der höheren Töne, von denen außerdem bekannt ist, daß wir ihre kleinsten Tonstärken leichter noch wahrnehmen können, als dieß uns möglich ist bei tieferen Tönen.

loch ist durch ein Polster gesorgt. Außerdem ist das Brett selbst auf der der Uhr zugewandten Seite gepolstert. Störende Schalleitungen und Schallreflexe werden somit durch die verschiedenen Polster hinlänglich verhütet. — Vor dem Versuch erhält das Ohr die richtige Lage. Ein senkrechter und ein horizontaler Faden kreuzen sich in der Mitte des Ohrlochs. Der Kopf des Hörenden wird derartig gestellt, daß die Mitte der Mündung seines äußeren Gehörganges horizontal genau gegenüberliegt der Kreuzungsstelle der Fäden. Dasselbe ist der Fall mit dem Mittelpunkt der Uhr. Äußerer Gehörgang, Kreuzungspunkt der Fäden und Mitte der Uhr liegen somit in derselben horizontalen Linie, was von der Uhr auch dann noch gilt, wenn sie vom Ohr weiter entfernt wird. Die Fäden werden zurückgeschlagen und die Uhr durch Verschieben ihres Stativs in den gehörigen Abstand vom Ohr gebracht. Wesentlich ist eine während der Versuche genau gleichbleibende Stellung des äußern Gehörganges zur Uhr. Zu diesem Behufe ist ein um eine horizontale und verticale Axe drehbares Spiegelchen dem Gesichte des Hörenden gegenüber angebracht. Auf dem Spiegelchen sind zwei Punkte bezeichnet. Der Hörende hatte während des Versuchs die Aufgabe mit zwei bestimmten Stellen des Spiegelbildes seines Antlitzes die beiden markirten Punkte des Spiegels zu decken. Damit war also für gleichbleibende Stellung des äußern Gehörganges gegenüber der Schallquelle in untadelhafter Weise gesorgt. — Neben der Rinne des horizontalen Brettes war eine Scale angebracht, um den Abstand der Uhr vom Kreuzungspunkt der Fäden im Ohrloch zu messen. Der Kreuzungspunkt war bei uns beiden 20 Millimeter vom Eingang des Gehörganges entfernt. Die Werthe der Scale wurden in Abständen der Uhr von der Mündung des äußeren Gehörganges aufgetragen. Unter der richtigen Voraussetzung, daß das Tiktak der Uhr in den Zeiträumen von wenigen Sekunden in seiner Stärke nicht variire, können somit durch Verschiebung der Uhr, was sich im Moment bewerkstelligen läßt, die Größen der das Ohr treffenden Schalle will-

kürlich verändert und dieselben zugleich nach ihrem relativen Werth gemessen werden. Die das Ohr treffenden Schallgrößen verhalten sich nämlich bei gleicher Stärke der Schallquelle umgekehrt wie die Quadrate der Abstände der Schallquelle von der Mündung des äußeren Gehörganges <sup>1)</sup>. Dies gilt, wie die Theorie verlangt, streng genommen, nur von homocentrischen Schallen, welche Bedingung unsere Versuche nicht erfüllen; der dadurch gesetzte Fehler in der Berechnung der Schallgrößen bei verschiedenen Abständen der Uhr kann übrigens in unserem Fall vernachlässigt werden.

Die Versuche wurden nun in folgender Weise angestellt. Der Kopf wurde, wie angegeben, fixirt, eine vor das Ohrloch gehaltene und das Tiktak unvernnehmbar machende Pappscheibe schnell entfernt, so daß das Tiktak der Uhr bei genau gemessenem Abstand der letzteren vom Ohr, jedesmal 5 Sekunden lang gehört wurde. Die Pappscheibe wurde sodann vorgehalten, das Tiktak verschwand; nach einer ganz kurzen, in allen Versuchen gleichen Pause wurde die Pappscheibe nochmals entfernt und der Vergleichsversuch wiederum 5 Sekunden lang angestellt, nachdem zuvor der Assistent den Abstand der Uhr um ein Gewisses verändert. Der Hörende hatte nun zu entscheiden, ob der erste oder zweite Schall stärker sey. Die Antworten vertheilen sich in 1) richtige, 2) falsche und 3) unentschiedene, d. h. solche, in welchen der Experimentirende kein bestimmtes Urtheil abgeben konnte. Man bekommt bald eine solche Fertigkeit, daß man zwar nicht gegen das Fehlermachen, wohl aber gegen bloßes Errathen geschützt ist; man giebt eine bestimmte, auf unmittelbare Empfindungen basirte Antwort und als solche muß auch das Suspendiren des Urtheils gewissermaßen betrachtet werden.

Wir messen also die relativen Schallstärken in je zwei Vergleichsversuchen. Von Interesse wäre nun freilich, wenn

- 1) Eine einfache Ueberlegung zeigt, daß, beim Hören in der Luft, unter Abständen der Schallquelle nur die Entfernung derselben von der Mündung des äußeren Gehörgangs verstanden werden kann.

wir zugleich an unsere Schallquantitäten ein absolutes Maafs (bekanntlich kann nur von einem empirischen die Rede seyn) hätten anlegen können. Diefs wäre nur möglich gewesen, wenn wir eine andere Schallquelle zu unseren Versuchen benutzt hätten; wir hätten damit aber wesentliche Vortheile aufgegeben: namentlich die Einfachheit und Sicherheit der Bestimmungen der relativen Schallstärken und auch wohl die Möglichkeit, die zu hörenden Schalle einige Sekunden hindurch ununterbrochen aufzufassen.

Anfangs hofften wir ein »physiologisches akustisches Einheitsmaafs« in der Art zu erhalten, dafs wir diejenige Schallgröfse als Einheit annahmen, welche bei der stärksten Entfernung der Uhr vom Ohr eben noch bei gespannter Aufmerksamkeit wahrgenommen werden konnte. Diefs war aber aus zwei Gründen nicht möglich. Einmal war eine absolute Ruhe unserer Umgebung, das Abhalten jeglicher anderweitiger Geräusche nicht möglich. Anderentheils fanden wir, dafs das Tiktak an verschiedenen Tagen in verschiedenen Entfernungen zu verschwinden begann. War dieses unerwünschte Ereignifs (abgesehen von der verschiedenen Reizbarkeit des Akusticus) zum Theil auch auf zunehmende Uebung, zum Theil auf Störungen durch fremde Geräusche<sup>1)</sup>

- 1) Darunter verstehen wir nicht sowohl positiv wahrnehmbare, also namentlich abwechselnd auftretende Geräusche, sondern jenen eigenthümlichen, für gewöhnlich nicht recht zum Bewußtsein kommenden, wenn auch für unseren Hörnerven und für das, was wir eben hören, durchaus nicht gleichgültigen Geräuschcomplex, den man als »entfernten Tageslärm« am besten bezeichnen könnte und der jeder Localität einen besonderen Charakter verleiht. Gerade deshalb möchten Versuche über das Vermögen, minime Schallgrößen noch vernehmen zu können, in Städten schwer ausführbar seyn. Dieser »entfernte Tageslärm« wird von uns nicht oder kaum beobachtet, er möchte fast nur durch seinen Gegensatz eigentlich zum vollen Bewußtsein geführt werden können; in der That ist bei Ascensionen im Luftballon in bedeutender Höhe die »lautlose Ruhe« eins der allerauffallendsten und häufig als wirklich unheimlich beschriebenen Phänomene. Man hat in neuester Zeit öfters Erfahrungen angeführt, dafs (im Gegensatz zu älteren Behauptungen) auf hohen Bergen die Schalle keineswegs schwächer als in der Tiefe vernommen werden. Diese Thatsache ist, physikalisch genommen, ein Paradoxon, wenn nicht die Stille der Umgebung den physiologischen Schlüssel zu ihrer Erklärung liefern würde.

zu reduciren, so sind doch die Differenzen so groß, daß wir zur Annahme gezwungen sind, daß die Stärke des Tiktak der Uhr in verschiedenen Zeiten erheblich variierte. Aus diesen Gründen konnten wir auch keine Versuche anstellen über die unter verschiedenen physiologischen Bedingungen noch wahrnehmbaren kleinsten Schallgrößen, wie anfangs von uns beabsichtigt war, noch die zu unseren Vergleichsversuchen verwendeten Schallgrößen in dem erwähnten »physiologischen Einheitsmaafs« ausdrücken; letztere Bestimmungen würden viel zu geringe Intensitätswerthe ergeben. Wir bemerken, daß unsere Schalle zwar schwach (das Tiktak verschwand durchschnittlich bei 1000<sup>mm</sup> Abstand) aber immer vollkommen deutlich wahrnehmbar waren.

Die nachfolgende Tabelle I enthält die Zusammenstellung unserer Versuchsergebnisse. Sie bedarf keiner weiteren Erklärung außer der Bemerkung, daß jedesmal die erstgenannte Zahl der Rubrik »Schallstärke« sich auf den zuerst gehörten Schall bezieht.

Tabelle I.

Relative Schallstärke.	W o l f.			R e n z.		
	Urtheil		Zahl der Bestimmun- gen.	Urtheil		Zahl der Bestimmun- gen.
	richtig	unent- schieden		richtig	unent- schieden	
1000 : 915	51,9 Proc.	42,3 Proc.	52	53,8 Proc.	23 Proc.	26
915 : 1000	65	23,3	60	76,6	3,3	30
1000 : 840	90	8,3	60	86,6	10	30
840 : 1000	78,8	11,5	52	85,4	3	26
1000 : 774	81,6	11,6	60	100	—	30
774 : 1000	82,7	7,7	52	96,1	—	26
1000 : 716	100	—	52	100	—	26
716 : 1000	100	—	60	100	—	30
1000 : 918	59,0	27,3	25	46,1	—	26
918 : 1000	70	26,6	22	66,6	13,3	30
1000 : 846	95,4	—	22	76,9	15,2	26
846 : 1000	90	10	24	83,3	10	30
1000 : 782	96,6	—	30	96,9	—	30
782 : 1000	63,6	13,6	22	96,1	—	26
1000 : 921	54,5	40,9	22	53,8	38,4	26
921 : 1000	48,2	24,1	29	58,3	10	29
1000 : 852	83,3	10	30	90	3,3	30
852 : 1000	70	30	20	91,6	6,6	24
1000 : 924	63,6	27,3	22	38,5	—	26
924 : 1000	40	23,3	30	48,8	22,7	30
		36,6			28,4	

In der nachfolgenden Tabelle II. fassen wir die Ergebnisse kürzer zusammen; aus den relativ sehr nahe liegenden Schallstärken 915, 918, 921 und 924 wurden die Mittel gezogen u. s. w.

Tabelle II.

Relative Schallstärke	W o l f.			R e n z.		
	Urtheil			Urtheil		
	richtig	unent- schieden	falsch	richtig	unent- schieden	falsch
<i>a</i> { 1000 : 919,5	57,2	34,4	8,3	48,0	32,6	19,2
919 : 1000	55,8	24,3	19,8	62,6	25	12,3
<i>b</i> { 1000 : 846	89,6	6,1	4,2	84,5	4,8	10,6
846 : 1000	79,6	17,1	3,2	86,8	8,8	4,4
<i>c</i> { 1000 : 778	89,1	5,8	4,9	98,3	1,6	—
778 : 1000	73,1	10,6	16,2	96,1	1,9	1,9
<i>d</i> { 1000 : 716	100	—	—	100	—	—
716 : 1000	100	—	—	100	—	—

Vergleichen wir die zwei differenten Schallgrößen, ohne Rücksicht zu nehmen, ob der erst gehörte Schall der stärkere oder schwächere war — was durch Ziehen von Mittelzahlen aus den Rubriken *a*, *b*, *c*, und *d* der Tabelle II geschieht — so erhalten wir folgende Resultate:

Tabelle II.

Relative Schallstärke	W o l f.			R e n z.		
	Urtheil			Urtheil		
	richtig	unent- schieden	falsch	richtig	unent- schieden	falsch
<i>a</i> 1000 : 919,5	56,5	29,3	14,0	53,3	28,8	15,8
<i>b</i> 1000 : 846	84,6	17,6	3,7	85,6	6,8	7,5
<i>c</i> 1000 : 778	81,1	8,2	10,5	97,2	1,8	1,9
<i>d</i> 1000 : 716	100	—	—	100	—	—



Aus Tabelle III. folgt: Werden zwei Schallgrößen von absolut jedoch ziemlich schwachen Intensitäten unmittelbar hintereinander wahrgenommen, so wächst die Sicherheit des Urtheils mit zunehmender Differenz der Schallstärken in der Art, daß Schallgrößen im Verhältniß von 100:72 unter allen Umständen von einander deutlich unterschieden werden. Bei Schallgrößen, die sich verhalten wie 100:92, übertrifft die Zahl der richtigen Entscheidungen nur um ein Geringes die Summe der falschen und unentschieden gebliebenen. Beide Beobachter stimmen in Tabelle III in drei Rubriken fast vollständig miteinander überein, bloß Rubrik c zeigt bei dem Einen eine sehr entschiedene Anomalie <sup>1</sup>).

Zur schärferen Darstellung der Gesetzmäßigkeit der Erscheinung reichen unsere Erfahrungen nicht aus; dieses wird einer späteren Forschung gelingen, welche auf eine viel größere Zahl von Versuchen überhaupt, als von Schalldifferenzen insbesondere sich stützt, indem die wenigen, von uns in Anwendung gezogenen Schalldifferenzen noch nicht hinreichen, den Gang der Curve mit Sicherheit festzustellen.

Von Einfluß auf das Unterscheidungsvermögen scheint der Umstand zu seyn, ob der erstgehörte Schall der stärkere oder schwächere sey. Wir Beide zeigen aber in diesem Betreff wesentliche Unterschiede; ob dieses ein Zufall sey, darüber kann freilich nur durch zahlreichere Versuche an verschiedenen Individuen entschieden werden.

Wolf unterscheidet schärfer, wenn der erstgehörte Schall der stärkere ist (siehe Tabelle II.), während Renz (mit Ausnahme von Rubrik c) das entgegengesetzte Verhältniß zeigt.

Das Unterscheidungsvermögen für verschiedene Schallstärken ist somit sehr erheblich geringer, als für die Schwingungszahlen der Töne und es entspricht somit unser Resultat auch der optischen Thatsache, daß das photometrische

1) Die Bemerkung mag nicht überflüssig seyn, daß R. sich mit Musik beschäftigt, W. nicht.

Vermögen der Augen merklich geringer ausgebildet ist, als das Unterscheidungsvermögen für verschiedene Farben <sup>1)</sup>).

Es läßt sich endlich voraussehen, daß das Vermögen, Differenzen von Schallstärken zu unterscheiden, wachsen wird mit zunehmenden Intensitäten der zu vergleichenden Schalle, doch so, daß (wahrscheinlich ziemlich bald) ein Maximum erreicht werden muß, von wo ab die Feinheit der Unterscheidung wieder abnimmt. Differenzen recht intensiver Schalle und Töne werden wir deshalb relativ minder gut wahrnehmen, wie dann auch unser Vermögen, naheliegende Lichtstärken zu unterscheiden, bei grelleren Beleuchtungen sehr auffallend abnimmt.

- 1) Durch einen sehr einfachen Versuch kann man sich sogleich überzeugen, daß unser Vermögen der Unterscheidung differenter Schallstärken nicht sehr ausgebildet ist. Läßt man nämlich einen kleinen Körper auf eine Glas- oder Metallplatte fallen und dadurch einen Schall erregen, so müssen die Fallhöhen ziemlich stark variiren, um einen merklichen Schallintensitätsunterschied zu geben. Schafhäutl (in den Münchener acad. Denkschriften 1855) hat eine Methode angegeben, die zu genaueren messenden Versuchen in diesem Sinne verwendet werden kann; über die Feinheit des Unterscheidungsvermögens differenter Schallgrößen äußert er sich jedoch nicht.