

(Aus dem psychologischen Institut der Universität Berlin.)

Wahrnehmung kürzester Töne und Geräusche.

Von

OTTO ABRAHAM und LUDWIG J. BRÜHL.

(Mit 6 Fig.)

Ein Ton muß wie jeder physikalische Reiz bestimmte Schwellenwerthe haben, um seine spezifische Empfindung hervorzubringen. Wir müssen uns vorstellen, daß ein Reiz nicht nur eine genügende Stärke sondern auch eine genügende Dauer benötigt, um den physiologischen Proceß im Nerven zu erregen. Die Frage nach der minimalen Dauer eines Tones ist bisher immer identificirt worden mit der Frage nach der minimalen Schwingungsanzahl, die für eine Tonempfindung erforderlich ist; ob mit Recht, möchten wir dahingestellt sein lassen: Es kann sehr wohl sein, daß ein Ton, welcher 100 Schwingungen per Secunde macht, absolut zur Empfindung n Schwingungen erfordert, während für den Ton 10 000 die n Schwingungen nicht ausreichen, da sie $\frac{1}{100}$ der Zeit des Tones 100 dauern und dieser Werth möglicherweise unter die Dauerschwelle zu liegen kommt. — Doch da das erforderliche Plus an Zeit ebenfalls wieder in Schwingungszahlen ($n + x$) ausgedrückt werden kann, wird die Frage, ob es für die Tonempfindung ein absolutes Zeitminimum, unabhängig von der Schwingungszahl, giebt, unentschieden bleiben, solange wir über die Natur des physiologischen Nervenprocesses nichts Näheres wissen.

Die Arbeiten, welche die minimale Schwingungsanzahl zu bestimmen suchen, lehnen sich sämmtlich eng an die HELMHOLTZ'sche Resonatoretheorie an, legen also die Ursache des Schwellenwerthes nicht in den physiologischen Nervenproceß,

sondern in die Erregung des specifischen Endorgans der CORTI-schen Faser. Da aber in der letzten Zeit so viele unwiderlegte Widersprüche gegen die Resonatorenthorie laut geworden sind und unsere vorliegenden Versuche uns auch nicht grade zu Anhängern derselben gemacht haben, wollen wir versuchen, in den Erklärungen unserer Ergebnisse ohne dieselbe auszukommen.

Zur Untersuchung der für eine Tonempfindung erforderlichen Schwingungsanzahl hat man die verschiedensten Versuchsanordnungen angewandt, im Wesentlichen sind es aber nur zwei Methoden, die dabei in Betracht kommen: Die eine erzeugt die betreffende Anzahl von Schwingungen direct und läßt sie auf das Ohr des Beobachters einwirken; die andere bestimmt die Reactionszeit auf Töne verschiedener Höhe und berechnet daraus die Perceptionsdauer der Klänge.

Da die letztere Methode mit wenigen Worten abgethan ist, wollen wir sie vorweg nehmen: In Betracht kommen drei Arbeiten. In der ersten im Jahre 1877 erschienenen Arbeit berichten v. KRIES und AUERBACH¹ über die Versuchsanordnungen, welche sie angewandt hatten und bringen die Resultate und Schlußfolgerungen mit großer Reserve vor; in der zweiten Arbeit AUERBACH's² dagegen werden dieselben Schlußfolgerungen mit voller Bestimmtheit ausgesprochen. Ueber diese beiden Arbeiten und über die ganze Methode bricht die dritte Arbeit den Stab. GÖTZ MARTIUS³ versuchte auf demselben Wege, durch Bestimmung der Reactionszeit zum Ziele zu kommen und fand, daß man nicht zu dem Schluß berechtigt sei, aus der Reactionszeit die Perceptionsdauer zu berechnen. KRIES und AUERBACH hatten gefunden, daß tiefere Töne eine größere Reactionszeit brauchten als höhere, das Geräusch eines elektrischen Funkens die geringste, es wurde nun die Reactionszeit des elektrischen Funkens von der Reaction eines beliebigen Tons abgezogen; mit dieser Differenz wurde die Schwingungsanzahl des Tones multiplicirt, und das Resultat sollte dann die Perceptionsdauer des Tones sei. GÖTZ MARTIUS gelangte durch Versuche, die

¹ v. KRIES und AUERBACH, Ueber die Zeiten der einfachsten psychischen Processe, *Arch. für Physiologie*, 1877.

² AUERBACH, Ueber die absolute Anzahl von Schwingungen, welche zur Erzeugung eines Tones erforderlich sind, *WIEDEMANN'S Annalen* VI.

³ GÖTZ MARTIUS, Ueber die Reactionszeit und Perceptionsdauer der Klänge, *WUNDT Philosoph. Studien* VI.

über eine Tonscala von 6 Octaven ($C_1 — c_4$) sich erstreckten, zu dem Ergebniss, dass die Reactionszeit auf Klänge mit wachsender Höhe stetig abnehme. Die Reactionszeit sei das variable, und daher die obige Rechnung falsch, in welcher sie für die verschiedenen Töne als constant angenommen ist. Ueber die Perceptionsdauer konnte er nur das allgemeine negative Resultat aussagen, dass sie nicht auf diesem Wege genau zu ermitteln ist, zweitens aber, dass die AUERBACH'schen Werthe jedenfalls zu groß sind. Diese Resultate nahm G. MARTIUS auch nicht in seiner erläuternden Arbeit zurück¹, in welcher er den Einfluss der Intensität auf die Reactionszeit in Betracht zog.

Es bleibt also für unsere Untersuchung nur die eine Methode übrig, die abgegrenzte Anzahl von Schwingungen zum Gehör zu bringen. MACH² liess eine elektrische Stimmgabel in einem stark gedämpften Kasten ertönen und leitete den Schall durch ein Rohr zum Ohr des Beobachters. Durch eine rotirende, mit einem Ausschnitt versehene Pappscheibe konnte er den Ton auf eine kurze Dauer beschränken. Er fand so, dass der Ton 128 etwa 4—5 Schwingungen machen muss, um als Ton wahrgenommen zu werden; weniger Schwingungen erzeugten nur einen trocknen Schlag.³ Wir glauben, dass die Reflexionsgeräusche im Leitungsrohr sehr störend bei diesen Versuchen sind; ausserdem bezieht sich die Angabe nur auf einen einzigen Ton.

EXNER⁴ stellte seine Versuche in ähnlicher Weise an; er leitete den Ton einer Stimmgabel durch einen Schlauch ins Ohr eines im anderen Zimmer sitzenden Beobachters. Durch eine Art Fallmaschine konnte er den Schlauch abklemmen, so den Stimmgabelton unterbrechen und die Schwingungszahl bestimmen. Er fand auf diese Weise, dass die erste Spur einer Tonempfindung nach ca. 17 Schwingungen erzeugt wurde; er versteht unter Tonempfindung nicht nur eine Gehörsempfindung, sondern die Empfindung eines Tones von bestimmter Höhe. Diese letztere Angabe hat zu Irrthümern Anlass gegeben; MARTIUS meint, es könne bei EXNER auch die Zeit der Wiedererkennung

¹ GÖTZ MARTIUS, Ueber den Einfluss der Intensität der Reize auf die Reactionszeit der Klänge. *Daselbst* VII.

² MACH, Physikal. Notizen, *Lotos* 23—25, 1873.

³ Darüber s. später im Absatz „Nebengeräusch“.

⁴ EXNER, Zur Lehre von den Gehörsempfindungen, *PFLÜGER'S Arch.* 13.

mit eingeschlossen sein. Wir glauben dies nicht, denn sonst würde EXNER's Angabe nicht lauten, daß die erste Spur einer Tonempfindung nach 17 Schwingungen entstand und dann würde auch bemerkt sein, auf welche Weise die Wiedererkennung des Tones geschah, ob durch absolutes Tonbewußtsein, Vergleichung mit anderen Tönen oder dergleichen. — Wir glauben, daß EXNER mit der obigen Bemerkung nur gemeint hat, es habe sich um einen Ton gehandelt mit seinen charakteristischen Eigenschaften der Tonhöhe; man hätte ihn also z. B. auch nachsingen können. Die EXNER'schen Versuche haben nach unserer Ansicht deshalb die hohen Zahlen ergeben, weil durch die Abklemmung des Schlauches der Ton sehr geschwächt wird und die dabei entstehenden Nebengeräusche sehr störend wirken, weniger ist wohl die unvollkommene Dämpfung des Schlauches eine Schwäche der Versuche, wie KOHLRAUSCH¹ meint. Ein weiterer Nachtheil der EXNER'schen Versuche wie auch der aller übrigen noch anzuführenden Arbeiten ist, daß die untersuchte Tonreihe eine gar zu dürftige ist, um daraus Analogieschlüsse für alle Töne ziehen zu können.

PFAUNDLER² benutzte zu seinen Untersuchungen eine Lochsirene und brachte zwei Blaseröhren an derselben an, von denen die eine festgestellt werden konnte, die andere längs der Löcherreihe beweglich war. Die Sirene hatte 4 Löcher im Abstände eines Quadranten. Der durch diese 4 Löcher entstehende Ton war also $= 4n$ (n Anzahl der Scheibendrehungen per Secunde). Der Ton der Anblaseröhren entsprach dem Abstand derselben, war also sehr hoch, wenn sie nahe bei einander lagen, wurde mit zunehmender Entfernung tiefer bis $8n$, sobald der Abstand der Röhren $= \frac{1}{2}$ Quadranten betrug, wurde mit weiter zunehmendem Abstand wieder höher, um schliesslich plötzlich von sehr großer Höhe auf $4n$ herunterzufallen, sobald nämlich der Abstand der Blaseröhren $= 1$ Quadranten war. Da also durch die zwei Blaseöffnungen ein (veränderlicher) Ton entstand, dessen Höhe von ihrem Abstand abhängig war, schloß PFAUNDLER, daß zwei Schwingungen genügen können, um eine Tonempfindung hervorzurufen, daß aber eine rasche Wiederholung der einzelnen

¹ KOHLRAUSCH s. unten.

² PFAUNDLER, Ueber die geringste absolute Anzahl von Schallimpulsen, welche zur Hervorbringung eines Tones nöthig ist, *Sitzungsber. der Wiener Akademie*, 1877, II. Abth.

Impulse nöthig ist, um die Empfindung zum Bewußtsein zu bringen. Da aber eine Empfindung ohne Bewußtsein psychologisch nur eine Erregung ist, so ist die Frage, wieviel Schwingungen gehören zu einer (bewußten) Tonempfindung, durch die PFAUNDLER'sche Arbeit ungelöst. Aber auch für die unbewußte Empfindung hält PFAUNDLER seine Versuche nicht für stichhaltig, da ja der Sirenenton Obertöne hat, deren Impulse zahlreicher seien als die des Grundtones und dadurch die nothwendige Anzahl der Impulse hinaufgerückt würde. — Diesen Zweifel kann man unserer Meinung nach leicht ausschließen dadurch, daß man die jeweilige Tonhöhe bestimmt und mit dem nach Abstand der Blaselöcher und Drehungsgeschwindigkeit zu erwartenden Ton vergleicht; ist es derselbe, dann kommt der Grundton in Betracht, ist es ein Multiplum desselben, dann haben wir einen Oberton vor uns. Dieses Fehlen der Vergleichung seiner Töne ist also der zweite Mangel der PFAUNDLER'schen Arbeit.

Genauere Tonhöhenbestimmungen hat dagegen W. KOHLRAUSCH¹ angestellt bei seinen Untersuchungen der Frage. Er nahm ein 3 m langes Pendel, befestigte am schwingenden Ende Zähne in einem bestimmten Abstand von einander und liefs die Zähne beim Schwingen des Pendels eine Karte streifen. Den auf diese Weise entstehenden Ton verglich KOHLRAUSCH mit einer Monochordsaite, indem er das kleinste „charakteristische“ Intervall bestimmte, welches man zwischen beiden Tönen wahrnehmen konnte. Er fand, daß zwei Zähne, also zwei Schwingungen, genügen können, um eine Tonempfindung zu erzeugen; d. h. ein Ton, dessen Höhe $\frac{24}{25}$ des Monochordtones war, konnte von diesem noch als verschieden erkannt werden. Das von KOHLRAUSCH untersuchte Tongebiet umfaßte die Töne 81—244, d. h. $1\frac{1}{2}$ Octaven. Ein Analogieschluss auf sämtliche Tonhöhen ist demnach auch nicht gestattet. Außerdem sind KOHLRAUSCH's Versuche derart complicirt, sie erfordern eine solche Ruhe der Umgebung (KOHLRAUSCH stellte sie nur Nachts an) und erfordern eine so große Zahl von Vorsichtsmaafsregeln, um Fehlerquellen zu vermeiden, daß die Versuchsanordnung in einer späteren

¹ KOHLRAUSCH, Ueber Töne, die durch eine begrenzte Anzahl von Impulsen erzeugt werden, WIEDEM. *Annalen* 10, 1880.

Arbeit von M. MEYER wieder verlassen wurde und zur Lochsirene zurückgekehrt wurde.¹

MEYER nahm eine Holzsirenenscheibe mit 88 Löchern im Kreisumfang, die er bis auf eine kleine Anzahl mit Korkstückchen verstopfte. Zu dem Tone 176 brauchte er 5 offene Löcher, zum Ton 352 nur 3, zum Ton 704 nur 2 offene Löcher. — Wir prüften die MEYER'schen Versuche nach und fanden, daß auch bei ganz verstopfter Löcherreihe ein, wenn auch sehr schwacher, Ton erzeugt wurde, dessen Höhe der Anzahl der Korkstückchen entsprach; es zeigte sich also, daß die Unebenheiten derselben nicht ganz belanglos waren; außerdem störte bei höheren Tönen die schnelle Aufeinanderfolge der einzelnen Tonstöße und der Unterbrechungston das Urtheil über den einzelnen Tonstoß. Nur um eine Urtheilstörung kann es sich allerdings handeln, keine Summation der Empfindung, wie vielleicht in den PFAUNDLER'schen Versuchen. Das bewies auch MEYER, indem er Töne mit entgegengesetzter Schwingungsphase auf einander folgen ließ, ohne einen Unterschied gegen die obigen Resultate zu finden.

Fassen wir die Resultate der vorhandenen Arbeiten noch einmal zusammen, so finden wir, daß sie dreierlei zu wünschen übrig lassen:

1. Das untersuchte Tongebiet ist ein zu kleines (MACH, EXNER, KOHLRAUSCH, MEYER).

2. Die Aufeinanderfolge der einzelnen Tonstöße ist eine zu schnelle (PFAUNDLER, MEYER).

3. Die Versuchsanordnung ist entweder nicht fehlerfrei (EXNER) oder zu schwierig (KOHLRAUSCH).

Wir sehen aus diesen Literaturangaben, daß die Frage, wieviel Schwingungen gehören zu einer Tonempfindung, ganz verschieden beantwortet wird, und es zeigt schon die Anzahl der Versuchsanordnungen, wie groß ihre Schwierigkeiten sind. — Abgesehen davon, daß es schwer ist, eine genau begrenzte Anzahl von Schwingungen zum Gehör zu bringen, ergeben sich selbst wenn diese Frage gelöst ist, noch andere Schwierigkeiten. Nehmen wir zunächst die MEYER'sche Versuchsanordnung. MEYER nahm eine Sirene, in welcher er die einzelnen Löcher

¹ M. MEYER, Ueber Combinationstöne und einige hierzu in Beziehung stehende akustische Erscheinungen, *Zeitschr. f. Psychologie* XI.

bis auf eine bestimmte Anzahl mit Korkstückchen verstopfte. Um nun jetzt den entstehenden Sirenenton zu beurtheilen, ist eine ziemlich constante Geschwindigkeit der Sirene erforderlich; sie muß jedenfalls so lange constant sein, bis man mit einer Stimmgabel oder einem anderen musikalischen Instrument die Tonhöhe verglichen hat, wenn anders man überhaupt die verschiedenen Tonhöhen auf unsere Frage hin vergleichen will. Für die verschiedenen Tonhöhen ist in dieser Versuchsanordnung also nöthig 1. eine große Anzahl von sehr genauen Uebertragungen, mit denen man die Geschwindigkeit der Sirene variirt und die verschiedenen Töne erzielt, 2. eine große Reihe von Vergleichstönen (Stimmgabeln etc.); trotzdem würde die Anzahl der producirten und der verglichenen Töne eine sehr viel kleinere sein als der producirbaren und vergleichbaren, da man schwerlich für alle musikalisch benannten Töne der neun in Betracht kommenden Octaven Uebertragungen und Vergleichsinstrumente haben kann (selbst ein Clavier hat ja nur 7 Octaven); und doch ist, wie wir sehen werden, eine große Genauigkeit erforderlich. Man könnte sich den Versuch leichter dadurch machen, daß man die Geschwindigkeit der Sirene nicht constant nimmt, sondern von geringer zu großer Geschwindigkeit wachsen läßt; dann gelangt man ohne Sprünge durch das ganze Reich der Töne hindurch. Die Schwierigkeit bei dieser Anordnung ist nun wieder, daß dann die nöthige Zeit zum Vergleichen mit constanten Tonhöhen fehlt. Wir müßten Instrumente nehmen, mit denen man sehr schnell einen Vergleichsversuch anstellen kann, und diese sind bei dem Umfang der in Frage kommenden Tonreihe von der Subcontraoctave bis zu der 5—6 gestrichenen Octave kaum zu erhalten. — Das sind also die Schwierigkeiten der Sirenenversuche, welche auch sicherlich viele abgehalten haben, die Versuche auszuführen.

Wir arbeiteten in dieser Beziehung glücklicher, indem wir eine Versuchsperson fanden, welche nicht nöthig hat, die Tonhöhe erst mit constanten Instrumentaltönen zu vergleichen, sondern sie sofort in ihrer absoluten Höhe erkennt und benennen kann. Der eine von uns (ABRAHAM) ist im Besitze eines sogenannten absoluten Tonbewußtseins, derart, daß er von Tönen der Contraoctave bis zur 5 gestrichenen Octave die gehörte Tonhöhe richtig zu bestimmen vermag. In Tönen, die in Clavierhöhe liegen, irrt er sich nie. Darüber und darunter kommen

allerdings leichte Schwankungen vor. Jedenfalls ist sein Gehör genügend zuverlässig für die Beurtheilung der hier entstehenden Sirenentöne, denn bei den höchsten und tiefsten derselben sind doch durch die Schwankungen des Tons, durch die Erwartung und Vergleichung des Tons mit dem ebengehörten genügend Urtheilscriterien gegeben, um ein falsches Urtheil auszuschließen. Um Zweifeln an der Exactheit dieser Tonbestimmungen zu begegnen, sei bemerkt, daß häufige Controlversuche mit Instrumenten immer die Richtigkeit seines Urtheils bestätigt haben, und daß die Genauigkeitstabellen seines absoluten Tonbewußtseins demnächst veröffentlicht werden.

Wir stellten also jetzt die oben beschriebene zweite Versuchsanordnung her, d. h. wir ließen die Sirene durch eine mit der Hand betriebene Centrifuge von geringer zu größerer Geschwindigkeit laufen. — Wir stellten uns zunächst zwei Fragen:

1. Wieviel Schwingungen gehören zu einer Tonempfindung? (Zu prüfen für die verschiedenen Tonhöhen.)

2. Wieviel Schwingungen eines Tones gehören zur Bildung des absoluten Tonurtheils? (Ebenfalls zu prüfen für die verschiedenen Tonhöhen.)

Versuchsanordnung: Wir hielten uns zunächst an die M. MEYER'sche Versuchsanordnung, doch stellten wir uns allmählich günstigere Bedingungen her, als dieser sie gehabt hatte. MEYER's Sirenenscheibe hatte einen Durchmesser von ca. 30 cm und eine Löchergröße von 4 mm und einen ebenso großen Abstand der einzelnen Löcher. Die Folge davon war, daß zu der Erzeugung eines hohen Tones eine ganz gewaltige Umdrehungsgeschwindigkeit der Scheibe erforderlich war und daß, wenn dieselbe erreicht war, die einzelnen Tonstöße, welche durch Anblasen der offenen Löcher entstanden, sich so schnell folgten, daß man sie kaum aus einander halten konnte. Man hörte ein Knarren, ohne im Stande zu sein, über den einzelnen Tonstoß etwas aussagen zu können; bei genügender Tonhöhe erschwerte auch der entstehende Unterbrechungston sehr das Urtheil. —

Um diesem Mangel abzuhelpen und um möglichst hohe Töne erzeugen zu können, ließen wir uns eine kreisrunde Aluminiumscheibe anfertigen, welche einen Durchmesser von ca. 80 cm hatte. Etwa 3 cm vom Rande ließen wir im Umfange eines der Peripherie concentrischen Kreises 20 kreisrunde Löcher ein-

schlagen, deren jedes einen Durchmesser von 2 mm und auch einen Lochabstand von 2 mm hatte. Dies Verhältniß, Lochgröße (Durchmesser) gleich Lochabstand (= kürzester Verbindung zwischen 2 Löchern) ist das günstigste, wie auch schon von M. MEYER erprobt wurde und wie auch daraus ersichtlich wird, daß der Ton, der durch Anblasen der Löcher entsteht und der Ton, der eventuell durch Anblasen der Zwischenräume entsteht, dann dieselbe Höhe haben müssen. — Der ganze Kreis, in dem die 20 Löcher stehen, hätte, mit Löchern derselben Größe und desselben Abstandes im ganzen Umfang ausgeschlagen, 500 Löcher auf seine Peripherie bekommen, das heißt, bei einer einmaligen Umdrehung der Scheibe in der Secunde erhalten wir den Ton 500. — Concentrisch von dieser Lochreihe I ließen wir eine zweite Reihe anbringen, 12,5 cm centralwärts, so daß wir bei demselben Abstand und derselben Lochgröße (2 mm) 300 Löcher auf die Peripherie bekamen.¹ Von dieser Reihe ließen wir aber nicht nur 20, sondern alle 300 Löcher ausschlagen, da uns diese Reihe II als Controlreihe dienen sollte. Bei einer einmaligen Umdrehung der Scheibe erhielten wir von dieser Reihe also den Ton 300. Das Intervall unsern beiden Lochreihen war also $\frac{300}{500} = \frac{3}{5}$, d. h. die Lochreihe I muß stets eine große Sexte höher sein als die Lochreihe II.

¹ Um die genaue Sexte zu bekommen, machten wir folgende kleine Rechnung. Die Reihe I hat 500 Löcher, also da Abstand und Lochgröße = 2 mm sind = 500 · 4 mm Umfang. Also $2 r \pi = 2000$. Die Reihe II sollte 300 Löcher erhalten, mußte also den Umfang $300 \cdot 4 = 1200$ mm haben.

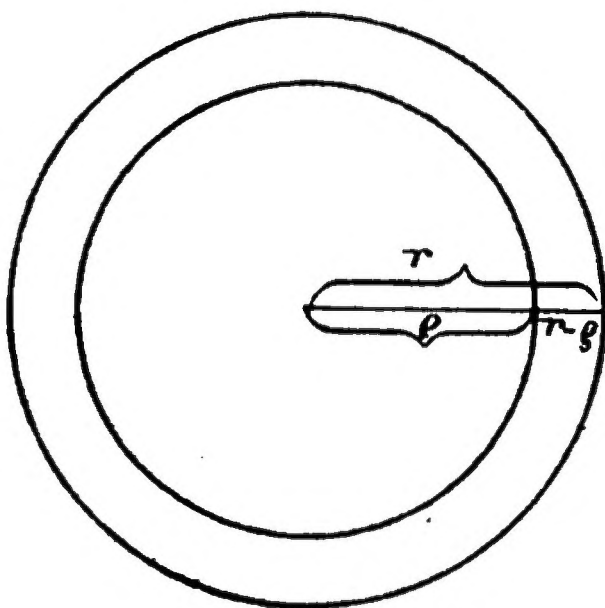


Fig. 1.

muß also $12\frac{1}{2}$ cm betragen, wenn wir das Intervall einer Sexte erzielen wollen.

$$2 r \pi = 2000$$

$$2 q \pi = 1200$$

$$r = \frac{2000}{2 \pi} \quad q = \frac{1200}{2 \pi}$$

$$r - q = \frac{800}{2 \pi} = \frac{400}{\pi} = 125,7$$

$r - q =$ Abstand der Lochreihe

Wir bliesen nun unsere Lochreihe I an durch ein 1 cm dickes Glasrohr, dessen Mündung sich bis auf 2 mm verjüngte. Zur Erzeugung des zum Anblasen nöthigen Luftquantums bedienten wir uns zuerst eines Blasebalges; doch da uns dieser später zu umständlich war, und wir einsahen, daß unsere Lunge die nöthige Luftmenge und den erforderlichen Druck hergab, bedienten wir uns fernerhin lieber dieser einfacheren Blasevorrichtung. Das Glasansatzstück steckten wir in einen leicht beweglichen Schlauch, bliesen den Schlauch an und dirigirten mit der Hand die Mündung des Ansatzglases nach der Löcherreihe I oder II. Der eine von uns, A., blies an, bestimmte den Ton, der andere drehte die Sirene und registrirte die Urtheile, und verglich zuweilen nach dem ausgesprochenen Urtheil mit Harmoniumtönen.

Wir kümmerten uns zunächst nur um hohe und höchste Töne. Tiefe Töne erhielten wir später durch eine andere Löcherreihe, deren Lochgröße und Abstand entsprechend größer hergestellt wurde. — Die angeblasenen 20 Löcher der Reihe I gaben bei mässiiger Geschwindigkeit der Sirene einen deutlichen, etwas scharf klingenden Ton, der mit Leichtigkeit in seiner absoluten Höhe erkannt wurde. Bei kleiner Drehungsgeschwindigkeit lieferte die Sirene Töne der eingestrichenen Octave. Der Ton veränderte sich natürlich mit zunehmender Geschwindigkeit in seiner Höhe. Doch war in der Erkennung kein Unterschied zu constatiren. Bis zur 4 gestrichenen Octave wurde bei diesen 20 Schwingungen jeder Ton deutlich und rein erkannt und richtig benannt. Von einer bestimmten Höhe an, die sich in dem Tonbezirk $f_4—g_4$ hielt, vernahmen wir neben unserm Ton ein dumpfes, knallartiges Nebengeräusch. Das Geräusch war bei Weitem tiefer als der Ton und machte sich, je höher der Ton wurde, um so intensiver bemerkbar. Der Ton aber wurde immer schwächer und undeutlicher und es kam dann eine Grenze, wo es Mühe machte, den hohen Ton noch herauszuhören. — Schliesslich bei noch höheren Tönen war auch dies nicht mehr möglich; man vernahm jetzt nur noch das knallartige Geräusch, aber mit bestimmtem tonalen Beiklang. Dieses Geräusch oder besser dieser Knall war mit Leichtigkeit in seiner Höhe zu bestimmen und zwar war der Knall jedesmal genau eine kleine Terz tiefer als die angeblasene Löcherreihe II, die Controlreihe. Die Tonhöhe der Lochreihe I ist aber, wie wir gesehen haben, eine

große Sexte höher als die der Lochreihe II. Sie erschien uns aber genau eine kleine Terz tiefer als diese, d. h. sie schien genau eine Octave tiefer, als sie nach der Lochanzahl erscheinen sollte. — Es mußte sich hier also um ein tieferes Nebengeräusch handeln, welches, wenn es von dem Ton nicht mehr gesondert wahrzunehmen ist, eine Octaventäuschung des Urtheils hervorbrachte. Denn nur um eine Urtheilstäuschung konnte es sich hier handeln; das sah man auch aus folgendem Grunde: Je nachdem man sein Augenmerk oder besser sein Ohrenmerk mehr dem tiefen Geräusch oder dem hohen Ton zuwandte, hatte man die Octaventäuschung mehr oder weniger früh. Ganz entziehen konnte man sich derselben jedoch nicht. Von dem Augenblick, in dem der hohe Ton als gesonderter Ton verschwand, begann die Octaventäuschung. Es folgt hier die Tabelle:

Tabelle für 20 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen fortschreitend.

Beginn des Nebengeräusches	Beginn der Octaventäuschung	Höchster erkennbarer Ton
1. fis_4	1. a_4 (a_5 ?)	1. —
2. fis_4	2. a_4 (a_5 ?)	2. —
3. g_4	3. f_5	3. d_6
4. g_4	4. fis_5	4. es_6
5. g_4	5. g_5	5. e_6
6. fis_4	6. f_5	6. d_6
7. g_4	7. e_5	7. e_6
8. g_4	8. g_5	8. fis_6
9. f_4	9. fis_5	9. d_6
10. f_4	10. a_5	10. e_6

Höhere Töne konnten wir nicht prüfen, da die Centrifuge weder mit der Hand noch mit dem Motorschneller gedreht werden konnte.

Wir sehen, daß die Ergebnisse fast constant dieselben sind. Nur die beiden ersten Versuche scheinen, was die Octaventäuschung anbetrifft, aus dem Rahmen herauszufallen. Da diese jedoch die ersten Versuche der ganzen Arbeit waren und sicher eine Uebung in der Tonhöhenerkennung bei Klangfarben, die dem Ohr ungewohnt sind, erforderlich ist (bei ungewohnten Klangfarben irrt sich das Urtheil oft um eine Octave, s. später), so werden diese beiden ersten Versuche wohl mit Recht ausgeschieden, um so mehr als es leicht möglich ist, daß wir statt der Töne, bei denen die Octaventäuschung begann, die Töne

registrierten, die wir zu hören glaubten, und das wäre die tiefere Octave. Dann hätten wir also den Beginn der Octaventäuschung bei a_6 statt a_4 in diesen Versuchen, und das würde auch mit den übrigen Versuchen im Einklang stehen.

Die Resultate dieser Versuchsreihen waren also, daß wir 1. mit 20 angeblasenen Sirenenlöchern einen deutlichen Ton erzeugen können im Gebiet der 1 gestrichenen bis 6 gestrichenen Octave; 2. von der Mitte der 4 gestrichenen Octave an ein tiefes Nebengeräusch hören, daß mit zunehmender Tonhöhe deutlicher wird und von der Mitte der 5 gestrichenen Octave an eine Urtheilstäuschung bewirkt, derart, daß der gehörte Ton eine Octave zu tief taxirt wird.

Wir wiederholten jetzt dieselben Versuche in der umgekehrten Reihenfolge; wir fingen mit höchsten Tönen an und gingen allmählich zu tieferen Tönen über. — Für die Empfindung kann das keinen Unterschied machen, wohl aber für das Urtheil. Da man gewöhnlich in der Musik Töne der fünften und sechsten Octave nicht hört, macht es einen bedeutenden Unterschied für ihre Beurtheilung, ob man von tieferen bekannten Tönen zu den höheren gelangt oder ob man diese Vergleichung mit tieferen Tönen nicht hat. In der Arbeit über absolutes Tonbewußtsein wird ausgeführt, daß die Beurtheilung der absoluten Tonhöhe ungewohnter Klänge wahrscheinlich durch Vergleichung mit bekannten Octaven zu Stande kommt. Bei unseren Sirenenversuchen hatten wir außer der Octavenvergleichung noch viel mehr Kriterien des Urtheils, da man außer dem absoluten Tonbewußtsein noch das Intervallbewußtsein anwendet. Das letztere fiel bei der zweiten Versuchsreihe, bei der wir mit höchsten Tönen anfangen, fort; denn der Beurtheilende blies die Sirene an, wenn sie in ihrer Maximalgeschwindigkeit war, bestimmte also die Tonhöhe ohne Erwartung, denn er hatte keinen höheren Vergleichston. — Wurde der Ton bei der Maximalgeschwindigkeit nicht erkannt, so wurde die Geschwindigkeit verringert; dann trat der Beurtheilende abermals neu heran, so daß auch die Urtheilskriterien der geringen Tonschwankungen fortfielen. Es folgt die Tabelle:

Tabelle für 20 Löcher.

B. Von höchsten zu tieferen Tönen fortschreitend.

Höchster Ton	Aufhören der Octaventäuschung (Gesonderthören des Tons und Geräuschs)	Ton ohne tiefes Nebengeräusch
1. c_5	1. a_4	1. c_3
2. d_5	2. d_4	2. b_3
3. f_5 (c_6 nicht erkannt)	3. f_5	3. c_4
4. c_6 (e_6 nicht erkannt)	4. f_5	4. f_4
5. c_6 (d_6 nicht erkannt)	5. f_5	5. g_4
6. c_6	6. e_5	6. f_4
7. c_6	7. g_5	7. g_4
8. h_5	8. e_5	8. f_4
9. a_5 (c_6 nicht erkannt)	9. e_5	9. e_5
10. c_6	10. g_5	10. g_4

Diese Liste beweist, daß die Resultate, ob wir bei höchsten oder tiefen Tönen begannen, ziemlich dieselben waren. Jedoch zeigten sich erstens die erwähnten Schwierigkeiten in der absoluten Höhenbestimmung der höchsten Töne (Rubrik I); zweitens wurde bei diesen Versuchen das Nebengeräusch, gesondert vom Ton etwas später, d. h. bei tieferen Tönen vernommen als in der Versuchsreihe I. Bei dieser hörten wir bis g_5 , bei gespannter Aufmerksamkeit gar bis a_5 , Ton und Geräusch gesondert, in der letzten Reihe ist das durchschnittliche Ergebnis hierfür e^5 resp. f_5 .

Diese kleine Verschiebung ist aber auch erklärlich. Wenn man auf einen Ton sein Ohrenmerk richtet, so kann man, wenn dieser allmählich schwächer wird (wie es bei unseren Versuchen ist, da der Ton vom Geräusch verdrängt wird), ihn doch noch eine Weile länger verfolgen, als wenn man ihn ohne Erwartung beginnen hört. Die geringe Verschiebung in unseren Versuchsreihen in der Rubrik II ist also auf Kosten der Erwartung zu setzen. Das Aufhören des tiefen Nebengeräusches trat durchschnittlich bei f_4 ein.

Wir stellten jetzt die Versuche mit 10 Löchern an, indem wir von unseren 20 Löchern 10 verklebten; wir hatten dabei folgende Resultate:

Tabelle für 10 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen fortschreitend.

Beginn des Nebengeräusches	Beginn der Octaventäuschung	Höchster erkennbarer Ton
1. h_3	1. a_4	1. a_5
2. cis_4	2. a_4	2. a_5
3. f_3	3. g_4	3. a_5 (h_5 nicht erkannt)
4. a_3	4. h_4	4. g_5
5. a_3	5. a_4	5. as_5
6. a_3	6. h_4	6. a_5
7. d_4	7. gis_4	7. fis_5
8. ?	8. f_4	8. g_5
9. a_3	9. fis_4	9. a_5
10. fis_3	10. fis_4	10. g_5

Höhere Töne
wurden nicht
erkannt

Während wir mit den 20 Löcherversuchen keine Höhengrenze der Tonwahrnehmung fanden, hörten wir mit 10 Löchern deutliche Töne nur bis zur Mitte der fünf gestrichenen Octave; deutliche Töne nennen wir solche, deren Höhe beurtheilt und benannt werden kann. Die Richtigkeit des Urtheils wurde immer controlirt durch die Controlreihe, welche eine Sexte tiefer sein mußte und die Controlreihe zeitweise durch das Harmonium. — Die Höhengrenze, von welcher ab das Urtheil über den gehörten Ton versagte, lag zwischen fis_5 und a_5 , meist bei a_5 . Darüber hinaus war ein Tonurtheil nicht möglich. Man hörte dann einen Knall, der bei schnellerem Drehen der Sirenenscheibe sich nicht mehr erhöhte; jeder tonale Beiklang, wie er bei tieferen Tönen unser Geräusch begleitete, war verschwunden. — Das Nebengeräusch selbst trat bei weitem früher ein als bei den 20 Löcherversuchen. Die Schwankungen sind hierbei allerdings etwas bedeutender, zwischen f_3 und d_4 . In der Mehrzahl der Fälle trat aber das tiefe Nebengeräusch bei a_3 ein. — Wir sprechen immer von dem Nebengeräusch, als wenn es nur dies

eine bei unseren Sirenentöne gäbe; jedoch die übrigen Geräusche Anblasegeräusch etc., von denen wir nachher sprechen werden, sind in ihrer Natur von dem knallartigen tiefen Nebengeräusch so verschieden, daß eine Verwechslung mit diesem unmöglich ist. Dieses Nebengeräusch wurde auch wie in den früheren Versuchen mit zunehmender Tonhöhe deutlicher und brachte schliesslich ebenfalls die ganz bestimmte Octaventäuschung des Urtheils hervor. Der Beginn dieser Octaventäuschung liegt hier zwischen f_4 und h_4 , meist bei a_4 .

Auch diese Versuche machten wir in der umgekehrten Reihenfolge, von höchsten zu tieferen Tönen fortschreitend, mit folgenden Resultaten:

Tabelle für 10 Löcher.

B. Von höchsten zu tieferen Tönen fortschreitend.

Höchster erkennbarer Ton	Aufhören der Octaventäuschung	Ton ohne das Geräusch
1. as_5	1. e_4	1. g_3
2. as_5	2. a_4	2. as_3
3. a_5	3. fis_4	3. a_3
4. as_5	4. d_4	4. fis_3
5. gis_5	5. h_4	5. g_3
6. gis_5	6. as_4	6. fis_3
7. b_5	7. d_4	7. h_3
8. as_5	8. fis_4	8. h_3
9. a_5	9. c_4	9. g_3
10. a_5	10. h_4	10. d_3

Auch in dieser Tabelle zeigt sich wieder die geringe Verschiebung wie in der 20 Löcherreihe. Da dies aber, wie oben erwähnt, nur auf Rechnung der Erwartung zu setzen ist, spielt die Verschiebung für unsere Zwecke eine nebensächliche Rolle. —

Wir klebten jetzt abermals 5 Löcher zu, so daß wir jetzt nur 5 offene Löcher anbliesen. Die Ergebnisse waren die folgenden.

Tabelle für 5 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen.			B. Von höchsten zu tieferen Tönen.		
Beginn des N.G.	Beginn der O.T.	Höchster Ton	Höchster Ton	Aufhören der O.T.	Ton ohne das N.G.
1. a_3	1. a_4	1. g_5	1. fis_5	1. c_4	1. d_3
2. h_3	2. h_4	2. fis_5	2. as_5	2. c_4	2. d_3
3. fis_3	3. d_4	3. a_5	3. as_5	3. d_4	3. fis_3
4. gis_3	4. c_4	4. g_5	4. ?	4. a_4	4. fis_3
5. gis_3	5. d_4	5. gis_5	5. h_4	5. d_4	5. e_3
6. fis_3	6. d_4	6. fis_5	6. fis_5	6. c_4	6. fis_3
7. gis_3	7. a_4	7. fis_5	7. fis_5	7. e_4	7. a_3
8. dis_3	8. a_4	8. g_5	8. g_5	8. d_4	8. fis_3
9. fis_3	9. h_4	9. as_5	9. ?	9. d_4	9. e_3
10. c_3	10. g_4	10. fis_5	10. f_5	10. b_4	10. as_3

Die Höhengrenze der Tonwahrnehmung bei 5 angeblasenen Löchern¹ schwankt zwischen fis_5 und a_5 , meist war sie fis_5 und zwar sowohl in der Reihenfolge von tiefen zu hohen Tönen fortschreitend wie umgekehrt. 2 Versuche fallen in der zweiten Reihe als unsicher aus, es erwies sich also auch hier wieder, daß es viel schwieriger ist, die höchsten Töne ohne Erwartung zu bestimmen als in der umgekehrten Reihenfolge. Außerdem zeigte sich, daß wir bei der Bestimmung ohne Erwartung eine bedeutend grössere Urtheilszeit nöthig hatten.

Das Nebengeräusch begann in Reihe A. zwischen c_3 und h_3 . Die Resultate zeigen grose Verschiedenheiten, das Mittel war fis_3 — gis_3 . Am häufigsten wurde der Beginn bei fis_3 gehört. Weniger variirend sind die Resultate bei Reihe B. — Das Aufhören des Nebengeräusches wurde da meist bei e_3 gehört. Wieder zeigt sich hierbei die Verschiebung, die auf Rechnung der Erwartung zu setzen ist. Die Octaventäuschung² begann meist bei d_4 in Reihe A., bei Schwankungen zwischen c_4 und h_4 , in Reihe B. hörten wir den Beginn der Octaventäuschung zwischen c_4 und b_4 , überwiegend bei e_4 .

Im Allgemeinen fiel es uns auf, daß die Töne mit 5 Löchern hervorgerufen, viel schwächer waren als die 20 Löchertöne, obgleich wir jedesmal die Optimalintensität des Anblasens erprobten. Genaueres darüber später.

Wir verstopften jetzt abermals ein Loch, so daß wir jetzt

¹ Wir sagen nicht 5 Schwingungen aus nachher zu besprechenden Gründen.

mit 4 Sirenenlöchern arbeiteten. Die Resultate folgen in dieser Tabelle.

Tabelle für 4 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen.

Beginn des N.G.	Beginn der O.T.	Höchster Ton
1. h_2	1. fis_4	1. c_5
2. c_3	2. fis_4	2. d_5
3. d_3	3. d_4	3. e_5
4. h_2	4. h_3	4. d_5
5. h_2	5. h_4	5. e_5
6. h_2	6. h_4	6. e_5
7. a_2	7. c_4	7. f_5
8. c_3	8. d_4	8. f_5
9. h_2	9. d_4	9. d_5
10. h_2	10. —	10. d_5

B. Von höheren zu tieferen Tönen.

Höchster Ton	Aufhören der O.T.	Ton ohne das N.G.
1. h_4	1. f_4	1. c_3
2. a_4	2. d_4	2. e_3
3. h_4	3. e_4	3. fis_3
4. a_4	4. c_4	4. e_3
5. h_4	5. e_4	5. c_3
6. c_5	6. h_3	6. e_3
7. c_5	7. g_4	7. c_3
8. f_5	8. c_4	8. d_3
9. e_5	9. gis_3	9. d_3
10. c_4	10. c_4	10. h_2

Die Höhengrenze der Tonwahrnehmung schwankte also in Reihe A. zwischen e_5 und f_5 , in der Mehrzahl der Fälle war sie d_5 und e_5 . Da diese beiden Werthe gleich oft, jeder 3 Mal vorkommen, nehmen wir den Mittelwerth es_5 . — In Reihe B. schwankte die Höhengrenze zwischen a_4 und f_5 . Meist war sie h_4 . — Das Nebengeräusch begann in Reihe A. zwischen h_2 und d_3 , meist bei h_2 , in Reihe B. zwischen fis_3 und h_2 meist bei c_3 . Die Octaven-täuschung fing in Reihe A. zwischen h_3 und fis_4 (einmal h_4 ausgenommen) an, meist bei d_4 , in Reihe B. zwischen gis_3 und g_4 , meist bei c_4 .

Es folgt gleich die Tabelle, die wir beim Anblasen von 3 Löchern erzielten.

Tabelle für 3 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen.

Beginn des N.G.	Beginn der O.T.	Höchster Ton
1. fis_2	1. h_3	1. c_5
2. a_2	2. c_4	2. c_5
3. a_3	3. h_3	3. c_5
4. a_2	4. c_4	4. a_4
5. fis_2	5. h_3	5. c_5
6. fis_3	6. b_3	6. c_5
7. fis_2	7. a_3	7. h_4
8. a_2	8. e_4	8. h_4
9. a_3	9. h_3	9. a_4
10. a_2	10. d_4	10. a_4

B. Von höheren zu tieferen Tönen.

Höchster Ton	Aufhören der O.T.	Ton ohne d. Geräusch
1. c_5	1. fis_4	1. d_3
2. b_4	2. f_4	2. f_3
3. c_5	3. e_4	3. e_3
4. h_4	4. e_4	4. d_3
5. c_5	5. e_4	5. e_3
6. b_4	6. e_4	6. c_3
7. a_4	7. e_4	7. d_3
8. h_4	8. d_4	8. c_3
9. h_4	9. e_4	9. d_3
10. h_4	10. f_4	10. d_3

Die Höhengrenze bei 3 Löchern war also in Reihe A. und ebenfalls in Reihe B. = h_4 . Der Beginn des Nebengeräusches in Reihe A. bei a_3 , in Reihe B. bei d_3 . Die Octaventäuschung stellte sich ein in Reihe A. bei c_4 , in Reihe B. bei e_4 . — Die Töne, die wir mit 3 Löchern erhielten, wurden immer knallartiger und es bedurfte immer größerer Aufmerksamkeit, um sie aus dem Geräusch herauszuhören. Noch stärker zeigte sich dies in den Versuchen, die wir mit 2 Löchern anstellten. Die Zeit, welche zwischen dem Hören des Tons und dem Aussprechen des richtigen Höhenurtheils verging, betrug jetzt, wenn ohne Erwartung geurtheilt wurde, Secunden.

Genauere Untersuchungen über die Urtheilszeit haben wir nicht angestellt aus Gründen, die wir nachher auseinandersetzen werden.

Tabelle für 2 Löcher.

A. Von tieferen zu höheren Tönen.

Beginn des N.G.	Beginn der O.T.	Höchster Ton
1.	1. a_3	1. d_4
2.	2. h_3	2. f_4
3.	3. g_3	3. g_4
4.	4. fis_3	4. fis_4
5.	5. g_3	5. g_4
6.	6. fis_3	6. c_4
7.	7. f_3	7. g_4
8.	8. g_3	8. a_3
9.	9. fis_3	9. c_4
10.	10. e_3	10. d_4

Schon beim tiefsten mit dieser Löcherreihe erzielten Ton

B. Von höheren zu tieferen Tönen.

Höchster Ton	Aufhören der O.T.	Ton ohne das N.G.
1. as_4	1. d_3	1.
2. cis_4	2. e_3	2.
3. g_4	3. c_4	3.
4. g_4	4. c_4	4.
5. fis_4	5. h_3	5.
6. fis_4	6. e_4	6.
7. g_4	7. c_3	7.
8. e_4	8. fis_3	8.
9. fis_4	9. fis_3	9.
10. e_4	10. g_3	10.

Bis zum Schlufs nicht gehört

Die Höhengrenze der Tonwahrnehmung bei 2 angeblasenen Löchern war also in Reihe A. durchschnittlich g_4 , wenngleich die Schwankungen von c_4 bis g_4 reichten. In Reihe B. war die Höhengrenze ebenfalls meistens g_4 . Ueber den Beginn des Nebengeräusches konnten wir bei dieser Versuchsanordnung nichts aussagen, da wir keine genügend tiefen Töne erzielten, um sie frei von Nebengeräusch zu hören. Wohl aber konnten wir eine Aussage machen über den Beginn der Octaventäuschung; derselbe zeigte sich in Reihe A. bei fis_3 , in Reihe B. bei grossen Schwankungen zwischen d_3 und e_4 (letzteres allerdings nur einmal), meist bei e_3 .

Um jetzt auch tiefe Töne einer Prüfung zu unterziehen, liessen wir uns etwa 6 cm vom Rande der Sirenscheibe concentrisch diesem Kreisrande eine Löcherreihe ausschlagen; die Lochgrösse nahmen wir jetzt bedeutend grösser; der Durchmesser, der ebenfalls kreisrunden Löcher betrug 1 cm und ebensoviel der Abstand der Löcher von einander. Diese grösseren Löcher bliesen wir mit einem Glasrohr an, dessen äussere Mündung $\frac{1}{2}$ cm Durchmesser hatte; wir fanden dies Verhältniss am passendsten; die so entstehenden Töne waren die mildesten und hatten eine hinreichende Intensität, während bei grösserem Kaliber des Anblaserohres ein zu grosses Luftquantum erforderlich wurde, und die Anblasegeräusche in höherem Grade wuchsen als die Tonintensität.

Wir stellten unsere Versuche jetzt auch mit 10, dann mit 5, 4, 3 und 2 Löchern an und fanden folgendes Resultat: Bei allen Versuchen kamen wir bis zum Anfang der Contraoctave, ja manchmal bis zur Subcontraoctave, ohne dass sich ein grosser Unterschied bei der verschiedenen Löcheranzahl zeigte. Wir konnten die tiefen Töne noch deutlich erkennen und richtig in der Höhe beurtheilen, wenn wir nur zwei Löcher anbliesen. Je weniger Löcher wir nahmen, um so stärker erschien auch jetzt das Nebengeräusch und um so schwächer erschien der Ton. Die tiefsten Tonregionen waren, auch bei zwei angeblasenen Löchern frei von dem knallartigen Nebengeräusch. Dieses begann in den Versuchen mit zwei Löchern im Anfang der kleinen Octave bei *c, d, e, d, f, d, c, d, f, e*, also durchschnittlich bei *d*. Unter dieser Grenze waren die Töne milde und, von dem constanten Anblasegeräusch abgesehen, geräuschlos. In der grösseren Tiefe war es wieder schwieriger, ein Höhenurtheil zu fällen, wahrscheinlich, weil man in der Tiefe weit weniger Uebung im Beurtheilen besitzt als in der Mittellage. Ueber die Urtheilszeit des absoluten Tonbewusstseins wird an anderer Stelle berichtet werden. Da die Urtheilszeit sich bei den verschiedenen Tonhöhen sehr ungleich verhält, verzichteten wir bei unseren kürzesten Tönen auf die genauere Prüfung derselben. Bei langdauernden Tönen haben wir in der Mittellage eine Optimalzeit, bei ganz hohen und tiefsten eine Pessimalzeit; jedoch liegt die Optimalzeit nicht in der Mitte zwischen der Höhen- und Tiefengrenze der Tonerkennung überhaupt, sondern etwas nach der Höhe zu verschoben. Bei unseren kürzesten Tönen würde sich den hohen

Tönen das Nebengeräusch zugesellen und dadurch die Urtheilszeit verlängern; in der Tiefe fehlt das Nebengeräusch, in Folge dessen ist jetzt unsere Optimalzeit des Urtheils im Gegensatz zu den gewöhnlichen langdauernden Tönen mehr nach der Tiefe zu verschoben. Da es aber gar nicht feststeht, daß kurze Töne an sich den langdauernden proportionale Urtheilszeit verlangen, wäre es ja sehr interessant, den eventuellen Unterschied festzustellen, ist aber bei der Versuchsanordnung, die wir gebrauchten, unmöglich gewesen, da das begleitende Nebengeräusch die oben erwähnte Verschiebung zu Stande bringt, die für sich allein betrachtet, auch nicht zu berechnen ist. Im Uebrigen glauben wir, daß auch bei anderen Versuchsanordnungen es nie gelingen wird, das knallartige Nebengeräusch zu beseitigen, da das nach der Natur dieses Geräusches unmöglich ist, wie wir im letzten Abschnitt der Arbeit auseinandersetzen werden.

Da wir mit zwei Löchern noch deutliche Töne erhalten hatten, lag es sehr nahe, zu versuchen, ob wir nicht durch Anblasen eines einzigen Lochs eine Tonempfindung erhalten würden. — Wir hörten jedoch nur ein knallartiges Geräusch, dessen Tonhöhe unmöglich festzustellen war. Es schien dem Knall gleich, welchen wir als Begleitgeräusch bei allen unseren Tönen, von einer bestimmten Grenze an, gehört hatten. Verlangsamte sich die Geschwindigkeit der Scheibe, so vertiefte sich der Knall, vermehrte sie sich, so stieg die tonale Höhe des Geräusches. Trotzdem war es unmöglich, einen bestimmten Ton aus dem Knall herauszuhören; es schien, als wenn es sich um eine große Summe von Tönen handelte, die in toto tiefer resp. höher wurde; nicht einmal die Octavenhöhe des Knalls konnte festgestellt werden, die Tonsumme schien sich auf mehrere Octaven zu erstrecken. Jenachdem man sein Ohrenmerk mehr auf die tieferen oder höheren Bestandtheile des Geräusches richtete, schwankte das Urtheil. Von einer bestimmten Drehungsgeschwindigkeit der Scheibe an, die etwa bei unser offnen Löcherreihe I dem Beginn der 5 gestrichenen Octave entsprochen hätte, war keine Erhöhung des Knalls mehr zu constatiren. Die tonale Höhe des Knalls blieb dann constant, aber immer so, daß ein einzelner Ton nicht heraushörbar war. Die Resultate unserer Versuche mit dem Anblasen eines einzigen Lochs waren also 1. es wurde kein Ton erzeugt, 2. es wurde ein knallartiges Geräusch erzeugt, das aus einer Summe von Tönen

zu bestehen schien, und das höher und tiefer wurde bei verschiedener Drehungsgeschwindigkeit, 3. die Höhenzunahme des Knalls hat eine Grenze.

Um nun jetzt aus sämtlichen gewonnenen Resultaten Schlüsse ziehen zu können, stellen wir uns noch einmal eine Tabelle zusammen, welche die Mittelwerthe angiebt. Als Mittelwerth haben wir nicht das arithmetische Mittel genommen, sondern das häufigste Urtheil. Nur einmal, als eine gleich große Anzahl *d* und *e* Urtheile vorlag, nahmen wir das Mittel *es*. —

Tabelle der Mittelwerthe.

Löcheranzahl	A. Von tieferen zu höheren Tönen				B. Von höheren zu tieferen Tönen		
	Tiefster Ton	Beginn des N.G.	Beginn der O.T.	Höchster Ton	Höchster Ton	Aufhörender O.T.	Ton ohne Geräusch
20	nicht untersucht	g_4	fis_5	?	c_6	e_5	f_4
10	H_2	a_3	a_4	a_5	as_5	d_4	g_3
5	C_1	fis_3	d_4	fis_5	fis_5	d_4	e_3
4	H_2	h_2	d_4	d_5	h_4	c_4	c_3
3	D_1	a_2	c_4	h_4	h_4	e_4	d_3
2	C_1	?	fis_3	g_4	g_4	e_3	?
1	Ein allmählich höher werdender Knall ohne bestimmte Tonhöhe.				Ein allmählich tiefer werdender Knall ohne bestimmte Tonhöhe.		

Das wichtigste Ergebniss, was wir gefunden haben, ist, daß von der Contraoctave an bis zur Mitte der 4 gestrichenen Octave also fast für das ganze musikalische Tongebiet, das Anblasen zweier Sirenenlöcher genügt, um eine Tonempfindung zu erzeugen. Wir haben uns bisher immer sehr vorsichtig ausgedrückt, wir sprachen immer von Tonempfindungen, die durch Anblasen zweier Löcher etc. entstanden und nicht von der betreffenden Schwingungszahl. Daß durch das Anblasen zweier

Sirenenlöcher auch nur zwei Schwingungen erzeugt werden, ist auch nicht denkbar, es fragt sich nur, inwieweit die secundären Wellen, Reflexionswellen und Nachschwingungen in Betracht kommen. — Unsere Sirene steht in einem rechteckigen Zimmer; die der Scheibe nächstliegende Wand ist von ihr ungefähr $\frac{1}{2}$ m weit entfernt; die Scheibe ist auf einem Tisch befestigt, der mit der Anblasestelle die kürzeste Verbindung von ca. $\frac{1}{2}$ m hat. Als selbstverständlich voraussetzend, daß noch weit nähere Reflexionspunkte vorhanden sind (Gesicht des Anblasenden, Scheibe und Nebenapparate) nehmen wir jetzt nur zur Erläuterung der Reflexionswellen die $\frac{1}{2}$ m entfernte Wand an. Werden jetzt also durch Anblasen zweier Sirenenlöcher zwei Schwingungen erzeugt, dann werden diese durch die nächstliegende Wand, da der Schall ca. 330 m per Secunde macht, nach $\frac{1}{330}$ Secunde an die Anfangsstelle reflectirt. Impulse von $\frac{1}{330}$ Secunde vermag aber unser Ohr nicht auseinanderzuhalten; es bleibt also vorläufig eine offene Frage, ob nicht Reflexionswellen dieser Wand auch noch für eine Tonempfindung verbraucht werden. — Nun ist aber die Reflexion von den Zimmerwänden etc. keine regelmässige, da z. B. von der einen Stelle nach $\frac{1}{330}$ von einer andern nach $\frac{1}{331}$ von einer dritten nach $\frac{1}{332}$ Secunden die Schwingungen zurückgeworfen werden; in Folge dessen kann man nicht annehmen, daß diese sich so unregelmässig folgenden Wellen als Ton empfunden werden. Ausserdem braucht man nur in die tiefen Tonregionen zu gehen, um einen Zweifel auszuschliessen. Wir haben mit zwei Sirenenlöchern noch das Contra C zur Empfindung gebracht, dies entspricht einer Schwingungszahl von 33 Schwingungen pro Secunde. Wenn jetzt die Schwingungen von der oben genannten $\frac{1}{2}$ m entfernten Wand reflectirt werden, dann müßte ein ganz neuer höherer Ton entstehen als der Ton 33. Dies ist jedoch nicht der Fall. Der durch die zwei Sirenenlöcher erzeugte Ton 33 ist während der $\frac{1}{16,5}$ Secunde, die er andauert, so stark, daß alle reflectirten Wellen, die während dieser Zeit zum Ohre gelangen, vernachlässigt werden können, da sie nicht zur Empfindung gebracht werden. Diese tiefen

Töne fanden wir ja fast gänzlich frei von Nebengeräusch im Gegensatz zu den höheren Tönen. — Die nach der $\frac{1}{16,5}$ Secunde, die unser Ton 33 klingt, reflectirten Wellen aber, die von weither (20 m) stammen, sind viel zu schwach, um sich noch mit den von den ersten zwei Löchern entstandenen Schwingungen in der Empfindung zu vereinigen.

Also von den Reflexionsschwingungen können wir absehen, da diese bei ihrer grossen Anzahl und Unregelmässigkeit immer nur ein Geräusch, aber keinen Ton erzeugen können.

Es bleiben jetzt noch die Nachschwingungen der Luft übrig, die eine einzige Gleichgewichtsstörung der Luft bewirken kann. Dieselben können vorhanden sein. Dafs BRÜCKE¹ in seinen Explosionsversuchen nur eine Schwingung der Flamme und keine Nachschwingung sah, ist kein Beweis vom Gegentheil, wie wir im Kapitel „Geräusch“ auseinandersetzen werden. Wenn nun aber die Nachschwingungen stark genug sind für eine Empfindung und regelmässig genug für eine Tonempfindung, aus welchem Grunde haben wir dann nicht auch bei dem Anblasen eines Sirenenlochs durch die Nachschwingungen einen Ton erhalten. Wir können also nach diesem, wenn auch indirecten Beweis schliessen, dafs es sich mit den Nachschwingungen ebenso verhält wie mit den Reflexionsschwingungen: entweder sind sie überhaupt zu schwach, um überhaupt empfunden zu werden, oder sie sind zu unregelmässig, um als Ton empfunden zu werden. — Für die Tonwahrnehmung entspricht also die Anzahl der entstehenden Schwingungen der Anzahl der angeblasenen Sirenenlöcher. — Für die Geräuschwahrnehmung verhält es sich anders, wie wir sehen werden. Wir können also getrost von zwei Schwingungen sprechen, die durch das Anblasen zweier Sirenenlöcher entstehen, denn die Nachschwingungen und Reflexionswellen kommen nicht in Betracht.

Wir sehen, dafs von der Contraoctave bis zur Mitte der 4gestrichenen Octave zwei Schwingungen genügen, um eine Tonempfindung zu erzeugen; höhere Töne als g_4 brauchten mindestens drei Schwingungen; doch auch mit diesen kamen wir nur bis zu einer bestimmten

¹ BRÜCKE, Ueber die Wahrnehmung der Geräusche, *Sitzungsberichte der Wiener Akademie*, 1884, XC. Band.

Grenze h_4 , mit vier Schwingungen bis d_5 , mit fünf Schwingungen bis f_5 , mit zehn Schwingungen bis a_5 . Mit 20 Schwingungen konnten wir alle Töne hören, welche unsere Sirene mit dem verwendeten Kraftbetrieb hergab, doch war dies noch nicht die Höhengrenze der Tonwahrnehmungen überhaupt. — Hätten wir mit der Sirene noch höhere Töne erzielen können, denn würden wir wahrscheinlich auch an eine Grenze der Tonempfindung mit 20 Löchern gekommen sein, die tiefer liegt als die absolute Höhengrenze. Wir schliessen dies allerdings nur durch Analogie.

Wir sehen also aus obiger Zusammenstellung, dafs wir für höchste Töne mehr Schwingungen brauchen als für tiefere, und dafs die Höhengrenzen ziemlich proportional mit den absolut erforderlichen Schwingungszahlen wachsen.

Setzen wir jetzt für die Buchstaben die Schwingungszahlen ein, die ihnen entsprechen, so erhalten wir:

Mit 2 Schwingungen bis zu einem Ton, der 3168 Schwingungen p. Sec. macht									
„ 3	„	„	„	„	„	3960	„	„	„
„ 4	„	„	„	„	„	5020	„	„	„
„ 5	„	„	„	„	„	6000	„	„	„
„ 10	„	„	„	„	„	7040	„	„	„

Da wir nun hierbei sahen, dafs man mit zunehmender absoluter Schwingungszahl zu Tönen höherer Schwingungsanzahl pro Secunde gelangt, lag es sehr nahe, die Werthe zu betrachten in Bezug auf die absolute Zeit, welche sie ausdrücken. Ein Ton, welcher 3168 Schwingungen pro Secunde macht, braucht zu 2 Schwingungen

$\frac{2}{3168} = \frac{1}{1584}$ Secunde; oder setzt man für $\frac{1}{1000}$ Secunde das

Symbol σ ein $= 0,63 \sigma$. Ein Ton, der von nur 3 Schwingungen erzeugt wird, braucht mindestens $\frac{3}{3960} = \frac{1}{1320}$ Secunde oder

$= 0,76 \sigma$. 4 Schwingungen brauchen mindestens $\frac{4}{5020} = \frac{1}{1255}$ Se-

cunde $= 0,79 \sigma$; 5 Schwingungen $\frac{5}{6000} = \frac{1}{1200} = 0,83 \sigma$;

10 Schwingungen $\frac{10}{7040} = \frac{1}{704} = 1,42 \sigma$.

Man könnte daher sagen, dafs für die Ton-

erzeugung eine Mindestzeit erforderlich ist, welche mit zunehmender Tonhöhe bis $0,63 \sigma$ abnimmt, dann bei höheren Tönen wieder wächst. Zur näheren Veranschaulichung mögen folgende Curven dienen.

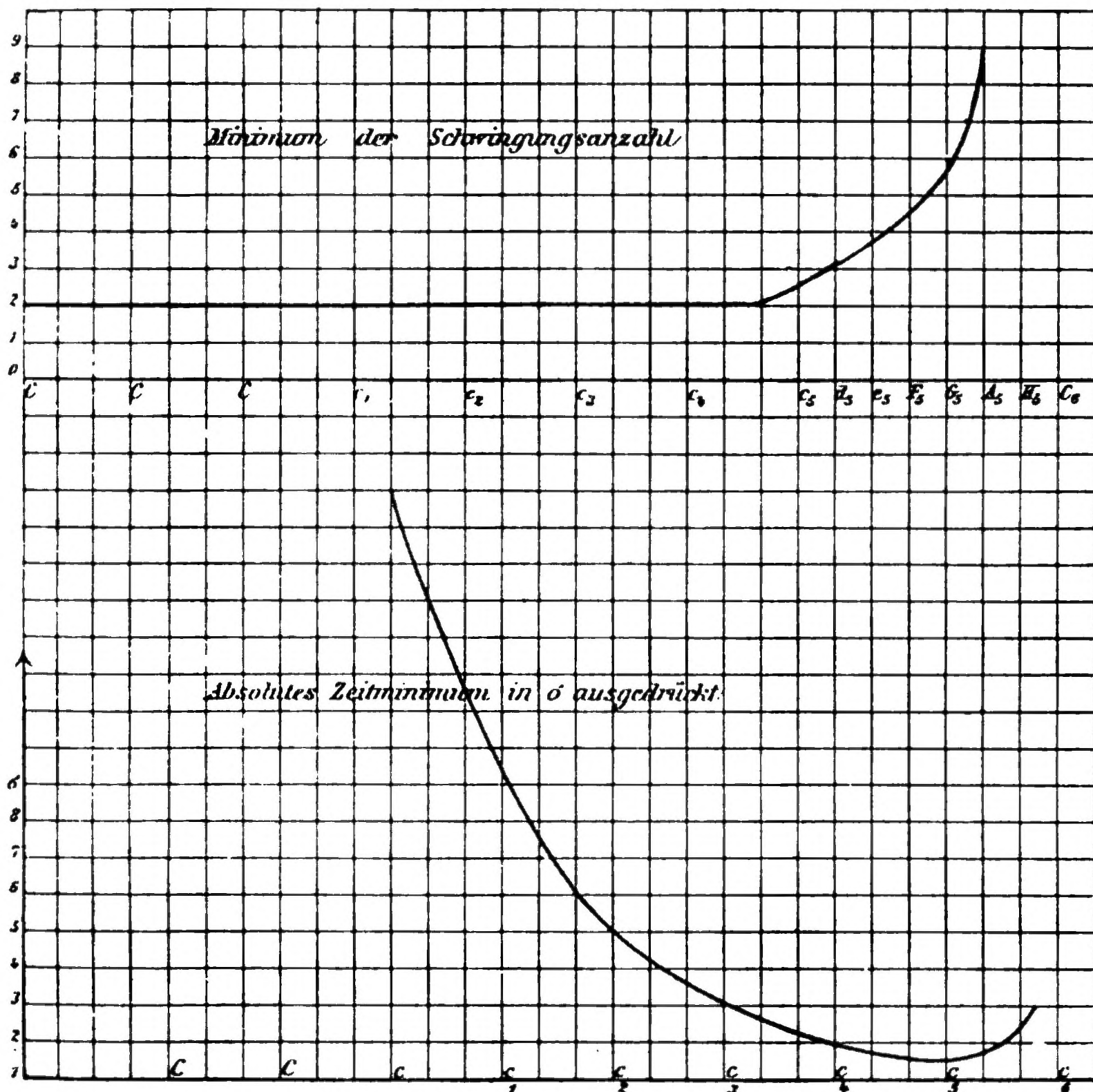


Fig. 2.

Welche physiologische Ursache dieses Ergebniss hat, ist schwer zu entscheiden. Man kann sich wohl vorstellen, daß ein Reiz eine bestimmte Zeitdauer benöthigt, um einen Nervenproceß hervorzurufen. Die Dauerschwelle des Tonreizes wäre danach $0,63$ für das viergestrichene g , während er für das Contra- C 33σ wäre, für das a_6 $1,42 \sigma$. — Wir können also $0,63$ als das absolute Zeitminimum für den Tonreiz überhaupt betrachten.

Nachdem wir jetzt die eine Qualität der kürzesten Töne, ihre Höhe, besprochen haben, erübrigt es noch, die anderen

Qualitäten, die Intensität und die Klangfarbe, zusammenfassend zu betrachten. — Bliesen wir eine große Anzahl von Löchern an, so erhielten wir einen ziemlich starken, durchdringenden Ton. Der Ton hatte eine bestimmte Intensität, welche abhing von der Lochgröße und der Stärke des Anblasens. Ueber eine gewisse Intensität kam man aus diesem Grunde nicht hinaus; die Anblasegeräusche wurden dann so stark, daß der Ton sogar schwächer erschien als bei geringerer Stärke des Anblasens. Genauere Intensitätsbestimmungen haben wir aus Mangel an geeigneten Apparaten nicht ausführen können. Es zeigte sich aber, daß wir für einen hohen Ton einen größeren Druck brauchten als für tiefe Töne; für diese dagegen ein größeres Luftquantum als für hohe Töne.

Je weniger Löcher wir anbliesen, um so schwächer wurde der Ton; vielleicht lag das an den entstehenden Nebengeräuschen, vielleicht hatte dies aber auch einen anderen Grund. Von einer bestimmten zeitlichen Grenze ist bekanntlich die Wirkung nicht allein abhängig von der Intensität des Reizes, sondern auch von der Dauer desselben. BRÜCKE¹ sagt, daß bei Momentangeräuschen nicht sowohl die Amplitude der einzelnen Welle in Betracht kommt, als vielmehr die Summe der lebendigen Kräfte, welche durch zwei oder drei oder mehr Wellen, die an unser Ohr gelangen, repräsentirt wird, und die einzelne secundäre Welle wird, wenn sie auch für sich allein nicht im Stande wäre, einen hörbaren Effect hervorzurufen, doch ihren Antheil am Gesamteffect nicht aufgeben. Sie trifft die für sie abgestimmte Zone der Membrana basilaris im geeigneten Momente und wird ihrer Bewegung neue hinzufügen, so daß sich ihre Action noch über dem Schwellenwerth befindet, wenn sie ohne diesen Zuwachs schon unter den Schwellenwerth gesunken wäre. — Was BRÜCKE hier von den Momentangeräuschen sagt, halten wir auch für die kürzesten Töne für anwendbar. Man kommt allerdings auch ohne die HELMHOLTZ'sche Resonatoretheorie hierbei aus, wenn man annimmt, daß der Nervenproceß, sei er nun chemischer oder sonstiger Natur, eine bestimmte Intensitätsschwelle des Reizes erfordert, und daß durch verschiedene Reize eine Summation der Intensitäten der Einzelreize eintritt, deren

¹ BRÜCKE, Ueber die Wahrnehmung von Geräuschen, *Sitzungsberichte der Wiener Akademie* 1884, 98.

Intensität allein nicht im Stande wäre, eine Empfindung hervorzubringen.

Das steht also jedenfalls fest, daß für ganz kurze Töne die Intensität nicht nur von der Amplitude der Schwingungen, sondern auch von der Anzahl der Schwingungen resp. von der absoluten Zeit abhängig ist; wir können uns dies in einem Bilde¹ etwa so vorstellen, daß der Nervenproceß bei gleicher Reizstärke an Intensität zunimmt bis zu einer bestimmten Schwingungsanzahl resp. absoluten Zeit und von dieser an seine größte Intensität erreicht hat. Da wir aber hierin einen großen Unterschied zwischen hohen und tiefen Tönen fanden, so glauben wir, daß weniger die Schwingungsanzahl als die absolute Zeit auch hierin von großer Bedeutung ist.

Die Intensität der kurzen Töne war also sehr gering und es war schwer, den Ton aus dem Geräusch herauszuhören. — Diese Schwierigkeit des Heraushörens ist nach unserer Meinung die Hauptursache, daß viele Beobachter, SAVART, BRÜCKE u. Andere, behauptet haben, daß kurze Luftstöße, auch wenn sie sich in genügender Anzahl folgen, doch keine Tonempfindung erzeugen, wenigstens keinen tiefen Ton hervorbringen können. Wir behaupten, daß in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle wohl durch dieselben eine Tonempfindung hervorgerufen wird, nur ist der Ton sehr schwer herauszuhören. Wenn wir unsere Sirenenscheibe sehr schnell laufen ließen, dann erhielten wir durch Anblasen der Löcher naturgemäß einen sehr hohen Ton, wenn die Löcher dicht zusammenlagen. Nehmen wir an den Ton 3000. Folgte immer ein offenes Loch einem verklebten, so bekamen wir bei derselben Scheibengeschwindigkeit den Ton 1500. Ließen wir nur 10 Löcher im ganzen Umfang der Scheibe (Controlreihe) stehen, in gleichem Abstand, so bekamen wir bei zehnmaliger Umdrehung den Ton 100. Bei diesen 3 Versuchen waren aber die Einzelimpulse jedes Mal gleich kurzdauernd, und es ist keineswegs der Fall, daß der Ton bei mangelnder Continuität aufhört; nein, nur das Heraushören des Tones aus dem Nebengeräusch wird dann schwieriger und zur Tonerkennung ist dann eben ein feines Gehör erforderlich. Mag EXNER das Geräusch einer Knarre in der Tiefe dem Schrei eines Arras vergleichen (noch bei 600 Schwingungen) und erst von großer Höhe

¹ S. Figur 6.

eine Tonempfindung haben, der Ton ist jedenfalls früher schon dagewesen, nur ist er sehr schwer aus den Geräuschen herauszuhören.

Allerdings hat auch die Entstehung eines Tones aus kurzdauernden Einzelimpulsen ihre Grenze. Wir fanden, daß für tiefere Töne ein größeres Luftquantum erforderlich war als für hohe Töne. Es ist also wahrscheinlich, daß das Luftquantum für kurzdauernden Einzelimpulse, welches von einer bestimmten Grenze an nicht mehr genügend ist, um einen tiefen Ton zu erzeugen, doch in der Höhe hinreichen würde. Wir erzeugen durch kurzdauernde Einzelimpulse also keinen Ton, weil das nöthige Luftquantum fehlt, doch ist die Tongrenze dafür nach unseren Versuchen eine sehr tiefe, d. h. es besteht ein sehr großes Verhältniß zwischen Lochgröße und Lochabstand. Die Mehrzahl obiger Negationsbefunde (SAVART, BRÜCKE, EXNER) eines Tones ist aber wahrscheinlich auf die mangelnde Analyse zurückzuführen. BRÜCKE sagt selbst, daß er der musikalischen Anlage und Ausbildung entbehre. Es leuchtet aber ein, daß für die Unterscheidung eines Geräusches von einem Ton vor Allem ein fein musikalisches Ohr nöthig ist.

Was endlich die dritte Qualität der kürzesten Töne betrifft, die Klangfarbe, so bemerkten wir, daß die kurzen Töne viel milder klangen als langdauernde Töne derselben Höhe. Das Spitzige der hohen Töne fehlte ihnen vollständig. Wir glauben zeigen zu können, daß die Klangfarbe der kürzesten Töne bedingt ist durch die erwähnten knallartigen Nebengeräusche, wenigstens zum größten Theil, und wollen daher erst diese besprechen, ehe wir über die Klangfarbe und die mit ihr zusammenhängende Octaventäuschung Näheres aussagen. —

Nebengeräusch.

Wir kommen jetzt also zu dem zweiten Theil unserer Beobachtungen, dem Nebengeräusch. — Um es kurz zu recapituliren, wir fanden bei allen Untersuchungen mit 20, 10, 5, 4, 3 und 2 Löchern, daß von einer bestimmten, bei der verschiedenen Löcheranzahl verschiedenen Tonhöhe an sich ein knallartiges Nebengeräusch dem Tone beigeesellte. Dies war bedeutend tiefer als der Ton und wurde, je kürzer der Ton dauerte, um so deutlicher; schließlic von einer bestimmten Tongrenze an brachte es eine Octaventäuschung hervor, derart,

dafs man den Ton von dem Geräusch nicht mehr unterscheiden konnte, sondern Ton plus Geräusch für einen Ton erklärte, welcher eine Octave tiefer war, als der Ton, welcher der Löcherzahl und Umdrehungsgeschwindigkeit entsprach. Er erschien nicht mehr eine Sexte höher als die Controlreihe, sondern eine Terz tiefer.

Bei zwei Löchern waren nur die tiefsten Töne frei von diesem Knall, höher hinauf hörte man einen deutlichen tiefen Knall und einen sehr schwachen, schwer herauszuhörenden, hohen Ton. Nahmen wir endlich nur ein Loch, so erhielten wir wieder den deutlichen Knall, diesmal aber frei von einem begleitenden Ton.

Um daher das knallartige Nebengeräusch bei allen Versuchen zu studiren, ist es am besten, wenn man zunächst die Vorgänge betrachtet, welche sich bei dem Anblasen eines Sirenenlochs abspielen. — Der Knall, der durch Anblasen eines Lochs zu Stande kam, hatte keine bestimmte und bestimmbare Tonhöhe; jedoch bei gröfserer Geschwindigkeit der Sirenen Scheibe wurde der Knall höher, bei geringerer tiefer. Es schien, als wenn der Knall aus einer ganzen Summe von Tönen zusammengesetzt wäre. Von einer bestimmten Geschwindigkeitsgrenze der Scheibe an, die etwa der 5 gestrichenen Octave der Löcherreihe I entspricht, blieb der Knall constant in derselben Höhe, und wurde nicht mehr durch Geschwindigkeitszunahme der Scheibe beeinflusst. Es entsteht nun die Frage, was ist eigentlich dieser Knall?

BRÜCKE behauptet, dafs ein Knall schon empfunden werden kann durch die Einwirkung einer einzigen Schwingung auf das Gehörorgan. Mit der HELMHOLTZ'schen Resonatorentheorie hat man das in der Weise in Einklang zu bringen versucht, dafs man sagte, mit der einen Schwingung werden gleich alle Resonatoren in Erregung versetzt, mit der periodischen Wiederholung der Schwingung tritt erst die Erregung des bestimmten, dem Ton entsprechenden Resonators ein. Abgesehen davon, dafs die HELMHOLTZ'sche Theorie viele Angriffspunkte hat und in neuerer Zeit stark angezweifelt wird, können wir unsere Ergebnisse nicht auf solche Weise erklären: Da wir nach zwei Schwingungen bereits eine deutliche Tonempfindung hatten, können wir uns nicht vorstellen, dafs bei einer Schwingung alle Resonatoren erregt werden, bei zwei

Schwingungen nur noch ein einziger in dem Grade schwingt, daß er allein eine Empfindung bewirkt, während die übrigen Resonatoren keine solche hervorbringen. Der Unterschied der Amplitude der Resonatoren kann bei zwei Schwingungen kein so erheblicher sein, daß die eine Faser eine deutliche Tonempfindung bewerkstelligt, die Erregung der anderen Fasern unter der Intensitätsschwelle liegt.

Wie HENSEN schon sagt,¹ müßte nach der BRÜCKE'schen Lehre² auch jeder plötzlich entstehende starke Ton im Beginn der Empfindung einen Knall geben. Die verschiedene tonale Höhe der Geräusche wird, wenn sie von einer Schwingung herühren soll, so erklärt,³ daß eine aperiodische Luftbewegung, wenn sie schwächer und kürzer ist, alle, vorzugsweise aber die kleinen leichter beweglichen Endorgane erzeuge; wenn sie stärker und längerdauernd ist, die größeren massigeren.

Doch da sich alle diese Ansichten auf die BRÜCKE'schen Versuche stützen, so betrachten wir erst diese genauer. BRÜCKE brachte mit Knallgas und Luft gefüllte Seifenblasen zum Platzen. Das Explodieren derselben gab einen Knall, der je nach der Größe der Blasen hoch oder tief in seiner tonalen Höhe erschien. Die entstehenden Schallwellen trafen eine Glimmerplatte, welche die Basis eines Kegels bildete, an dessen Spitze eine Gasflamme brannte. Sobald die Glimmerplatte eine Schwingung machte, zuckte die Flamme und wurde durch einen rotirenden Spiegel betrachtet. BRÜCKE erhielt bei den meisten dieser Explosionsversuche nur ein einmaliges Zucken der Flamme. Er schloß daraus, daß bei diesen Explosionsgeräuschen nur eine Schwingung vorhanden ist und schon genüge, um auf das Ohr den Eindruck eines Knalls zu machen. Wenn mehrere Schwingungen oder Nachschwingungen entständen, mußten diese ebenfalls ein Zucken der Flamme hervorbringen.

Nun erhielt BRÜCKE aber nicht ausnahmslos nur eine Schwingung, d. h. ein Zucken der Flamme, in einzelnen Fällen beobachtete er ein secundäres Flackern. Aber selbst wenn die Flamme in allen Versuchen nur ein einmaliges Zucken gezeigt hätte, wäre das doch noch nicht beweisend, daß keine für das Ohr empfindbaren Nachschwingungen dagewesen sind. WIEN hat

¹ HERMANN's Hdb. d. Physiol. III, 2.

² Arch. f. Ohrenheilkunde XXIII, 69f.

³ MACH, Beitr. z. Analyse d. Empfdg. 117f.

gezeigt, daß wir Töne noch hören, welche 10 000 Mal schwächer sind als die stärksten Töne. Wie soll man aber ein $\frac{1}{10\,000}$ der stärksten Zuckung einer kleinen Flamme noch erkennen? Unser Ohr reagiert sicherlich viel feiner als die Glimmerplatte, die ja noch dazu durch freie Luftwellen (ohne Resonator und Zuleitungsrohr) in Erzitterung geräth. Feinheitmessungen des Apparates sind auch nirgends angegeben. Wir glauben also, daß die BRÜCKE'schen Flammenbilder nicht beweisen können, daß nur eine Luftwelle in unserem Ohr einen Knall hervorbringt, sondern meinen, daß die erste starke Welle (Explosionswelle) das Zucken der Flamme hervorgebracht hat und erst die Nachschwingungen und Reflexionswellen den Knall erzeugen.

Dem Explosionsgeräusch BRÜCKE's entspricht der Knall, welchen wir durch das Anblasen eines einzigen Lochs erhielten. Da ergeben sich nun drei verschiedene Fragen: 1. Weshalb ist der Knall so tief? 2. Weshalb ändert er seine Höhe mit der Scheibengeschwindigkeit? 3. Weshalb hat diese Höhenzunahme ihre Grenze?

Wenn die BRÜCKE'sche Ansicht zutreffend wäre, dann würde die eine Schwingung den Knall hervorbringen, der in seiner Höhe resp. Tiefe abhängen würde von der Scheibengeschwindigkeit und Lochgröße. Wir haben in Reihe I 500 Löcher, die Größe ist 2 mm, der Abstand ebenfalls 2 mm. Nimmt man nun an, daß durch das Anblasen eines Lochs eine bestimmte Welle entsteht, dann kann diese nur $\frac{1}{1000}$ Secunde bei einmaliger Umdrehung der Scheibe dauern. Nehmen wir jetzt aber zwei Löcher, dann hängt die Wellenlänge ab von dem Abstand der Löcher, d. h. vom Beginn des einen Lochs zum Beginn des zweiten. Diese zwei Schwingungen dauern aber $\frac{2}{500}$ Secunden, eine einzige dieser Schwingungen also $\frac{1}{500}$ Secunde, es mußte also hiernach der entstehende Ton resp. das Geräusch ca. 1 Octave tiefer sein, als wenn man nur die Stelle ins Auge faßt, die durch das Loch allein zu Stande kommt. — Jedenfalls also müßte das Geräusch höher sein als der betreffende Ton; wir fanden aber, daß es bei weitem, mehrere Octaven tiefer ist.

Uns scheint die Entstehung des Knalls folgende zu sein: Mit dem Anblasen eines Lochs entsteht eine Schwingung, deren Wellenlänge bedingt ist durch die Lochgröße und die Geschwindigkeit der Scheibe. Diese Welle pflanzt sich fort im Raum und trifft auf den nächsten festen Punkt, der sie reflectirt. Hätten wir jetzt nur diesen einen Reflexionspunkt, dann würde durch das fortwährende Reflectiren der Schwingung hin und zurück, ein Ton entstehen, dessen Höhe bedingt ist von dem Abstand der beiden Reflexionspunkte. Es kommt jetzt also nicht mehr die Wellenlänge in Betracht, die durch die Lochgröße bedingt war, sondern die Wellenlänge ist jetzt der Abstand der Reflexionspunkte. Es würde also ein weit tieferer Ton entstehen. Wir würden danach einen Reflexionston haben, wie ihn Prof. BAUMGARTEN zuerst beschrieb.¹ Wenn man zwischen einem rauschenden Bache oder einem fahrenden Eisenbahnzuge und einer Mauer steht, dann entsteht ein Ton, der abhängig ist von dem Abstand des Beobachters von der Wand. Warum dies BAUMGARTEN nicht Reflexionsgeräusch, sondern Reflexionston benannt hat, verstehen wir nicht; wenn auch einzelne Schwingungen des primären Geräusches, wenn sie eine einfache Beziehung zu dem Reflexionsabstand haben, durch die Reflexion mehr verstärkt werden als andere, die diese Beziehung nicht haben, so handelt es sich doch immer um eine Summe von Tönen, also eher um ein Geräusch als um einen bestimmten Ton. Wenn man, wie wir, in einem Zimmer experimentirt, dann kommen so viel Reflexionspunkte in Betracht, daß man sicherlich nicht von einem Ton sprechen kann, sondern von einer großen Summe von Tönen, deren Höhen immer bedingt wären durch den Abstand der Reflexionspunkte. Wir haben dann also ein tiefes Geräusch. Allerdings geht vielleicht ein Theil der reflectirten Wellen für unsere Empfindung verloren, aus Mangel an Intensität. Alle weiter entfernten Wände kommen daher vielleicht nicht in Betracht, da die Intensität der von weitem reflectirten Wellen unter der Empfindungsschwelle liegt. Die tonale Höhe des Geräusches würde, wenn also diese Reflexionen allein in Betracht kommen würden, den Abständen der nächsten Reflexionswände entsprechen.

Danach müßte aber unser Geräusch, unser Knall, stets

¹ S. PFAUNDLER l. c.

dieselbe tonale Höhe haben, wie groß auch die Sirenen-
geschwindigkeit sei; denn die Abstände der Reflexionswände
werden ja durch eine mehr oder weniger große Sirenengeschwin-
digkeit nicht alterirt und die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des
Schalls ist für hohe und tiefe Töne ja eine gleiche. — Wie ist
also die mit der Geschwindigkeit wechselnde Ton-
höhe des Geräuschs zu erklären?

Nehmen wir zur Erklärung eine nur dreimalige Reflexion
der Schallwelle an. Die Wellenlänge (herrührend von Loch-
größe und Geschwindigkeit) sei zunächst einmal AE . Die Welle¹
werde nach bestimmter Zeit reflectirt. Stellen wir uns zur Er-
läuterung jetzt in einem bestimmten Raumpunkte die Dichtigkeits-
verhältnisse der Luft dar, indem wir die Zeit zur Abscisse, die
Dichtigkeit zur Ordinate machen; dann tritt eine zweite Welle
zu einer Zeit ein, in der die Welle AE noch nicht abgelaufen
ist, ebenso treffen die Wellen CG , DH noch in den zeitlichen
Verlauf der ersten und zweiten Welle.

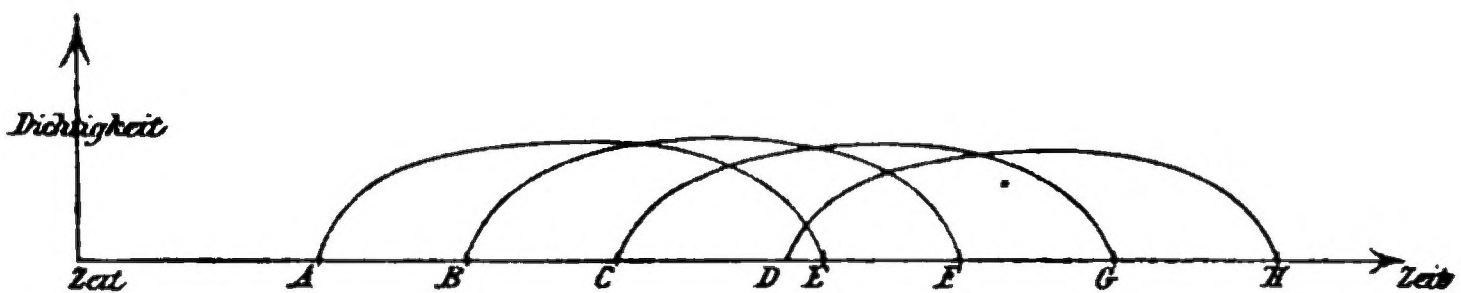


Fig. 3.

Diese müssen jetzt mit der Hauptwelle interferiren, sie
werden sich zum Theil aufheben, zum Theil verstärken und wir
bekommen resultirende Wellenzüge. In dieser resultirenden Welle
erkennen wir nur ein Maximum bei X.

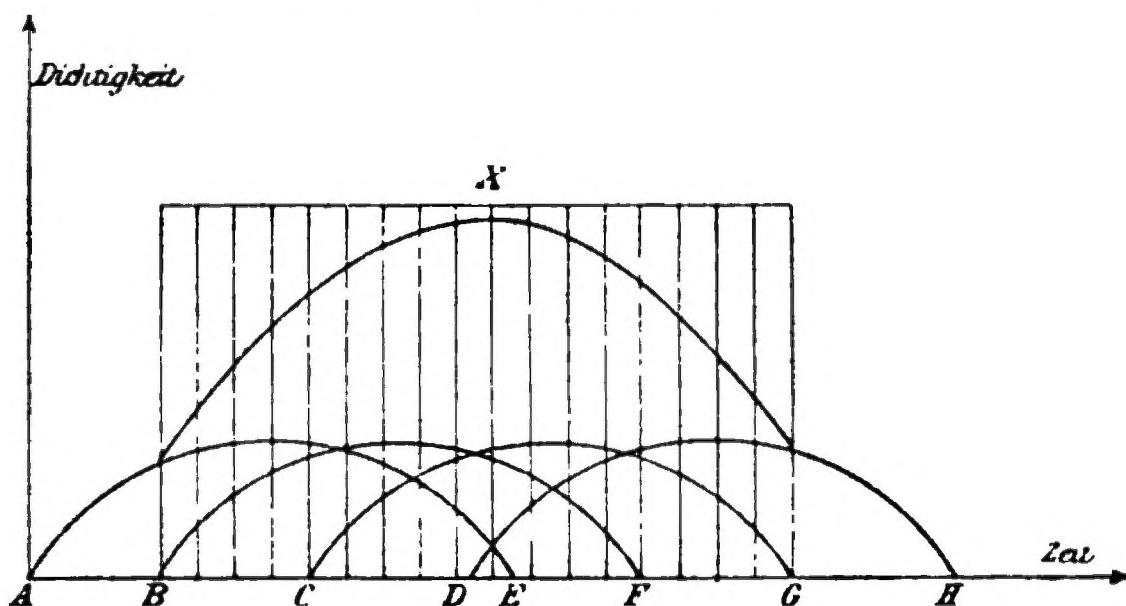


Fig. 4.

¹ Unter Welle verstehen wir nicht etwa eine Sinusschwingung, sondern
Zeitschrift für Psychologie XVIII.

Nehmen wir jetzt bei denselben Reflexionsverhältnissen eine kleine Welle an, etwa von der Grösse AE_1 . — Die jetzt reflectirten Wellen interferiren nicht mit einander und mit der primären



Fig. 5.

Welle; wir haben jetzt keine resultierende Wellen, mithin nicht ein Maximum, sondern 4 Maxima. Das heisst mit anderen Worten: Bei Erzeugung einer kurzen Welle bekommen wir durch die Reflexionen eine grosse Anzahl Maxima, bei Erzeugung grosser Wellen nur wenige, da die grossen Reflexionswellen sich zum grossen Theil durch Superposition beeinflussen.

Dadurch erklärt sich die Thatsache, dass der Knall bei gröfserer Geschwindigkeit der Scheibe höher wird, da sich dabei mehr Maxima bilden als bei geringer Geschwindigkeit. — Denn auf die Maxima der Wellen kommt es bei der Tonempfindung, wenigstens nach der neuesten Auffassung, an, seitdem man eingesehen hat, dass nicht Sinusschwingungen für eine Tonempfindung nöthig sind.

Hiermit beantworten wir auch die dritte Frage, die wir uns über die Natur unseres Knalls stellten, nämlich, weshalb von einer bestimmten Geschwindigkeit an der Knall keine Höhenzunahme mehr zeigt. Wenn nämlich die Geschwindigkeit so gross geworden ist, dass die Wellenlänge verschwindend klein ist zu den in Betracht kommenden Reflexionsabständen, dann tritt die volle Zahl der Maxima ein und wir erhalten eine Knallhöhe, welche dem Abstand der Reflexionspunkte rein entspricht; dann kann also von der primären Wellenlänge abgesehen werden. — Unsere 3 Fragen beantworten wir also folgendermaassen:

1. Unser Knall ist tief, weil er zum grössten Theil bedingt ist durch Reflexion, und der Abstand der Reflexionspunkte grosse Wellenlängen repräsentirt.

2. Unser Knall ändert seine tonale Höhe mit der Scheiben-

die Luftbewegung, die durch Anblasen eines Sirenenlochs zu Stande kommt, und welche jedenfalls den Wellen unserer Figur eher entspricht als einer Sinusschwingung.

geschwindigkeit, weil aufer den Reflexionsabständen noch die primäre Wellenlänge in Betracht kommt und so durch Interferenz mehr oder weniger Maxima gebildet werden.

3. Die Höhenzunahme des Knalls hat ihre Grenze dann, wenn die primäre Welle eine verschwindend kleine Wellenlänge hat im Vergleich zu den Reflexionsabständen, die jetzt allein die Wellenlängen des Geräuschs ausmachen.

Aufer diesen Reflexionen, die die Knallhöhe bedingen, können auch die Nachschwingungen in Betracht kommen, die auch ohne Reflexion nach einer einzigen Gleichgewichtsstörung der Luft vorkommen können. Auch diese hängen von der Lochgröße und Scheibengeschwindigkeit ab, da sie aber so viel tiefer sind als der Ton der Scheibe, so muß man annehmen, daß, wenn sie für die Empfindung wirksam sind, ihre Periode eine verhältnismäßig langsame ist. Den Antheil der Reflexionen werden wir in weiteren Versuchen, Aenderungen der Reflexionsabstände, Beobachtungen durch einen Hörschlauch zu berechnen und eventuell zu eliminiren suchen.

Betrachten wir jetzt das Nebengeräusch, welches beim Anblasen mehrerer Löcher sich dem hohen Tone zugesellt. — Dasselbe scheint in seiner Natur nichts anderes zu sein als der Knall, den wir durch ein Loch wahrnahmen. Denn dieselben Eigenschaften, welche wir bei dem Einlochknall fanden, zeigten sich auch bei diesem Nebengeräusch. Auch dieses war viel tiefer als der Ton, wurde aber mit schnellerer Rotation der Scheibe höher, und blieb von einer bestimmten Grenze an constant. Wenn wir aber das Nebengeräusch für das Knallgeräusch erklären wollen, dann müssen wir alle übrigen in Betracht kommenden Geräusche ausschließen können. Unsere Aluminiumscheibe besitzt zwischen 2 Löchern Rauigkeiten, welche selbst im Stande sind, während eines Tones Nebengeräusche hervorzubringen. Diese Rauigkeiten, welche auf dem Zwischenstück liegen, können nur kleiner sein als das ganze Zwischenstück; dieses ist 2 mm oder eben so groß wie das angeblasene Loch; mithin können die Geräusche, die von den Rauigkeiten der Scheibe herrühren, nur hohe Geräusche sein; sie müssen jedenfalls viel höher sein als der Sirenenton; das knallartige Nebengeräusch ist aber bedeutend tiefer als der Sirenenton; ergo können die Rauigkeiten nicht die Ursache desselben sein. Durch das Schwingen des Lochrandes können

auch Wellen erregt werden; doch kann deren Wellenlänge, selbst wenn die Excursionen sehr bedeutende sein sollten, nur die Hälfte der Wellenlänge des ganzen Lochs sein; mithin müßten auch diese Geräusche sehr hohe sein und können also nicht identisch sein mit unserem tiefen knallartigen Nebengeräusch. Ebenso verhält es sich mit den Wirbelgeräuschen, die bei der plötzlichen Luftverdünnung in dem Loch zu Stande kommen. — Wir sehen also, daß alle anderen in Betracht kommenden Geräusche höher sein müssen als der betreffende Sirenenton. Von dem Anblasegeräusch, das an der Mündung des Glasrohrs entsteht, können wir ebenfalls absehen, da es continuirlich, also nicht mit dem Knall zu verwechseln ist. Also bleibt für unser tiefes Nebengeräusch nur dieselbe Erklärung wie für den Einlochknall. — Es ist ein Geräusch, bestehend aus Nachschwingungen und Reflexionswellen. Die tonale Höhe hängt ab von der Periode der Nachschwingungen und dem Abstand der Reflexionswände. Die drei Fragen, die wir in Bezug auf den Einlochknall beantworteten, werden hier genau in derselben Weise erledigt.

Es bleibt nun noch eine Frage übrig. Weshalb trat das tiefe Nebengeräusch bei der verschiedenen Löcheranzahl in ganz verschiedener Tonhöhe auf?

	Mit 20 Löchern bei g_1 (f_1)		
„	10	„	„ a_2 (g_2)
„	5	„	„ $f_1 s_2$ (e_2)
„	4	„	„ h_2 (c_2)
„	3	„	„ a_2 (d_2)
„	2	„	„ ?

Setzen wir wieder für die Buchstabenwerthe die entsprechenden Schwingungszahlen ein, so haben wir das Nebengeräusch mit 20 Löchern bei einem Ton, der 3168 Schwingungen pro Secunde macht, mit 10 bei einem, der 1760, mit 5, der 1490, mit 4, der 990, mit 3, der 880 Schwingungen pro Secunde macht. In absoluter Zeit ausgedrückt würde demnach das Nebengeräusch erscheinen bei

$$\begin{array}{l}
 20 \text{ Löchern nach } \frac{1}{158} \text{ Secunden} = 6,3 \sigma \\
 10 \quad \quad \quad \quad \quad \quad \frac{1}{176} \quad \quad \quad = 5,7 \sigma
 \end{array}$$

bei 5 Löchern nach	$\frac{1}{298}$	Secunden	=	3,36 σ
4 " "	$\frac{1}{247}$	"	=	4,46 σ
3 " "	$\frac{1}{293}$	"	=	3,76 σ

Nehmen wir jetzt einen beliebigen Ton, etwa $f_{15} = 1500$ Schwingungen an und betrachten ihn, indem wir ihn mit verschiedener Löcheranzahl erregen. Die Scheibe hat zu seiner Erzeugung bei demselben Lochabstand immer dieselbe Geschwindigkeit nöthig. Bei 20 Löchern würde der Ton $\frac{1}{750}$ Sec. = 13,5 σ dauern bei 5 Löchern = 3,3 σ . Wenn nun unsere Behauptung richtig ist, daß das tiefe Nebengeräusch zu Stande kommt durch unregelmäßige Reflexionen von Schallwellen und Nachschwingungen, dann ist die Thatsache, daß das Geräusch bei 20 Schwingungen nicht gehört wird, wohl aber bei 5 Schwingungen, leicht erklärlich. Nehmen wir an, daß die ersten Reflexionswellen resp. Nachschwingungen nach 4 σ zurückkommen, dann

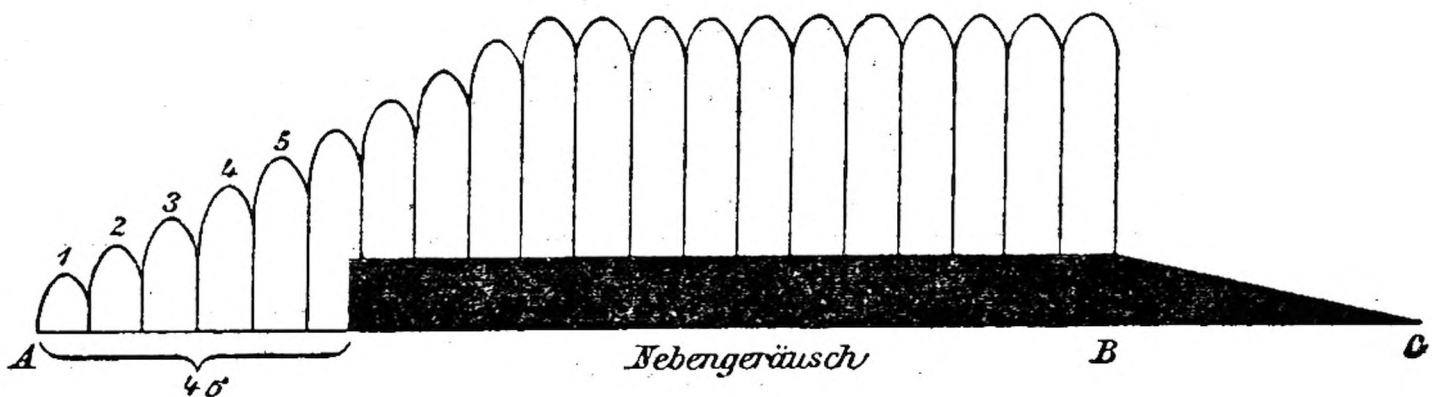


Fig. 6.

ist es klar, daß bei 20 Löchern, um so mehr als eine Summation der Reize eintritt, wie wir oben sahen, das schwache Reflexionsgeräusch nicht wahrgenommen wird während des Bestehens des Tones, während es, wenn nur 5 Schwingungen vorhanden sind, erst nach Ablauf dieser eintritt und dann vom Ohre empfunden wird. — Der Theil BC wird von den Nachschwingungen des Ohres resp. der Nachempfindung des Tons verdeckt und die Nachempfindung ist nach Obigem bedeutender nach 20 als nach 5 Schwingungen. Es kommt also auch bei dem Nebengeräusch auf die Schwingungsanzahl und die absolute Dauer des Tones an. Immer tritt das Nebengeräusch ein, wenn der Ton 3,7 bis 6,3 σ gedauert hat. Diese Verschiedenheit der Zahlen bei den

verschiedenen Anzahlen der Schwingungen kann man nicht durch die Summation der Reize erklären, sondern wenn wir eine Erklärung suchen, können wir nur sagen, daß die höchsten Töne eine geringere Empfindungsstärke haben bei gleicher Reizstärke als tiefere Töne.

Betrachten wir zum Schluß noch einmal die Octaventäuschung:

Dieselbe trat ein, wenn der Ton von dem Geräusch nicht mehr unterschieden werden konnte. Eine Octaventäuschung des Urtheils hat an sich nichts Auffallendes und findet überall in der Akustik ihre Analogie. Die Klangfarbe der Töne entsteht bekanntlich zum größten Theil durch die Beimischung von Obertönen zum Grundton. — Der eine von uns (ABRAHAM) hat, wie oben erwähnt, ein absolutes Tonbewußtsein. Pfeift derselbe den tiefsten Ton, den er zu pfeifen vermag, es ist dies ein d_2 , so hält er es für d_1 , taxirt es also eine Octave zu tief. Erst bei a_2 fängt bei ihm die richtige Octavenbestimmung an. Der tiefste Pfeifton ist nun ein fast obertonloser Ton, der zu Stande kommt, wenn man der Zunge und den Lippen eine Form giebt, als wolle man ein dumpfes U aussprechen. Dieser Ton also wird eine Octave zu tief beurtheilt, d. h. er wurde eine Octave tiefer beurtheilt als sonstige d_2 , die mit Obertönen versehen waren. Mithin wird der obertonlose Ton eine Octave tiefer geschätzt als der obertonreiche Ton, d. h. eine Octave zu tief beurtheilt. Da unsere Notenbezeichnungen aber für obertonreiche und obertonärmere Klänge gelten sollten, wäre es vielleicht richtiger sie auf einfache Töne zu beziehen und zu sagen, obertonreiche Klänge werden eine Octave zu hoch beurtheilt, und die Notenbezeichnungen für einfache Töne anzuwenden.

Ein Jeder kann übrigens den Versuch nachmachen, auch ohne absolutes Tonbewußtsein zu haben, indem er seinen tiefsten Ton pfeift, also etwa d_2 , und dann d_1 möglichst stark singt. Wahrscheinlich hält er dann sogar zuerst den gesungenen Ton für eine Octave höher als den gepfeffenen Ton, während es in Wirklichkeit umgekehrt ist. Schon ENGEL¹ giebt diesen Versuch an.

Wie nun Obertöne im Stande sind eine Octaventäuschung hervorzubringen, so gilt dies auch für Nebengeräusche, wenn

¹ GUSTAV ENGEL, Ueber den Begriff der Klangfarbe.

sie eine Tonhöhe besitzen; und wie Obertöne eine Täuschung nach oben hin erzeugen, so werden tiefe Beitäöne oder tiefe Nebengeräusche eine Täuschung nach unten hin hervorbringen. Daher ist unser tiefes Nebengeräusch im Stande, sobald es sich dem Tone unanalysirbar vermischt, eine Octaventäuschung des Urtheils nach unten hin hervorzubringen. — Wir glauben, dass die viel besprochenen Untertöne RIEMANN's, welche an verschiedenen Instrumenten gehört werden sollen, nichts weiter sind als solche tiefe Nebengeräusche, welche, da ihr Toncharacter nur schwach ausgeprägt ist, mit dem Grundton zu harmoniren scheinen und daher meist in die untere Octave (beliebig auch in die Quinte) willkürlich verlegt werden.

Die Octaventäuschung trat ein bei

	20 Löchern bei fi_8_5
10	„ „ a_4
5	„ „ d_4
4	„ „ d_1
3	„ „ c_4
2	„ „ fi_8_3

Wieder in Schwingungszahlen ausgedrückt haben wir den Eintritt der Octaventäuschung mit

20 Löchern bei einem Ton, der 5900 Schwingungen pro Secunde macht										
10	„	„	„	„	„	3520	„	„	„	„
5	„	„	„	„	„	2376	„	„	„	„
4	„	„	„	„	„	2376	„	„	„	„
3	„	„	„	„	„	2112	„	„	„	„
2	„	„	„	„	„	1500	„	„	„	„

Das ist in absoluter Zeit mit

20 Löchern nach	$\frac{1}{280}$	Secunden	=	3,6 σ
10	„	„	$\frac{1}{352}$	„ = 2,8 σ
5	„	„	$\frac{1}{475}$	„ = 2,1 σ
4	„	„	$\frac{1}{594}$	„ = 1,7 σ
3	„	„	$\frac{1}{704}$	„ = 1,4 σ
2	„	„	$\frac{1}{751}$	„ = 1,3 σ

Auch diese Reihe $3,6—1,3 \sigma$ können wir vielleicht so erklären, daß höchste Töne eine geringere Empfindungsstärke haben als tiefere Töne oder daß höchste Töne neben einem tiefen Geräusch schwerer herauszuhören sind als tiefere. —

Schließlich wollen wir noch die zweite Hauptfrage, die wir uns gestellt hatten, beantworten. Sie lautete: Wieviel Schwingungen gehören zur Bildung des absoluten Tonurtheils? Die Empfindung braucht nur zwei Schwingungen, wie wir sahen, und man sollte annehmen, daß für die Urtheilsbildung eine häufige Aufeinanderfolge dieser Tonstöße erforderlich ist. Das hat sich aber nicht herausgestellt. In jeder Octave von der Contraoctave an bis zur Mitte der viergestrichenen Octave, in welchem Bezirk also zwei Schwingungen genügten, waren diese zwei Schwingungen auch jedesmal hinreichend, um das absolute Tonurtheil zu fällen. Wir brauchten keine Wiederholung. Die Urtheilszeit wurde allerdings geringer, wenn wir mehrere Tonstöße hinter einander hörten, nöthig war die Wiederholung aber nicht.

Kurz zusammengefaßt sind unsere Resultate folgende:

1. Für Sirenentöne kommt nur die der Löcherzahl entsprechende Anzahl von Schwingungen in Betracht. Nachschwingungen und Reflexionswellen bringen nur ein Geräusch hervor, sind aber für die Tonempfindung belanglos.
2. Von der Contraoctave bis zur Mitte der viergestrichenen Octave genügen zwei Schwingungen für eine Tonempfindung.
3. Von der Mitte der viergestrichenen Octave steigt die Zahl der erforderlichen Schwingungen stetig an.
4. Das absolute Zeitminimum eines Tones ist $0,63 \sigma$ und liegt bei g_4 ; höhere und tiefere Töne erfordern mehr Zeit.
5. Kurze Töne sind schwächer als langdauernde. Es kommt bei ihnen nicht nur auf die Amplitude an, sondern auch auf die Anzahl der Schwingungen resp. absolute Zeit (Summation der Reize).
6. Kurze Töne sind milder und weniger spitzig als langdauernde. Die Ursache liegt vermuthlich in den tiefen Nebengeräuschen.

7. Von einem bestimmten Dauerminimum ($3,7 - 6,3 \sigma$) ist jeder unserer Töne begleitet von einem tiefen, knallartigen Nebengeräusch, das mit zunehmender Kürze deutlicher wird und schließlich eine Octaventäuschung des Tonurtheils nach unten hin bewirkt.
8. Das tiefe knallartige Nebengeräusch rührt von unregelmäßigen Nachschwingungen und Reflexionswellen her.
9. Beim Anblasen eines einzigen Sirenenlochs entsteht ein Knall, doch entspricht derselbe keineswegs einer einzigen Schwingung.
10. Der Knall und seine Höhe sind bedingt von der primären Welle, dem Abstand der Reflexionspunkte und den Perioden der Nachschwingungen. Von einer bestimmten Grenze an kommt die primäre Welle nicht mehr in Betracht.
11. Das absolute Tonhöhenurtheil hat eine Wiederholung der einzelnen Tonstöße nicht unbedingt nöthig.

Es bleibt uns noch übrig, Herrn Dr. MEYER, welcher uns bei unseren Versuchen häufig durch Rath und That unterstützte, unseren Dank auszusprechen.

Vor Allem aber ist es unsere Pflicht, Herrn Prof. STUMPF für die Liebenswürdigkeit, mit der er uns sein Institut und Apparate zur Verfügung stellte, unsern ergebensten Dank abzustatten.

(Eingegangen am 27. Mai 1898.)
