

Über die Wahrnehmung und Lokalisation von Schwebungen und Differenztönen.

Von

KARL L. SCHAEFER,

z. Z. d. Unters. Assistent am Physiologischen Institut in Jena.

I.

Schwebungen.

Für die Wahrnehmung von Schwebungen ist es gleichgültig, aus welcher Richtung uns die Töne, welche miteinander schweben, treffen. Dasselbe gilt hinsichtlich der Entfernung der Tonquellen vom Kopfe des Beobachters, vorausgesetzt, daß nicht durch dieselbe die Intensität eines der Töne oder beider allzu gering wird. Die Stimmgabeln — nur solche wurden in der vorliegenden Untersuchung benutzt — mögen dicht nebeneinander aufgestellt oder durch eine beliebige Strecke getrennt sein, sich auf derselben oder auf entgegengesetzten Seiten der unseren Körper in vertikaler Richtung sagittal halbierenden „Medianebene“ befinden, stets sind die Schwebungen, wenn auch in verschiedener Intensität, hörbar. Da dabei in der Regel jedes Ohr von beiden Tönen getroffen wird,¹ so müssen auch die

¹ Gewöhnlich geschieht dies auf dem Wege der Leitung durch die Luft. Es werden aber die Schwebungen auch sehr deutlich vernommen, wenn man wie THOMPSON [SILVANUS P. THOMPSON. *On Binaural Audition; Philosoph. Magaz.* Ser. V. Vol. IV. No. 25. pag. 274 ff.] die Gabeln in zwei durch ein drittes getrennten Zimmern aufstellt und ihre Töne mit Hilfe von Kautschuckschläuchen je einem Ohre des in einem mit jenen Zimmern nicht kommunizierenden Raume sich aufhaltenden Beobachters zuleitet; eine Versuchsanordnung, bei der, zumal wenn die Schläuche mit schlecht leitendem Material umwickelt und mit leicht in die Ohren einfügbaren Ansatzstücken armiert sind, eine Überleitung jedes Tones zum anderen Ohre durch die Luft in der That ausgeschlossen sein dürfte. THOMPSON ist der wohl sicher richtigen Ansicht, welcher auch MACH [*Archiv f. Ohrenheilk.* Bd. IX. S. 76. 1875] und auf Grund anderer Versuche auch SEEBECK [*Poggendorffs Annalen*, LXVIII, 449] beitrifft, daß dieselbe vielmehr in diesem Falle durch intracranielle Leitung stattfindet.

Schwebungen von beiden Ohren wahrgenommen werden. Diese beiden Wahrnehmungen werden jedoch wie andere getrennt percipierte aber qualitativ gleiche Schalleindrücke zu einem einzigen Vorstellungsbilde verschmolzen. Die folgenden Versuche sollen nun die Frage beantworten, in welche Richtung wir letzteres verlegen, wenn wir das Intensitätsverhältnis, in dem die schwebenden Töne zu einander, und das Lageverhältnis, in dem die Gabeln zu einander und zu dem Kopfe des Beobachters stehen, in verschiedenster Weise variieren.

1. Verstimmt man zwei unisone Gabeln, so daß langsame Schwebungen hörbar werden, und stellt sie an beliebigem Orte dicht nebeneinander auf, so giebt eine mit geschlossenen Augen dasitzende, völlig unbefangene Versuchsperson stets richtig an, ob die Stöße von rechts oder links kommen, wird sich auch dessen bewußt, daß dieselben bei verschiedenen Versuchen aus bald größerer, bald geringerer Entfernung das Ohr treffen. Mit Hülfe von Kopfbewegungen wird dann selbst die genauere Angabe der Richtung bis auf geringe Fehler richtig ausgeführt. Fügt aber der Beobachter den entsprechenden Resonator in das Ohr der entgegengesetzten Seite, so erscheinen die Schwebungen nunmehr auf dieser und zwar aus unmittelbarer Nähe vor dem Ohre, aus dem Resonator selbst, entspringend.

2. Hält man zwei von ihren Resonanzkasten abgeschraubte Gabeln, die möglichst gleich stark angeschlagen sind, etwa in der Entfernung doppelter Handbreite dicht nebeneinander vor das eine Ohr, so hört man die Schwebungen auf der nämlichen Seite. Nähert man dann eine der Gabeln, beliebig welche, dem Kopfe, so kommen auch die Schwebungen aus größerer Nähe und weichen ebenso zurück, wenn die Gabel an ihren Platz zurückkehrt. Führt der Beobachter dieselbe aber rasch in nächste Nähe vor die Ohröffnung, so wird, während die Stöße nach schnell vorübergehender anfänglicher Verstärkung ganz verschwinden, nur ihr Ton allein wahrgenommen. Offenbar wird durch dessen überwiegend große Intensität das Ohr physiologisch taub gegen den schwächeren Ton und damit gegen die Schwebungen.¹ Diese treten wieder auf, wenn durch An-

¹ Bringt man in einem solchen Falle von physiologischer Taubheit den schwächeren Ton vor das andere Ohr, so werden sofort die Schwe-

legen des Fingers an die Zinken der zu laute Ton rasch gedämpft wird. Ist er dem Verklingen nahe, so gewinnt man deutlich den Eindruck, daß die Stöße von der entfernteren Tonquelle ausgehen.

Es muß bemerkt werden, daß diese und noch mehr die folgende Versuchsreihe, um reine Resultate zu liefern, Gabeln erfordert, welche nicht allzu rasch und vor allem nicht ungleich rasch ausklingen. Tiefe Töne sind überhaupt ungeeignet, da sie ohne Resonanzkasten schon in relativ sehr geringer Entfernung vom Ohre unhörbar werden.

3. Befinden sich beide Gabeln auf derselben Seite von der Medianebene, und wird die eine unmittelbar vor das Ohr gehalten, die zweite aber so, daß ihr Ton dasselbe aus größerer Entfernung von vorn, von oben, von hinten oder von unten trifft, oder aus einer Richtung, die eine Kombination der genannten darstellt, so ergibt sich, daß, wenn die erste Gabel die lauter tönende ist, die Schwebungen von ihr ausgehen; dagegen von der entfernteren zu kommen scheinen, sobald die nähere durch Anlegen des Fingers gedämpft oder so gedreht wird, daß eine der vier äußeren Zinkenkanten dem Gehöreingang gegenüber steht — wobei bekanntlich aus physikalischen Gründen die Intensität außerordentlich sinkt — oder endlich von vorneherein die relativ leisere¹ ist. Dies Resultat wurde in zahlreichen Versuchen gewonnen, die von mir an verschiedenen Personen und von meinem Freunde, Herrn Dr. AXMANN, der mir bei der vorliegenden Untersuchung mit dankenswerter Bereitwilligkeit seine Unterstützung gewährte, auch an mir angestellt worden sind.

Ist die vor das Ohr gebrachte Gabel von Anfang an die leisere, so wird man sich, wenn man die Augen geschlossen

bungen sehr laut hörbar. — Herr Prof. C. STUMPF, dem ich überhaupt für sein reges und förderndes Interesse an dieser Untersuchung zu wärmstem Danke mich verpflichtet fühle, bestätigte mir, diese Beobachtung ebenfalls schon vor längerer Zeit gemacht zu haben.

¹ Unter dem relativ leiseren Ton soll hier wie überhaupt im Folgenden derjenige verstanden werden, der dem Trommelfelle die geringere Schwingungsamplitude erteilt, unter dem absolut leiseren derjenige, dessen eigene Amplitude die kleinere ist. Diese Unterscheidung ist für die vorliegende Frage wichtig, insofern der absolut lautere Ton häufig durch den Unterschied in der Entfernung der Gabeln vom Ohr und andere Momente zum relativ leiseren wird.

hält und den Ort der Gabeln nicht kennt, überhaupt nicht der Anwesenheit einer Tonquelle unmittelbar vor dem Ohre bewußt; man hört die Schwebungen aus viel größerer Entfernung entspringen. Bezüglich des „Woher?“ kann man bisweilen überhaupt nicht zu einem Schlusse kommen; noch öfter aber giebt der Beobachter eine falsche Richtung an. Am meisten richtige Urteile liefert der Fall, wo der Ton der zweiten Gabel von vorn kommt.

Es scheinen hier ähnliche Täuschungen obzuwalten, wie sie von PREYER und mir bei früheren systematischen Versuchen über die Wahrnehmung der Schallrichtung festgestellt sind.¹

4. Bringt man eine Gabel mit Resonanzkasten, etwa $c^2=512$ Schw. p. s., in die Medianebene der Stirn gegenüber, so daß ihr Ton gleich stark beide Ohren trifft, und nähert aus größerer Entfernung eine Gabel von nahezu derselben Tonhöhe aber ohne Resonanzkasten einem der Ohren, so werden anfangs die Schwebungen nur von vorn kommend gehört. Bei fortgesetzter Annäherung der bewegten Gabel gehen sie bald von der einen, bald von der anderen Gabel aus, bald erfüllen sie die ganze Region zwischen beiden, um allmählich ausschließlicly auf die bewegte überzugehen.

5. Werden zwei auf Resonanzkasten geschraubte Gabeln zu gleich lautem Tönen gebracht, während sie sich in beliebiger Entfernung voneinander an verschiedenen, beliebigen Punkten des Zimmers befinden, so entspringen die Schwebungen, wenn man sich abwechselnd der Öffnung eines der Kasten nähert, bei der Mehrzahl der Versuche aus diesem, kommen also von der relativ lauteren Gabel.

Mit diesem Resultat steht es nur scheinbar in Widerspruch, daß zuweilen die Schwebungen ausschließlicly aus einem Kasten und zwar dem der absolut leiseren hervorgehen, indes vor dem anderen immer nur sein eigener Ton allein hörbar wird; oder daß man überhaupt nur dann Stöße hört, wenn man in der Mitte zwischen den Gabeln steht, nicht aber, sobald das Ohr nahe an eine von diesen gebracht wird: denn derartige Ergebnisse erhält man nur dann, wenn ein Ton den anderen so an relativer Intensität überwiegt, daß das Ohr physiologisch taub gegen letzteren wird.²

¹ W. PREYER: *Die Wahrnehmung der Schallrichtung mittelst der Bogengänge*. *Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol.* Bd. 40.

² Vgl. oben S. 82 Versuch 2.

Es kann auch vorkommen, wenn eine der Gabeln rasch verklingt, daß, trotzdem man das Ohr dicht an ihren Resonanzkasten hält, die Schwebungen von der ferneren herkommen. Dann ist eben diese die lautere.

6. BOSANQUET¹ giebt an, die Schwebungen, welche er beim gleichzeitigen Anschlagen zweier Gabeln, deren eine nahezu die höhere Oktave der anderen, erhielt, gingen nur von der tieferen aus, oder es seien doch wenigstens von der höheren herkommende nur bei Anwendung des Resonators der letzteren vernehmbar. Bei diesem Versuche sind offenbar — wie er auch selbst ausspricht — die von der tieferen Gabel ausgehenden Schwebungen solche des Differenztones beider Töne mit dem tieferen; die von der höheren entspringenden solche des höheren Primärtones mit dem Oberton des tieferen. Wir haben also hier zwei Tonpaare, welche Schwebungen liefern. Letztere sind von gleicher Anzahl, aber ungleicher Intensität: und zwar müssen die Schwebungen des tieferen Tonpaares die lauteren sein, da die Intensität von Schwebungen eine Funktion der Intensität der sie erzeugenden Töne darstellt, und in diesem unserem Falle der Oberton der bei weitem leiseste der vier Töne ist, oder doch durch rasches Verklingen sehr bald wird. Demnach dürfte auch in dem BOSANQUETSchen Experiment die Intensität der für die Lokalisation von Schwebungen maßgebende Faktor sein.

Da Differenztöne von allen Beobachtern in oder wenigstens dicht vor dem Ohre gehört werden — gleichgültig, aus welcher Richtung die primären Töne kommen —, so ist es mit Rücksicht auf das sub 3 Gesagte von Interesse zu bemerken, daß bei dem in Rede stehenden Experiment die Schwebungen stets direkt aus dem Resonanzkasten der tieferen Gabel hervorzugehen scheinen.

7. Werden die Gabeln 480 und 512, vor dem Beobachter auf dem Tische stehend, gleich laut angeschlagen, und ein Ohr, etwa das linke, mit dem Resonator von 480 bewaffnet, so werden die rasselnden Intermittenzen in den Resonator verlegt. Ebenso, wenn dieser nunmehr in die rechte Ohröffnung gedrückt wird. Nimmt man statt des Resonators von 480 den von 512, so ist das Resultat dasselbe. Bei diesen Versuchen darf die Gabel,

¹ *Philosophical Magazine*. Ser. V. Vol. VIII. No. 49. pag. 290 ff.

deren Resonator gerade benutzt wird, nicht lauter tönen als die andere; sonst wird das Ohr gegen diese, da der Resonator die Intensität jener ja noch bedeutend verstärkt, physiologisch taub, und es werden keine Schwebungen vernommen.

Fügt man beide Resonatoren gleichzeitig in die Ohren, so hört man unter günstigen Versuchsbedingungen das Rasseln in der Medianebene innerhalb des Kopfes. Zieht man in raschem Abwechseln immer einen Resonator aus dem Ohre, während der andere fest in das seinige gedrückt wird, so wandern die Schwebungen von Ohr zu Ohr.

8. Es werden die Enden eines etwa 1,5^m langen Kautschuckschlauches fest in die Ohröffnungen gefügt. Setzt man dann die Gabeln mit ihrem Stiele auf verschiedene beliebig weit voneinander entfernte Punkte des Schlauches, so erscheinen die Schwebungen stets auf der Seite der relativ lautereren. Befindet sich eine Gabel genau in der Mitte des Schlauches, so gilt das sub 4 Gesagte. Setzt man beide Gabeln unmittelbar nebeneinander auf die Mitte des Schlauches, so treten die Schwebungen in der Mitte des Kopfes auf.

9. Haben zwei miteinander schwebende Gabeln auf Resonanzkasten in einer durch beide Gehöreingänge gehend gedachten Vertikalebene, die eine vor dem linken Ohre, die andere in gleicher Höhe und Entfernung vor dem rechten Aufstellung gefunden, und werden beide ungleich laut angeschlagen, oder nach gleich starkem Anschlag die eine dem Kopfe genähert, so gehen die Schwebungen von der lautereren resp. näheren aus. Bei genau gleichem Anschlag und genau gleichem Abstände vom Kopfe erscheinen die Schwebungen in der Medianebene vor oder über dem Beobachter.¹ Diese Versuchsergebnisse, namentlich das letztere werden noch deutlicher, wenn man vor die Öffnung eines jeden der Resonanzkasten einen Schalltrichter aufstellt, die Trichter mit Kautschuckschläuchen armiert und diese mit ihren anderen Enden in die Ohröffnungen einfügt. Gleiche Länge der Schläuche und gleiche Intensitäten der Töne vorausgesetzt, haben die Schwebungen in der Mitte zwischen den Ohren ihren Sitz und gehen von da, wenn ein Schlauch zugedrückt wird, auf das Ohr der entgegengesetzten Seite über.

¹ Bisweilen auch treten sie aufser in der Medianebene zugleich in beiden Ohren auf oder längs der ganzen Strecke einer die Mittelpunkte der Gehöreingänge verbindend gedachten Geraden.

Dies Ergebnis stimmt mit dem analogen Versuche THOMPSONS¹ vollkommen überein. Setzt man zwei Gabeln ohne Resonanzkasten auf korrespondierende Punkte der Schädelhemisphären, so werden die Schwebungen bei gleicher Intensität ebenfalls in die Medianebene verlegt.

10. Es ist eine bekannte, von KESSEL² genauer untersuchte und begründete Thatsache, daß, wenn man den Stiel einer tönenden Gabel oberhalb des einen, also beispielsweise des linken Ohres in der Gegend der Linea temporalis sup. fest gegen den Schädel drückt, der Ton auf der anderen Seite, also in unserem Beispiel auf der rechten gehört wird. Ebendorthin verlegt man auch die Schwebungen, wenn die zweite Gabel auf die entsprechende Stelle der rechten Kopfhälfte gesetzt wird und dabei die leisere ist. Wird sie aber vor das rechte Ohr direkt gehalten, so sind unter allen Umständen die Schwebungen rechts.

11. Hält man eine der schwebenden Gabeln unmittelbar vor ein Ohr, während die zweite, gleich laute aus größerer Entfernung dem anderen genähert wird — wobei stets voraus gesetzt ist, daß beide Gabeln in der Verlängerung einer die Mittelpunkte beider Gehöreingänge verbindenden Geraden liegen —, so gehen die Schwebungen von der näheren, ruhenden aus. Ihre Intensität wächst bei weiterer Annäherung der bewegten Gabel und sie selbst verändern dabei ihren Ort, indem sie mehr oder weniger rasch auf die Seite der letzteren überspringen. Bei einiger Übung und Aufmerksamkeit ist ihr Hindurchwandern durch die Medianebene deutlich wahrnehmbar, man kann sie auch durch Arretieren der Gabel dort fixieren, doch eignet sich dieser Versuch für Ungeübte nicht so gut zur Demonstration der medianen Lokalisation von Schwebungen, wie etwa der unter 9. beschriebene.

12. Halte ich vor das linke Ohr zwei Gabeln, deren Schwingungszahl gleich 2000 resp. 1500 ist, und wird eine Gabel 512 auf Resonanzkasten der Stirn gegenüber in die Medianebene gebracht, so schwebt der Ton 512 mit dem Differenzton 500. Dabei höre ich die Schwebungen stets von

¹ *Philosophical Magazine*. Ser. V. Vol. IV. No. 25. S. 274 ff. und Vol. VI. No. 38. S. 383 ff.

² *Über die Verschiedenheit der Intensität eines linear-erregten Schalles in verschied. Richtungen*. Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 18. S. 129 ff.

vorn kommen. Wird dann die Gabel 512 vor das rechte Ohr gestellt, so treten die Schwebungen ebenfalls rechts auf.

13. Nimmt man ein Paar tiefer Gabeln, welche sich viel besser als hohe zu dem folgenden Versuche eignen, und setzt eine auf den Nasenrücken, die andere auf den Hinterhauptshöcker, so gehen die Schwebungen stets direkt von der lautereren aus. Ist die Intensität beider gleich, so kommen die Stöße von keiner der beiden Gabeln, sondern aus einer nicht genauer abzugrenzenden Region zwischen beiden. Bei diesen Versuchen muß man stets beide Gabelstiele gleich fest an den Kopf drücken, da sonst unkontrollierbare Differenzen der relativen Intensität gesetzt werden.

Die Resultate der vorstehenden Versuche lassen sich nun in folgenden beiden Sätzen zusammenfassen:

Für die Lokalisation der Schwebungen zweier Töne ist bei ungleicher relativer Intensität der letzteren unter allen Umständen die Richtung und Entfernung, aus der uns der relativ lautere Ton trifft, maßgebend.

Ist die relative Intensität der Primärtöne gleich, so gehen die Schwebungen aus der Region zwischen den beiden Tonquellen¹ hervor. (Die Verlegung der Schwebungen in die Medianebene bei Aufstellung der Schallquellen rechts und links von derselben ist ein spezieller Fall hiervon.)

Eingangs dieser Untersuchung wurde besprochen, daß die Schwebungen in der Regel doppelseitig percipiert werden. Es ist nun ohne weiteres klar, daß die Schwebungen, wenn beide Gabeln sich auf derselben Seite von der Medianebene befinden, von dem Ohre eben dieser Seite lauter vernommen werden, dagegen beiderseits mit gleicher Intensität auftreten, wenn die Tonquellen in der Medianebene Aufstellung gefunden haben. Für den Fall aber, daß die Töne von verschiedenen Seiten der Medianebene kommen, läßt es sich mathematisch nachweisen, daß bei gleicher relativer Intensität derselben auch die Intensität der Schwebungen auf beiden Seiten gleich ist, dagegen bei ungleicher relativer Stärke der Primärtöne die Schwebungen lauter sind auf der Seite des stärkeren Primärtones.

¹ In den Versuchen, in denen Resonatoren oder Kautschuckschläuche in Anwendung kamen, sind natürlich diese, nicht die Gabeln selbst, als die Tonquellen anzusehen.

Hält man diese Überlegungen mit dem eben gegebenen Resumé der beschriebenen Versuche zusammen, so könnte man geneigt sein, demselben, statt der oben gewählten, vielmehr diese Form zu geben:

„Die Schwebungen werden nach derjenigen Seite verlegt, von deren Ohr sie lauter vernommen werden, in die Medianebene aber, wenn sie beide Ohren mit gleicher Intensität treffen. Für die weitere genauere Feststellung der Richtung und Entfernung ist dann diejenige des relativ lauteren Primärtones bestimmend. Demnach wird die Lokalisation der Schwebungen nach denselben Principien vollzogen, wie diejenige diotisch percipierter einfacher Töne und Geräusche. Denn auch diese werden (wie THOMPSON,¹ URBANTSCHITSCH,² KESSEL,³ PREYER⁴ u. a. fanden) nach derjenigen Seite verlegt, deren Ohr das stärker erregte ist, resp. in die Medianebene, wenn beide Ohren mit gleicher Intensität affiziert werden.“

Allein diese Formel würde nicht für alle Fälle Gültigkeit haben. Z. B. erstens: Wenn eine der schwebenden Gabeln in der Medianebene fest gegen den Schädel gedrückt, die andere, leisere, aber vor ein Ohr, etwa vor das rechte, gehalten wird, so sind offenbar die Schwebungen im rechten Ohr intensiver als links. Dennoch werden sie an den Ort der lauteren Gabel, also genau in die Medianebene verlegt; und dies dürfte um so mehr gegen die in Rede stehende Auffassung sprechen, als nach allen bisherigen Versuchen darüber bei der Lokalisation diotisch percipierter Schalleindrücke Rechts, Links und Median mit größter Präcision unterschieden und auseinandergehalten werden.

Zweitens: Setzen wir den Fall, der eine der Primärtöne besäße so überwiegende Intensität, daß er, beide Gabeln vor demselben Ohre gedacht, den zweiten übertönen, das Ohr physiologisch taub gegen denselben machen würde, dann wäre bei Verteilung der Gabeln vor beide Ohren die Wahrnehmung von Schwebungen der abzulehnenden Auffassung gemäß nur möglich auf dem Ohre der leiseren Gabel. Denn deren Ton geht zwar durch Knochen- oder Luftleitung auch auf das Ohr der

¹ A. a. O.

² *Zur Lehre von der Schallempfindung.* Pflügers Arch. Bd. 24. S. 579 ff.

³ *Über die Funktion d. Ohrmuschel bei d. Raumwahrnehmungen.* Arch. f. Ohrenheilk. Bd. 18. S. 121.

⁴ A. a. O.

lauteren Gabel über, kann aber hier, zumal er durch den Leitungswiderstand noch mehr geschwächt wird, der angenommenen Bedingung gemäß mit dem andern keine Schwebungen liefern. In Wirklichkeit werden indes die Schwebungen gerade auf die Seite des lauteren Tones verlegt.

Hierzu finden wir übrigens ein Analogon in folgendem Versuche¹: Wenn von zwei unisonen Gabeln die eine dicht vor das eine Ohr gehalten wird, die andere, gleich laute, in größerem Abstände vor das andere, so wird nur erstere gehört. Wird nun die entferntere hin und hergeschwungen, so kommt der Ton nach wie vor von der fixen Gabel, aber im Rythmus der Schwingungen intermittierend. Es werden eben in der Vorstellung beide qualitativ gleichen Töne zu einem verschmolzen und dieses Vorstellungsbild, dessen Intensität in jedem Augenblicke durch eine Art algebraischer Summation der Intensitäten der Gabeltöne bestimmt wird, nach der Seite des stärkeren Gabeltones verlegt. So auch in unserm Falle. Auf der einen Seite hören wir den überwiegend lauten Ton rein, auf der anderen hören wir ihn durch Leitungswiderstand leiser gemacht und (durch Interferenz mit einem anderen Tone) intermittierend. Das Resultat muß daher sein und ist ja auch dasselbe wie in dem FECHNERSchen Versuch: wir verlegen die Intermittenzen auf die Seite der größeren Intensität.

II.

Differenztöne.

Die Intensität eines Differenztones hängt von sehr verschiedenen Umständen ab.² Sie wechselt mit der relativen Stärke der Primärtöne, mit dem Intensitätsunterschiede derselben und vor allem mit der Richtung, aus welcher sie den Beobachter treffen. Dies illustrieren folgende einfache Versuche (zu welchen, wenn nicht ausdrücklich das Gegenteil bemerkt ist, stets Gabeln ohne Resonanzkasten verwandt wurden.)

1. Es ist eine bekannte, physikalisch begründete Thatsache,³ dafs, wenn man eine vor das Ohr gehaltene Stimmgabel um

¹ FECHNER: *Über einige Verhältnisse d. binocularen Sehens*. Abhandlg. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften. Bd. 7. (mathem. Kl. 5.) S. 551.

² Vgl. auch C. STUMPF: *Tonpsychol.* T. II. S. 245 ff. (erscheint demnächst).

³ Vgl. Abschn. I. Versuch 3. S. 83.

90° um die Axe ihres Stieles dreht, zweimal ein starkes Absinken der Intensität eintritt, dem jedesmal unmittelbar ein Wiederansteigen folgt. Ganz dasselbe¹ geschieht², wenn man eine Gabel von vorn nach hinten derart vor dem Ohre vorüberführt, daß die Zinken immer parallel sich selbst verschoben werden. Man hört dann kurz bevor die Gabel der Ohröffnung gegenübertritt und beim Passieren des hinteren Ohrmuschelrandes die bewußten Intensitätsschwankungen.

Stellt man nun einen dieser Versuche an, während gleichzeitig eine Gabel, welche mit der bewegten einen Differenzton giebt, unbewegt vor dasselbe Ohr gehalten wird, so macht auch der Differenzton die erwähnten Intensitätsschwankungen mit.

2. Bringt man beide Gabeln in eine solche Lage vor das Ohr, welche als Optimum für die Wahrnehmung von Differenztönen betrachtet werden kann, so genügen kleinste Lageveränderungen einer der Gabeln, um seine Intensität bedeutend zu schwächen, eventuell auf Null sinken zu lassen; und schwingt man eine der Gabeln rythmisch hin und her, so erscheint auch der Differenzton in demselben Rythmus intermittierend.

3. Macht man den Unterschied der relativen Intensität der Primärtöne sehr groß, indem man entweder die Gabeln sehr ungleich laut anschlägt oder von den gleich laut tönenden die eine unmittelbar vor die Ohröffnung, die andere weiter ab hält, so tritt auch hier physiologische Taubheit³ gegen den Differenzton ein. Er wird überhaupt nicht gehört und erscheint erst, sobald man die Gabeln vertauscht oder die lautere zweckentsprechend dämpft. Meiner Ansicht nach ist überhaupt möglichst gleiche relative Intensität der Primärtöne der Wahrnehmung von Differenztönen am günstigsten.

4. Besonders deutlich höre ich den Differenzton — möglichst gleiche absolute Intensität der Primärtöne vorausgesetzt —, wenn die eine Gabel, etwa 2 bis 3 fingerbreit vom Ohr entfernt, direkt vor dem Gehöreingang so gehalten wird, daß die breiten

¹ Wie auch KESSEL schon beobachtete, a. a. O. *Arch. f. Ohrenheilk.* Bd. 18. S. 123 f.

² Offenbar auch aus demselben Grunde, denn die Erscheinung bleibt aus, wenn man die breiten Zinkenflächen immer parallel der Oberfläche des Kopfes verschiebt, so daß stets nur die Fläche und nie eine der Kanten nach der Ohröffnung sieht.

³ Vgl. Abschn. I. S. 82.

Zinkenflächen der Medianebene parallel sind, die zweite in gleichem Abstand vom Kopfe, aber 1 bis 2^{cm} weiter nach vorn so, daß ihre breiten Zinkenflächen senkrecht zur Medianebene stehen. Der Differenzton ist weniger gut vernehmbar, wenn beide Primärtöne von vorn, und noch schlechter, wenn beide von hinten kommen.

5. Wird nun die vordere Gabel aus der angegebenen Stellung vom Ohre weg weiter nach vorn geführt, so erlischt meist der Differenzton, sobald sie den lateralen Orbitalrand passiert; ebenso, wenn sie bei entsprechendem Verschieben nach hinten in gleiche Linie mit dem Hinterhauptshöcker kommt; oder endlich, wenn sie die Höhe des Scheitels erreicht beim Aufwärtsbewegen, falls dieses in der Weise geschieht, daß die Längsaxe der Gabel parallel der Sagittalaxe des Kopfes verschoben wird.

Dem entspricht genau, daß wenn man, während die eine Gabel unbewegt vor das Ohr gehalten wird, die andere, oder genauer gesagt, deren Längsaxe von demselben Ohre aus einen Cylindermantel um die Vertikal- oder Sagittalaxe des Kopfes in der Richtung auf das andere Ohr zu beschreiben läßt, daß dann der Differenzton schon verschwindet, bevor die Medianebene erreicht wird, jedenfalls nach Passieren derselben auch bei größter Anspannung der Aufmerksamkeit nicht mehr wahrnehmbar ist.

Es bedarf wohl kaum besonderer Betonung, daß man zu diesen Versuchen Gabeln, welche nicht zu rasch verklingen, also am besten solche tieferer Tonlagen verwenden muß.

6. So konstant nun das eben angeführte Versuchsergebnis bei der Benutzung freier Gabeln erhalten wird, so verliert es seine Gültigkeit, wenn man solche mit Resonanzkasten wählt. Thut man dies, dann wird der Differenzton noch gehört, nachdem die Medianebene bereits von der bewegten Gabel um ein gutes Stück überschritten worden, erlischt jedoch auch hier stets, ehe das andere Ohr ganz erreicht ist. In der That wird auch von allen früheren Autoren (DOVE,¹ THOMPSON,² STUMPF³) einstimmig angegeben, daß, wenn man unmittelbar vor jedes

¹ *Poggendorffs Annalen*. CVII. S. 653.

² A. a. O.

³ A. a. O. S. 256 Anmerk. (Bei den hier beschriebenen Versuchen wurde beiden Gabeln maximale Intensität erteilt.)

Ohr eine der Gabeln hielte, niemals der Differenzton hörbar würde.

Da nun aber der Gegensatz der sub 5 und 6 beschriebenen Versuchsergebnisse mir nur durch die Annahme erklärt werden zu können scheint, daß im ersteren Falle ein der Wahrnehmung des Differenztones ungünstiges Verhältnis der relativen Intensität der Primärtöne obwaltet — der wandernde ist zu leise —, so liegt der Gedanke nahe, daß das bisher negative Resultat der Versuche, auch bei Verteilung der Gabeln auf beide Ohren den Differenzton zu hören, ebenfalls nur die Folge unzuweckmäßiger Versuchsanordnung war, — um so mehr, als a priori nicht einzusehen ist, warum der Differenzton im besagten Falle nicht hörbar sein sollte. Muß doch auch hier, ebensogut wie bei der Benutzung miteinander schwebender Gabeln, jeder Ton auf dem Wege der intracraniellen Leitung beide Gehörorgane affizieren. Wenn man

7. eine der Gabeln dicht vor ein Ohr, etwa das linke, hält, die andere oberhalb desjenigen der anderen Seite, also rechts, in der Gegend der Linea temporalis sup. fest an den Schädel drückt,¹ so vernimmt man den Differenzton mit großer Deutlichkeit vor dem Ohre links. Er verschwindet, wenn der Beobachter die Gabel rechts vom Kopfe abhebt, und kehrt sofort wieder, wenn dieselbe wieder fest aufgesetzt wird.

Daraus aber, daß man den Differenzton hört, wenn man die Gabel der rechten Seite direkt auf den Schädel setzt, dagegen nicht hört, wenn sie vor das rechte Ohr gebracht wird, wird der Schluß gezogen werden müssen: der Ton rechts werde bei dem Übergang von der Luft resp. dem Ohre auf die Kopfknochen in seiner Intensität so sehr vermindert, daß er, links angelangt, nicht mehr stark genug ist, um neben dem von dort ungeschwächt das Ohr treffenden hörbar zu sein. Der Ton links macht eben das Ohr physiologisch taub gegen den von rechts kommenden, und damit ist natürlich auch die Wahrnehmung des Differenztones unmöglich.

Ist das Gesagte richtig, so muß der Differenzton bei Verteilung der Gabeln vor beide Ohren hörbar werden, wenn eine der Gabeln um ein bedeutendes lauter tönt, als die andere, und zwar muß er dann vor dem Ohre der leiseren auftreten,

¹ Vgl. oben Abschn. I. S. 87. Versuch 10.

wie sich nach den angestellten Betrachtungen von selbst versteht.

Diese Voraussetzung wird nun durch die Versuche vollauf bestätigt. Denn nimmt man

8. zwei Gabeln auf Resonanzkasten, deren eine ganz leise tönt, während die andere möglichst stark angeschlagen wird, und deckt die Kasten über die Ohren, so hört man deutlich den Differenzton aus dem Kasten der leiseren kommen:¹ wenn es nämlich gelingt, bei dem Versuche gerade das Optimum der Intensitätsdifferenz der Primärtöne zu treffen. Dies ist einerseits sehr schwierig bei Mangel von Gabeln, deren Intensität sich zahlenmäfsig abstufen und dann konstant erhalten läfst, andererseits notwendig in Rücksicht auf die bereits besprochene Abhängigkeit der Intensität des Differenztones von dem Intensitätsunterschied der Primärtöne. Daher denn die sehr häufigen Misserfolge der Richtigkeit der Thatsache keinen Eintrag thun können.

Es steht im Gegenteil zweifellos fest, dafs der Differenzton, wenn eine der Gabeln unbeweglich vor einem Ohre gehalten wird, und die andere von dort aus in irgend einer Richtung um den Kopf herum zum Ohre der anderen Seite wandert, bei jeder Lage der letztgenannten Tonquelle gehört werden kann. Die Tartinischen Töne unterscheiden sich also in dieser Beziehung keineswegs von den Schwebungen und haben vielmehr, wie wir gesehen, auch das mit denselben gemein, dafs sie wie diese² am besten hörbar sind, wenn beide Gabeln vor dasselbe Ohr placiert werden, weniger gut, wenn eine in die Medianebene versetzt, und noch schlechter, wenn Verteilung auf beide Ohren vorgenommen wird.

¹ In dieser Beziehung scheinen auf den ersten Blick die Tartinischen Töne in einen Gegensatz zu den Schwebungen zu treten, von denen oben (Abschn. I) gesagt wurde, dafs sie unter gleicher Bedingung auf die Seite des laueren Primärtones verlegt werden. Indes verliert dieser Gegensatz den Charakter des Principiellen, wenn man überlegt, dafs der a. a. O. für die in Rede stehende Lokalisation der Schwebungen angegebene Grund keine Gültigkeit mehr hat, sobald der Abstand der Primärtöne rücksichtlich ihrer Höhe hinreichend grofs wird, um an die Stelle von blofsen Intermittenzen des laueren derselben einen neuen Ton, den Differenzton, treten zu lassen.

² FECHNER, a. a. O. S. 541.

9. Einmal aufmerksam gemacht auf die Thatsache, daß zur Wahrnehmung des Differenztones bei Aufstellung der Gabeln rechts und links vor dem Ohre grofse Ungleichheit der absoluten Tonintensitäten Bedingung sei, gelang es mir, auch Differenztöne zu hören, wenn ich Gabeln ohne Resonanzkasten unmittelbar vor die Ohren hielt. Ich benutzte dazu eine Serie von 11 Gabeln, deren Tonhöhe mit je einem Abstand von 100 Schwingungen von 1000 bis 2000 ansteigt. Wurden die Gabeln möglichst ungleich stark angeschlagen und eventuell, nachdem sie vor die Ohren gebracht, der Intensitätsunterschied durch Entfernen oder Drehen der einen um ihre Längsaxe noch passend modifiziert, so konnte ich in etwa der Hälfte der Versuche den Tartinischen Ton deutlich hören. Die Versuchsanordnung war dabei meist die, daß die Gabeln erst, nachdem ich sie in passende Lage vor die Ohren gebracht, von einem Assistenten angeschlagen wurden. Lag der Differenzton sehr tief (100 und 200), so hörte ich ihn selten; dagegen vernehme ich regelmäfsig den Differenzton (500) der Gabeln 1000 und 1500 resp. 1500 und 2000. Sehr störend ist das rasche Verklingen der Gabeln: der Differenzton ist in der Regel nur für einen Moment hörbar. Auch sei die Intensität des laueren Primärtones nicht zu grofs, da es sonst nicht gelingt, die Aufmerksamkeit vorwiegend auf den leiseren zu lenken. Begünstigend wirkt die ununterbrochene Fortsetzung der Versuche längere Zeit hindurch; indessen wird die so erworbene Übung, wie ich in vollster Übereinstimmung mit STUMPF¹ finde, sehr bald wieder verloren.

Um reinere Resultate zu erzielen, gab ich in einer Reihe anderer Versuche dem Differenzton einen intermittierenden Charakter, eingedenk der Thatsache, daß Schwebungen viel eher und deutlicher gehört werden, als Tartinische Töne.

10. Es wurde demgemäfs eine Gabel 512 mit Resonanzkasten in der Medianebene der Stirn gegenüber aufgestellt, während die Gabeln 2000 und 1500 vor beide Ohren verteilt waren. Nachdem alle drei angeschlagen, hörte ich auch aus dem Kasten kommende Schwebungen der Töne 500 und 512; aber nicht mit der erwarteten Deutlichkeit. Andere analoge Versuche

¹ A. a. O. S. 249.

ergaben ein gänzlich negatives Resultat; auch dann, wenn die Hülfgabel mit vor ein Ohr gebracht wurde.

11. Eine andere Methode lieferte dagegen sehr gute Erfolge. Sie bestand in der Anwendung verstimmter Oktaven, wie sie bei dem oben¹ angeführten Experimente von BOSANQUET benutzt wurden. Ich wählte zuerst die Gabeln 494 und 1000. Wurden diese auf beide Seiten verteilt, so hörte ich häufig beide Töne intermittierend, manchmal allerdings auch nur den höheren. Stets aber erloschen die von dem tieferen ausgehenden Stöße um vieles eher als die anderen. Schlägt man nun die tiefe Gabel recht leise, die andere sehr laut an, so hört man nur, und zwar sehr deutlich, die erstere schweben, da bei leisem Anschlag ihr erster Oberton entweder überhaupt nicht auftritt oder doch zu schwach, um mit dem Tone 1000 Schwebungen zu erzeugen. Die Intermittenzen des tieferen Tones können aber nur durch Interferenz desselben mit dem Differenzton 506 entstehen und sind mithin ein strikter Beweis für dessen Wahrnehmbarkeit auch bei Verteilung der Primärtöne auf beide Ohren. Noch an einer Reihe anderer Gabelpaare wurden zahlreiche Versuche der beschriebenen Art mit genau denselben Resultaten ausgeführt, deren Richtigkeit mir von Herrn Dr. AXMANN bestätigt wurde, als ich einige dieser Experimente — übrigens ohne vorherige Mitteilung ihres Zweckes — an demselben anstellte. Er konstatierte auch, daß die Schwebungen des tieferen Tones um so deutlicher hörbar seien, je geringer ihre Anzahl.

Was die Richtung anlangt, aus der die Differenztöne bei den verschiedenen angeführten Versuchen zu kommen scheinen, so kann ich zunächst nur bestätigen, was C. STUMPF² darüber angiebt.

12. Befinden sich beide Gabeln auf derselben Seite der Medianebene, so höre ich auch den Differenzton auf eben dieser Seite und zwar unmittelbar vor dem Ohre, ein wenig von hinten und unten kommend. Sein Ort macht alle Bewegungen des Kopfes mit, als ob er an diesen fixiert wäre. Herr Dr. AXMANN hatte zuweilen eine eigentümliche Tastempfindung in der Gegend des Trommelfelles, und mehrere andere Versuchs-

¹ Abschn. I. S. 85. Versuch 6.

² A. a. O. S. 245.

personen gaben mir an, daß sie den Ort des Differenztones, wenn auch nicht immer unmittelbar in oder vor das Ohr, so doch in eine seitliche Richtung verlegten und ihn als deutlich gesondert von dem der Primärtöne empfänden.

Hierin zeigen also die Tartinischen Töne ein von dem der Schwebungen durchaus abweichendes Verhalten. Wir sahen, daß die Richtung und Entfernung der letzteren wesentlich mit der der Primärtöne wechselt.

13. Werden die Gabeln auf symmetrische Punkte der Schädelhemisphären gesetzt, so tritt bei gleicher Intensität der Primärtöne der Differenzton im Innern des Kopfes in der Medianebene auf.

14. Werden dagegen die gleich lauten Gabeln nicht auf den Kopf selbst, sondern auf Resonanzkasten gesetzt, welche an korrespondierenden Punkten rechts und links von der Medianebene vor dem Beobachter auf dem Tische stehen, so wird von mir selbst der Differenzton zuweilen längs der ganzen Strecke einer die Mittelpunkte der Ohröffnungen verbindend gedachten Geraden gehört, zuweilen in der Nähe der Gegend der kleinen Fontanelle, von Herrn AXMANN dagegen genau in der Mitte des Hinterhauptes, an der *Protuberantia occipitalis*.

15. Steht die eine Gabel mit Resonanzkasten in der Medianebene vor mir und halte ich die andere ebenfalls median, aber in unmittelbarer Nähe vor die Stirn oder vor das Hinterhaupt, so erscheint der Differenzton wiederum an der Stelle der kleinen Fontanelle. Bei diesem Versuch, ebenso wie bei dem vorigen, erprobte ich es als besonders zweckmäÙsig, die Differenztöne immer nur für Augenblicke auftreten zu lassen. Je länger ich nämlich dieselben zwecks Feststellung ihres Ursprungsortes beobachte, um so unsicherer pflege ich in dem Urteil darüber zu werden.

16. Werden die Gabeln dicht nebeneinander auf die Mitte eines Schlauches gesetzt, dessen Enden fest in die Ohren eingefügt sind, so tritt der Differenzton in der Medianebene im Kopfe auf. Er wandert von dort nach einem der Ohren, wenn die Gabeln zusammen nach dem in eben diesem Ohre befestigten Schlauchende zu verschoben werden.

17. Befinden sich Gabeln von ungleicher Intensität auf verschiedenen Seiten von der Medianebene, so war in den bisher mitgeteilten hierher gehörigen Versuchen der Differenzton auf der Seite der leiseren zu hören.

18. Dies findet nun auch statt, wenn die Gabeln — in diesem Falle wieder auf Resonanzkasten — so weit jederseits vom Ohre entfernt aufgestellt werden, dass die Primärtöne durch Vermittelung der Luftleitung beide Gehörorgane treffen. Befindet sich dabei beispielsweise die leisere Gabel links und dämpfe ich den Ton rechts durch Anlegen des Fingers, so daſs seine Intensität endlich geringer wird als die des anderen, so zieht sich der Differenzton entsprechend aus dem linken Ohre in das Innere des Kopfes zurück, um allmählich ganz auf das rechte Ohr überzugehen.

19. Bedient man sich wieder des Kautschuckschlauches wie in Versuch 16, und setzt auf ihn rechts und links von der Mitte eine der Gabeln, welche ungleich laut angeschlagen werden, so wird, wie Herr Dr. AXMANN und ich übereinstimmend fanden, der Differenzton stets auf die Seite der leiseren verlegt. Am leichtesten überzeugt man sich hiervon, wenn man die Gabeln abwechselnd in kurzen Pausen anschlägt. Im Momente des Anschlagens springt jedesmal der Differenzton auf das Ohr der entgegengesetzten Seite über.

Zum Schlusse die Ergebnisse der Versuche über die Lokalisation Tartinischer Töne zusammenfassend, finden wir, daſs man den Differenzton zwischen die Ohren (in die Medianebene) verlegt, wenn beide Gabeln in der Medianebene aufgestellt sind, oder wenn die Primärtöne von verschiedenen Seiten derselben kommen, ihre relative Intensität aber gleich ist. Wenn beide Primärtöne den Beobachter von derselben Seite treffen, wird der Differenzton in oder unmittelbar vor dem Ohre eben dieser Seite gehört; dagegen auf der Seite der leiseren Gabel, wenn der eine Ton von rechts, der andere von links kommt, und die relative Intensität beider ungleich ist. Daſs man ihn in diesem Falle im Gegensatz zu den Schwebungen auf die Seite des schwächeren Primärtones verlegt, dürfte seinen Grund darin haben, dass auf dieser Seite ein für seine Wahrnehmbarkeit günstigeres Intensitätsverhältnis der primären Töne obwaltet und er demgemäß überhaupt nur oder wenigstens überwiegend laut auf dieser Seite auftritt: das stärker erregte Ohr ist aber bekanntlich bei der Lokalisation einfacher Töne maſsgebend für die Bestimmung der Richtung.