

## Ueber binaurales Hören.

Von

**Gino Melati.**

---

Im Jahre 1892 veröffentlichte Scripture <sup>1)</sup> in den Philosophischen Studien eine Untersuchung, welche sich auf die Beobachtung von Schwebungen und Differenztönen bezieht. Diese Arbeit hatte zu dem Resultate geführt, dass unter bestimmten Umständen binaurale Schwebungen auftreten, deren Entstehung aus Luftübertragung oder Knochenleitung von einem Ohr zum anderen nicht erklärbar zu sein schien. Daran knüpften sich weitere Erörterungen von Seiten verschiedener Beobachter. Die Versuche, die diesen Erörterungen zu Grunde gelegt wurden, sind aber zum Theil in verschiedener Weise ausgeführt, und es schien möglich, dass dadurch vielfach die Verschiedenheit der Angaben und der Deutungen veranlasst sei. Bei der großen theoretischen Bedeutung des vorliegenden Problemes schien es daher wünschenswerth, die Frage von neuem experimentell in Angriff zu nehmen, und wurden darauf hinzielende Versuche von November 1899 bis August 1900 im psychologischen Institut zu Leipzig ausgeführt.

An den Experimenten nahmen außer mir Herr Professor Angell aus San Francisco, Dr. Bach (Wien), Dr. Moebius, Dr. Müller, Herr Spearman, Herr Squires, Dr. Stoerring, Dr. Wirth, Dr. Victoroff theil. Allen diesen Herren bin ich zu großem Danke verpflichtet. Vor allem aber möchte ich Herrn Professor Wundt dafür danken, dass er die Ausführung dieser Untersuchung anregte und den Fortgang derselben mit Interesse und lebhafter Antheilnahme verfolgte.

---

1) Scripture, Philos. Stud. VII, S. 631.

## Erster Theil.

### Historischer Ueberblick.

Da eine vollständige Zusammenstellung der auf diesen Gegenstand bezüglichen Untersuchungen vor kurzem erst von P. ROSTOSKY<sup>1)</sup> gegeben worden ist, so kann ich mich hier damit begnügen, das hervorzuheben, was sich speciell auf das im Folgenden zu behandelnde Problem bezieht.

Dove war der erste, der 1839<sup>2)</sup> zum ersten Mal die Aufmerksamkeit auf die Erscheinung der binauralen Schwebungen lenkte. Er arbeitete mit Stimmgabeln und bemerkte, dass, wenn eine der beiden Stimmgabeln, die wenig gegeneinander verstimmt waren, sich zuerst vor dem gleichen Ohr wie die andere befand und dann rings um den Kopf geführt wurde, die Schwebungen zuerst undeutlich wurden und verschwanden, um wieder aufzutreten, sobald die Gabel dem anderen Ohre gegenüberstand. Er stellt zum ersten Male die beiden Hypothesen einander gegenüber, um welche sich seitdem der Widerstreit der Meinungen bewegt hat: entweder kann das binaurale Hören der Schwebungen auf einer Uebertragung des Tones beruhen, sei es dass diese durch die Luft, sei es dass sie durch die Schädelknochen stattfindet, oder es kann durch eine centrale Erregung der Schwebungen bedingt sein. Dove selbst hält die zweite Erklärungsweise für die wahrscheinlichere.

Dann beschäftigte sich 1846 Seebeck<sup>3)</sup> mit der gleichen Frage. Er arbeitete mit zwei mäßig großen Sirenen, von denen sich jede einem Ohre gegenüber befand. Er hörte dabei ebenfalls Schwebungen und legte sich die Frage vor, wie dieselben zu erklären seien. Auf Grund seiner Versuche kam er zu dem Resultate, dass von einer »Sympathie« der beiden Gehörsnerven nicht die Rede sein könne. Vielmehr erklärt er das Entstehen der Schwebungen aus einer doppelten peripherischen Interferenz. Diese komme zum Theile durch die Luftübertragung zu Stande, zum Theile auch durch die

1) Rostosky, in Götz Martius' Beiträgen zur Psychologie u. Philosophie, Bd. I, 2. Heft, 1897.

2) Dove, Repertorium der Physik, Bd. III, S. 494 ff., 1839.

3) Seebeck, Poggendorff's Annalen, Bd. LXVIII, S. 449. 1846.

Knochenleitung, welche beide Factoren bei den Versuchsbedingungen nicht auszuschließen seien. Uebrigens fand Seebeck die binauralen Schwebungen in Bezug auf ihre Intensität nur mit solchen monaural gehörten vergleichbar, welche man im Falle eines beträchtlichen Intensitätsunterschiedes der beiden Primärtöne vernimmt<sup>1)</sup>.

In einem weiteren Aufsätze, der 1859 veröffentlicht wurde, neigt Dove<sup>2)</sup> noch mehr der Annahme einer centralen Entstehung der binauralen Schwebungen zu, da er fand, dass bei binauralem Hören keine Differenztöne wahrnehmbar seien.

In einer 1864<sup>3)</sup> veröffentlichten Arbeit behandelt Mach unter anderen Fragen auch die der binauralen Schwebungen. Er arbeitete mit einer Gabel und benutzte zur Zuleitung drei Röhren, deren Länge zweimal gleich der Wellenlänge der Schallwellen in der Luft und einmal gleich der Hälfte der Wellenlänge war; er erzeugte also die Schwebungen durch Interferenz. Diese waren »zwar nicht so deutlich, wie sie zwei Gabeln hervorbringen, aber doch merklich.« Was die Interpretation der Erscheinung anlangt, so entscheidet er sich für die Annahme der Knochenleitung.

Thompson<sup>4)</sup> arbeitete mit einer Anordnung, die im allgemeinen derjenigen Mach's ähnelte, aber ein wesentlicher Fortschritt war es, dass er die beiden Tonquellen auf verschiedene Zimmer vertheilte. Er benutzte zwei Gabeln, von denen die eine 246, die andere 256 Schwingungen in der Secunde ausführte. Er fand, dass die Schwebungen auch dann noch deutlich vernehmbar waren, wenn die Gabeln so leise tönnten, dass sie einzeln überhaupt nicht gehört werden konnten. Die Schwebungen hatten dieselbe constante Frequenz, mochte man monaural oder binaural beobachten. Wurde die Tondistanz zunehmend vergrößert, so blieben die Schwebungen hörbar und waren überdies auffallend rauh. Da Differenztöne binaural nicht gehört werden konnten und da er die Knochenleitung für vollständig ausgeschlossen hielt, nahm er eine centrale Entstehung der

1) Vergl. weiter Seebeck, Akustik, Abschn. II, Gehler's Repertorium der Physik, S. 107. 1849. Dann Poggendorff's Annalen, Bd. LIX, S. 417. 1841.

2) Dove, Poggendorff's Annalen, Bd. CVII, p. 653. 1859.

3) Mach, Wiener Sitzungsber. 1864.

4) S. P. Thompson, Philosophical Magazine, vol. 4, part 2, p. 274. 1877. Vol. 6, part 2, pag. 383. 1878.

Schwebungen an. Bei weiteren Mittheilungen hat sich Th., da von anderen Seiten eine Bestätigung seiner Ergebnisse nicht erfolgte, nicht mehr mit derselben Sicherheit ausgesprochen, sondern neigt dazu, den Charakter der Dissonanz und die Rauigkeit aus dem Fehlen der Differenztöne zu erklären.

Weiterhin beschäftigte sich Stumpf in seiner Tonpsychologie<sup>1)</sup> mit der Frage. Seine Beobachtungen beziehen sich besonders auf die Intensitätsdifferenz, die qualitative Beschaffenheit und die Grenzen der Häufigkeit, bei der die Schwebungen noch wahrgenommen werden. Er findet, dass die Stärke der binauralen Schwebungen geringer ist, als die der monauralen, auch wenn die Töne dieselbe Stärke besitzen. Diesem geringen Grade der Intensität legt Stumpf eine große Bedeutung bei; die binauralen Schwebungen »können außerordentlich verringert und häufig ganz beseitigt werden«. Es findet aber beim binauralen Hören nicht nur eine Veränderung der Intensität statt, sondern es lässt sich auch ein besonderer Charakter derselben bemerken. Der Charakter wird ein »milderer, weniger discontinuirlicher«. Auch können nach Stumpf die Schwebungen der Obertöne ganz beseitigt werden. Er bemerkt ferner, dass es in Fällen von Doppelhören nicht möglich sei, Schwebungen zu beobachten, wie er in einem solchen Falle an sich selbst wahrgenommen hat: »Die beiden Töne waren vollkommen deutlich nebeneinander zu hören, und zwar als entschiedenste Dissonanz, aber ohne Schwebungen«. Ich führe dies an, da ich bei der Besprechung meiner Versuche eine Beobachtung zu erwähnen habe, die ich zu machen Gelegenheit hatte, und aus welcher hervorgehen wird, dass binaurale Schwebungen allerdings auch in dem Falle auftreten können, wenn der eine Ton ein subjectiver ist.

Ogleich die beiden Ohren physiologisch im allgemeinen verschieden sind, so erfolgen die binauralen Schwebungen nach Stumpf doch mit der gleichen Schnelligkeit, wie beim monauralen Hören, und die Schnelligkeit der Schwebungen bleibt die gleiche, mag man nun die höhere Gabel rechts oder links halten, während infolge der physiologischen Differenz, der physiologischen Diplakusis, der Tonunterschied mit der Vertauschung der Gabeln verändert wird. Als

1) Bd. II. S. 208, 458 u. 470.

die Grenze der Schnelligkeit bei vertheilten Gabeln, wo noch Schwebungen gehört werden können, ermittelte Stumpf in der großen Octave 16—20 Schwebungen, das entspreche der großen Terz in der unteren, der kleinen in der oberen Hälfte der Octave; in der kleinen Octave 32—40 Schwebungen, was demselben Intervalle gleichkommt. In der eingestrichenen Octave lag die obere Grenze bei etwa 50 Schwebungen, das entspreche der kleinen Terz in der unteren, dem Ganzton in der oberen Hälfte der Octave; in der zweigestrichenen Octave bei etwa 70 Schwebungen, was einen Ganzton in der unteren Hälfte, einen Halbton in der oberen Hälfte der Octave bedeutet. In der dreigestrichenen Octave sind die Schwebungen vertheilter Gabeln in allen Fällen nur undeutlich und schwer wahrnehmbar. Zwei Erscheinungen, die beim binauralen Hören keine Veränderung erleiden, sind dagegen, wie Stumpf beobachtet hat, die Verschmelzung der beiden Töne und die Dissonanz. Ueber die Verschmelzung sagt er: »Endlich werden Schwebungen bei Vertheilung zweier Stimmgabeln an beiden Ohren gegenüber der einohrigen Perception bedeutend geschwächt, unter Umständen bis zur Unmerklichkeit, der Verschmelzungsgrad der Töne erleidet aber durch diese Zuleitungsform keine Aenderung«. Wir werden Gelegenheit haben, über diesen Punkt eingehender zu sprechen, wenn wir die Ergebnisse der eigenen Versuche mittheilen.

Was die theoretische Interpretation anlangt, so sagt Stumpf, dass die Verlegung der Entstehung der binauralen Schwebungen ins Gehirn nur das Verständniss hinausschiebe. Die Annahme der Knochenleitung empfiehlt sich nach ihm aber nicht nur aus diesem allgemeinen methodischen Grunde, sondern sie mache auch die Abschwächung und andere qualitative Modificationen begreiflich.

Dies gibt uns Veranlassung, noch auf einen weiteren wichtigen Punkt einzugehen. Bereits 1875 hat Le Roux<sup>1)</sup> behauptet, dass eine stark tönende Gabel, wenn man sie vor einem Ohre vorbeiführe, den Ton einer anderen gleichgestimmten Gabel, die aber wegen des Abklingens nicht mehr hörbar sei, vor dem anderen Ohre wieder hörbar mache. Urbantschitsch bestätigte diese Angabe und fand weiterhin, dass selbst ein tiefer Ton rechts einen

1) Gazette hebdom. de Méd. et Chirurgie, 1875, No. 19, p. 293.

hohen links verstärken könne, und umgekehrt. Aehnliches fand Preyer. Stumpf bestreitet, dass diese Verstärkung ein central erzeugtes Empfindungsphänomen sei, er glaubt die angebliche Steigerung der Perceptionsfähigkeit durch die Wirkung der Knochenleitung oder durch eine Urtheilstäuschung erklären zu müssen. Im Zusammenhang damit behandelt er die Frage<sup>1)</sup>, ob ein Tonganzes einen stärkeren Eindruck als jeder seiner Theile machen könne. Er geht davon aus, dass beim monauralen Hören das Hinzukommen anderer, selbst einer großen Anzahl anderer Töne, keine Verstärkung des Empfindungsganzen bedinge. Widersprechende Beobachtungen könnten vorkommen, erklärten sich aber daraus, dass der Klang mit seinen Obertönen als Einheit von schärferer Klangfarbe aufgefasst und wegen dieser Klangfarbenänderung als stärker beurtheilt werde. Das Nämliche ergebe sich bei Vertheilung der Töne an beide Ohren. Stumpf gibt an, dass, wenn er zwei Stimmgabeln von ungleicher Tonhöhe, aber gleicher Tonstärke, die eine rechts, die andere links, zum Tönen brachte und dann eine derselben entfernte, keine eigentliche Schwächung des Gesamteindruckes bemerkt wurde. Aber der Doppeleindruck war dort nicht bloß qualitativ reicher und voller, sondern auch in seiner räumlichen Ausdehnung weiter, und so sei die Täuschung leicht möglich, dass er stärker sei. Hierdurch glaubt Stumpf die Angaben Tarchanoff's<sup>2)</sup> und Preyer's<sup>3)</sup> erklären zu können. Tarchanoff leitete einen Schall telephonisch an seine beiden Ohren und schwächte ihn so ab, dass er mit jedem Ohre kaum oder gar nicht mehr hörbar war. Bei binauralem Hören erhielt er dann einen deutlichen, wenn auch schwachen Ton, der in der Sagittalebene des Kopfes localisirt wurde. Daraus schloss er auf eine Wechselwirkung minimaler akustischer Erregungen.

Während demnach Stumpf die scheinbare Intensitätserhöhung beim binauralen Hören auf eine durch die Knochenleitung bedingte periphere Reizsummation zurückführt, wird eine andere Auffassung von Urbantschitsch vertreten<sup>4)</sup>. Dieser machte, wie Tarchanoff und Preyer, die Beobachtung, dass eine Schallquelle, die weder mit dem

1) Stumpf, Tonpsychologie, II S. 423.

2) Tarchanoff, Petersburger medicin. Wochenschrift, 1878, No. 43.

3) Preyer, Sitzungsber. d. Jen. Ges. f. Med. u. Naturwissenschaften. 1879.

4) V. Urbantschitsch, Archiv f. Ohrenheilkunde, XXXV, 1893.

rechten noch mit dem linken Ohre allein gehört wird, beim gleichzeitigen Hören mit beiden Ohren wahrnehmbar erscheinen kann. Für diese Erscheinung seien zwei Erklärungen möglich. Die eine bestehe in der Annahme der peripheren Reizsummierung durch die Knochenleitung, die andere in der Annahme einer Steigerung der centralen Perceptionsfähigkeit. Die Möglichkeit einer Knochenleitung auch schwacher Schallwellen von der einen auf die andere Kopfseite gibt nun zwar Urbantschitsch zu, beruft sich aber auf frühere Versuche<sup>1)</sup>, bei denen er das Besserhören bei binauraler Schallzuleitung mit Sicherheit auf eine Erhöhung der centralen akustischen Erregbarkeit zurückgeführt zu haben glaubt. In diesem Sinne deutet er auch seine Beobachtung, dass man bei binauralem Hören keine Zunahme der Hörfähigkeit findet, wenn bei bedeutender Verschiedenheit der Ohren hinsichtlich der Hörfähigkeit dem einen ein Ton zugeleitet wird, dessen Intensität nahe der Empfindungsschwelle desselben liegt, während auf der anderen Seite derselbe Ton zugeleitet wird, der noch weit von der Schwelle entfernt ist. »Wenn man in einem solchen Falle die Schalleitung zu dem besser hörenden Ohre abschwächt, sei es durch Schalleitungshindernisse, die man in den Hörschlauch einlegt, oder durch Belastung der Labyrinthfenster mittelst Glycerinbäuschchen oder durch Tamponirung des Gehörgangs und auf diese Weise den Gehörunterschied auf beiden Ohren ziemlich ausgleicht, so tritt nunmehr bei dieser Versuchsanordnung das bessere Gehör bei diotischer Schallzuleitung wieder auffällig hervor. Da also in diesem Falle bei bedeutender Verschiedenheit der Hörfähigkeit beider Ohren kein verstärktes Gehör bei der diotischen Prüfung im Vergleiche mit der monotischen Schallzuleitung stattfindet, dagegen aber wohl bei Herstellung ziemlich gleicher Hörverhältnisse, so ist daraus, meiner Ansicht nach, wohl der Schluss gestattet, dass die Gehörszunahme beim diotischen Hören einer erhöhten akustischen Perceptionsfähigkeit zugeschrieben werden könne, die dadurch zu Stande kommt, dass die Erregung der Hörfunction der einen Seite die akustischen Centren der anderen Seite zu einer erhöhten Thätigkeit anregt.«

Beim diotischen Hören findet sich aber nicht nur eine quantitative

---

1) Urbantschitsch, Pflüger's Archiv, XXXI, S. 280.

Verstärkung, sondern, wie Urbantschitsch angibt, auch eine qualitative Veränderung, indem der Ton voller wird und dabei in der Regel vertieft erscheint.

Zu ähnlichen Resultaten wie Urbantschitsch gelangte Bloch<sup>1)</sup>. Er geht von der Beobachtung von Le Roux aus, dass sich zwei unisone Töne, binaural zugeleitet, verstärken. »Man kann auch den beiden Stimmgabeln solche Stellungen anweisen, dass die eine, dem Ohre ganz nahe befindliche die entferntere übertönt, dass das zweite Ohr ‚physiologisch taub‘ wird. Manche Personen geben bei Anstellung des Versuches auch nur dann an, dass der Ton im ersten Ohre stärker wird, wenn man dem anderen die zweite Stimmgabel nähert. Aber trotz dieser physiologischen Taubheit des zweiten Ohres ist dieses an der betreffenden Tonwahrnehmung unmittelbar theilhaftig, und man könnte füglich eben so gut beide Ohren physiologisch taub nennen in dem Augenblicke, in welchem beide Stimmgabeln gleich nahe und dicht vor beiden Gehörgängen stehen und das subjective Hörfeld allein wahrgenommen wird. Es ist zur Verstärkung der Klangempfindung nicht erforderlich, dass die Stimmgabeln absolut unison sind. Ich finde wenigstens keinen Unterschied in der diotischen Schallstärke, wenn dieselben einige Schwebungen in der Secunde machen. Indessen bemerkt man doch, dass diese Verstärkung in einem umgekehrten Verhältnisse zu dem Intervall beider Gabeln steht. — Sie sind schon geringer bei einer Zahl von 435—460,87, noch schwächer bei einer Zahl von 435—488,27 Schw., und bei 435—586,66 Schw. zeigt sich überhaupt keine nennenswerthe Verstärkung mehr.« Bloch ist wie Urbantschitsch der Meinung, dass eine subjective centrale Erregung beim binauralen Hören auftritt, welche die objectiv bedingte Empfindung verstärke und zu einer Steigerung der binauralen Hörschärfe gegenüber der monotonischen führe.

Aus den mitgetheilten Angaben geht wohl zur Genüge hervor, in welcher Weise die einzelnen Autoren zur Frage der Entstehung der binauralen Schwebungen Stellung nehmen. Die Hypothese von der cerebralen Entstehung der Schwebungen wurde von Dove aufgestellt, von Thompson unterstützt; für die Knochenleitung entschieden

1) Bloch, Zeitschrift für Ohrenheilkunde, XXIV, S. 25. 1893.

sich Seebeck, Mach und Stumpf. Die Frage ist innig verknüpft mit der anderen, ob binaurale Gehörseindrücke einander verstärken oder nicht, und ob diese Verstärkung peripher oder central bedingt sei. Für die Annahme der peripheren Verstärkung entschieden sich Mach und Stumpf, für die der centralen Urbantschitsch und Bloch.

Eine dritte Frage, die dazu in Beziehung steht, ist die der subjectiven Localisation der Gehörswahrnehmungen beim monauralen und binauralen Hören. Da diese Frage außerhalb des Plans unserer Arbeit liegt, so mögen hier nur die in das Problem der binauralen Schwebungen hineinreichenden Punkte Erwähnung finden.

Für die Schalleitung von einem zum anderen Ohre kommen vier Möglichkeiten in Betracht. Die erste ist die der Luftleitung, entweder direct, um den Kopf herum, oder indirect durch Reflexion. Diese Möglichkeit lässt sich bei den Versuchen leicht ausschließen. Die zweite besteht darin, dass der Schall von der Paukenhöhle aus durch die Eustachische Röhre in den Nasopharyngealraum gelangt, etwa als Luftverdichtung, und durch die andere Tube zum entgegengesetzten Mittelohre oder Trommelfell. Da aber die Tube unter physiologischen Umständen geschlossen ist und da die Geräumigkeit des Nasenrachenraumes und die Communication desselben mit der äußeren Luft mannigfaltige Gelegenheit gibt zur Ausgleichung, so ist dieser Möglichkeit nur sehr geringe Wahrscheinlichkeit zuzuschreiben. Anders verhält es sich mit der dritten Möglichkeit. Der Ton kann zunächst physikalisch von einem zum anderen Ohr durch die Schädeldecke (Schläfenbeine, Scheitelbeine, Hinterhauptbeine) fortgeleitet werden. Diese wäre als äußere Knochenleitung zu bezeichnen (Schäfer). Es kann aber auch die Schallüberleitung vom Trommelfell, von den Gehörknöchelchen, den Fenestris und dem Labyrinthwasser aus, durch die Knochen der Schädelbasis, durch die Felsenbeinpyramiden und den Keilbeinkörper stattfinden. Dies wäre als innere Knochenleitung zu bezeichnen (Schäfer).

Nun ist ersichtlich, dass die Schallübertragung durch Knochenleitung nur dann stattfinden kann, wenn der Bruchtheil der lebendigen Kraft der Schallwellen, der sich in den Knochen fortpflanzt, so groß ist, dass die Schallwellen nicht vollkommen in den Knochen gedämpft werden. Andererseits ist eine gewisse lebendige Kraft der Schallwellen nothwendig, um eine Gehörsempfindung zu erregen;

diese lebendige Kraft wurde von Toepler und Boltzmann<sup>1)</sup> zu 1,10–11 kg bestimmt. Mach<sup>2)</sup> fand einen noch kleineren Werth. Es fragt sich nun, ob die Schallaufnahme durch die Schädelknochen einen Betrag erreicht, der oberhalb der lebendigen Kraft liegt, welcher die Hörschwelle entspricht, und ob dieser Betrag der lebendigen Kraft groß genug ist, um als Wellenbewegung in den Schädelknochen nicht vernichtet zu werden; ob fernerhin nicht durch die Knochenleitung auch noch Schallwellen fortgeleitet werden können, deren lebendige Kraft unter dem der Hörschwelle entsprechenden Betrage liegt; oder ob umgekehrt die Knochenleitung bereits bei einer lebendigen Kraft der Schallwellen aufhört, die oberhalb der lebendigen Kraft, der die Hörschwelle entspricht, liegt.

Schäfer beschäftigte sich eingehend mit der Frage der Schallzuleitung durch die Schädelknochen von einem Ohre zum anderen<sup>3)</sup>. Sein hauptsächlichster Versuch besteht darin, dass er vermittelt eines Resonators, der an das eine Ohr gehalten wird, die Empfindung eines Tones wieder hervorrufft, der von einer Stimmgabel erzeugt wurde, die inzwischen vollkommen verklungen war. Bei diesem Versuch haben er und andere bemerkt, dass auch der leiseste Ton verstärkt und im Innern des Kopfes localisirt wird, wenn man das andere Ohr verschließt. Da in diesen Versuchen die Luftübertragung vollständig ausgeschlossen war, so besitzt, wie Schäfer meint, keine andere Hypothese eine größere Wahrscheinlichkeit als die, dass auch in diesem Falle, bei leisesten Tönen, eine Knochenleitung existirte.

Ich bezweifle nicht die Exactheit dieser Versuche; doch möchte ich hier schon auf Beobachtungen bei meinen eigenen Versuchen hinweisen, die den von Schäfer aufgestellten Satz mindestens erheblich einschränken. Ich habe mittelst der Stimmgabeln, die ich benutzte, nicht nur beliebig leise Töne, die an der Grenze der Hörbarkeit lagen, herstellen können, sondern ich konnte diese auch, wie bei der Besprechung der besonderen Versuchsanordnung dargelegt wird, von beliebig langer Dauer erhalten, so dass ich die Möglichkeit hatte, die Erscheinungen mit größerer Bequemlichkeit und Sicherheit zu

1) Töpler u. Boltzmann, Pogg. Annalen, CXLI, S. 351.

2) Mach, Optisch-akustische Versuche, die spectrale und stethoskopische Untersuchung tönender Körper. Prag 1872.

3) Zeitschrift f. Psych. u. Phys. d. S., IV, S. 348; V, S. 397.

beobachten. Dabei habe ich dann gefunden — und gleichzeitig mit mir fanden dasselbe andere Beobachter —, dass ganz allgemein ein sehr leiser Ton, auch wenn er durch längere Zeit wahrgenommen wird, nicht direct im Ohre localisirt, sondern ins Innere des Kopfes verlegt wird, auch wenn man nicht in der von Schäfer angegebenen Weise das Ohr schließt, auf das der Ton nicht einwirkt. Diese Verlegung des Tones ins Innere des Kopfes wird noch deutlicher, wenn wir unsere Aufmerksamkeit ausschließlich auf den Ton richten und ihn nicht, wie wir es unwillkürlich zu thun pflegen, der Gewohnheit gemäß nach außen verlegen. Das Schließen des anderen Ohres störte an den ersten Tagen, und namentlich in den ersten Augenblicken des Hörens, sogar die Beobachtung der Erscheinung, so dass es schien, als ob der Ton in diesem Falle einen anderen Charakter habe, was zur Ursache von Täuschungen werden konnte. Aber durch die Uebung lassen sich solche Täuschungen allmählich ausschließen; und wir gelangten so (namentlich Dr. Möbius und ich) zu der Ueberzeugung, dass eine Verstärkung der Intensität des Tones überhaupt nicht stattfindet und ebenso wenig eine Veränderung in der Localisation. Einen indirecten Beweis hierfür glaube ich noch in einer anderen Beobachtung gefunden zu haben: Es kam verschiedene Male vor, dass der eine der beiden sehr leisen Töne, die vollkommen unisono oder fast unisono gestimmt waren und von denen der eine dem einen und der andere dem anderen Ohre zugeleitet wurde, unterbrochen wurde; der Beobachter wurde dann nicht augenblicklich gewahr oder er konnte nicht sofort angeben, welcher der beiden Töne in Wegfall gekommen sei, sondern er versuchte dies — fast unwillkürlich — dadurch festzustellen, dass er erst die eine und dann die andere Röhre hinwegschob, durch welche ihm der Ton zugeleitet wurde.

Scripture veröffentlichte 1892 eine kurze Mittheilung über Versuche, die er mit zwei Stimmgabeln von 293 und 297 Schwingungen angestellt und bei denen er beobachtet hatte, dass die binauralen Schwebungen deutlicher seien, als die monauralen. Scripture hielt eine Luftübertragung für ausgeschlossen, und er suchte den Beweis zu führen, dass auch die Knochenleitung ausgeschlossen sei<sup>1)</sup>.

1) Philos. Stud. VII, S. 631.

»Während die eine Gabel dicht vor dem Ohr tönt, schließe man den gegenüberliegenden Gehörgang mit dem Finger. Wenn nun irgendwelche Kopfknochenleitung vorhanden wäre, so müsste der Ton in diesem Falle sehr stark im geschlossenen Ohre gehört werden«. Hiergegen erhob Schäfer<sup>1)</sup> den Einwand, Scripture habe die Erscheinung der »physiologischen Taubheit« nicht beachtet. »Hält man von zwei genau unisonen Stimmgabeln die eine an das rechte Ohr, die andere an das linke, und tönt dabei erstere lauter, so wird der Ton rechts gehört. Das linke Ohr ist physiologisch taub, übernimmt jedoch sofort die Tonwahrnehmung, wenn die Gabel rechts durch Dämpfung zur lauter tönenden gemacht wird«. Es enthalte also Scripture's Versuch in keiner Art einen Beweis gegen die Knochenleitung. — In seiner Replik gegen Schäfer wandte sich dann Scripture<sup>2)</sup> gegen den Begriff der »physiologischen Taubheit«. In der That ist zuzugeben, dass dieser Terminus wenig glücklich gewählt ist, denn tatsächlich findet eine Erregung des Sinnesorganes in durchaus normaler Weise statt, und sie kommt auch für die Empfindung zur Geltung. Was hier vorliegt, ist eine Frage der Localisationstäuschung, und diese Localisationstäuschung hat deshalb, wie es scheint, den Namen physiologischer Taubheit erhalten, weil sie im wesentlichen in derselben Weise entstehen würde, wenn das eine Ohr taub wäre. Immerhin bleiben gegen die Beweiskraft von Scripture's Beobachtungen Bedenken bestehen. Ebenso lässt sich von den Versuchen von Cross und Goodwin<sup>3)</sup> nicht sagen, dass bei ihnen die Knochenleitung mit Sicherheit ausgeschlossen war. Denn ein Beweis dafür, dass eine Schallübertragung auf die Kopfknochen von den Zähnen aus leichter sei, als vom peripheren Gehörapparat selbst, liegt nicht vor.

Anderseits ist freilich Schäfer's Hypothese, unterminimale Erregungen könnten sich im Acusticusendorgan derart summiren, dass dadurch ebenmerkliche Empfindungen entstehen, und eine solche Summirung könne durch die Knochenleitung zu Stande kommen,

1) Vergl. Schäfer, Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, IV, S. 250.

2) Scripture, Philos. Stud. VIII, S. 638.

3) Cross and Goodwin, Proc. of the American Acad. of Arts and Sciences. XXVII, 10. 1891.

ebenfalls nicht erwiesen. Schäfer beruft sich hierbei auf die Versuche von Thompson, Preyer und Tarchanoff.

Auch Bernstein<sup>1)</sup> beschäftigte sich experimentell mit der Frage der binauralen Schwebungen. Er benutzte drei Zimmer, in deren mittelstem der Beobachter saß, während die beiden Tonquellen in den beiden benachbarten Zimmern aufgestellt waren. Er arbeitete mit dem von ihm angegebenen akustischen Unterbrecher, das eine Mal mit 116, das andere Mal mit 200 Schwingungen. Die Tonleitung erfolgte durch Kautschukschläuche. Binaurale Schwebungen wurden deutlich gehört. Weitere Versuche mit verklingenden Stimmgabeln ergaben, dass auch die leisesten eben noch wahrnehmbaren Töne deutliche binaurale Schwebungen gaben. Die Frage der Knochenleitung suchte Bernstein direct durch folgenden Versuch zu entscheiden: »Zwei Personen verbinden ihre Kopfknochen dadurch schalleitend miteinander, dass sie in ein kurzes Holzbrett beißen. Jede von ihnen steckt einen der beiden Gummischläuche in ein Ohr; findet unter diesen Umständen eine merkliche Knochenleitung statt, so müssen sie die Schwebungen wahrnehmen. Die Schalleitung von den Zähnen zum Ohre ist bekanntlich eine gute, also auch die umgekehrte. In der That hört man den Ton einer Stimmgabel sehr stark, wenn sie der anderen Person unter den genannten Bedingungen auf den Kopf gesetzt wird. Ich habe diesen Versuch gemeinsam mit meiner Frau ausgeführt, welche ein feineres Gehör hat als ich. Bei Anwendung leiser Töne haben wir beide keine Schwebungen wahrgenommen. Beide Töne von derselben Stärke beiden Ohren einer Person zugeleitet erzeugten dagegen die deutlichsten binauralen Schwebungen«. Analoge Versuche waren bereits von Mach (1864) angestellt worden, ebenfalls mit negativem Resultate<sup>2)</sup>.

Das gleiche Princip der räumlichen Separation wurde auch von Ewald<sup>3)</sup> angewandt, der mit Stimmgabeln arbeitete und die leisen, bei den Versuchen benutzten Töne mittelst zweier Telephone zuleitete. Der Ton war nur hörbar, wenn man das Ohrstück des Telephones fest in den Gehörgang einpresste. Dabei wurden binaurale

1) Bernstein, Pfüger's Archiv, LIX, S. 475.

2) Vergl. die Bemerkung Schäfer's, Pfüger's Archiv, LXI, S. 525.

3) Ewald, Pfüger's Archiv, LVII, 1894, S. 80.

Schwebungen gehört, und die Zahl derselben war beim binauralen Hören dieselbe, wie beim monauralen unter denselben Umständen. Ewald ist übrigens auch auf Grund seiner Versuche an labyrinthlosen Tauben der Ueberzeugung, dass der Hörnerv direct durch Schallwellen erregbar sei<sup>1)</sup>.

Um die äußere Knochenleitung auch objectiv am Thiere nachzuweisen, bedienten sich Nagel und Samojloff<sup>2)</sup> des Principes der manometrischen Flammen. Durch dünne Troicarts wurde durch die Paukenhöhle Gas geleitet, das zur Speisung einer König'schen empfindlichen Flamme diente; das Trommelfell wurde durch Schallwellen in Schwingungen versetzt, die Gasflamme im rotirenden Spiegel beobachtet. Es ließ sich dann nachweisen, dass mittelst einer geeigneten Stimmgabel, die auf einen Schädelknochen aufgesetzt wurde, eine deutliche Reaction der Flamme zu beobachten war. Bekanntlich gibt das schwingende Trommelfell einen Theil seiner Energie an die Luft des äußeren Gehörganges ab, dadurch ist es dann sehr wohl verständlich, dass die Reaction der Flamme verstärkt wurde, wenn die äußere Mündung des Gehörganges verschlossen wurde. Daraus geht hervor, dass die Schwingungen von Knochen in irgend welcher Weise auf das Gehörorgan so übertragen werden können, dass das Trommelfell in Mitschwingungen geräth. Durch diese Versuche wird also im allgemeinen die Existenz einer craniotympanalen Leitung erwiesen. Eine Anwendung auf die vorliegende Frage gestatten aber natürlich diese Versuche nicht, da sie sich auf Schallstärken beziehen, die hier nicht in Betracht kommen.

## Zweiter Theil.

### Meine eigenen Versuche.

Die Bedingungen für die vorliegende Untersuchung waren im psychologischen Institut zu Leipzig sehr günstige. Zunächst war es möglich, indem drei nebeneinander liegende geräumige Zimmer zur Anordnung der Versuche benutzt werden konnten, die beiden Stimm-

1) Physiologische Untersuchungen über das Endorgan des Nervus octavus. Wiesbaden 1890. Vergl. Berl. klin. Wochenschr. 1890.

2) W. A. Nagel u. Samojloff, Archiv für Physiologie, ed. Th. W. Engelmann, 1898.

gabeln von einander und von der Versuchsperson genügend weit entfernt aufzustellen. Das mittelste Zimmer war als Dunkelzimmer und Stillezimmer vorwiegend für akustische Versuche eingerichtet und seine besondere Bauart, die doppelten Thüren und die Bauart der Wände, die besonders diesen Gesichtspunkt berücksichtigte<sup>1)</sup>, bot die Möglichkeit, innerhalb weiter Grenzen störende, von außen hereindringende Geräusche abzuhalten. Um von derartigen Störungen möglichst unabhängig zu werden, wurden die Versuche an den ruhigeren Stunden des Tages und in der Nacht ausgeführt. Die Versuchsanordnung war die, dass in den beiden dem Stillezimmer zur rechten und zur linken Seite benachbarten Zimmern vor geräumigen, aus Pappe bestehenden, mit Filz überkleideten Schalltrichtern die Stimmgabeln aufgestellt waren. Die Stimmgabeln waren von den zugehörigen Resonanzkästen abgeschraubt und auf einer hohen Unterlage von Watte auf Filzplättchen aufgestellt und gut mit Watte umgeben, um jede störende Tonverstärkung und Entstehung von Nebengeräuschen auszuschließen. Die Stimmgabeln führten in der Secunde ohne Laufgewichte 500 Schwingungen aus, sie wurden durch ein Paar Elektromagnete, das sich etwa in der Höhe des oberen Endes des unteren Drittels befand, dauernd in Schwingung gehalten. Als Stromquelle diente für jede Stimmgabel ein Accumulator, dessen Strom durch einen Rheostaten genügend abgeschwächt und variirt werden konnte. Der Strom floss dann durch die Elektromagnete, durch die Stimmgabel, durch einen feinen Platincontact zu einer verstellbaren Schraube. Der Platindraht diente dann als Unterbrecher und die Länge der Funkenstrecke konnte mittelst der Schraube in verschieden variirter Weise eingestellt werden. So war neben dem Rheostaten eine zweite Beweglichkeit zur Abschwächung des Stromes und damit der Tonstärke gegeben. Von den Schalltrichtern wurden die Töne durch genügend weite geradlinige Messingröhren, welche durch die Wand des Stillezimmers geführt waren, der Versuchsperson zugeleitet.

Die Messingröhren waren ebenfalls sorgfältig mit Watte umwickelt, und in denselben entstanden, etwa durch Reflexionen, keine irgendwie bemerkbaren störenden Nebengeräusche. Dieselben traten, die eine von rechts, die andere von links, an die im Stillezimmer

---

1) Vergl. F. Krüger, Philos. Stud. XVI, S. 311 ff.

auf einem Stuhle sitzende Versuchsperson heran, und in ihre Enden waren passende, schwach conisch zulaufende, vorn offene Glasröhren eingefügt, die beliebig verschoben werden konnten. Es war auch hier darauf geachtet, dass dabei keine störenden Nebengeräusche entstanden, ebenso dass die Luftwellen in der Röhre nicht irgendwie die benachbarten Lufttheilchen außerhalb der Röhre in Schwingungen versetzen konnten. Diese Glasröhren wurden deshalb verschiebbar eingeführt, um, während die Tonstärke objectiv an der Stimmgabel gleich gehalten wurde, für die Versuchsperson die Möglichkeit der Variation und der Vergleichung bei beliebiger verschiedener Intensität zu beiden Seiten zu schaffen. Der Ton wurde nun beiderseits so weit abgeschwächt, dass er nur für die Versuchsperson durch die Zuleitung, nicht für dritte Personen im Zimmer hörbar war; und er war so schwach, dass ihn die Versuchsperson nur hörte, wenn sie die zuleitenden Röhren in den äußeren Gehörgang einschob, dagegen nicht mehr, wenn sie die Glasröhren zurückgeschoben hatte. Ferner war es möglich, dass man beliebig durch Zurückschieben der Glasröhre auf der einen oder anderen Seite den Ton ausschaltete, was, wie weiterhin zu besprechen sein wird, für die fortgesetzte Controlle bei den Versuchen nothwendig war. Die Einstellung der Tonstärke wurde am Beginne jedes Versuches genau ausgeführt und erforderte stets einige Geduld und Zeit. Die schwachen Töne klangen im allgemeinen durchaus rein, manchmal allerdings, namentlich in den ersten Monaten, waren störende Nebengeräusche nicht ganz zu vermeiden, indem der Platincontact ein hohes, man möchte sagen schwirrendes Geräusch gab, das aber bei sorgfältiger Einstellung des Contactes auszuschließen war.

Die Versuchsanordnung leistet also das, was man von einer Versuchsanordnung für binaurales Hören zu verlangen hat. Die Tonstärke konnte zuverlässig so weit abgeschwächt werden, dass jederzeit durchaus auf jeder Seite monitisches Hören stattfand, der Ton konnte auf jeder beliebigen Höhe, wie durch die subjective Beobachtung immer controllirt wurde, genau in der Stärke constant gehalten werden, und die Intensität war um den Bereich der Schwelle continuirlich abstufbar. Die äußeren Fehlerquellen, ein Nebengeräusch, Schwankungen der Tonhöhe und Tonstärke, können durchaus als ausgeschlossen gelten.

Die Stimmgabeln, die mit einer Millimeteereintheilung versehen waren, mussten für jede Stellung der Laufgewichte genau nach ihrer Schwingungszahl bestimmt werden. Dies geschah zunächst durch Vergleichung mit dem Appun'schen Tonmesser. Dieser schreitet in der benutzten Octave von vier zu vier Schwingungen von einer Zungenpfeife zur anderen fort. Das Stimmen wurde von mir, von Dr. Bach und Dr. Möbius gleichzeitig durch Zählen der Schwebungen bis auf eine Schwingung genau ausgeführt.

Bei der Ausführung der Versuche war zunächst darauf zu achten, dass die Uebertragung durch die Luft und die äußere Knochenleitung von einem Gehörorgane zum anderen ausgeschlossen waren. Die Uebertragung durch die Luft war relativ leicht auszuschließen, die Töne waren so schwach, dass, wenn die Glasröhre sich nicht genau am oder im äußeren Gehörgange befand, kein Ton mehr weder auf dieser Seite noch natürlich auf der entgegengesetzten gehört wurde, selbst die Schalltrichterwirkung der Ohrmuschel genügte nicht, um einen Ton hörbar zu machen, wenn die Oeffnung der Glasröhre sich einer Stelle ihr gegenüber befand. Ein weiterer Beweis für das Fehlen der Luftübertragung ergab sich aus den Versuchen selbst. Wenn nämlich, wie wir weiter sehen werden, binaurale Schwebungen gehört wurden, so konnte man diese zum Verschwinden bringen, indem man die eine Glasröhre zurückschob oder den Gehörgang mit dem Finger verschloss.

Von allen anfänglich herangezogenen Versuchspersonen erwiesen sich in längeren, entscheidenden Versuchsreihen nur wenige als geeignet. Das erste, was von den Versuchspersonen zu verlangen ist, ist Unbefangenheit, dann ein genügend scharfes Ohr für das Erfassen der Intervalle und der Schwebungen. Bei der Subtilität der Versuche und der außerordentlichen Leisheit der Töne bei den Experimenten mit binauralem Hören waren die Versuchspersonen leicht subjectiven Täuschungen verschiedener Art unterworfen. Daher war es nothwendig, fortgesetzt Controllversuche und Vexirversuche auszuführen.

Das Verfahren der Versuche war stets unwissentlich, die Reagenten wussten nicht, wieviel Schwebungen sie zu erwarten hatten; die Verstimmung, also die Anzahl der Schwebungen wurde während der einzelnen Versuchsreihen verändert, ebenfalls ohne

Wissen des Reagenten. Die Versuche wurden sodann in der Weise ausgeführt, dass zunächst controllirt wurde, dass Luftübertragung und äußere Knochenleitung ausgeschlossen waren, darauf wurden die binauralen Versuche angestellt, und die Reagenten schrieben entweder ihre Beobachtungen auf oder gaben dieselben nach den Versuchen zu Protocoll. Die erste Frage lautete: »Was hören Sie?«. Die weiteren Fragen bezogen sich dann auf die Intensität, ob ein wahrnehmbarer Intensitätsunterschied zu beiden Seiten bestand, auf das Vorhandensein von Schwebungen, auf die Zahl derselben, auf die Beschaffenheit derselben, auf die Rauigkeit des Tones und auf die Art und die Sicherheit des Urtheiles. Der Versuch schloss endlich damit, dass der Ton beider Stimmgabeln gleichzeitig, und auch aufeinander folgend, monotisch dargeboten wurde. Es wurden dann beide Eindrücke miteinander verglichen und dieselben Fragen wiederholt. Besonders wurde gefragt, ob sich der Charakter der Schwebungen geändert habe und ob eine subjective Verstärkung des Tones eingetreten sei.

## I.

Bei einer ersten Gruppe von Versuchen lagen die Töne noch merklich oberhalb der Schwelle, waren aber so leise, dass die Uebertragung durch die Luft und durch die äußere Knochenleitung, wie Controllversuche lehrten<sup>1)</sup>, ausgeschlossen war. Es wurden dann die

---

1) Um die Verhältnisse der Knochenleitung zu controlliren, wurden in die Versuchsreihen stets Einzelversuche derart eingeschaltet, dass die Versuchsperson aufgefordert wurde, den einen Gehörgang mit dem Finger zu verschließen, dann wurde das Tönen der einen Stimmgabel öfters auf kürzere oder längere Zeit unterbrochen, und die Versuchsperson hatte unterdessen, während sie den einen Gehörgang mit dem Finger verschlossen hielt, die Tonempfindung, die auf der gegenüber liegenden Seite erregt wurde, zu beobachten. Sie hatte dann anzugeben, wann und ob jener Ton sich änderte. In diesem Falle konnte zweierlei geschehen, wenn nur ein Ton vorhanden war: nämlich erstens kam es zuweilen vor, dass die Versuchsperson dann Schwebungen zu hören glaubte, sie täuschte sich also; im zweiten Falle hörte sie keine Schwebungen, sie bemerkte aber das Leerwerden des Tones. Das bewies, dass die Versuchsperson richtig beobachtete und die Versuchsbedingungen geeignete waren. Wenn dann beide Gabeln erklangen, während die Versuchsperson den einen Gehörgang verschlossen hielt, so konnte es vorkommen, dass dieselbe Schwebungen hörte und die Zahl derselben richtig angab. In diesem Falle war das Vorhandensein einer Luftübertragung oder Knochenleitung positiv erwiesen und die Töne mussten weiterhin abgeschwächt werden.

Gabeln gegeneinander verstimmt und die Schwebungen beobachtet, und eine Vergleichung derselben im binauralen und monauralen Hören durchgeführt. Begonnen wurde mit den langsamen Schwebungen, von 2 bis zu 15 Schwebungen in der Secunde. Bei dieser Tonstärke waren die binauralen Schwebungen außerordentlich viel schwieriger zu hören, wie die monauralen, das sprach sich darin aus, dass die zuverlässige Constatirung und das Zählen derselben beim binauralen Hören sehr viel längere Zeit in Anspruch nahm, als im monauralen, und das galt nicht nur für die weniger geübten Versuchspersonen, sondern machte sich so ziemlich in demselben Maße auch bei den geeignetsten Reagenten bemerkbar. Da es durchaus wünschenswerth schien, in die Constanz und Sicherheit des Urtheils einen Einblick zu gewinnen, wurden diese Versuche mit denselben Intervallen sehr häufig wiederholt.

Wir wollen die vielen unsicheren Ergebnisse, die mit wenig geeigneten Versuchspersonen in umfangreichen und zeitraubenden Versuchen gewonnen wurden, übergehen und können dann unsere Ergebnisse, welche sich im wesentlichen auf die Vergleichung der monauralen und binauralen Schwebungen beziehen, in folgender Weise zusammenfassen: das wichtigste und charakteristischste Merkmal des Gesamteindruckes liegt darin, dass die Töne beim binauralen Hören auch bei sehr geringen Intervallen, selbst wenn sie beinahe unisono erklingen, getrennt erscheinen, wie im monotischen Hören. Dies soll natürlich nicht heißen, dass in diesem Falle der absolute Werth des Intervalles verändert werde, der bleibt selbstverständlich derselbe, sondern nur, dass namentlich bei geringen Unterschieden in der Schwingungszahl das Urtheil in qualitativer Hinsicht psychologisch sicherer, subjectiv evidentester ist.

Lässt man die Schwebungen monaural percipiren, so sind sie mit den Tönen selbst verbunden, man hört sozusagen die Stöße in einer durch die zwei Primärtöne bestimmten Tonlage. Lässt man dieselben Schwebungen binaural percipiren, so ist der Eindruck ein ganz anderer. Man hat nämlich zugleich die Empfindung der beiden Töne, die nicht in das äußere Hörfeld des Ohres der entsprechenden Seite, etwa im Ohre oder in der Schläfengegend, sondern in unbestimmter, nicht näher angebbarer Weise im Inneren des Schädels localisirt werden, und daneben die Empfindung der Schwebungen,

die als etwas ganz von den Tönen Getrenntes erscheinen, fast wie eine disparate gleichzeitige Empfindung. Die Schwebungen lagen sozusagen zwischen den Tönen, indem die Beobachter nicht etwa angaben, ein bestimmter Ton schwebe, sondern ganz eindeutig sagten, man höre die beiden Töne und die Schwebungen.

Die binauralen Schwebungen haben in gewisser Weise einen unbestimmten Charakter, sie verschwinden und sind nicht immer festhaltbar, zeitweise treten sie scheinbar spontan stärker für das Bewusstsein hervor, sie sind eigentlich mehr alternierend als continuirlich. Es ist bemerkenswerth, dass es vergeblich ist, wenn man versucht, durch Anspannung der Aufmerksamkeit die Erscheinung festzuhalten. Denn an und für sich besteht sozusagen für die mit willkürlicher Aufmerksamkeit verbundene psychische Einstellung die Tendenz, diese Schwebungen zu objectiviren, um sie den normalen Verhältnissen der Empfindung gleichartig zu machen und einzuordnen. Hier schien in der That für die psychologische Beobachtung ein continuirlicher Grenzübergang zwischen rein subjectivem und objectiv bedingtem Geschehen vorzuliegen, eine Erscheinung, die für die psychologische Interpretation des Charakters der Sinnesempfindung sicherlich hervorgehoben zu werden verdient. Damit hängt eine weitere Erscheinung zusammen, die ebenfalls rein in das Gebiet psychologischen Experimentirens und Beobachtens gehört. Man kann nämlich sicher sagen, dass die Erscheinung entsteht, wenn der Beobachter in einer ganz passiven psychischen Einstellung ist. Beim monauralen Hören drängen sich die Schwebungen als harte, rasch ansteigende, rasch abklingende Stöße auf, bei den binauralen Schwebungen scheint jede einzelne Schwebung langsam anzuschwellen, ein zeitlich zwar kurz, aber immerhin dauerndes Maximum zu haben, dann ebenso langsam abzunehmen und continuirlich auszuklingen. Dieser Unterschied war auch dann bemerkbar, wenn die Versuchsperson sicher war, dass die Zahl der binauralen Schwebungen mit der der monaural wahrgenommenen übereinstimmte.

Was das Abzählen oder die Schätzung der Zahl der Schwebungen anlangt, so ist hervorzuheben, dass bei einer geraden Anzahl langsamer Schwebungen, 2, 4, 6, 8 bis 10, die Versuchspersonen, auch die gut qualificirten unter denselben, den Eindruck haben, die Schwebungen langsamer zu hören wie monotisch. So kam es bei

Dr. Störing und Dr. Wirth des öfteren, bei Dr. Möbius nur ausnahmsweise vor, dass dieselben eine Anzahl von Schwebungen angaben, die genau halb so groß war wie die Zahl der objectiv vorhandenen, monotisch hörbaren Schwebungen. Diese Versuchspersonen konnten nun, nachdem sie das Intervall monotisch gehört hatten und dann wieder diotisch hörten, durch einen Wiedererkennungsact bemerken, dass die Zahl der Schwebungen beim monauralen und binauralen Hören dieselbe war, aber die Zwischenstöße, die früher nicht gehört waren, waren noch immer undeutlich und schwach und selbst jetzt nicht immer hörbar<sup>1)</sup>. Die vorliegenden Erscheinungen der Schwankungen der Empfindungsintensität scheinen mir in zwei Gruppen verschiedener Art zerlegt werden zu müssen: die eine Gruppe umfasst die längeren Perioden der Empfindung, die durch Pausen getrennt sind, die andere umfasst die Fälle, wo die Anzahl der Schwebungen zu gering, vor allem kleiner als die Hälfte der objectiv vorhandenen, angegeben wird. Erstere Schwankungen sind wohl vorzugsweise als Ermüdungserscheinungen aufzufassen, die der zweiten wohl vorwiegend als Schwankungen der Aufmerksamkeit. Dieses Verschwinden und Wiederauftreten der Schwebungen, sowie der besondere Charakter der Subjectivität, der den binauralen Schwebungen zukommt, bewirken es natürlich, dass die Deutlichkeit der diotischen Schwebungen geringer ist wie die der monotischen. Wie einige Beobachter, und unter diesen Scripture, das Umgekehrte finden konnten, ist uns unverständlich und beruht wohl darauf, dass sie ihre Versuche nicht an einer genügend großen Anzahl von Intervallen durchführten. Für unsere Versuche kann die vorliegende Aussage über die geringere Deutlichkeit der binauralen Schwebungen als durchaus gesichert gelten, da alle Versuchspersonen dieselben Aussagen machten und ihr Urtheil auch aufrecht erhielten, wenn sie dieselben Intervalle häufiger beobachtet hatten.

Stets wurde auch an die Versuchspersonen die Frage gerichtet, ob eine deutliche Lust- oder Unlustbetonung den monaural oder binaural gehörten Intervallen und Schwebungen zukomme. Einige

1) Vergl. Urbantschitsch, Pflüger's Archiv, XXIX, 1881, S. 574: »Ein sehr schwacher Schalleindruck in ungleicher Stärke wahrgenommen und bei Schallwellen geringster Intensität lässt ein Verschwinden und Wiederauftauchen der Schallempfindungen leicht nachweisen.

hatten von irgend einer Gefühlsbetonung der Schwebungen gar nichts bemerkt, was einigermaßen auffällig erscheint, einige waren schwankend, andere aber fanden die binaural gehörten Schwebungen weniger unangenehm oder selbst angenehmer als die monotischen. (Dabei ist immer zu berücksichtigen, dass wir nur von langsamen Schwebungen, 2—15 in der Secunde, sprechen.)

Eine wichtige Erscheinung, von der wir in dem historischen Ueberblicke gesehen haben, dass sie schon mehrere Autoren eingehender beschäftigt hat, ist ferner die Intensitätszunahme der Gehörsempfindung bei binauralem Hören. Wenn in diesem Falle zwei Töne annähernd unison sind, so kann es zunächst vorkommen, dass, wenn ein Ton zuerst mit einem Ohre gehört wird, dieser stärker wird, wenn man dann dem anderen Ohre den zweiten Ton darbietet, oder anderseits ist es auch möglich, dass dieselben beiden Töne, wenn sie gleichzeitig binaural gehört werden, eine stärkere Empfindung auslösen, wie wenn dieselben Töne monaural gehört werden. Alle Versuchspersonen stimmten bei jenen Intervallen, wo die beiden Töne nur eine sehr geringe Differenz in der Tonhöhe hatten, in der Versicherung überein, dass ein großer Unterschied in der Intensität bestehe, wenn man einen Ton auf dem einen Ohre höre und anderseits beide Töne diotisch höre. Wenn man dann die beiden Töne zugleich einwirken ließ, so war ein Empfindungszuwachs nicht sicher zu bemerken, sondern die Beobachter antworteten unsicher und unbestimmt. Es ist bemerkenswerth, dass die Versuchspersonen dann geneigt waren, einen Intensitätszuwachs der Empfindung anzugeben, wenn sie das Intervall zum ersten Male beobachteten. Aber dies beruht vielleicht auf einer Täuschung, da sie immer noch die Empfindung der relativ großen Intensität des binaural gehörten Tons im Bewusstsein hatten. Bei Gelegenheit von Controllversuchen, an denen Dr. Wirth theilnahm, konnte folgende Beobachtung gemacht werden. Die beiden Gabeln waren gegeneinander so verstimmt, dass die eine 500 Schwingungen, die andere 504 Schwingungen in der Secunde ausführte. Dr. Wirth gab an, der rechte Ton sei stärker. Dann beobachtete ich selbst und glaubte den linken Ton viel stärker zu hören. Um diesen Widerspruch zu untersuchen, wurden die Stimmgabeln bezüglich der Tonstärke miteinander verglichen, und es fand sich, dass die rechts stehende Gabel

thatsächlich lauter ertönte. Ich fand dieses Phänomen sehr seltsam. Während ich nun, an dasselbe denkend, mich allein im Stillzimmer befand, bemerkte ich im linken Ohre einen subjectiven Ton, der hinlänglich stark, dauernd und deutlich war und offenbar mit einer vorübergehenden katarrhalischen Affection dieses Ohres zusammenhing. Dann bat ich den Dr. Wirth, mir die zwei früheren Töne zu geben. Indem ich sie mit jenem subjectiven Ton verglich, bemerkte ich nun, dass dieser letztere dem Tone im rechten Ohre ganz gleich war, und während ich dies beobachtete, constatirte ich das frühere Phänomen: im rechten Ohr ein kaum bemerkbarer und im linken Ohr ein sehr starker Ton. Wurde dagegen das rechte Ohr geschlossen, so hörte die Verstärkung des Tones auf. Dann versuchte ich, das rechte Ohr der Röhre des linken zu nähern und unterbrach den Ton des rechten. Auf diese Weise konnte ich mit aller Deutlichkeit die langsamen Schwebungen (4 in der Secunde) bemerken; und nachdem verschiedene Male die Höhe des Tones, welcher in diesem Fall mit dem rechten Ohr wahrgenommen wurde, modificirt war, wurden immer die Schwebungen beobachtet, 12 und 15 per Secunde, wobei sie sehr rauh erschienen. So wurde der sichere Beweis geliefert, dass ein objectiver und ein subjectiver Ton, auch wenn binaural gehört, Schwebungen geben. Bemerkenswerth war ferner die bei den ersten Experimenten (in deren Folge der subjective Ton entdeckt worden war) beobachtete Thatsache, dass der objective Ton, der von dem Ohr der gesunden Seite übertragen war, um vieles den subjectiven Ton von gleicher Höhe verstärkte, so dass er dem pathologischen Ohr zugeschrieben wurde, nicht jenem, welchem er direct zugeführt war, während der auf das pathologische Ohr selbst einwirkende objective Ton nur sehr undeutlich wahrgenommen wurde.

Hierin liegt ohne Zweifel ein Beweis dafür, dass ein Ton in der Regel in dem Ohr localisirt wird, wo er stärker empfunden wird.

## II.

Wir kommen nun zur Besprechung der Versuche, bei denen die Differenzen der Tonhöhe zwischen den beiden Tönen bedeutendere waren. Wie wir sahen, fand Bloch beim binauralen Hören einen bemerkenswerthen Zuwachs an Intensität der zwei Töne im Vergleich

mit dem des monauralen Hörens. Er gibt jedoch zu, dass diese Verstärkung in umgekehrtem Verhältniss zu dem Intervall zwischen den zwei Tönen stehe, so dass, wenn die Zahl der Vibrationen **435—586,66** ist, man kaum mehr von einem wirklichen Zuwachs an Intensität sprechen könne.

Wir haben nun in der That beobachtet, dass, wenn die Töne eine Differenz von wenigen Vibrationen haben, ein leichter Zuwachs an Intensität besteht. Dieser ist aber absolut ausgeschlossen bei den Intervallen, in welchen die Differenz der Schwingungen größer als 10 in der Secunde ist. Die zwei Töne, in dem Maße wie ihre Höhendifferenz sich vergrößert, verstärken sich nicht nur nicht, sondern man hat die Neigung, sie ein wenig schwächer zu beurtheilen als im monotischen Hören, und sie erscheinen dem Beobachter immer weiter getrennt, der eine vom andern losgelöst. Die Verschmelzung der Töne, welche Stumpf erwähnt, und welche von diesem Gelehrten wie eins der Phänomene festgehalten wird, die sich unverändert im binauralen Gehör erhalten, nimmt im Gegentheil nach meinen Beobachtungen stufenweise ab. Die Beobachter nahmen die mit einem einzigen Ohr gehörten Intervalle wie eine wirkliche Einheit wahr, und es war eine Arbeit von willkürlicher Analyse nöthig, um den einen Ton vom anderen zu unterscheiden; binaural dagegen erschienen die Töne für sich selbst, d. h. einer unabhängig vom anderen, und die Schwebungen erschienen gewissermaßen außerhalb der Töne selbst, localisirt an verschiedenen Orten. An dieser Trennung der zwei Töne, im Gegensatz zu jener Verschmelzung, von welcher Stumpf spricht, lassen meine Beobachtungen keinen Zweifel. Dabei schien es, dass die Töne beinahe ein Intervall bildeten; und wenn die Aufmerksamkeit des Beobachters nicht auf die Schwebungen gerichtet war, sondern ausschließlich auf die zwei Töne selbst, so bemerkte man ein beständiges Alterniren der Wahrnehmung des einen und des anderen Tones. Wenn dagegen, wie gewöhnlich, die Aufmerksamkeit auf die Schwebungen gerichtet war, so war der allgemeine Eindruck eine deutliche Vorstellung der zwei Töne, die nicht in dem betreffenden Ohr, sondern mehr nach innen, in den Seitentheilen des Kopfes, localisirt erschienen, während die Schwebungen sehr schwach empfunden wurden und zuweilen aussetzten: sie erhoben sich über

die Schwelle des Bewusstseins, verschwanden und kehrten wieder und so immer von neuem. Diese Schwebungsperioden waren meist nicht constant. Im allgemeinen bemerkten wir, dass die Perioden der Pause um so länger waren, je größer und länger die Spannung der Aufmerksamkeit, um die Schläge zu bemerken. Und interessant war es, zu beobachten, dass oft, wenn man die Schwebungen besser im Bewusstsein festhalten wollte, sie statt dessen ganz verschwanden und wieder erschienen, wenn der Beobachter sich anschickte, sie in einem Zustand passiver Aufmerksamkeit aufzufassen. Die andere Form von Schwankungen, die wir bei den Intervallen, wo die Höhendifferenz der zwei Töne sehr klein war, beobachteten, ist bei diesen größeren Intervallen eigentlich nicht bemerkt worden. Die Beobachter hatten im allgemeinen die Neigung, die binauralen Schläge als kleiner an Zahl aufzufassen gegenüber den respectiven monauralen. Wenn jedoch ein genauerer Vergleich ausgeführt wurde, so erkannte man nicht die Uebereinstimmung. Ein Beobachter, Dr. Störring, hatte aber stets die Empfindung eines abwechselnden Stärker- und Schwächerwerdens des Rhythmus der binauralen Schwebungen. Ueberhaupt ist zu bemerken, dass auch bei diesen wie bei den kleineren Intervallen die Schläge eine schwankende Form haben, im Gegensatz zum monauralen Gehör, wo sie staccato, getrennt, der eine vom anderen geschieden sind. Die Schwankungscuren sind deshalb viel kleiner (gerade wegen der größeren Schnelligkeit der Schläge) als bei den langsameren Rhythmen der Schläge. Dagegen ist die Eigenthümlichkeit der Töne, voller, mehr ausgedehnt zu sein, die wir bei den kleinen Intervallen constatirt haben, bei diesen kaum mehr bemerkbar. Die Localisation der Töne ist viel deutlicher, bestimmter. Nicht unnütz ist es, zu bemerken, dass die Schläge allen Beobachtern so erschienen, als ob sie weit entfernt wären.

Was die Intensität der binauralen Schwebungen in der Serie der größeren Intervalle betrifft, so müssen wir bestätigen, dass sie kleiner ist als die Intensität der binauralen Schwebungen der kleineren Intervalle (bis zu 10 Vibrationen Unterschied) und daher noch viel kleiner als die Intensität derselben Schwebungen im monotischen Hören. Auch nimmt diese Intensität mit zunehmendem Intervall immer mehr ab. Bekanntlich ist man im allgemeinen darüber einig, dass im monotischen Hören das Maximum der Rauigkeit der

Schwebungen bei einer Schnelligkeit von ca. 30 Schlägen in der Secunde liegt. Im Fall des binauralen Hörens dagegen bemerkt man dieses Maximum bei sehr viel kleinerer Differenz der Töne (von 2 bis zu 10 Schwingungen). Die Intensität nimmt ab, während die Schläge, auch im Vergleich mit den Tönen des Intervalles selbst, zugleich sehr schwach erscheinen. Wenn man ferner von einer leichten Zunahme der Intensität der Töne im binauralen Hören sprechen kann, so findet diese nur bei den Intervallen statt, wo die Töne wenig verschiedene Vibrationen haben. Bei größeren Intervallen könnte man eher glauben, dass die zwei binaural gehörten Töne geschwächt erscheinen.

Was die Deutlichkeit der Schwebungen betrifft, so wird diese jenseits der Grenze von 10—20 Schwingungen Differenz immer geringer, und das Urtheil ist nicht mehr sicher: man bemerkt nur das Unzusammenhängende, das Unterbrochene der Töne, nichts mehr. Jenseits der Grenze von 30 Schwebungen konnte auch der geschickteste und geübteste Beobachter beinahe nie mit Sicherheit sagen, welcher Rhythmus der Schwebungen der schnellere, welcher der langsamere sei, wenn die Differenz beim monauralen Hören noch sehr bemerkbar war. Wenn ferner, wie gewöhnlich, nach dem binauralen Hören dasselbe Intervall monaural gegeben wurde, so erkannte man nicht mehr, wie es fast immer in den kleineren Intervallen geschah, dass das Intervall das gleiche war, während doch die Töne in einen wie im anderen Fall von genau derselben Intensität waren. Irrthümer des Urtheils waren bei diesen größeren Intervallen ziemlich häufig. Der Beobachter war auch mehr als sonst zu Illusionen geneigt, er hatte sehr leicht das Gefühl der Unterbrechung, und wenn er den Rhythmus der Schläge festhalten wollte, gelang es ihm oft nur, einen subjectiven Rhythmus festzustellen, manchmal langsam wie der Pulsschlag oder wie die Athmung, manchmal sehr schnell, aber immer schwankend, ungewiss. Die äußerste Grenze der Schnelligkeit wahrnehmbarer Schwebungen war 50 in der Secunde, während bis zu 60 und 70 Schwebungen monotisch noch mit Sicherheit von den Beobachtern gehört wurden. Was die Empfindung der Rauigkeit betrifft, so ist zu bemerken, dass sie ohne Zweifel viel weniger stark als beim monauralen Hören ist. Dieser Charakter der Rauigkeit begleitet die Schläge in den Intervallen bis zu einer Höhen-

differenz der zwei Töne von 25—30 Schwingungen und verschwindet dann, bis bei den letzten Intervallen, wo sehr schwache Schwebungen noch bemerkbar sind, dies Gefühl der Rauigkeit ganz verschwindet. Dieses Resultat ist beinahe im Widerspruch mit dem von Thompson, welcher vielmehr fand, dass bei den großen Intervallen die Töne auffallend rau seien. Einen Grund für diese Verschiedenheit der Resultate wüsste ich nicht zu finden. Man könnte denken, dass er intensivere Töne benutzte, so dass äußere oder innere Knochenleitung in Betracht kam; aber da Thompson sagt, dass er die Schläge auch bei solchen Tönen beobachten konnte, welche nicht einzeln vom Ohr bemerkt wurden, so scheint dies ausgeschlossen. Auf jeden Fall zwingen mich meine Experimente, zu verneinen, dass die Töne binaural in großen Intervallen sehr rau erscheinen, wie auch gänzlich auszuschließen, dass an sich nicht bemerkbare Töne binaural aufgefasst werden und Schwebungen geben. Auch Stumpf, scheint uns, muss einen dem unsrigen ähnlichen Eindruck gehabt haben, wenn er sagt, dass der Charakter der binauralen Schläge milder sei.

Das Gefühl der Dissonanz existirt auch im binauralen Gehör, obgleich die Schläge schwächer sind und die Rauigkeit weniger stark als monotisch, aber ich würde nicht sagen, wie Stumpf, dass dieses Gefühl der Dissonanz dem durch das monaurale Gehör gegebenen gleich sei. Nach meinen Experimenten muss ich zugeben, dass das Gefühl der Dissonanz im binauralen Gehör nicht so intensiv, so deutlich ist wie im monauralen, und ich glaube, dass diese Thatsache durch die Abschwächung der Schwebungen und der Rauigkeit veranlasst ist.

Wir fassen jetzt in wenigen Sätzen die Schlüsse zusammen, die sich aus den Experimenten, mit denen wir uns bis jetzt beschäftigt haben, ziehen lassen:

I. Die Intensität der binaural gehörten Töne erfährt nur bei den geringsten Intervallen eine leichte Verstärkung. Bei den großen Intervallen könnte man vielleicht eher von einer Abschwächung sprechen.

II. Die zwei Töne haben bei kleinen Intervallen einen Charakter ausgedehnterer Localisation.

III. Der Grad der Verschmelzung der zwei Töne ist viel kleiner als monotonisch und nimmt schnell ab mit zunehmender Höhendifferenz der zwei Töne.

IVa) Die binaural gehörten Schwebungen sind viel weniger deutlich als die monaural gehörten. — Das Maximum der Deutlichkeit liegt bei den Intervallen, wo die Höhendifferenz zwischen den zwei Tönen von 10 zu 20 Schwingungen per Secunde variirt.

b) Die Vorstellung der Schläge ist immer deutlicher, getrennt von derjenigen der Töne und verschieden localisirt (in einer cerebralen Zwischenlage).

c) Die binauralen Schläge erscheinen wellenförmig, , im Unterschied von den monotonischen, welche eckig klingen, .

d) Die binauralen Schwebungen sind schwächer als die monauralen. Das Maximum ihrer Stärke liegt bei den kleinsten Intervallen (1—2—4—8).

e) Die Grenze ihrer Wahrnehmbarkeit liegt niedriger bei den binaural gehörten Intervallen (50 Schwingungen in der eingestrichenen Octave).

f) Während die Töne kontinuierlich erscheinen, zeigen die Schwebungen zwei Formen von Schwankungen: 1. Perioden von Absteigen und Sinken in einem vollständigen Rhythmus der Schläge; 2. Schwankungen in den Elementen selbst des Rhythmus. Diese letzteren sind regelmäßiger und deutlicher bei den langsamen Rhythmen; bei den schnellen nehmen sie gewissermaßen die Form einer Spirale an.

V. Die Empfindung der Rauigkeit ist viel weniger stark als im monauralen Hören und verschwindet bei Intervallen über 30 Schwingungen ganz.

VI. Das Gefühl der Dissonanz erhält sich, wenn auch in schwächerer Weise, auch wo die Empfindung der Rauigkeit nicht bemerkbar ist.

### III.

Eine letzte Reihe unserer Versuche bezog sich auf die Frage, ob bei einer minimalen, eben die Schwelle erreichenden Intensität der Töne die binauralen Schwebungen noch bemerkbar seien. Es handelte sich also darum, zu constatiren, ob in dem Moment, wo das Phänomen der binauralen Schwebungen verschwände, die zwei Töne

beide noch oberhalb der Schwelle des Bewusstseins seien, oder nur der eine, der andere nicht, oder endlich weder der eine noch der andere.

Bei diesem letzten Theil der Experimente betheiligten sich außer mir die DDr. Möbius, Störriug, Wirth, lauter Beobachter, die viele Uebung in akustischen Beobachtungen besaßen und monatelang bei diesen unseren speciellen Untersuchungen mitgearbeitet hatten. Auch bei diesen Untersuchungen verglichen wir stets das im binauralen Hören gegebene Phänomen mit dem des monauralen, indem wir wieder dafür sorgten, dass in diesem zweiten Fall dieselbe Intensität des Tones erhalten blieb wie im ersten.

Wir fanden nun zunächst, dass, wenn ein einziger der zwei Töne nicht bemerkbar war, jede Form von Schwebungen ausblieb. Dann wählten wir Töne, die eben auf der Schwelle des Bewusstseins waren. Um die Töne überhaupt wahrzunehmen, war der Beobachter zu einer beständigen und intensiven Aufmerksamkeit genöthigt. Die Töne waren nicht continuirlich, wie im allgemeinen in den vorangegangenen Versuchen, sondern sie waren Schwankungen unterworfen und bisweilen waren die Perioden des Sinkens so lang, dass der Beobachter den Ton verschwunden glaubte und bat, er möge verstärkt werden. Diese ganz leisen Töne schienen nicht Producte eines äußeren vibrirenden Körpers zu sein, noch waren sie eigentlich im Gehörorgan localisirt, sondern eher im Kopfe. Unter diesen Umständen musste daher der Beobachter viel Mühe anwenden, und es war eine viel längere Zeit nöthig, um zu einem sichereren Urtheil zu gelangen, als bei den früher besprochenen Experimenten. Illusionen fanden leicht statt: dem Beobachter war sozusagen die Idee einer Unterbrechung der Töne suggerirt und er neigte sehr oft dazu, sich eine Serie von Stößen vorzustellen. Hatte er dann Gelegenheit, diese Serie von Stößen mit der monaural gegebenen desselben Intervalls zu vergleichen, so erkannte er die Täuschung. Mehrmals waren die Stöße nicht bloß bei den Intervallen von sehr geringer, sondern auch bei denen von großer Distanz nicht zu unterscheiden. So war es z. B. leicht, dass bei zwei Intervallen, wenn das eine eine Differenz von 40 Schwingungen, das andere eine solche von 8 Schwingungen besaß, das erste eine langsame Serie von Stößen zu haben schien, das zweite eine schnelle. Im allgemeinen jedoch hatte, wo

die Illusion sich einstellte, jeder Beobachter einen constanten subjectiven Rhythmus der Unterbrechung, welcher sich auf die Intervalle jeder Art bezog.

Dr. Störing schrieb im allgemeinen dem Intervall einen Rhythmus der Schläge zu, welcher der des Pulsschlags oder der Athmung entsprach, und so geschah es auch oft bei Dr. Wirth. Dr. Möbius dagegen hatte zuweilen die Neigung, sich einen schnellen Rhythmus der Schläge vorzustellen, welcher beinahe mit 20 Stößen in der Secunde correspondirte. So zeigten alle diese Beobachtungen hier in noch höherem Grade jenen Charakter der Subjectivität, dem wir schon früher bei den binauralen Versuchen begegnet sind. Und wenn wir schon bei dem ersten Theil unserer Experimente bemerkt haben, im Gegensatz zu Stumpf, dass der Grad der Verschmelzung kleiner und immer abnehmend im binauralen Gehör ist, so lässt sich bei dieser zweiten Abtheilung der Versuche von einem Grad der Verschmelzung überhaupt nicht sprechen. Die Töne erscheinen gänzlich getrennt: Der Gesamteindruck ist der eines beständigen Abwechselns derselben, begleitet von einem peinlichen Gefühl gezwungener Aufmerksamkeit, welche vergebens sucht, die zwei Töne zu vereinigen. Stellt sich dieses Phänomen des abwechselnden Hörens ein, so bleiben dann auch die Schwebungen aus. Ebenso fehlt jene Empfindung der Rauhigkeit, welche, wie wir sahen, sonst beim binauralen Hören bemerkbar war, wenn auch etwas geringer als monaural. Ein Charakter allein hat sich noch erhalten, aber auch dieser hat nicht mehr den Grad von Intensität wie früher: nämlich das Gefühl der Dissonanz. Dies ist offenbar eine Thatsache, welche gegen die Helmholtz'sche Erklärung der Dissonanz spricht. Schwebungen und Rauhigkeit sind für Helmholtz die Bedingungen der Dissonanz zwischen zwei zusammen erklingenden Tönen; bei Consonanz müssen die Schwebungen fehlen oder auch sie müssen so schwach sein, dass sie keine Störung des Intervalls hervorbringen. Nun ist es eine Thatsache, dass in diesen von uns beobachteten Intervallen ein Gefühl der Dissonanz bemerkbar war, während sowohl die Schwebungen wie die Rauhigkeit fehlten. Also sind die Schwebungen und die Rauhigkeit begleitende, aber nicht bestimmende Momente, sie können die Dissonanz verstärken, nicht sie hervorbringen. Unsere Beobachtungen bestätigten so die Meinung

von W. Wundt, welcher sagt: »Vermöge der Bedingungen der Klangerzeugung ist die Dissonanz sehr häufig mit Schwebungen der Töne verbunden. Aber nothwendig ist diese Verbindung nicht«<sup>1)</sup>.

Aus der Darstellung der Resultate, die wir aus unseren Experimenten gewonnen haben, kann man ohne jeden Zweifel schließen, dass das Phänomen des binauralen Hörens spezifische und subjective Charaktere hat, durch die es sich von dem Phänomen des monauralen Hörens unterscheidet. Wir beobachteten ferner, dass die binauralen Schwebungen wegen der eintretenden subjectiven Rhythmisirung unsicher wurden oder ganz verschwanden, wenn die Töne eben die Schwelle des Bewusstseins erreichten. Da aber hierbei überhaupt ein gleichzeitiges Hören beider Töne nicht mehr möglich war, sondern abwechselnd immer nur derjenige Ton über die Schwelle des Bewusstseins trat, dem sich die Aufmerksamkeit zuwandte, so sind die letzteren Versuche für die Frage des binauralen Hörens überhaupt und demnach auch für die Frage der Entstehung binauraler Schwebungen nicht entscheidend.

---

1) Wundt, Grundzüge der physiologischen Psychologie, II, S. 75.