

# Beobachtungen über ein- und zweiohriges Hören.

Von  
**E. M. von Hornbostel.**

Mit 4 Abbildungen im Text.

## *Inhaltsverzeichnis*

- Einleitung (S. 64)
- I. Fachausdrücke (S. 65)
- Zur Versuchstechnik (S. 67)
  - Vorläufige Unterscheidung ein- und zweiohriger Erscheinungen (S. 68)
  - Tonhöhe ein- und zweiohrig (S. 69)
  - Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Frequenzunterschied der Reize (S. 71)
  - Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen von der Wellenform (S. 75)
  - Nebeneinanderbestehen ein-, beid- und doppelohriger Erscheinungen (S. 79)
  - Stärke ein- und zweiohrig (S. 84)
  - Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Stärkeunterschied der Reize (S. 86)
  - Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Zeitunterschied der Reize (S. 94)
  - Ergebnisse und Folgerungen (S. 97)
- II. Die Wahrnehmung der Schallentfernung (S. 103)
- Absolute Faktoren (S. 103)
  - Stärkegefälle (S. 104)
  - Zeitgefälle (S. 107)
  - Frequenzgefälle (S. 108)
  - Klangfarbengefälle (S. 108)
  - „Schalldichte“ (S. 111)
- Schluß (S. 114)

*Ernst Mach* fragt einmal „Wozu hat der Mensch 2 Augen?“ und antwortet mit dem Hinweis auf das stereoskopische Sehen<sup>1)</sup>. So ließe sich auch auf die Frage „Wozu hat der Mensch 2 Ohren?“ mit einigem Recht antworten: um räumlich zu hören. Denn seit ihrer Entdeckung durch *Purkinje* (1859)<sup>2)</sup> ist die Abhängigkeit der Schallokalisation

---

<sup>1)</sup> Populär-wissenschaftliche Vorlesungen<sup>2</sup> 6. 1897.

<sup>2)</sup> Živa VII ročn. Sv. 4 (gewöhnlich zitiert nach dem Referat von *Eiselt*, Vierteljahrsschr. f. prakt. Heilk. herausgegeben v. d. med. Fakultät in Prag 17. 1860, und daher fälschlich ein Jahr zu spät datiert).

vom zweiohrigen Hören kaum mehr bezweifelt worden<sup>1)</sup>, und als wesentliche Grundlage der Wahrnehmung der Schallrichtung ist nach neueren Untersuchungen die zeitliche Disparation der Reize<sup>2)</sup> anzusehen, die man der räumlichen Querdisparation und ihrem Einfluß auf das Körperlichsehen vergleichen könnte. So bestechend diese Analogien zunächst auch erscheinen, so stehen ihnen doch nicht minder auffällige Unterschiede des Gesichts und Gehörs gegenüber: wenn im dunklen Gesichtsfeld ein Licht von dem einen Auge abgeschirmt ist, kann man, ohne es auszuprobieren, nicht sagen, mit welchem Auge man sieht; wird nur ein Ohr durch Schall erregt, so ist niemand nur einen Augenblick im Zweifel, ob das rechte oder linke. Die Querdisparation dient dem Tiefsehen und ist dabei nur ein Faktor unter vielen; der Zeitunterschied bestimmt die Schallrichtung zur Mediane und ist dabei der wesentlichste, eigentlich<sup>3)</sup> der einzige Faktor.

Die Lokalisation ist aber nur eine Seite des zweiohrigen Hörens, wenn auch die auffälligste. Um dessen Natur besser kennen zu lernen schien es von Interesse, die Erscheinungen bei ein- und zweiohrigem Hören auch in andern Hinsichten genauer, als es bisher geschehen ist, zu vergleichen. Denn nur so war zu hoffen, einen Einblick zu bekommen in die zentral-physiologische Wirkungsweise des Gehörorgans. Aus einer großen Reihe in dieser Absicht unternommenen Beobachtungen sind hier solche ausgewählt, die vielleicht für eine künftige Theorie etwas beitragen können, mindestens aber zeigen, welche Annahmen ausgeschlossen werden müssen. Es sollen deshalb ohne weitläufige theoretische Erörterungen den Beschreibungen der Erscheinungen doch Hinweise auf ihre theoretische Bedeutung beigelegt werden.

## I.

### *Fachausdrücke*

Um der Beschreibung und Theorie nicht vorzugreifen, sollen die Ausdrücke *einohrig (monotisch)* und *zweiohrig (diotisch)* zunächst nur als durch die Darbietungsweise der Reize, also die Versuchsanordnung bestimmt gelten und nichts über die Erscheinungen oder die diesen zugrunde liegenden physiologischen Vorgänge besagen. Wenn dennoch von einer einohrigen Erscheinung die Rede ist, so ist eine solche gemeint, wie

<sup>1)</sup> Einige Autoren, so jüngst *Allers* und *Bénési* (*Zeitschr. f. ges. Neurol. u. Psychiatrie* 76. 1922) meinen freilich, man müsse sie auf die kümmerliche einohrige Lokalisation zurückführen. Vgl. unten S. 100.

<sup>2)</sup> v. *Hornbostel* und *Wertheimer*, Berl. Ber. 1920, S. 388.

<sup>3)</sup> Bei dieser Einschränkung denke ich an die Tatsache, daß auch ein sehr großer Stärkeunterschied, wie er beim natürlichen Hören nie vorkommen kann, unter bestimmten künstlichen Umständen ähnliche Erscheinungen bewirken kann (siehe unten S. 88 ff.), und daß wirklich einohriges Hören den Schall doch wenigstens in der Ohrenachse erscheinen läßt.

sie bei Reizung nur des einen Ohrs zustande kommt, und zweiohrig soll ein Prozeß heißen, wenn beide Ohren erregt werden. (Es ist mehrfach behauptet worden, daß infolge der metotischen Knochenleitung eine streng einohrige Erregung unmöglich sei. Unsere Versuche machen es aber wahrscheinlich, daß die Energie, die von Felsenbein zu Felsenbein geleitet wird, sehr schwach ist und kaum ausreicht, das *unverschlossene* Ohr der Gegenseite wirksam zu erregen. Wenn Luftleitung um den Kopf herum ausgeschlossen ist, darf man wohl unbedenklich annähernd reine monotische Reizung annehmen.) Ähnlich wie *Stumpf*<sup>1)</sup> unterscheiden wir *beidohrige* (*amphotische*) und *doppeloehrige* (*diplotische*) Reizung, je nachdem gleiche oder ungleiche Reize die Ohren treffen. Ersteres trifft nur dann streng zu, wenn beide Ohren auch zeitgleich erregt werden, wobei dann der Schall in der Mediane erscheint. Eine solche Einschränkung des Begriffs Beidohrig wäre aber praktisch schwer durchführbar und zwecklos; der Ausdruck *beidohrig* (*amphotisch*) soll sich daher auf Reize beziehen, die, abgesehen von Zeitunterschieden, für beide Ohren gleich sind. Auch so noch bleibt er tatsächlich auf die Erregung beider Ohren durch ein- und dieselbe Schallquelle oder verteilte unison Gabeln beschränkt<sup>2)</sup>. In Fällen, wo die Unterscheidung belanglos ist oder das Gesagte von Amphotischem und Diplotischem gleichermaßen gilt, verwende ich, als beides umfassend, den Ausdruck *zweiohrig* (*diotisch*).

Im Verlauf der Untersuchung hat sich ferner die Notwendigkeit einer weiteren Unterscheidung ergeben: wirkt auf jedes Ohr ein verschiedener Reiz, so tritt entweder eine einzige, einheitliche Erscheinung auf — und nur dann nennen wir sie und den ihr entsprechenden Prozeß *doppeloehrige* (*diplotisch*); oder es werden 2 verschiedene Schälle zugleich gehört, der eine rechts, der andere links in der Ohrenachse — und dann reden wir von *getrenntohrigen* (*dichotischen*) Reizen, Prozessen und Erscheinungen. [Vgl. auch S. 100<sup>3)</sup>.]

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **39**, 276; Beitr. z. Akustik u. Musikwiss. (im folgenden einfach: Beitr.) **4**, 97; Zeitschr. f. Psychol. **75**, 340 ff.

<sup>2)</sup> Während *Stumpf* und nach ihm *Baley* (Zeitschr. f. Psychol. **70**, 322; Beitr. **8**, 58) nur Höhengleichheit verlangen, setzen wir auch gleiche Klangfarbe und Stärke voraus, letzteres freilich nur, sofern ein Stärkeunterschied die Erscheinungen verändern würde.

<sup>3)</sup> Unsere Begriffsbestimmung geht also, wie *Stumpfs* frühere, zunächst von der Art der Reizung aus; während aber *Stumpf* später das Gleich und Ungleich nach der Unterscheidbarkeit der Töne in der Aufeinanderfolge bestimmte, richtet sich unsere Einteilung nach den Erscheinungen bei simultaner Reizung. Die neuen Benennungen schließen sich so eng als möglich an die alten an, und ich darf erwähnen, daß sie im Einverständnis mit Herrn Geheimrat *Stumpf*, dem ich auch hier wieder für freundliche Hilfe zu danken habe, geprägt worden sind. Die folgende Übersicht mag dem Leser die Orientierung erleichtern.

Stumpf u. H. Art der Reizung	Bestimmung		Benennung	
	H. Erscheinung im Simul- tanen	Stumpf Unterscheidbarkeit in der Sukzession	H.	Stumpf
nur ein Ohr gereizt	eine, einseitig	—	monotisch (einohrig)	monotisch (einohrig)
beide Ohren gleich	eine, einheitlich	} ununterscheidbar	amphotisch (beidohrig)	} diotisch (doppeloorig)
rechts und links ver- schieden	eine, einheitlich		} unterscheidbar	
	zwei, jederseits eine	dichotisch (getrennohrig)		dichotisch (getrennohrig)

Werden gegeneinander sehr wenig verstimmt Gabeln an die Ohren verteilt, so hört man *einen* Ton im Bogen von Ohr zu Ohr — von der tieferen zur höheren Gabel — wandern. Diese Erscheinung, die mit Schwebungen nichts zu tun hat, soll *Drehton* heißen. Zwischen die Umläufe schiebt sich bei tieferen Tönen eine Periode ein, während welcher der Ton vor dem einen Ohr zu ruhn und dann auf die andere Seite überzugehen scheint; diesen Teil der Ganzperiode nenne ich *Innenzyklus*, jenen, während welchem er wandert, *Außenzyklus*<sup>1)</sup>.

#### Zur Versuchstechnik

Die meisten Versuche ließen sich mit sehr einfachen Hilfsmitteln anstellen: kleinen Stimmgabeln (Zinkenlänge etwa 5—8 cm). Ein Paar von diesen — von *Zimmermann*, Leipzig — ist mit Laufgewichten versehen und läßt sich bequem über den Bereich von  $g^1$  bis  $d^1$  verstimmen. Braucht man eine für eine längere Versuchsreihe konstante Stimmung oder einen sehr genauen Einklang, so ist es, da sich die Laufgewichtchen beim Anschlagen leicht etwas lockern und verschieben, besser, einfache Gabeln durch seitlich auf die Zinken geklebt Knetwachs zu stimmen. Es empfiehlt sich, das Wachs auf beide Zinken möglichst gleichmäßig zu verteilen, um die Gabeln nicht zu sehr abzdämpfen. Das Auftreten von Drehtönen ist ein außerordentlich feines Erkennungsmittel für geringste Verstimnungen des Einklangs. Für die Feinabstimmung braucht man kein Wachs fortzunehmen oder zuzufügen, es genügt leichter Fingerdruck auf die Wachsmasse, um ihren Schwerpunkt nach oben oder unten zu verschieben. Damit die Gabeln annähernd gleichphasig — und gleich stark — schwingen, schlägt man sie mit den Zinkenflächen gegeneinander. Ihre Abklingezeit reicht in der Regel für eine Beobachtung aus. Bei sehr langsamen Drehtönen in tieferer Lage ist zuweilen die lange Dauer des Innenzyklus — bei Phasenunterschieden in der Gegend von  $180^\circ$  — störend; man kann dann eine plötzliche Phasenumkehr bewirken, indem man die eine Gabel, um den

<sup>1)</sup> Berl. Ber. 1920, S. 395.

Stiel als Achse, um  $90^\circ$  dreht. Im allgemeinen werden aber beide Gabeln in derselben Stellung zum Ohr gehalten, entweder mit der Schwingungsebene in der Ohrenachse oder senkrecht dazu. Die Stärke wird, wie üblich, durch den Anschlag, durch Abdämpfen mit dem Finger, Abwarten des Ausklings oder die Entfernung vom Ohr variiert. Die Erscheinungen werden oft deutlicher bei unterbrochener Darbietung, durch die die Aufmerksamkeit und vielleicht auch die Stärke der physiologischen Erregung gesteigert wird; es genügt, die eine Gabel ungefähr parallel zur Ohrmuschel vor und zurück zu bewegen, um „künstliche Schwebungen“ oder kurzes Aufblitzen des zweiohrigen Tons zu erzeugen. Leise Gabeln werden schon wenige Zentimeter vor oder hinter der Ohröffnung nicht mehr gehört. Luftleitung zum Ohr der andern Seite ist beim Arbeiten mit kleinen Gabeln daher leicht und vollkommen auszuschließen; ein Gehilfe mag sich, wo nötig, überzeugen, daß im Nacken oder vor der Nase des Beobachters nichts zu hören ist.

Anderer Anordnungen werden bei den Versuchen beschrieben, zu denen sie gedient haben.

#### *Vorläufige Unterscheidung ein- und zweiohriger Erscheinungen*

Ein paar grobe Unterschiede der Erscheinungsweise ein- und zweiohriger Töne — und Geräusche —, die jedem sofort auffallen, seien hier zunächst aufgezählt, denn ihre Kenntnis erleichtert dem Experimentator die Beobachtungen und deren Beurteilung, dem Leser das Verständnis der Beschreibungen.

1. Einohrige Schälle werden in der Regel in die Ohrenachse, und zwar nah vor die Gehörgangöffnung lokalisiert, zweiohrige in verschiedene, von dem Zeitunterschied abhängige Richtungen, meist vorn und etwas oben, und, wenn sie nicht zu laut sind, in größere Entfernung (bis zu  $1-1\frac{1}{2}$  m).

2. Zweiohrige Schälle klingen *voller* — nicht eigentlich stärker, wie meist angegeben wird — als einohrige. Jene haben etwas *Hallendes*, das diesen fehlt. An dieser eigentümlichen Qualität sind die zweiohrigen Erscheinungen leicht kenntlich, oft auch dann, wenn sie nicht unmittelbar mit einohrigen verglichen werden.

3. Nicht zu laute und gut extrakraniell lokalisierte zweiohrige Schälle erscheinen als scharf umrissene, dichte, unter Umständen kugelförmige Körper; ein Beobachter verglich die Drehtöne kreisenden Planeten<sup>1)</sup>. Stärkerer zweiohriger Schall erscheint wolkig ausgebreitet, den Kopf umhüllend. Einohriger Schall dagegen erscheint weniger als selbständiges Objekt, denn als subjektive Empfindung oder als Eigenschaft der Tonquelle, von deren Dasein man weiß, z. B. der Gabel, die man ans

<sup>1)</sup> Vgl. auch *Baley*, Zeitschr. f. Psychol. **70**, 340ff.; Beitr. **8**, 70ff.

Ohr hält. Ihm gesellt sich öfters eine Empfindung der Beanspruchung des Ohrs, deren Qualität Tastempfindungen verwandt ist. Ob ein Schall mehr objektiv oder mehr subjektiv erscheint, ist auch von der Verhaltensweise des Beobachters abhängig<sup>1)</sup>. Dennoch unterscheiden sich ein- und zweiohrige Schälle auch an sich in dieser Hinsicht, sowohl wenn der Beobachter nicht in einer bestimmten Richtung eingestellt ist, als wenn er eine der beiden Auffassungen erstrebt: ein zweiohriger Schall läßt sich leichter objektiv erfassen als ein einohriger und unter Umständen subjektiv überhaupt nicht. Auch hierin ist das zweiohrige Hören dem stereoskopischen Sehen vergleichbar.

### *Tonhöhe ein- und zweiohrig*

Wir vergleichen zunächst ein- und zweiohrige Töne hinsichtlich ihrer Tonhöhe.

Es kommt hier nur auf das Moment an, das sich bei Tönen und Geräuschen parallel der Reizfrequenz kontinuierlich ändert und das am besten als Helligkeit bezeichnet wird, nicht auf das, das der Oktavenähnlichkeit zugrunde liegt (Qualität), noch auf das, das musikalische Töne und Klänge von Geräuschen unterscheidet. (Auf genauere Bestimmungen braucht hier nicht eingegangen zu werden, ebensowenig auf die Frage, ob die beiden zuletzt genannten Momente etwa in eines zusammenfallen.) Da auch das, ebenfalls von der Frequenz abhängige, quantitative Moment (Volumen) bei den folgenden Beobachtungen unberücksichtigt bleibt, ist die Verwendung des alteingebürgerten Ausdrucks *Tonhöhe* wohl unmißverständlich. Die kleinsten wahrnehmbaren Unterschiede hält *Stumpf* übrigens für solche der Tonqualität, nicht der Helligkeit<sup>2)</sup>, und gerade dieser Anschauung meines verehrten Lehrers kann ich nicht zustimmen. Aber auch darauf kommt hier nichts an.

Ein und dieselbe Gabel klingt, wie *Stumpf* genauer festgestellt hat<sup>3)</sup>, für das rechte und linke Ohr verschieden hoch. Die Größe und sogar die Richtung des Unterschiedes wechselt für verschiedene Frequenzen und auch für verschiedene Beobachter; ferner auch für denselben Menschen zu verschiedenen Zeiten — mir wenigstens schien gelegentlich ein Unterschied, der einmal ganz deutlich war, bei späterer Wiederholung des Versuchs sehr gering, ja kaum merklich; öfters hatte sich auch bei der gleichen Frequenz die Richtung umgekehrt. Das mag mit dem Allgemeinbefinden<sup>4)</sup> und der jeweiligen Beobachtungsfähigkeit zusammenhängen. Man muß sich daher an das einmal mit Sicherheit Beobachtete halten und kann die Versuche nicht jederzeit und nicht

<sup>1)</sup> Vgl. *Heinz Werner*, Grundfragen der Intensitätspsychologie. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg., Erg.-Bd. 10, 68 ff. 1922.

<sup>2)</sup> VI. Kongr. f. exp. Psychol., besonders S. 339; Beitr. 8, 51.

<sup>3)</sup> Tonpsychol. 2, 320.

<sup>4)</sup> Wie mir Herr Geheimrat *Stumpf* mitteilt, steigerte sich der normale Höhenunterschied bei einem Herrn zu Zeiten hochgradiger Nervosität bis zu einer Art Diplakusis.

immer mit denselben Frequenzen nachprüfen. Auch muß man berücksichtigen, daß die Töne beim Ausklingen der Gabeln phänomenal höher werden<sup>1)</sup> und sie darum immer in beiden Zeitlagen vergleichen.

(*Versuch 1.*) Eine Gabel von 435 v. d. hörte ich vor dem rechten Ohr am tiefsten, median auf den Schädel aufgesetzt etwas höher, vor dem linken Ohr am höchsten.

(*Versuch 2.*) 2 unisone Gabeln (435). Nacheinander rechts allein, rechts und links verteilt, links allein gehört steigt die Höhe der Töne, in umgekehrter Reihenfolge fällt sie.

(*Versuch 3.*) Summt man mit geschlossenem Mund einen Ton und hält dabei die Höhe sehr genau fest, so erscheint er höher, wenn man das eine, tiefer, wenn man das andere Ohr zudrückt. (Er rückt dabei in das jeweils verschlossene Ohr — der bekannte „Webersche Versuch“.) Auf der verschlossenen Seite, wo die Schwingungen keinen Ausweg durch den Gehörgang ins Freie haben, überwiegt die monotische Erregung, was sich ja auch in der Lokalisation kundgibt.

(*Versuch 4.*) Ein leiser Zungenpfeifenklang ( $h^1$ ) erscheint rechts vom Kopf angegeben — wobei Luftleitung um den Kopf herum nicht ganz ausgeschlossen ist — höher als links; in der Mitte vorn in mittlerer Höhe, aber dem tieferen (linken) näher<sup>2)</sup>. Verschließt man, während der Klang rechts ertönt, das linke Ohr, so wird er noch höher, da dann die diotische Erregung sehr geschwächt, wenn nicht aufgehoben wird.

Auch beim gewöhnlichen zweiohrigen Hören nähert sich also die Tonhöhe der des stärker erregten Ohres.

(*Versuch 5.*) Mit 2 verteilten, sehr wenig gegeneinander verstimmtten Gabeln (452), die jede allein rechts höher erscheinen als links, wird ein langsamer Drehton erzeugt; dieser erscheint im Sukzessiv-Vergleich von mittlerer Höhe so wie der beidohrige Ton in Versuch 2. Ist die höhere Gabel links, so läuft der Drehton vom rechten zum linken Ohr und verharrt hier, bis er — bei 180° Phasendifferenz — auf die rechte Seite übergeht. Richtet man nun die Aufmerksamkeit nach rechts und beobachtet die Höhe des Drehtons in dem Augenblick, wo er dort auftaucht, so kann man bemerken, daß beim Seitenwechsel die Tonhöhe sprunghaft steigt; bei umgekehrter Gabelverteilung und Drehrichtung erfolgt beim Seitenwechsel ein — geringerer und schwerer zu beobachtender — Sprung nach der Tiefe<sup>3)</sup>. Man kann hieraus auf eine allmähliche Ver-

<sup>1)</sup> *Stumpf*, *Tonpsychol.* 1, 242, 253 ff.

<sup>2)</sup> *Baley* fand, daß auch *diplothische* Töne zwischen den beiden monotischen Primärtönen und oft dem tieferen näher liegen. (*Zeitschr. f. Psychol.* 70, 333; *Beitr.* 8, 69.)

<sup>3)</sup> Es sei davor gewarnt, sich bei diesem Versuch des oben angegebenen Mittels plötzlicher Phasenumkehrung durch Drehen der einen Gabel um ihren Stiel zu bedienen. Bringt man nämlich die Schwingungsebene aus der Sagittalstellung in

änderung des physiologischen Prozesses in der der Tonhöhe entsprechenden Hinsicht während des *ganzen* Zyklus schließen, die sich freilich, wegen des sehr langsamen kontinuierlichen Übergangs, nicht direkt beobachten läßt. Je mehr sich der Drehton von der einen Seite entfernt und der andern annähert, um so unähnlicher würde der diplotische Prozeß dem einen und zugleich um so ähnlicher dem andern monotischen.

Was hier Tonhöhe genannt ist, erschöpft sich nicht in dem phänomenalen Unterschied von Hell und Dunkel: der dunklere Ton erscheint zugleich hohler, dumpfer, weicher, runder. Beobachtungen wie die von Versuch I lassen sich auch an Geräuschen machen. Mit Frequenzunterschieden, etwa der Basilarmembranfasern, haben die hier besprochenen Erscheinungen nichts zu tun; sie sind rein zentral. Sie müssen aber auch, wie sogleich aus dem folgenden hervorgehen wird, eine andere Seite des zentral-physiologischen Geschehens betreffen als die, die sich parallel mit den Reizfrequenzen ändert.

*Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Frequenz-Unterschied der Reize*

Werden verteilte Gabeln, vom Einklang ausgehend, mehr und mehr gegeneinander verstimmt, so ändern sich die Erscheinungen kontinuierlich. Zunächst beginnt der Ton, der beim Einklang ruhig an einem Ort blieb, langsam zu wandern. Wie schnell die Bewegung sein muß, um als solche bemerkt zu werden, habe ich mit Gabeln, da sie zu schnell ausklingen, nicht feststellen können. Jedenfalls lassen sich noch sehr langsame Bewegungen, namentlich bei unterbrochener Darbietung, verfolgen und daher Verstimmungen doppelohrig noch feststellen, die an den Stärkeschwankungen ein- oder beidohriger Schwebungen nicht mehr nachweisbar sind.

Tonquellen mit beliebig lange vollkommen konstant bleibender Frequenz — Röhrensender sollen diese Bedingung erfüllen — standen mir nicht zur Verfügung. Durch Beobachtungen der Richtungen des Drehtons in größeren, gemessenen Zeitabständen müßten sich beliebig kleine Verstimmungen noch feststellen lassen.

Diese Tatsache ist theoretisch nicht ohne Interesse, denn sie zeigt, daß Frequenzunterschiede, die weit unter der Schwelle jeder „Unterschiedsempfindlichkeit“ liegen, noch zentral-physiologisch wirksam sein können.

Die Unterschiedsempfindlichkeit für sukzessive Töne bei beidohriger Darbietung — durch einen vergabelten Schlauch — fand ich nicht verschieden von der einohrigen. Bei unmittelbarer Vergleichung finde ich — bei 450 v. d. — für die

die Ohrenachse, so nähert man zugleich die eine Zinke der Gehörgangöffnung und verstärkt in unkontrollierbarer Weise die monotische Erregung auf dieser Seite, wobei sich, wie man sich leicht mit einer einzelnen Gabel überzeugt, der Ton vertieft.

eine wie die andre einen eben merklichen Unterschied von  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{1}{4}$  Schwingung. V. O. Knudsen<sup>1)</sup> fand dagegen die beidohrige Hörschwelle niedriger, als die einohrige, vielleicht deshalb, weil das eine Mal die Töne von einem entfernt aufgestellten Telephon kamen — und daher gegenständlicher waren, das andere Mal das Telephon unmittelbar ans Ohr gehalten wurde.

Man muß also annehmen, daß der von der Reizfrequenz abhängige Parameter des Nervenvorgangs der Frequenz sehr genau entspricht — daß er sozusagen selbst eine sehr feine Unterschiedsempfindlichkeit besitzt — und alle Schlüsse, die man aus der ein- oder beidohrigen Unterschiedsempfindlichkeit auf die Abstimmung, Anzahl und Wirkungsweise der Basilarmembranfasern gezogen hat, erscheinen insofern bedenklich, als das Zentralorgan hier mehr leistet als der Vorarbeit des peripheren Mechanismus zugemutet werden kann.

Wird der Umlauf der Drehtöne schneller, so daß man ihn nicht mehr verfolgen kann, so nimmt die Erscheinung einen schwebungsartigen Charakter an, weshalb sie früher allgemein für „binaurale Schwebungen“ gehalten wurde. Daß es sich nicht um solche handelt, geht schon daraus hervor, daß der Drehton ganz kontinuierlich in die Pseudo-Schwebungen übergeht und diese bei Tönen über etwa 800 v. d. zugleich mit dem „Innenzyklus“ überhaupt wegfallen<sup>2)</sup>.

(Versuchsreihe 6.) Verteilte Gabeln von 451 v. d. Bei einer Periodendauer (T) von 1,1 Sek. fand ich den Außenzyklus noch als solchen und auch die Richtung der Drehbewegung gut erkennbar. Dies blieb so, wenn auch mit schnell abnehmender Deutlichkeit, bis zu T = 0,8 Sek.; man merkt noch, in welcher Richtung der Ton durch den Kopf „durchschlägt“. Bei T = 0,65 Sek. ist weder Drehung noch ihre Richtung mehr wahrnehmbar, der Ton erscheint wie eine den Kopf vorn umhüllende Wolke.

Während des Innenzyklus erscheint der Ton voller und weniger extrakraniell als während des Außenzyklus, und es ist offenbar der schnelle Wechsel dieser beiden Erscheinungsweisen, was ähnlich wie die Stärkeschwankungen echter Schwebungen anmutet. Bei nicht zu kurzer Periodendauer — etwa 1 Sek. — bemerkt man, wenn man die Erscheinung als Schwebung auffaßt, daß das Stärkemaximum durch das Füllemaximum des Innenzyklus vorgetäuscht wird: das Maximum der „diplotischen Schwebungen“ tritt also bei Phasenopposition ein, das Intensitätsmaximum echter Schwebungen bei Phasengleichheit.

Bei T = 0,5 Sek. treten neben dem umhüllenden diplotischen Ton die beiden, an ihrer Lokalisation kenntlichen, dichotischen Töne rechts und links nahe vor den Ohren hervor und werden bei weiterer Verkürzung der Periodendauer immer deutlicher, während der diplo-

<sup>1)</sup> Physical Rev. (2) 21, 84, 1922.

<sup>2)</sup> Berlin. Ber. 1920, S. 396; *Stumpf*, Tonpsychol. 2, 471.

tische Ton mehr und mehr zurücktritt. Sind die Gabeln stark angeschlagen, so sind die dichotischen Töne stärker als der diplotische; erst beim Ausklingen der Gabeln überwiegt wieder der letztere ( $T = 0,25$  Sek.). Dann verschwindet das Umhüllende, der diplotische Ton ist nicht mehr gesondert extrakraniell lokalisiert, verrät sich aber noch durch das „Hallen“ (vgl. oben S. 68), die Schwebungen gehen — bei  $T = 0,125$  Sek. — scheinbar mehr und mehr auf die dichotischen Töne über, deren Höhenunterschied bei  $T$  etwa  $= 0,10$  Sek. ebenmerklich und bei  $T$  etwa  $= 0,05$  schon ganz deutlich wird. Zuerst ist der Höhenunterschied nur bei wandernder Aufmerksamkeit, in einer Art Sukzessiv-Vergleich, wahrnehmbar; zuletzt erscheinen streng simultan ein Ton links und ein anderer rechts.

Auch *Stumpf* fand in der Gegend von  $c^2$  12—20 Schwingungen<sup>1)</sup>, *Baley*<sup>2)</sup> in derselben Höhenlage (500 v. d.) 10—12 Schwingungen zur (deutlichen) Höhenunterscheidung doppelohriger Töne nötig. Bei monotischen Zweiklängen tritt „deutliche Zweiheit“ in der Gegend 400—600 bei Unterschieden von 10—15 Schwingungen auf<sup>3)</sup>. Danach wäre die Unterschiedsempfindlichkeit für simultane Töne monotisch nicht schlechter, sondern eher besser als diplotisch. Gelegentlich habe ich bei unmittelbarer Vergleichung beobachtet, daß die Tonhöhe diplotisch noch streng simultan unterschieden wird, wenn monotisch nur mehr bei Verstärkung — Annäherung — der einen Gabel. Ob hier wirklich ein durchgängiger Unterschied des ein- und doppelohrigen Hörens besteht, müßte noch genauer untersucht werden. Sehr bedeutend wird er kaum sein.

Wichtiger ist die Frage, ob der diplotische Ton dem von *Stumpf* entdeckten monotischen „Zwischenton“<sup>4)</sup> vergleichbar sei. Auch dieser wird ja bei sehr kleinen Frequenzunterschieden allein gehört und erst bei zunehmender Verstimmung treten neben ihm die Primärtöne mehr und mehr hervor, während der Zwischenton verblaßt und endlich verschwindet. Die *Stumpfsche* Theorie, nach der die mitschwingenden Zonen der Basilarmembran mit den Frequenzen auseinander rücken, läßt sich auch auf das diplotische Hören übertragen<sup>5)</sup>. Aber die Entstehung des Zwischentons ist eng an die der Schwebungen gebunden, auch schon physikalisch<sup>6)</sup>, und unterliegt wohl ähnlichen Bedingungen, wie die der Differenztöne. (Vielleicht muß man, wie bei Differenztönen, auch bei Zwischentönen physikalische, die z. B. durch Zungen in gemeinsamem Windkasten entstehen, von physiologischen, die erst im Gehörorgan — auf dem Trommelfell, der Membran des ovalen Fensters oder der Basilarmembran — zustande kommen, unterscheiden.)

1) Tonpsychol. 2, 324.

2) Zeitschr. f. Psychol. 70, 331; Beitr. 8, 67.

3) *Schaefer* und *Guttman*, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. 32, 94; Beitr. 4, 58.

4) Tonpsychol. 2, 480 ff.

5) *Baley*, Zeitschr. f. Psychol. 70, 334; Beitr. 8, 70.

6) *Baley*, Zeitschr. f. Psychol. 67, 237 ff.; Beitr. 8, 13 ff.

Diplotisch gibt es aber weder (echte) Schwebungen, noch Differenztöne, und schon deshalb erscheint die Deutung der diplotischen Töne als Zwischentöne bedenklich. Der wesentliche Grund, beide Erscheinungen auseinanderzuhalten, liegt aber darin, daß die Frequenzunterschiede, bei denen 3 Töne zugleich gehört werden, im einen und andern Fall von ganz verschiedener Größenordnung sind: die dichotischen Töne treten neben dem diplotischen schon bei einem Frequenzunterschied von 2 Schwingungen hervor, die Primärtöne neben dem Zwischenton erst bei etwa 35 Schwingungen — einem Halbton in mittlerer Lage —, wo von der diplotischen Erscheinung nur noch ein schwaches, schwer merkliches Hallen übriggeblieben ist. Dieser Unterschied weist in dieselbe Richtung, wie die oben erwähnte hohe, dem peripheren Organ weit überlegene „Unterschiedsempfindlichkeit“ des nervösen Organs. Ich möchte darum annehmen, daß die Zwischentöne, ebenso wie Schwebungen und Differenztöne, durch die Einwirkung zusammengesetzter Wellen auf das periphere Organ zustande kommen, für die diplotischen Erscheinungen dagegen die zentralen Vorgänge allein verantwortlich sind, die man sich aber nicht analog der Überlagerung von Schwingungen vorzustellen hat.

Nach dieser Abschweifung kehren wir zu unserer Versuchsreihe zurück und vergrößern den Frequenzunterschied der verteilten Gabeln noch weiter. Dann verschwindet — bei  $T$  etwa = 0,03 — auch das Hallen und — bei  $T$  etwa = 0,02 — auch die letzte Spur von Rauigkeit: es werden die 2 verschieden hohen und ganz glatten Töne rechts und links allein gehört, während die Gabeln, vor ein Ohr gebracht, noch rauhe monotische Schwebungen geben.

Mit *Edelmann*schen Laufgewichtgabeln von 580 v. d. hörte ich das Hallen noch bei einem Höhenunterschied von etwa einem Halbton (35 Schwingungen). Die Töne müssen sehr leise sein und man muß immer zwischen rein monotischer und diplotischer Darbietung schnell wechseln.

Die diplotischen Pseudo-Schwebungen sind wahrscheinlich um so deutlicher je mehr sich das Verhältnis der Dauer von Außen- und Innenzyklus der Gleichheit nähert, was in der Gegend von 400 v. d. eintritt. Diplotisch wurde die Gabel 439,5 zusammen mit 368 eben glatt ( $T = 14 \sigma$ ), monotisch erst mit 343 ( $T = 10 \sigma$ ).

Eine Versuchsreihe mit 817-Gabeln ergab ganz dieselbe Reihenfolge der Erscheinungen, nur fallen die Pseudo-Schwebungen weg. Auch die Grenzen, die sich infolge des allmählichen Überganges nur schwer und unsicher feststellen lassen, scheinen bei denselben Periodendauern zu liegen. Danach ist anzunehmen, daß sich die diplotischen Erscheinungen, wie die Schwebungen, parallel mit den Frequenz-*Unterschieden*, nicht mit den Frequenzverhältnissen (Intervallen) ändern.

Hier drängt sich noch eine Frage auf: wenn auch bei größeren Frequenzunterschieden der Primärtöne keine diplotischen Erscheinungen mehr zustande kommen, so wäre es doch möglich, daß im linken und

rechten Ohr gleichzeitig erregte *Schwebungen* sich zentral vereinigten<sup>1)</sup>. Je nach dem Zeitunterschied der Intensitätsmaxima der beiden Schwebungswellen wären dann die Schwebungen von den Tönen gesondert lokalisiert, bei geringer Verschiedenheit der Schwebungsfrequenzen würden „Drehschwebungen“ — neben ruhenden monotischen Zwischentönen — zu erwarten sein.

(*Versuch 7.*) Das Gabelpaar 435 und  $435 + \delta_1$  vor dem einen, das Paar 800 und  $800 + \delta_2$  vor dem anderen Ohr ergab, bei größeren wie bei geringeren, bei gleichen wie bei ungleichen Verstimmungen ( $\delta_1 \geq \delta_2$ ) immer dieselbe Erscheinung: die Schwebungen bleiben dichotisch getrennt und können ungestört jede für sich beobachtet werden. Es ist natürlich sehr gut möglich, daß bei der primitiven Versuchsanordnung der Zeitunterschied zwischen den beiden Schwebungswellen zufällig immer zu groß war, als daß eine gute extrakranielle Lokalisation hätte zustande kommen können. Ein Einwand gegen die Schlüssigkeit des Versuchs folgt indes hieraus nicht; denn auch in solch ungünstigen Fällen müßten diplotische Schwebungen ausgebreitet auf der einen Seite, eventuell innerhalb des Schädels, gehört werden, nicht aber die beiden getrennten Rhythmen rechts und links.

Es findet also auch hier zentral keine Überlagerung der Rechts- und Links-Prozesse nach Art von mechanischen oder elektrischen Schwingungen statt. Die beiden dichotischen Schwebungen geben weder zentrale Schwebungen höherer Ordnung, noch gesondert in eine Richtung lokalisierte oder wandernde Erscheinungen. Wenn man bedenkt, daß die periodischen Stärkeschwankungen ja nur *eine* Eigenschaft der zusammengesetzten Wellen sind, wird es ganz verständlich, daß die entsprechende Seite der Nervenvorgänge nicht für sich allein eine Gesamtwirkung und eine neue Erscheinung ergeben kann, während die Vorgänge und Erscheinungen in jeder anderen Hinsicht selbständig bleiben.

#### *Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen von der Wellenform*

Ob wir einen zusammengesetzten Klang ein- oder beidohrig hören, macht für die Klangfarbe im engeren Sinn — also abgesehen von der eigentümlichen Qualität zweiohriger Schalle: Fülle, Hallen, Präzision — kaum etwas aus. Auch verteilte Gabeln geben keine von der einohrigen wesentlich verschiedene Klangfarbe, höchstens klingt der ditotische Ton noch etwas milder als der monotische. Welche Klangfarbe aber haben die Erscheinungen, wenn rechts und links verschiedene Klänge gegeben werden?

<sup>1)</sup> Monotische Schwebungen vor dem einen Ohr beeinflussen, wie schon *Stumpf* (*Tonpsychol.* 2, 492) gefunden hat, einen hinreichend höhenverschiedenen monotischen Ton der andern Seite nicht.

(*Versuch 8.*) Eine Gabel von 500 v. d. links und eine genau gleich hohe Zunge rechts. Der Zungenklang kommt, um Miterregung des andern Ohrs zu vermeiden, durch ein Rohr aus dem Nebenraum. Der zweiohrige, bei günstigem Zeitunterschied extrakraniell vorn lokalisierte Ton klingt weich und einfach, wie der einer Gabel; zugleich hört man rechts nah vor dem Ohr den Zungenklang.

(*Versuch 9.*) Zwei annähernd gleich hohe Zungen 600 verteilt. Die Farbe des zweiohrigen Tons ist wieder die einer Gabel, also eines einfachen Tons. Soweit dichotisch, vor den beiden Ohren, etwas zu hören ist, hat es etwa Zungenfarbe, klingt aber etwas heller, als eine Einzeltzunge ein- oder beidohrig.

Das Ergebnis dieser Versuche nötigt zu dem Schluß, daß auch bei Klängen nur diejenigen Teiltöne zusammenwirken und eine beid- oder doppelohrige Erscheinung hervorrufen, deren Frequenzen gleich oder sehr wenig verschieden sind. Werden zwei Klänge gleicher Zusammensetzung etwas gegeneinander verstimmt, so rücken die Teilton-Paare mit steigender Ordnungszahl immer weiter auseinander und werden — vorausgesetzt, daß der Frequenz-Unterschied hierfür maßgebend ist — immer schwächere diplotische und immer stärkere (getrennte) dichotische Prozesse ergeben: der doppelohrige Klang wird also weicher sein, als der ein- oder beidohrige und mit zunehmender Verstimmung sich mehr und mehr einem einfachen Ton annähern, während zugleich immer mehr und tiefere Teiltöne dichotisch getrennt erscheinen werden. Diese Ausbiegung der Obertöne — die übrigens, ebenso wie die im vorigen Abschnitt besprochenen Erscheinungen, ganz unabhängig ist von der Einstellung oder Anlage des Beobachters, einer etwaigen Tendenz zum Herausheören oder Vereinheitlichen — spricht sehr für eine, wenn auch grobe, physiologische Klanganalyse schon in der Schnecke. Denn wenn eine solche überhaupt nicht stattfände, so müßte man, besonders nach den gleich zu besprechenden Beobachtungen, erwarten, daß verteilte Klänge schon bei sehr geringer Verstimmung keinerlei diplotische Erscheinungen mehr erzeugen würden.

(*Versuch 10.*) Von 2 Männerstimmen wird mit möglichst gleicher und konstanter Tonhöhe und Vokalität ein O gesungen. Bei Verteilung an die beiden Ohren wird neben den beiden dichotischen O-Klängen rechts und links für Augenblicke auch ein diplotisches O gehört, nämlich offenbar dann, wenn den Sängern die Angleichung ihrer Stimmen grade gelingt. Ein A und O dagegen bleiben auch bei gleicher Tonhöhe dichotisch stets vollkommen getrennt. Monotisch verschmilzt, wie Herr Geheimrat *Stumpf* gelegentlich festzustellen die Güte hatte, auch noch auf gleicher Tonhöhe gesungenes A und I zu einer eigentümlichen Vokalität, die ein einzelner Sänger wohl nicht hervorbringen kann.

(*Versuch 11.*) Ein Geräusch, z. B. Kratzen mit dem Fingernagel auf einer Streichholzschachtel, durch zwei gleichlange Schläuche beidohrig gehört, erscheint extrakraniell lokalisiert in der Mediane. 2 Geräusche — vor jeder Schlauchöffnung eine Schachtel — bleiben stets vollständig getrennt rechts und links, mag man sich noch so sehr bemühen, sie einander gleich zu machen. Es ist dies nur eine Modifikation des bekannten *Weberschen* Versuchs mit 2 Taschenuhren: man hört ihr Ticken auseinander, sobald man die Uhren auf die beiden Ohren verteilt.

(*Versuch 12.*) Auf einer Phonographenwalze wurden nacheinander aufgenommen: 1. eine Stimmgabel, 2. eine Zungenpfeife, 3. ein auf möglichst konstanter Tonhöhe gesungenes O, 4. ein Dauergeräusch (Scheuern mit geknülltem Papier auf Pappe). Von der Walze wurden ein galvanisches Negativ und von diesem 2 Positiv-Abgüsse hergestellt. Die beiden Phonogramme wurden von 2 Apparaten gleicher Konstruktion mit gleichen Membranen bei gleicher Umdrehungsgeschwindigkeit gleichzeitig wiedergegeben und durch gleich lange Schläuche diotisch abgehört. Kleine Verschiedenheiten in der Tonhöhe (Umdrehungsgeschwindigkeit), Klangfarbe (Membranen) und etwas größere Abweichungen von der Gleichzeitigkeit (Aufsetzen der Membranen) sind bei dieser Anordnung natürlich unvermeidlich. Dennoch wurde der Stimmgabelton dauernd deutlich diotisch — hallend und etwas umhüllend — gehört, der Zungenklang schon viel weniger deutlich diotisch, der gesungene Vokal nur für Augenblicke; das Geräusch aber war und blieb immer rechts und links getrennt und erschien simultan in keiner Weise anders als sukzessiv, bei abwechselndem Zuklemmen eines Schlauches.

Es ist zu beachten, daß es sich hier um ein Dauergeräusch handelt. Kurze scharfe Knälle sind vielleicht weniger heikel. — Die Klangfarbenänderungen, die Mikrophon- und Telephonmembranen, die immer etwas verschieden sind, in eine Welle hineinbringen, verhindern die diplotische Erscheinung in der Regel nicht. Immerhin sollten bei Versuchen und bei der praktischen Anwendung des zweiohrigen Hörens die symmetrischen Apparateteile möglichst ähnlich gemacht werden, da sonst leicht interkraniale Lokalisation auftritt, die die Beobachtungen sehr erschwert, wenn nicht unmöglich macht. Obertonreiche Quellen, z. B. elektrische Gabeln, sollten nie paarweise verwendet werden (vgl. Versuch 9), sondern nur einzeln in diotischer Darbietung mit vergabelten Leitungen.

Das Ergebnis dieser Versuche läßt sich kurz so ausdrücken: je unregelmäßiger die Form der Gesamtwelle, desto empfindlicher ist die diotische Verschmelzung gegen Abweichungen der beiden Reize von der Gleichheit. Einfache Sinustöne können sich ja hinsichtlich der Klangfarbe (im engeren Sinn) überhaupt nicht unterscheiden. Aber auch Instrumentalklänge erweisen sich als weniger stark individualisiert als gesungene Vokale, und diese wieder weniger als Geräusche. Die Geräusche sind unter den Wellenformen sozusagen die stärksten, charaktervollsten

Persönlichkeiten, die, ungesellig und wenig anpassungsfähig, ihre Selbständigkeit auch gegenüber nächsten Verwandten eigenwillig behaupten. Daß die Vokale, wie in der unmittelbaren Erscheinungsweise, auch in ihrem Verhalten beim dichotischen Hören, das ja nur unter künstlichen Umständen zustande kommt, in der Mitte stehen zwischen Geräuschen und musikalischen Klängen, bestätigt in willkommener Weise neuere entwicklungsgeschichtliche Anschauungen<sup>1)</sup>.

Biologisch ist die diotische Unvereinbarkeit verschiedener Geräusche außerordentlich zweckmäßig. Wir könnten sonst nicht in geräuschvoller Umgebung, etwa den Straßen der Großstadt, uns akustisch orientieren: die von mehreren Schallquellen ausgehenden Wellen ergeben ja unter natürlichen Umständen immer zugleich die äußeren Bedingungen für beidohriges und doppelohriges Hören, und wir würden statt einzelner, richtig lokalisierter, nach Helligkeit und Farbe wohlbestimmter und voneinander sich abhebender — amphotischer — Geräusche ein Chaos diplo-tischer Erscheinungen wahrnehmen, wenn beliebige Prozesse des rechten mit beliebigen des linken Organs sich zentral vereinigen könnten.

Am Schlusse seiner Tonpsychologie<sup>2)</sup> erörtert *Stumpf* ein für die physiologische Hörtheorie sehr bedeutsames Problem: wieso hören wir aus einem Zusammenklang mehrerer Instrumente die einzelnen Klangfarben heraus? Diese Fähigkeit hängt aufs engste mit den Eigentümlichkeiten des zweiohrigen Hörens zusammen, und schon *Stumpf* weist zuerst auf die Lokalisation hin. Es ist mir oft aufgefallen, daß ein mehrstimmiger Satz, etwa für Streichquartett, an Plastik verliert, sich verflacht, die Stimmen schwerer verfolgbar werden, sobald man das eine Ohr verschließt. Wie sehr hier das zweiohrige Hören dem einohrigen überlegen ist, davon kann man sich leicht durch einen einfachen Versuch überzeugen.

(*Versuch 13.*) Während der Beobachter zunächst beide Ohren fest zuhält, wird auf dem Klavier bei aufgehobenem Dämpfer ein Ton angeschlagen und zugleich, möglichst gleich hoch und gleich stark, gesungen. Sobald der Anschlag und der Stimmansatz verklungen sind, öffnet der Beobachter ein Ohr: er hört dann den Ton in einer eigentümlichen, aber einheitlichen Klangfarbe, die zwischen den bekannten des Klaviers und der Singstimme etwa die Mitte hält. Wird auch das zweite Ohr freigegeben, so springen im selben Augenblick die beiden Klangfarben auseinander, ohne daß die Klänge — wenigstens phänomenal — verschieden lokalisiert zu sein brauchen.

Bei diesem Versuch fallen nun auch die — normalerweise sicher sehr wirksamen — Hilfsmittel der Analyse weg, die *Stumpf* anführt: zeitliche Durchkreuzung der Stimmen, Erzeugungsgерäusche, Klang-

<sup>1)</sup> Vgl. *Stumpf*, VI. Kongr. d. exp. Psychol. S. 342ff.; Beitr. 8, 54ff.

<sup>2)</sup> Tonpsychol. 2, 545ff.

ansatz, Unterschiede der Höhe, Stärke und Dauer, Obertonschwebungen<sup>1)</sup>. Nur die Schwankungen der Stimme gegenüber dem ganz gleichmäßigen Klavierton<sup>2)</sup> bleiben. Aber die waren ja beim einohrigen Hören auch schon vorhanden. Was die Trennung ermöglicht, müssen also spezifisch zweiohrige Wirkungen sein. Von solchen kommen zunächst die Zeitunterschiede in Betracht, die für alle Teiltöne eines Klanges dieselben sind, aber für die beiden Klänge infolge der räumlichen Trennung der Quellen notwendig verschieden. Die einheitliche Lokalisation jeder Quelle für sich ist hier sozusagen nur eine Nebenerscheinung, die gewiß oft die Analyse erleichtert, aber nicht erst selbst bewirkt. Die Quellen können so nah benachbart sein, daß der Richtungsunterschied der Klänge nicht merklich ist. Das Wesentliche ist, daß die beiden Ohren von der einen zusammengesetzten Welle mit einem einzigen Zeitunterschied, von der andern Klangwelle ebenfalls mit einem einzigen, aber andern Zeitunterschied erregt werden. So entstehen 2 amphotische Prozesse — und Erscheinungen —, die infolge der Verschiedenheit der Wellenform — und Klangfarbe — getrennt bleiben. Die Verschiedenheit der Zeitunterschiede allein würde hierzu nicht genügen: bei identischer Wellenform ergeben zwei Zeitunterschiede, auch wenn sie stärker verschieden sind, in der Regel eine einheitliche Erscheinung von mittlerer Lokalisation. (Vgl. auch S. 91 f.) Die Verschiedenheit der beiden Wellenformen und die Geschlossenheit einer jeden in sich verhindern zugleich, daß neben den beiden Klängen noch diejenigen wahrgenommen werden, die durch das Zusammenwirken gleich hoher Teiltöne überkreuz diplotisch entstehen könnten (entsprechend Vers. 8). Weniger verschiedene Klänge verschmelzen auch beim zweiohrigen Hören, z. B. Cello und Fagott im Einklang, oder auch, bei vollendetem Zusammenspiel, Cello und Oboe<sup>3)</sup>.

#### *Nebeneinanderbestehen ein-, beid- und doppelohriger Erscheinungen*

Wir haben gefunden, daß Töne hinreichend verschiedener Frequenz, rechts und links verteilt, gleichzeitig vollständig getrennt in der für das einohrige Hören charakteristischen Lokalisation — in oder unmittelbar vor den Ohren — wahrgenommen werden. Ist auch die letzte Spur

<sup>1)</sup> Beim einohrigen Hören kommen natürlich gerade diese Hilfsmittel zunächst allein in Betracht. Man kann ferner daran denken, daß, unbeschadet einer Analyse in der Schnecke, einem Grundton mit seinen Obertönen ein verhältnismäßig einheitlicher Nervenvorgang und diesem das Phänomen der Klangfarbe entspreche. Klänge mit gleicher Grundtonhöhe würden dann aber sehr stark verschmelzen und einohrig bei Wegfall der andern Kriterien untrennbar sein, und das sind sie vielleicht wirklich. Vgl. zu dieser Frage die Diskussion zwischen Peritt und Hartridge, *Nature* **108**, 569; **109**, 76, 176, 374. 1922.

<sup>2)</sup> Stumpf, *Tonpsychol.* **2**, 350.

<sup>3)</sup> Stumpf, *Tonpsychol.* **2**, 546.

des diplotischen Hallens verschwunden, so unterscheiden sich die gleichzeitigen Töne in nichts von nacheinander gehörten: nehme ich die rechte Gabel weg, so fällt der rechte Ton fort, sonst ändert sich hinsichtlich der hier betrachteten Momente weder etwas an der Gesamterscheinung, noch an dem linken Ton. „Diplotisch“ ist also hier nur noch die Reizanordnung, die Erscheinung dagegen ist rein dichotisch oder, wenn man will „di-monotisch“, und als ihr zentral-physiologisches Korrelat müssen wir uns zwei monotische Prozesse<sup>1)</sup> denken, einen Rechts- und einen Links-Prozeß, die selbständig nebeneinander herlaufen, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen oder einen neuen — diplotischen — Prozeß zu veranlassen. Hieran ändert sich nichts, wenn auf einer oder auf beiden Seiten mehrere Töne erklingen, vorausgesetzt nur, daß ihre Frequenzunterschiede groß genug sind. *Stumpf* konnte noch, wenn jederseits 5 Töne zusammenklängen, jeden richtig dem rechten oder linken Ohr zuweisen<sup>2)</sup>. Die Analyse der beiden Mehrklänge interessiert uns hier natürlich nicht, sie ist bloß Mittel zum Zweck und wird durch die Verteilung auf zwei Ohren weder erleichtert noch erschwert. Es sind eben zwei vollständig getrennte Mehrklänge vorhanden, der eine da, der andere dort, und unter geeigneten Umständen läßt sich auch ohne jede Analyse schon sagen, der hellere Gesamtklang sei links, der dunklere rechts, genau wie bei zwei verschiedenen Geräuschen, etwa Klopfen und Kratzen. Wesentlich ist, daß über die Zuteilung nie ein Zweifel besteht. (Fehler kamen bei *Baleys* Versuchen nur ganz vereinzelt vor und nur dann, wenn die betreffenden Töne zu leise waren, um überhaupt deutlich herausgehört zu werden.) Wie einheitlich oder vielfältig jeder der beiden monotischen Prozesse auch sein mag, ihre Selbständigkeit gegeneinander bleibt davon unberührt.

Ganz ebenso wie dichotische (rechts- und links-monotische) Töne untereinander, verhalten sie sich auch zu amphotischen oder diplotischen.

(*Versuch 14.*) Werden z. B. die Gabeln 435 und 435 +  $\delta$  verteilt, und fügt man nun links eine Gabel 966, rechts 1288 hinzu, so hört man neben dem Drehton (435) die beiden dichotischen Töne rechts und links, und zwar jeden genau so, wie wenn er allein da ist.

(*Versuch 15.*) Kommt zu den verteilten 435-Gabeln auf der einen Seite eine Gabel 450 dazu, so bemerkt man — sobald man sich an die sehr rauhen Schwebungen, die die Beobachtung anfangs stören, gewöhnt hat — daß die Schwebungen rein monotisch bleiben; der Drehton ist so glatt wie vorher. (Dasselbe gilt, wenn die 435-Gabeln genau unison sind, für den ruhenden amphotischen Ton.) Indem man die einzelne

<sup>1)</sup> Wollte man die zeitliche Koexistenz und ihre Folgen — die hier eben unerheblich zu sein scheinen — betonen, so müßte man von „*einem* dichotischen Prozeß“ sprechen. Vgl. S. 100.

<sup>2)</sup> *Baley*, Zeitschr. f. Psychol. 70, 358f.; Beitr. 8, 94f.

Gabel 435 +  $\delta$  erst später hinzubringt oder die 450-Gabel zuerst allein abdämpft, überzeugt man sich leicht, daß hier weder die monotische noch die diplotische Erscheinung durch das Hinzutreten oder Wegfallen der andern in ihrer Qualität oder Intensität (!) irgendeine Änderung erfährt. Es ist zu beachten, daß hier *dieselbe* Gabel (435) mit der 2. auf der gleichen Seite (450) monotische Schwebungen und zugleich mit der Gabel der Gegenseite (435 +  $\delta$ ) einen diplotischen Drehton erzeugt! Dennoch sind die beiden Erscheinungen, und folglich auch diese Seiten der zentralen Prozesse gänzlich voneinander unabhängig.

Hieraus ergibt sich, so viel ich sehe, ein theoretisch wichtiger Schluß: der diotische Prozeß entsteht nicht nur nicht durch Überlagerung zweier monotischer Rechts- und Links-Prozesse — diese Annahme hatten wir schon oben (S. 75) abgelehnt —, er „baut sich“ überhaupt nicht „aus“ den monotischen Prozessen oder gar aus Teilen von ihnen auf. Die „primären“ Vorgänge „treten“ nicht zu einem sekundären „zusammen“, „gehen“ nicht „in ihn ein“, sind weder seine „Teile“ oder „Komponenten“, noch seine „Fundamente“, sondern nur seine *Voraussetzung*, so etwa, wie die Gedanken zweier Gegenspieler die Voraussetzung für eine Schachpartie sind. Insofern verhalten sich die monotischen Prozesse — etwa die in den Hörnerven — zum diotischen ebenso, wie die (unhörbaren) „Primärtöne“ zum (allein gehörten) schwebenden Zwischenton: auch dieser hat jene zur Voraussetzung, setzt sich aber nicht aus ihnen zusammen. Zentral würden wir also im Vers. 15 einen (monotischen) Schwebungsprozeß und einen (diplotischen) Drehtonprozeß anzunehmen haben, die sich gegenseitig nicht behindern und sich von der ihnen gemeinsamen Voraussetzung — dem gemeinsamen Reiz und peripheren Prozeß — nichts fortnehmen; so wenig, wie die Schenkel eines Winkels sich um den Scheitelpunkt streiten.

Der schon einmal erwähnte Fall zweier diotischer, hinsichtlich des Zeitunterschiedes verschiedener, im übrigen aber identischer Erregungen ist dem Vers. 15 insofern analog, als auf das eine Ohr ein einziger Reiz, auf das andere zwei (nacheinander) wirken, und als nicht immer eine einheitliche mittlere Lokalisation eintritt, sondern das Schallbild unter Umständen in zwei getrennt lokalisierte zerfällt. Daß qualitativ verschiedene Schälle beidohrig simultan nebeneinander gehört werden können, lehrt die alltägliche Erfahrung (vgl. oben S. 78). Wie aber verhalten sich gleichzeitige amphotische und diplotische Erregungen oder mehrere diplotische untereinander?

(*Versuch 16.*) Gleichlange Schläuche führen von den Ohren nach vorn, vor ihren Mündungen klingt eine Gabel 450, der beidohrige Ton erscheint in der Mediane; nahe dem linken Ohr ist die Leitung vergabelt, von hier führt ein dritter Schlauch hinter den Kopf; auf diesem Weg wird dem

linken Ohr ein gegen den ersten sehr wenig verstimmter Gabelton zugeführt, den man zweckmäßig intermittieren läßt. Man kann auch auf die Identität des amphotischen Reizes verzichten und, analog Vers. 15, zwei unisono Gabeln verteilen und auf der einen Seite eine gegen die beiden ersten verstimmte dritte zufügen. Auch wenn man statt dieser einen Zungenklang nimmt, wie in Vers. 8, bleiben die Erscheinungen dieselben. Es ist schwer, den ruhenden beidohrigen und den Drehton dauernd gleichzeitig zu hören; besonders wenn die Gabeln ungleich stark klingen, hört man leicht nur den einen oder den anderen. Beim Intermittieren der 3. Gabel blitzt aber der Drehton an den verschiedenen Stellen seiner Bahn auf, ohne daß der ruhende Ton verschwindet. Fixiert man die Aufmerksamkeit auf diesen, so scheint er einmal während jeder Drehperiode allmählich anzuschwellen und wieder auf seine normale Stärke abzusinken. Diese kurze Schwankung der Intensität (oder Fülle?) tritt offenbar immer dann ein, wenn der Drehton auf seiner Bahn den Ort des ruhenden Tones passiert, dessen Richtung vom Zeitunterschied der von Gabel 1 und 2 ausgehenden Wellen abhängt und sich daher nicht nur mit dem Anschlag, sondern auch mit der Stellung der Gabeln zu den Ohren von Versuch zu Versuch ändert. Das ermöglicht einen „unwissentlichen“ Versuch: man achtet nur auf die Stärkeschwankung und die Richtung, in der sie stattfindet — diese ist immer sehr deutlich — und bringt dann plötzlich die Gabel 3 zur Ruhe; der beidohrige Ton, der dann allein übrig bleibt, liegt dann genau an dem Ort, wo man die Intensitätsschwankung gehört hat.

Offenbar laufen also der amphotische und der diplotische Prozeß, wie im vorigen Versuch der diotische und der monotische, selbständig nebeneinander her, solange die Zeitdifferenz des diplotischen Reizpaares, die sich ja kontinuierlich ändert, von der konstanten Zeitdifferenz des amphotischen Reizpaares einigermaßen verschieden ist. Erst wenn die Reize — und Prozesse — auch in dieser Hinsicht annähernd gleich werden, beginnen die beiden Prozesse zu verschmelzen, werden völlig eins im Augenblick der absoluten Gleichheit und treten dann wieder auseinander. Diese Annahme wird durch die folgenden Versuche weiter bestätigt.

(Versuch 17.) 3 Gabeln: t, m und h; m ist gegen t, und h gegen m um ungefähr denselben kleinen Betrag (hinauf) verstimmt, so daß jedes Paar einen Drehton von annähernd gleicher Periodendauer gibt. Werden m vor das eine, t und h vor das andere Ohr gebracht, so hört man erstens die monotischen Schwebungen zwischen t und h, zweitens einen in der Richtung von t nach m und drittens einen in der entgegengesetzten Richtung — von m nach h — kreisenden Drehton. Welcher von diesen hervortritt, hängt wieder von den Stärkeverhältnissen der Gabeln ab. Die Verstärkungen treten an den Stellen auf,

wo sich die entgegengesetzt laufenden Töne begegnen, also zweimal in jeder Periode. Tatsächlich findet man ihr Tempo doppelt so schnell als das der monotischen Schwebungen; sukzessiv lassen sich beide Tempi leicht vergleichen, auch mit der Stoppuhr messen. Werden sie schneller — bei größeren Frequenzunterschieden der Gabeln —, so kann man die Drehtöne nicht mehr verfolgen, bemerkt aber noch den Ortswechsel der Verstärkungen als ein Hin- und Herpendeln; die diplotische Erscheinung klingt dann ähnlich wie Schwebungen, aber immer viel weicher als die, nun schon sehr rauhen, monotischen Schwebungen, die man gleichzeitig vor dem einen Ohr hört.

Sind die Frequenzunterschiede  $h-m$  und  $m-t$  ungleich, so lassen sich die Drehtöne, die dann ja verschiedene Umlaufgeschwindigkeiten haben, leichter durch die Aufmerksamkeit isolieren und jeder für sich „heraushören“; ja man kann, auch bei gleichzeitigem Bestehen beider Drehtöne, ihre Periodendauern mit der Stoppuhr messen, indem man auf den Beginn der Drehbewegung — den Anfang des Außenzyklus — achtet. Es ist vorteilhaft, sich den Drehton, dessen Tempo gemessen werden soll, erst allein vorzuführen. So bestimmte mein Sohn, dem das Herausheören besser gelingt als mir, an der komplexen Erscheinung die Periodendauer von  $m-t$  zu 0,115 Sek. (einzeln 0,115), die von  $h-m$  zu 0,25 Sek. (einzeln 0,3), die der Schwebungen zu 0,45 (einzeln monotisch 0,417). Die Einzelmessungen bestätigen, daß die Dauer der Schwebungsperiode (0,417) gleich ist der Summe der Drehtondauern (0,415). Aus all dem kann die Selbständigkeit der 3 Prozesse gefolgert werden.

Daß die Intensitätsschwankungen immer dann stattfinden, wenn die beiden Drehtöne sich begegnen, läßt sich ebenfalls messend bestätigen. Denn es müssen, wie eine einfache Überlegung ergibt, ebensoviele solche Begegnungen in der Zeiteinheit stattfinden als monotische Schwebungen. Die Zählung der ersteren ergab nun tatsächlich genau denselben Wert wie die der letzteren (6,45 pro Sek.). Die Anzahl der Umläufe pro Sek. von  $m-t$  war 3,94, die von  $h-m$  2,6; ihre Summe (6,54) stimmt wieder gut zu der Schwebungszahl

Die in Versuch 16 und 17 beobachteten Erscheinungen lassen sich mit zwei wenig gegeneinander verstimmtten Gabeln auf Resonanzkästen gut auch einem größeren Zuhörerkreis demonstrieren. Man schlägt die Gabeln gegeneinander an und hält sie dann etwa 1 m auseinander. Der Hörer, dessen Mediane zwischen den Gabeln durchgeht, vernimmt zwei ruhende beidohrige Töne rechts und links an den Orten der Gabeln und einen Drehton, der jene periodisch verstärkt. Oder, wenn er den Komplex nicht analysieren kann, ein alternierendes An- und Abschwellen der „Gabeln“. — Dieselben Erscheinungen waren es offenbar, die von *Rostovsky*<sup>1)</sup> und später von *Stewart*<sup>2)</sup> beobachtet und als „sekundäre Maxima“ der „binauralen Schwebungen“ bei Phasenunterschieden von  $180^\circ \pm \delta$  gedeutet worden sind.

1) *Philos. Studien* 19, 557—598. 1902.

2) *Physical Rev.* (2) 3, 146—147. 1914.

(*Versuch 18.*) Wir wollen nun gleichsam die Versuche 15 und 17 kombinieren und vor das linke Ohr das Gabelpaar 435 und 450, vor das rechte Ohr das Paar 435 +  $\delta$  und 450 —  $\delta$  bringen; die Verstimmungen machen wir möglichst gleich, damit die beiden Drehtöne etwa gleiche Umlaufzeiten haben. Die Erscheinungen können wir nach den bisherigen Erfahrungen schon voraussagen: die beiden Drehtöne sind voneinander unabhängig, wenn auch in der Beobachtung nur schwer trennbar; am besten dann, wenn der eine Drehton stärker ist. Sie sind auch hier vollkommen glatt. Das ist deshalb bemerkenswert, weil die isolierten Gabelpaare 435 und 450, 435 und 450 —  $\delta$ , 435 +  $\delta$  und 450, 435 +  $\delta$  und 450 —  $\delta$  noch schnelle diplotische Pseudoschwebungen geben. Diese sind aber sehr weich und im Komplex neben den rauhen dichotischen — getrennten! — Schwebungen rechts und links nicht zu hören. Es wären also hier 8 selbständig nebeneinander verlaufende Prozesse anzunehmen: 2 monotische (Schwebungen) und 6 diplotische, nämlich 2 langsame und 4 schnelle.

#### *Stärke ein- und zweiohrig*

Von fast allen Autoren bis in die Gegenwart wird auf Grund von Erfahrungen und Versuchen, wenn nicht als von vornherein selbstverständlich, angenommen, daß ein Schall zweiohrig stärker erscheine als einohrig. Dagegen leugnet *Stumpf*, der die Frage ausführlich erörtert<sup>1)</sup>, die zweiohrige Verstärkung, und ich kann seine Beobachtungen nur bestätigen, seinen Argumenten aber kaum Neues hinzufügen. Im unmittelbaren Eindruck imponieren die den zweiohrigen Erscheinungen eigentümlichen Qualitäten: die Fülle, das Hallen, die Dichte, das Plastische leicht als Lauthheit, besonders im unmittelbaren Gegensatz zum einohrigen Hören. Man erkennt aber den Unterschied von wirklicher Verstärkung leicht, wenn man den starken monotischen Ton einer nah an das eine Ohr gehaltenen Gabel wechseln läßt mit einem schwachen amphotischen von zwei weiter entfernten verteilten unisonen Gabeln.

(*Versuch 19.*) Zwei gleichlange Schläuche in die Ohren gesteckt; ist eine Gabel vor der Mündung des einen durch Abklingen unhörbar geworden und bringt man nun die Mündung auch des andern Schlauches an die Gabel heran, so wird sie wieder hörbar. Dies sieht zunächst so aus, als würde ein eben unterschwelliger, monotischer Reiz durch Hinzutreten der Erregung des anderen Ohres überschwellig. Führt man aber beide Schläuche zu *einem* Ohr und wiederholt den Versuch, so ist der Erfolg der gleiche. Nicht also die Verdoppelung des Ohres, sondern die des Schlauches, nicht die Verbreiterung der Sinnesfläche, sondern die Vermehrung der Schallenergie macht auch im ersten Fall den Ton wieder hörbar.

<sup>1)</sup> Tonpsychol. 2, 430.

Auch wenn man vor der Schallquelle den Schlauch vergabelt, die beiden Leitungszweige dann wieder zusammen und zu einem Ohr führt, wird der Schall leiser, wenn man den einen Zweig zuklemmt, und lauter, wenn man ihn wieder freigibt. Mit einer solchen Anordnung hat man<sup>1)</sup> noch in jüngster Zeit geglaubt, die binaurale Verstärkung beobachten, ja sogar messen zu können. Dies wäre aber selbst dann nicht geschehen, wenn es wirklich gelungen wäre, Intensität und Fülle in der Beobachtung zu trennen.

(*Versuch 20.*) Bei einem Modell des Unterwasser-Richtungshörers (UWRH) werden zwei Telephone in weiten Röhren gegenläufig verschoben (Abb. 1); das Maß der Verschiebung wird auf der Skala einer Scheibe abgelesen, über die die Telephone mittels Schnurlaufs gehängt sind. Die Röhren setzen sich bis zu den Ohren des Beobachters fort. Die Lautstärken der Telephone lassen sich unabhängig voneinander durch „Parallelrohr“ variieren. Ich habe oft, an mir und andern, die einohrige Schwelle mit der beidohrigen verglichen und nie einen Unterschied gefunden: um den Schall zum Verschwinden zu bringen, muß man jedes Telefon bei beidohriger

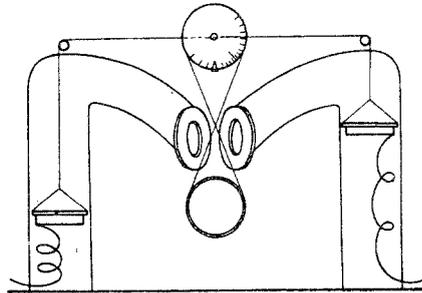


Abb. 1.

Beobachtung genau ebensoviel schwächen wie bei einohriger; hört man rechts allein und links allein nichts mehr, so hört man auch nichts beim gleichzeitigen Einschalten beider Telephone. (Diese liegen für Versuchszwecke parallel an einem einzigen schallaufnehmenden Mikrofon.) Wie alle Schwellenbeobachtungen brauchen auch diese Ruhe außen und innen: stille Umgebung, ausgeruhte Nerven, Gelassenheit und Geduld. Es kann vorkommen, daß ein bereits verschwundener Schall bei erneutem Hinhören wieder auftaucht, sei es, daß der Beobachter sich inzwischen ausgeruht hat, sei es, daß er sich an die minimalen Stärkegrade angepaßt hat — „man entdeckt erst immer wieder, daß es so schwache Schälle gibt und wie sie klingen“ (Dr. Lewin).

Ist eine Gabel, ruhig vor das eine Ohr gehalten, abgeklungen, so wird sie, hin und her bewegt, oft wieder hörbar; es ist ja physiologisch sehr wohl verständlich, daß ein intermittierender, d. h. mit Reizlosigkeit wechselnder Reiz noch bei gleicher oder geringerer Stärke wirksam ist, bei der ein Dauerreiz schon unterschwellig wird. Ehe ich hierauf auf-

<sup>1)</sup> Historische und polemische Abschweifungen verbietet die Raumnot. Aus der Beschränkung der Zitate auf das sachlich Wichtigste möge man nicht auf Nichtbeachtung der Literatur schließen.

merksam geworden war, glaubte ich, die von *Tarchanow*<sup>1)</sup> und *Preyer*<sup>2)</sup> behauptete beidohrige Wirksamkeit einohrig unterschwelliger Reize wiedergefunden zu haben.

(*Versuch 21.*) Eine Gabel war links unhörbar geworden; wurde nun eine eben noch hörbare (annähernd gleich hohe) Gabel ruhig vor das rechte Ohr gehalten und mit der linken intermittiert, so blitzte — im Tempo der Bewegungen — der diotische Ton auf. Das geschah einmal auch, wenn die rechte — überschwellige — Gabel bewegt wurde. Wird aber eine der Gabeln allein (monotisch) auch intermittierend nicht mehr gehört, so entsteht auch in keinem Fall mehr ein diotischer Ton.

Diese Beobachtungen zeigen, wie leicht man sich bei Schwellenversuchen täuschen kann. Oft wiederholte und mit aller Vorsicht kontrollierte Versuche bestätigten aber das Ergebnis *Stumpfs* und seiner Mitbeobachter<sup>3)</sup>: ist der Ton für ein Ohr „definitiv und unzweifelhaft unter die Schwelle gebracht“, dann kommt auch keine zweiohrige Erscheinung mehr zustande. Also auch hier keine zentrale Summierung der Rechts- und Linkserregungen. Dagegen könnten ein- oder beidohrige Schwebungen noch gehört werden, wenn einer oder beide Reize für sich unterschwellig wären, denn hier fände eine Summierung der Amplituden oder ihrer physiologischen Äquivalente statt.

#### *Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Stärkeunterschied der Reize*

Daß die Lautheit des Schalls auch beim zweiohrigen Hören sich gleichsinnig mit der Reizamplitude ändert, lehrt schon die tägliche Erfahrung. Der diotische Schall wird einfach schwächer, wenn man am UWRH in beide Telephonkreise gleiche Widerstände einschaltet oder verteilte Gabeln gleichmäßig von den Ohren entfernt. Daß hier kein Unterschied besteht gegenüber dem einohrigen Hören, ist nie bezweifelt worden. Um so mehr gehen die Meinungen auseinander über die Wirkungen von Stärkeunterschieden rechts und links, und zwar schon bezüglich der Tatsachen. Hier also waren vor allem sorgfältige Beobachtungen nötig.

(*Versuch 22.*) Wir verteilen wieder zwei unisone, gleichmäßig gegeneinander angeschlagene Gabeln. Bei annähernd gleicher Stärke der Reize hören wir nur den einzigen — an seiner Qualität und Lokalisation, etwa in der Mediane vorn, kenntlichen — zweiohrigen Ton und gar nichts von „den Gabeln“. Während wir nun die eine Gabel ruhig vor das linke Ohr halten (nicht zu nah!), entfernen wir die rechte

<sup>1)</sup> Petersburg. med. Wochenschr. 3, 353. 1878.

<sup>2)</sup> Sitzungsber. Jenaische Ges. f. Med. u. Naturwiss. 1879.

<sup>3)</sup> Tonpsychol. 2, 439.

allmählig in der Ohrenachse und beobachten dabei aufmerksam den zweiohrigen Ton, was wir uns durch Intermittieren mit der rechten Gabel erleichtern können. Der erste Eindruck ist, daß der diotische Ton leiser und schließlich unhörbar wird, und diese Stärkeabnahme läßt sich auch immer wieder feststellen. Dennoch erscheint sie etwas anders als z. B. bei einer einfach ausklingenden Gabel: der Ton entdinglicht sich, löst sich in den Grund hinein auf, wie Sonnenkringel auf dem Boden, wenn eine vorbeiziehende Wolke Licht und Schatten verwischt; es ist mehr der Grad des Daseins, was abnimmt, denn die Stärke. Ist der zweiohrige Ton verschwunden, so bleibt der monotische „Gabelton“ allein übrig. Um nun diesen zu beobachten, kehren wir den Versuch um: wir halten die mittelstark angeschlagene — linke — Gabel vor das Ohr und fixieren die Aufmerksamkeit auf sie, während wir die rechte Gabel, zuerst in ziemlich großer Entfernung, quer durch die Ohrenachse bewegen. Ist die linke Gabel wesentlich stärker als die rechte, so wird sie dauernd gehört, und es ist sehr schwer zu sagen, ob sie im Augenblick, wenn der diotische Ton auftaucht, schwächer zu werden scheint. Eine geringe Schwankung glaube ich an dem monotischen Ton wohl zu bemerken, ob sie aber als Änderung der Stärke anzusprechen ist, wage ich nicht zu entscheiden. Ganz anders wird die Sache, wenn beide Reize sich der Stärkegleichheit nähern: dann verschwindet der „Gabelton“, sobald der zweiohrige auftaucht, bis auf einen kümmerlichen Rest oder vollständig; bei langsamem Intermittieren der rechten Gabel ist es, als ob die beiden Töne abwechselnd einer den andern ausbliesen. Sind die Gabeln ein wenig gegeneinander verstimmt und man verfolgt den (unterbrochenen) Drehton neben dem (dauernden) einohrigen, so sind beide noch getrennt nebeneinander zu hören, wenn der Drehton in der Ohrenachse angelangt ist: er erscheint dann in derselben Richtung, aber weiter weg als der „Gabelton“.

Theoretisch am wichtigsten ist die Tatsache, daß mit zunehmendem Reizunterschied die zweiohrige Erscheinung zurück- und die einohrige hervortritt. Diesem Verhalten der Erscheinungen muß das der zentralen Vorgänge, wie immer man es sich denken mag, entsprechen.

Der Stärkeunterschied an beiden Ohren ist meist als bestimmend für die wahrgenommene Schallrichtung angesehen worden. Früher hielt man ihn sogar für die einzige Ursache, aber auch heute noch wird ihm wenigstens eine bescheidene Nebenrolle neben dem Phasen<sup>1)</sup> oder dem Zeitunterschied<sup>2)</sup> zugebilligt. Wenn nun auch erwiesen ist, daß reine Zeitunterschiede klare und bestimmte Richtungseindrücke

<sup>1)</sup> *Stewart*, *Physical Rev.* (2) **15**. 1920; *Halverson*, *Americ. Journ. of Psychol.* **33**, 178—212. 1922; *Hartley and Fry*, *Physical Rev.* (2) **13**. 1921.

<sup>2)</sup> *Kunze*, *Physikal. Zeitschr.* **22**, 649. 1921; *Hecht*, *Die Naturwissenschaften* **10**, 107. 1922.

auslösen<sup>1)</sup>), die sich sogar gegen entgegengesetzt gerichtete Intensitätsgefälle durchsetzen, Intensitätsunterschiede dagegen die scheinbare Winkelrichtung nur unter bestimmten künstlichen Umständen und dann anscheinend regellos beeinflussen, so stand doch noch nicht fest, wie ein Stärkegefälle eigentlich wirkt, ob es den Zeitfaktor unterstützen oder stören kann, ob überhaupt beide Momente, wenigstens der Art nach, gleich funktionieren. Diese an sich, besonders aber für jede Theoriebildung sehr unbehagliche Lage der Dinge scheint sich nun bei genauerer Beobachtung der Erscheinungen zu klären. Erfreulicherweise haben Versuche, die *Halverson* etwa gleichzeitig mit meinen, aber ganz unabhängig, mit andern Schallquellen, Hilfsmitteln und wohl auch etwas anderer theoretischer Einstellung vorgenommen hat, zu genau den gleichen Ergebnissen geführt. Die von ihm und seinen Mitbeobachtern aufgezeichneten Selbstwahrnehmungen stimmen zum Teil sogar wörtlich mit meinen eigenen Protokollen überein.

(*Versuchsreihe 23.*) Ich benützte Metronomschläge -- *Halverson* Töne —, die durch eine vergabelte, in ihren Zweiglängen veränderliche Leitung den Ohren zugeführt wurden.

Sehr bequem ist der UWRH (Abb. 1, S. 293). Es ist aber ratsam, alle entscheidenden Beobachtungen mit einer physikalisch ganz durchsichtigen Anordnung nachzuprüfen, die Telephone und Mikrophone vermeidet. In eine vor der Quelle vergabelte Leitung wurden deshalb Posaunenröhren eingeschaltet und die zu diesen führenden weichwandigen Schläuche nach Bedarf mit Klemmschrauben zugedrückt.

Sind beide Leitungen gleich lang, so daß der beidohrige Schall — extrakraniell vorn — in der Mitte gehört wird, und man schwächt allmählich den Reiz rechts, so *kann* man bei größeren Stärkegefällen, wie sie beim natürlichen Hören nie vorkommen, und nur bei solchen, das Schallbild nach links auswandern hören, ähnlich wie bei Verkürzung der linken Leitung. Aber dieser Eindruck stellt sich nicht so regelmäßig ein, wie bei Änderung des Zeitunterschiedes. Es gab Versuchstage, an denen er bei mir immer auftrat, und andere, an denen er ebenso hartnäckig ausblieb. Dann blieb das Schallbild dauernd in der Mitte, bis es, bei sehr großem Intensitätsunterschied, plötzlich auf die stärker erregte Seite — in die Leitung nah vor dem linken Ohr — sprang. Manche Beobachter bemerkten zwar die Bewegung, sie schien aber undeutlich, und die ganze Erscheinung war unklar und schwer zu beobachten. Auch tritt sie nie sofort mit Beginn der Schwächung ein, sondern man bemerkt erst, wenn schon ein gewisses Stärkegefälle erreicht ist, daß das Schallbild nicht mehr in der Mediane, sondern etwas seitlich ist. Und nie geht die Wanderung über einen mittleren Winkel — etwa  $30^\circ$  — hinaus. Einer Versuchsperson (K.) gab ich, nachdem sie das Wandern beobachtet

<sup>1)</sup> v. *Hornbostel* und *Wertheimer*, Berlin. Ber. 1920, S. 392f.

hatte, die (sinnlose) Weisung: „Achten sie jetzt auf die Änderung der Klangfarbe!“ Das genügte, daß im nächsten Versuch das Schallbild in der Mitte blieb, bis der eine Reiz, wie wir nachher feststellten, unterschwellig geworden war.

Die Lokalisationsänderung kommt also nur zustande, wenn man auf sie eingestellt ist — ganz im Gegensatz zu der durch Zeitunterschiede bedingten.

Genauere Betrachtung verdienen die Erscheinungen beim „Überspringen“ des Schallbildes auf die Seite. Gleichgültig, ob scheinbare Wanderung vorangegangen ist oder nicht, der Schall also in der Mitte steht oder etwas seitlich, zeigt sich, wenn der eine Reiz langsam und vorsichtig noch weiter geschwächt wird, folgendes: der Schall verändert sich qualitativ, er verliert an Schärfe des Umrisses, Dichte, Dinglichkeit, er wird flaumig, mulmig, wolkig, verwaschen; kurz, die für die zweiohrigen Erscheinungen charakteristischen Eigentümlichkeiten gehen in die Kennzeichen einohriger Schälle über. Dabei breitet sich die Schallmasse von dem „diotischen Ort“ — vorn, in größerer Entfernung — etwas gegen den Kopf zu aus. Zugleich erscheint eine zweite Schallmasse, die zunächst von dem „monotischen Ort“ — nah vor dem einen Ohr — gegen die erste zu ausgebreitet ist, sich dann aber zusammenzieht, während die erste verschwindet. Dieser Vorgang macht oft den Eindruck, als ob der Schall von dem einen zum andern Ort hinüberfließe, besser: sich wie ein Regenwurm hinüberschiebe. Das ist aber keine deutliche Bewegung<sup>1)</sup> wie die eines Drehtons und wird auch nicht immer so wahrgenommen, sondern nur, wenn man mit der Einstellung beobachtet, daß ein einziger Schall seine Stellung im Raum ändere. Sonst verblaßt und verschwindet einfach der eine Schall vorn, während der andere seitlich auftaucht und erstarkt. Der ganze Vorgang, der bei schneller Stärkeänderung als Überspringen erscheint, spielt sich innerhalb eines engen Stärkebereiches des geschwächten Reizes, etwas oberhalb seiner Schwelle, ab. Wird auf der einen Seite ein anfangs unterschwelliger Reiz allmählich verstärkt, so verlaufen die Erscheinungen ebenso, nur in umgekehrter Reihenfolge.

Am UWRH bestimmte ich den Punkt, wo der seitliche Schall eben auftaucht (oder eben verschwindet), und den, wo der vordere Schall eben verschwindet (oder eben erscheint): jener lag bei Stufe 7, dieser bei Stufe 9—10 der Parallelohmkala; zwischen 7 und 9—10 wurden beide Schälle zugleich gehört. Die Hörschwelle lag zwischen Stufe 11 und 12.

Die Tatsache, daß die Einführung eines starken Intensitätsgefälles, während der Zeitunterschied konstant gleich Null gehalten wird, ein

<sup>1)</sup> „A ‚cloud of sound‘ gathers at the first image on the side toward the aural axis, ‚stretching out vaguely‘ toward the axis. Subsequently this ‚cloud draws up‘ about the image at the aural axis. The total phenomenon gives the impression of movement without actual movement.“ *Halverson*, l. c. 205.

scheinbares Wandern des Schallbildes aus der Mediane auf die Seite des stärkeren Reizes bewirken kann, brachte *Kunze*<sup>1)</sup> auf den Gedanken, die Wirkung eines Zeitunterschiedes durch die Gegenwirkung eines Stärkegefälles zu kompensieren. Der Beobachter hatte also die Aufgabe, das durch Verkürzung der einen Leitung in eine bestimmte Seitenrichtung eingestellte Schallbild durch Schwächung des Reizes auf eben dieser Seite in die Mitte zurückzubringen, oder umgekehrt bei einem vorgegebenen Stärkegefälle den Weg des stärkeren Reizes zu verlängern, bis wieder Medianlokalisation erreicht war. Auf diese Weise sollten die den Zeitunterschieden äquivalenten Intensitätsverhältnisse gemessen werden. Die Versuche der zweiten Art erwiesen sich als subjektiv leichter und lieferten etwas regelmäßigere Ergebnisse. Allein auch hier waren die Werte nicht nur für verschiedene Beobachter, sondern auch für denselben Beobachter in den einzelnen Versuchsreihen außerordentlich verschieden. Diese Erfahrungen bestätigten sich durchaus, als ich die Versuche — wie *Kunze* am UWRH — wiederholte.

(*Versuchsreihe 24.*) Um ganz sicher zu gehen, wandte ich ein unwissentliches Verfahren an: ich gab dem Beobachter, der die Augen schließen mußte und Zweck und Art der Versuche nicht kannte, nur auf, durch Verschieben der Telephone auf „Mitte“ einzustellen; vorher machte ich bald bloß die Weglängen, bald bloß die Intensitäten ungleich. Sehr charakteristisch verlief eine Reihe mit Herrn Dr. *Lewin*, der noch nie an einem Richtungshörer beobachtet hatte. Gleich die erste Mitteneinstellung bei Stärkegleichheit gelang tadellos. Bei einer mäßigen Schwächung rechts (3 Stufen) stellte er auf „7° rechts“ ein, d. h. er verkürzte die rechte Leitung um 2,5 cm, fühlte sich aber dabei „nicht ganz sicher“. Bei den nächsten beiden Versuchen war links geschwächt worden (5 und 7 Stufen), trotzdem brachte er die Telephone beide Male auf „0“ (Weglängen-Gleichheit), und die Mitteneinstellung erschien ihm selbst „ziemlich genau“. Schwächung rechts (7 Stufen) wurde dann wieder mit „10° rechts“ (3,7 cm) ausgeglichen, wobei der Schall „hinten“ und die Einstellung „nicht sehr genau“ erschien.

Dieses Beispiel lehrt zur Genüge, daß von einer wirklichen Kompensation des Stärkegefälles durch einen Zeitunterschied nicht die Rede sein kann. blieb doch in 2 Fällen das Intensitätsgefälle überhaupt wirkungslos, und wo es wirkte, erzeugte es subjektive Unsicherheit, obwohl der Beobachter von deren Ursache keine Ahnung haben konnte.

Die Asymmetrie der Wirkung einer Schwächung des rechten oder linken Reizes, die hier besonders auffallend ist, zeigte sich in verschiedenem Grade bei allen Beobachtern, auch denen *Kunzes* und *Halversons*. Vgl. unten S. 98.

<sup>1)</sup> Physikal. Zeitschr. 22, 649. 1921. Herr Dr. *Kunze* hatte die Freundlichkeit, mir seine noch unveröffentlichten Versuchsprotokolle zur Durchsicht zu überlassen.

(*Versuchsreihe 25.*) Den Einfluß ungleicher Stärken auf die diotischen Erscheinungen bei Gegenwart eines Zeitunterschiedes untersuchte ich auch mit der Posaunenordnung (s. Vers.-R. 23). Das Schallbild wurde durch Posaunenauszug nach etwa  $30^\circ$  oder  $70^\circ$  rechts oder links gebracht und dann bald der eine, bald der andere Schlauch allmählich zugeklemmt und wieder freigegeben. Es treten in allen Fällen dieselben Erscheinungen auf, wie sie bei Zeitgleichheit (in Vers.-R. 23) zu beobachten waren<sup>1)</sup>: bei einem bestimmten — sehr steilen — Intensitätsgefälle erscheint vor dem stärker gereizten Ohr ein zweiter Schall und nimmt schnell an Lebhaftigkeit zu, während der erste an seinem Ort erstickt. Während dieser sehr engen Zone der Reizstärken-Änderungen können beide zugleich oder mit wandernder Aufmerksamkeit — besser: mit wechselnder innerer Hinwendung — abwechselnd wahrgenommen werden. Von einem eigentlichen Wandern des Schallbildes konnte ich hier nie etwas bemerken<sup>2)</sup>. Die Ausstrahlung der Schallmasse während des Übergangsstadiums war besonders deutlich zwischen dem stark seitlichen diotischen Ort ( $70^\circ$ ) und dem Ohr der Gegenseite.

Bevor wir dieses Ergebnis theoretisch zu deuten versuchen, ist noch eine Frage experimentell zu klären. Von der Schallquelle zu jedem Ohr führt eine vergabelte Leitung, in der zwei Posaunen liegen (Abb. 2).

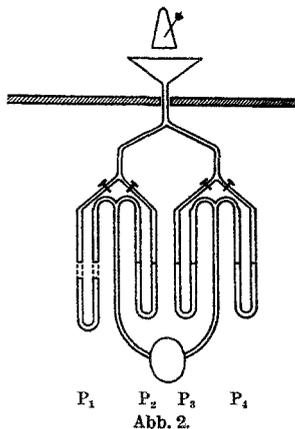


Abb. 2.

Zu den Versuchen würden 3 Posaunen ausreichen, die symmetrische Anordnung ist aber bequem und auch physikalisch einwandfreier. Auf der einen Seite werden also immer beide Posaunen auf gleiche Länge eingestellt, oder die eine wird durch Zuklemmen der Schlauchleitung ausgeschaltet.

Verschiedene Einstellung der beiden gleichseitigen Posaunen wirkt nun, wie Versuche gezeigt haben<sup>3)</sup>, so wie eine einzige auf den Mittelwert eingestellte Posaune. Ist z. B. der Wegunterschied  $d_1$  zwischen  $P_1$  und  $P_3 = 0$ , so daß  $P_1 P_3$  allein zusammen Mitten-Lokalisation ergeben würden,  $P_2$  aber um 21 cm länger als  $P_3$ , —  $d_2 = 21$  cm, Lokalisation  $90^\circ$  rechts —, so wird der Schall beim Zusammenwirken

<sup>1)</sup> Ebenso wieder *Halverson*, S. 207 ff.

<sup>2)</sup> Dies scheint auch *Halverson* und seinen Mitbeobachtern so gegangen zu sein. Hieraus wird auch verständlich, warum „Kompensation“ eines Zeitunterschieds durch ein entgegengerichtetes Intensitätsgefälle so viel schlechter gelingt, als die umgekehrte Aufgabe. Es ist leichter, die durch den inadäquaten Faktor bewirkte Lokalisation durch einen anständigen Richtungseindruck aufzuheben, als diesen, wenn er einmal da ist, zu stören.

<sup>3)</sup> Berlin. Ber. 1920. S. 391.

aller drei Posaunen in  $30^\circ$  rechts gehört; dort hört man ihn aber auch, wenn  $P_1$  (oder  $P_2$ ) allein (oder beide) auf 10,5 cm ausgezogen und mit  $P_3$  zusammen eingeschaltet sind —  $d_3 = (d_1 + d_2) / 2$ . (Diese Einstellung ist in der Abbildung angedeutet.) Auf das linke Ohr wirken zwei nur zeitverschiedene Reize<sup>1)</sup>, und jeder von ihnen gibt mit demselben Reiz rechts eine diotische Erscheinung, die aber meist zu einer einzigen verschmelzen. Manchmal freilich setzt sich der eine Zeitunterschied —  $d_1$  oder  $d_2$  — allein durch. Es ergibt sich die Frage: Wie hängen die Erscheinungen von dem Stärkeverhältnis der beiden „diotischen Reize“ ab? — wobei unter „einem diotischen Reiz“ ein Rechts- und Links-Paar verstanden ist, hier also der durch  $P_1 P_3$  oder  $P_2 P_3$  gelieferte.

(*Versuch 26.*)  $P_2$  und  $P_3$  stehen auf 0,  $P_1$  ist auf 15 cm ausgezogen. Der Schall wird durch  $P_2 P_3$  allein in der Mitte gehört ( $d_2 = 0$ ), durch  $P_1 P_3$  allein in etwa  $45^\circ$  rechts ( $d_1 = 15$ ), durch  $P_1 P_2$  und  $P_3$  zusammen in etwa  $20^\circ$  rechts ( $d_3 = 7,5$ ). Wir verschließen nun  $P_2$  erst vollständig — das Schallbild erscheint in  $45^\circ$  rechts — und öffnen dann die Klemmschraube allmählich, setzen also zu dem beidohrigen Rechtsreiz einen Mittenreiz in zunehmender Dosis zu: das Schallbild geht zu immer kleineren Winkeln über, erreicht schließlich die Mitte und bleibt da. Schrauben wir nun  $P_2$  allmählich wieder zu, schwächen also den Mittenreiz, so scheint das Bild wieder nach rechts zurückzuwandern, die Bewegung ist aber, besonders im Anfang, zögernd und unbestimmt, die Lokalisation überhaupt nicht so klar, wie bei *Zusatz* von  $d = 0$ . Verschließt man dagegen erst  $P_1$  ganz — Schallbild in der Mitte — und öffnet diese Leitung *allmählich*, setzt also zu dem Mittenreiz den Rechtsreiz zu, so bemerkt man überhaupt keine Wanderung, das Bild bleibt in der Mitte, auch wenn die  $P_1$ -Leitung schon ganz offen ist. Wird der  $P_1$ -Schlauch aber mit den Fingern zugeklemmt und *plötzlich* freigegeben, so springt das Bild aus der Mitte nach  $20^\circ$  rechts. Man kann durch Zukneifen und Öffnen den Schall zwischen den beiden Orten wechseln lassen, genau wie einen zweiohrigen mit einem einohrigen. Ja, der beidohrige Doppelschall (z. B. in  $20^\circ$  rechts) zeichnet sich auch qualitativ vor den einfach beidohrigen (in der Mitte oder in  $45^\circ$  rechts) durch größere Fülle und Sonorität aus, wie ein einfach diotischer vor einem monotischen.

Der Versuch bestätigt die Erfahrung, daß ein Mittenreiz wirkungskräftiger ist als ein Seitenreiz; jener setzt sich leichter durch, wenn er zuerst allein geboten und der Seitenreiz allmählich, einschleichend, zugefügt wird, und bleibt selbst dann überlegen, wenn er geschwächt wird.

Die Erscheinungen nähern sich denen der Versuchsreihe 23, in denen ein Stärkegefälle bei Mittenlokalisierung eingeführt wurde, noch mehr,

<sup>1)</sup> Davon ist bei Geräuschen (monotisch) nichts zu merken; bei Tönen hängt natürlich die Intensität von der Interferenz der beiden Wellen ab.

wenn mit dem Mittenreiz ein „Überwinkelreiz“ ( $d > 21$ ) kombiniert wird:

(*Versuch 27.*)  $P_1$  ist auf 50 cm ausgezogen,  $P_2$  und  $P_3$  stehen auf 0. Durch  $P_1 P_3$  allein wird der Schall ganz rechts gehört, bei allmähligem Öffnen von  $P_2$ , also Zusatz des Mittenreizes, wandert er *nicht*, erscheint aber bei einem bestimmten Stärkeverhältnis in einem mittleren Rechtswinkel (etwa  $30^\circ$ ) und geht bei weiterer Verstärkung des Mittenreizes durch „Regenwurm-Bewegung“ in den Mittenschall über, d. h. der Schall in der Mitte tritt hervor, während der Seitenschall verschwindet. Der Mittenreiz erweist sich also dem Überwinkelreiz noch stärker überlegen, als dem Seitenreiz im vorigen Versuch.

Wir können nunmehr die ganze Gruppe der Erscheinungen bei Einführung eines Intensitätsgefälles einheitlich deuten. Ist ein diotischer Schall gegeben, gleichgültig ob in Mitten- ( $d = 0$ ) oder Seiten-Lokalisation ( $0 < d < 21$ ), und die Schallstärke wird einseitig herabgesetzt, so tritt zu dem diotischen Reiz ein monotischer hinzu. Die den Reizen entsprechenden Prozesse können, aber müssen nicht, verschmelzen und eine mittlere Lokalisation ergeben. Mit zunehmendem Intensitätsgefälle wird der monotische Reiz immer wirksamer: falls die Prozesse verschmelzen, scheint dann das Schallbild aus der Mitte nach der Seite zu wandern, gelangt aber nur bis zu  $30^\circ$ , jenem scheinbaren Winkel, der  $d = k/2$  entspricht<sup>1)</sup>. Hieraus geht hervor — was nicht von vornherein selbstverständlich ist —, daß Überwinkelreize ( $d > k$ ) auch zusammen mit normalen diotischen Reizen ( $d < k$ ) so wirken, wie der normale Grenzreiz ( $d = k$ ). Mit diesem ist also nicht nur im Phänomenalen eine unüberschreitbare Grenze — extrem seitliche Lokalisation — erreicht, sondern auch im Funktionellen: bei weiterer Vergrößerung des Zeitunterschiedes ändert sich die ihm entsprechende Seite des zentralen Prozesses nicht mehr. Denken wir uns nun den Zeitunterschied extrem vergrößert, so tritt an die Stelle einer diotischen Erscheinung das Nacheinander zweier monotischer (s. u.). Man kann also den „allmählich neben dem diotischen hervortretenden monotischen Reiz“ in den Versuchsreihen 23—25 als einen extremen Überwinkelreiz ansehen, der unter geeigneten Umständen mit dem diotischen ebenso zusammenwirkt, wie der Überwinkelreiz in Versuch 27. Besser: bei zunehmendem (aber noch nicht sehr steilem) Intensitätsgefälle spaltet sich aus dem diotischen allmählich ein monotischer Prozeß ab und der Gesamt-Prozeß hat in diesem Stadium einen ähnlichen Charakter, wie der Prozeß, der einem diotischen Doppelschall entspricht.

Ist der an sich wirkungsschwächere monotische Reiz im Verhältnis zum diotischen schon sehr erstarkt, so werden beide Schälle nebenein-

<sup>1)</sup>  $k$  bedeutet den Zeit- oder Wegunterschied ( $0,63 \sigma$  oder 21 cm), bei dem extreme Seitenlokalisation ( $90^\circ$ ) eben erreicht wird.

ander gehört — Wirkungsgleichgewicht —, aber auch der diotische hat sich dann in seiner Qualität schon einem monotischen angenähert<sup>1)</sup>. Endlich wird der diotische unterschwellig, und der monotische bleibt allein übrig.

*Abhängigkeit der zweiohrigen Erscheinungen vom Zeitunterschied der Reize*

Werden die Wellen, die das rechte und linke Ohr treffen, von der Gleichzeitigkeit an zunehmend gegeneinander verschoben, so scheint der zweiohrige Schall aus der Mediane heraus nach der Seite der vorlaufenden Welle zu wandern; bei einer Zeitverschiebung von  $0,63 \sigma$  erreicht er die Ohrenachse und verbleibt von da an — im „Überwinkel“ — in dieser Richtung. Die Qualität des Schalles ist hier von der bei Mittenlokalisation ( $d = 0$ ) charakteristisch verschieden: unschärfer, ausgedehnter, breiiger, unklarer, unbestimmter lokalisiert, weniger gegenständlich<sup>2)</sup>. Man kann die beiden Erscheinungsweisen bequem vergleichen, wenn man (möglichst tiefe) unisono und phasengleich schwingende Gabeln verteilt und dann durch Drehung der einen die Phasendifferenz plötzlich auf  $180^\circ$  bringt. Je tiefer die Töne, desto weiter führt die Zeitverschiebung ( $d = \lambda/2$ ) in das Überwinkelgebiet hinein. Die qualitative Änderung bei steigendem Zeitunterschied geht also von der charakteristisch zweiohrigen Erscheinungsweise in Richtung auf die einohrige. Bei kurzdauernden Reizen würde ja die Verlängerung der Zwischenpause schließlich zu einem Nacheinander zweier einohriger Schälle auch in der Wahrnehmung führen.

Aber auch bei Dauerreizen kann man, analog wie bei den Frequenz- und Stärkeunterschieden, fragen: Wie groß muß der Zeitunterschied sein, damit der Schall in rein „monotischer Qualität“ erscheint? Die experimentelle Beantwortung bereitet erhebliche Schwierigkeiten: sehr große Verlängerung der Leitung auf der einen Seite schwächt den Schall, ändert auch die Klangfarbe; Verstärkung der Quelle macht ihn leicht interkranial; sehr tiefe Töne haben an sich etwas Umhüllendes, diffus Ausgedehntes. Alle diese Faktoren wirken in derselben Richtung wie die Vergrößerung der Zeitverschiebung, nach der allein gefragt ist. Bei einem Weglängenunterschied von 1 m ( $3 \sigma$ ) fand ich den beidohrigen Schall (Klopfgeräusch) vom einohrigen im Sukzessivvergleich noch merklich verschieden. Bei  $60 \sigma$  wird jedenfalls schon reines Nacheinander wahrgenommen, bei etwa  $30 \sigma$  Scheinbewegung mit erkennbarer Richtung<sup>3)</sup>. Eben dieser Wert würde bei der tiefsten noch hörbaren Frequenz (16 v. d.) in Phasenopposition erreicht.

<sup>1)</sup> Halverson, der mit obertonhaltigen Klängen — durch Wechselstrom erregten Telephonen — arbeitete, beobachtete bei Schwächung auf der einen Seite einen allmählichen Übergang des einfachen (beidohrigen) Tones in den reichen (einohrigen) Klang. Nach den Erfahrungen an diplotischen Klängen (S. 76 f.) muß man annehmen, daß hier Klangfarbenverschiedenheit der beiden Telephone mitgespielt habe. Die Beobachtung bestätigt aber unsere Auffassung des Intensitätseinflusses aufs beste.

<sup>2)</sup> Halverson (S. 183 f.) und seine Mitarbeiter fanden den Eindruck „vague, diffuse, difficult to localize; scrambled, piled up with an umbrage of surplus sound.“

<sup>3)</sup> Nach Vorversuchen von Wertheimer und mir (1915), die nur einer beiläufigen Orientierung dienen sollten.

Neuerdings hat *Halverson* die Änderung des „Volums“ mit der Zeitverschiebung untersucht<sup>1)</sup>. Er fand von  $d = 0$  bis  $d =$  etwa 11 cm einen steilen Abfall, dann bei größeren  $d$ 's bis  $\lambda/2$  wieder eine allmähliche Zunahme des scheinbaren Volums. Dieser Anstieg setzte noch nicht bei  $d = 11$  ein, sondern erst später, bei einem der drei Beobachter (B.) fast genau bei  $d = 21$ . Der Verlauf der Kurve und besonders ihr Zerfall in zwei getrennte Äste läßt vermuten, daß die Urteilshinsicht nicht einheitlich gewesen sei: es sieht so aus, als wäre erst die abnehmende Dichte der beidohrigen Erscheinung, dann — im Überwinkelgebiet — die zunehmende diffuse Ausdehnung des mehr und mehr monotonisch werdenden Tones als „Volum“-Änderung aufgefaßt worden. (Die Beobachter waren durch Beurteilung des Volums verschieden hoher Töne vorbereitet worden, was ein Drittes sein mag.) Der Übergang vom rein diotischen zum vorwiegend monotonischen Charakter der Erscheinung könnte trotzdem ganz allmählich geschehen, aber jener würde nur bei kleinen, dieser nur bei übergroßen  $d$ -Werten merklich hervortreten; im Gebiet dazwischen wären beide gleich wenig ausgeprägt<sup>2)</sup>.

Bei Tönen erfolgt, wenn die kontinuierlich wachsende Zeitverschiebung die Dauer einer halben Schwingung erreicht ( $d = \lambda/2$ ), ein Wechsel des Vorzeichens: das Schallbild geht von der einen auf die andere Seite über. Drehtöne sind für die genauere Beobachtung dieses Überganges ungeeignet, denn der Ton wird meist während des ganzen Innenzyklus, und oft noch etwas länger, auf der Ankunftsseite — vor dem Ohr, auf das die höhere Gabel wirkt — gehört, auf der Gegenseite aber erst dann bemerkt, wenn er schon wieder im Begriff ist, zur Mitte zurückzuwandern.

(*Versuch 28.*) Mit der einfachen Posaunenordnung und durch Interferenz gereinigten Tönen verschiedener Höhe fand ich, in Übereinstimmung mit *Halverson*<sup>3)</sup>: Schon ehe  $d = \lambda/2$  erreicht wird, erscheint auf der Gegenseite ein zweites Schallbild, das, erst leise, allmählich zunimmt, während das erstere schwächer wird und endlich verschwindet; bei  $d = \lambda/2$  haben beide gleiche Stärke. Bei Tönen oberhalb 800 v. d., wo kein Überwinkelgebiet mehr existiert und der Seitenwinkel bei  $d = \lambda/2$  kleiner ist als  $90^\circ$ , hört man bei ganz langsamem Ausziehen der einen Posaune den Ton auf der Gegenseite auftauchen und auf die Mitte zuwandern, während der erste, von der Mitte wegwandernde Ton noch da ist.

<sup>1)</sup> Americ. Journ. of Psychol. 33, 526—534. 1922.

<sup>2)</sup> Es ist sehr auffallend, daß diese Zwischenzone bei allen drei Beobachtern mit  $d = \lambda/2$  einsetzt, also bei derselben Schallrichtung ( $30^\circ$ ), über die die scheinbare Wanderung bei einseitiger Schwächung nicht hinausgeht. Ich möchte hierauf aber keine weitere Hypothese gründen, ehe nicht durch eingehendere Beobachtungen der Tatbestand besser geklärt und die im Text ausgesprochene Vermutung bestätigt ist.

<sup>3)</sup> Amer. Journ. of Psychol. 33, 185 ff., 1922.

Die Erscheinungen beim Seitenwechsel sind also vollkommen denen analog, die beim Übergang von zweiohrigem zu einohrigem Hören zu beobachten sind, wenn der Frequenzunterschied (Vers.-R. 6) oder das Intensitätsgefälle (Vers.-R. 23) vergrößert werden. Wenn in der Gegend von  $d = \lambda/2$  zwei Töne rechts und links gleichzeitig gehört werden, so sind zwei nebeneinander bestehende amphotische Prozesse anzunehmen, die sich nur durch den Grad der Zeitverschiebung unterscheiden: der eine entspricht  $d_1 = \lambda/2 - \delta$ , der andere  $d_2 = \lambda/2 + \delta = \lambda - d_1$ . Bei den Versuchen mit Doppelreizen (Vers. 26) hatte sich gezeigt, daß ein Mittenreiz ( $d = 0$ ) funktionell stärker ist als ein Seitenreiz ( $d > 0$ ), dieser wieder stärker als ein Überwinkelreiz ( $d > k$ ). Hieraus erklärt sich ohne weiteres der Verlauf der Erscheinungen bei Tönen, wenn  $d$  von 0 bis  $\lambda$  wächst: während die Wirksamkeit des amphotischen Prozesses, der  $d$  entspricht, von ihrem Maximum — bei  $d = 0$  — kontinuierlich bis zu einem Minimum — bei  $d = \lambda$  — abnimmt, wächst zugleich die Wirksamkeit des  $\lambda - d$  entsprechenden Prozesses vom Minimum zum Maximum; bei  $d = \lambda/2$  wird auch  $\lambda - d = \lambda/2$  und beide halten sich die Wage. Bis in die Nähe dieses Gleichgewichtspunktes wird daher nur der eine *oder* der andere, dem kleineren  $d$  entsprechende Ton gehört, in der Zone zwischen  $\lambda/2 + \delta$  und  $\lambda/2 - \delta$  sind beide zu hören, der dem kleineren  $d$  entsprechende aber stärker. (Solange nur *ein* Ton gehört wird, ändert sich seine scheinbare Stärke nicht mit dem  $d$ , vermutlich weil die Summe der Wirkungsgrade der beiden gegenläufigen amphotischen Prozesse konstant bleibt.) Die Zone der Doppelbilder ist bei tiefen Tönen sehr eng, bei höheren wird sie breiter. Das läßt sich nach dem *Weberschen* Grundsatz<sup>1)</sup> verstehen: je größer  $\lambda$ , desto kleiner ist der Wirkungsgrad der beiden Prozesse bei  $\lambda/2$ ; hier wird also ein dem absoluten Betrage nach geringerer Unterschied der Wirkungsgrade schon dem einen Prozeß ein solches Übergewicht erteilen, daß die ihm entsprechende Erscheinung allein auftritt.

Wir verstehen nunmehr auch, warum es schwierig, ja vielleicht unmöglich ist, zwei in entgegengesetztem Sinn umlaufende Drehtöne dauernd simultan zu verfolgen (Vers.-R. 17): der Wirkungsgrad eines jeden ändert sich kontinuierlich (und periodisch) mit dem  $d$ ; sie können nur gleichzeitig erscheinen, wenn ihre Wirkungsgrade nicht zu verschieden sind, also, gleiche Stärke der Gabeln immer vorausgesetzt, in der Nähe ihrer Begegnungspunkte, und hier auf eine um so längere Strecke, je näher der Begegnungspunkt der Mediane liegt.

<sup>1)</sup> Hierunter verstehe ich den allgemeineren Satz, daß ein Unterschied eine Funktion der unterschiedenen absoluten Größen ist; das *Webersche Gesetz* verlangt noch außerdem, daß die Funktion logarithmisch sei.

*Ergebnisse und Folgerungen*

Die Versuche und Erwägungen haben gezeigt, daß ein- und zweiohriges Hören nicht nur phänomenal, sondern auch funktionell scharf zu trennen sind. Die zweiohrigen Prozesse können nicht als zentrale Überlagerungen zweier einohriger nach dem Bilde von Schwingungsvorgängen gedacht werden, denn es gibt keine diplotischen Schwebungen, Zwischentöne und Kombinationstöne. Die Entstehung der monotischen kann — aber muß nicht unbedingt — ins periphere Organ verlegt werden. Dagegen ist es unmöglich, die Entstehung der zweiohrigen Erscheinungen — extrakranielle Lokalisation in bestimmter Richtung, Drehtöne — aus irgendwelchen mechanischen Bedingungen außerhalb des nervösen Organs zu begreifen. Sie mit Rücksicht auf die metotische Knochenleitung auf Vorgänge im peripheren Einzelohr zurückführen zu wollen, wäre ein vergebliches Bemühen.

Der von Ohr zu Ohr durch den Knochen überleitete Schall wird, *wenn die Gehörgänge offen sind*, in der Regel zu schwach sein, um mit dem direkt von außen kommenden zusammenzuwirken. Auf die zweiohrigen Erscheinungen kann er keinen Einfluß haben, denn ein solcher würde sich in der Lokalisation bemerkbar machen. Angenommen, ein Momentanreiz von einer seitlich rechtsstehenden Quelle treffe auf das rechte Ohr im Zeitpunkt 0, auf das linke im Zeitpunkt  $d$ , und die Knochenleitung von Ohr zu Ohr beanspruche die Zeit  $x$ . Dann treffen links im Zeitpunkt  $x$ , rechts im Zeitpunkt  $(d + x)$  die indirekten Reize ein; es würden 4 Zeitunterschiede entstehen:  $d - 0 = d$  und  $x - 0 = x$  in der einen,  $(d + x) - x = d$  und  $(d + x) - d = x$  in der andern Richtung, und die gleichen Paare mit entgegengesetztem Vorzeichen würden sich aufheben, d. h. als beidohrige Doppelreize wirken, die beide Mittenlokalisierung ergeben würden. (Der Fall ist hier noch dadurch kompliziert, daß die Glieder der Paare physikalisch nicht gleichzeitig sind; nach bisherigen Erfahrungen ist aber ein Einfluß dieses Umstandes nicht wahrscheinlich.) Dieses Ergebnis ist unabhängig von der Größe von  $x$  ( $x \geq d$ ). Da Mittenreize physiologisch wirksamer sind als Seitenreize, hätten sie auch bei geringer Stärke die Möglichkeit, sich gegen den direkten Rechtsreiz durchzusetzen; sie müßten das um so leichter tun, je größer die Schallstärke und je weiter seitlich die Quelle, also je größer  $d$  wäre. Von diesem störenden Einfluß der Knochenleitung ist glücklicherweise weder beim gewöhnlichen Hören, noch unter künstlichen Versuchsbedingungen jemals etwas zu merken. (Allenfalls könnte man das Zurückgehen des Schallbildes zu etwas kleineren Winkeln, wenn  $d$  über  $k$  hinaus wächst — im „Überwinkel“gebiet — hierauf zurückführen.) Vermutlich ergeben die schwachen indirekten mit den starken direkten Wellen überhaupt keine diotischen Prozesse, die beiden schwachen zusammen würden aber einen diotischen Prozeß mit derselben Zeitverschiebung:  $(d + x) - x = d$ , nur mit entgegengesetztem Vorzeichen, ergeben, wie die beiden starken direkten. Gerade die Tatsachen des zweiohrigen Hörens, die mit Hilfe der Knochenleitung erklärt werden sollten, liefern also einen, wie ich glaube, entscheidenden Beweis gegen die Möglichkeit dieser Erklärung. Dies möge die etwas umständliche Auseinandersetzung mit einer weitverbreiteten Ansicht entschuldigen.

Ein- und zweiohrige Erscheinungen können gleichzeitig getrennt nebeneinander bestehen, und zwar auch dann, wenn auf jedes Ohr nur *ein* „Reiz“ wirkt. Ebenso können rechts- und links-monotische Er-

scheinungen gleichzeitig und unabhängig voneinander wahrgenommen werden (dichotisches Hören). Endlich gibt es ein Nebeneinander zweiohriger Erscheinungen. Dem psychophysischen Parallelismus zufolge nehmen wir an, daß den getrennten Erscheinungen auch getrennte zentrale Prozesse entsprechen. Es ist aber nicht nötig, diese Prozesse in räumlich getrennten Gehirnteilen verlaufend zu denken. Schon in niederen Zentren — Trapezkörper, obere Oliven — vereinigen sich Fasern aus der mächtigen Kreuzung der Acusticusbahnen mit Fasern der gleichen Seite<sup>1)</sup>. In jeder Gehirnhälfte treffen also Erregungen aus *beiden* Schnecken zusammen, wir besitzen zwei symmetrische Zentren für das zweiohrige Hören und nicht etwa für jedes Ohr ein besonderes und ein drittes übergeordnetes für beide zusammen. Eine funktionelle Asymmetrie ist dennoch möglich und sogar wahrscheinlich.

Einige Beobachtungen scheinen dafür zu sprechen, daß links-motische Prozesse und diotische Prozesse mit dem „Vorzeichen rechts“ funktionell stärker sind. 1. Ein Drehton in der Gegend von 800 v. d. verschwindet, wenn linksläufig, oft schon ehe er die Ohrenachse erreicht; rechtsläufig taucht er am Beginn des Außenzyklus oft erst bei 70° oder 60° links auf. Läßt man die rechte Gabel schnell intermittieren, so erscheint der Drehton zwischen 90° und etwa 60° links, wenn er da überhaupt gehört wird, unbewegt, d. h. immer an derselben Stelle. 2. Beim Einstellen auf 90° links mit der Posaunenanzordnung genügte manchmal schon ein Auszug rechts von 18 cm (statt 21). 3. Bei der praktischen Verwendung des Richtungshörens kam es häufig vor, daß die scheinbaren Winkel im linken Quadranten richtig oder selbst zu groß, im rechten dagegen zu klein angegeben wurden. 4. Bei allen Beobachtern war es in Versuchsreihe 24 trotz gleicher Hörschärfe beider Ohren schwerer, durch Schwächung links den diotischen Schall aus der Mitte nach rechts wandern zu lassen, als umgekehrt. 5. Hierher gehört wohl auch ein seltsames Vorkommnis bei Versuchen mit dem im Kriege verwendeten Richtungshörer: Bei Übungen pflegte der Versuchsleiter verschiedene Winkel rechts und links in bunter Folge einzustellen; die Vp. hatte mit geschlossenen Augen zu beobachten, die wahrgenommenen Richtungen mit der Hand zu zeigen und an einem Halbkreis von Pfählen in Winkelgraden abzuschätzen. Eines Tages nun gab der sehr geübte und urteilssichere Beobachter Km. zwar wie gewöhnlich alle Winkel richtig und mit großer Genauigkeit und subjektiver Sicherheit an, aber alle auf der linken Seite, auch die bei Rechtseinstellungen gehörten! (Leider mußten die Versuche an diesem Tage bald abgebrochen werden. Am nächsten Tage war die Erscheinung verschwunden und trat auch später nie mehr wieder auf.) Km. war selbst über das Ergebnis, das ihm erst am Schluß mitgeteilt wurde, äußerst überrascht. Er hatte in jenen Tagen dienstlich viel akustisch zu beobachten gehabt und dabei ausschließlich das rechte Ohr benützt. Ich lasse aber dahingestellt, ob eine Ermüdungswirkung auf das Richtungshören angenommen werden kann, obwohl auch *Flügel* von solchen berichtet<sup>2)</sup>. Eine Verwechslung von Rechts und Links kommt sonst beim Richtungshören nie vor, und auch in unserm Fall waren ja auch die Vorzeichen nicht vertauscht, vielmehr das eine vollständig ausgefallen. Da die Zeitunterschiede — die d-Werte — trotzdem vollkommen unverändert wirksam blieben, muß die ihnen entsprechende Eigenschaft der diotischen Prozesse irgendwie unabhängig sein von den Prozessen

<sup>1)</sup> H. Held, Arch. f. Anat. u. Physiol., Anat. Abt. 1893, S. 201—247.

<sup>2)</sup> Brit. Journ. of Psychol. 11, 105—134. 1920.

oder Prozeßeigenschaften, die der Unterscheidung der beiden Seiten — *Stumpfs* Momenten „p und q“<sup>1)</sup> zugrunde liegen. Durch eben diese sind aber offenbar auch die rechts- und linksmonotischen Erscheinungen unterschieden. Es wäre denkbar, daß neben jedem zweiohrigen Prozeß ein einohriger einhergeht, und daß dieser das Vorzeichen, jener nur den Richtungswinkel bestimmt. Dann ließen sich die Beobachtungen 1 bis 4 so deuten, daß sich der wirkungsstärkere linksmonotische Prozeß gegenüber dem diotischen — der an sich weder „rechts“ noch „links“ wäre — leichter durchsetzt, als ein rechtsmonotischer Prozeß. Gegen diese Annahme sprechen aber allgemeine Gründe, die sogleich dargelegt werden sollen, und die die Möglichkeit des Falles 5 geradezu fordern. 1 bis 4 werden aber auch verständlich, wenn man annimmt, daß *diotische* Prozesse mit dem Vorzeichen links wirkungsschwächer sind als solche mit dem Vorzeichen rechts. Daß linksmonotische Prozesse wirkungsstärker sind, als rechtsmonotische, würde hiermit nicht im Widerspruch, sondern im Einklang sein: beides wirkt dahin, daß die Annäherung des Diotischen an das Monotische mit steigendem d, die ja auch an den Erscheinungen nachweisbar ist (S. 94), links schneller geht als rechts.

Die Tatsache, daß der rechte und linke Hörnerv sich bereits im Althirn vereinigen, weist auf ein verhältnismäßig hohes entwicklungsgeschichtliches Alter des beidohrigen Hörens hin. Beim Auge könnte man geltend machen, das Schielen der Neugeborenen, die seitliche Augenstellung der Tiere verhindere zwar nicht die Bildung eines einheitlichen Sehfeldes, aber doch das stereoskopische Sehen, wenigstens soweit es durch die Vereinigung der Bilder bedingt ist; das doppeläugige Sehen sei daher phylogenetisch und ontogenetisch älter, als das beidäugige<sup>2)</sup>. Mit den Ohren dagegen kann man nicht schielen. Alle Geschöpfe, die überhaupt hören, haben hierfür zwei bilateral-symmetrisch angeordnete Organe und hören normalerweise immer zweiohrig. Einohriges und erst recht getrenntohriges Hören kommt nur unter ungewöhnlichen Bedingungen zustande. Es ist für den Normalen wohl unmöglich, das eine Ohr wirklich vollkommen auszuschalten, und es wird immer schwierig sein, die Vollständigkeit einseitiger Taubheit aus dem ärztlichen Befund streng zu beweisen. Reste von charakteristisch diotischen Erscheinungen — Richtungshören, Fülle — scheinen mir eher gegen vollkommene einseitige Taubheit zu sprechen, als für die Fähigkeit des Einzelohrs zu Leistungen, die mit den diotischen gleichartig wären. Auch doppelohriges Hören kommt (für sich) nur unter künstlichen Bedingungen zustande. Denn wenn in der Natur mehrere

<sup>1)</sup> Tonpsychol. 2, 52 ff.

<sup>2)</sup> Die oben (S. 66) gegebenen Bestimmungen und Fachausdrücke lassen sich ohne weiteres auf das Sehen übertragen, wenn man „ohrig“ durch „äugig“ und „otisch“ durch „optisch“ ersetzt. (Es wäre ohnedies zu wünschen, daß der abscheuliche Zwitter „monokular“ aus der wissenschaftlichen Sprache verschwände!) Dichoptisches (getrenntäugiges) Sehen käme, vom Phänomenalen her betrachtet, eigentlich nicht vor, denn auch der Schielende sieht entweder nur einäugig („Unterdrückung des andern Auges“) oder hat ein einheitliches Sehfeld („Pseudofovea“) und nicht zwei monoptische Erscheinungen. Will man nur *das* „Schielen“ nennen, dann müßte man sagen: mit den *Augen* kann man nicht schielen.

Schallquellen zugleich vorhanden sind, so liefert doch jede zunächst einen beidohrigen Reiz, und die diplotischen Erregungen, die man daneben noch errechnen mag, können sich gegen jene nicht durchsetzen und die Erscheinungen keinesfalls beeinflussen.

Sind demnach die beidohrigen Erscheinungen, Prozesse, Organe und (Normal-) Reize die ursprünglichen, so müssen Theoriebildungen und Fragestellungen von ihnen ausgehen und nicht, wie bisher, von den einohrigen. Man darf nicht jene aus diesen aufgebaut oder zusammengesetzt denken, muß vielmehr umgekehrt das monotische Hören als aus dem diotischen abgespalten auffassen. Würden bei einohrigem Hören wirklich Richtungswahrnehmungen derselben Art zustande kommen, wie beim zweiohrigen — und das ist für angeblich vollkommenen Ausschluß des einen Ohrs mehrfach behauptet worden — so wäre damit noch nicht bewiesen, daß in beiden Fällen dieselben Faktoren wesentlich wirksam sind und das zweiohrige Richtungshören auf das einohrige zurückgeführt werden müßte. Bleibt doch auch das Wesen des stereoskopischen Sehens davon unberührt, daß Tiefenwahrnehmung auch einäugig, also ohne Querdisperation, möglich ist. Auch Blinde orientieren sich, sogar ganz ausgezeichnet, im Raum; muß sich deshalb die Theorie der optischen Raumwahrnehmung auf die akustische gründen?

Durch die neue Betrachtungsweise rückt das dichotische Hören vom diplotischen, mit dem es die gleichzeitige Erregung zweier Ohren durch verschiedene Reize gemeinsam hat, ab und mit dem monotischen zusammen: es ist seiner Natur nach „di-monotisch“, ein Hören mit zwei Einzelohren, und es kommt hier nicht darauf an, daß es ihrer zwei, sondern nur darauf, daß sie einzeln sind. Man wird gut tun, auch die Terminologie diesem Tatbestand anzupassen und dem Begriff Zweiohrig (Beid- und Doppelohrig) den Begriff Einzelohrig gegenüber zu stellen, der jetzt die beiden Begriffe Einohrig und Getrenntohrig umfassen soll, deren Unterscheidung nebensächlich geworden ist. Auch die Unterscheidung von Beid- und Doppelohrig wird oft entbehrlich sein. Man kommt dann auf die alte einfache Einteilung in Ein- und Zweiohrig zurück, muß sich aber gegenwärtig halten, welche Unterfälle diese Klassen einbegreifen. Die Begriffe waren ursprünglich von der Versuchsanordnung, von den Reizen her bestimmt und auf die Prozesse und Erscheinungen erst übertragen; nun gehn sie umgekehrt von den Erscheinungen und Prozessen aus. Und da die physikalischen Vorgänge nur insofern als „Reize“ zu bezeichnen sind, als sie auf den Organismus einwirken, ist es gerechtfertigt, von *einem* „diotischen Reiz“ zu reden, wenn ein Schall auf beide Ohren trifft und eine diotische Erscheinung zur Folge hat, und von zwei *monotischen* Reizen, statt von dichotischer Reizung. Dies ist nicht müßige Wortklauberei oder ein Spiel mit Begriffen. Wörter und Begriffe zwingen unser Denken in bestimmte Richtungen und führen es besonders leicht von ungewohnten Wegen in die bequem getretenen Sackgassen zurück. Um dieser Gefahr zu entgehen, mußten wir dem Leser eine etwas schwerverdauliche Terminologie vorsetzen.

Die hier vorgeschlagene Betrachtungsweise weist die zentral-physiologische Akustik in die Richtung einer „Gestalt“-Theorie im Sinne *Wertheimers* und *Köhlers*. Für die natürliche zweiohrige Wahrnehmung sind Schälle Gegenstände, die sich als solche von der Stille oder einem

diffusen akustischen Hintergrund abheben. Schon dieses Auseinander-treten von „Figur“ und Grund ist einfachste Gestaltung<sup>1)</sup>. Phänomenal entspricht ihr der scharfe Umriß, die Dichte und die bestimmte Lokalisation der zweiohrigen Erscheinungen. Die Erscheinungsweise einzelohrigen Schalls ist dagegen mehr ungegenständlich, raumhaft<sup>2)</sup>, umhüllend, ausgebreitet, unfest, hintergründig. Einohrige Schälle — von getrenntohrigen sehen wir hier vorläufig ab — heben sich weniger voneinander ab (o. S. 78). Funktional kennzeichnet sich der Unterschied durch das, was wir „Wirkungsgrad“ genannt haben: er ist, bei gleicher Reizstärke, größer bei zweiohrigen, kleiner bei einohrigen Schällen. Jene sind „starke“, diese „schwache“, oder doch schwächere Gestalten<sup>3)</sup>. Die Übergänge der einen in die andern haben wir beobachtend verfolgt und können das Ergebnis jetzt dahin zusammenfassen: *Das zweiohrige Hören geht immer in einzelohriges über, wenn der Reiz in irgendeiner Hinsicht zu uneinheitlich wird.* (Entsprechend den früheren Erwägungen reden wir nicht mehr von zwei Reizen und deren Unterschieden, sondern von *dem* einen Reiz und seinen Gefälls-Eigenschaften.) Dieser Änderung des Reizes und der Erscheinung muß eine Änderung des zentral-physiologischen Prozesses parallel gehen, die man sich dann als Übergang von stärkeren zu schwächeren (physischen) Gestalten zu denken hätte. Die stärkste Gestalt käme einem *rein* amphotischen Prozeß zu, der in keiner Hinsicht auch nur eine Spur diplo-tisch ist; er wird von einem Reiz ausgelöst, den eine einzige in der Mediane befindliche Schallquelle liefert. Er ist in jedem Sinn der einfachste und besitzt den höchsten Wirkungsgrad. Es liegt ganz im Sinne dieser Auffassung, daß auch noch ein rein beidohriger Schall um so wirksamer ist, je höher die Frequenz, je ausgeprägter — charakteristischer, nicht im geometrischen Sinn einfacher — die Wellenform, je größer die Lautstärke und je kürzer seine Dauer ist.

Der funktionalen entspricht wiederum die biologische Auszeichnung der Mediane, dem sozusagen glattesten Ablauf des einheitlichsten, geschlossensten Prozesses, der einfachsten Erscheinung entspricht die ungezwungenste, natürlichste Richtung und Verteilung — oder eigentlich Einschränkung — der Aufmerksamkeit, die Ruhestellung des Bewußtseins. Der Kopf wendet sich unwillkürlich in die Schallrichtung, weil das Lauschen dann die geringste Mühe macht<sup>4)</sup>.

<sup>1)</sup> E. Rubin, Visuell wahrgenommene Figuren. Kopenhagen (Gyldendal) 1921; K. Koffka, Psychol. Bull. **19**, 554. 1922.

<sup>2)</sup> In einem qualitativen Sinn; vgl. den Gegensatz Konvex-Konkav. Psychol. Forsch. **1**, 154. 1922.

<sup>3)</sup> W. Köhler, Die physischen Gestalten. Vieweg, Braunschweig 1920.

<sup>4)</sup> Sicher würden Doppelhörer den Telephonistinnen ihr anstrengendes Geschäft sehr erleichtern.

Daß sämtliche diotischen Prozesse, eben als Vorgänge, in der Zeit verlaufen, ist selbstverständlich. Aber auch wenn  $d > 0$ , aber konstant ist, fallen sie noch in das „Simultanstadium“<sup>1)</sup>; sie sind stationäre, nicht dynamische Gestalten. Wir hören ja einen Schall auch außerhalb der Mediane in Ruhe; wie lange er auch dauern mag, und zwischen den  $d$ -Werten, die Seitenlokalisation, und denen, die Scheinbewegung von Ohr zu Ohr geben, liegt das ganze große Gebiet der Überwinkelreize. Der diotische Prozeß ist also auch dann einheitlich und einzig, wenn z. B. kurzdauernde Wellen mit einem kleinen physikalischen Zeitunterschied auf die Ohren treffen. Als „Reize“ sind sie dennoch „simultan“. Denn wenn wir die zentralen Prozesse von innen statt von außen, von den Erscheinungen statt von den physikalischen Vorgängen her bedenken, so müssen wir eine der physischen entsprechende *physiologische Präsenzzeit* fordern. Damit ist nicht nur gemeint, daß — in dem angeführten extremen Beispiel — der durch den ersten Anstoß eingeleitete Prozeß noch nicht zu Ende ist, wenn der zweite Anstoß eintrifft, dieser also auf ein bereits bestehendes „Feld“ wirkt; sondern das ganze Geschehen ist ein anderes, wenn der zweite Anstoß noch innerhalb des „Zeitfeldes“, als wenn er außerhalb liegt: im ersten Fall ein einheitlicher, ununterbrochener Verlauf, im zweiten Fall zwei durch eine Pause getrennte Vorgänge („Sukzessivstadium“ *Wertheimers*). Das ist bei Dauerreizen nicht anders<sup>2)</sup>; dieselbe kleine Zeitverschiebung, die physikalisch und monotonisch-peripher zu Interferenz der Wellen führen würde, bedingt eine Gestaltung des zentral-physiologischen Prozesses, die man vielleicht nicht unpassend als „Zeitspannung“ bezeichnen könnte. Es ist nun leicht zu sehen, wie mit zunehmender Zeitspannung die Form des Prozesses sich von der extrem diotischen — mit punktartigem Zeitfeld — entfernt und der monotonischen annähert, die sie vollkommen erst im Sukzessivstadium erreichen würde.

Dieselben Überlegungen ließen sich hinsichtlich der Gefälle der Frequenz, Wellenform und Lautstärke anstellen, würden aber nichts grundsätzlich Neues bieten. Es sei nur vor einem Denkfehler gewarnt, dem man öfters begegnet: man kann nicht aus der Merklichkeit eines Unterschiedes im Sukzessivvergleich auf den Grad der Spannung schließen, den „dieselben Reize“, gleichzeitig an die Ohren verteilt, ergeben; zwei im Nacheinander ununterscheidbare Geräusche bleiben

<sup>1)</sup> So hat *Wertheimer* (*Zeitschr. f. Psychol.* 61. 1912) jene hohen Geschwindigkeiten der Reizfolge genannt, bei denen noch keine Bewegung gesehen wird.

<sup>2)</sup> Fällt eine Welle von rechts auf die Mikrofonbasis des Richtungshörers, so hört man beim Einschalten des Stromes den Schall rechts, sobald man ihn überhaupt hört, obwohl die Erregungen auf beiden Ohren streng gleichzeitig anfangen. Es ist deshalb mißverständlich, die Richtungswahrnehmung von einem „Unterschied der Ankunftszeiten“ abhängen zu lassen.

bei Verteilung einzelohrig, zwei sukzessiv sehr verschieden laute Schälle können zusammen eine diotische Erscheinung ergeben, die sich in nichts von der durch eine einzige Quelle größerer Intensität verursachten unterscheidet.

Wie die Präsenzzeit, mögen auch die anderen Spannungen in ihren Grenzwerten — den Zerreißungsschwellen — individuell variieren. (Es ist mir wahrscheinlich, daß diese Grenzen, wie die „Enge des Bewußtseins“, mit aufsteigender Entwicklung sich erweitern.) Es wäre zu erwarten, daß das monotische Hören, als die entwicklungsgeschichtlich jüngere und darum schwächere Funktion, pathologisch ausfallen könnte, bei Erhaltung des diotischen Hörens. Solche Fälle würden bei der Untersuchung mit verteilten verschieden hohen Gabeln sehr auffällig sein, der ärztlichen Praxis müßten sie aber verborgen bleiben, da die Anomalie keine Störung des gewöhnlichen Hörens oder sonst einer lebenswichtigen Funktion zur Folge hätte.

Aus der oben (S. 98 f.) erwähnten Asymmetrie würde ferner folgen, daß zunächst die rechts-monotische Funktion ausfallen würde. Mindestens eine Annäherung an diese Störung scheint in dem Fall Km. aufgetreten zu sein. Insofern bestätigt er unsere theoretische Auffassung.

## II.

### *Die Wahrnehmung der Schallentfernung*

Ungleich dem Richtungshören ist die akustische Entfernungswahrnehmung durch eine größere Zahl von Faktoren bestimmt, von denen manche bisher noch gar nicht in Erwägung gezogen worden sind. Sie sollen im folgenden aufgezählt und in ihrer Bedeutung abgeschätzt werden, um einer Theorie, die abgeschlossen noch nicht gegeben werden kann, wenigstens vorzuarbeiten.

#### *Absolute Faktoren*

Die landläufige Ansicht, daß ein Schall um so näher erscheine, je lauter er ist, besteht in einem gewissen Umfang zweifellos zu Recht. Da die Schwächung durch Reibung und Wärmeleitung<sup>1)</sup>, auch die Vernichtung in engen Interferenzräumen — Unebenheiten des Bodens, Pflanzen usw. — kurze Wellen stärker trifft als lange, sind unter sonst gleichen Umständen tiefe Töne weiterhin hörbar als hohe<sup>2)</sup>, und Klänge und Geräusche werden mit der Entfernung milder. Wenn wir einen lauten Schall als nah, einen weichen als fern oder eine Stärkezunahme als Näherkommen wahrnehmen, so brauchen wir dazu weder Erfahrungen, noch Schlüsse von nichträumlichen Qualitäten auf die bestehende Situation. Schon das rein phänomenale Nah und Fern sind dem phäno-

<sup>1)</sup> Auerbach, Akustik, S. 553.

<sup>2)</sup> Stumpf, Tonpsychol. I, 208 f.

menalen Laut und Leise, Scharf und Weich oder Voll und Leer zugeordnet. Ein lauter Schall „tritt hervor“, ein diffuses Geräusch ist „hintergründig“, nicht in symbolischer oder übertragener Bedeutung, sondern im unmittelbaren Eindruck. Zu dem unmittelbar in der Erscheinungsweise Gegebenen mögen Erfahrungen hinzukommen, aber die werden oft schwer und manchmal gar nicht erworben werden können. Große Unsicherheit und häufige Täuschungen müßten die Folge sein. Man müßte leise oder weiche nahe Schälle immerfort mit fernen lauten oder scharfen verwecheln.

Nun hat aber schon *v. Kries*<sup>1)</sup> bemerkt, daß solche Verwechslungen auch bei undurchsichtiger Variation der Lautstärken — wenigstens in der näheren Umgebung des Kopfes — nie vorkommen. Der Eindruck bei solchen Versuchen mit Tönen (z. B. Gabeln) oder Geräuschen (z. B. Klopfen oder Kratzen) ist so unmittelbar, das Urteil so sicher, daß niemand, der sie einmal selbst angestellt hat, an die Wirkung von Erfahrungsmomenten glauben wird. Man *hört*, daß und wie nah der Schall ist, genau so wie man zugleich hört, wie laut er ist. Wäre die phänomenale Entfernung nur mittelbar durch die phänomenale Lautheit (oder einen anderen absoluten Faktor) gegeben, so müßte die Unterschiedsempfindlichkeit für jene von der U.-E. für diese abhängen. *Werner*<sup>2)</sup> fand aber die U.-E. für Entfernungen sehr viel feiner, als die für die mitveränderten Intensitäten. Was aber sind dann die Bedingungen des phänomenalen Nah und Fern?

#### *Stärkegefälle*

Bei der Untersuchung des Einflusses eines Intensitätsgefälles auf die Lokalisation (Vers. R. 24) mit dem UWRH oder der Posaunen-anordnung fiel mir eines Tages folgendes auf: der eingestellte Weglängenunterschied ließ das Metronomgeräusch in etwa 20° rechts erscheinen; wurde nun links geschwächt, so wanderte der Schall nicht, wie ich damals mit *Kunze* erwartet hatte, weiter nach rechts, sondern gegen die Mitte, also nach *links*. Dies schien zunächst außerordentlich paradox. Genauere Beobachtung klärte indes die Sache alsbald auf. Das Protokoll (30. 9. 1921) lautete wörtlich: „Der diotische Schall wird beim Schwächen — *gleichgültig auf welcher Seite* — nicht nur schwächer, sondern nähert sich auch in der Farbe (Fülle), dem ganzen

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **1**. 1890. *Bloch* (Zeitschr. f. Ohrenheilk. u. Krankh. d. oberen Luftwege **24**. 1893) fand in der Nähe des Kopfes keine Täuschungen bei verschiedenen Klangfarben. *Pierce* (Studies in Auditory and Visual Space Perception, London 1901, S. 158) hielt einmal das Geräusch einer fernen, durch Häuser abgeschatteten Maschine für das Zischen der nahen Heizung; nach Feststellung des wahren Tatbestandes war die Täuschung nicht wieder zu erzeugen.

<sup>2)</sup> a. a. O. S. 77 ff.

Charakter mehr und mehr dem des monotischen. Die Lokalisation wird weniger extrakraniell, überhaupt weniger präzise, weniger objektiv, weniger stereoskopisch, der Schall scheint sich von seinem diotischen Ort aus gegen den Kopf hin auszubreiten und nähert sich daher, ohne eigentlich die Winkelrichtung zu ändern, der Mediane. Diese Annäherung an die Mediane kann man als Annäherung an die ‚Mitte‘ auffassen. Vielleicht beruht hierauf die Entfernungswahrnehmung: *ein Schall erscheint um so näher, je monotischer er ist*<sup>1</sup>.

(*Versuch 29.*) Wird der Weglängenunterschied sehr groß gemacht (Überwinkel), so daß der Schall z. B. rechts in der Ohrenachse aber noch gut extrakraniell, etwa  $\frac{1}{2}$  m entfernt erscheint, und nun auf der Gegenseite (links) geschwächt, so kommt der Schall näher und rückt schließlich in das rechte Hörrohr hinein. Die Erscheinung ist sehr deutlich, man hat ganz den Eindruck, wie wenn eine Schallquelle dem Kopf genähert würde. (Der Versuch eignet sich daher auch gut zur Demonstration).

Hier sei auch an die Beobachtung erinnert, daß ein Drehton in der Ohrenachse ferner erscheint als ein gleichzeitig auf derselben Seite gehörter monotischer (Gabel-)Ton (S. 87).

Beim natürlichen zweiohrigen Hören entsteht ein Stärkegefälle durch den Kopfschallschatten, wenn der Schall von der Seite kommt. Die Schirmwirkung ist um so bedeutender, je näher die Quelle dem Kopf ist; den Grenzfall bildet eine kleine und nicht zu laute Quelle unmittelbar vor dem Gehörgang; dort erscheint dann auch der Schall, der in diesem Fall extrem, wenn auch beim Normalen vielleicht nie absolut monotisch ist<sup>1</sup>). Besonders stark macht sich der Kopfschallschatten bei hohen Tönen geltend, da Wellen um ein Hindernis nur herumgebogen werden, wenn es die Größenordnung der Wellenlänge nicht wesentlich überschreitet.

Hohe Gabeln muß man sehr stark anschlagen und weit weghalten, um sie in der Ohrenachse überhaupt zweiohrig zu hören. Bei Frequenzen zwischen 800 und 1600 v. d. hört man den Ton dann, wie die Zeittheorie es fordert, auf der Gegenseite, über 1600 in der Mediane, beim Abklingen geht er aber auf die Seite der Gabel, d. h. der einohrige tritt anstelle des zweiohrigen auf und täuscht eine „richtige“ Lokalisation vor.

Mit wachsender Entfernung der Quelle nimmt, indem die Wirkung des Kopfschallschattens zurückgeht, auch die Unterschiedsempfindlichkeit für Entfernungen rasch ab<sup>2</sup>). Die Richtungswahrnehmung dagegen

<sup>1</sup>) Schon *Docq* (Mém. Acad. Bruxelles 34. 1870) schreibt: „Das Urteil über die Entfernung einer Schallquelle kann von der vereinigten Tätigkeit der beiden Ohren abhängen. Der Unterschied der von beiden Ohren empfangenen Eindrücke ist um so größer, je leiser der Schall und je näher die Quelle ist. Daraus folgt offenbar, daß für schwache Schälle dieser Unterschied das Entfernungsurteil mitbestimmt.“ Er gesteht ihm aber nur eine Nebenrolle neben der Klangfarbe zu.

<sup>2</sup>) *Pierce*, a. a. O. 172f. u. a.

verschlechtert sich mit der Entfernung keineswegs, und auch das verbietet ihre Zurückführung auf das Intensitätsgefälle, das ja neben dem Zeitgefälle beim Hören mit freien Ohren immer entsteht. Andererseits ist die Größe des physikalischen Stärkeunterschiedes an beiden Ohren sowohl von der Entfernung der Quelle als auch von der Einfallrichtung des Schalles abhängig. *Hartley* und *Fry*<sup>1)</sup> haben diese Beziehungen für einfache Töne berechnet, und es verlohnt sich nachzusehen, wie ihre Ergebnisse mit der Annahme zusammenstimmen, daß das Intensitätsgefälle nicht, wie die Verfasser meinen, mitbestimmend sei für die Richtungswahrnehmung, sondern lediglich für die scheinbare Entfernung.

Die Berechnung — nach *Stokes* — bezieht sich bei den hier wiedergegebenen Abbildungen 3 und 4<sup>2)</sup> auf zwei diametral auf der Oberfläche einer Kugel vom Radius  $c = 8,5$  cm liegende Punkte. Das Intensitätsverhältnis ( $I$ ) ist als Ordinate, der

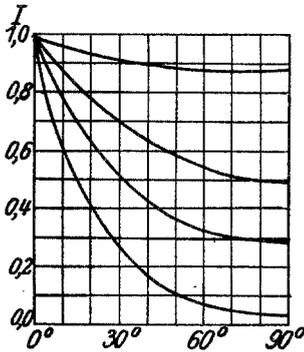


Abb. 3.

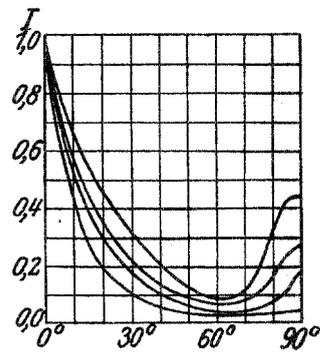


Abb. 4.

Einfallswinkel ( $\alpha$ ) als Abszisse gewählt, die  $I$ -Werte für die Entfernungen der Quelle vom Kugel-Mittelpunkt  $r = 2c, 5c, 10c$  und  $\infty$  sind als Kurven gezeichnet. Abb. 3 gibt die Kurven für einen (reinen) Ton von  $n = 310$ , Abb. 4 für  $n = 1860$  v.d. Die Bedeutung der Figuren ist also zunächst eine rein physikalische.

Um die absolute Größe der berechneten Werte kümmern wir uns nicht, sondern nur um die Verhältnisse des Gesamtbildes und fragen: wie stimmt die Annahme, daß die scheinbare Entfernung  $\varrho$  mit wachsendem Stärkegefälle abnimmt —  $\varrho = f(1/I)$  — mit der physikalischen Abhängigkeit des an den freien Ohren auftretenden Intensitätsverhältnisses von der Entfernung der Quelle ( $r$ ) und von dem Einfallswinkel ( $\alpha$ )? Aus Abb. 3 — für tiefe Töne — läßt sich entnehmen:

1. Bei jedem  $\alpha > 0$  ist  $I$  um so kleiner, je größer  $r$ , —  $I = f(1/r)$ , folglich  $1/I = f(r)$  und entsprechend unserer Annahme,  $\varrho = f(r)$ . D. h. die scheinbare Entfernung wächst, sofern sie vom Stärkegefälle abhängt, mit der wirklichen.

2. Bei gleichem  $r$  wächst  $I$  mit  $\alpha$ , —  $I = f(\alpha)$ , folglich  $1/\varrho = f(\alpha)$ . D. h. ein Ton erscheint, unter sonst gleichen Umständen, um so näher, je weiter seitlich die Schallrichtung, am nächsten (bei tiefen Tönen) in der Ohrenachse. Da wir

<sup>1)</sup> Physical Rev. (2) 18, 431—442. 1921.

<sup>2)</sup> Die Beschränkung auf diese einfachen Fälle und nur einen Quadranten genügt für unsere Überlegungen. Auch die im Original eingetragenen Linien gleicher Phasendifferenzen konnten hier wegfallen.

für tiefe Töne den scheinbaren Winkel  $\varphi$  dem wirklichen  $\alpha$  gleichsetzen können, folgt ferner: die Tonerscheinung kommt um so näher, je mehr sie auf die Seite rückt (Beispiel: Drehtöne, siehe unten S. 108). Für jedes  $r$  gibt es — bei  $\alpha = 90^\circ$  — ein absolutes I-Maximum. D. h. in der Ohrenachse kann das Stärkeverhältnis nur durch Annäherung der Quelle vergrößert werden. Dementsprechend scheint bei  $\alpha = 90^\circ$  und Vergrößerung des Intensitätsgefälles das Schallbild nur näher zu kommen, nicht zur Mediane zurückzuwandern (Versuch 29).

3. Je größer  $r$ , desto langsamer ändert sich  $I$  mit  $r$ , —  $\Delta I / \Delta r = f(1/r)$ ; folglich  $\Delta \varrho / \Delta r = f(1/r)$ , d. h. die absolute Unterschiedsempfindlichkeit für Entfernungen nimmt mit der Entfernung ab (*Weberscher Grundsatz*).

4. Je größer  $\alpha$  desto schneller ändert sich  $I$  mit  $r$ , —  $\Delta I / \Delta r = f(\alpha)$ ; folglich  $\Delta \varrho / \Delta r = f(\alpha)$ . D. h. die Unterschiedsempfindlichkeit ist in der Ohrenachse am feinsten, in der Mediane am schlechtesten. Daß sich diese Folgerung in der Erfahrung *nicht* bestätigt, weist darauf hin, daß das Stärkegefälle nicht das einzige der Entfernungswahrnehmung zugrunde liegende Moment sein kann.

Aus der Vergleichung der beiden Figuren entnehmen wir zwei weitere Sätze, über den Einfluß der Frequenz. Von dem Wiederanstieg der Kurven bei größeren Einfallswinkeln sehn wir dabei ab und beschränken uns auf das Winkelgebiet bis etwa  $60^\circ$ .

5. Für  $r = \infty$  wächst  $I$  mit  $n$ , —  $I = f(n)$ , folglich  $1/\varrho = f(n)$ . D. h. ein Ton erscheint, unter sonst gleichen Umständen, um so näher, je höher er ist. Versuche von *Pierce*<sup>1)</sup> scheinen dies zu bestätigen, sind aber, wie er selbst hervorhebt, nicht ganz eindeutig; Klangfarbenänderung würde sich hier im selben Sinn geltend machen.

6. Je größer  $n$ , desto langsamer ändert sich  $I$  mit  $r$ , —  $\Delta I / \Delta r = f(1/n)$ ; folglich  $\Delta \varrho / \Delta r = f(1/n)$ . D. h. die Unterschiedsempfindlichkeit für Entfernungen nimmt mit der Frequenz ab. Dies bestätigte sich durch

*Versuch 30.* Kleine Gabeln werden nicht zu stark angeschlagen, so daß sie (beidohrig) erst hörbar werden, wenn man sie auf einen Resonanzkasten aufsetzt. In 50 cm vom Kopf — in der Ohrenachse — fand ich für 435 v. d. einen ebenmerklichen Entfernungsunterschied bei Annäherung um 4 cm, für 1288 v. d. bei Annäherung um 15 cm. (Die Schwellen wurden durch „Eingabeln“ im Sukzessivvergleich bestimmt.)

Das Intensitätsgefälle wird, nach dem *Weberschen Grundsatz*, verhältnismäßig um so größer, je schwächer der Schall ist — bei gleicher und nicht allzugroßer Entfernung vom Kopf. Bei sehr aufmerksamer Beobachtung kann man in der Tat unter diesen Umständen einen geringen Unterschied der scheinbaren Entfernung bemerken, und zwar erscheint der stärkere Schall etwas ferner, als er objektiv ist, der schwächere an seinem wirklichen Ort. Der *v. Kriessche Paradox-Versuch* wäre jedenfalls schon aus der Wirkung des Stärkegefälles allein erklärlich, auch wenn man nicht berücksichtigt, daß es der absoluten Intensität entgegenwirkt.

#### *Zeitgefälle*

Ist die Annahme richtig, daß ein Schall um so näher erscheint, je „monotischer“ er ist, so muß nach dem früher ausgeführten nicht nur ein Stärkegefälle, sondern jedes Gefälle im gleichen *Sinn* wirken.

<sup>1)</sup> a. a. O. S. 164 ff.

Mit jener Annahme werden sich also zugleich unsere Folgerungen aus den qualitativen Beobachtungen der ersten Abschnitte bestätigen.

Eine isolierte Wirkung des Zeitgefälles ist bei Drehtönen gegeben. Ihre Bahn hat etwa die Form einer halben Ellipse, deren kleine Achse in die Ohrenachse und deren große Achse in die Mediane fällt.

(*Versuch 31.*) Einfache Posaunenordnung. Wird die eine Posaune, wenn das Schallbild die Ohrenachse bereits erreicht hat ( $d = k$ ), noch weiter ausgezogen (so daß „Überwinkel“ entsteht), so scheint der Schall näher zu kommen. (Der Effekt ist nicht so deutlich wie der in Vers. 29.)

Wir verstehen jetzt auch, warum es für das Gelingen von Vers. 29 günstig ist, einen Überwinkelreiz zu nehmen: das Stärkegefälle kommt dann zu einem schon verhältnismäßig großen Zeitgefälle hinzu. Beim natürlichen Hören sind immer beide zusammen gegeben, aber die Wirksamkeit des Zeitgefälles, das ja dann einen bestimmten und immer noch sehr kleinen Grenzwert nie überschreiten kann, wird gegen die des Stärkegefälles gering und praktisch kaum von Belang sein.

#### *Frequenzgefälle*

Nimmt der Frequenzunterschied verteilter Gabeln und damit die Schnelligkeit der diplotischen Pseudoschwebungen zu, so umhüllt die Klangmasse den Kopf scheinbar immer enger und zieht sich mehr und mehr in ihn hinein. Für das gewöhnliche Hören können Frequenzgefälle, da sie unter natürlichen Umständen nicht vorkommen, keine Bedeutung haben.

#### *Klangfarbengefälle*

Größere Unterschiede der Klangfarbe der Telephone machen sich bei beidohrigen Beobachtungen manchmal dadurch störend geltend, daß der Schall an Schärfe des Umrisses verliert oder gar interkranial wird. Dasselbe ist bei Geräuschen der Fall, wenn die beiden Telephone entgegengesetzt polarisiert sind, die auf das rechte Ohr wirkende Welle also das Spiegelbild der linken ist. Schon *Hughes* benützte diese Erscheinung zur Prüfung der richtigen Polarisation von Telephonen<sup>1</sup>). Es sei hier nochmals auf den schädlichen Einfluß interkranialer Lokalisation bei allen Beobachtungen *diotischer* Erscheinungen nachdrücklich hingewiesen. Die Erscheinungen sind eben unter solchen Umständen keineswegs mehr rein diotisch. Die Geschichte der Erforschung des zweiohrigen Hörens zeigt, wie sehr die Unkenntnis dieser Fehlerquelle die Versuche behindert und die Theorie in die Irre geführt hat.

Auch beim natürlichen Hören entsteht, bei seitlich einfallendem Schall, ein Klangfarbenunterschied an beiden Ohren dadurch, daß

<sup>1</sup>) *S. P. Thompson*, *Phil. Mag.* (5) 6. 1878.

lange Wellen um den Kopf leichter herumgebeugt werden als kurze. Einem Klang oder Geräusch werden daher auf dem von der Quelle abgewandten Ohr die höheren Teilschwingungen fehlen, und der Unterschied wird um so bedeutender sein, je reicher der Klang überhaupt und besonders je zahlreicher und stärker die kurzwelligen Komponenten sind. Die Entfernungswahrnehmung ist, wie *Werner*<sup>1)</sup> gefunden hat, um so besser, je komplexer der Schall ist. Auch hierin sind also, wie bei der Richtungswahrnehmung (und der Wahrnehmung überhaupt), die biologisch wichtigen Geräusche im Vorteil gegenüber den musikalischen Klängen und gar den einfachen Tönen. Bei letzteren kommt ja das hier betrachtete Moment überhaupt nicht in Frage. Da der Schall, wie schon erwähnt, bei der Wanderung über größere Strecken selbst einfacher wird, andererseits die Wirksamkeit des Kopfschallschattens mit der Entfernung der Quelle abnimmt, kann sich das Klangfarbengefälle, ebenso wie das Stärkegefälle, nur in der näheren Umgebung des Kopfes geltend machen. Die Klangfarbe wird zwar, wieder wie die Stärke, durch die Luft in demselben Sinne verändert, wie durch den Kopfschallschatten; aber für die Klangfarbe gilt auch das dem *v. Kries*-schen analoge Paradoxon: in der Nähe des Kopfes wird ein naher milder Schall (z. B. ein Gabelton) mit einem fernen prägnanten (z. B. Rasseln) hinsichtlich der Entfernung nicht verwechselt<sup>2)</sup>. Diese Leistung ist aus der *absoluten* Klangfarbenänderung nicht erklärbar.

Durch die Stärke- und Klangfarbengefälle wird also eine Entfernungswahrnehmung ermöglicht, und zwar ist die scheinbare Nähe eine Funktion der Steilheit der Gefälle<sup>3)</sup>. Wir nahmen ferner an, daß, je größer das Gefälle, um so mehr sich das Hören — funktionell und phänomenal — dem einohrigen annähere. Danach muß die Entfernungswahrnehmung schlechter werden, wenn das zweiohrige Hören behindert ist, wie bei einseitiger Schwerhörigkeit. Führt man sie künstlich (plötzlich) ein, so entstehen Täuschungen: jemand geht ein paar Meter hinter mir; ich verschlicke mein rechtes Ohr, und nun scheint er links neben mir zu stapfen. Einseitig Schwerhörige werden sich an das konstante Stärkegefälle, dem sich die durch die Entfernung bedingten überlagern, gewöhnen. So fand denn auch *Werner*<sup>4)</sup> die Unterschiedsempfindlichkeit für Entfernungen bei Verschuß des einen Ohres bedeutend schlechter

<sup>1)</sup> Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. Erg.-Bd. 10, 91. 1922.

<sup>2)</sup> Vgl. die oben (S. 104, Anm. 1) erwähnte Beobachtung von *Bloch*.

<sup>3)</sup> Trotz der Ergebnisse von Vers. 8 und 9 (S. 76) kann man auch bei der Klangfarbe von einem Gefälle reden, statt von einem Unterschied, denn es kommt hier nicht auf den diotischen und den monotischen Prozeß jeden für sich an, sondern auf den Gesamtvorgang. Für diesen ist aber das Verhältnis des Diotischen zum Monotischen bestimmend, gleichgültig durch welche physikalischen Bedingungen es seinerseits zustandekommt.

<sup>4)</sup> a. a. O. S. 75.

als zweiohrig; nur bei einem einseitig schwerhörigen Beobachter war der Unterschied bezeichnenderweise nicht so ausgesprochen.

Andererseits müßte man, wenn die Entfernungswahrnehmung *allein* auf der Gefällswirkung beruhte, erwarten, daß sie überhaupt versage, wenn die Schallquelle in der Medianebene liegt. Dies ist aber keineswegs der Fall. Die Unterschiedsempfindlichkeit ist hier nicht schlechter, nach *Werner* sogar besser als in der Ohrenachse, die Eindrücke sind nicht unbestimmter, und das Urteil ist auch subjektiv nicht unsicherer. *So gewiß also die Gefälle die scheinbare Entfernung mitbedingen können, so gewiß sind sie nicht ihre einzige und vielleicht nicht einmal ihre wesentliche Grundlage.*

Wo diese *nicht* gesucht werden kann, dafür wenigstens haben wir schon einige Anhaltspunkte gewonnen. Einmal ist es ausgeschlossen, daß etwa optisch wahrgenommene Entfernungen der Quelle sich mit absoluten Stärken oder Klangfarben in der Erfahrung „assoziiert“ hätten. Ich wüßte wenigstens nicht, wann und wo ich so reiche Erfahrungen über leises Klopfen auf Streichholzschachteln gesammelt haben könnte, daß ich nun ohne weitere Vorbereitung imstande bin, eine Entfernung von 45 und eine von 50 cm mühelos und sicher zu unterscheiden, auch wenn ein boshafter Versuchsleiter in unvorhergesehener Weise einmal stärker, einmal schwächer klopft, und noch dazu in der Nähe leiser als in der Ferne. „Akustische Luftperspektive“ (*Mach*) ist zwar eher annehmbar, aber in der Form, wie sie bisher verstanden worden ist — Klangfarbenänderung durch ungleichmäßige Schwächung der Teiltöne —, doch unbefriedigend. Zwar, wie geringe Klangfarbenänderungen genügen, um einen scheinbaren Entfernungsunterschied zu geben, darüber läßt sich von vornherein nichts ausmachen. Es ist aber doch schwer begreiflich, daß die Unterschiedsempfindlichkeit für eine schwach angeschlagene Stimmgabel — die neben dem Grundton wesentlich nur noch die *Lindigsche* Asymmetrieoktave hat, wenn das Anschlagsgeräusch und die unharmonischen „Plattentöne“ abgeklungen sind — nicht wesentlich schlechter ist als für ein Rasselgeräusch. Auch kann man das Rasseln nach der scheinbaren Entfernung subjektiv sehr sicher und objektiv sehr genau richtig an den Ort der Gabel bringen. Die Änderung der Wellenform mit der Entfernung müßte also für jede beliebige Klangfarbe im engeren Sinne, d. h. für jede beliebige Zusammensetzung der Welle, der Art und dem Grade nach dieselbe sein. Endlich: wir nehmen die Entfernung ebenso unmittelbar wahr wie die Richtung. Vergleichen wir einen Schall in verschiedener Entfernung, so können wir, wenn wir *hierauf* achten, *auch* einen Unterschied der Klangfarbe (in einem weiteren Sinne) bemerken: der nähere Schall klingt irgendwie dichter und detailreicher. Aber wir *erschließen* nicht hieraus die Nähe, sondern wir *hören* sie außerdem und gewöhnlich sie allein.

## „Schalldichte“

Schließlich sei noch ein Weg zur Lösung des akustischen Entfernungsproblems, der mir gangbar scheint, wenigstens angedeutet.

(Versuch 32.) Rasseln mit einer halbvollen Streichholzschachtel, median in etwa  $\frac{1}{2}$  m vor dem Beobachter, der die Augen schließt, in Ohrenhöhe. Bringt man nahe vor die Schallquelle frontal eine Wand (Brett, dünnen Quartband oder dgl.), so klingt der Schall ferner. Der subjektive Eindruck mit Schirm ist der gleiche, auch eben so unmittelbar, als wenn die Schallquelle ohne Schirm wirklich in größere Entfernung gebracht wird. Man kann die scheinbaren Entfernungen mit und ohne Schirm mit großer Sicherheit einander gleich machen und so die Größe der Schirmwirkung messen. Man überzeugt sich leicht, daß der Umweg um den Schirm keine Rolle spielt: man kann ihn durch Annäherung der Quelle samt Schirm ausgleichen und sogar überkompensieren, ohne daß die Vergrößerung der scheinbaren Entfernung fortfällt. Auch die Schallschattenwirkung ist belanglos: leiser Schall ohne Schirm klingt näher und zugleich leiser, lauter Schall mit Schirm klingt ferner und zugleich lauter. Die scheinbare Entfernungsänderung ist um so bedeutender, je näher der Schirm an der Schallquelle und je größer er ist. Je weiter die Quelle entfernt ist, desto größer muß der Schirm sein, um die gleiche, z. B. eine ebenmerkliche Wirkung zu geben.

Bringt man die Wand hinter die Schallquelle, so klingt der Schall näher. Die Wirkung nimmt wieder mit der Größe des Schirmes und entgegen seinem Abstand von der Quelle zu: wird der Schirm von hinten allmählich an die Quelle herangebracht, so bewegt sich der Schall scheinbar auf den Beobachter zu. Lauter Schall ohne Schirm klingt ferner als leiser mit Schirm. Eine scheinbare Annäherung erzielt man auch, wenn man den Schirm horizontal, etwa in Kinnhöhe, zwischen Kopf und Quelle hält. Macht man, während man selbst mit ausgestrecktem Arm rasselt, auf glattem Fußboden eine tiefe Kniebeuge, so nähert sich der Schall scheinbar; steigt man auf einen Stuhl, so entfernt er sich. Endlich scheint er auch dann näher zu kommen, wenn man, vorne rasselnd, einen Schirm frontalparallel hinter den Kopf des Beobachters bringt. Biegt man die Ohrmuscheln nach vorn auf, so klingt der Schall näher, drückt man sie flach an den Kopf an, (etwas) ferner. Außerordentlich starke Annäherung erzielt man durch Bewaffnung der Ohren mit Trichtern.

In allen diesen Fällen ändert sich, wie die scheinbare Entfernung, auch die Erscheinungsweise des Schalles ebenso, wie bei objektiver Entfernungsänderung der Quelle: der nähere Schall klingt zugleich dichter, geschlossener, genauer, der fernere klingt zugleich dünner, diffuser, verwaschener. Dieser phänomenalen entspricht auch eine physikalische „Schalldichte“: vor dem reflektierenden Schirm und ebenso in der Nähe

der Quelle ist der Schall dichter als hinter dem Schirm oder fern von der Quelle. Da der *v. Kriessche* Paradoxversuch auch mit den Schirmen gelingt, kann, was ich Schalldichte nenne, sich nicht in der Energiedichte erschöpfen, von der ja nur die Amplitude und damit die Lautheit abhängt. Durch den Schirm wird auch die Klangfarbe (im üblichen Sinne) geändert: da die längeren Wellen besser gebeugt, die kürzeren besser reflektiert werden, werden die hohen Teilschwingungen benachteiligt, wenn der Schirm vor der Quelle, begünstigt, wenn er hinter der Quelle steht. Tatsächlich ist die Schirmwirkung bei Tönen außerordentlich viel schwächer als bei Geräuschen. Dennoch möchte ich, aus den oben (S. 110) angeführten Gründen, auch diesen Faktor nicht für den entscheidenden halten, glaube vielmehr, daß sich in Zukunft noch ein anderes physikalisches Moment wird finden lassen, das die „Schalldichte“ in Abhängigkeit von der Entfernung bestimmt.

Mit der phänomenalen Dichte ändert sich gleichsinnig die Dinghaftigkeit des Schalles. (Wie denn auch sonst Dinghaftigkeit und Nähe einander zugeordnet sind, und nicht nur im Sinnlichen: „ein greifbares Ergebnis“, „es geht mir nahe“ sagen wir, um einen Gedanken, ein Gefühl passend und deutlich zu bezeichnen, nicht um sie vage zu umschreiben.) Es ist zu erwarten, daß die Entfernungswahrnehmung um so besser, d. h. die Eindrücke um so deutlicher, die Urteile um so leichter und genauer sein werden, je gegenständlicher ein Schall an sich, abgesehen von seiner Entfernung, erscheint. Diese Beziehung hat schon *Werner*<sup>1)</sup> mit Recht hervorgehoben und auch experimentell bestätigt für laute Schälle gegenüber leisen, Geräusche gegenüber einfachen Tönen, rhythmisch gestaltete Schlaggruppen gegenüber Einzelschlägen, bewegte gegenüber ruhender Quelle; sie gilt auch, wie man hinzufügen kann, für schärfere gegenüber milderer Schallfarben und für kurze Schälle gegenüber langgezogenen.

Die Schirmversuche gelingen auch, wenn man den Schall in der Ohrenachse gibt und das abgewandte Ohr verschließt, dabei den Schall so leise macht, daß er bei Verschuß beider Ohren überhaupt nicht mehr gehört wird. Das Moment der Schalldichte ist also, im Gegensatz zu den Gefällen, *auch einohrig* wirksam. Beim gewöhnlichen Hören seitlichen Schalles werden sich beide Faktoren überlagern.

(*Versuchsreihe 33.*) Es wurde diejenige objektive Entfernung in der Ohrenachse aufgesucht, bei welcher derselbe Schall (Klopfen) gleichweit erscheint wie bei bestimmten, als Muster gegebenen Entfernungen in der Mediane. Innerhalb von 1 m etwa braucht man in der Ohrenachse etwas größere objektive Entfernungen als in der Mediane, um gleiche scheinbare Entfernungen zu erhalten. Bei

<sup>1)</sup> a. a. O. S. 68 ff.

gleicher objektiver Entfernung erscheint der Schall also in der Ohrenachse näher<sup>1)</sup>.

Damit etwas gegenständlich erscheine, ist eine gewisse, wenn auch noch so geringe Distanziiertheit vom Ich notwendig. Stelle ich mich ganz nah vor eine gleichmäßig gefärbte Wand, so sehe ich eine „Raumfarbe“ (*Katz*), die mich umhüllt wie die Luft. Wird ein durch eine vergabelte Leitung beidohrig gehörter Ton verstärkt, so kommt er scheinbar näher, aber in ganz anderer Weise, als bei wirklicher Annäherung der Quelle: er wächst zugleich zu einer ausgebreiteten Schallmasse an, die den Kopf erst wie eine Wolke umhüllt, sich dann in ihn hineinzieht und ihn dröhnend erfüllt<sup>2)</sup>. Läßt man verteilte unisone Gabeln, die stark angeschlagen und unverändert nah an die Ohren gehalten werden, ausklingen, so zieht sich der zunächst im Kopf ausgebreitete Schall aus diesem heraus und zu einem etwa 1 m entfernten Pünktchen zusammen. Ähnlich wie laute verhalten sich tiefe Töne: auch sie scheinen den Kopf zu umhüllen, erscheinen weniger gegenständlich, subjektiver als hohe. Das Volumen variiert also entgegengesetzt wie die Dichte. Nimmt, wie in den eben besprochenen Fällen, das Volumen zu, ohne daß die Dichte (durch objektive Entfernung der Quelle) abnimmt, so breitet sich die Erscheinung gegen mich zu aus, ihre Gegenständlichkeit nimmt nicht zu, sondern ab. Bei — objektiv und phänomenal — wirklicher Annäherung dagegen nimmt das Volumen ab, Dichte und Gegenständlichkeit nehmen zu. Eine Solostimme, die sich von dem voluminöseren Orchesterklang abhebt, erscheint im allgemeinen auch räumlich näher. Aber ein zarter Flötenton, der an sich — rein qualitativ — etwas Fernes hat, kann auch gegenüber dem massigen Orchester räumlich entfernt wirken. Da die Gegenständlichkeit außer von der Reizgebenheit auch von der Verhaltensweise des Beobachters abhängt — es ist für die Entfernungsauffassung nicht gleichgültig, ob man nach der Quelle oder auf die subjektive Erscheinung horcht<sup>3)</sup> —, so mag es auch auf akustischem Gebiet Fälle geben, in denen eine der optischen völlig entsprechende räumliche Inversion möglich ist. Es ist zu erwarten, daß die Inversion einohrig leichter geht, da das zweiohrige Hören durch die Richtungswahrnehmung die gegenständliche Auffassung begünstigt, ähnlich wie es die Querdisperation beim stereoskopischen Sehen tut.

(*Versuch 34.*) Nah vor dem einen Ohr wird eine Stimmgabel, ein wenig weiter weg zugleich ein Rasselgeräusch gegeben; das abge-

<sup>1)</sup> Bei größeren absoluten Entfernungen scheint sich das Verhältnis umzukehren. Diese — ziemlich schwierigen — Beobachtungen bedürfen aber noch genauerer Prüfung.

<sup>2)</sup> Ähnlich schon *Schaefer*, Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg. **1**, 300—309. 1890; *Rostosky*, Philos. Stud. **19**, 557—598. 1902.

<sup>3)</sup> Vgl. hierzu auch *Baley*, Zeitschr. f. Psychol. **70**, 340f.; Beitr. **8**, 76f.

wandte Ohr wird fest verschlossen, beide Schälle müssen leise sein. Man kann, unter gleichen äußeren Bedingungen, einmal „die Gabel“ näher hören als „die Rassel“, ein andermal das Geräusch näher als den dann diffus ausgebreiteten Ton.

Die Antwort auf die eingangs aufgeworfene Frage, inwiefern man mit zwei Ohren besser höre als mit einem, liegt in dem gegenständlichen Charakter der zweiohrigen Erscheinungen. Das zweiohrige Hören ist die natürliche, ursprünglichere und lebenswichtigere Funktionsweise des Organs. Die Sinne sind zunächst zur Orientierung in der Welt da, nicht zu phänomenologischen Beobachtungen. Zunächst gestalten sie Gegenstände, nicht Erlebnisse. Die zweiohrigen Schälle sind stärker gestaltet, sie sind Dinge, die hörend wahrgenommen werden, die, ruhend oder bewegt, in demselben Raum sind wie die Dinge, die man sieht. Mit zwei Ohren hören wir, wo sie sind, ohne das gelernt zu haben. Richtung und Entfernung sind dem Hörenden unmittelbar gegeben. Auch der Blinde orientiert sich hörend, und er grade besonders gut. Absolute Eigenschaften, wie die Stärke und Schallfarbe, wären schlechte Wegweiser. Wo man auf sie allein angewiesen ist, wie wahrscheinlich der Normale bei der Unterscheidung des Vorn und Hinten, des Oben und Unten, und der wirklich Einohrige bei der akustischen Richtungswahrnehmung überhaupt, da täuscht man sich leicht. Deswegen ist es auch nicht wohl glaublich, daß die Entfernungswahrnehmung, die, wenigstens in der näheren Umgebung, ebenfalls sehr sicher und genau ist, wesentlich von absoluten Faktoren abhängt. Daß wir Vorn und Hinten nicht verwechseln können und daß vertikale und horizontale Dimension in ihren Grundlagen wesensgleich sind, das sind unstreitig Vorzüge des Auges. (Daß wir hinten überhaupt nicht sehen, ist ein Nachteil.) Aber das Gehör ist ebenso und ebenso ursprünglich ein Werkzeug der Raumwahrnehmung wie das Gesicht, der Hörraum ist in keinem Sinne weniger Raum als der Sehraum. Dennoch ist das Auge unser objektivster Sinn: die Sehdinge sind selbständiger und stärker außer-mir, ichfremder als die Geräusche und gar die Töne. Das Subjektive, das diesen anhaftet, ist aber, mag es im Alltag dieser Welt ein Nachteil sein, doch ein Geschenk des Himmels: es macht die Musik zur stärksten, weil unmittelbarsten Sprache der Seele.

*(Eingegangen am 10. April 1923.)*