

Ueber Klanganalyse¹⁾.

Von

Rudolf Schulze

Leipzig.

Lassen wir auf unser Gehörorgan einen Ton einwirken, der physikalisch durch eine Sinusschwingung dargestellt wird, so ist die diesem physikalischen Vorgange entsprechende Empfindung eine einfache. Wirken dagegen zwei oder mehrere Sinusschwingungen ein, so sind die Verhältnisse in der Empfindung wesentlich andere. Nicht allein, dass man die entstehende Empfindung als ihrem Wesen nach verschieden auffasst von allen solchen, die durch einfache Sinusschwingungen hervorgerufen werden, sondern man ist auch im Stande, die Empfindung nachzuweisen als die Summe mehrerer Empfindungen, also zu analysiren.

Nachdem Helmholtz in den mitschwingenden Theilen des membranösen Gehörorgans ein physiologisches Correlat für die Fähigkeit gefunden hatte, zusammengesetzte Klänge zu analysiren, hat die Möglichkeit der Analyse von simultanen Gehörsempfindungen ihre problematische Natur verloren. Hat man aber einmal das Gehörorgan mit der Fähigkeit ausgestattet, gleichzeitig gegebene Eindrücke

1) Die hier beschriebenen Versuche wurden bereits in den Jahren 1891—93, also längere Zeit vor den neueren Versuchen und Discussionen über Tonverschmelzung ausgeführt. Aus diesem Grunde und wegen der vielfach abweichenden Methoden, die von anderer Seite in Verfolgung derselben Frage angewendet worden sind, unterlasse ich eine Discussion fremder Versuche und Methoden und beschränke mich auf die Mittheilung der eigenen Versuche und der aus denselben sich ergebenden Resultate.

zu analysiren, so müsste man erwarten, dass die Analyse auch wirklich in allen Fällen vollzogen werde, und dass es nicht möglich sei, zwei gegebene Töne in der Empfindung so zu vereinigen, dass sie nur eine einzige Empfindung ergeben. Dieser Fall liegt aber thatsächlich vor. Einzelklänge beispielsweise, in welchen ein Grundton mit den zugehörigen Obertönen enthalten ist, fließen unter den gewöhnlichen Bedingungen fast stets zu einem einheitlichen Klange zusammen. Diese Schwierigkeit hat Helmholtz sofort erkannt und sie zu beseitigen gesucht durch den Hinweis auf ein allgemeines Gesetz aller menschlichen Sinneswahrnehmungen. So wie in allen anderen Sinnesgebieten diejenigen zusammengesetzten Empfindungen, welche constant in derselben Verbindung wiederkehren, als einfache aufgefasst werden, so sei es auch bei den Tonempfindungen.

Es bestehen aber ferner auch Unterschiede in der Schwierigkeit der Analyse von Zusammenklängen. Octaven und Quinten sind in der Empfindung schwerer auseinander zu halten als Terzen und Secunden u. s. w. Es gilt hier in Bezug auf die verschiedene Schwierigkeit der Analyse das Gesetz der musikalischen Verwandtschaft zu erklären, welches besagt, dass Consonanzen schwerer zu analysiren sind als Dissonanzen.

Nun würde sich allerdings mit Rücksicht auf die Helmholtz'sche Theorie die Möglichkeit, ja die Forderung einer verschiedenen Schwierigkeit der Analyse bestimmter Intervalle von selbst ergeben. In Analogie mit anderen Sinnesgebieten wird man nämlich erwarten, dass die Analyse in den Fällen, wenn eine Erregung benachbarter Nervenfasern stattgefunden hat, schwieriger sein muss als in denjenigen, in welchen die erregten Fasern weit von einander liegen. Demnach müssten beispielsweise Secunden schwerer zu analysiren sein als Quinten und Octaven. Von einem solchen Verhalten ist aber keinem Musiker oder Tonpsychologen etwas bekannt.

Es liegen also über die Analyse gleichzeitiger Tonempfindungen mit Rücksicht auf die Helmholtz'sche Theorie folgende Fragen vor:

I. Welches ist die Ursache der in der verschiedenen Schwierigkeit der Analyse zum Ausdruck kommenden musikalischen Verwandtschaft?

II. Warum ist bei naheliegenden Tönen die Analyse nicht erschwert, wie nach Helmholtz' Theorie zu erwarten steht?

I.

Bei der experimentellen Untersuchung dieser Fragen richtete ich mein Hauptaugenmerk auf zwei Punkte, nämlich erstens darauf, dass zu den Versuchen möglichst reine Töne Verwendung fanden, und zweitens darauf, dass die Klänge gleichzeitig anfangen und aufhörten. Was den ersten Punkt anlangt, so ist es eigentlich selbstverständlich, dass man bei Versuchen, wo es darauf ankommt, ob die Versuchsperson einen oder zwei Töne hört, nicht Klänge anwendet, von denen jeder einzelne Bestandtheil schon mehrere Töne enthält. Es wurden also Stimmgabeltöne von möglichster Einfachheit gebraucht. Die Gabeln durften mit keinem Holz- oder Metalltheil in Berührung kommen. Der Stiel war mit Gummi umwickelt und so in einen Holzklötz gesteckt, welcher wieder von der Tischplatte durch Gummi isolirt war. Außerdem trugen die Gabeln im unteren Drittel einen Gummiring, um die unharmonischen Obertöne zu beseitigen. Die Stimmgabeltöne wurden vermittelst Gummischlauchs in das Ohr des Reagenten geleitet, der in einem benachbarten Zimmer saß. Um die Töne in beliebiger Dauer und genau abgegrenzt herzustellen, wurde zwischen den Reagenten und die Tonquelle ein durchbohrter Hahn eingeschaltet, welcher durch den Schlag eines Pendels geöffnet und darauf wieder geschlossen wurde. Die Zeit, während welcher der Hahn offen war, wurde durch eine schreibende Stimmgabel gemessen (meist vor und nach jeder Versuchsreihe). Der einzelne Versuch verlief folgendermaßen: der Experimentator schlägt zwei oder mehrere Stimmgabeln an und gibt dann ein Klingelzeichen, worauf der Reagent den Gummischlauch dem Ohr nähert. Nach ungefähr zwei Secunden lässt der Experimentator das Pendel durchschlagen, und die Versuchsperson hört nun einen Klang, der zwei Secunden

andauert. Sie benachrichtigt hierauf mittelst eines elektrischen Tasters den Experimentator, ob sie einen oder zwei Töne gehört hat.

Für die Untersuchung wählte ich folgende Töne:

1	= A	= 108	Schwingungen
2	= a	= 216	»
3	= e ¹	= 324	»
4	= a ¹	= 432	»
5	= cis ²	= 540	»
6	= e ²	= 648	»

Durch diese Wahl war es möglich, alle Consonanzen einer Prüfung zu unterziehen. Die Dissonanzen schloss ich vorläufig aus, da ich nach einigen Vorversuchen nicht erwarten durfte, merkliche Unterschiede in der Schwierigkeit der Analyse bei denselben feststellen zu können. Die Reihenfolge, in welcher die Klänge gegeben wurden, war natürlich ganz unregelmäßig. In jeder Versuchsreihe wurden alle Intervalle (und jeder einzelne Ton) einmal gegeben, und es wurden mit drei Beobachtern A, B und C je 60 Versuchsreihen angestellt, sodass jedes Intervall 60mal der Beurtheilung unterlag. Unter den drei Beobachtern war B sehr musikalisch, spielte gut Klavier und Cello und hörte viel gute Musik. Außerdem war er infolge jahrelanger Uebung in psychologischen Versuchen bei seinen Aussagen von seltener Zuverlässigkeit und Sicherheit. Die Beobachter A und C waren nicht so musikalisch, doch sangen beide Beobachter vorgesungene Töne richtig nach, A spielte ein wenig Violine. Der Unmusikalischste von allen war C. Er war auch in psychologischen Versuchen verhältnissmäßig am wenigsten geübt.

Tabelle I enthält zur Uebersicht eine Zusammenstellung sämtlicher Ergebnisse. Links finden sich (in Buchstaben und Verhältnisszahlen der Schwingungen ausgedrückt) die gegebenen Intervalle, rechts daneben (unter A, B, C) die Anzahl der Fälle, in denen es den drei Versuchspersonen unmöglich war, in dem Klange eine Mehrheit von Tönen wahrzunehmen, wo sie dieselben also als einen Ton bezeichneten.

Tabelle I.

		A	B	C
$A a$	1 : 2	60	55	45
$A e^1$	1 : 3	50	52	49
$A a^1$	1 : 4	44	21	33
$A cis^2$	1 : 5	32	16	42
$A e^2$	1 : 6	22	2	27
$a e^1$	2 : 3	—	5	43
$a a^1$	2 : 4	57	51	47
$a cis^2$	2 : 5	28	9	38
$a e^2$	2 : 6	51	30	47
$e^1 a^1$	3 : 4	—	—	26
$e^1 cis^2$	3 : 5	—	—	27
$e^1 e^2$	3 : 6	54	46	43
$a^1 cis^2$	4 : 5	—	—	31
$a^1 e^2$	4 : 6	29	2	38
$cis^2 e^2$	5 : 6	—	—	41
$A e^1 a^1 cis^2 e^2$	1 : 3 : 4 : 5 : 6	33	14	23
$A a^1 cis^2 e^2$	1 : 4 : 5 : 6	35	8	22
$A cis^2 e^2$	1 : 5 : 6	23	6	31
$a^1 cis^2 e^2$	4 : 5 : 6	2	—	22
$e^1 a^1 cis^2 e^2$	3 : 4 : 5 : 6	—	—	8
$a e^1 a^1 cis^2 e^2$	2 : 3 : 4 : 5 : 6	4	3	18
$A a e^1 a^1 cis^2 e^2$	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6	48	17	22
$A a e^1 a^1 cis^2$	1 : 2 : 3 : 4 : 5	50	44	29
$A a e^1 a^1$	1 : 2 : 3 : 4	50	38	28
$A a e^1$	1 : 2 : 3	56	55	44
$A e^1 cis^2$	1 : 3 : 5	42	44	41
$A a a^1 e^2$	1 : 2 : 4 : 6	45	22	25

Ich stelle nun in Tabelle II zunächst vorzugsweise diejenigen Klänge zusammen, welche mehr als zwei einfache Töne enthielten.

Tabelle II.

		A	B	C
Abtheilung 1	<i>A</i>	1	60	60
	<i>A a</i>	1 : 2	60	55
	<i>A a e¹</i>	1 : 2 : 3	56	55
	<i>A a e¹ a¹</i>	1 : 2 : 3 : 4	50	38
	<i>A a e¹ a¹ cis²</i>	1 : 2 : 3 : 4 : 5	50	44
	<i>A a e¹ a¹ cis² e²</i>	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6	48	17
Abtheilung 2	<i>A e²</i>	1 : 6	22	2
	<i>A cis² e²</i>	1 : 5 : 6	23	6
	<i>A a¹ cis² e²</i>	1 : 4 : 5 : 6	35	8
	<i>A e¹ a¹ cis² e²</i>	1 : 3 : 4 : 5 : 6	33	14
	<i>A a e¹ a¹ cis² e²</i>	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6	48	17
Abtheilung 3	<i>cis² e²</i>	5 : 6	—	—
	<i>a¹ cis² e²</i>	4 : 5 : 6	2	—
	<i>e¹ a¹ cis² e²</i>	3 : 4 : 5 : 6	—	—
	<i>a e¹ a¹ cis² e²</i>	2 : 3 : 4 : 5 : 6	4	3
	<i>A a e¹ a¹ cis² e²</i>	1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6	48	17
Abtheilung 4	<i>A e¹ cis²</i>	1 : 3 : 5	42	44
	<i>A a a¹ e²</i>	1 : 2 : 4 : 6	45	22

Bei Betrachtung von Abtheilung 1 der Tabelle II¹⁾, welche dadurch zu Stande gekommen ist, dass einem einfachen Tone nach

1) Bei der Discussion dieser Tabelle wird der eine Beobachter (C) vorläufig außer Acht gelassen, weil dessen Resultate augenscheinlich noch durch andere Verhältnisse als die hier betrachteten beeinflusst sind.

und nach seine harmonischen Obertöne hinzugefügt wurden, muss es auffallen, dass hierbei die Analyse immer ganz bedeutend erschwert bleibt, sodass bei dem einen Beobachter (A) beispielsweise selbst bei Hinzufügung sämtlicher sechs harmonischer Obertöne der entstandene Klang noch in den weitaus meisten Fällen (48 von 60) keinen Anhalt für die Analyse bot.

Noch auffälliger sind in dieser Beziehung Abtheilung 2 und Abtheilung 3. Sie zeigen deutlich, wie man einen Zusammenklang (1 : 6 oder 5 : 6) durch allmähliche Annäherung an einen Klang mit harmonischen Obertönen zu einem einheitlichen umbilden kann.

In Bezug auf die Zusammensetzung desjenigen Obertonklanges, welcher der Analyse besondere Schwierigkeiten bietet, bestehen übrigens, wie Abtheilung 4 der Tabelle II zeigt, bedeutende individuelle Unterschiede. Während die Versuchsperson A ein wenig Vorliebe für die geradzahigen Obertöne zeigt (1 : 2 : 4 : 6 ist schwerer zu analysiren als 1 : 3 : 5), bevorzugt die Versuchsperson B (ebenso C) ganz energisch die ungeradzahigen Obertöne (1 : 3 : 5 ist viel schwerer zu analysiren als 1 : 2 : 4 : 6).

Dass dieser Unterschied nicht etwa ein zufälliger ist, zeigt die Betrachtung der anderen Klänge. Ueberall sieht man, dass bei der Versuchsperson A die Klänge mit überwiegend geradzahigen Obertönen leichter zusammenfliessen als die mit überwiegend ungeradzahigen, bei B und C umgekehrt. Die folgende Tabelle III giebt eine Uebersicht, wievielmals durchschnittlich alle Klänge mit überwiegend geradzahigen oder überwiegend ungeradzahigen Obertönen bei den einzelnen Versuchspersonen nicht analysirt werden konnten.

Tabelle III.

	A	B	C
Klänge mit überwiegend geradzahigen Obertönen	33	18	26
Klänge mit überwiegend ungeradzahigen Obertönen	29	23	31

Diese Verschiedenheit beherrscht aber nicht allein die mehrfach zusammengesetzten Klänge, sondern auch diejenigen, welche aus nur zwei einfachen Tönen bestehen. In der folgenden Tabelle IV, in

welcher die Zusammenklänge 1:2, 1:3, 1:4, 1:5 und 1:6 zusammengestellt sind, zeigt sich durchgehend eine größere Neigung der Versuchsperson A, die geradzahligcn Verhältnisse 1:2, 1:4, 1:6 als eins aufzufassen, während die beiden anderen Versuchspersonen (B und C) die ungeradzahligcn Verhältnisse 1:3, 1:5 bevorzugen, die Versuchsperson C so energisch, dass 1:3 öfter als eins erscheint als 1:2, ebenso 1:5 öfter als 1:4.

Tabelle IV.

		A	B	C
<i>A a</i>	1:2	60	55	45
<i>A e¹</i>	1:3	50	52	49
<i>A a¹</i>	1:4	44	21	33
<i>A cis²</i>	1:5	32	16	42
<i>A e²</i>	1:6	22	2	27

Die Schwierigkeit der Analyse eines musikalischen Intervalles ist also in erster Linie abhängig von dem Verhältniss desselben zu dem Normalklang jedes Individuums, d. h. demjenigen Obertonklang, welcher für das betreffende Individuum die größten Schwierigkeiten der Analyse bietet. In dem Maße, als sich ein Intervall diesem Normalklang nähert, ist seine Analyse erschwert.

Ist uns also erst einmal für ein Individuum der normale Obertonklang gegeben, so lassen sich aus demselben alle musikalischen Verwandtschaften einfach mathematisch ableiten. Ließe sich beispielsweise der normale Obertonklang darstellen durch eine Reihe:

$$\begin{array}{cccccc} \text{I} & \text{II} & \text{III} & \text{IV} & \text{V} & \text{VI} \\ A + \frac{a}{2} + \frac{e^1}{3} + \frac{a^1}{4} + \frac{cis^2}{5} + \frac{e^2}{6} \text{ u. s. f.} \end{array}$$

(wie sie Helmholtz berechnet als die Formel für einen durch gute Bogenführung hervorgerufenen Violinklang), so wäre die musikalische Verwandtschaft des Intervalles III:IV, also der Quarte, dadurch bestimmt, dass zu ihrer Vervollständigung zu einem vollkommenen

Obertonklang ein Ton A von der Intensität 1 und ein solcher a von der Intensität $\frac{1}{2}$ fehlen. Bei dem Intervall IV : V fehlt außerdem noch ein Ton e^1 von der Intensität $\frac{1}{3}$. Die musikalische Verwandtschaft des Intervalls IV : V, der großen Terz, ist also unter den gegebenen Verhältnissen eine entferntere als die der Quarte III : IV und so fort.

Für alle Individuen aber lassen sich noch folgende Gesetze ableiten:

1. Je weiter zwei Töne (von übrigens gleicher musikalischer Verwandtschaft) von einander liegen, desto leichter müssen sie analysirt werden (da bei den weiteren Intervallen mehr Zwischentöne zur Ausfüllung des Obertonklanges fehlen). Tabelle V zeigt, dass diese Gesetzmäßigkeit bei allen drei Beobachtern in allen Fällen zutrifft.

Tabelle V.

		A	B	C
$A a$	1 : 2	60	55	45
$A a^1$	1 : 4	44	21	33
$A e^1$	1 : 3	50	52	49
$A e^2$	1 : 6	22	27	2

2. Da alle tieferen Töne schon ihrer physikalischen Beschaffenheit nach mehr Obertöne enthalten als die höheren, so muss auch der normale Obertonklang in der Tiefe mehr und stärkere Obertöne enthalten als in der Höhe. Infolge dessen aber müssen alle Intervalle in einer höheren Lage leichter zu analysiren sein als in der Tiefe, d. h. es müssen beispielsweise Octaven in der tieferen Tonregion leichter zu einem Ton zusammenfließen als in der Höhe, entgegen der allgemein bei Musikern und Theoretikern verbreiteten Ansicht, dass die Octaven innerhalb der musikalisch überhaupt brauchbaren Tonlagen den gleichen Verwandtschaftsgrad und die gleiche Schwierigkeit der Analyse bieten¹⁾. Tabelle VI zeigt, dass auch

1) Cf. in Stumpf's Tonpsychologie, Bd. II. S. 136 das erste Gesetz der »Verschmelzung«: »Der Verschmelzungsgrad ist unabhängig von der Tonregion«.

diese Gesetzmäßigkeit, entgegen der allgemeinen Ansicht, in der Hauptsache zutrifft.

Tabelle VI.

			A	B	C
Octaven	$A a$	1 : 2	60	55	45
	$a a^1$	2 : 4	57	51	47
	$e^1 e^2$	3 : 6	54	46	43
Quinten	$a e^1$	2 : 3	—	5	43
	$a^1 e^2$	4 : 6	29	2	38
Duodecimen	$A e^1$	1 : 3	50	52	49
	$a e^2$	2 : 6	51	30	47

Namentlich bei dem sehr musikalischen Beobachter B, dem sicher in allen Tonregionen die vielseitigsten Erfahrungen zu Gebote standen, findet sich keine einzige Abweichung¹⁾.

Bestätigen sich die in diesen Versuchen zu Tage tretenden Erscheinungen, so lässt sich also ganz allgemein der Satz aufstellen:

Der Grad der Analysirbarkeit eines Zusammenklanges richtet sich nach dem Grad der Aehnlichkeit desselben mit dem normalen Obertonklang.

Hiermit sind zugleich die Gesetze der musikalischen Verwandtschaft gegeben, und die mathematischen Verhältnisse, welche in der musikalischen Verwandtschaft zum Ausdruck kommen, erhalten eine psychologische Deutung, indem sie auf dieselbe Ursache zurückgeführt werden, welche auch den Grad der Analysirbarkeit der Obertonklänge bestimmt, nämlich auf das allgemeine psychologische Gesetz: »Die Verbindungen von Vorstellungselementen sind um so fester, je constanter sie sind.«²⁾

1) Der ganz anormale Fall bei dem Beobachter A, dass die Quinte 2:3 stets analysirt wurde, die höhere Quinte 4:6 dagegen nur in der Hälfte der Fälle, hat seine besondere Ursache, auf welche wir noch zurückkommen müssen.

2) Wundt, Physiol. Psychol. 4. Aufl. 1893. Bd. II. S. 72.

Es liegt nahe, nach einem physiologischen Correlat dieses psychologischen Gesetzes zu suchen. Dasselbe würde vielleicht darin zu finden sein, dass selbst die einfache Sinuswelle nicht allein die gleichgestimmten Fasern der Basilarmembran erregt, sondern in geringerem Maße auch die den harmonischen Obertönen des betreffenden Tones entsprechenden Fasern. Hierüber lässt sich aber so lange nichts sagen, als eine empirische Untersuchung der durch eine Sinusschwingung hervorgerufenen Schwingungsform der Basilarmembran aussichtslos ist, und so lange auch für eine mathematische Ableitung derselben nur spärliche Anhaltspunkte vorliegen.

II.

Nachdem die erste der im Eingange aufgeworfenen Fragen ihre Beantwortung gefunden hat, wenden wir uns der zweiten zu. Hierbei macht es sich nothwendig, auch engere Intervalle (Secunden) in den Bereich der Untersuchung zu ziehen. Um die bei denselben auftretende störende Wirkung der Schwebungen zu beseitigen¹⁾, empfahl sich eine weitere Verkürzung der Einwirkungsdauer (bis auf 0,004 Secunden). Um außerdem noch etwas zu erfahren über den Grad der Genauigkeit der Analyse, wählte ich zu diesen Versuchen einen Beobachter, der ganz besonders gut analysirte und außerdem durch andere Versuche in der Beurtheilung sehr kurzer Töne gut eingeübt war. Dieser Beobachter D war dem Beobachter B der früheren Versuche an Feinheit des musikalischen Gehörs noch überlegen. Er analysirte beispielsweise unter gewöhnlichen Verhältnissen beinahe unfehlbar jeden musikalischen Zusammenklang richtig.

1) Die Schwebungen wirkten schon in den zuerst beschriebenen Versuchen in einzelnen Fällen störend. So behauptete beispielsweise die Versuchsperson A mit Hartnäckigkeit, dass der Klang 2 : 3, also die reine Quinte, einen äußerst unangenehmen Eindruck mache (obgleich es nicht möglich war, die Ursache hiervon zu finden); sie gab selbst an, dass in diesem Falle das Urtheil: »Zwei« lediglich auf Rechnung dieser Gefühlswirkung zu setzen sei. Sie erkannte den »hässlichen« Klang sofort an seinem Gefühlston und behauptete, in denselben Schwebungen zu hören, obgleich sonst niemand im Stande war, dieselben zu entdecken. Namentlich bei den Terzen gaben auch die anderen Versuchspersonen gelegentlich an, dass Intermissionen in der Empfindung zur Bildung ihres Urtheils mitgewirkt hätten.

Zu den Versuchen verwendete ich unter Beobachtung aller angegebenen Vorsichtsmaßregeln folgende Stimmgabeln:

$c^1 = 264$	Schwingungen
$d^1 = 297$	»
$e^1 = 330$	»
$f^1 = 352$	»
$h^1 = 495$	»
$c^2 = 528$	»

Ich untersuchte folgende Intervalle:

$e^1 f^1 =$ kleine Secunde	$e^1 h^1 =$ reine Quinte
$c^1 d^1 =$ große Secunde	$e^1 c^2 =$ kleine Sexte
$d^1 f^1 =$ kleine Terz	$d^1 h^1 =$ große Sexte
$c^1 e^1 =$ große Terz	$d^1 c^2 =$ kleine Septime
$c^1 f^1 =$ reine Quarte	$c^1 h^1 =$ große Septime
$f^1 h^1 =$ übermäßige Quarte	$c^1 c^2 =$ Octave,

also alle zwölf Intervalle innerhalb einer Octave. Der Reagent versuchte sofort, nachdem er den Klang gehört hatte, dem Experimentator das Gehörte nachzusingen (durch Telephon) und gab hinterher an, ob es ein oder zwei Töne waren. Die Erfahrung hatte gelehrt, dass bei umgekehrter Reihenfolge die Empfindung nach Abgabe des Urtheils »eins« oder »zwei« bereits so abgeblasst war, dass eine sichere Analyse oft nicht mehr möglich war.

Nachdem der Reagent auf diese Weise alle zwölf Intervalle innerhalb einer Octave zu analysiren versucht hatte, wurde die Zeit verkürzt dadurch, dass man das Pendel aus einer größeren Höhe fallen ließ. Auf diese Weise wurde von 0,14 Secunden an bis 0,004 Secunden verfahren und zwar in 60 Versuchsreihen, was, abgesehen von eingestreuten einzelnen Tönen $12 \times 60 = 720$ Einzelversuche ergibt.

In Tabelle VII sind die Resultate dieser Versuche zusammengestellt. Die neben die Intervalle geschriebenen Zahlen bezeichnen wieder die Anzahl der Fälle, in welchen eine Analyse nicht möglich war und der Klang als ein Ton bezeichnet wurde.

Bei Betrachtung dieser Ergebnisse war ich höchst überrascht, dass hier die musikalische Verwandtschaft der Klänge offenbar eine

Tabelle VII.

		D
kleine Secunde	$e^1 f^1$	45
große Secunde	$e^1 d^1$	12
kleine Terz	$d^1 f^1$	18
große Terz	$e^1 e^1$	12
reine Quarte	$e^1 f^1$	8
übermäßige Quarte	$f^1 h^1$	10
reine Quinte	$e^1 h^1$	12
kleine Sexte	$e^1 e^2$	7
große Sexte	$d^1 h^1$	10
kleine Septime	$d^1 e^2$	9
große Septime	$e^1 h^1$	8
Octave	$e^1 e^2$	7

nur untergeordnete Rolle gespielt hat. Vielmehr scheint aus denselben mit ziemlicher Sicherheit hervorzugehen, dass bei sehr kurzer Einwirkung eines Klanges die Analyse erleichtert wird bei größerer Entfernung der Töne, dass also die Klänge um so schwerer zu analysiren sind, je näher die Bestandtheile derselben aneinander liegen. Die folgende Tabelle VIII zeigt dies im Einzelnen.

Reihe *A* ist so zusammengestellt, dass allemal der untere Ton derselbe ist, bei Reihe *B* ist der obere Ton in jeder Abtheilung constant. In den Abtheilungen 1—4 zeigt sich deutlich, wie die Analyse immer leichter wird, je weiter das Intervall ist, wie immer weniger Fälle vorkommen, in welchen eine Analyse nicht möglich war. Bei Abtheilung 5 und 6 trifft diese Gesetzmäßigkeit zwar nicht zu, doch ist hier zu erinnern, dass auch die Unterschiede in der Entfernung der Intervalle in diesen Reihen (bei Abtheilung 5 beispielsweise von der übermäßigen Quarte bis zur großen Sexte) nicht bedeutend sind.

Tabelle VIII.

Reihe A					
Abtheilung 1		Abtheilung 2		Abtheilung 3	
<i>cd</i>	12				
<i>ce</i>	12	<i>df</i>	18	<i>ef</i>	45
<i>cf</i>	8	<i>dh</i>	10	<i>eh</i>	12
<i>ch</i>	8	<i>dc</i>	9	<i>ec</i>	7
<i>cc¹</i>	7				
Reihe B					
Abtheilung 4		Abtheilung 5		Abtheilung 6	
<i>ef</i>	45	<i>fh</i>	10	<i>ec</i>	7
<i>df</i>	18	<i>eh</i>	12	<i>dc</i>	9
<i>cf</i>	8	<i>dh</i>	10	<i>ec</i>	7

Sehr deutlich tritt das Gesetz auch hervor, wenn man diejenige Zeitdauer in Betracht zieht, bei welcher es überhaupt unmöglich wurde, eine Analyse zu vollziehen. Alle für diese Betrachtung nöthigen Werthe sind in Tabelle IX zusammengestellt. Diese Tabelle zeigt beispielsweise, dass die kleine Secunde *ef* bereits bei einer Einwirkungsdauer von 0,140 Secunden nicht mehr analysirt werden konnte, während erst bei 0,007 Secunden, also einer zwanzig Mal so kurzen Einwirkungsdauer die Fähigkeit aufhört, die Octave *cc¹* zu analysiren. Kein anderes Beispiel illustriert in so drastischer Weise das in diesen Versuchen hervortretende Gesetz, dass die Analyse um so schwerer ist, je geringer die Entfernung der beiden Töne.

Die Thatsache, dass dieses Gesetz die Versuche derartig beherrscht, dass die musikalische Verwandtschaft überhaupt keine Rolle mehr spielt, scheint anzudeuten, dass in diesem Gesetze sich eine ursprüngliche Veranlagung verräth, die auch physiologisch deutlich begründet sein muss. Diese Begründung gibt aber in gewünschter Weise die Helmholtz'sche Theorie. Wie man sieht, ist die Erschwerung der

Tabelle IX.

1.	2.	3.	4.
	Zeit in Sec., bei welcher Analyse nicht mehr möglich war	Anzahl der bei dieser Zeit noch vorhan- denen Schwe- bungen	Anzahl der Schwe- bungen, abgerundet
<i>ef</i>	0,140	3,1	3
<i>cd</i>	0,037	1,2	1
<i>df</i>	0,024	1,3	1
<i>ee</i>	0,009	0,6	1
<i>ef</i>	0,007	0,6	1
<i>fh</i>	0,006	0,9	1
<i>eh</i>	0,007	1,2	1
<i>ec</i>	0,006	1,2	1
<i>dh</i>	0,006	1,2	1
<i>dc</i>	0,007	1,5	2
<i>ch</i>	0,008	1,9	2
<i>ce</i>	0,007	1,8	2

Analyse von merklichem Einfluss vor allem bei den engsten Intervallen, den Secunden und Terzen, wie es die Helmholtz'sche Theorie erfordert.

Wir können also jetzt die im Eingang aufgestellte zweite Frage dahin beantworten:

Entsprechend der Helmholtz'schen Theorie ist wirklich bei engen Intervallen die Analyse erschwert.

Die Ursache, warum dies Gesetz bisher nicht zur Beobachtung gelangt ist, scheint die zu sein, dass gerade Secunden und Terzen meist deutliche Schwebungen ergeben, welche verhindern, dass der einheitliche Charakter der Klänge bewahrt bleibt. Dafür aber, dass bei Unmusikalischen vielleicht schon unter gewöhnlichen Bedingungen

ein Zusammenfließen der engeren Intervalle erleichtert wird, scheint in den ersten Versuchen die Versuchsperson C ein Beispiel zu geben. Wenigstens würde sich bei dieser Annahme erklären, warum bei diesem Beobachter gerade die engsten Intervalle, Quarte, große und kleine Terz, welche von den beiden anderen Versuchspersonen in allen Fällen ohne Ausnahme analysirt wurden, einer steigenden Schwierigkeit der Analyse unterworfen waren, wie Tabelle X zeigt.

Tabelle X.

Quarte	3 : 4	26 mal nicht analysirt
große Terz	4 : 5	31 » » »
kleine Terz	5 : 6	41 » » »

Die Mitwirkung dieses Gesetzes scheint thatsächlich die Resultate bei der Versuchsperson C complicirt zu haben. Ueberall, wo die engeren Intervalle auftreten (bei 1 : 5 : 6, bei 4 : 5 : 6), zeigt sich eine merkliche Erschwerung der Analyse.

III.

Einen weiteren Aufschluss über den Vorgang der Analyse erhalten wir bei Betrachtung der Spalten 3 und 4 in Tabelle IX. Sie geben die Anzahl der Schwebungen an, bei welcher in jedem einzelnen Falle eine Analyse eben noch möglich war.

Runden wir diese Zahlen ab (Spalte 4), so erhalten wir achtmal 1, dreimal 2 und einmal 3 als Ergebniss. Das würde bedeuten, dass in dem Falle, wo ungefähr noch eine ganze Schwebung in das Ohr gelangte, die Möglichkeit, das Intervall als eine Mehrheit von Empfindungen zu erkennen, noch vorhanden war. Hält man hiermit zusammen, dass das Urtheil sehr oft lautete: »Zwei Töne, weil unrein«, dass die Versuchsperson einige Mal angab, die Töne nach einander gehört zu haben, und dass sie sehr häufig den Ton »mit einem Vorschlag« gehört haben wollte, so ergibt sich, dass bei diesen Versuchen die Schwebungen eine wichtige Rolle für die Analyse gespielt haben, dass sich der Klang anscheinend auflöste in eine Succession von

Intensitäten und dass die Versuchsperson auf Grund des Wechsels der Intensität indirect auf das Vorhandensein zweier Töne schloss. Wo die Schwebungen fehlen, hört auch die Möglichkeit der Analyse auf. Die Auflösung des simultanen Gehöreindrucks in eine Succession von Intensitäten war also hier der letzte Anhalt für die Analyse.

Was endlich die genaue Analyse der gegebenen Intervalle, d. h. das richtige Heraushören und Nachsingen beider Töne betrifft, so zeigt sich, dass dieselbe anscheinend wesentlich ein Ergebniss der musikalischen Uebung darstellt und mit den übrigen Gesetzen der Analyse in keinem erkennbaren Zusammenhange steht (Tabelle XI).

Tabelle XI.

<i>ce</i>	25 mal richtig analys.	<i>cf</i>	16 mal richtig analys.	<i>ch</i>	4 mal richtig analys.
<i>ee</i>	19 » » »	<i>dh</i>	15 » » »	<i>df</i>	3 » » »
<i>cd</i>	18 » » »	<i>dc</i>	15 » » »	<i>ef</i>	3 » » »
<i>ec</i>	17 » » »	<i>eh</i>	11 » » »	<i>fh</i>	2 » » »

Im allgemeinen werden also Consonanzen leichter richtig analysirt als Dissonanzen, doch werden Sexten und die große Terz besser getroffen als die Quinte, ebenso fällt die Stellung der großen Secunde auf. (Vielfache Uebung durch die Tonleiter!)

Besonders hier bei der genauen Analyse hat es wieder den Anschein, als sei bei diesen kurzdauernden Klängen die Gleichzeitigkeit in eine Succession aufgelöst worden. Bei allen den Intervallen, welche besonders häufig analysirt wurden, gab die Versuchsperson zuweilen an, einen Ton mit einem Vorschlag gehört zu haben (Tabelle XII).

Wie man sieht, ist bei allen den Intervallen, welche häufig richtig analysirt worden sind (Reihe A), die Succession der beiden Töne in der Empfindung selbst einige Mal bemerkt worden (nur die Quarte *cf* macht hierbei eine Ausnahme), während alle die Intervalle, bei welchen eine Succession nicht bemerkt werden konnte (Reihe B), auch sehr selten richtig analysirt wurden. Auffällig war es, dass in den letzten fünf Fällen, in welchen die Octave noch analysirt wurde, stets ein Vorschlag gehört wurde. Es gelangten hierbei 3,6 Schwingungen des

Tabelle XII.

Reihe A		
<i>cc</i>	6 mal ein Ton mit Vorschlag gehört	25 mal richtig analysirt
<i>cc</i>	2 » » » » » »	19 » » »
<i>cd</i>	3 » » » » » »	18 » » »
<i>cc</i>	1 » » » » » »	17 » » »
<i>cf</i>	0 » » » » » »	16 » » »
<i>dh</i>	1 » » » » » »	15 » » »
<i>dc</i>	2 » » » » » »	15 » » »
Reihe B		
<i>eh</i>	0 mal ein Ton mit Vorschlag gehört	11 mal richtig analysirt
<i>eh</i>	0 » » » » » »	4 » » »
<i>df</i>	0 » » » » » »	3 » » »
<i>ef</i>	0 » » » » » »	3 » » »
<i>fh</i>	0 » » » » » »	2 » » »

höheren, 1,8 Schwingungen des tieferen Tones ins Ohr, die Einwirkungsdauer betrug 0,007 Secunden. Nehmen wir an, dass jeder Ton bei 1,8 Schwingungen in seiner Höhe charakterisirt war, so entstand der obere Ton thatsächlich bereits 0,0035 Secunden früher als der tiefere. Da nun nach Exner's Versuchen eine Succession von Empfindungen von bloß 0,002 Secunden mittelst des Gehörsinns noch erkannt werden kann, so hindert uns nichts, anzunehmen, dass diese Succession in den vorliegenden Versuchen die wirkliche Ursache der Analyse war. Nach der vorausgegangenen Rechnung braucht aber die Succession nicht bloß eine Folge von Intensitäten (Schwebung) gewesen zu sein, sondern sie kann auch in einer wirklichen Succession der beiden Töne bestanden haben.

Ob nun freilich auch bei länger dauernden Klängen die Auflösung eines Zusammenklanges in eine Succession als letzte Ursache

der Analyse angesehen werden darf, wage ich nicht zu entscheiden, möchte aber darauf hinweisen, dass eine Möglichkeit der Auflösung in eine Succession schon deshalb vorliegt, weil bei einem Zusammenklange die Töne nie gleichzeitig anfangen und aufhören; denn selbst wenn in dem physikalischen Vorgange genaue Gleichzeitigkeit vorhanden ist, so wird doch im Gehörorgan der höhere Ton immer schneller anklingen, der tiefere langsamer abklingen.

Die im Vorstehenden beschriebenen Versuche wurden im psychologischen Institut zu Leipzig, und zwar die Versuche mit den Beobachtern A, B und C im Winter 1891/92 und im Sommer 1892, die mit dem Beobachter D im Winter 1892/93 angestellt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. Wundt und Herrn Prof. Külpe für die empfangene Anregung und Unterstützung bei dieser Arbeit, sowie den Herren Dr. Kirschmann, Gale, Dr. Witmer und Funck, welche als Reagenten bei den Versuchen mitgearbeitet haben, meinen Dank auszusprechen.
