

anschaulicht und die vorhandene Litteratur wird in umfassender Weise berücksichtigt.

Nach alledem haben wir es also in der vorliegenden preisgekrönten Abhandlung mit einer recht sorgfältigen Arbeit zu thun, welche einen schönen und reichhaltigen Beitrag zur Faunistik der Provinz Ostpreußen liefert.

Biol. Station.

Dr. **Otto Zacharias** (Plön). [56]

## Neue Beiträge zur Musik- und Hörtheorie.

J. Rich. Ewald: Eine neue Hörtheorie. Bonn, Emil Strauss, 1899, 8°, 48 S.  
(auch in Pflüger's Archiv, 76. Bd.).

Viktor Goldschmidt: Ueber Harmonie und Komplikation, Berlin 1901,  
Julius Springer, Gr. 8°, 136 S.

Als wissenschaftliche Lehre vom Hören und als Begründung der Musiktheorie galten bisher fast unbestritten die Anschauungen, die Helmholtz 1863 in seinem klassischen Werke dargelegt hat. Es wurden öfters Zweifel erhoben, ob einzelne eigentümliche Beobachtungen und alle Regeln der musikalischen Harmonie sich aus der Helmholtz'schen Lehre allein, ohne allzuviel Hilfsypothesen, erklären ließen, aber im wesentlichen blieb doch Helmholtz' Lehre die Grundlage aller späteren Untersuchungen und Darstellungen.

Wir können sie deshalb als bekannt voraussetzen und wollen nur kurz auf die wesentlichsten Punkte derselben hinweisen.

Helmholtz unterscheidet musikalische Töne und Klänge: erstere sind regelmäßige Sinusschwingungen, wie sie sich mit Stimmgabeln erzeugen lassen. Klänge werden durch fast alle Musikinstrumente und die menschliche Stimme erzeugt; es sind sich regelmäßig wiederholende Schwingungen, die aber von der Form einer Sinuskurve abweichen. Man kann derartige Kurven entstanden denken durch Ueber-einanderlagerung mehrerer Sinuskurven, von denen eine dem Grundton des Klanges entspricht, alle anderen ein einfaches Vielfaches an Schwingungen des Grundtones in der Zeiteinheit ausführen. Diese letzteren stellen die Obertöne dar. Die Obertöne eines Klanges kann ein geübtes Ohr zum Teil ohne Hilfsmittel erkennen, immer aber kann man sie zu Gehör bringen, wenn man sie durch Resonatoren verstärkt, wie Helmholtz gezeigt hat.

Im Ohre ist nach Helmholtz eine große Zahl von Resonatoren vorhanden, die eine nahezu kontinuierliche Tonreihe für das Gebiet der hörbaren Töne darstellen. Durch die zugeleiteten Tonschwingungen werden einzelne oder kleine Gruppen dieser Resonatoren in Mitschwingung versetzt und dadurch die Endorgane des Nervus cochleae erregt; jede solche Erregung erzeugt dann eine Tonempfindung.

Jeder Klang erzeugt deshalb die Empfindung mehrerer Töne, des Grundtones und der Obertöne, wenn wir uns auch dessen nicht bewusst

werden; die Stärke der Obertöne, und daher auch ihre Empfindung, nimmt mit ihrer Entfernung vom Grundton rasch ab, doch ist das bei verschiedenen Instrumenten sehr verschieden; darauf beruhen die Unterschiede der Klangfarbe.

Zwei Schwingungsreihen, deren Frequenz sehr wenig voneinander abweicht, schwächen und verstärken einander abwechselnd: geschieht dies langsam, so hören wir die „Schwebungen“. Geschieht dies öfter, so hören wir keine Schwebungen mehr, aber eine Dissonanz; nach Helmholtz' Annahme beruht das missliche der Empfindung einer Dissonanz eben auf den raschen Schwebungen, die nicht mehr einzeln wahrgenommen werden können.

Auch Klänge, deren Grundtöne in der Tonreihe weit voneinander entfernt sind, können mit ihren Obertönen Schwebungen oder Dissonanzen ergeben. Diese werden nur fehlen, wenn ihre Obertöne genau zusammenfallen, sie werden am zahlreichsten und deshalb unangenehmsten sein, wenn die Obertöne beinahe zusammenfallen. Daraus ergeben sich 1. das altbekannte, dem Pythagoras zugeschriebene Gesetz, dass solche Klänge konsonant sind, deren Grundtöne im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander stehen, denn dann fallen die Mehrzahl der Obertöne zusammen oder aber weit voneinander, und 2. die von Helmholtz aufgestellte Regel, dass die ärgsten Dissonanzen den besten Konsonanzen nah benachbart sind, denn dann fallen die meisten Obertöne nahe beieinander. Die Verfasser der beiden oben genannten Arbeiten glauben nun, eine wesentlich andere und bessere Theorie an Stelle dieser Helmholtz'schen setzen zu können. Dabei geht Ewald von einer physiologisch-technischen Kritik der Helmholtz'schen Darstellung des Aufnahmeapparates für die Tonempfindungen aus, Goldschmidt dagegen von einer neuen Darstellungsform der Gesetze der musikalischen Harmonie. Aus den Ergebnissen, zu denen er mit Hilfe dieser Darstellungsform gelangt, glaubt er dann auf gewisse Gesetze im Bau des Ohres und der anderen Sinnesapparate zurückzuschließen zu können. Er findet dabei „eine auffallende Konkordanz“ zwischen seinen und Ewald's Resultaten, die er erst nach Abschluss seiner Arbeit kennen lernte.

Wir wollen deshalb so vorgehen, dass wir erst die außerordentlich elegante Ableitung und Darstellung der Harmoniegesetze von Goldschmidt in den Hauptzügen wiedergeben, dann untersuchen, wie weit sie sich von den älteren Darstellungen dieser Gesetze unterscheidet; weiter haben wir zu untersuchen, wie weit sie sich mit Helmholtz und mit Ewald's Annahmen über die Natur des Gehörorganes verträgt, und endlich, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten überhaupt bei den drei Theorien des Hörens und der Harmonie zu finden sind.

---

Viktor Goldschmidt's eigentliches Arbeitsgebiet liegt der Musik und der Physiologie fern; er ist in erster Linie Krystallograph und von den Gesetzmäßigkeiten im Bau der Krystalle geht seine Darstellung aus. Wir müssen ihm darin folgen, wenn wir seinen Gedankengang klarlegen wollen.

Jede Krystallart hat einen gesetzmäßigen Bau, d. h. sie ist von ebenen Flächen begrenzt, deren Lage gegeneinander bestimmt ist und mit den übrigen Eigenschaften der krystallisierten Substanz zusammenhängt.

Gleichwohl giebt es eine Mannigfaltigkeit im Bau der einzelnen Krystalle derselben Krystallart: gewisse Flächen sind immer vorhanden und verhältnismäßig ausgedehnt, andere kommen seltener, noch andere ganz selten vor und sind auch dann nur klein; die wichtigsten werden als Haupt- oder Primärflächen bezeichnet.

Die schwächeren, abgeleiteten Flächen ordnen sich zwischen die Hauptflächen in bestimmter Weise; zwischen zwei aneinandergrenzenden Hauptflächen bildet sich immer eine Fläche, die in ganz bestimmtem Winkel die Kante zwischen jenen abstumpft, so dass zwei parallele Kanten entstehen. Geht die Differenzierung weiter, so entstehen zwei neue Flächen, die wieder diese Kanten abstumpfen. Im nächsten Grade entstehen vier neue Flächen. Also aus den zwei Hauptflächen (Normalreihe 0:  $N_0$ ) entwickelt sich die Normalreihe 1:  $N_1$  mit im ganzen drei,  $N_2$  mit fünf,  $N_3$  mit neun von parallelen Kanten begrenzten Flächen; meist geht die Entwicklung nur bis  $N_1$ , oft bis  $N_2$ , selten bis  $N_3$  und äußerst selten darüber hinaus.

Gleichwohl ist schon mit dieser „Komplikation“ der Grund gelegt zu sehr großer Mannigfaltigkeit der möglichen Formen einer Krystallart. Denn jeder vollständig ausgebildete Krystall hat ja mindestens vier Hauptflächen und zwischen jedem Paar von solchen kann sich eine Zone von sieben abgeleiteten Flächen ausbilden; und dann kommt es noch vor, dass zwischen der abgeleiteten Fläche erster Ordnung (der Dominante) einer Zone und einer dritten benachbarten Hauptfläche sich „Sekundärzonen“ oder zwischen zwei Dominanten „Tertiärzonen“ ausbilden.

Die Lage aller dieser abgeleiteten Flächen ist nach einem für alle Krystallarten gültigen Gesetz von der Lage der Hauptflächen abhängig. Dieses „Gesetz der Komplikation“ hat Goldschmidt in folgender Weise auf den einfachsten möglichen Zahlenausdruck gebracht.

Man kann sich von einem Punkt innerhalb des Krystalls auf jede seiner Flächen eine Senkrechte gefällt denken: durch die Lage dieser Normalen im Raum ist dann auch die Lage der zugehörigen Fläche bestimmt. Die Normalen der Hauptflächen können wir als Ausdruck der „Partikelkräfte“ betrachten, durch welche die Krystallpartikel eben in der bestimmten Weise geordnet werden. Die Größe der richtenden



teilt den vermutlichen Endgliedern die Werte 0 und  $\infty$ : sind dies wirklich die Endglieder, so entsprechen die anderen Werte immer denen einer Normalreihe  $N_1-N_3$ , ganz selten auch noch einzelnen Gliedern der Reihe  $N_4$ . Stimmt diese Probe aber nicht, sondern haben die Glieder auf Grund irriger Annahmen irgendwelche andere Wertzeichen erhalten, so kann man durch eine einfache algebraische Formel die Reihe immer so umformen, dass zwei beliebige Glieder  $= 0$  und  $= \infty$  werden, und nun untersuchen, ob jetzt die anderen Glieder sich einer Normalreihe einfügen.

Dies „Gesetz der Komplikation“ gilt ausnahmslos für alle Krystalle, die man in der Natur gefunden und untersucht hat. Der zweite umfangreichste Abschnitt von „Harmonie und Komplikation“ dient dem Nachweis, dass dieselben Zahlenverhältnisse auch die musikalischen Harmonien bestimmen sollen.

Es lassen sich innerhalb der Grenzen, für die unser Ohr eingerichtet ist, eine unendliche Zahl von Tönen erzeugen. Wenn die Menschen Musik machen, so wählen sie bestimmte harmonische Gruppen von Tönen aus dieser unendlichen Zahl aus, um sie mit- oder nacheinander erklingen zu lassen. Jeder Ton ist durch die Zahl der Schwingungen in der Sekunde absolut bestimmt; für die Harmonie ist aber nur wichtig das Verhältnis der Schwingungszahlen zueinander; setzen wir die Schwingungszahl des Grundtones  $= 1$ , so hat die sogenannte diatonische Tonleiter, die den Anfang jedes Musikunterrichtes bei uns bildet, folgende Form:

c	d	e	f	g	a	h	$\bar{c}$
$z = 1$	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$	2
Grundton	Secund	Terz	Quart	Quint	Sext	Septim	Oktav

Statt der Zahl der Schwingungen können wir die Schwingungsdauer, oder, was auf dasselbe herauskommt, die Wellenlänge zur Bezeichnung wählen und würden dann für dieselbe Tonleiter die reciproken Werte

erhalten.

$$1 = 1 \quad \frac{8}{9} \quad \frac{4}{5} \quad \frac{3}{4} \quad \frac{2}{3} \quad \frac{3}{5} \quad \frac{8}{15} \quad \frac{1}{2}$$

Eine Grundthatsache der Harmonielehre ist die Gleichwertigkeit von Grundton und Oktav: wir können jedes Musikstück ohne weiteres um eine oder mehrere Oktaven versetzen und auch die Harmonie eines Akkordes oder einer Tonfolge bleibt dieselbe, wenn einzelne Töne derselben in höhere oder tiefere Oktaven versetzt werden; dem entspricht, dass alle Töne, deren Schwingungszahlen ganze Vielfache des Grundtones darstellen, musikalisch mit dem gleichen Buchstaben bezeichnet werden wie dieser Grundton.

Goldschmidt sieht deshalb Grundton und Oktav als die Endknoten einer Normalreihe an und formt die eben wiedergegebene Reihe

z, die Schwingungszahlen, nach derselben Formel um, die er auf krystallographische Zonen anwendet; die so erhaltenen Zahlen bezeichnet er mit p und nennt sie die harmonischen Zahlen. Die diatonische Tonleiter erhält dadurch folgende Form:

$$p = 0 \quad c \quad d \quad e \quad f \quad g \quad a \quad h \quad c$$

$$1/7 \quad 1/3 \quad 1/2 \quad 1 \quad 2 \quad 7 \quad \infty$$

Es ergibt sich nun, dass die Töne

$$p = 0 \quad c \quad e \quad f \quad g \quad a \quad c$$

$$1/3 \quad 1/2 \quad 1 \quad 2 \quad \infty \text{ für den Grundton } c$$

und die Töne

$$p = 0 \quad g \quad h \quad c \quad d \quad e \quad g$$

$$1/3 \quad 1/2 \quad 1 \quad 2 \quad \infty \text{ für den Grundton } g$$

darstellen: die diatonische C-dur-Tonleiter stellt daher eine Vereinigung der harmonischen Zahlen für die Normalreihen  $N_2$  auf den Grundtönen c und g dar; g hat auf dem Grundton c den Wert 1, es entspricht also der Nebenfläche erster Ordnung; musikalisch heißt es die Dominante von C-dur, und G-dur heißt die nächstverwandte Tonart von C-dur; Stücke in C-dur modulieren am allerhäufigsten nach G-dur. Die diatonische Tonleiter stellt also eine Vereinigung der Normalreihen  $N_2$  für den Grundton und seine Dominante dar; aus der Normalreihe  $N_3$  ist nur eine harmonische Zahl,  $1/3$ , mit aufgenommen worden; der reciproke Wert 3 (= b für den Grundton c) ist nicht in der diatonischen Tonleiter enthalten, kommt aber doch in C-dur-Stücken an betonten Stellen vor. Die vollständige Reihe  $N_3$  müsste noch

$$2/3 \text{ und } 3/2$$

$$fis \text{ und } as \text{ für C-dur}$$

enthalten; sie finden in C-dur keinen Platz, weil sie mit den wichtigeren Gliedern

$$f \quad g \quad a$$

$$1/2 \quad 1 \quad 2$$

nah benachbart sind; auch bei Krystallen kommt es vor, dass von den Flächen einer Normalreihe nur ein Teil ausgebildet ist; und zwar fallen dann diejenigen aus, deren Lage sehr wenig von der der benachbarten Flächen abweicht.

Es würde zu weit führen, versuchten wir, uns weiter so eng an die Ausführungen des Verfassers anzuschließen: er zeigt, dass die Molltonarten ebenfalls harmonische Reihen darstellen, nur in fallender Harmonie, d. h. vom Grundton aus herabsteigend, im übrigen als genaue Spiegelbilder der Durtonarten, z. B. C-moll

$$c \quad \frac{as}{1/3} \quad \frac{g}{1/2} \quad \frac{f}{1} \quad \frac{es}{2} \quad \frac{c}{\infty};$$

er zeigt, dass die am häufigsten verwendeten Akkorde sich immer durch diese wenigen harmonischen Zahlen darstellen lassen, dass die

große Bedeutung der Dur- und Moll-Dreiklänge darauf beruht, dass jeder von ihnen vier Deutungen in einfachen harmonischen Zahlen auf zwei verschiedenen Grundtönen (von denen der eine die Dominante des anderen ist) und in steigender und fallender Harmonie zulässt und dass sie deshalb beim Fortschreiten der Melodie vielfach verwendbar sind.

Nachdem er noch den Ausbau des Tonsystems, die Temperierung und andere bekannte Teile der Musiktheorie auf der Grundlage der harmonischen Zahlen in sehr einfacher und fasslicher Weise dargelegt hat, wendet er sich zur Probe auf das Exempel, nämlich zur Analyse einiger Musikstücke; er wählt zunächst einige volksliedmäßige vierstimmige Sätze und findet hier sowohl in der stehenden wie in der fortschreitenden Harmonie nur die einfachsten harmonischen Zahlen vertreten: als stehende Harmonie bezeichnet er nämlich die zugleich erklingenden Noten, die Akkorde, als fortschreitende Harmonie die Grundtöne der Akkorde<sup>1)</sup>. Er kommt zu dem Schluss, dass in stehender Harmonie die Folge  $0 \frac{1}{3} 1$  (der Durdreiklang!), in der fortschreitenden die Folge  $0 \frac{1}{2} 2$  bevorzugt werden.

An die Analyse dieser einfach harmonisierten Lieder schließt er noch diejenige des Stabat mater von Palestrina: auch hier findet er dieselben harmonischen Zahlen mit einer nur sehr wenig weitergehenden Komplikation: es kommt nämlich auch der Akkord  $0 \frac{1}{4} 1$  vor, und die fortschreitende Harmonie geht bis zu der Reihe  $0 \frac{1}{3} \frac{1}{2} 1 2$ . Dabei aber zeigt die ganze Komposition in der Darstellungsweise Goldschmidt's einen wunderbar regelmäßigen Bau aus teils symmetrisch, teils parallel gebauten Sätzen, bei denen jedesmal der Hauptaccent in die Mitte und auf den Grundton der fortschreitenden Harmonie fällt.

Der Verfasser hat absichtlich diesen berühmten Satz alter, polyphoner Kirchenmusik als Beispiel gewählt. Denn Helmholtz hat in der „Lehre von den Tonempfindungen auf physiologischer Grundlage und Theorie der Musik“ gerade an diesem Satz demonstriert, dass Palestrina zwar lauter wohlklingende Harmonien zusammengestellt habe, dass sich aber keine vernünftige, gesetzmäßige Ordnung dieser aus den verschiedensten Tonarten gewählten Akkorde erkennen lasse. Dass Goldschmidt mit seiner Darstellungsmethode uns die Schönheit dieser alten Musik, die jedermann empfindet, auch verstandesmäßig klarlegen kann, während ein Helmholtz an dieser Aufgabe gescheitert ist, das erweckt eine günstige Meinung von der neuen Methode.

---

Nachdem wir soweit uns der Darstellung Goldschmidt's angeschlossen haben, wollen wir versuchen, uns klar zu machen, worin

1) Diese fortschreitende Harmonie ist nicht identisch mit der Melodie!

sich seine Darstellung von der bisher anerkannten Musiktheorie unterscheidet.

Dem Pythagoras wird die Erkenntnis zugeschrieben, dass alle Harmonie auf dem Verhältnis kleiner ganzer Zahlen beruhe. Die Alten gelangten zu dieser Erkenntnis durch das Ausmessen der Längenschwingender Saiten; wir wissen, dass diese Regel für die Schwingungszahlen oder die Wellenlänge der Töne gilt. Ordnen wir alle Verbindungen kleiner ganzer Zahlen, von den kleinsten aufsteigend, in einer Reihe, wobei wir diejenigen weglassen, die ein Verhältnis darstellen, das schon einmal da war, oder die eine Verbindung mit dem einen Ton in höherer Oktave wiederholen, so erhalten wir folgende Rangordnung der Intervalle:

I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	
1 : 1	2 : 1	3 : 2	4 : 3	5 : 3	5 : 4	6 : 5	
Grundton Einklang	Oktav	Quint	Quart	Große Sext	Große Terz	Kleine Terz	
VIII.	IX.	X.	XI.	XII.	XIII.	XIV.	XV.
7 : 4	7 : 5	7 : 6	8 : 5	8 : 7	9 : 5	9 : 7	9 : 8
Vermind. Septime	Vermind. Quint	Vermind. Terz	Kleine Sext	Uebermäß. Sekund	Kleine Septime	Ueberm. Terz	Sekunde

Die ersten sechs Glieder dieser Reihe stellen die besten Konsonanzen dar, dann wird die Konsonanz schlechter, mit dem 12. Glied etwa beginnen die ausgesprochenen Dissonanzen.

Durch algebraische Umformung der ersten fünf Glieder erhält Goldschmidt seine zweite Normalreihe

$$\begin{aligned} z &= 1 & \frac{4}{3} & \frac{3}{2} & \frac{5}{3} & 2 \\ p &= 0 & \frac{1}{2} & 1 & 2 & \infty \end{aligned}$$

hier decken sich also die Rangordnung der Intervalle nach dem pythagoreischen Gesetz der kleinen Zahlen und nach dem Gesetz der Komplikation vollständig. Gehen wir weiter, so erhalten wir nach Pythagoras zunächst die große und kleine Terz, nach Goldschmidt aus  $N_3$  aber

$$\begin{aligned} p &= \frac{1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{3}{2} & 3 \\ z &= \frac{5}{4} & \frac{7}{5} & \frac{8}{5} & \frac{7}{4} \end{aligned}$$

mit entsprechender Umformung, also ebenfalls die große Terz, aber weiter das 8., 9. und 11. Glied der pythagoreischen Reihe. Wollen wir die kleine Terz, die doch in der Musik eine wichtige Rolle spielt, nach dem Gesetz der Komplikation mit aufnehmen, so müssen wir die Reihe  $N_4$  anbrechen und diese enthält unter ihren 17 Gliedern fünf, die wie z. B.

$$\begin{aligned} p &= \frac{3}{5} & \frac{3}{4} \\ z &= \frac{11}{8} & \frac{10}{7} \end{aligned}$$

noch über die obenstehenden 15 Glieder der pythagoreischen Reihe der  
XXII. 44

Konsonanzen hinausführen. Andererseits finden wir in dieser an 10. Stelle das Verhältnis  $\frac{7}{6}$ , das der harmonischen Zahl  $\frac{1}{5}$ , also dem Anfangsglied von  $N_5$  entspricht und an 12. und 15. Stelle die Anfangsglieder von  $N_6$  und  $N_7$ .

Goldschmidt selber, dem die große Rolle der kleinen Terz nicht entgehen konnte, wirft die Frage auf, ob wirklich die krystallographischen Normalreihen, oder vielleicht, nach seiner Bezeichnungsweise, die kleinen ganzen Zahlen und ihre Reciproken die harmonischen Zahlen darstellten. Dann erhielt man nämlich die Reihe

p = 0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	4	$\infty$
Grundton	Kleine Terz	Große Terz	Quart	Quint	Große Sext	Verminderte Septime	Kleine Septime	Oktav

Er untersucht deshalb, ob  $\frac{1}{4}$ , kleine Terz, oder  $\frac{2}{3}$  und  $\frac{3}{2}$ , verminderte Quint und kleine Sext, häufiger in Musikstücken vorkämen, gelangt aber zu keiner Entscheidung. Auch diese Reihe, weiter fortgesetzt, würde sich nicht vollständig mit den pythagoreischen Zahlen decken, denn während  $\frac{1}{5}$  und  $\frac{1}{6}$ , die verminderte Terz und übermäßige Sekunde, wenn sie auch im jetzigen Tonsystem mit den benachbarten Tönen verschmolzen werden, doch eine gewisse Bedeutung in der Theorie haben, wüsste man für ihre Reciproken 5 und 6 zwischen der kleinen und großen Septime wohl kaum einen Platz zu schaffen.

Wir sehen also, dass, soweit es sich um die allergebräuchlichsten Konsonanzen handelt, das Tonsystem der Komplikation und das der kleinen Zahlen sich decken. Bei den weniger guten Konsonanzen ist es sehr schwer, eine Entscheidung zu treffen. Nach dem eben Ausgeführten könnte man annehmen, die kleine Terz entscheide gegen Goldschmidt. Nun ist aber die kleine Terz charakteristisch für die Molltonarten, und Goldschmidt betrachtet die Molltonarten als die abwärts gerichteten Spiegelbilder der Durtonarten; dabei erhält die kleine Terz, z. B. Es für den Grundton C, die in steigender Harmonie durch die harmonische Zahl  $\frac{1}{4}$  ausgedrückt wird, in fallender die Zahl 2 als große Untersext zugeordnet.

Wir können Goldschmidt in dem glücklichen Gedanken folgen, die fallende Harmonie als Spiegelbild der steigenden aufzufassen, im übrigen aber ganz bei den einfachen Zahlenverhältnissen bleiben. Wir erhalten dann die Reciproken der vorhin behandelten Zahlen, und zwar lauten die ersten sechs Glieder der Reihe:

1 : 2	2 : 3	3 : 4	3 : 5	4 : 5	5 : 6
Absteigende Oktav	Unterquint	Unterquart	Große Untersext	Große Unterterz	Kleine Unterterz

Wollen wir erkennen, welche Noten diesen Intervallen in der üblichen Bezeichnung entsprechen, so müssen wir die Zähler dieser Brüche alle mit 2 multiplizieren, wodurch wir die betreffenden Töne aus der

Oktav unterhalb in die oberhalb des Grundtones verlegen. So erhalten wir

$\frac{4}{3}$	$\frac{6}{4} = \frac{3}{2}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{8}{5}$	$\frac{10}{6} = \frac{5}{3}$
Quart	Quint	Kleine Terz	Kleine Sext	Große Sext

d. h., wenn wir vom ersten Glied, dem Grundtone absehen, in den nächsten fünf Gliedern ebenfalls Quint und Quart, aber auch kleine Terz und kleine Sext, die beiden für Moll charakteristischen Intervalle an bevorzugter Stelle, während die große Sext einen geringeren Rang erhält als in Dur. Setzen wir die Reihe so weit fort, wie oben die der steigenden Harmonie, und nähmen dieselbe Versetzung in die höhere Oktave vor, so erhielten wir fünf Intervalle, die sich gar nicht mit üblichen Namen bezeichnen lassen und die jedenfalls zu den Dissonanzen zu rechnen sind, daneben die übermäßige Sekund und verminderte Septime, die jedenfalls sehr schlechte Konsonanzen sind, und zwischen diesen erst an 11. Stelle die große Terz, die also in der fallenden Harmonie, in Moll, eine viel geringere Stellung erhält als die kleine Terz in steigender Harmonie.

Wir sehen also, dass die Ableitung der wichtigsten Konsonanzen aus den Verhältnissen der kleinsten ganzen Zahlen und aus Goldschmidt's Normalreihen zu beinahe demselben Resultat führt. Nun gibt es aber für einfache Musikstücke nicht nur eine Deutung; Goldschmidt selbst lässt für den Dur- und den Molldreiklang je vier Deutungen gelten, von denen er die am betreffenden Ort gerade passendste auswählt. So kann man für denselben Akkord verschiedene Grundtöne annehmen; aus diesen, also in gewissem Grade willkürlichen Grundtönen, baut sich die fortschreitende Harmonie auf, und auch diese lässt wieder verschiedene Deutungen auf verschiedenen Grundtönen zu. Als leitende Regel bei der Wahl unter diesen Möglichkeiten stellt Goldschmidt auf, immer die Deutung zu wählen, die die einfachsten Verhältnisse ergibt; es ist klar, dass man auf diese Weise nicht zu einer Entscheidung gelangen kann, ob die Goldschmidt'sche oder die pythagoreische Ordnung der Intervalle besser den Thatsachen entspreche.

Sie unterscheiden sich ja nur unwesentlich, indem in jeder einige in einfachen Musikstücken selten vorkommende Harmonien vor anderen bevorzugt werden; aber die freistehende Wahl der Grundtöne der Harmonie erlaubt meist solche Beziehungen zwischen dem angenommenen Grundton und den vorkommenden Harmonien, die schlechter in die gewählte Darstellungsweise passen, willkürlich zu vermeiden. Wir können also keiner von beiden einen bedeutenden Vorzug vor der anderen einräumen.

Wir haben bisher die Deutung der Harmoniegesetze nach den Normalreihen der Komplikation mit der nach den Verhältnissen kleiner Zahlen verglichen. Beide Verfahren sind so gewonnen, dass an der Hand einiger unzweifelhafter Thatsachen Regeln aus ganz fremdartigen Wissensgebieten auf die Musiktheorie übertragen wurden. Von einer physiologischen Begründung war bisher nicht die Rede.

Eine solche hat Helmholtz für das Gesetz der kleinsten Zahlen gegeben.

Aus seinen Ausführungen ergibt sich, dass alle solche Klangverbindungen dissonant sein müssen, bei denen die Zahl der Schwebungen zwischen den Grundtönen oder irgend einem Paar genügend starker Obertöne in der Zeiteinheit innerhalb bestimmter Grenzwerte fällt: sind sie weniger zahlreich, so erkennen wir sie als Schwebungen und die sie erzeugenden Klänge sind nach der Regel der erlaubten Unreinheit noch als konsonant zu betrachten; sind sie noch zahlreicher, so bilden sie einen Kombinationston und sind nicht mehr unangenehm. Die Grundregeln der Konsonanz, die sich daraus ergeben, stimmen mit den von Goldschmidt auf eine didaktisch viel fasslichere Weise abgeleiteten in der Hauptsache überein. Aber weiter zieht Helmholtz Folgerungen, die er im Versuche bestätigt fand, und die wir bei Goldschmidt vermissen. Hierher gehört die Regel, dass die Zahl der guten Konsonanzen in sehr tiefer Lage kleiner ist als in hoher, weil erstens bei tiefen Tönen, die im gleichen Verhältnis zueinander stehen, noch keine Kombinations-töne zu stande kommen können, und zweitens eine größere Zahl von Obertönen zu deutlicher Empfindung kommen als bei sehr hohen Klängen, bei denen die thatsächlich vorhandenen Obertöne bald die Grenze des musikalischen Hörens überschreiten. Weiter gehört hierher die Regel, dass die Grade und Grenzen der Konsonanz für jedes Instrument eigens bestimmt werden müssen, weil jedes Instrument eine andere Klangfarbe, d. h. eine anders begrenzte und der Stärke nach geordnete Reihe von Obertönen besitzt; so klingen z. B. genau dieselben Klangverbindungen in den hohen Lagen des Klaviers erträglich, welche, von Streichinstrumenten vorgetragen, schon sehr unangenehm sind, weil bei jenem durch die Dämpfung die Reihe der Obertöne rasch abgeschnitten wird.

Hierher gehört auch die wichtige, von Helmholtz wohl zuerst ausgesprochene Regel, dass die schärfsten Dissonanzen in der Nachbarschaft der besten Konsonanzen liegen, weil hier fast alle Obertöne zweier Klänge miteinander Schwebungen von entsprechender Häufigkeit in der Zeiteinheit erzeugen; so findet Helmholtz, dass die stärksten Dissonanzen außer in nächster Nachbarschaft von Grundton und Oktav, zwischen Quart und Quint, Quint und Sext gelegen sind. Nach Goldschmidt's Komplikationstheorie liegen hier die zwei Glieder  $\frac{2}{3}$  und  $\frac{3}{2}$  der dritten Normalreihe, die also eigentlich eine

wichtige Rolle in der Harmonie spielen sollten. Goldschmidt stellt fest, dass sie wegen der Nähe der noch wichtigeren Intervalle  $\frac{1}{2}$ , 1, 2, Quart, Quint und Sext ausfallen, aber er giebt keinen Grund an, warum dies so sein muss. Man müsste also Helmholtz' Obertontheorie hier zur Ergänzung der Komplikationstheorie heranziehen.

Helmholtz leitet weiter aus seiner Obertontheorie den Satz ab, dass es nur eine beschränkte Zahl von wirklich konsonanten Dreiklängen gebe, nämlich den Dur- und den Molldreiklang mit je zwei Versetzungen, d. h. wenn je einer ihrer Töne um eine Oktave tiefer oder höher gelegt werde, die sogenannten Sexten- und Quartsextenakkorde. Diese Versetzungen aber seien nicht den ursprünglichen Dreiklängen ganz gleichwertig, wie sie von der älteren Musiktheorie und auch von Goldschmidt aufgefasst werden, sondern sie hätten, auch in absolut reiner Stimmung, einen weniger guten Klang, weil es andere Kombinationen der Obertöne ergibt, je nachdem die Grundtöne in der ursprünglichen engen Lage oder mit einer Versetzung in der Ordnung der drei Klänge ertönen. Daraus folgt dann weiter, dass wirklich konsonante Vierklänge, Akkorde, nur durch Wiederholung eines Tones dieser Dreiklänge in seiner Oktave gebildet werden können und dass sie ähnliche Unterschiede in ihrem Wohlklang erkennen lassen, wie die Dreiklänge, aus denen sie abzuleiten sind.

Hier müssen wir auf einen thatsächlichen Widerspruch zwischen den Angaben von Helmholtz und von Goldschmidt hinweisen. Goldschmidt bezeichnet den Akkord  $0 \overline{1}_3 \overline{1}$ , vervollständigt  $0 \overline{1}_3 \overline{1} \infty$ , c as f c absteigend, als „den wichtigsten Akkord der fallenden Harmonie“; in der einfacheren Form, ohne das tiefe C, entspricht er dem F-moll-Dreiklang in üblicher Bezeichnungsweise und ist recht wohlklingend. Mit dem tiefen C und mit C als Grundton aber ist es der C-moll-quartsextenakkord, nach Helmholtz „beinahe eine Dissonanz“ und der schlechteste aller als Konsonanzen behandelten Vierklänge. Diesen Widerspruch durch eigene Beurteilung zu entscheiden ist nicht leicht, auch vorausgesetzt, dass der Beurteiler sich auf sein musikalisches Ohr und die Stimmung seines Instrumentes verlassen kann. Denn die Angaben von Helmholtz beziehen sich alle auf die reingestimmte Physharmonika, während Goldschmidt, der über das benützte Instrument nichts näheres angiebt, vermutlich nur das temperierte Klavier benützte, zu dem Ausdruck, „der wichtigste Akkord der fallenden Harmonie“ aber eingestandenermaßen durch die Analogie mit  $0 \frac{1}{3} 1 \infty$  in steigender Harmonie, dem Durakkord, geleitet wurde. Auf dem temperierten Klavier sind nun auch die besten Konsonanzen nicht so wohlklingend wie auf einem ganz rein gestimmten Instrument, andererseits sind, wie Helmholtz ausführt, auch arge Dissonanzen auf dem Klavier verhältnismäßig recht erträglich, weil das Klavier arm ist an Obertönen und die Stärke des Schalles rasch abnimmt, so dass die raschen

Schwebungen der Obertöne kaum wirksam werden können. Deshalb aber kann man Helmholtz' Angaben über den größeren oder kleineren Wohlklang der konsonanten Akkorde überhaupt nicht nachprüfen, wenn man nicht über eine reingestimmte Physharmonika oder ein ähnliches wissenschaftliches Musikinstrument verfügt.

In den weiteren Ausführungen von Helmholtz und von Goldschmidt, durch welche die moderne Harmonielehre und die Notwendigkeit unseres modernen Tonsystems mit 12 Stufen in der Oktave und temperierter Stimmung zu dem Zweck, auf jedem beliebigen dieser Töne als Grundton alle möglichen Harmonien (mit möglichst geringer Unreinheit) aufbauen zu können, entwickelt wird, finden sich keine wesentlichen Widersprüche. Nur erscheint dem Referenten bei Helmholtz alles zwar umständlicher dargelegt, aber sorgfältig aus den physikalischen Eigenschaften der Klänge und den physiologischen des Gehörorganes abgeleitet, während Goldschmidt's aprioristische, von dem einmal angenommenen System der Komplikation ausgehende Darstellung über die innere Notwendigkeit der thatsächlichen Verhältnisse leicht hinweggeht, dafür aber elegant und leicht verständlich ist und wohl auch didaktische Vorzüge besitzt.

Die Helmholtz'sche Obertontheorie, wie wir sie bisher wiedergegeben haben, erklärt die Gesetze des Zusammenklanges dahin, dass Konsonanz das Fehlen unangenehm empfundener Schwebungen sei; man hat ihr deshalb vorgeworfen, sie erkläre den Wohllaut nur negativ, als Mangel der Dissonanz. Triftiger erscheint der Einwand, dass nicht nur für den Zusammenklang, sondern auch für die Folge der Klänge in durchaus einstimmiger, homophoner Musik, dieselben oder fast dieselben Harmoniegesetze gelten wie für den Zusammenklang. Man muss hier nach Helmholtz einige Hypothesen machen; Helmholtz bezeichnet Töne, welche gemeinsame Obertöne haben, als verwandt. Je mehr Obertöne gemeinsam sind, desto größer sei die Verwandtschaft. Unser Schönheitssinn empfinde und erkenne diese Verwandtschaft, weil ja bei jeder Klangempfindung immer die auf die Obertöne abgestimmten Resonatoren mit erregt werden; wenn die Oktave auf den Grundton folgt, so werden gar keine neuen Nervenbahnen erregt, nur vorher schwächer erregte (des ersten, dritten und überhaupt aller ungeraden Obertöne) werden stärker erregt, während die andere Hälfte der bisherigen Erregungen schwindet. Folgt die Quarte dem Grundton, so dauert die Empfindung des 3., des 7., 11. Obertones u. s. w. fort, während alle übrigen Erregungen sich ändern. Dieses Fortklingen des schon bekannten werde als angenehm empfunden, das Auftreten durchaus neuer Erregungen unangenehm, als Dissonanz. Mit dieser Annahme und der weiteren, dass ein musikalisch gebildeter Gehörsinn auch die entfernte, nur durch Mittelglieder bestehende Verwandtschaft zweier Klänge unmittelbar zu empfinden

vermöge, lassen sich dann alle Regeln für den Wohlklang der Tonfolge ableiten.

Aus diesen Anschauungen von Helmholtz folgt dann zweierlei: erstens, dass für den Zusammenklang reiner Töne und von Klängen mit sehr wenigen und schwachen Obertönen, zweitens dass für die Tonfolge in rein einstimmiger, homophoner Musik die Gesetze der Harmonie viel laxer und weniger bestimmt sein müssen, als für die harmonische moderne Musik. Helmholtz hebt hervor, dass uns Musikstücke auf Instrumenten mit wenig Obertönen, wie Flöten und ungedackten Orgelpfeifen, ausgeführt, leer und langweilig klingen, die auf anderen Instrumenten schön und voll ertönen und dass sich mit solchen Instrumenten sehr kühne Tonverbindungen erzeugen lassen, ohne unerträglich zu werden. Er sieht dies als Bestätigung des ersten Satzes an. Auch die zweite Folgerung glaubt er bei der Untersuchung der Tonleitern solcher Völker, die nur einstimmige Musik kennen, der orientalischen Kulturvölker und der alten Griechen, bestätigt zu finden. Leider sind unsere Kenntnisse in dieser Richtung so mangelhaft, dass zuverlässige Schlüsse aus ihnen kaum gezogen werden dürfen; jedenfalls spielen die Hauptintervalle, wie Quint und Quart, große Sext, große und kleine Terz auch in der homophonen Musik aller Völker die wichtigste Rolle.

Dass die einstimmige Musik der europäischen Kulturvölker in den Tonstufen mit den Gesetzen des harmonischen Zusammenklangs durchaus übereinstimmt, beweist in keiner Richtung viel, denn hier kann es sich um eine allmähliche Anpassung an die festgestimmten Instrumente und an die Gewohnheit, auch ein einfaches Lied mit harmonischer Begleitung zu versehen, handeln. Ob aber die anders garteten Tonleitern der Willkür oder bestimmten, von uns bisher nur noch nicht erkannten Gesetzen ihr Dasein verdanken, das ist eben die Frage. Es heißt, dass einem musikalisch gebildeten Japaner unsere Musik ebenso unschön, barbarisch und unverständlich erscheine, wie uns die japanische; die alten Griechen, in allen bildenden Künsten noch heute unsere nicht übertroffenen Vorbilder, pflegten als hohe Kunst auch die Musik; sie haben uns eine ausgebildete Musiktheorie hinterlassen, die wir nur leider aus Mangel der lebendigen Beispiele nicht genügend verstehen. Nur soviel wissen wir, dass sie eine Begleitung der Melodie nur in der Oktave, höchstens noch in der Quint erträglich fanden. Da hat die Vermutung Goldschmidt's etwas bestechendes, unsere Tonleiter sei mit Rücksicht auf die harmonische Musik bei einem geringeren Grade der Komplikation stehen geblieben, die Musik orientalischer Völker jedoch, die uns unverständlich und unschön erscheine, und thatsächlich eine weitergehende Teilung der Oktave besitzt, sei in dieser Hinsicht vielleicht vollkommener als unsere einstimmigen Melodien. Für seine Komplikationstheorie be-

anspricht er aprioristisch allgemeine Geltung auch für die homophone Musik.

Es wäre eine lohnende Aufgabe für einen musikalisch hochbegabten Reisenden, durch genaue Aufzeichnung orientalischer Melodien diese Vermutung Goldschmidt's auf ihre Berechtigung zu prüfen. Goldschmidt selber hat den Versuch gemacht, fand aber sein musikalisches Gehör nicht fein genug, um die gehörten Melodien mit der nötigen Genauigkeit aufzuzeichnen; am besten wäre wohl phonographische Fixierung und spätere Untersuchung.

Im Zusammenhang mit diesen Problemen steht es, dass Helmholtz auch die polyphone Musik des Mittelalters, die er gewiss mit Recht als ein Mittelglied zwischen der eigentlichen homophonen Musik und unserer harmonischen betrachtet, für unvollkommen und regellos im Vergleich zur letzteren hält. Wir sahen oben schon, dass Goldschmidt einen streng geregelten, sinngemäßen Bau eines solchen alten Kirchengesanges nachweist, dessen Gesetze freilich beträchtlich von denen des modernen Generalbasses abweichen. Das beweist zum mindesten, dass Goldschmidt's Darstellungsmethode des harmonischen Baues eines Musikstückes wirklich geeignet ist, die diesem innewohnenden Gesetzmäßigkeiten aufzufinden. Nicht ohne Interesse ist es auch, dass Goldschmidt in diesen polyphonen Gesängen den Grundton der Harmonie jedesmal in der Mitte der einzelnen Abschnitte an betonter Stelle findet und dass dies übereinstimmt mit einer Angabe des Aristoteles über die antike Musik, die von Helmholtz citiert wird.

Auch für einstimmige homophone Melodien scheint dem Referenten die Goldschmidt'sche Art der Untersuchung geeignet zu sein. So giebt Helmholtz Beispiele von Liedern, die sich in einer höchst altertümlichen fünfstufigen, bis zur Neuzeit bei den schottischen Gälen und den Chinesen gebräuchlichen Tonleiter bewegen. Als besonders auffällig führt er ein gälisches Liedchen an, in dem die Quint beinahe fehle, nur flüchtig auf unbetontem Takteil berührt werde; er schreibt ihm den Grundton fis zu. Wird es mit Hilfe der Goldschmidt'schen Darstellungsweise untersucht, so ergibt sich, dass das Liedchen aus Abschnitten aufgebaut ist, die sich abwechselnd auf fis in fallender und h in steigender Harmonie aufbauen, es moduliert also fortwährend von fis-moll nach h-dur und wieder zurück. Mit Berücksichtigung der Wiederholungen ergibt sich folgender Aufbau auf Grundtönen:

$$0 \bar{1} 0 0 \mid 0 \bar{1} \mid 0 \bar{1} \mid 0 \bar{1} 0 0$$

wenn man fis, oder umgekehrt

$$1 0 1 1 \mid 1 0 \mid 1 0 \mid 1 0 1 1$$

wenn man h als Grundton des Ganzen ansehen will, und die einzelnen Abschnitte enthalten immer nur die harmonischen Zahlen

$$0 \quad \frac{1}{3} \quad \frac{1}{2} \quad 1 \quad 2$$

nur je einmal, im zweiten Abschnitt des Mittelsatzes auch die beiden Zahlen  $\frac{1}{4}$  und 3. Die Quinte h-fis spielt also auch hier die bedeutendste Rolle, nur dass zu fis dann nicht die höhere Quinte hinzukommt, sondern die Harmonie immer wieder zur Unterquinte = Quart h zurückkehrt; und auch im übrigen zeigt sich ein einfacher, gesetzmäßiger Bau.

## II.

Wir wollen nun mit Goldschmidt annehmen, dass sich die Vorzüge seiner Darstellungsweise durchaus bewährt hätten und die Gesetze der Harmonie durchaus identisch seien mit dem Gesetze der Komplikation und wollen sehen, welche Folgerungen er für die Physiologie des Gehörorganes aus dieser Voraussetzung zieht.

Goldschmidt stellt fest, dass erstens jeder beliebige Grundton dem Ohr gleich willkommen sei, aber zweitens, sobald einmal ein Grundton aufgenommen sei, nur ganz bestimmte in einem rationalen Verhältnis (Goldschmidt sagt „nach dem Gesetz der Komplikation“) zu diesem Grundton stehende andere Töne gleichzeitig oder rasch danach angenehm, alle anderen aber unangenehm seien.

Daraus folgert Goldschmidt: das Ohr sei im stande, beliebige Töne aufzunehmen; das könne geschehen entweder, indem es für alle diese Töne besondere Aufnahmeorgane besitze, oder wenn es auf jeden beliebigen Ton akkomodieren könne. Die Aufnahme des Grundtones aber befähige das Ohr zum vorzugsweisen Aufnehmen anderer, zum Grundton harmonischer Töne.

Die Helmholtz'sche Annahme von den vielen voneinander unabhängigen Resonatoren erkläre nun diese Eigenschaft des Gehörorganes nicht genügend; danach könnten die verschiedensten Töne zugleich unabhängig voneinander aufgenommen werden und der Unterschied zwischen Konsonanz und Dissonanz müsse erst im Gehirn zu stande kommen. Goldschmidt zieht die Vermutung vor, das Ohr selbst sei „nach dem Gesetz der Komplikation“ gebaut, es müsse selber ein harmonisches Organ sein. Ein solches harmonisches Organ müsste folgende Eigentümlichkeiten haben: sich an jeden beliebigen Grundton zu akkomodieren und sich dann harmonisch (nicht im mathematischen Sinn dieses Ausdrucks, sondern nach dem Gesetz der Komplikation) zu teilen. Diesen Vorgang stellt er sich folgendermaßen vor: ein herankommender Ton lässt das harmonische Organ mitschwingen in Wellenlängen, die dem Tone entsprechen; damit sind eine Anzahl Knoten, Primärknoten, festgelegt und mit diesen auch der Ort für abgeleitete Knoten; auf Wellenlängen, die diesen abgeleiteten Knoten entsprechen, spricht das Organ nun besonders leicht an.

Goldschmidt selbst weist in einer Anmerkung darauf hin, dass diese Anschauung, zu der er durch seine Musiktheorie gelangt sei, im

wesentlichen übereinstimme mit der, die Ewald in seiner Arbeit „eine neue Hörtheorie“ (1899) veröffentlicht hat und die Goldschmidt erst bekannt wurde, als er seine Arbeit schon abgeschlossen hatte.

Wir wenden uns deshalb nun zu einer Wiedergabe des wesentlichen Inhalts von Ewald's Arbeit.

J. Rich. Ewald geht aus von einer Kritik der Annahme, dass im Ohre eine große Zahl von Resonatoren vorhanden sei, die auf die einzelnen Töne abgestimmt sind, und dass etwa ebensoviel Nervenfasern vorhanden seien, die jede einzelne Tonempfindung dem Gehirn zuleiten; er führt eine ganze Reihe von Erfahrungen und Beobachtungen an, die nach ihm mit dieser Theorie schlecht vereinbar sind. Diese Einwände sind teils mehr, teils weniger treffend, unter anderen finden wir auch den von Goldschmidt in den Vordergrund gestellten, dass der wesentliche Unterschied von Konsonanz und Dissonanz nicht genügend erklärt werde. Nur derjenige der übrigen, der dem Referenten der allerwichtigste erscheint, soll hier noch wiedergegeben werden, nämlich das Vorhandensein der Intermittenztöne. Wenn mit einer Sirene ein Ton erzeugt wird, und dann aus dem Zahnrad der Sirene ein Zahn ausgebrochen wird, so kann, neben dem ursprünglichen Ton, auch ein Ton erkannt werden, dessen Höhe den Umdrehungen des Zahnrades, also der Häufigkeit, mit der die Lücke an der Zunge vorbei passiert, entspricht.

Ewald untersucht nun die Möglichkeit, dass nicht einzelne Resonatoren im Ohre vorhanden seien, sondern die ganze Membrana basilaris der Länge nach in Schwingungen versetzt werden könne. Jeder einzelne Luftstoß würde auf einem solchen langen, schlaff gespannten Band eine laufende Welle erregen, regelmäßige Tonschwingungen aber müssen darauf stehende Wellen mit Knoten und Bäuchen an bestimmten, einerseits durch Art und Spannung des Bandes, andererseits durch die Tonhöhe bestimmten Stellen erzeugen. Ewald hat Gummimembranen in einer Weise aufgespannt, die der Befestigung der Membrana basilaris in der Schnecke entspricht, und konnte, wenn er sie z. B. mit Stimmgabeln berührte, auch wirklich stehende Wellen auf ihnen erzeugen und diese „Schallbilder“ sichtbar machen. Man konnte dann regelmäßig abwechselnde Streifen erkennen, die den Bäuchen und Knoten der Wellen entsprachen. Ueberträgt man nun zwei gut konsonante Töne auf dieselbe Membran, so bekommt man etwas verwickeltere, aber ebenso regelmäßige Bilder: bei Grundton und Oktave schiebt sich immer ein neuer Streifen in die Mitte zwischen je zwei Streifen des Grundtones, die zugleich verstärkt werden, bei Grundton und Quinte wird jeder Streifen des Grundtones abwechselnd verstärkt oder von zwei schmäleren Streifen in die Mitte genommen. Die anderen Konsonanzen müssen verwickeltere Streifensysteme er-

zeugen, die sich regelmäßig wiederholen, aber je weiter wir in der pythagoreischen Reihe der Zahlenverhältnisse fortschreiten, um so größeren Raum beanspruchen die Streifensysteme, ehe sie sich wiederholen; bei vollkommenen Dissonanzen wiederholen sie sich überhaupt nicht mehr. Musikalische Klänge erzeugen sofort ein solches regelmäßiges System stärker und schwächer ausgebildeter Streifen, wie es dem Grundton und seinen Obertönen entspricht, und bei zwei oder mehr konsonanten Klängen vereinigen sich diese beiden Systeme zu einem neuen, ebenso regelmäßigen.

Nicht regelmäßige Luftstöße erregen immer neue laufende Wellen, aber auch regelmäßige sehr starke und kurze explosionsartige Luftstöße können nur laufende Wellen erregen, während im gleichen Zeitmaß sich wiederholende, langsam ablaufende Schwingungen stehende Wellen erzeugen; so hören wir auch kurze regelmäßige Luftstöße nur als Geräusch, regelmäßige Schwingungen der gleichen Frequenz aber als tiefe Töne. Nach Ewald's Auffassung würden überhaupt alle laufenden Wellen als Geräusch, alle stehenden als Ton empfunden; dadurch erkläre sich auch, warum man bei gewissen Geräuschen doch eine ungefähre Tonhöhe erkennen könne und dass schon zwei in irgend einem kleinen Zeitintervall aufeinanderfolgende Schwingungen genügen, eine Tonempfindung von bestimmter Höhe auszulösen.

Wir sehen also, dass sich Ewald's Vorstellung von der Funktion der Membrana basilaris vollständig deckt mit den Anforderungen, die Goldschmidt an ein „harmonisches Organ“ stellt. Eigentümlich und ein ebenso wichtiger Teil von Ewald's Hörtheorie, die er selber recht treffend „Schallbildertheorie“ getauft hat, ist seine Anschauung, wie diese verschiedenen Schwingungsweisen der Membrana basilaris zum Bewusstsein gelangen. Er nimmt, wie schon Helmholtz, an, dass im Corti'schen Organ viele Endorgane vorhanden sind, die durch die Nervenfasern des N. cochlearis mit dem Gehirn in Verbindung stehen. Nun könne zwar nicht jede einzelne dieser Fasern oder jede eng beieinander liegende Gruppe derselben eine gewisse Tonempfindung auslösen, wie es die Annahme vieler einzelner Resonatoren voraussetzt, wohl aber werde jeder einzelne Ton eine anders geartete Empfindung erregen: es werden jedesmal alle die Nerven erregt, deren Endorgane den Wellenbäuchen entsprechen und jene unerregt bleiben, die den Knoten anliegen oder vielleicht auch umgekehrt. Jeder Ton, jeder Klang, jeder konsonante Akkord wird deshalb eine bestimmte regelmäßig geordnete Gruppe von Erregungen zum Gehirn senden, während vollkommene Dissonanzen unregelmäßig verteilte Erregungen, mit der Möglichkeit unendlicher Mannigfaltigkeit, erzeugen werden. Ewald zeigt nun noch an einem technischen Beispiel, wie man sich denken könne, dass jede andere Gruppierung der anlangenden Erregungen im Centralorgan andere Empfindungen auslöse; auf weitere Vermutungen,

wie wohl in der Hörsphäre diese Aufgabe gelöst sei, lässt er sich nicht ein.

Während also seine Annahme über die Funktion der Membrana basilaris mit Goldschmidt's Vermutung, das Ohr selbst sei ein „harmonisches Organ“, vortrefflich übereinstimmt, so verlegt er doch den Unterschied zwischen der Empfindung von Konsonanz und Dissonanz in das Gehirn. Ja er scheint dies als einen Vorzug seiner Hypothese anzusehen, denn er betont, damit werde der Unterschied zwischen musikalischen und unmusikalischen Menschen, die beide alle Töne und Klänge gleich gut hören und unterscheiden könnten, darauf zurückgeführt, dass jene die regelmäßige Anordnung von Knoten und Bäuchen auf ihrer Membrana basilaris als etwas angenehmes empfinden, während es für diese keinen wesentlichen Unterschied ausmacht, ob sich die Knoten auf der Membrana basilaris regelmäßig oder unregelmäßig anordnen.

Ewald zeigt dann noch besonders, dass sich mit seiner Annahme auch die Intermittenztöne erklären lassen: denn eine diesen entsprechende Zahl von Knoten bildet sich auf einer solchen Membran fest aus, während alle übrigen, dem ursprünglichen Ton entsprechenden Knoten und Bäuche infolge des Ausfallens der einen Schwingung mit schwankender Intensität auftreten.

Auf weitere Einzelheiten im Vergleich der Ewald'schen und Helmholtz'schen Hörtheorie, die für und gegen die eine und die andere sprechen sollen, einzugehen verzichten wir und untersuchen zunächst, wie weit sich Goldschmidt's Gesetz der Komplikation mit Ewald's Theorie verträgt. Wir sehen bald, dass sich die Schallbilder aller der Töne zum Teil decken und gut ineinander fügen müssen, deren Schwingungszahlen im Verhältnis kleiner ganzer Zahlen zueinander stehen, dass aber desto verwickeltere Schallbilder entstehen müssen, je größere Zahlen nötig sind, dies Verhältnis auszudrücken. Ewald's Theorie bietet daher, sobald man nur die Voraussetzung zugiebt, dass die Regelmäßigkeit der Schallbilder empfunden werde, eine unmittelbare Erklärung der pythagoreischen Harmoniegesetze. Die Abweichungen, die das Gesetz der Komplikation von der Reihe der einfachsten Verhältnisse zeigt, stimmen dagegen mit Ewald's Annahme nicht überein. Dagegen hat diese vor Helmholtz' Musiktheorie zwei Vorzüge, wie sie auch Goldschmidt für seine Theorie in Anspruch nimmt: sie erklärt die Gesetze der Konsonanz ohne Zuhilfenahme von Obertönen, also nicht nur für Klänge, sondern auch für reine Töne, und sie erklärt, warum auch nacheinanderfolgende konsonante Töne soviel angenehmer sind als dissonante: denn im ersteren Fall bleiben eine ganze Reihe Knoten der beiden Schallbilder bestehen, und auch die verschwindenden und neu auftretenden passen zueinander, während, wenn zwei dissonante Töne einander ablösen, die Schwingungsart der ganzen Membrana basilaris sich auf einmal ändern muss, wobei wohl

eine verworrene Erregung fast aller Fasern des N. cochlearis im Augenblick des Uebergangs eintritt. Nach Helmholtz würde der Unterschied zwischen dem Aufeinanderfolgen zweier konsonanter und zweier dissonanter Klänge nur sein, dass im einen Fall einige leise Obertöne fortklingen würden, im anderen nicht. Eine Dissonanz zweier reiner Töne, die aufeinanderfolgen, aber könnte nach Helmholtz kaum unmitttelbar empfunden werden.

Die von Helmholtz aufgefundenen Einflüsse der Klangfarbe, d. h. der Obertöne, auf die Schönheit der Akkorde, können bei einem Vergleich der verschiedenen Hörtheorien außer Betracht bleiben, denn diese Einflüsse müssen sich immer geltend machen; auch bei den Schallbildern werden zwei nicht nah verwandte einfache Töne ein verhältnismäßig einfaches Streifensystem erzeugen, dies wird aber um so verworrener und unregelmäßiger werden, je mehr Obertöne sich jedem der Grundtöne zugesellen.

---

Kehren wir nun zu Goldschmidt's Erörterungen zurück, so sehen wir freilich eine große Uebereinstimmung in seiner Vorstellung von einem harmonischen Organ, und der Anschauung, die Ewald über die Funktion der Corti'schen Basalmembran entwickelt, aber doch auch einen sehr wesentlichen Unterschied: Goldschmidt spricht von einer Akkomodation des Gehörorganes im strengsten Sinne. Nicht jeder herankommende Ton teile die Basalmembran in Schwingungsknoten ab, wie Ewald meint, sondern nur ein solcher, auf den das Gehörorgan akkomodiert sei; auf den ersten herankommenden Ton akkomodiere es unwillkürlich, und damit sei es nun auch eingestellt auf alle zu diesem ersten Ton harmonischen Töne, zwei dissonante Töne aber könne es zugleich oder rasch nacheinander nur aufnehmen durch raschen Wechsel der Akkomodation. Die Anstrengung dieses raschen Wechsels der Akkomodation sei das Quälende beim Aufnehmen von Dissonanzen.

Goldschmidt weist darauf hin, dass es im Ohr zwei Muskeln gebe, deren Funktion noch nicht aufgeklärt sei: den M. tensor tympani und den M. stapedius; auf die weitere, seinem Forschungsgebiet fernliegende Untersuchung, wie eine solche Akkomodation an den aufzunehmenden Grundton der Harmonie aber technisch und physiologisch möglich sei, verzichtet er vollständig. Dafür führt er aus, wie sich mit dieser Annahme alle Eigentümlichkeiten des musikalischen Hörens gut erklären ließen; und es ist wirklich bestechend, wie sich dann die Erkenntnis der absoluten Tonhöhe aus dem Spannungsgefühl der Akkomodation, die Erkenntnis der Tonart, der musikalischen Harmonie, unabhängig von der absoluten Tonhöhe, aus der Teilung des Aufnahmeorganes erklären lassen. Auch für die, freilich höchst selten bisher, festge-

stellten Anomalien des musikalischen Gehöres, dass z. B. ausgebildete Musiker mit dem einen Ohr alle Töne um einen bestimmten Grad tiefer hörten als mit dem anderen, oder den Uebergang von einer Tonart in die andere als Zuhörer nicht vollziehen konnten, würde sich aus Goldschmidt's Annahme leicht eine Erklärung ergeben.

Da Goldschmidt selbst auf diesen Teil des Problems kaum eingeht, sei hier auch nur ein Einwand gegen die Möglichkeit seiner Auffassung angeführt. Jede Akkomodation auf einen herankommenden Ton müsste ein Reflex sein; erst müsste der Ton, wenn auch noch nicht musikalisch scharf, percipiert sein, dann könnte erst durch den Reflexbogen die Akkomodation mit Hilfe der Muskeln des Mittelohres erfolgen. Nun kann aber ein musikalisches Ohr auch zwei arg dissonante Töne jeden für sich in kürzester Zeit genau erkennen; Goldschmidt glaubt, dass hierzu ein Wechsel der Akkomodation nötig und die Anstrengung dieses raschen Wechsels das Quälende der Dissonanzempfindung sei. Für jeden Wechsel der Akkomodation ist dann jedenfalls soviel Zeit nötig, wie zum Zustandekommen eines Reflexes; dieses Zeitmaß, die Reflexzeit der höheren Tiere, kennen wir ungefähr, sie beträgt vermutlich etwas weniger als  $\frac{1}{20}$  Sekunde. Es dürften also, wenn es sich um eine Akkomodation handelt, zwei dissonante Klänge, die zugleich oder nacheinander, aber nur für ein kürzeres Zeitmaß als  $\frac{1}{20}$  Sekunde ertönen, nicht mehr beide erkannt werden können. Auf diese Weise ließe sich vielleicht entscheiden, ob Goldschmidt's Vorstellung von der Hörakkomodation berechtigt sein kann.

---

Wir haben den kurzen Abschnitt, den Goldschmidt seinen Schlussfolgerungen über das Funktionieren des Gehörorganes widmet, ausführlicher wiedergegeben, wollen aber den weiteren Inhalt seiner Arbeit dafür nur kurz andeuten. Goldschmidt wendet sich zunächst psychologischen und erkenntnistheoretischen Fragen zu und erörtert die Harmonie in psychologischem Sinne, wobei er von der Musik und seiner Komplikationstheorie der Harmonie ausgeht.

Dann geht Goldschmidt zu einem anderen Gebiet über, zu der Harmonie der Farben; er geht von der bekannten Thatsache aus, dass das Aufnahmegebiet unseres Auges für Lichtschwingungen etwa eine Oktave umfasse; er findet dann, dass sowohl die auffallendsten, zuerst mit Buchstaben bezeichneten Frauenhofer'schen Linien, als auch die als die wichtigsten anerkannten „und mit allgemeinüblichen Bezeichnungen versehenen Farbtöne“ (Purpur, Scharlach, Rot, Gelb, Grün, Blau, Violett) einer Teilung dieser Oktave nach dem Gesetz der Komplikation entsprechen. In einer Wahrscheinlichkeitsberechnung weist er nach, dass das Zusammentreffen der Frauenhofer'schen Linien mit der harmonischen Teilung der Oktave kaum ein zufälliges sein könne; eine ähnliche Anordnung findet er übrigens auch für die Spektral-

linien des Wasserstoffes. Nach alledem glaubt er von Linienakkorden des Sonnen-, des Wasserstoffspektrums reden zu dürfen und von harmonischen Farben und Farbenakkorden, nicht im Sinne eines willkürlichen subjektiven ästhetischen Urtheiles, sondern auf Grund der Zahlenverhältnisse der Lichtschwingungen. Die den wichtigsten musikalischen Harmonien entsprechenden Farbenzusammenstellungen, blau-goldgelb, grün-rot und blau-rot, immer unter Einfügung von weiß, seien aber thatsächlich die allgemein beliebtesten Farbenzusammenstellungen, wie sich sowohl an den Nationalkostümen wie an den Nationalflaggen zeigen lasse.

Goldschmidt entwickelt nun eine eigentümliche Theorie des Farbensinnes, die auf der Grundlage des Komplikationsgesetzes gearbeitet ist. Da aber alle eigene prüfende Untersuchung der gemachten Annahmen fehlt, kann sie nur als eine kühne Vermutung gelten, und wir müssen die Leser auf die Originalarbeit verweisen. Nur soviel sei angedeutet, dass Goldschmidt annimmt, die Zapfen seien die farbenempfindlichen Elemente, jeder Zapfen aber für die Aufnahme verschiedener Farben geeignet; das sei möglich durch „Knotenbildung“ der Lichtwellen innerhalb der Zapfen. Diese Differenzierung der Zapfen habe sich entwickelt durch den Einfluss der hauptsächlich aufgenommenen Farben, daher die Uebereinstimmung des Sonnenakkordes und des ästhetischen Farbenakkordes. Die Differenzierung der Zapfen aber variire im selben Auge und bei verschiedenen Menschen: daher die verschiedene Ausdehnung der Erkennungskreise für die Grundfarben auf der Netzhaut, die verschiedenen Grade des Farbensinns und der Farbenblindheit.

Eine Bestätigung dieser Theorie, wonach Gelb die „Dominante der Farbenharmonie“, Blau die zuletzt allgemein erworbene der Hauptfarbenempfindungen wäre, findet Goldschmidt in der Entwicklung der Farbenbezeichnungen und also auch des Farbensinnes bei den indogermanischen Völkern. Diese in ganz bestimmter Richtung fortschreitende Komplikation der Farbbegriffe ist bekanntlich von hervorragenden Philologen behauptet, freilich auch von anderen ebenso lebhaft bestritten worden. Aber Goldschmidt zieht auch die Entwicklung des Farbensinnes beim Kinde und die Rangordnung der Farben der Blüten und Früchte zur Stütze seiner Hypothese an: überall herrsche dasselbe Gesetz der Komplikation, im letzteren Fall, weil es sich ja um Anlockung von Tieren handle, deren Farbenempfindung ebenso entstanden sei wie unsere menschliche.

In einem letzten Teil seines Werkes handelt Goldschmidt vom Gesetz der Komplikation noch auf anderen Gebieten; ebenso wie bei den Krystallen die abgeleiteten Flächen, so schieben sich bei dem Wachstum der hexameren Korallen die neugebildeten Septen und Strahlen in einer diesem Gesetz entsprechenden Reihenfolge und Aus-

bildung zwischen die ursprünglich angelegten ein. Sollen einfache Ornamente gebildet, Zahlenverhältnisse übersichtlich dargestellt, ein Maßstab leicht erkenntlich eingeteilt werden, überall entspricht die Größe der einzelnen verwendeten Elemente ganz oder beinahe ganz ihrer Rangordnung nach dem Gesetz der Komplikation.

Daraus entwickelt sich dann naturgemäß bei Goldschmidt eine erkenntnistheoretische Schlussbetrachtung, deren Hauptsätze wir wiedergeben wollen. Man könne Harmonie auf vier Weisen verstehen und definieren: psychologisch als Auswahl von Tongruppen (oder anderer Sinneseindrücke), die dem Gemüt einen Genuss gewähren; physiologisch als die Wirkung solcher wohlthuender Tongruppen einerseits auf das Ohr, andererseits auf das Gehirn; physikalisch als eine mechanistische Charakterisierung solcher Tongruppen, die psychologisch und physiologisch harmonisch wirken; Goldschmidt glaubt nachgewiesen zu haben, dass das Gesetz der Komplikation die Schwingungszahlen aller harmonischen Tongruppen charakterisiere; und endlich erkenntnistheoretisch, wenn man frage, warum diese, nach bestimmten Gesetzen gruppierten Empfindungen, nun auch dem Gemüt einen Genuss verschaffen, welches gemeinsame Band die ersten drei Definitionen der Harmonie zu einem einzigen Begriff verbinde?

Goldschmidt findet die Antwort auf diese letzte Frage in der Annahme einer Parallelität der Sinnesthätigkeit und Gehirnthatigkeit einerseits, der Vorgänge im Gehirn und in der Psyche andererseits. Auf die Sinne wirkten solche äußere Vorgänge vorzugsweise anregend, die dem Bau der Sinnesorgane angepasst seien; den Vorgängen in den Sinnesorganen aber entsprechen parallele Vorgänge in den Centralorganen, denn beide sind ja nur in gemeinsamer Thätigkeit entwickelt worden; so wirken also jene äußeren Vorgänge auch auf die Gehirnthatigkeit anregend, und dies werde psychisch als wohlthuend empfunden. Andererseits sind die Sinnesorgane den Vorgängen der äußeren Welt angepasst, daher wir in dieser dieselben Gesetze wirksam finden, die die schöpferische Thätigkeit der menschlichen Psyche beherrschen.

Daher kommt Goldschmidt zu dem Schlusssatz, der den allgemein gehaltenen Titel seiner Arbeit rechtfertigt: „Das Gesetz der Komplikation charakterisiert den Begriff der Harmonie als Genuss, als Empfindung und als Gruppierung, d. h. psychologisch, physiologisch und physikalisch, und auch genetisch. Als Genuss in der Psyche, als Empfindung in den Sinnesorganen und als Gruppierung in der Physik; genetisch nach der gemeinsamen Entwicklung unseres Geistes und Körpers und der Mannigfaltigkeit in der Natur.“

---

Auf diese in das Grenzgebiet der Philosophie und der biologischen Wissenschaften gehörenden Schlusskapitel von Goldschmidt's Werk

sollte hier nur kurz die Aufmerksamkeit der biologischen Forscher gelenkt werden, die den erkenntnistheoretischen Fragen besonderes Interesse entgegenbringen. Einen sicheren Gewinn aber scheint dem Referenten Goldschmidt's neue Methode der Darstellung musikalischer Harmonien und des Baues eines Musikstückes zu bedeuten. Denn ganz unabhängig von der Berechtigung der übrigen Annahmen Goldschmidt's ermöglicht sie, den Aufbau einfacherer Musikstücke so übersichtlich und fast unabhängig von ästhetischen Vorurteilen darzustellen, dass dadurch die wissenschaftliche Untersuchung dieses Baues sehr gefördert werden muss.

Aber auch die Hypothesen über die Funktion des Gehörorganes, wie sie in experimentell kritischer Untersuchung Ewald und in rein deduktiver Weise Goldschmidt aufgestellt haben, verdienen allgemein beachtet zu werden. Aus beiden ergeben sich eine größere Anzahl von Folgerungen, die nicht ganz übereinstimmen mit jenen, die aus der Helmholtz'schen Hörtheorie zu ziehen sind, und so sollten sie anregen zu vielerlei verfeinerten Beobachtungen, z. B. auch über den Gesang der Vögel, die Musik der Naturvölker, und neuen, experimentellen Untersuchungen, die jedenfalls für unsere Kenntnisse fruchtbar sein müssen, auch wenn keine der hier wiedergegebenen Hypothesen volle Bestätigung durch sie finden sollte. [71]

**Werner Rosenthal.**

## **P. Näcke.** Einige innere somatische Degenerationszeichen bei Paralytikern und Normalen,

zugleich als Beitrag zur Anatomie und Anthropologie der  
Variationen an den inneren Hauptorganen des Menschen.

(Sonderabzug aus der Zeitschrift für Psychiatrie. Bd. LVIII, S. 1009—1078.)

Mit diesen Zeilen will ich die Aufmerksamkeit der Biologen auf eine Arbeit lenken, die, in der Zeitschrift für Psychiatrie abgedruckt, den Anatomen und Physiologen nicht bequem zugänglich ist. P. Näcke hat — nach „inneren“ Degenerationszeichen suchend, eine große Anzahl Leichen in Betreff des anatomischen Verhaltens der Eingeweide untersucht: er hat geprüft, inwieweit die einzelnen Eingeweide in ihrer äußeren Gestalt und Form von der sogenannten „Norm“ abweichen. Die von Näcke festgestellten Resultate sind selbstverständlich für die Anatomen von großer Bedeutung, und deshalb soll von diesen Ergebnissen hier die Rede sein. Etwas ganz anderes ist es mit den Gründen, aus denen Näcke sich zu dieser Arbeit veranlasst sah — etwas anderes ist es mit der Deutung, die Näcke seinen Resultaten giebt: mit der Auffassung der Abweichungen von der Norm — als Degenerationszeichen.

Ich lasse zunächst die ganze Angelegenheit in Betreff der Degene-  
XXII. 45

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1902

Band/Volume: [22](#)

Autor(en)/Author(s): Rosenthal Werner

Artikel/Article: [Neue Beiträge zur Musik- und Hörtheorie. 666-689](#)