

Ueber die Wahrnehmung musikalischer Tonverhältnisse.

Von
Dr. E. STORCH.

Betrachte ich einen Lichtpunkt *A* und unmittelbar darauf einen anderen *B*, von derselben Helligkeit und Farbe, so werden in beiden Fällen genau die gleichen Netzhautelemente in der gleichen Stärke gereizt. Trotzdem ist in beiden Wahrnehmungen ein räumlicher Unterschied: den Punkt *A* sehe ich in einer anderen Richtung, an einer anderen Stelle im Raum, als den Punkt *B*.

Betaste ich erst die rechte Ecke einer Stuhllehne und unmittelbar darauf die völlig gleich geformte linke, so ist wiederum die Erregung der tastenden Sinneselemente in beiden Fällen absolut gleich; in den Wahrnehmungen aber besteht auch hier ein räumlicher Unterschied: die linke Ecke liegt in einer anderen Richtung als die rechte.

Wäre in dem optischen Beispiel in *A* erst ein weißes und dann ein blaues Licht erschienen, so würde kein Physiologe daran gezweifelt haben, daß der Verschiedenheit der sinnlichen Wahrnehmungen eine Verschiedenheit der auf den Reiz erfolgenden Netzhautveränderung entspricht, und diesen selben Schluß würde man hinsichtlich der Tastfläche gezogen haben, falls in dem zweiten Beispiel sich die eine Ecke rau, die andere glatt angefühlt hätte.

Und sicher ist man zu diesem Schlusse berechtigt, ob man sich mit vollem Bewußtsein zu der Lehre vom psychophysischen Parallelismus bekennt oder nicht; denn solange Menschen gedacht haben, haben sie immer nur von psychisch Verschiedenem auf physische Verschiedenheiten geschlossen.

Trotzdem ist die Annahme, daß der Wahrnehmung eines blauen Lichtes ein anderer Vorgang in der Netzhaut entspricht,

als der eines gelben, bis zum heutigen Tage eine unerwiesene Hypothese, und dürfte es auch noch für absehbare Zeiten bleiben.

Vor Aller Augen liegt aber diese von unserer Vernunft unabweisbar geforderte körperliche Verschiedenheit, sobald es sich um die räumlichen Verschiedenheiten der Wahrnehmungen handelt.

Betrachte ich erst den Punkt *A* und dann den Punkt *B*, so treten meine Augenmuskeln oder auch die Muskeln meines ganzen Körpers in Thätigkeit, und es ist darum wohl der Mühe werth zu untersuchen, ob sich das räumliche Moment, welches mit all unseren Wahrnehmungen aufs Engste verknüpft ist, nicht in letzter Linie zurückführen läßt auf unsere Muskelthätigkeit.

In größerer Ausführlichkeit habe ich diesen Gedanken in einer kleinen Abhandlung¹ entwickelt. Hier kann ich den Gedankengang nur andeuten.

Das neugeborene Kind verharret in den ersten Tagen und Wochen seines Lebens in einer ganz bestimmten Ruhelage, die es nur auf Sinnesreize verläßt. Die Gliedmaßen sind an den Leib gezogen, die Fäustchen geballt. Streckt man bei einem solchen Kinde z. B. den kleinen Finger, so schlägt es ihn maschinenmäsig wieder ein, sobald man ihn losläßt. Kurz zu jedem Reize, den man durch passive Bewegungen auf die Sinneselemente der Sehnen und Gelenke ausübt, gehört eine ganz bestimmte Reflexbewegung.

Bewegt man ihm den Kopf hin und her, so sieht man lange bevor an eine Fixation zu denken ist, wie die Augen hinter der passiven Kopfdrehung zurückbleiben; d. h. zu jeder einzelnen Reizung des Bogengangapparates gehört reflectorisch eine ganz bestimmte Augenbewegung.

Nicht durchaus so regelmäsig, so automatenhaft, aber immer noch deutlich genug läßt sich beobachten, daß der Berührung einer bestimmten Stelle der Haut eine eigene Reflexbewegung kleinerer oder größerer Muskelgebiete folgt. Und wir brauchen nur an juckende Reize zu denken, um uns darüber klar zu werden, daß auch beim Erwachsenen, die Reizung gewisser Sinneselemente specifische Bewegungen reflectorisch auslöst.

Wir können den Zeitpunkt nicht genauer angeben, zu welchem das Kind aus seinem Reflexleben erwacht; aber eines

¹ Muskelfunction und Bewußtsein. Wiesbaden, F. J. Bergmann, 1901.

stärken aber $i_1, i_2, i_3 \dots$, so würde die Formel $i_1 m_1 + i_2 m_2 + i_3 m_3 \dots$ das periferische Correlat aller räumlichen und quantitativen Elemente in einer Wahrnehmung darstellen. Würde in dieser Formel ein allen i gemeinsamer Factor n wachsen, so würde die Quantität der Empfindung zunehmen.

$$n (i_1 m_1 + i_2 m_2 + i_3 m_3 \dots)$$

Quantität und Raum aber ist an unseren Wahrnehmungen alles, was die Objecte zu einander in Beziehung setzt. In Beziehung setzen aber heißt erst Denken, wahrnehmen, Bewußtsein haben, und so ist Quantität und Raum, die psychische Repräsentation unserer Muskelfunction, das Material all unserer Bewußtseinsthätigkeit. Alles Vorstellen, alle Begriffe sind in letzter Linie auf Raum- und Quantitätsgrößen zurückzuführen. Von dem rein Sinnlichen tritt nichts in unsere Denkhätigkeit ein; es ist nur vorhanden im Augenblicke der Wahrnehmung. Und wenn der Physiker über Farben, Geräusche oder sonst welche Thatsachen sinnlicher Erfahrung nachdenkt, so kann er das nur indem er für sie Raum- und Quantitätsgrößen setzt, denn die rein sinnlichen Empfindungen an sich sind durchaus beziehungslos.

Auch hier muß ich mich mit diesem Hinweise begnügen, daß alle Beziehungen in unserem Wahrnehmen und Denken, also auch alle Beziehungen, welche die Objecte zu einander besitzen, nichts aber auch gar nichts weiter sind als die psychische Repräsentation unserer Muskelthätigkeit.

Und doch kennen wir unter den Objecten unserer Wahrnehmung Beziehungen, die freilich im Denkprocesse keine Rolle spielen, die aber ebenso bestimmt und eindeutig geordnet erscheinen, wie die Massen im Raum. Ich meine die Wahrnehmung der acustischen Objecte, und unter diesen wieder greife ich diejenigen heraus, welche musikalische Verwendung finden.

Was die musikalischen Töne in eine eindeutige Reihe ordnet ist ihre Höhe oder Tiefe. In Bezug auf einen beliebigen musikalischen Ton ist irgend ein anderer höher oder tiefer.

Es ist ein ähnliches Verhältniß wie wir es bei den quantitativen Beziehungen irgend einer specifischen Sinnesempfindung haben. In Bezug auf irgend eine Lichtempfindung ist irgend eine andere dunkler oder heller.

Aber es besteht zwischen der Wahrnehmung der Tonhöhe und der der Helligkeiten doch ein gewaltiger Unterschied. Es

den Satz aufstellen: Der Raum ist die psychische Repräsentation unserer Bewegungen.

Jede Raumvorstellung aber, auch die aller complicirteste läßt sich auf das Element der Richtungsvorstellung zurückführen. Ein Wagen den ich an mir vorüberfahren sehe erscheint mir nach einander in verschiedenen Richtungen, ein Buchstabe, ein Körper, irgend eine Form, all das ist auflösbar in eine Summe von in verschiedenen Richtungen gelegenen Raumpunkten. Alle Formen die wir an den Objecten wahrnehmen beruhen auf mehr minder verwickelten Richtungscomplexen.

Wenn ich ein Gewicht von 10 Kilo vom Boden erhebe und unmittelbar darauf ein solches von 20 Kilo, so ist die Richtung in welcher ich einen Widerstand durch Muskelkraft überwinde in beiden Fällen dieselbe, die Anstrengung aber, welche ich als Masse objectivire, eine verschiedene. Der gleichen Richtungswahrnehmung wird man die in beiden Fällen gleiche Combination der thätigen Muskeln, der verschiedenen Masse die verschiedene Stärke ihrer Innervation parallel setzen.

Nehme ich zunächst einen Gummiball in die Hand und schliesse diese mit immer größerer Kraft zur Faust, so bemerke ich die Weichheit des Objectes. Im Gegensatze dazu würde ich eine Holzkugel hart empfinden. Im letzteren Falle ändert sich trotz zunehmender Innervationstärke die Form meiner Hand nicht, es bleiben dieselben Muskelfasern mit der vergleichsweise nämlichen Kraft contrahirt, während die Gesamtsumme der Innervation steigt.

Dem entsprechend ändert sich denn auch das räumliche Moment der Wahrnehmung, die Form der Holzkugel, durchaus nicht, wohl aber bemerke ich bei zunehmenden Kraftaufwand ihre Härte. Ein Gegenstand ist um so härter, je größer der Widerstand den er dem Versuche seine Form zu verändern entgegensetzt.

Es würde hier zu weit führen den Beweis zu erbringen, daß für alle Sinnesgebiete das räumliche Moment der Wahrnehmung allein abhängig ist von den Innervationsverhältnissen der in Action tretenden Muskelgruppen, die Quantität der Empfindung bei gleichem Innervationsverhältniß, aber nur abhängt von der Gesamtsumme der Innervation.

Nenne ich daher die bei einem Wahrnehmungsacte thätigen Muskelemente $m_1, m_2, m_3 \dots$ ihre zugehörigen Innervations-

stärken aber $i_1, i_2, i_3 \dots$, so würde die Formel $i_1 m_1 + i_2 m_2 + i_3 m_3 \dots$ das periferische Correlat aller räumlichen und quantitativen Elemente in einer Wahrnehmung darstellen. Würde in dieser Formel ein allen i gemeinsamer Factor n wachsen, so würde die Quantität der Empfindung zunehmen.

$$n (i_1 m_1 + i_2 m_2 + i_3 m_3 \dots)$$

Quantität und Raum aber ist an unseren Wahrnehmungen alles, was die Objecte zu einander in Beziehung setzt. In Beziehung setzen aber heißt erst Denken, wahrnehmen, Bewußtsein haben, und so ist Quantität und Raum, die psychische Repräsentation unserer Muskelfunction, das Material all unserer Bewußtseinsthätigkeit. Alles Vorstellen, alle Begriffe sind in letzter Linie auf Raum- und Quantitätsgrößen zurückzuführen. Von dem rein Sinnlichen tritt nichts in unsere Denkhätigkeit ein; es ist nur vorhanden im Augenblicke der Wahrnehmung. Und wenn der Physiker über Farben, Geräusche oder sonst welche Thatsachen sinnlicher Erfahrung nachdenkt, so kann er das nur indem er für sie Raum- und Quantitätsgrößen setzt, denn die rein sinnlichen Empfindungen an sich sind durchaus beziehungslos.

Auch hier muß ich mich mit diesem Hinweise begnügen, daß alle Beziehungen in unserem Wahrnehmen und Denken, also auch alle Beziehungen, welche die Objecte zu einander besitzen, nichts aber auch gar nichts weiter sind als die psychische Repräsentation unserer Muskelthätigkeit.

Und doch kennen wir unter den Objecten unserer Wahrnehmung Beziehungen, die freilich im Denkprocesse keine Rolle spielen, die aber ebenso bestimmt und eindeutig geordnet erscheinen, wie die Massen im Raum. Ich meine die Wahrnehmung der acustischen Objecte, und unter diesen wieder greife ich diejenigen heraus, welche musikalische Verwendung finden.

Was die musikalischen Töne in eine eindeutige Reihe ordnet ist ihre Höhe oder Tiefe. In Bezug auf einen beliebigen musikalischen Ton ist irgend ein anderer höher oder tiefer.

Es ist ein ähnliches Verhältniß wie wir es bei den quantitativen Beziehungen irgend einer specifischen Sinnesempfindung haben. In Bezug auf irgend eine Lichtempfindung ist irgend eine andere dunkler oder heller.

Aber es besteht zwischen der Wahrnehmung der Tonhöhe und der der Helligkeiten doch ein gewaltiger Unterschied. Es

ist ganz unmöglich sich einen bestimmten Helligkeitsunterschied vorzustellen, man kann ihn nur wahrnehmen, und ganz unmöglich ist es diesen Unterschied der Quantität wiederzuerkennen, wenn ich von einer anderen Lichtquelle als Vergleichsobject ausgehe. Niemand vermag aus sich selbst heraus zu sagen, ob die Veränderung der Lichtempfindung die gleiche ist, wenn die Leuchtkraft einer Lichtquelle von 1 auf 2, und wenn sie von 2 auf 4 steigt.

Dagegen vermag ich mir sehr wohl einen bestimmten Höhenunterschied vorzustellen und erkenne denselben auch mühelos in jeder Höhenlage wieder.

Dadurch erhalten die Beziehungen der musikalischen Töne eine gewisse Aehnlichkeit mit den im Raum gültigen Gesetzen. Wie ich mir an jeder beliebigen Stelle im Raum einen Winkel von bestimmter Gröfse denken kann, so ist auch zu jedem beliebigen Ton ein anderer vorstellbar, der zu ihm in einem bestimmten Höhenverhältnifs steht. Das Intervall eines halben oder ganzen Tones, der Quinte oder Octave ist ganz unabhängig von der Tonhöhe, wie der Richtungsunterschied, der Winkel den zwei Linien mit einander bilden ganz unabhängig besteht von der Lage desselben im Raum. Ist aber die eine beider Richtungen gegeben, so ist es auch die andere, ebenso wie bei Festlegung des Grundtones die Octave ebenfalls bestimmt ist.

Die Uebereinstimmung geht noch weiter. Habe ich in einem Kreise einen Radius als Schenkel eines Centriwinkels von der Gröfse α bestimmt, so giebt es zwei Radien, welche diesen Richtungsunterschied mit ihm einschliessen; denn ich kann mir den Winkel α entstanden denken durch Drehung des Radius aus seiner ursprünglichen Lage entweder in der einen, oder der entgegengesetzten Richtung. Ebenso kann ich von einem beliebigen Grundtone entweder zur nächst höheren oder nächst tieferen Octave gelangen.

Sehe ich irgend eine Form, so fasse ich sie simultan auf als Complex von Richtungen, und sehe ich dieselbe Form, z. B. einen Buchstaben schreiben, so nehme ich sie wahr als successive Folge verschiedener Richtungen. Ohne Weiteres erkenne ich die Identität beider Richtungscomplexe.

Höre ich den Zusammenklang $c\ e\ g$ und dann $c\ e$ und g in der Aufeinanderfolge einer Melodie, so erkenne ich unschwer die Identität der Intervalle.

Die Beziehungen zwischen den musikalischen Tönen haben also eine deutliche Aehnlichkeit mit den quantitativen und räumlichen Verhältnissen im Reiche der körperlichen Objecte, so daß der Gedanke nahe liegt auch sie als psychische Spiegelung unserer Muskelthätigkeit aufzufassen.

Wie unser logisches Denken auf räumlichen und quantitativen Verhältnissen basirt, so unser musikalisches auf der Tonhöhe und der Intervallvorstellung, und wäre die eben ausgesprochene Vermuthung richtig, so würde unsere gesammte geistige Thätigkeit, auch die nicht verstandesmäßige, musikalische, sich zurückführen lassen auf die psychische Repräsentation unserer Muskelaction. Unser Bewußtsein wäre das Combinationsvermögen dieser Erinnerungsbilder unserer Bewegungen.

Daß all unsere Kenntniß acustischer Phänomene und musikalischer Verhältnisse auf der Wahrnehmung basirt, ist selbstverständlich, und wir werden, um unser Problem zu lösen, uns an die ersten Gehörseindrücke halten müssen, welche das neugeborene Kind empfängt, an die Zeit der reflectorischen Bewegungen.

Das erste Lebenszeichen, mit welchem das neugeborene Kind die Welt begrüßt, ist ein lebhaftes Geschrei, also eine Muskelthätigkeit. Das wirklich schallerzeugende Organ hierbei ist der Kehlkopf, und wenn wir an unserer Annahme festhalten, daß die Muskelcontractionen wenigstens in dem ersten Abschnitte unseres Lebens einen cerebralen Vorgang auslösen, der in engster Association mit der cerebralen Spur eines bestimmten Sinnesreizes tritt, so wird sich auch die Wahrnehmung dieses Geschreis, eines jeden Lautes überhaupt zusammensetzen aus zwei psychischen Componenten. Die eine repräsentirt die psychische Bewerthung der Veränderung des Gehörorganes, die zweite die der den Laut erzeugenden Kehlkopfbewegung. Die Association zwischen diesen beiden Bewußtseinsmomenten müssen wir uns wieder als so eng vorstellen, daß jede Erregung unseres acustischen Organes unweigerlich ein ganz specifisches motorisches Erinnerungsbild anschwingen läßt. Ohne dieses wären die einzelnen Töne ohne jede Beziehung, sie wären einfach verschieden, so wie die Empfindungen blau und schwarz und wohlriechend unvermittelt und beziehungslos neben einander stehen.

Daß diese motorischen Erinnerungsbilder thatsächlich vorhanden sind, beweist die Erfahrung, daß ich jede Tonfolge zu

singen vermag. In der Vorstellung des Tonverhältnisses $c\ c^1$, oder des Tones c^1 nach c , muß also alles liegen was zur Erzeugung des Tones c^1 gehört. Es muß die Vorstellung c^1 thatsächlich alles enthalten, was zur spinalen Innervation des Kehlkopfes gehört, oder wie ich auch sagen könnte, die Vorstellung c^1 muß eine Art seelischer Photographie dieser Innervation sein.

Die Beziehungen nun, welche zwischen den musikalischen Tönen bestehen, sind uns unmittelbar gegeben, in ihnen denken wir wenn wir eine Melodie vor unserm geistigen Ohr vorüberziehen lassen, mit ihnen operirt der Componist. Diese Beziehungen aber vermögen wir uns auch unabhängig von ihrem Material abstract zu denken, und wenn wir das thun, wenn wir sie also nicht naiv sondern verstandesmäfsig zergliedern, müssen wir sie uns räumlich vorstellen. Da das thatsächlich in grofser Vollkommenheit möglich ist, wie z. B. die HELMHOLTZ'sche Lehre von den Tonempfindungen zeigt, müssen wir annehmen, daß alle musikalischen Beziehungen in unseren Raumvorstellungen schon enthalten ist, daß abgesehen von dem eigenen acustischen Material diese Beziehungen einen Specialfall der Summe aller räumlichen Beziehungen bilden. Sind aber letztere auf die Combination unserer Muskelthätigkeit zurückzuführen, so gilt natürlich auch dasselbe von den musikalischen Tonverhältnissen.

Unsere Theorie aber, der zu Folge die musikalischen Beziehungen als psychische Bewerthung der durch die Kehlkopfbewegungen erzeugten cerebralen Veränderungen aufzufassen sind, gestattet uns diese nämlichen Beziehungen auch auf anderem Wege abzuleiten.

Statt nämlich diese Beziehungen selbst verstandesmäfsig, d. h. räumlich auszulegen, können wir auch ihr peripheres Substrat, die Muskelthätigkeit des Kehlkopfes, zum Ausgangspunkte unserer Betrachtung machen und untersuchen, wie sich die auf sie zurückzuführenden räumlichen Vorstellungen gestalten müssen. Das heifst, wir machen die Annahme, daß wir unsere Kehlkopfbewegungen räumlich auffassen, daß wir also, ebenso, wie wenn wir den rechten Arm heben wollen, auch von jeder Kehlkopfinnervation wohl eine räumliche Vorstellung, aber keine akustische besäfsen.

Ist es wichtig, daß jedem räumlichen Elemente, jeder Richtungsvorstellung, ein peripheres Substrat von der Formel

$$i_1 m_1 + i_2 m_2 + i_3 m_3 \dots$$

zu Grunde liegt, d. h. eine bestimmte Innervation gewisser Muskelemente, so leuchtet ein, daß unser Raum so viel Richtungen besitzt, als es verschiedene Innervationsmechanismen giebt, d. h. unendlich viele.

Für unsern Kehlkopf aber kommen nicht unendlich viele, sondern nur drei Innervationsmechanismen in Betracht. Er hebt und senkt sich, er dreht sich um eine fronto-horizontale Axe, und die Stimmbänder entfernen oder nähern sich einander. Jedem dieser Bewegungsmechanismen entspricht eine einzige Formel

$$n (i_1 m_1 + i_2 m_2 \dots),$$

in welcher sich nur der gemeinsame Factor n , die Gesamtinnervation ändern kann.

Die psychische Repräsentation dieser drei Mechanismen kann natürlich nur drei verschiedene räumliche Elemente, drei Richtungen liefern, die ich mit 1. 2 und 3 bezeichne, und wie wir bei der Lautbildung diese drei Mechanismen

$$\begin{aligned} & n_1 (i_1^1 m_1^1 + i_2^1 m_2^1 + i_3^1 m_3^1 \dots), \\ & n_2 (i_1^2 m_1^2 + i_2^2 m_2^2 \dots) \\ \text{und } & n_3 (i_1^3 m_1^3 + i_2^3 m_2^3 + i_3^3 m_3^3 \dots) \end{aligned}$$

in mannigfaltigster Weise combiniren, so combiniren wir auch beim musikalischen Denken ihre psychischen Werthe in jeder nur möglichen Weise. Bleiben wir bei unserer Fiction, daß sie räumlich bewerthet werden, so heißt das, daß unser räumliches Denken, wofern es ausschließlich auf den motorischen Erinnerungsbildern der Kehlkopfbewegungen beruht, sich völlig erschöpft in der Combinatorik dreier verschiedener Richtungen.

Die möglichen Combinationen sind also folgende:

1. 2	und	1. 2. 3
1. 3		1. 3. 2
2. 3		2. 1. 3
2. 1		2. 3. 1
3. 1		3. 1. 2
3. 2		3. 2. 1.

Die Combination zweier Richtungen ergiebt offenbar einen Richtungsunterschied, einen Winkel von bestimmter Gröfse, und wenn ich die Richtung 1 als Ausgangsrichtung wähle, wie ich ja in unserem wirklichen Raume auch stets eine bestimmte Richtung, die gerade nach vorn, für die Orientirung verwende,

so erhalte ich im Ganzen vier Combinationen und ihre Umkehrungen.

$$\begin{array}{ll} \text{I} = 1. 2, (2. 1) & \text{III} = 1. 2. 3, (3. 2. 1) \\ \text{II} = 1. 3, (3. 1) & \text{IV} = 1. 3. 2, (2. 3. 1) \end{array}$$

Die Beziehungen, welche zwischen den Gröſsen unseres fingirten Raumes bestehen, lassen sich also auf vier bezw. acht gegen eine Ausgangsrichtung gemessene Winkel zurückführen.

$$\begin{array}{l} \text{I} = 1. 2 = \nearrow \alpha_1 \quad (2. 1 = - \nearrow \alpha_1) \\ \text{II} = 1. 3 = \nearrow \alpha_2 \quad (3. 1 = - \nearrow \alpha_2) \\ \text{III} = 1. 2. 3 = \nearrow (\alpha_3) \quad (3. 2. 1) = - \nearrow (\alpha_3) \\ \text{IV} = 1. 3. 2 = \nearrow (\alpha_4) \quad (3. 2. 1) = - \nearrow (\alpha_4) \end{array}$$

Da nun bei jeder lautlichen Aeufserung sämmtliche drei Mechanismen des Kehlkopfes in Function treten, so werden auch mit jeder Tonwahrnehmung ihre psychischen Correlate, die Combinationen miterregt. Ganz ähnlich, wie bei der Wahrnehmung irgend eines räumlichen Objectes in einer Richtung, diese nur einen Sinn hat in Bezug auf alle übrigen Richtungen, auf den gesammten Raum, so wird auch die Vorstellung einer Richtung in unserem fingirten „phonetischen Raume“ nur durch ihre Beziehung zu den übrigen phonetischen Richtungen, durch das Anschwingen der Combinationen möglich sein.

Nehme ich in diesem phonetischen Raume einen Ton, also ein Object, in einer der drei Richtungen wahr, so geschieht das unweigerlich in Beziehung zu den beiden anderen. Ohne diese Beziehung wäre ja der Begriff der Richtung illusorisch.

Wenn es nun möglich wäre die Gröſse der Winkel α_1 , α_2 , α_3 und α_4 zu bestimmen, so würde ich alle Beziehungen im phonetischen Raume genau kennen, und diese Beziehungen müſten, wenn unsere Theorie richtig ist, die nämlichen sein, welche die musikalischen Töne zu einander haben. Denn nach unserer Theorie sind ja diese Beziehungen nichts anderes als die psychische Spiegelung der phonetischen Kehlkopfbewegungen.

Sei die Ausgangsrichtung 1 peripherisch durch die Hebung und Senkung des Kehlkopfes, durch die Formel:

$$n_1 (i_1^1 m_1^1 + i_2^1 m_2^1 \dots) = M_1$$

repräsentirt, so ist klar, daß die zweite Richtung, welche der Drehung um eine transverso-frontale Axe entspricht, durch vollkommen verschiedene Muskelemente ausgeführt wird, und daß

ebenso wie zwischen den beiden Mechanismen keinerlei Uebergänge bestehen, auch ihre psychischen Spiegelbilder ganz unvermittelt neben einander stehen. Entspricht die zweite Richtung M_2 der Formel $n_2 (m_1^2 i_1^2 + m_1^2 i_1^2 \dots)$, so wird eine Vergrößerung von n_2 der positiven Richtung $+M_1$, eine Verringerung der negativen oder entgegengesetzten $-M_2$ zugehören, und ebenso hängt $+M_1$ und $-M_1$ von der Zu- oder Abnahme des Factors n_1 ab.

Da nun diese beiden Richtungen absolut keine Beziehungen zu einander haben, ebensowenig wie ihre physischen Correlate, d. h. da der Unterschied $+M_1 + M_2$ psychisch nicht anders bewerthet werden kann als $+M_1 - M_2$, oder $-M_1 + M_2$ und $-M_1 - M_2$, so kann ich diesen Bedingungen nur dadurch gerecht werden, daß ich Richtung 2. senkrecht auf 1. annehme.

Folglich ist $\sphericalangle 1.2 = \alpha_1 = 90 = \frac{2\pi}{4}$.

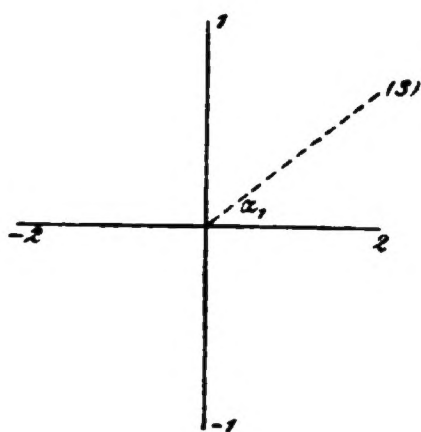


Fig. 1.

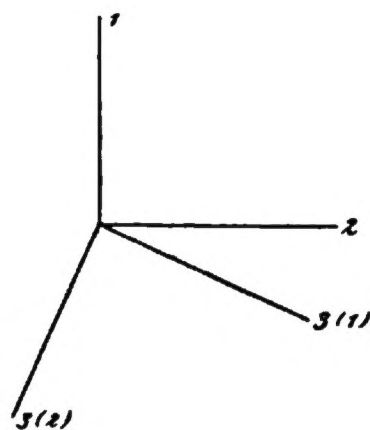


Fig. 2.

Die Richtung 3. werde durch die Formel:

$$n_3 (i_1^3 m_1^3 + i_2^3 m_2^3 \dots) = M_3$$

symbolisirt und es ist zunächst ohne Weiteres klar, daß $1.2 = \alpha_1$ unmöglich gleich $1.3 = \alpha_2$ sein kann. Denn Ungleiches mit Gleichem in derselben Weise combinirt muß Ungleiches ergeben.

Es ist also z. B. unrichtig die Richtung (3) wie in Figur 1 als Halbirungslinie des Winkels α_1 zu zeichnen, denn dann wäre $3.1 = 3.2$.

Andererseits ist aber der Richtungsunterschied 1. 3 psychisch ebensowenig bewerthet wie der Richtungsunterschied 2. 3, sie müssen also ihrem absoluten Werthe nach gleich sein; aber die Richtung 3 in Bezug auf 1 muß eine andere sein, als in Bezug

auf 2. In Figur 2 werde sie in ihrem Verhältniß zu 1 durch 3 (1), zu 2 durch 3 (2) dargestellt, so daß

$$\sphericalangle 1. 3 (1) = \alpha_2 = \sphericalangle 2. 3 (2)$$

st, mithin

$$\sphericalangle 3 (1). 3 (2) = \sphericalangle 1. 2 = \alpha_1 = \frac{2 \pi}{4}.$$

Außer der Combination $1. 3 = \sphericalangle \alpha_2$ existirt aber auch noch $3. 1 = -\alpha_2$, wie ich es in Figur 3 durch die Linie 3' dargestellt habe, und wir haben uns zu fragen, was uns zur psychischen Bewerthung der drei Winkel $1. 3$, $3. 3'$, $3'. 1$ gegeben ist.

Nun wissen wir von jedem dieser Winkel genau das nämliche Negative, keiner darf gleich $45^\circ = \frac{\pi}{4}$ oder ein Vielfaches davon betragen. Weitere Bedingungen für die Größenbestimmung liegen nicht vor; die drei Combinationen müssen demnach psychisch auch gleich bewerthet werden; also:

$$\sphericalangle 1. 3 = 3. 3' = 3'. 1 = \alpha_2 = \frac{2 \pi}{3} = 120^\circ.^1$$

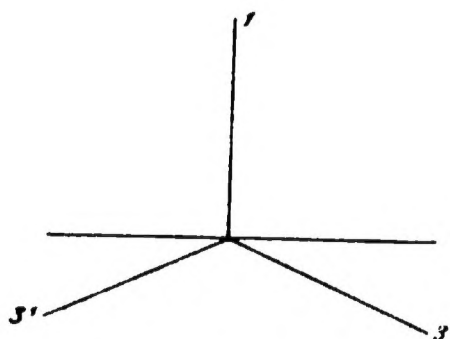


Fig. 3.

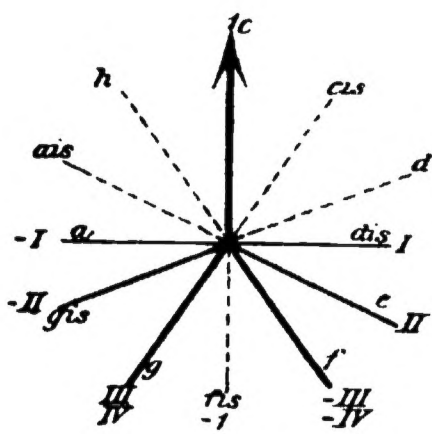


Fig. 4.

Wir haben die Beziehungen zwischen den Richtungen des phonetischen Raumes kennen gelernt und können nunmehr die

¹ Man gelangt auch durch folgende Ueberlegung zu dem gleichen Resultat. 3 muß zur Ausgangsrichtung eine andere psychische Größe geben als 2. Die beiden Richtungen 1 und 3 aber können nur einen einzigen Richtungsunterschied ergeben, einen einzigen Winkel, der auf 1 bezogen zwei verschiedene Lagen haben kann; der absolute Werth dieses Winkels ist natürlich derselbe, wenn ich 1 auf 3 als Ausgangsrichtung beziehe, so daß, wenn ich alle möglichen Lagen von α_2 zu 1 und 3 darstelle, auf der einen Seite von 1 $\sphericalangle \alpha_2$, auf der anderen $-\alpha_2$ liegen muß; ebenso aber auch auf beiden Seiten von 3. Daß das bei einer beliebigen Größe von α_2 in der Ebene nicht der Fall ist, liegt offenbar daran, daß ich bei dieser Darstellung nicht die beiden Richtungen 1 und 3 in ihren möglichen Be-

möglichen vier (acht) Combinationen in Bezug auf die Ausgangsrichtung bestimmen.

$$+ \text{ I} = 1.2 = \alpha_1 = 90^\circ = \frac{2\pi}{4},$$

$$- \text{ I} = 2.1 = -\frac{2\pi}{4} = \pi + \frac{2\pi}{4};$$

$$+ \text{ II} = 1.3 = \alpha_2 = 120^\circ = \frac{2\pi}{3},$$

$$- \text{ II} = 3.1 = -\frac{2\pi}{3} = \pi + \frac{\pi}{3};$$

$$+ \text{ III} = 1.2.3 = \alpha_1 + \alpha_2 = 210^\circ = \frac{2\pi}{4} + \frac{2\pi}{3},$$

$$- \text{ III} = 3.2.1 = -\left(\frac{2\pi}{4} + \frac{2\pi}{3}\right) = -\frac{2\pi}{4} + \frac{\pi}{3};$$

$$+ \text{ IV} = 1.3.2 = \alpha_2 + \alpha_1 = 210^\circ = \frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{4},$$

$$- \text{ IV} = 2.3.1 = -\left(\frac{2\pi}{3} + \frac{2\pi}{4}\right) = -\frac{2\pi}{4} + \frac{\pi}{3}.$$

Figur 4 veranschaulicht diese Beziehungen und zeigt, daß die Combinationen III und IV in eins zusammenfallen.

Mit jeder Wahrnehmung in diesem Raume klingen also unweigerlich diese Combinationen an. Halte ich unsere Fiction aufrecht, so heißt das, daß jedes in diesem Raume wahrgenommene Object (jeder Ton) neben seiner eigenen, der Ausgangsrichtung, sechs andere Richtungsvorstellungen ins Bewußtsein erhebt.

Nun stellt zwar der phonetische Raum, wie ihn Figur 4 wiedergibt, die Beziehungen zwischen den psychischen Spiegelbildern der Kehlkopfbewegungen vollständig dar, aber der Kehlkopf ist, wenn schon ein sehr wichtiger Theil des lautbildenden Organes, so doch immer nur ein Theil. Die gesammte Muskulatur

ziehungen darstelle, sondern auch in Beziehung zu den unendlich vielen Richtungen der Ebene. Die Eigenschaften der Ebene dürfen also, als nicht in unserer Voraussetzung gelegen, die Bedingung nicht stören, daß 1 und 3 nur einen einzigen Richtungsunterschied ergeben, sondern müssen hiermit in Einklang gebracht werden. Das ist, wie man sieht, außer in Figur 1 nur noch in Figur 3 geschehen.

des Halses und der Brust nimmt an der Lauterzeugung Theil, und wir werden nicht fehl gehen, wenn wir die Summe der von diesen Organen erzeugten Richtungsvorstellungen als unendlich ansehen. Der von ihnen dargestellte phonetische Raum enthält also unendlich viele Richtungen und wir werden ihn also als Ebene auffassen. Jedenfalls sind aber in ihm, die von dem musikalischen Organe Kat Exochen, dem Kehlkopf abzuleitenden Richtungen ganz besonders bevorzugt. Sie spielen etwa dieselbe Rolle, wie im wirklichen Raume die Richtungen, vorn und hinten, rechts und links, oben und unten.

Wie uns im wirklichen Raume die Orientirung von Objecten desto leichter fällt, je genauer sie in einer dieser Hauptrichtungen liegen, so wird ein Aehnliches auch mit den Objecten unseres fingirten Raumes (mit den Tönen) der Fall sein.

Denke ich mir eine Scheibe von der Gestalt der Figur 4, auf welcher ich im Mittelpunkte stehe, das Gesicht in der Richtung von 1, so wird ein beliebiges Object, das in der Ebene erscheint, desto leichter seiner Lage nach bestimmt werden, je genauer es mit einem der Strahlen I, II, III zusammenfällt, am leichtesten, wenn es auf 1 selber liegt. In Figur 4 sind die Strahlen verschieden dick gezeichnet, 1 am stärksten, dann III (— III), II (— II) und I. Das hat, wie wir gleich sehen werden, seine Berechtigung. Zunächst aber ist klar, daß die Orientirung eines Objectes desto größere Schwierigkeiten machen müßte, je undeutlicher der Strahl, auf welchem es erscheint, hervortritt, und daß ich die Objecte auf 1 denen auf III, diese denen auf II und diese endlich denen auf I vorziehen würde.

Hätte ich aber die Aufgabe, auf dieser Scheibe herumzugehen, und dürfte immer nur auf den gezeichneten Strahlen mich bewegen, so würde ich offenbar auch wieder die deutlichsten (gangbarsten) am meisten betreten.

Stellen wir uns ferner vor, über der festen Scheibe von der Form der Figur 4 sei, um den gemeinsamen Mittelpunkt drehbar, eine zweite aus Glas angebracht mit derselben Zeichnung. Dreht sich nun die gläserne Scheibe, deren Strahlen ich mit 1', I', II', III' bezeichne, so daß 1' nach einander auf I, II, III der festen Scheibe zu liegen kommt, so kommt III' nach einander in die Richtungen *ais*, *h*, *cis* u. s. w. zu liegen, welche durch punktirte Linien angedeutet sind, und man bemerkt, daß die Combinationen, welche auf die Richtungen 1, 2 und 3 sich zurückführen lassen,

sämmtlich gegeben sind durch ein zwölffaches Strahlenbüschel, in welchem je zwei einander benachbarte Strahlen sich unter einem Winkel von 30° schneiden. Auf irgend einem dieser Strahlen muß ein Object liegen, das sicher und mühelos in dem phonetischen Raume orientirt werden kann.

Aber die Orientirung ist offenbar nicht für jeden Strahl gleich mühelos. Liegt ein Object auf der Grundrichtung 1, fällt z. B. 1' der gläsernen Scheibe mit 1 zusammen, so ist die psychische Arbeit offenbar sehr leicht. Das Object 1' verstärkt einfach die Wahrnehmung der vorhandenen Grundrichtung. Fiele 1' auf III, so wäre die psychische Arbeit, welche nöthig ist dieses neue Object auf 1, die Grundrichtung zu beziehen, zwar größer als im ersten Falle, aber doch noch sehr leicht und sicher. Denn die Richtung III, in welcher das neue Object liegt, ist ja schon mit der Grundrichtung gegeben, es ist in ihr schon enthalten. Ja die Richtung III hat vor I und II einen gewissen Vorzug; sie ist ihnen gegenüber doppelt bewerthet, da sie den Combinationen 1. 2. 3 und 1. 3. 2 entspricht. Erscheint auf ihr ein Object, so kann ich es also ganz besonders genau orientiren, insofern ich auf zwei Wegen zu ihm gelangen kann, durch die Schritte α_1 und α_2 oder α_2 und α_1 . Es ist also eine Art Probe möglich.

Es steht demnach III in engerer Beziehung zu 1 als I und II; es ist die Intensität, mit welcher das III einer beliebigen Grundrichtung stets anschwingt, größer als die des I und II. Man könnte auch sagen, daß ein Object, das auf III wahrgenommen wird, die Vorstellung der Grundrichtung mehr verstärkt als ein auf I oder II gelegenes.

Offenbar ist die größte psychische Anstrengung nothwendig bei einer vollständigen Umkehr der Grundrichtung, wenn 1' auf — 1 fällt; dann fällt I' auf — I und — I' auf I, während II' und III' gar keine auf der festen Scheibe vorgezeichneten Richtungen finden. Die Richtung — 1 hat daher unter allen zwölf möglichen Richtungen die geringsten Beziehungen zur Grundrichtung, sie wird im Stande sein, die Vorstellung derselben am meisten zu verdunkeln.

Diese Bemerkung giebt uns ein Mittel an die Hand, zu entscheiden, in welcher Reihenfolge die einzelnen zwölf Richtungen, je nach dem Grade, in welchem Ihre Wahrnehmung die Vorstellung der Grundrichtung verstärkt, zu ordnen sind.

Liegt nämlich $1'$ auf I, so liegt I' auf -1 , und es ist klar, daß diese Lage von I' die Vorstellung oder „Kinese“ von 1 etwas verwischen muß.

Liegt dagegen $1'$ auf II, so bleibt -1 frei, während I' auf III, II' auf $-II$ und III' auf $-I$ fällt. Ein Object auf II wird demnach die Vorstellung der Grundrichtung 1 mehr verstärken als ein solches auf I.

Fällt $1'$ auf *cis* oder *h*, so fällt III' oder $-III'$ auf -1 , so daß die hierdurch bedingte groÙe Intensität, mit welcher -1 anschwingt, ungünstig auf die Kinese von 1 wirken muß.

Deckt sich $1'$ endlich mit *d* oder *aïs*, so fällt II' ($-II$) mit -1 zusammen, und die ungünstige Wirkung auf die Vorstellung der Grundrichtung wird sich bedeutend geringer bemerklich machen als im vorhergehenden Falle.

Der Intensitätszuwachs, welchen die Vorstellung der Grundrichtung, durch die Wahrnehmung eines Objectes auf einer der zwölf vorhandenen Richtungen erfährt, nimmt also ab von dem ersten bis zum letzten Gliede folgender Reihe:

1, III ($-III$), II ($-II$), I ($-I$), *d* (*aïs*) *cis* (*h*) *fis*.

Das sind die Beziehungen, welche zwischen den psychischen Correlaten der drei Bewegungsmechanismen des Kehlkopfes, wenn ich sie räumlich auffasse, bestehen.

Ist es wahr, daß die uns unmittelbar, d. h. nicht vernunftmäÙig, gegebenen Beziehungen zwischen den musikalischen Tönen, ebenfalls auf diese drei Mechanismen zurückgeführt werden können, so muß die verstandesmäÙige, d. h. räumliche Darstellung dieser Beziehungen zu dem gleichen Resultat führen, wie die eben gegebene Ableitung. Führen aber umgekehrt beide Ableitungen zu dem gleichen Resultat, so liegt darin ein zwingender Beweis für die Richtigkeit der Theorie.

Zu jedem Tone giebt es einen, der sich durch seine Höhe gerade merklich von zwei anderen unterscheidet, deren einer tiefer, der andere höher ist als das Vergleichsobject. Gehe ich von einem beliebigen Tone immer zu dem nächst höheren, so komme ich schließlich an eine Grenze, an welcher eine Steigerung der Höhenempfindung nicht möglich ist, ebenso wie ich, von einer beliebigen Lichtempfindung ausgehend, zu immer intensiveren Lichtern gelangen kann, bis das Maximum erreicht ist. Bewege ich mich in der entgegengesetzten Richtung zu immer tieferen Tönen, so gelange ich ebenfalls bald zu einer

Grenzempfindung, und diese Beziehung läßt sich wie jede quantitative Reihe einer Qualität als gerade Linie darstellen, an deren einem Ende das Minimum, am anderen das Maximum steht, oder auch, wenn ich an der Stelle der Vergleichsempfindung den Nullpunkt setze als Gerade, auf welcher vom Nullpunkte aus nach der einen Richtung die positiven, nach der anderen die negativen Werthe wachsen.

Offenbar aber habe ich auf diese Weise die Beziehungen zwischen den Tönen nicht erschöpft. Von welchem Punkte der Reihe ich ausgehe, wenn ich eine Melodie singen will, ist zwar gleichgültig. In dieser Hinsicht hat kein Punkt einen Vorzug vor dem anderen: sobald ich aber einen Punkt als Ausgangstation festgelegt habe, kommen für unser musikalisches Denken und Empfinden nur noch gewisse Punkte in Betracht und zwar, wenn ich die gleichschwebend temperirte Stimmung unserer Klaviere zu Grunde lege, lauter Punkte, die in gleichen Abständen von einander liegen; sie entsprechen Tönen, welche um das Intervall eines halben Tones von einander entfernt sind, also um das 30- bis 40fache des gerade noch wahrnehmbaren Höhenunterschiedes.

Und bei allen Völkern, zu allen Zeiten hat man in der Musik das continuirliche Anschwellen der Tonhöhe abgelehnt, und sich in Tonstufen bewegt, deren kleinste etwa dem Intervall des halben Tones entspricht.

Bezeichne ich, dem allgemeinen Brauche folgend, die Töne der temperirten Stimmung mit *c*, *cis*, *d*, *dis*, *e*, *f*, *fis*, *g*, *gis*, *a*, *ais*, *c*¹ und so weiter, so entsprechen ihnen auf der geraden Linie Punkte, die alle um ein gleiches Stück von einander entfernt sind.

Schlage ich nun nach einander erst *c* dann *cis*, *c* dann *d*, *c* dann *dis* u. s. w. an, so bemerke ich, daß einige dieser Tonfolgen ganz besonders ins Gehör fallen, und zwar in der aufsteigenden Linie *c dis*, *c e*, *c g*, in der absteigenden *c*¹ *a*, *c*¹ *gis*, *c*¹ *f*, vor Allem aber *c c*¹ und *c*¹ *c*.

Gehe ich über *c*¹ nach aufwärts hinaus, so erkenne ich in den Tonfolgen *c dis*¹, *c e*¹, *c g*¹ sehr deutlich die Aehnlichkeit mit den Intervallen *c dis*, *c e* und *c g* heraus, und nicht anders ist es, wenn ich über *c* nach *c*₁ hinuntersteige.

Ganz identisch aber erscheinen mir die Intervalle *c dis* und *c*¹ *dis*¹, *c e* und *c*¹ *e*¹, *c g* und *c*¹ *g*¹, so daß sich stets nach einer ganzen Octave die Intervalle in derselben Weise wiederholen.

Will ich diese Wiederkehr der gleichen Wahrnehmung bei verschiedener Tonhöhe räumlich veranschaulichen, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß ich die Punkte, die die Töne versinnlichen, nicht auf einer Geraden, sondern auf einer sich in immer weiteren Windungen um einen Mittelpunkt legenden Spirale aufzeichne, und jeden Umlauf mit einer Octave bewerthe. In dem inneren, größer werdenden Radiusvector ist dann die zunehmende Tonhöhe, in dem Winkel, den zwei Radiusvectoren bilden, die sich bei jedem Umlauf wiederholende Folge der gleichen Intervalle symbolisirt. Lege ich einen Punkt für den Grundton c fest, so würde $c_1, c_2 \dots$ ebenso wie $c^1, c^2 \dots$ auf der gleichen Richtung liegen, und dasselbe würde von jeder beliebigen andern Octavenfolge gelten. Die zwölf Halbtöne der Octave aber würden auf einen Umlauf in gleichen Winkelabständen zu liegen kommen, wie Figur 5 zeigt.

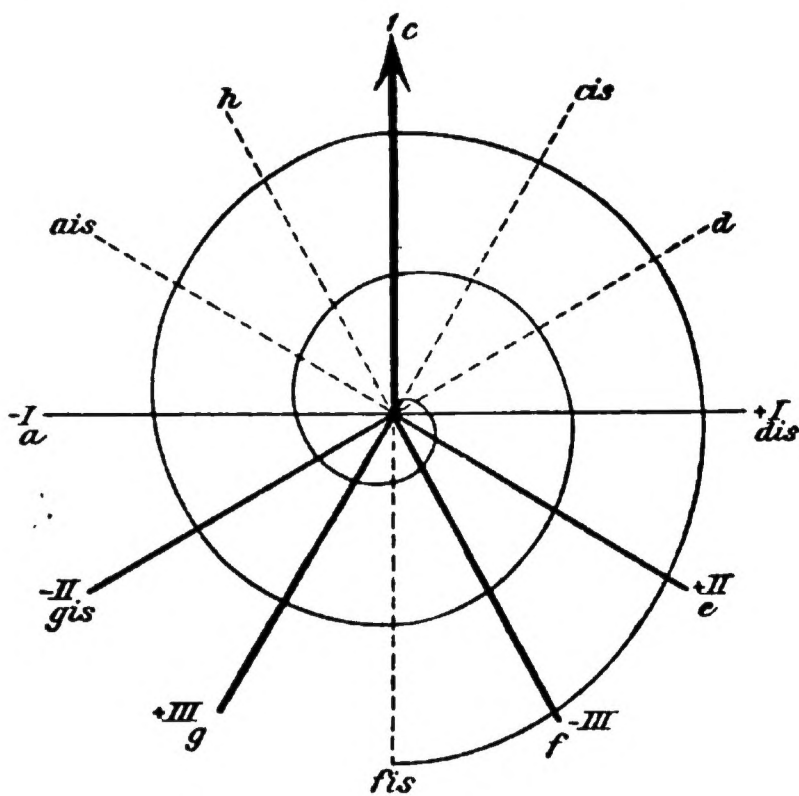


Fig. 5.

Da nun offenbar der Unterschied der Höhenempfindung für das gleiche Intervall stets derselbe ist, also $c^1 c^2 = dis dis^1$ und so weiter, so muß ich für jeden Zwölftel-Umlauf, d. h. für jeden halben Ton den Radiusvector um ein Zwölftel seiner Zunahme beim ganzen Umlauf wachsen lassen. Es leuchtet ein, daß die Spirale eine sogenannte archimedische ist, deren Polargleichung durch $\frac{\theta}{2\pi} = r$ wiedergegeben werden kann. Ist θ der Centri-

winkel $= 0$, so ist r , welches die Tonhöhe repräsentirt, ebenfalls gleich 0. Einen Ton von dieser Höhe giebt es nicht, da jeder Ton zu jedem anderen in einem bestimmten Höhenverhältniß steht. Setze ich aber die Höhe des tiefsten musikalischen Tones als Vergleichseinheit gleich 1, so ist $\theta = 2\pi$, d. h. der tiefste musikalische Ton ist an das Ende des ersten Umlaufes zu setzen; dann steht bei $\theta = 2 \cdot 2\pi$, am Ende des zweiten Umlaufes, die Octave des tiefsten Tones von der Höhe $r = 2$, bei $\theta = 3 \cdot 2\pi$ die dritte Octave von der Höhe 3 und so weiter.

Wir haben schon darauf aufmerksam gemacht, daß in der aufsteigenden Octave von den zwölf auf c bezogenen melodischen Schritten vier sich besonders auszeichnen: Der Reihe nach

die Octave, einem ganzen Umlauf entsprechend $= 2\pi$, $c c^1$,

die Quint, $\frac{7}{12}$ Umläufe $= \frac{2\pi}{4} + \frac{2\pi}{3}$, $c g$,

die große Terz, $\frac{4}{12}$ Umläufe $= \frac{2\pi}{3}$, $c e$,

und die kleine Terz, $\frac{3}{12}$ Umläufe $= \frac{2\pi}{4}$, $c dis$.

In der absteigenden Octave waren es:

die Octave $c^1 c$,

die Unterquint, die Quart der tieferen Octave

$$c^1 f = -\left(\frac{2\pi}{4} + \frac{2\pi}{3}\right),$$

die große Unterterz, die kleine Sext der tieferen Octave

$$c^1 gis = -\frac{2\pi}{3},$$

die kleine Unterterz, die große Sext der tieferen Octave

$$c^1 a = -\frac{2\pi}{4}.$$

Auf die tiefere Octave von c^1 , auf c als Grundton bezogen heißen diese Intervalle Quart, kleine und große Sext. Sie sind einfach die Umkehr der Quint und der Terzen.

Wenn wir uns nunmehr erinnern, daß die Beziehungen der musikalischen Töne zurückgeführt werden sollten auf die bei jeder Tonwahrnehmung anklingenden motorischen Erinnerungsbilder des Kehlkopfes, so wäre nach unserer Fiction des phoneti-

schen Raumschemas der Grundton einer Melodie das auf der Hauptrichtung gelegene Object. In der Wahrnehmung dieses Grundtones sowohl wie in seiner Vorstellung, die während der Dauer der Melodie wach bleibt, ist enthalten mit abnehmender Deutlichkeit — als Partialwelle der Grundwelle — die Vorstellung der Quint, der großen und kleinen Terz, sowie die nächst höheren Octaven der Umkehrungen dieser Intervalle.

Folgt nun auf den Grundton *c* die Octave *c*¹, so werden absolut keine neuen Richtungsvorstellungen erregt, *c*¹ sagt mir nichts Anderes als *c*. Und wie wir aus dem Vorhergehenden leicht entnehmen können, wird die Vorstellung des Grundtones, der Tonica, in abnehmendem Maasse verstärkt durch die Wahrnehmung der Quint (Quart), der großen Terz (kleinen Sext) und der kleinen Terz (großen Sext). Das sind die harmonischen Intervalle nach ihrem Verwandtschaftsgrad zum Grundtone geordnet. Es folgen die unharmonischen *c d*, *c dis*, *c fis*, von denen letzteres die Vorstellung des Grundtones am meisten abschwächt.

Die hier gegebene Reihenfolge der Verwandtschaft der Töne, wie sie sich aus der Fiction des phonetischen Raumes ergibt, wird nun auf das Glänzendste durch unsere unmittelbaren musikalischen Empfindungen und Erfahrungen bestätigt.

Außer der Octavenbegleitung kannte man im Alterthum nur die homophone Musik, den melodiösen Fortschritt in einfachen Tönen.

Nach der Octave bevorzugten die Alten als zweites Intervall die Quint, und wenn musikalisch ungeschulte Sänger eine Melodie mitsingen wollen, singen sie häufig, wenn ihnen die Octavenbegleitung zu hoch ist, in Quinten mit.

Später erst hat man die große Terz und noch später die kleine Terz zu den harmonischen Intervallen gerechnet.

Je nach dem Verwandtschaftsgrade, den das Intervall zum Grundtone bestimmt, verhält es sich nämlich mit der Mühe, einen Ton zu einem Grundtone zu treffen. Am leichtesten ist die Octave, am schwersten *fis* oder *cis* nach *c*. Freilich ist das durch die Kenntniß der Tonleitern etwas verdunkelt, tritt aber gerade in den beiden Tonarten unserer Systeme sehr schön zu Tage.

In beiden Tonleitern, *C*-Dur und *C*-Moll, fehlt *fis*, welches den Grundton zu sehr verdunkeln würde.

Die beiden halben Töne, welche in der Dur-Tonleiter vor-

kommen, *e f* und *h c*, liegen an Stellen, wo die Beziehung auf die Tonica eine sehr deutliche ist. *f* ist die Quart von *c*, *h* die groſse Terz der Quint, und ähnlich steht es mit der Moll-Tonleiter. Offenbar hat die Tonfolge *c e g* etwas bestimmteres als *c dis g*, auch wird sie in volksthümlichen Melodien mehr bevorzugt. Auch HELMHOLTZ rühmt dem C-Dur-Accord eine gröſsere Bestimmtheit und Kernigkeit nach.

Woher kommt das? Nur im Moll-Accorde wird durch die kleine Terz *fis* ins Bewußtsein erhoben, so daſs in der That die Grundrichtung etwas verdunkelt werden kann. (Man erinnere sich an den Versuch mit der Glasscheibe.) Die groſse Terz des Dur-Accordes dagegen ruft diese Vorstellung des Gegensatzes zur Grundrichtung nicht hervor.

Weiter auf die musikalischen Verhältnisse einzugehen, halte ich für überflüssig. Ich glaube gezeigt zu haben, daſs die musikalischen Beziehungen in der That die nämlichen sind, wie die des phonetischen Raumes.

Das Substrat des musikalischen Denkens, das was die Töne zu einander in Beziehung setzt, und ein musikalisches Gedächtnis erst ermöglicht, sind in der That die Erinnerungsbilder der Kehlkopfbewegungen. Je nachdem ein neuer Ton in einer Melodie die Tonica (Ausgangsrichtung) mehr weniger belebt oder gar verdunkelt, wird der ästhetische Werth der Tonfolge mehr weniger beruhigend oder verwirrend wirken.

In jedem einzelnen Falle wird man sich die ästhetische Wirkung klar machen können an dem Beispiel mit der gläsernen Scheibe. Jede neue Lage derselben bedeutet die Wahrnehmung eines neuen Tones, während die feste Scheibe die Vorstellung der Tonica, welche während der Dauer der Melodie anhält, sinnlichen sollte.

Handelt es sich um mehrstimmige Musik, so kann man sich durch mehrere gläserne Scheiben ein Bild davon machen, in welche Beziehungen die Tonica tritt, wie sie immer in neuen Verhältnissen erscheint.

Ist das motorische Erinnerungsbild, welches mit jeder Tonwahrnehmung anklingt $= M_1 + M_2 + M_3$, also zurückzuführen auf die Formel

$$n_1 (i_1^1 m_1^1 \dots) + n_2 (i_1^2 m_1^2 + i_2^2 m_2^2 \dots) + n_3 (i_1^3 m_1^3 + i_2^3 m_2^3 \dots),$$

so ist klar, daſs das Verhältniß $n_1 : n_2 : n_3$ ganz allein für die

Beziehung dieses Tones auf einen anderen in Betracht kommen kann, da die Klammerausdrücke sich nicht ändern können, während die Summe $n_1 + n_2 + n_3$, die Gesamtinnervation als Quantität, als Höhenempfindung bewerthet wird.

Werfe ich nun einen Blick auf Figur 4, so sehe ich, daß der Radiusvector zwar von Halbton zu Halbton um die gleiche GröÙe r_{12} wächst, daß also auch $n_1 + n_2 + n_3$ in derselben Weise zunimmt, daß aber zugleich die Richtungsvorstellung oder Intervallempfindung bei jedem Zuwachs um r_{12} sich ändert, bis sie bei der zwölften Zunahme wieder dieselbe geworden ist. Es besteht also ein Gesetz, derart, daß die drei Summanden n_1 , n_2 und n_3 nicht gleichmäÙig zunehmen können, sondern nur ungleichmäÙig, so daß das Verhältniß $n_1 : n_2 : n_3$ während des Wachsthum der Summe zwölf Werthe durchläuft. Es ist also $n_1 + n_2 + n_3$ eine stetig zunehmende, $n_1 : n_2 : n_3$ eine periodische Function.

In unsere Tonempfindungen übersetzt heißt das, daß zu jeder Tonhöhe, zu jeder Quantität der Tonempfindung eine besondere Intervallvorstellung gehört. Der Radiusvector von Figur 4 versinnbildlicht die Quantität der Höhenempfindung, die zwölf Strahlen des phonetischen Raumes die Intervallvorstellungen. So haben wir für die Töne einer beliebigen Octave folgende Quantitätswerthe der Höhenempfindung

$$\begin{array}{lll}
 c = m & e = m + \frac{4}{12} & gis = m + \frac{8}{12} \\
 cis = m + \frac{1}{12} & f = m + \frac{5}{12} & a = m + \frac{9}{12} \\
 d = m + \frac{2}{12} & fis = m + \frac{6}{12} & ais = m + \frac{10}{12} \\
 dis = m + \frac{3}{12} & g = m + \frac{7}{12} & h = m + \frac{11}{12}
 \end{array}$$

wobei m für die tiefste Octave gleich 1 und für die nächst höheren $= 2, 3, 4 \dots$ zu setzen ist. Das Bildungsgesetz dieser Reihe

ist durch die Polargleichung der archimedischen Spirale $r = \frac{\theta}{2\pi}$

gegeben, wenn θ der Reihe nach die Werthe $2\pi, 2\pi + \frac{\pi}{6},$

$2\pi + \frac{2\pi}{6}, 2\pi + \frac{3\pi}{6} \dots$ ertheilt.

Nach dem sogenannten psychophysischen Grundgesetz entspricht aber der arithmetischen Progression der Empfindungsgrößen eine geometrische der zugehörigen Reizgrößen.

Ist also die Empfindungsreihe für die Octaven: 1, 2, 3, 4, d. h. ist c gegen c^1 um ebensoviel verschieden wie c^1 gegen c^2 u. s. w., so ist die zugehörige Reizreihe $x^1, x^2, x^3, x^4 \dots$ und giebt uns die archimedische Spirale das Bildungsgesetz der Empfindungsreihe, so die geometrische $e^{x \cdot \theta} = R$, das der Reizreihe.

Diese Spirale nähert sich in unendlich vielen Windungen dem Mittelpunkte. Setze ich den Radiusvector, welcher der Reizgröfse des tiefsten Tones entspricht, gleich 1, also $e^{x \cdot \theta} = 1$, so beginnt von hier aus mit wachsendem θ der positive Theil der Spirale, deren jeder Punkt einen Tonreiz repräsentirt.

Für den Reiz des tiefsten Tones habe ich also

$$\begin{aligned} 1 &= e^{x \cdot \theta} \\ x \cdot \theta &= 0 \end{aligned}$$

Da x aber nicht 0 sein kann, weil sonst alle Reizgrößen von der Formel $e^{x \cdot \theta} = 1$ wären, so muß ich $\theta = 0$ setzen.

Für die Octave dieses tiefsten Tones ist folgerichtig $\theta = 2\pi$, und wenn ich den Unterschied der Reizgröfse des tiefsten Tones und seiner Octave mit 1 bezeichne, so ergibt sich für diesen Reiz

$$R^1 = 1 + 1 = 2 = e^{x \cdot 2\pi}$$

oder $\log \text{ nat } 2 = 2\pi \cdot x$

mithin $x = \frac{\log \text{ nat } 2}{2\pi}$

Die Gleichung der Exponentialspirale $e^{x \cdot \theta} = R$ geht also über in

$$e^{\left(\log \text{ nat } 2 \cdot \frac{\theta}{2\pi} \right)} = R$$

oder $R = 2^{\frac{\theta}{2\pi}}$

Setzt man hier für θ der Reihe nach $\frac{\pi}{6}$, $\frac{2\pi}{6}$, $\frac{3\pi}{6}$, so daß man für die Octave des tiefsten Tones 2π , für die nächste 4π , $6\pi \dots$ setzen muß, so steht der Reihe der Höhenempfindungen folgende der zugehörigen Reizgrößen gegenüber:

Quantitätsreihe:

$$1, 1^{1/12}, 1^{2/12} \dots 2, 2^{1/12} \dots 3 \dots 4 \dots$$

Reizreihe:

$$1, 2^{1/12}, 2^{2/12} \dots 2^1, 2^{1 1/12} \dots 2^2 \dots 2^3 \dots 2^4 \dots$$

und ich kann demnach das Verhältniß jedes Intervalles zum Grundtone aus den Verhältnissen der Reizgrößen berechnen. Es wird, da $2^m : 2^{m+1/12}$ unabhängig von $m = 2^{1/12}$ ist, durch die Höhenlage nicht beeinflusst.

Setze ich also den Grundton 1, so ist die Reizgröße

der kleinen Terz	$= 2^{1/12} = 1,1893,$
der großen Terz	$= 2^{2/12} = 1,2589,$
der Quart	$= 2^{3/12} = 1,3348,$
der Quint	$= 2^{4/12} = 1,4983,$
der kleinen Sext	$= 2^{5/12} = 1,5874,$
der großen Sext	$= 2^{6/12} = 1,6818,$
der Octave	$= 2^1 = 2,0000,$
des Halbtones	$= 2^{1/12} = 1,0595.$

Ueberlegen wir uns, daß diese Reizgrößen den bezüglichen Innervationssummen des Kehlkopfes ($n_1 + n_2 + n_3$) entsprechen, also der Spannung der Stimmbänder oder auch deren Schwingungszahlen proportional sein müssen, so müssen diese Zahlen wenigstens bis zu einem gewissen Grade mit den aus den Seitenlängen oder Schwingungszahlen der Tonwellen berechneten übereinstimmen, und wir werden eine um so größere Uebereinstimmung für die Intervalle vermuthen, bei welchen die Beziehung oder Verwandtschaft mit dem Grundtone am stärksten ist. Erinnern wir uns an den phonetischen Raum, so war die Orientirung eines Objectes am leichtesten und sichersten auf der Grundrichtung selbst möglich, sodann mit abnehmender Sicherheit auf den Strahlen III (— III), II (— II) und I (— I). Eine Abweichung der Stimmung eines Instrumentes von dem hier entwickelten, organisch begründeten Schwingungsverhältniß, die beim Halbton bei der kleinen und selbst der großen Terz noch erträglich wäre, müßte bei der Quart, der Quint und gar der Octave eine sehr beunruhigende Wirkung hervorrufen.

Folgende Tabelle giebt eine Uebersicht über die Verhältnißzahlen der „reinen“, der gleichschwebend temperirten und meiner „physiologischen“ Stimmung.

	Rein	Gleichschwebend	Physiologisch
Kleine Terz	1,2000	1,1902	1,1893 (— 0,7 ‰)
Große Terz	1,2500	1,2589	1,2589 (+ 0,6 ‰)
Quart	1,3333	1,3348	1,3348 (+ 0,13 ‰)

	Rein	Gleichschwebend	Physiologisch
Quint	1,5000	1,4983	1,4983 (— 0,12 ‰)
Kleine Sext	1,6000	1,5874	1,5874 (— 0,6 ‰)
Große Sext	1,666̄6	1,6804	1,6818 (+ 0,7 ‰)
Octave	2,0000	2,0000	2,0000 (0 ‰)

Die in Klammern beigefügten Procentzahlen geben die Abweichung der physiologischen Stimmung gegen die sogenannte reine an und man sieht, daß in dieser thatsächlich die Annäherung von der kleinen Terz zur großen, zur Quint und endlich zur Octave zunimmt.

Bei den Völkern der mittelländischen Cultur¹ hat nun von je her die Ansicht bestanden, daß die sogenannte reine Stimmung und die aus ihr abgeleiteten Saitenlängen in der That genau einem in unserem Empfinden begründeten Gesetze entsprächen, und HELMHOLTZ hat in seinem genialen Werke „Die Lehre von den Tonempfindungen“ dieser Anschauung eine scheinbar unerschütterliche Stütze gegeben. Daß diese reine Stimmung aber thatsächlich weniger natürlich ist als die temperirte, dürfte nach meinen Ausführungen kaum bezweifelt werden. Die Begründung, die HELMHOLTZ seiner Lehre giebt, hier zu kritisiren, würde zu weit führen. Ich will nur feststellen, daß eine objective Stimmung der Instrumente erst möglich wurde, nachdem die Zahlenverhältnisse bekannt waren, und möchte ferner darauf hinweisen, mit welcher ungeheurer suggestiver Wucht die gefundenen einfachen Zahlen 1 : 2, 2 : 3, 3 : 4, 4 : 5, 5 : 6 gewirkt haben. Diese Einfachheit nahm man als Sanction der Richtigkeit, und das Gefühl war bei der verhältnißmäßig großen Annäherung an die Wahrheit unfähig die Vernunft zu corrigiren.

Wäre die reine Stimmung wirklich die natürliche, es wäre unfalschbar, warum die heutigen Culturvölker bei einer noch nie dagewesenen Bethätigung der musikalischen Psyche, darauf und daran sind sie, gegen die gleichschwebend temperirte zu vertauschen.

Ebenso haben die Perser in dem Maasse, wie der fremde Einfluß, der bei ihnen die reine Stimmung eingeführt hatte, er-

¹ Aus HELMHOLTZ, Lehre von den Tonempfindungen, 4. Ausgabe, 1877, S. 444 Anm. geht hervor, daß die ältesten auf uns gekommenen Instrumente der Aegypter die zwölfstufige Halbtonscala aufweisen.

losch, beim Verfall ihrer mittelalterlichen Cultur, d. h. als die natürlichen Instincte des Volkes zur Geltung gelangten, sich der gleichschwebend temperirten Stimmung wieder zugewandt.

Es ist natürlich kein blinder Zufall, daß mein räumliches Tonschema die Gestalt der Cochlea acustica zeigt. Meine Theorie verlangt, daß die Reizung jedes akustischen Elementes neben der rein qualitativ akustischen Empfindung E ein motorisches Erinnerungsbild M wachruft, so daß jede Tonwahrnehmung unter dem Schema $E + M$ dargestellt werden muß.

Jedes Element der Schnecke, oder auch eine Anzahl benachbarter steht für eine Tonwahrnehmung; da diese Elemente räumlich sind, müssen sie auch räumlich angeordnet sein. Mein Schema ist aber nichts als die räumliche Anordnung der Tonwahrnehmung und diese muß mit der räumlichen Anordnung der Schneckenelemente übereinstimmen.

Die weiteren sehr interessanten anatomischen Folgerungen muß ich hier bei Seite lassen. Nur daß der Kuppelblindsack in der ersten, von Tönen freien Windung der archimedischen Spirale sein Gegenstück findet, sei zum Schlusse bemerkt.

(Eingegangen am 15. September 1901.)
