

Ueber die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen
nebst einigen Bemerkungen
über die Methode der Minimaländerungen.

Von

MAX MEYER.

I. Die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen.

Die Ermittlung der Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für kleine Tonhöhenunterschiede kann nach verschiedenen Richtungen hin von Interesse werden. Die physiologische Theorie des Hörens wird immer damit zu rechnen haben, sei es, dass man die Zahl der unterscheidbaren Töne mit der Zahl der Fasern im Gehörorgan vergleicht, die nach HELMHOLTZ durch Töne in Mitschwingung versetzt werden, sei es, dass man in anderer Weise Verifikationen oder Erläuterungen der aufgestellten Hypothesen daraus herleitet. Für die psychologische Theorie der Tonwahrnehmungen ist es nicht ohne Bedeutung, die Feinheit des Urtheils über Tonhöhenunterschiede mit der über die Reinheit von Intervallen zu vergleichen. Den Psychophysikern endlich waren diese Untersuchungen längere Zeit darum wichtig, weil es galt, das WEBER-FECHNER'sche Gesetz der Konstanz der relativen Unterschiedsempfindlichkeit auf dem Gebiete der Tonhöhen zu prüfen, wo es von seinen Urhebern als zweifellos gültig hingestellt worden war. Dieses Gesetz ist nun mehr und mehr wankend geworden. Aber die zu seiner Prüfung angewandten „psychophysischen Maassmethoden“ haben als bestimmte Fragestellungen über das Verhältniss der Sinnesempfindungen zu einander eine selbstständige Bedeutung gewonnen.

Wenn es sich um kleinste, eben merkliche Empfindungsunterschiede handelt, kann entweder gefragt werden, ob ein Unterschied in bestimmter Hinsicht überhaupt bemerkt wird (Methode der eben merklichen Unterschiede oder der Minimaländerungen), oder ausserdem noch, in welcher Richtung der Unterschied liegt, hier also, ob der zweite Ton höher oder tiefer ist (Methode der richtigen und falschen Fälle). Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse sind vermitteltst der zweiten Methode gewonnen. Die Nachtheile der ersteren gegenüber der zweiten werden nach dem Bericht über die sachlichen Ergebnisse dargelegt werden.

Hauptversuchsperson war Professor STUMPF. Die Versuche mit dem Tone 600 wurden ausserdem noch mit einer Anzahl anderer, sämmtlich hervorragend musikalischer Personen gemacht. Dass die Versuchspersonen musikalisch waren, bedarf kaum der Rechtfertigung. Solche Personen bringen bereits eine erhebliche Uebung mit, die andere im Verlauf der Versuche sich erst erwerben müssen, und man darf zugleich bei Musikalischen eine grössere Fähigkeit der Vertiefung, der Konzentration und des dauernden Interesses an so langwierigen Versuchsreihen über feinste Unterschiede im Tongebiet voraussetzen — auch hier natürlich nur dann, wenn zugleich Interesse und Begabung in allgemein wissenschaftlicher Hinsicht mit den musikalischen Fähigkeiten verknüpft ist.

Zur Tonerzeugung wurden Stimmgabeln benutzt. Die Tonhöhenänderung der Gabeln wurde nicht durch Verschiebung von Laufgewichten bewirkt, da es darauf ankam, die Gabeln auf die angewandten Verstimmungen möglichst genau einzustellen. Die eine Zinke jeder veränderlichen Gabel wurde — je nach der Grösse der Gabel — 1,5 bis 3,5 cm tief angebohrt und eine entsprechend lange, durch eine Gegenmutter feststellbare Stahlschraube eingesetzt, die bei der Gabel 1200 hohl, bei den übrigen massiv war und bei 100 einen schweren, bei 200 einen etwas leichteren Messingkopf als Belastung trug. Durch Einstellung der Schraube auf einen bestimmten Punkt liess sich die jedesmal gewünschte Tonhöhe ohne grosse Mühe mit hinreichender Genauigkeit herstellen.

Um den Nullpunkt zu bestimmen, darf man sich nicht mit dem Fortfall bemerkbarer Schwebungen begnügen, sondern muss auch um gleichviel (etwa 3 Windungen der Schraube) nach der

Höhe und nach der Tiefe zu verstimmen, wo dann die Schwebungen gleich schnell sein müssen. Man kann so den Nullpunkt recht gut feststellen. Doch ist die zweite Dezimale im Allgemeinen bereits mit einem Fehler behaftet. Ich habe mich daher auch mit Bestimmung zweier Dezimalstellen begnügt. Wie SCHISCHMANOW¹ die Angabe einer dritten Dezimale rechtfertigen kann, sehe ich nicht recht ein. LUFT² hat bei seinen Versuchen sich mit der Bestimmung zweier Dezimalstellen begnügt, wie aus seiner ersten Tabelle der Rohversuche hervorgeht. Die Mittelwerthe aus diesen ursprünglichen Zahlen berechnet er jedoch bis auf die dritte Dezimale, was ich nicht billigen kann, da es doch nur den Schein einer Genauigkeit erweckt, die in Wirklichkeit nicht besteht. Ich gebe daher später LUFT's Ergebnisse zweistellig wieder.

Je kleiner die Gabeln sind, um so empfindlicher zeigen sie sich gegen Temperaturwechsel. Es wurde daher namentlich bei den höheren Gabeln vermieden, sie mit der warmen Hand direkt zu berühren.

Die Gabeln 400, 600 und 1200 waren auf ihren Resonanzkästen befestigt und wurden, um möglichst gleich starke Töne zu erzielen, durch Federkraft mittelst hölzerner Hämmer angeschlagen, die bei den Gabeln 400 und 600 mit Gummi, bei 1200 mit Tuch bekleidet waren. Die Gabeln 100 und 200 wurden durch kräftiges Aufschlagen auf die Tischplatte bzw. eine Tuchunterlage in Schwingung versetzt und dann vor die Oeffnung des betreffenden Resonanzkastens gehalten, aus dem ein etwa 2 m langer Schlauch zum Ohre des Beobachters führte. Die Intensitäten habe ich bei diesem Verfahren dadurch gleich zu machen gesucht, dass ich die schwingenden Gabeln bald mehr, bald weniger nahe an die Oeffnung des Resonanzkastens brachte, je nachdem es mir bei gleichzeitiger aufmerksamer Beobachtung der Intensitäten erforderlich schien. Man erlangt hierin bald ziemliche Uebung.

Jeder Einzelversuch wurde dreimal, und wenn einer der Beobachter es wünschte, noch öfter wiederholt, bevor das Urtheil „zweiter Ton höher“ oder „zweiter Ton tiefer“ abgegeben wurde.

¹ WUNDT's Philosophische Studien, Bd. 5.

² WUNDT's Studien, Bd. 4.

Man erreicht hierdurch, dass nicht nur im Gesammtergebniss, sondern vielfach schon in einem Einzelfalle kleine Unregelmässigkeiten des Anschlaggeräusches, der Intensität der zu vergleichenden Töne sowie der zwischen der Beobachtung dieser beiden Töne liegenden Zwischenzeit sich ausgleichen. Die Beobachter selbst kontrollirten insbesondere auch die Gleichheit der Intensität und liessen jedes Mal, wenn diese nicht völlig erreicht schien, den Versuch nochmals wiederholen. Ebenso bei Schwankungen der Aufmerksamkeit, soweit sie ihnen selbst zum Bewusstsein kamen. Daher ist das Ergebniss als das einer möglichst maximalen, nicht etwa durchschnittlichen Aufmerksamkeit entsprechende anzusehen.

Bei den Tönen 400, 600 und 1200 gingen die Versuche in folgender Weise vor sich. Die Federn der Hämmer wurden gespannt, die Normalgabel angeschlagen und nach kurzer Zeit gedämpft, dann die Vergleichsgabel angeschlagen und nach gleicher oder ein wenig längerer Zeit gedämpft. Hierauf wurden wieder die Federn gespannt u. s. w. Durch letztere Manipulation entstand zwischen den wiederholten Einzelversuchen eine kleine Pause. Bei 100 war diese Pause etwas kürzer, da das Anschlagen der beiden Gabeln nicht ganz so viel Zeit erforderte, als das Spannen der Federn. Bei 200 war diese Zwischenpause ebenso lang als die Pause zwischen dem Normal- und dem Vergleichston. Da nämlich diese beiden Gabeln nach einmaligem Anschlag sehr lange kräftig in Schwingung blieben, so konnten drei Einzelversuche hinter einander gemacht werden, ohne dass die Gabeln inzwischen angeschlagen zu werden brauchten. (Eine geringe Abnahme der Schwingungsintensität wurde, soweit es nöthig war, durch grössere Annäherung an die Oeffnung des Resonanzkastens ausgeglichen). Da es nun möglicher Weise die Zuverlässigkeit des Urtheils begünstigt, wenn bald, nachdem etwa der zweite Ton für höher gehalten worden ist, wieder geprüft werden kann, ob der erste wirklich tiefer ist, so könnte vielleicht das Ergebniss für den Ton 200, weniger das für den Ton 100, um ein geringes besser ausgefallen sein, als es im Vergleich zu den übrigen Tönen in Wirklichkeit sein dürfte.

Zu bemerken ist noch, dass der Ton der Normalgabel bei jedem Einzelversuche vor dem veränderlichen der Vergleichsgabel angegeben wurde.

Kollektivversuche für den Ton 600.

Ver- stimmung	HORNEFFER		HUTZELMANN		KOHLEAUSCH		LANGE		LAURISCHKUS		LOEWENFELD		Summe		Prozent					
	r.	z.	r.	z.	r.	z.	r.	z.	r.	z.	r.	z.	r.	z.	r.	z.				
	f.		f.		f.		f.		f.		f.		f.		f.					
-1,14	—	—	14	1	4	0	2	1	7	1	1	8	1	0	46	5	3	85	9	6
-0,62	—	—	19	3	9	4	2	4	7	2	0	11	3	0	62	14	6	76	17	7
-0,37	5	4	9	3	6	4	2	1	—	—	—	7	4	4	30	16	14	50	27	23
+0,37	6	1	10	3	6	3	3	0	—	—	—	10	2	2	40	9	8	70	16	14
+0,63	—	—	19	3	7	1	11	4	7	0	2	11	1	2	55	15	12	67	18	15
+1,05	—	—	14	1	2	0	2	1	8	0	1	8	0	1	46	2	6	85	4	11

Urtheile von Prof. STUMPF für die Töne 100, 200, 400, 600, 1200.

100	200		400		600		1200		r.		f.	
	r.	f.	r.	f.	r.	f.	r.	f.	r.	f.	r.	f.
-0,69	28	5	-0,63	32	1	3	-0,62	26	3	-0,71	25	10
-0,38	22	11	-0,38	28	5	9	-0,37	31	6	-0,35	25	10
+0,39	25	8	+0,37	27	6	4	+0,37	31	6	+0,35	22	13
+0,69	21	12	+0,63	28	5	2	+0,63	27	3	+0,71	24	11

In den Tabellen bedeutet —, dass der zweite, also der Ton der veränderlichen Gabel, tiefer als der erste, der der Normalgabel, war; + bedeutet, dass der zweite Ton höher war. Es wurden sowohl nach der Tiefe, wie nach der Höhe zu zwei Verstimmungen von etwa 0,35 und 0,65 Schwingungen angewandt. Die kleinen Abweichungen von diesen Zahlen erklären sich daraus, dass die benutzten Verstimmungen bei den einzelnen Gabeln leicht hergestellt werden konnten, weil sie gerade einem ganzzahligen Vielfachen einer Schraubenwindung entsprachen. Aus demselben Grunde stimmt auch die dritte, nur bei den Kollektivversuchen angewandte Verstimmung nach der Höhe und nach der Tiefe zu nicht ganz überein.

Die einzelnen Personen bei den Kollektivversuchen zeigen, wie man aus der Tabelle sieht, zwar nicht genau die gleiche Unterschiedsempfindlichkeit (wobei man auch die ziemlich kleinen Zahlen in Betracht ziehen muss), aber auch nicht besonders auffällige Verschiedenheiten. Die Summe giebt uns einen Ueberblick über die durchschnittliche Empfindlichkeit musikalischer Personen.

LUFT meinte aus seinen Versuchen schliessen zu können, dass das Urtheil vielleicht etwas sicherer sei, wenn der zweite Ton höher sei. Ich habe das nicht bestätigt gefunden. Die meisten Versuchspersonen erklärten, sich in beiden Fällen gleich zu verhalten, einige dagegen, dass es ihnen leichter erscheine zu urtheilen, wenn der zweite Ton tiefer sei. Sehen wir uns nun die Tabelle darauf hin an.

In den Kollektivversuchen ist bei der grössten Verstimmung kein bemerkenswerther Unterschied ersichtlich, bei der kleineren Verstimmung ist Vertiefung ein wenig besser beurtheilt worden als Erhöhung, bei der kleinsten Verstimmung Erhöhung etwas besser als Vertiefung. Im Ganzen zeigt sich also kaum ein Vorzug der Verstimmung nach einer von beiden Seiten.

In STUMPF's Urtheilen ist bei 600 die Sicherheit nach beiden Seiten hin gleich; bei 100, 200 und 1200 hat Vertiefung einen geringen Vorzug, bei 400 ist Erhöhung besser beurtheilt worden. Man wird unter diesen Umständen wohl annehmen müssen, dass es für die Sicherheit des Urtheils im Allgemeinen gleichgültig ist, ob der zu beurtheilende Ton höher oder tiefer als der Normalton ist.

Diese Annahme berechtigt uns dazu, die Urtheile über

gleichviel (oder nahezu gleichviel) nach der Höhe und nach der Tiefe zu verstimmte Töne zusammenzurechnen. Man erhält so aus den Kollektivversuchen und den Versuchen STUMPF's mit dem Tone 600 folgende Prozentzahlen:

Ver- stimmung	Kollektiv- versuche			STUMPF	
	r.	f.	z.	r.	f.
600 \pm					
0,37	60	21	19	84	16
0,63	71	18	11	90	10
1,10	85	6	9	—	—

Dass die Urtheile STUMPF's eine so erheblich grössere Sicherheit aufweisen, ist sowohl eine Folge der grösseren Uebung als auch des Umstandes, dass die Töne zweier Tonquellen in Folge der Reflexionen an den Wänden öfters für den Beobachter ein verschiedenes Stärkeverhältniss haben, auch wenn sie für den Experimentator gleich sind, was bei STUMPF's Urtheilen nur in geringem Maasse störend wirkte, da hier die Differenz durch den Experimentator oder durch Platzwechsel des Beobachters leichter ausgeglichen werden konnte, während bei mehreren Beobachtern die Schwierigkeit entsteht, dass der eine den einen, der andere den anderen Ton verstärkt wünscht. So erklärt sich die grössere Fehlerzahl bei den Kollektivversuchen und theilweise vielleicht auch die Abgabe von zweifelhaften Urtheilen.

Aus der Tabelle von Prof. STUMPF's Urtheilen erhält man für die beiden (als mittlere Werthe angegebenen) Verstimmungen folgende Prozentzahlen richtiger Fälle:

Ver- stimmung	100	200	400	600	1200
0,35	71	83	80	84	67
0,65	74	91	92	90	70

Man sieht daraus, dass eine Tonhöhenverschiedenheit von ungefähr gleichen Schwingungszahldifferenzen bei den Tönen 200, 400 und 600 mit gleicher, bei 100 und 1200 mit geringerer, aber ebenfalls

ziemlich gleicher Sicherheit erkannt wird. Die Differenzen in diesen Fällen sind so klein, dass sie als zufällig betrachtet werden können. Dass die Sicherheit des Urtheils bei noch höheren und noch tieferen Tönen weiterhin abnimmt, erscheint selbstverständlich.

Ein Uebungseinfluss machte sich in der Weise geltend, dass die falschen Fälle gegen das Ende der mit einem einzelnen Tone angestellten Versuche stets stark abnahmen, sodass in mittlerer Lage zuletzt fast völlige Sicherheit eintrat.

LUFT kam bei seinen Versuchen zu folgendem Ergebniss:

Schwingungszahl	64	128	256	512	1024	2048
Unterschiedsschwelle	0,15	0,16	0,23	0,25	0,22	0,36

Diese Tabelle stimmt mit der vorhergehenden insofern gut überein, als die Empfindlichkeit für gleiche Schwingungszahldifferenzen innerhalb des mittleren Tonbereichs ziemlich unabhängig von der Tonhöhe ist. Nur dass die Unterschiedsschwelle nach LUFT bei 64 kleiner als in mittlerer Lage ist, lässt sich nicht mit unserem Ergebniss vereinigen und dürfte eine Folge der Mängel von LUFT's Methode sein, die wir demnächst noch kritisch beleuchten werden.

II. Kann man einen Unterschied der Tonhöhe bemerken, ohne zu erkennen, welcher Ton der höhere ist?

Einige Beobachter machten die Aussage, sie pflegten zuerst die Verschiedenheit der beiden vorgelegten Töne zu bemerken und dann festzustellen, welcher Ton der höhere sei.

Nun ist es gewiss möglich, zwei Töne als verschieden zu beurtheilen, ohne darüber Auskunft geben zu können, worin die Verschiedenheit besteht. Der eine Ton kann etwas stärker sein, er kann eine andere Klangfarbe haben, ihm können irgendwelche Geräusche beigemischt sein, er kann eine andere Höhe haben und dergl. mehr. In solchen Fällen kann wohl Jemand die Verschiedenheit bemerken, ohne über ihre besondere Art vor einer genauen Analyse Rechenschaft ablegen zu können. Auch dies ist nicht ganz undenkbar, dass Jemand bereits bemerkt hat, dieser Ton ist höher als jener, dass er aber noch vor der Urtheilsabgabe die Richtung bereits wieder vergessen hat und sich nur noch bewusst ist, eine Tonhöhenverschiedenheit überhaupt

bemerkt zu haben. Anders aber ist es, wenn jemand eine Tonhöhenverschiedenheit im Allgemeinen erkannt haben will, bevor er bemerkt hat, welcher der beiden Töne höher ist. Dass eine erkannte Verschiedenheit in der That eine Tonhöhen- und keine andere Verschiedenheit sei, dafür giebt es meines Erachtens kein anderes Kriterium, als dass man eben erkannt hat, dieser Ton ist höher als jener. Habe ich letzteres nicht erkannt, so weiss ich nicht, mit welchem Rechte ich behaupten kann, die von mir erkannte Verschiedenheit der Töne sei eine Höhenverschiedenheit, es sei denn, dass Jemand bestimmte Arten einer bisher unbekanntes „Verschiedenheitsempfindung“ annehmen wollte, durch die wir zu einem derartigen Urtheile gelangten. Analoge Fälle aus anderen Sinnesgebieten werden dies noch klarer machen. Wenn ich zwei graue Scheiben am Farbenkreisel als verschieden erkannt habe, so kann ich nur dann mit Recht diese Verschiedenheit als eine solche der Helligkeit bezeichnen, wenn ich die eine als heller, die andere als dunkler erkannt habe. Anderenfalls kann ich nicht wissen, ob mein Verschiedenheitsurtheil nicht durch etwas Anderes als die Helligkeit, z. B. durch eine farbige Tönung der einen Scheibe hervorgerufen ist. Oder wenn ich zwei Flüssigkeiten beim Trinken für verschieden warm erkläre, so muss ich die eine als wärmer, die andere als kälter erkannt haben; anderenfalls kann ich nicht behaupten, dass mein Urtheil in der That durch die Verschiedenheit der Temperatur hervorgerufen ist.

Nun sind Verschiedenheiten von Nebenumständen niemals vollkommen auszuschliessen. Die Stärke des Anschlags ist selbst bei mechanischem Anschlag nie mit absoluter Genauigkeit dieselbe. Das Anschlaggeräusch kann etwas variirt haben und dergleichen. Solches mag bei den Beobachtern ein Urtheil auf Verschiedenheit hervorgerufen haben, die dann fälschlich als eine Tonhöhenverschiedenheit aufgefasst worden ist. Anders vermag ich mir die erwähnten Aussagen nicht zu erklären.

Auf analoge Weise kann man derartige Aussagen bei Versuchen über Reinheit musikalischer Intervalle deuten. Auch hierbei behaupteten einige Beobachter früher die Unreinheit des Intervalls bemerkt zu haben, als die Richtung der Verstimmung, d. h. ob das Intervall zu gross oder zu klein war. Bei den Intervallen könnten solche Urtheile vielleicht auf folgende Weise

zu Stande kommen. Es wäre möglich, dass mit dem Hören eines reinen Intervalls ein Lust-, mit dem eines unreinen ein Unlustgefühl verknüpft wäre, und dass auf diese Weise ein indirektes Urtheil über Reinheit oder Verstimmung zu Stande käme. In der Regel dürfte freilich bei Intervallen das Urtheil auf Verstimmung erst dadurch entstehen, dass das Intervall als zu gross oder als zu klein erkannt wird. Hierfür spricht, dass nach den Aussagen der meisten Beobachter das Intervallurtheil so geschieht, dass der Beobachter sich den zweiten Ton zunächst vorstellt und dann beurtheilt, ob der wirklich gehörte höher oder tiefer als der vorgestellte ist. Um diese Vorstellung zu Stande kommen zu lassen, muss man stets zwischen den beiden vorgelegten Intervalltönen etwa eine Sekunde Pause machen. Thut man dies nicht, so wird das Urtheil erschwert. Doch mag — namentlich beim Zusammenklange der Intervalltöne — das Urtheil häufig auch durch ein Unlustgefühl mitbestimmt werden. Ein Unlustgefühl kann aber auch durch unvermeidliche störende Nebenumstände hervorgerufen werden, ohne dass sich der Beobachter ihrer deutlich bewusst zu sein braucht. Er wird dann für die gefühlte Unlust eine — eventuell gar nicht vorhandene — Verstimmung des Intervalls verantwortlich zu machen geneigt sein, bevor er noch hat entscheiden können, ob es zu gross oder zu klein sei.

III. Die Methode der Minimaländerungen.

Ehe ich die vorstehend beschriebenen Versuche über die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen sowie andere über die Empfindlichkeit für Verstimmungen der musikalischen Intervalle nach der Methode der richtigen und falschen Fälle anstellte, versuchte ich es mit der von WUNDT vielfach empfohlenen und von LUFT¹ und SCHISCHMANOW² zu gleichen bzw. ähnlichen Zwecken in Anwendung gebrachten Methode der Minimaländerungen (der eben merklichen Unterschiede). Ich musste diese Methode jedoch aufgeben, da sie — bei ihrer Anwendung auf Tonqualitäten wenigstens — gar zu viele Fehlerquellen enthält

¹ WUNDT's Philosophische Studien, Bd. 4, S. 511 ff.

² WUNDT's Studien, Bd. 5, S. 558 ff.

und an Brauchbarkeit, wie ich mich überzeugte, von der Methode der richtigen und falschen Fälle entschieden übertroffen wird.

Von vorn herein scheint der Vorzug der Methode der Minimaländerungen darin zu bestehen, dass man mit geringerer Mühe, weil mit einer kleineren Zahl von Einzelbeobachtungen zum Ziele gelangt, als bei der Methode der richtigen und falschen Fälle. Dieser Vorzug der Methode der Minimaländerungen besteht jedoch in Wirklichkeit nicht. Man kann sich, wenn man nicht auf Eleganz, sondern nur auf Brauchbarkeit der Tabellen sieht, bei der Anwendung richtiger und falscher Fälle mit einer ziemlich kleinen Zahl von Einzelbeobachtungen begnügen, die durchaus nicht grösser ist, als die für die Methode der Minimaländerungen erforderliche, falls man diese so in Anwendung bringt, dass sie überhaupt den Namen einer wissenschaftlichen Methode verdient.¹

Wenn wir das Verhalten der Unterschiedsempfindlichkeit in verschiedenen Tonlagen feststellen wollen, so müssen wir die Wahrscheinlichkeit haben, dass die vermitteltst der angewandten Methode für verschiedene Tonlagen gewonnenen Zahlen möglichst rein die Wirkung derjenigen Empfindungsunterschiede darstellen, deren Beurtheilung wir uns als Zweck gesetzt haben, in unserem Falle also die Wirkung der Tonhöhenunterschiede, und dass andere Momente, die das Urtheil beeinflussen könnten, entweder überhaupt nicht vorhanden sind oder doch in den verschiedenen Tonlagen in gleicher Weise zur Wirkung kommen, so dass die Vergleichbarkeit der Zahlen nicht beeinträchtigt wird. Diese Bedingung nun scheint mir bei der Methode der Minimaländerungen keineswegs erfüllt zu sein.

Bei LUFT'S Versuchen wurde vom Nullpunkte ausgegangen. Vor der Versuchsreihe wurde dem Beobachter gesagt, ob die Vergleichsgabel tiefer oder höher gestimmt werde. Der Beobachter hatte dann anzugeben, wann er eine Verschiedenheit der Töne bemerkte. Wie wir nun im vorigen Abschnitte sahen, behaupten manche Beobachter früher zu bemerken, ob die Töne verschieden sind, als, welcher höher und welcher tiefer ist; und dies bei der Fragestellung: „welcher Ton höher?“ Wir

¹ Zu derselben Ansicht gelangt auch V. HENRI in seinem soeben erschienenen Buch: Ueber die Raumwahrnehmung des Tastsinnes, Berlin, 1898, S. 9—12.

überzeugten uns, dass dieses Urtheil auf „verschieden“, bevor der Höhenunterschied wirklich erkannt ist, durch kleine Verschiedenheiten von anderer Art als Höhenunterschiede hervorgerufen sein müsse, welche Verschiedenheiten dann fälschlich als solche der Tonhöhe aufgefasst werden. Wenn aber von vornherein gesagt wird, dass der Vergleichston höher bzw. tiefer werde, und der Beobachter unter diesen Umständen nur angewiesen wird auszusagen, wann er eine Verschiedenheit der Töne bemerkt habe, so ist jener fälschlichen Beurtheilung andersartiger Verschiedenheiten als Tonhöhenunterschiede Thür und Thor geöffnet. Es ist also wahrscheinlich, dass dann beim Ausgehen vom Gleichheitspunkte das Urtheil auf „verschieden“ in vielen Fällen bereits bei einer so geringen Verstimmung abgegeben wird, dass der Höhenunterschied als solcher hierbei noch nicht deutlich bemerkt wird.

Nun ist man vielleicht zu der Annahme geneigt, dass diese Beeinflussung des Urtheils durch andere als Tonhöhen-Unterschiede in verschiedenen Tonlagen sich in gleicher Weise geltend machen wird, falls man in jeder Lage eine grosse Zahl von Versuchsreihen macht. Aber diese Annahme hat doch ihre grossen Bedenken, da bei verschieden hohen Gabeln die das Urtheil beeinflussenden Nebenumstände sehr verschieden zahlreich und wirksam sein können. Z. B. pflegen bei tieferen Gabeln beim Anschlage leichter hohe unharmonische Longitudinaltöne zu entstehen als bei höheren Gabeln. Wenn man aber wirklich glaubt, diese Beeinflussung des Urtheils durch unbeabsichtigte Nebenumstände für alle Tonlagen dadurch gleichmässig gestalten zu können, dass man eine sehr grosse Zahl von Versuchsreihen in jeder Höhenlage macht, so wird die Methode der Minimaländerungen so ungeheuer mühsam, dass ihr jeder, der nicht nur am Schreibtisch mit ihr arbeitet, jede andere Methode vorziehen wird; es sei denn, dass man sich die Sache so leicht macht wie LUFT, der nach seiner Angabe jede Reihe aus nur 4 bis 8 Einzelversuchen bestehen liess, worüber ich im Folgenden noch einige Bemerkungen zu machen habe.

Wenn von der Gleichheit zur Verschiedenheit übergegangen wird, so kann durch die erwähnten Nebenumstände das Urtheil auf „verschieden“ zu früh hervorgerufen werden. Aus denselben Gründen kann beim Uebergange von objektiver Verschiedenheit zur Gleichheit das Urtheil auf „gleich“ zu spät eintreten. Dass

Letzteres wirklich oft geschieht, dafür liegen nun klare Beweise vor. Wie LUFT berichtet, wurde beim Uebergange von objektiver Verschiedenheit zur Gleichheit zuweilen noch Verschiedenheit konstatiert, wenn der Gleichheitspunkt bereits überschritten war; der Ton der Vergleichsgabel wurde also beispielsweise noch für zu hoch erklärt, während er schon zu tief war. Wir haben hier den merkwürdigen Fall, dass das Urtheil von Verschiedenheit zu Gleichheit übergeht, während in Wirklichkeit eine Vergrößerung der Verschiedenheit stattfindet. Da ist gar kein Zweifel, dass irgendwelche an sich nicht auffälligen andersartigen als Höhen-Unterschiede der Töne noch das Urtheil „verschieden“ hervortrieben, obwohl der objektive Gleichheitspunkt bereits erreicht, ja schon überschritten war. LUFT freilich will diese merkwürdigen Urtheile anders erklären: „Unser Bewusstsein scheint eben geneigt, aufeinander folgende qualitativ unmerklich verschiedene Eindrücke einander zu assimiliren und also mit einer gewissen Trägheit an den einmal empfangenen Empfindungen fest zu halten.“ Diese Erklärung scheint mir insofern ihr Ziel zu verfehlen, als ja die Töne der Vergleichsgabel gar nicht unmittelbar aufeinander folgten, sondern mit den stets gleich bleibenden Tönen der Normalgabel abwechselten. Man sollte also annehmen, dass die Töne der veränderlichen Gabel, sobald sie von dem der Normalgabel qualitativ unmerklich verschieden geworden waren, dem gleich bleibenden Tone sich assimilirten, wodurch dann gerade bewirkt werden musste, dass das Urtheil auf „gleich“ stets vor dem objektiven Gleichheitspunkte eintrat. Sollte es aber wirklich so sein, dass die Töne der Normalgabel ohne diese Wirkung blieben und nur die Töne der veränderlichen Gabel sich assimilirten, so wäre damit die Unbrauchbarkeit einer Methode bewiesen, bei der das Festhalten an einmal empfangenen Empfindungen dadurch künstlich genährt wird, dass die einander folgenden Eindrücke (der Vergleichsgabel) stets qualitativ unmerklich verschieden sind.

Bei LUFT's Versuchen über die Unterschiedsempfindlichkeit für Tonhöhen wurde nach 4 bis 8 Einzelversuchen stets die Schwelle erreicht. Man kann nun leicht einsehen, dass LUFT unter diesen Umständen zu seinen Ergebnissen auch dann gelangt wäre, wenn der Beobachter gar nicht auf die Höhenunterschiede geachtet, sondern einfach bei jedem sechsten oder durchschnittlich beim sech-

sten Male behauptet hätte, einen Unterschied konstatiren zu können. Es besteht, was leicht verständlich ist, eine gewisse Versuchung, nach einer solchen Zahl von Fällen, nach denen — wie die Versuchsperson bei LUFT sehr wohl weiss — ungefähr der Schwellenwerth erreicht sein muss, ein darauf bezügliches Urtheil abzugeben. Dass man aber dieser Versuchung erliegt, dazu können jene kleinen Verschiedenheiten der Nebenumstände beitragen, die als solche der Höhe aufgefasst werden. Wenn also die Versuchsperson in der Regel ungefähr beim sechsten Male eine Verschiedenheit konstatirte und Versuchsreihen mit grösseren und solche mit kleineren Stufen ungefähr gleich oft vorkamen, so hätte LUFT ziemlich dieselben Schwellenwerthe erhalten müssen, die er thatsächlich erhalten hat.

Sehen wir uns nun die einzige von LUFT angegebene Tabelle der Rohversuche an, so finden wir in der That so sehr schwankende Zahlenwerthe, dass es gar keine Schwierigkeit hat, die Ergebnisse auf die Weise zu erklären, dass die Versuchsperson ziemlich regelmässig beim sechsten Versuche das erwartete Urtheil abgegeben hat. Dass ich die Versuchsperson hiermit nicht einer absichtlichen Täuschung beschuldige, brauche ich wohl nicht erst hervorzuheben. Ich will auch durchaus nicht so weit gehen, zu behaupten, dass LUFT's Versuche absolut werthlos seien. Selten ist eine Methode so schlecht, dass die Wirklichkeit sich in den vermitteltst dieser Methode gewonnenen Ergebnissen nicht irgendwie ausprägte. Aber empfehlenswerth erscheint ein Verfahren doch gewiss nicht, das den Beobachter dazu verführen kann, sich für den fünften oder sechsten Fall einen merklichen Unterschied zu suggeriren. Wie leicht Letzteres möglich ist, zeigen die Aussagen der Versuchspersonen, dass man jeden Ton willkürlich etwas höher oder tiefer hören, die Tonempfindung gewissermaassen in die Höhe oder in die Tiefe treiben könne.

Die Grösse der Schwankungen der ermittelten Differenzen spricht auch nicht zu Gunsten der Methode der Minimaländerungen. Für einen Schwellenwerth von 0,20 beträgt bei LUFT die mittlere Variation 0,06, beinahe ein Drittel des Schwellenwerthes. LUFT meint, dies habe nicht viel zu sagen, „wenn man bedenkt, dass die einzelnen Grössen nur Bruchtheile einer Schwingung bedeuten, dass sie also selbst einen sehr kleinen Werth ausmachen im Verhältniss zu der Schwingungszahl des Tones, für den sie gefunden sind.“ Leider hat er es versäumt,

diese seine Ansicht näher zu begründen. Ich muss gestehen, dass sie mir unverständlich ist.

Nach alledem möchte ich nun auch eigene Erfahrungen mit der Methode der Minimaländerungen mittheilen. Ich habe sie freilich nicht so angewandt, wie LUFT, der nach 4 bis 8 Stufen stets die Schwelle erreicht sein liess, was der Versuchsperson bekannt war. Bei meinen Versuchen hatte die Versuchsperson keine Ahnung von der Zahl der Stufen, die zum Gleichheitspunkte führten. Dies erschwert freilich die Beurtheilung bedeutend; und wenn LUFT sagt, dass es nach seinem Verfahren dem Beobachter „verhältnissmässig leicht werden musste, den Punkt des Grenzüberganges einigermaassen genau zu bestimmen“, so hat er damit gewiss recht, dass es leicht ist, unter so wenigen Fällen einen auszuwählen; aber wie es mit der Genauigkeit steht, sieht man an den Versuchsreihen, in denen sich ein negativer Schwellenwerth herausstellte, und so scheint die Leichtigkeit doch zu theuer bezahlt zu werden. Ferner wurde bei meinen Versuchen nicht vom Nullpunkte ausgegangen, sondern von einer unzweifelhaft bemerkten Verstimmung. Diese wurde immer mehr verringert und ohne Anhalten wurde über den Nullpunkt hinweg nach der anderen Seite übergegangen. Sobald die Versuchsperson 3 bis 4 aufeinander folgende Urtheile auf Verstimmung nach der entgegengesetzten Seite aufgeschrieben hatte, sagte sie es, und die Versuchsreihe wurde abgebrochen. Um die sichere Beurtheilung einer jeden Verstimmungsstufe zu ermöglichen und die Wirkung von augenblicklichen Schwankungen der Aufmerksamkeit auszuschliessen, wurde jede Verstimmung dreimal angegeben, und wenn ein Beobachter es im Einzelfalle wünschte, noch öfter. Die Beobachter wurden angewiesen, nur dann ein Urtheil auf Verstimmung abzugeben, wenn sie eine solche deutlich bemerkt hatten. Die Töne wurden durch schwach angeblasene und daher keine übermässig scharfe Klangfarbe erzeugende Zungen hervorgebracht. Die benutzten Zungen differirten ungefähr um je $\frac{1}{10}$ Schwingung. In den kürzeren Reihen wurden die Stufen durch Auslassen von Zungen zum Theil grösser als $\frac{1}{10}$ genommen. Vor diesen Versuchen wurde eine für die folgende Tabelle nicht mitbenutzte Reihe zur Vorübung gemacht.

Unterschiedsempfindlichkeit für
600 Schwingungen.

	Noch für zu tief gehalten	Schon für zu hoch gehalten	Noch für zu hoch gehalten	Schon für zu tief gehalten
Hr.	599,80	600,25	600,25	599,80
	599,60	599,90	600,30	600,20
	600,38	601,01	600,27	600,02
	599,50	600,27	600,39	600,02
Hff.	599,60	600,25	600,50	600,02
	599,60	599,80	600,70	600,40
	600,14	600,88	600,02	599,50
	600,02	600,27	600,50	600,27

Bei diesen Versuchen wurde die Schwelle einmal in 15, ein andermal in 5, ein andermal in noch anderer Zahl Stufen erreicht, worüber der Beobachter vorher ganz im Ungewissen war. Man sollte nun meinen, dass unter diesen Umständen, wenn die Zahl der Einzelversuche, nach denen die Schwelle erreicht wird, den Beobachtern gänzlich unbekannt ist, wenn die Beobachter ferner angewiesen sind, nur dann ein Urtheil auf Verschiedenheit abzugeben, wenn sie eine Verschiedenheit der Tonhöhe deutlich erkannt haben, wenn ihnen endlich, um übereilte Urtheile auszuschliessen, jeder Einzelversuch so oft wiederholt wird, als sie es wünschen, dass es dann unmöglich sein müsse, beim Uebergang von tieferen zu höheren Tönen 600,38 noch als zu tief oder 599,80 schon als zu hoch, beim Uebergange von höheren zu tieferen Tönen 600,40 schon als zu tief deutlich zu erkennen. Und doch geschah dies scheinbar Unmögliches. Aus derartigen Werthen nun das Mittel zu berechnen und dieses als Schwellenwerth zu definiren, kann wohl kaum als ein berechtigtes wissenschaftliches Verfahren gelten.

Man könnte vielleicht für die Seltsamkeit der Ergebnisse den Umstand verantwortlich machen, dass Zungen, selbst wenn sie sehr schwach angeblasen werden, doch starke Ungleichheiten in der Klangfarbe zeigen. Es gehört ganz ausserordentliche

Uebung dazu, sich nicht verleiten zu lassen, Töne von gleicher Höhe für höher zu erklären, wenn die Klangfarbe scharf, für tiefer, wenn sie milde ist. Die beiden Beobachter besaßen hierin keine Uebung und waren — bei durchaus normalem Gehör — nicht besonders musikalisch. Es ist möglich, dass die Methode der Minimaländerungen sich bei Versuchspersonen besser bewährt, die durch langjährige Uebung gelernt haben sich dem Einflusse störender Nebenumstände zu entziehen. Aber derartige Versuchspersonen stehen nur ganz ausnahmsweise zu Gebote. Bei LUFT, der nicht mit Zungen, sondern mit Gabeln gearbeitet hat, fallen allerdings die Klangfarbenunterschiede in der Hauptsache fort; aber kleine Intensitätsunterschiede sind bei ihm zweifellos nicht ausgeschlossen gewesen und haben eine ähnliche Wirkung. So begreifen sich LUFT's oben erwähnte Ergebnisse ebenso wie die zuletzt beschriebenen.

Versuche, die ich nach der Methode der Minimaländerungen auf genau dieselbe Weise ohne Ausgang vom Nullpunkte zur Bestimmung der Empfindlichkeit für Abweichungen des Intervalls der Grossen Terz vom Verhältniss 4:5 machte, hatten folgendes Ergebniss:

Urtheile über das Intervall 480:600, aufsteigend,
mit veränderlichem höheren Tone.

	Intervall noch zu klein	Intervall schon zu gross	Intervall noch zu gross	Intervall schon zu klein
Hr.	599,7	600,9	600,9	600,2
	600,3	601,4	601,2	600,6
	600,2	601,8	601,0	600,4
Hff.	598,8	599,3	600,7	599,9
	599,0	599,7	600,6	599,8
	599,9	601,4	600,8	599,9
Hg.	598,4	599,3	600,6	599,6
	599,7	600,6	600,6	600,2
	599,8	600,8	600,8	600,5

Die erste Versuchsreihe gestaltete sich folgendermaassen. Eine der Versuchspersonen fragte vor dem Versuche, wie lange es dauern und wieviel Versuche die Reihe ungefähr enthalten werde. Zur Beruhigung sagte ich, dass die Reihe nicht 200 oder 300 Einzelversuche umfassen werde; doch könnten es immerhin 30 werden. Zwei der Versuchspersonen hörten darauf beim 17. Einzelversuch das Intervall 480 : 599,3 bereits deutlich als zu gross, was um so auffälliger ist, als im Allgemeinen zu kleine Intervalle leicht als zu klein erkannt werden. Ich halte es für ziemlich wahrscheinlich, dass sich hier die Ueberschreitung der Hälfte von 30, wenn auch unbewusst, geltend gemacht hat. Die Beobachter bestritten natürlich durchaus, sich irgendwie nach der vorher erwähnten Zahl 30 gerichtet zu haben. Auch der dritte an den Versuchen theilnehmende Beobachter (H.R.) scheint nicht ganz unbeeinflusst geblieben zu sein, da er bei keiner anderen Reihe zu einem gleich tief liegenden Reinheitsgebiete gelangte. Nun werden sich nicht immer so starke Einflüsse geltend machen. Man hat aber nicht die geringste Sicherheit, dass sich nicht ähnliche, wenn auch geringer wirkende Zufälligkeiten einstellen, die man nicht nachzuweisen im Stande ist.

Im Ganzen deuten die Ergebnisse darauf hin, dass ein zu kleines Terzenintervall leichter als verstimmt erkannt wird, als ein um ebensoviel zu grosses. Dies habe ich nun bei Anwendung der Methode der richtigen und falschen Fälle bestätigt gefunden, hätte es aber aus dem Ergebniss der Methode der Minimaländerungen nicht mit Bestimmtheit zu erschliessen gewagt. Denn die Schwankungen der Grenzwerte sind ganz ausserordentlich gross und weisen deutlich genug darauf hin, dass hier, wie wohl stets, wenn die Methode der Minimaländerungen auf Tonqualitäten angewandt wird, das Ergebniss eine Folge ist nicht nur der zu beurtheilenden Empfindungsunterschiede, sondern noch zahlreicher anderer Momente, deren Einfluss mit Sicherheit oder auch nur Wahrscheinlichkeit festzustellen ein Ding der Unmöglichkeit ist.