

Ueber die maximale Geschwindigkeit von Tonfolgen.

Von

OTTO ABRAHAM und KARL L. SCHAEFER.

In ihrer Untersuchung über die „Wahrnehmung kürzester Töne und Geräusche“¹ haben O. ABRAHAM und L. J. BRÜHL nachgewiesen, daß von C_1 bis g^4 nur zwei Schwingungen zur Erkennung der Höhe eines Tones nothwendig sind. Die Dauer dieser zwei Schwingungen, also die Dauerschwelle des Tones, nimmt mit zunehmender Schwingungszahl von C_1 bis g^4 continuirlich ab, was a. a. O. durch eine Curve graphisch veranschaulicht ist. Die folgende Tabelle I stellt die nämlichen Verhältnisse zahlenmäfsig dar, indem sie die Dauerschwelle der Töne C, D, E, F, G, A, H in den verschiedenen Octaven in Tausendstel-Secunden (σ) angiebt.

Tabelle I.

	Contra- Octave	Große Octave	Kleine Octave	Eingestr. Octave	Zweigestr. Octave	Dreigestr. Octave	Viergestr. Octave
<i>C</i>	60,6	30,3	15,2	7,6	3,8	1,9	0,95
<i>D</i>	53,9	26,9	13,5	6,7	3,4	1,7	0,84
<i>E</i>	48,4	24,2	12,1	6,1	3,0	1,5	0,76
<i>F</i>	45,5	22,7	11,4	5,7	2,8	1,4	0,71
<i>G</i>	40,4	20,2	10,1	5,1	2,5	1,3	0,63
<i>A</i>	36,3	18,2	9,1	4,5	2,3	1,1	—
<i>H</i>	32,3	16,2	8,1	4,0	2,0	1,0	—

Hieran knüpft sich nun die weitere Frage, ob die Verschiedenheit der Dauerswellenwerthe einen Einfluß auf die

¹ *Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorg.* 18, 177—217.

maximale Geschwindigkeit von Tonfolgen in verschiedenen Höhenlagen ausübt. Diese Frage ist nicht nur für den Physiologen interessant, sondern dürfte es auch für den Musiker sein, wenn sie in die Form gekleidet wird: Wie rasch kann man in den verschiedenen Octaven trillern, beziehungsweise tremuliren, ohne daß die Töne zu einem Accorde verschmelzen, und wie rasch darf höchstens eine musikalische Figur gespielt werden? Wir wollen im Folgenden beides nach einander behandeln.

I. Die maximale Geschwindigkeit des Trillers und Tremolos.

Was zunächst die Versuchsanordnung anlangt, so wurden die Töne durch Anblasen einer Sirenenscheibe erzeugt, also einer Kreisscheibe, auf der mehrere concentrische Löcherkreise ausgestanzt waren. Für die höheren Octaven benutzten wir die von ABRAHAM zu seinen Versuchen über kürzeste Töne verwendete und l. c. beschriebene Aluminiumscheibe, für die tieferen eine nach demselben Princip aus Holz gefertigte, deren Löcher einen etwas größeren Durchmesser (5 mm) hatten. Das Anblasen geschah mittels zweier kleiner Röhren, deren Lichtung genau gleich der Größe der Löcher war. Den Wind lieferte theils ein Compressionsapparat, theils wurde mit dem Munde angeblasen. Die Rotation der Scheibe besorgte entweder ein sehr gleichmäßig laufender Motor, oder einer von uns, der sich besonders darauf eingeübt hatte, mit der Hand. Uebrigens kam es bei diesen Versuchen insofern nicht auf eine durchaus constante Umdrehungsgeschwindigkeit an, als ABRAHAM mit Hilfe seines erprobten absoluten Gehörs in jedem Augenblicke die gerade vorhandene Tonhöhe angeben und die etwa vorkommenden kleinen Schwankungen in Berechnung ziehen konnte. Das Intervall der im Triller oder Tremolo alternirenden Töne ist ohnehin unabhängig von der Schnelligkeit der Drehung. Wenn der eine Kreis z. B. $8n$, der andere $9n$ Löcher hatte, so mußte das Intervall stets eine Secunde bleiben, wie hoch die Töne und wie rasch ihre Aufeinanderfolge auch sein mochten. Durch Combination des Kreises von $8n$ Löchern mit einem anderen von $10n$ Löchern erhielten wir Töne, die im Verhältniß der großen Terz zu einander standen, und ebenso konnten wir auch Quart- und Quinten-Tremoli herstellen. Das alternirende Anblasen der Löcherreihen durfte nicht etwa so ausgeführt werden, daß der

Wind immer erst durch die eine und dann durch die andere Röhre gegen die Scheibe getrieben wurde. Wir ließen vielmehr den Doppelluftstrom continuirlich wirken und verklebten oder verstopften dafür abwechselnd gleiche Strecken der beiden Löcherkreise. So war zuweilen die erste Hälfte des einen Kreises und die zweite Hälfte des zweiten mit dickem Papier überzogen. In anderen Fällen wurden der erste und dritte Quadrant des einen Kreises und der zweite und vierte des anderen mit Korkstöpseln abgedichtet. Ob die Kreise in Halbkreise, Quadranten, Sextanten oder Octanten getheilt wurden, richtete sich darnach, ob wir höhere oder tiefere Töne erzielen wollten. Wir haben im Allgemeinen, um Beeinflussungen zu verhüten, beliebig zwischen höheren und tieferen Tonlagen gewechselt.

War die Sirene in der angegebenen Weise vorgerichtet, so begann der Versuch. Wir drehten zunächst die Scheibe ganz langsam und bekamen so tiefe, noch deutlich getrennt zu hörende Töne. Dann ward die Geschwindigkeit allmählich gesteigert, so daß die Töne immer höher und kürzer wurden, bis wir an eine ziemlich scharf bestimmbare Grenze gelangten, bei der dieselben nur eben noch einzeln wahrgenommen werden konnten beziehungsweise eben anfangen, mit einander zu verschmelzen. Jenseits dieses Momentes, der vielleicht als Trillerschwelle zu bezeichnen wäre, bildeten dann die beiden Töne einen unterbrochenen Accord, der mit weiterer Beschleunigung der Rotation mehr und mehr an Glätte zunahm. Wir stellten hierauf die Beobachtung auch auf dem umgekehrten Wege an, indem wir vom Accord ausgehend den Punkt der eben merklich werdenden Trennung der Töne aufsuchten, was sich im Allgemeinen als die zweckmäßsigere Methode erwies. Jedenfalls wurden stets beide Arten des Experimentes so oft wiederholt, bis wir zu einem klaren Urtheil über die Trillerschwelle und die ihr entsprechende Höhe der Töne gekommen waren. Alsdann genügte eine einfache Rechnung, um die zugehörige Dauer (d) der Töne zu finden. War nämlich s die Schwingungszahl eines derselben und n die Löcherzahl des zugehörigen Kreissectors, so mußte $d = \frac{n}{s}$ Secunden sein. Die Schwingungszahlen wurden für $a^1 = 440$ genommen.

Die Resultate unserer Versuche, die sich von der Contra-Octave bis zur viergestrichenen erstreckten, sind, nach zunehmender Höhe des tieferen Tones geordnet, in der nach-

stehenden Tabelle II zusammengestellt, die wohl keiner weiteren Erläuterung bedarf.

Tabelle II.

σ			σ		
$G_1 D$	Quinte	41,66	$g^1 d^2$	Quinte	31,75
$A_1 E$	„	38,46	$h^1 d^2$	Kl. Terz	34,47
$B_1 F$	„	35,71	$d^2 dis^2$	Kl. Secunde	35,35
$D F$	Kl. Terz	41,66	$d^2 dis^2$	„	35,35
$D F$	„	41,66	$d^2 f^2$	Kl. Terz	32,26
$E G$	„	38,46	$d^2 f^2$	„	32,26
$G c$	Quarte	40,00	$dis^2 fis^2$	„	30,77
$A d$	„	37,04	$dis^2 fis^2$	„	30,77
$B des$	Kl. Terz	41,66	$e^2 fis^2$	Gr. Secunde	31,85
$B des$	„	41,66	$f^2 c^3$	Quinte	35,09
$B f$	Quinte	35,71	$fis^2 cis^3$	„	33,33
$B f$	„	35,71	$fis^2 cis^3$	„	33,33
$c g$	„	32,26	$g^2 c^3$	Quarte	35,09
$cis e$	Kl. Terz	36,36	$g^2 d^3$	Quinte	31,75
$dis fis$	„	32,26	$c^3 es^3$	Kl. Terz	35,71
$dis fis$	„	32,26	$c^3 es^3$	„	35,71
$e g$	„	37,74	$cis^3 e^3$	„	34,47
$f as$	„	35,71	$cis^3 e^3$	„	34,47
$f c^1$	Quinte	35,71	$d^3 e^3$	Gr. Secunde	34,13
$g d^1$	„	31,75	$d^3 f^3$	Kl. Terz	32,26
$a h$	Gr. Secunde	31,85	$d^3 f^3$	„	32,26
$a e^1$	Quinte	28,57	$d^3 f^3$	„	32,26
$b c^1$	Gr. Secunde	28,41	$dis^3 fis^3$	„	30,30
$des^1 f^1$	Gr. Terz	32,26	$dis^3 fis^3$	„	30,30
$des^1 f^1$	„	32,26	$es^3 f^3$	Gr. Secunde	32,26
$d^1 fis^1$	„	31,75	$a^3 d^4$	Quarte	42,73
$es^1 ges^1$	Kl. Terz	29,86	$h^3 e^4$	„	37,04
$es^1 g^1$	Gr. Terz	29,86	$c^4 d^4$	Gr. Secunde	42,73
$f^1 fis^1$	Kl. Secunde	31,25	$des^4 es^4$	„	40,00
$f^1 g^1$	Gr. Secunde	28,57	$des^4 es^4$	„	40,00
$f^1 g^1$	„	28,57	$d^4 e^4$	„	38,46
$ges^1 des^2$	Quinte	32,79	$es^4 f^4$	„	35,71
$g^1 d^2$	„	31,75	$es^4 f^4$	„	35,71
$g^1 d^2$	„	31,75			

Wie man sieht, kann abgesehen von den Grenzlagen, in denen die zur Erzielung der Trillerschwelle nöthige Zeit ein wenig gröfser ist, in allen Octaven ungefähr gleich schnell getrillert oder tremulirt werden, und macht dabei das Intervall der Töne keinen nennenswerthen Unterschied. Hervorgehoben zu werden verdient der Umstand, dafs in der hohen Region die Dauerschwelle im Triller so sehr viel länger ist, als die zur Perception eines einzigen Tones erforderliche. Eine Vergleichung der Tabellen I und II zeigt, dafs beide Werthe sich immer mehr einander nähern, je tiefer man in der Tonreihe hinabsteigt, und schliesslich zusammenfallen.

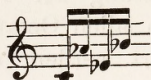
II. Die maximale Geschwindigkeit musikalischer Figuren.

Diesen Gegenstand, der den schwierigeren Theil unserer Arbeit bildete, untersuchten wir gemeinschaftlich mit Herrn Professor OSKAR RAIF von der Königlichen Hochschule für Musik, welcher gleich ABRAHAM unter gewöhnlichen Umständen ein sicheres absolutes Tonbewusstsein besitzt und mit dankenswerthester Liebenswürdigkeit uns seine werthvolle Hülfe zu Theil werden liefs. Der Versuchsmodus blieb derselbe wie bisher, nur dafs eben die Anzahl der auf einander folgenden Töne vermehrt wurde und jetzt aufser auf ihre absolute Höhe auch noch auf ihre Reihenfolge geachtet werden mußte. Wir haben im Ganzen fünf Versuche angestellt. In den vier ersten bestand die Figur aus vier Tönen, im letzten aus fünf. Bei grofser Geschwindigkeit des Scheibenumlaufs hörte man nur, dafs es sich um eine Mehrheit von nicht völlig gleichzeitigen Tönen handle. Die Beobachter konnten daher die absoluten Tonhöhen grösstentheils richtig erkennen (insbesondere die des höchsten und die des tiefsten der Töne), aber nichts oder wenigstens nichts Sicheres über die Reihenfolge aussagen. Dieselbe wurde erst bei einer durchschnittlichen Dauer jedes einzelnen Tones von $\frac{1}{10}$ Sec. oder 100σ erkannt.

Eine Wiedergabe der fünf Versuchsprotokolle wird diese Verhältnisse am besten illustriren.

1. Versuch.

Die Intervallfolge war:



Es urtheilte:

RAIF

ABRAHAM

bei einer Dauer
des einzelnen Tones von

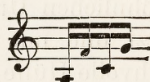
0,042 Secunde



0,055 „



0,075 „



0,111 „

2. Versuch.

Die Intervallfolge war:



Es urtheilte:

RAIF

ABRAHAM

bei einer Dauer
des einzelnen Tones von

0,037 Secunde



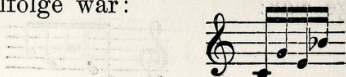
0,059 „



0,091 „

3. Versuch.

Die Intervallfolge war:



Es urtheilte:

RAIF

ABRAHAM

bei einer Dauer
des einzelnen Tones von



0,055 Secunde



0,076 „



0,111 „

4. Versuch.

Die Intervallfolge war:



Es urtheilte:

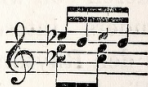
RAIF

ABRAHAM

bei einer Dauer
des einzelnen Tones von



0,028 Secunde



0,059 „



0,095 „

5. Versuch.

Die Intervallfolge war:



Es urtheilte:

RAIF	ABRAHAM	bei einer Dauer des einzelnen Tones von
<i>Sva</i> 	<i>Sva</i> 	0,023 Secunde
		0,050 „
		0,076 „
		0,100 „

Beide Versuchspersonen haben hiernach im Großen und Ganzen auffallend gleichmäßig geurtheilt, fast übereinstimmend richtig und falsch. Bemerkenswerth ist, daß die dem musikalischen Ohre ungewohnteren Toncombinationen unrichtiger beurtheilt wurden und die Neigung bestand, sie in bekanntere umzudeuten. So glaubten die Beobachter z. B. im 1. Versuch statt der wirklichen Töne die ihnen geläufigeren Tonfolgen des kleinen Septimenaccordes zu hören.

Wie für die Analyse des Accordes, so wurde auch für die Bestimmung des Rhythmus der tiefste Ton unwillkürlich als erster Ton gewählt, wohl in Folge musikalischer Gewohnheiten. Er schien stärker aus der Tonfolge herauszuspringen, so daß es Mühe machte, mit einem anderen Ton willkürlich den Rhythmus beginnen zu lassen. Besonders interessant waren gewisse Täuschungen im Urtheil über den Rhythmus. Als wir bei zwölfmaliger Wiederholung einer Figur von vier Tönen pro Secunde unsere Aufmerksamkeit dem tiefsten Ton zuwendeten, glaubte Prof. RAIF, der in der Zeitbestimmung eine große Uebung besitzt, daß der tiefste Ton in der Secunde nicht zwölf Mal, sondern nur

sechs Mal wiederkehre. Wir versuchten nun alle Drei, jeder für sich, die Wiederholung des tiefsten und dann des höchsten Tones durch Fingerklopfen zu markiren, und bestimmten wirklich sechs Schläge pro Secunde. Bliesen wir aber nur die eine, nämlich die tiefste oder die höchste Reihe allein an, so erschienen deutlich zwölf Töne pro Secunde. Es handelte sich also nur um eine Urtheil-täuschung. Bei zehnfacher Repetition der Figur pro Secunde hörten wir den tiefsten Ton noch bloß fünf Mal wiederkehren, den höchsten aber bereits richtig zehn Mal (s. 4. Versuch). Diese höheren Töne schienen aber nicht an Intensität gleich zu sein, es folgte anscheinend immer ein schwacher Ton auf einen starken, obschon sie objectiv gleich stark sein mußten. Offenbar wurden die beiden tieferen Töne in diesem Falle in einem halb-soschnellen Rhythmus (als Achtel) gehört, weil ihre dazwischen-liegenden Sechzehntel gleichfalls schwächer zum Bewußtsein kamen und überhört wurden. Woher freilich diese scheinbaren Intensitätsverschiedenheiten selbst kamen, wüßten wir nicht zu erklären. Es würde sich wohl lohnen, die Erscheinung selbständig weiter zu verfolgen; hier sollte sie nur als Nebenbeobachtung erwähnt sein.
