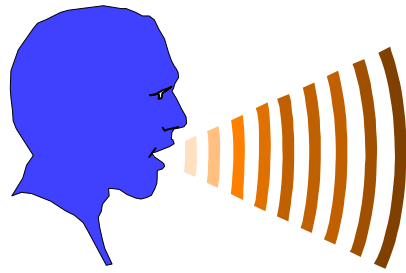


Physik & Musik



11



Klavier

1 Auftrag

Klavier

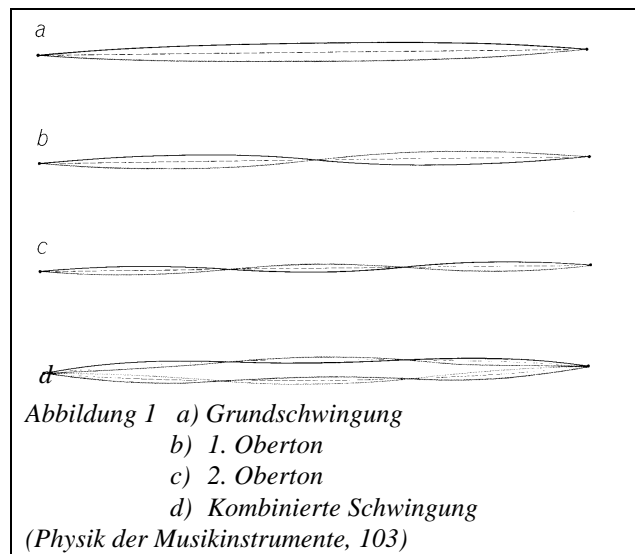
Bearbeitungszeit: 45 Minuten

Sozialform: Einzel- oder Partnerarbeit

Einleitung: Obertöne

Die meisten in der Musik verwendeten Töne bestehen aus einer Grundschwingung und mehreren höheren, aber gewöhnlich auch schwächeren Obertönen (Abbildung 1). Unser Ohr nimmt aber diese Schwingungen nicht einzeln wahr, sondern vermischt alle zu einem Klang. Alle Oberschwingungen zusammen ergeben das, was wir mit unserem Ohr als Klangfarbe wahrnehmen. Vergleicht man z.B. den Klang eines Klaviers mit dem Klang einer Trompete, so wird man in der Obertonreihe ganz wesentliche Unterschiede feststellen;

sowohl die Frequenzen als auch die Intensitäten der Obertöne der beiden Instrumenten unterscheiden sich ganz wesentlich. Genau diese Differenz ist es, die die unterschiedlichen Klangfarben ausmachen. Reine Töne, ein „reiner“ Sinuston z.B., kommen in der Musik fast nie vor, weil fast alle Instrumente keine „reinen“ Töne, also Töne ohne Oberschwingungen, erzeugen können.



Harmonische Obertöne

Normalerweise wird davon ausgegangen, dass die Frequenzen der Obertöne ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtones sind. Solche Töne nennt man „harmonische“ Töne. Das trifft bei den meisten Holzblasinstrumenten sehr gut zu, auch für viele Saiteninstrumente stimmt dies recht gut. Beim Klavier allerdings ist dieses ganzzahlige Frequenzverhältnis nur annähernd erfüllt. Besonders die sehr hohen Obertöne liegen schon recht weit neben den Frequenzen mit ganzzahligen Verhältnissen zum Grundton. Je höher wir die Leiter der Obertöne emporsteigen, desto mehr weichen deren Frequenzen von den genau harmonischen ab. Es hat sich sogar herausgestellt, dass die dem Klavier eigene Klangfarbe sehr wesentlich mit dieser Abweichung von den genau harmonischen Obertönen zusammenhängt. Z.B. hören sich Imitationen eines Klaviers nicht besonders klavierähnlich an, wenn diese Abweichung der Obertonreihe bei der künstlichen Erzeugung des Tones nicht mitberücksichtigt wird.

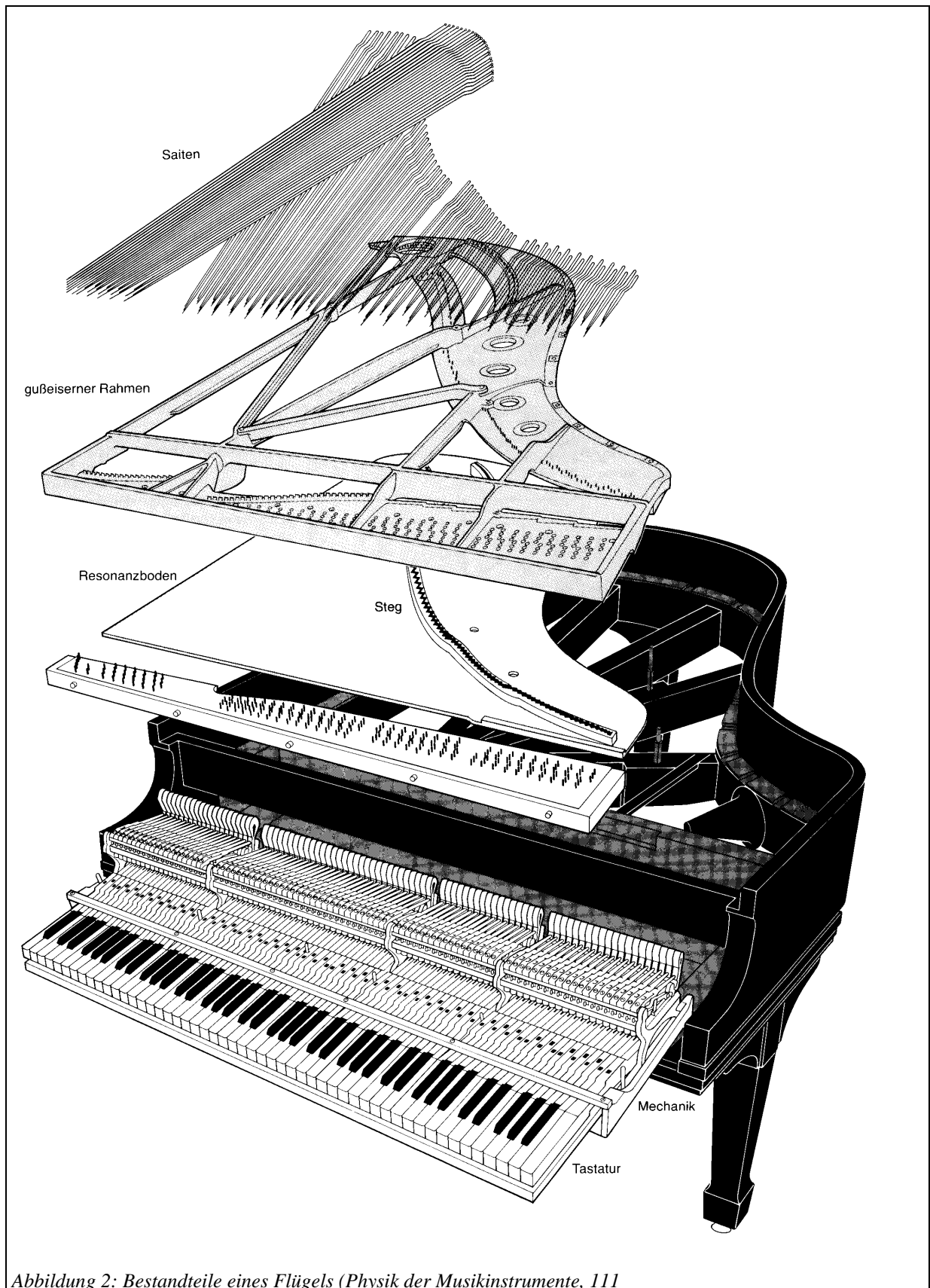


Abbildung 2: Bestandteile eines Flügels (Physik der Musikinstrumente, 111)

Wichtige Bestandteile des Klaviers

Ein grosser Fortschritt in der Geschichte des Klavierbaus wurde gemacht, als im Jahre 1855 vom deutschstämmigen Amerikaner Henry Steinway in einem grossen Konzertflügel der massive *gusseiserne Rahmen* eingeführt wurde. Die Holzrahmen, die man vorher verwendete, konnten den ungeheuren Belastungen von bis zu 30 Tonnen Zug von allen Saiten zusammen nicht standhalten. Erst die Einführung des Gussrahmens ermöglichte es, noch dynamischere, lautere Klaviere zu bauen. Das von Steinway eingeführte Instrument diente als Vorbild für viele nachfolgende Modelle und konnte bis heute kaum mehr wesentlich verbessert werden.

Ein weiterer wesentlicher Bestandteil eines Klaviers ist der *Resonanzboden*. Dieser besteht aus einer relativ grossen Holzfläche. Er wird bei den Flügeln auf der Unterseite, und bei Stehklavieren an der Rückwand angebracht. Zunächst war man der Meinung, dass der Klavierklang ausschliesslich vom Resonanzboden, und nicht von den Saiten, abgestrahlt wird. Die Saiten tragen aber auch etwas bei, vor allem zur Klangfarbe, weniger zur Lautstärke.

Unter der Mechanik des Klaviers versteht man alle beweglichen Teile. Die heutigen Klaviere sind mit einer „*Hammermechanik*“ ausgerüstet. Diese ist eine Auslösemechanik, bei der ein frei schwingender Hammer die Saite anschlägt; ein Fänger hält ihn, nachdem er zurückgefallen ist, wieder fest. Die Mechanik war lange Zeit der Schwache Punkt des Klaviers. Es dauerte mehr als hundert Jahre, bis die Hammermechanik in ihrer heutigen Form entwickelt war.

Für jeden Ton ist ein eigener *Dämpfer* vorhanden. Die Art des Klavierklanges hängt wesentlich von der Beschaffenheit des Hammers ab: früher spielte man auf Klavieren mit hölzernen Hämmerchen, die mit Leder überzogen waren. Das ergab einen hellen Klang mit sehr starken Obertönen. Heute haben fast alle Klaviere Hämmerchen mit Filzbezug. Jeder Käufer eines guten Klaviers kann heute vom Klavierbauer „weichen“ oder „harten“ Filz wünschen, je nachdem ob der angehende Eigentümer einen weichen, vollen Klang einem klaren, brillanten Klang vorzieht.

Zuletzt betrachten wir noch die *Saiten*. Klaviersaiten werden aus Stahl mit einer Belastbarkeit von 200 bis 300 Newton pro Quadratmillimeter hergestellt. Da die Saiten für die Basstöne sehr langsam schwingen sollen, werden sie mit zusätzlicher Masse versehen. Dazu umwickelt man einen Kern aus Stahldraht mit weicherem Kupferdraht; die tiefsten Saiten sogar doppelt. Wenn Sie eine auf beiden Seiten eingespannte Saite aus ihrer Ruhelage heraus auslenken, dann können Sie die Rückstellkraft spüren, mit der die Saite in Richtung Ruhelage zurückschwingt, sobald sie losgelassen wird. Wenn die Saite wieder die Ruhelage erreicht, ist sie aber noch in Bewegung; sie hat eine relativ grosse Geschwindigkeit. Darum schwingt sie weiter und wird wieder ausgelenkt, usw. Wie schon oben erwähnt ist die Schwingung, die so

entsteht aus mehreren Einzelschwingungen zusammengesetzt, den sogenannten Obertönen. Die Obertöne einer Saite ohne Steifheit wären alle harmonisch. Die Steifheit einer Saite beeinflusst - für jeden Oberton unterschiedlich stark - die Rückstellkraft, so dass einige Obertöne vom harmonischen Schema abweichen.

Wie Sie vermutlich wissen, besitzen die meisten Klaviere nebst einem Manual (Tastatur) auch einige wenige Pedale, deren Funktionen Sie in den Arbeitsaufträgen herausfinden werden.

Die Intervalle, Zweiklänge, natürliche Stimmung

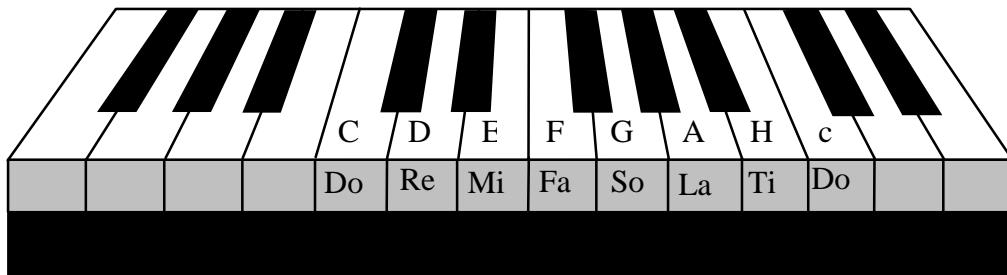
Ein Zweiklang wird von den meisten Musikhörern als schön empfunden, wenn sein Frequenzverhältnis nahe genug bei einem Verhältnis $\frac{m}{n}$ zweier nicht zu grosser, natürlicher Zahlen m und n liegt. Die entsprechenden sog. Intervall haben Namen, z.B. Quinte für das Verhältnis 3:2. Entsprechend werden bei der "natürlichen Stimmung" die Tonleitern aufgebaut. Die folgende Tabelle gibt Auskunft über die Frequenzverhältnisse:

Intervall	Frequenzverhältnis	Töne, die das Intervall bilden	
Prim	1 : 1	c -- c	↑ zunehmend konsonant
Oktave	2 : 1	c --- c ¹	
Quinte	3 : 2	c ¹ — g ¹	
Quarte	4 : 3	g ¹ — c ²	
große Sexte	5 : 3	g ¹ — e ²	
große Terz	5 : 4	c ² — e ²	
kleine Terz	6 : 5	e ² — g ²	
kleine Sexte	8 : 5	e ² — c ³	
kleine Septime	9 : 5 (16:9)	e ² — d ³ (d ³ — c ⁴)	↓ zunehmend dissonant
große Sekunde	9 : 8	c ³ — d ³	
große Septime	15 : 8	c ³ — h ³	
kleine Sekunde	16 : 15	h ³ — c ⁴	

Tabelle: Wichtigste Intervalle und zugehörige Frequenzverhältnisse (Bergmann Schäffer 566)

Halbton- und Ganztonschritte, gleichmässige Stimmung

Wie wir gesehen haben entsteht die Einteilung der Tonleiter durch Auswahl günstiger Tonfrequenzverhältnisse. Die Tonabstände sind innerhalb der natürlichen Tonleiter nicht immer gleich gross. So spricht man beim Übergang vom Mi nach Fa und von Ti nach Do von einem Halbtone Schritt. Die anderen Übergänge (Do-Re, Re-Mi, Fa-So, So-La, La-Ti) sind Ganztonschritte. Somit besteht die Tonleiter aus 5 Ganztonschritten und 2 Halbtone Schritten. Dies ergibt total $5 \times 2 + 2 = 12$ Halbtone Schritte in einer Oktave.



Wie müssten diese 12 Halbtonschritte gewählt werden, damit die "Tonabstände" gleichmässig sind? Gleichmässige Abstände heisst: zwischen allen benachbarten Halbtönen muss das Frequenzverhältnis gleich sein. Um von einem Ton mit Frequenz v auf die Frequenz des nächsthöheren Halbtons zu kommen muss man also v mit einem Faktor k multiplizieren. Dieser Faktor k soll bei allen Halbtönen in der Tonleiter der gleiche sein. Möchte man eine Oktave höher kommen, so durchläuft man alle 12 Halbtonschritte und erhält:

$$k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k \cdot k = k^{12} = 2 \text{ (Oktave!)} \text{ oder } k = \sqrt[12]{2} \approx 1.0594$$

Bei "gleichem Tonabstand" muss der Quotient der Frequenzen benachbarter Halbtöne also 1.0594 betragen.

Arbeitsauftrag

Tragen Sie bitte alle Ergebnisse an den dafür vorgesehenen Stellen auf dem Arbeitsblatt ein!

1. Öffnen Sie das Klavier so weit, dass Sie bequem hineinsehen können. Beobachten Sie, was alles passiert, wenn Sie eine Taste drücken. Versuchen Sie, den Vorgang in 2-3 Sätzen zu beschreiben. Dabei ist es unausweichlich, dass Sie vereinfachen müssen. Vielleicht verstehen Sie nun noch besser, weshalb die Entwicklung der Hammermechanik so lange brauchte, bis ein System in der heutigen ausgereiften Form erfunden war.
2. Beschreiben Sie die Beschaffenheit der Saiten eines Tones in Abhängigkeit der Tonhöhe (Anzahl Saiten, Länge, Saitendicke).
3. Erklären Sie in 2 Sätzen die festgestellten Tatsachen über die Länge und Dicke der Saiten.
4. Wie stimmt man ein Klavier? Welchen Parameter verändert der Klavierstimmer an der Saite?
5. Was passiert, wenn Sie das rechte Pedal drücken?
6. Wozu kann man das linke Pedal verwenden?
7. Falls vorhanden, versuchen Sie herauszufinden, was das mittlere Pedal bewirkt.
8. Wie bereits erwähnt schwingt eine Klaviersaite nicht nur mit der Frequenz des Grundtones, sondern auch mit den Frequenzen gewisser Obertöne. In dieser Aufgabe wollen wir nun versuchen, die Obertöne beim Klavier besser hörbar zu machen. Sie wollen z.B. den ersten Oberton vom C hören. Er steht im Verhältnis 1:2 zum Grundton C. Es handelt sich also um das eine Oktave höhere c. Dazu gehen Sie wie folgt vor:

Sie drücken ganz sachte das höhere c, so dass dieser Ton überhaupt nicht angeschlagen wird, und halten die Taste gedrückt, damit der Dämpfer die Saite nicht mehr berührt und die Saite somit frei Schwingen kann. Dann schlagen Sie das um eine Oktave tiefere C stark an und lassen die Taste wieder los, damit der Grundton C gedämpft wird. Da in der C Saite eben auch das höhere c mitschwangte, wurde das von Ihnen gedrückte c zur Resonanz angeregt. Dies sollten Sie nun einigermaßen gut hören können. Mit diesem Trick haben wir also einen Oberton „hörbar“ gemacht. Je wichtiger die Rolle eines bestimmten Obertones in der Obertonreihe ist, desto besser ist er hörbar. Generell nimmt aber die Intensität der Obertöne mit zunehmender Frequenz ab.

Es ist nun Ihre Aufgabe, nach dem oben beschriebenen Verfahren die nächsten 4 Obertöne vom C zu finden. Wählen Sie das zweittiefste C des Klaviers als Grundton. Dann suchen Sie die Obertöne. Wenn Sie nicht schon vermuten, wo diese liegen sollten, probieren Sie einfach durch. Sie haben genau dann einen weiteren Oberton gefunden, wenn Sie einen Ton mehr oder weniger deutlich Mitschwingen hören.

Bemerkung: Die oben erwähnte Abweichung der Obertöne eines Klaviers von den genau harmonischen Verhältnissen wird erst bei relativ hohen und schwachen Obertönen bemerkbar gross.

Arbeitsblatt

1. Funktionsart der Hammermechanik

2. Beschaffenheit eines Tones in Abhängigkeit der Tonhöhe (Anzahl Saiten, Länge, Dicke)

3. Erklären Sie die in 2 festgestellten Tatsachen über die Länge und Dicke der Saiten.

4. Wie stimmt man ein Klavier? Welchen Parameter verändert der Klavierstimmer an der Saite?

5. Was passiert, wenn Sie das rechte Pedal drücken?

6. Wozu kann man das linke Pedal verwenden?

7. Falls vorhanden, was bewirkt das mittlere Pedal?

8. Die ersten Obertöne in der Reihe vom C. (Geben Sie die Abstände von den Obertönen zum Grundton in Halbtönen an)

1. Oberton: c Abstand zum Grundton: 12

2. Oberton: Abstand zum Grundton:

3. Oberton: Abstand zum Grundton:

4. Oberton: Abstand zum Grundton:

5. Oberton: Abstand zum Grundton:

Materialliste

- 1 Klavier oder Flügel.