

FACHARBEIT

zum Thema

„Vergleich zwischen E-Piano und Klavier“

von Patrick Hürtgen

Fach: Physik

Fachlehrer: Herr Rübhelke



Foto: Gezett

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	2
2. Hauptteil - Theorie	
2.1. Töne, Klänge, Geräusche	2
2.2. Obertöne	3
2.3. Fourieranalyse	3
2.4. Klangerzeugung am Klavier	4
2.5. Tonleiter und Temperatur des Klaviers	5
3. Hauptteil - Praxis	
3.1. Schaltbild DASyLab	7
3.2. Messung am E-Piano (Yamaha Clavinova CVP-35)	9
3.3. Messung am Klavier (C. Noeske & Co, 1885/86)	11
3.4. Ergebnisse	14
3.5. Beobachtungen am E-Piano	15
3.6. Beobachtungen am Klavier	16
4. Auswertung der Messergebnisse	16
5. Literaturverzeichnis	18

1. Einleitung

In meiner Facharbeit möchte ich einen Qualitätsvergleich zwischen einem E-Piano (elektronisches Klavier) und einem Klavier anstellen. Dabei werde ich zunächst theoretisch

vorgehen: insbesondere auf die Merkmale von Tönen und Klängen und die Fourieranalyse, mit welcher ich die Töne vom E-Piano und Klavier darstellen und analysieren möchte. Mit Hilfe des Programms DASYLab werde ich die Frequenzspektren einzelner Töne beider Instrumente messen (s. Ziff. 3.2. und 3.3.).

Ich vermute, dass die Töne eines Klaviers „reiner“ sind und die Frequenzen den optimalen Frequenzen entsprechen werden, wenn das Klavier ordentlich gestimmt ist. Außerdem erwarte ich einen Klang, der einer Sinusschwingung eher gleicht als die des E-Pianos.

2. Hauptteil - Theorie

2.1. Töne, Klänge, Geräusche

In der Akustik unterscheidet man zwischen Ton, Klang und Geräusch. Für das menschliche Ohr sind die Frequenzen von 16 Hz bis 20000 Hz hörbar. Alle höheren Frequenzen werden als Ultraschall bezeichnet und alle Frequenzen unterhalb von 16 Hz nennt man Infraschall.

Der **Ton** ist eine reine Sinusschwingung, die mit nur einer einzigen Frequenz schwingt; mit der sogenannten Grundfrequenz. Ein Ton lässt sich durch seine Tonhöhe und seiner Tonstärke charakterisieren. Die Tonhöhe hängt von der Frequenz ab: Je höher die Frequenz eines Tones, desto höher erscheint uns der Ton. Die Tonstärke bzw. Lautstärke eines Tones hängt von der Amplitude der Schwingung ab. Je größer die Amplitude, desto lauter ist der Ton¹.

Der Klang entsteht durch eine Überlagerung mehrerer Töne bzw. Sinusschwingungen. Dabei wird der tiefste Ton des Klanges **Grundton**, und die darüberliegenden Töne **Obertöne**, genannt. Der Klang ist so charakterisiert, dass die Obertöne ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtones sind. Die Obertöne eines Klanges sind harmonisch zum Grundton.

Der **Klang** kann folgendermaßen unterschieden werden: Zum einen gibt es einen einfachen bzw. harmonischen Klang, der wie zuvor beschrieben aus dem Grundton und einigen zugehörigen Obertönen besteht; zum anderen gibt es ein Klanggemisch, welches aus mehreren einfachen Klängen besteht.

Das **Geräusch** ist wohl das weitverbreitetste Schallereignis. Es begegnet uns täglich in Form von Rascheln, Klatschen oder wenn wir sprechen. Physikalisch ist ein Geräusch ein Gemisch

aus vielen Tönen mit sehr unterschiedlichen Frequenzen und unregelmäßigen Schwankungen in der Lautstärke².

2.2. Obertöne

In Ziff. 2.1. fiel an einigen Stellen der Begriff „Oberton“, auf den ich jetzt etwas genauer eingehen möchte. Ein Klang besteht aus einem Grundton und aus Obertönen. Es werden also zugleich mit dem tiefsten Ton eines Klages, dem Grundton, Töne höherer Frequenz, sogenannte Obertöne, erzeugt. Diese entstehen durch die Oberschwingungen der Schallquelle. Je nach Anzahl und Intensität des Obertones wird die Klangfarbe verändert.

In der Tonleiter A-Dur lautet der Grundton a. Die Frequenz dieses Tones beträgt 440 Hz. Eine Oktave höher wird der 1. Oberton in einem Verhältnis von 2 : 1 erzeugt. Die Frequenz des 1. Obertones beträgt also 880 Hz.

Wenn die Frequenzen der Obertöne ganzzahlige Vielfache der Frequenz des Grundtones sind, nennt man dies harmonische Obertöne, andernfalls unharmonische Obertöne³.

2.3. Fourieranalyse

J. Fourier (1768 - 1830) ist der Begründer der Fourieranalyse. Durch die Fourieranalyse lässt sich ein Klang in dessen Grundton und Obertöne (Teiltöne) zerlegen. Man geht also von einer Gesamtschwingung aus und zerlegt diese in ihre Bestandteile.

J. Fourier hat dazu die folgende Formel⁴ aufgestellt:

∞

¹ vgl. Redaktion Schule und Lernen: *Schülerduden Physik*. 4. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2001. S. 351.

² vgl. Borucki, Hans: *Einführung in die Akustik*. 2. durchgesehene Auflage: Zürich: Bibliographisches Institut AG, 1980. S. 87 - 89

³ vgl. Eska, Georg: *Schall & Klang: Wie und was wir hören*. Berlin: Birkhäuser Verlag, 1997. S. 53ff.

⁴ vgl. a.a.O. S. 42

$$S = \sum_{n=0} [A_n \sin (n\omega t) + B_n \cos (n\omega t)] \text{ mit } n = 0, 1, 2, 3\dots$$

Dabei ist S die resultierende Schwingung und A_n und B_n die Amplituden der harmonischen Teilschwingungen. Das Argument von Sinus bzw. Kosinus ist $n\omega t$. Das Argument ist die unabhängige Variable einer Funktion. Dadurch, dass n nur aus ganzen Zahlen besteht, ist zu erkennen, dass nur solche Oberschwingungen auftreten können, dessen Frequenz ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz ω sind.

Hat man nun eine beliebige Schwingung S, kann man die harmonischen Schwingungen, aus denen sie besteht, ausrechnen. Da das mathematische Verfahren sehr kompliziert ist, wurde zudem ein graphisches Verfahren entwickelt.

2.4. Klangerzeugung am Klavier

Das Wort Klavier lässt sich aus dem mittellateinischen clavis = Taste herleiten. Die Vorgänger des Klaviers waren das anschlagsschwache Klavichord und das klangstarre Cembalo. Heute hat sich die Hammermechanik behauptet. Diese bringt den Vorteil, dass der Klavierspieler mit der Anschlagstärke der Töne die Lautstärke des Instruments bestimmen kann. Schon um 1440 hatte H. Arnault von Zwolle eine **Hammertechnik** für ein besaitetes Tasteninstrument beschrieben, aber die Erfindung des Klaviers geht auf B. Cristofori (um 1700) zurück.

Normalerweise besteht die Tastatur eines Klaviers aus 88 Tasten; das entspricht siebeneindrittel Oktaven. Dabei wird vielen Tönen mehr als eine Saite zugeordnet (bis zu drei), um die Lautstärke, insbesondere die der oberen Töne und die Tonqualität zu erhöhen. Die Saiten eines zugeordneten Tones schwingen allerdings nicht exakt mit genau derselben Frequenz, sondern weichen leicht voneinander ab. Dies verbessert die Qualität des Tones.

Wird nun ein Klavierton angeschlagen, so springt ein Hämmerchen, das mit Filz bezogen ist, gegen die Saiten des ihm zugeordneten Tones. Im gleichen Moment wird der Dämpfer, der ebenfalls mit Filz überzogen ist, angehoben, so dass die Saiten frei schwingen können. Wenn der Klavierspieler die Taste wieder losläßt, senkt sich der Dämpfer wieder und die Schwingungen der Saite werden beibehalten. Wenn eine Taste angeschlagen und wieder losgelassen wird, wird der Saite keine weitere Energie mehr zugeführt, doch diese schwingt noch einige Zeit weiter. Die Saiten des Klaviers enden an einem Holzsteg, über welchen die

Schwingung an den Resonanzboden weitergegeben wird. Hauptsächlich dadurch wird der Klang für das menschliche Ohr hörbar, denn vom Resonanzboden aus wird der Klang als Schall in die Luft bzw. in den Raum abgegeben. Die Gesamtkraft der stark gespannten Saiten entspricht der Gewichtskraft von 25 Pkw. Die Saiten können daher nur von einem schweren Gusseisenrahmen gehalten werden⁵.

Der Klang eines Tones besteht eigentlich aus zwei Teilen: dem Sofortklang und dem Nachklang. Der Sofortklang wird, wie der Name schon sagt, direkt beim Anschlag erzeugt. Charakteristisch für ihn ist, dass der Anschlag relativ laut ist und schnell abfällt. Dann folgt der zweite Teil, der Nachklang. Hier fällt die Lautstärke langsam, fast linear bzw. gleichmäßig ab⁶.

2.5. Tonleiter und Temperatur des Klaviers

Wenn ein 100 Hz Ton erzeugt wird und dieser Grundton sein soll, dann ist der 200 Hz Ton die Oktave zum Grundton. Die Oktave zu einem Grundton von 700 Hz hat eine Frequenz von 1.400 Hz. Oktave und Grundton stehen also im Verhältnis von 2 : 1. Es besteht ebenso ein Intervall einer Oktave zwischen jeweils zwei Tönen von 16 Hz und 32 Hz sowie 10.000 Hz und 20.000 Hz. Junge Menschen können Töne bis zu 20.000 Hz wahrnehmen, aber mit zunehmenden Alter kann die obere Hörgrenze auf bis 10.000 Hz abnehmen. Dies hört sich zwar drastisch an, aber entspricht lediglich dem Verlust von nur einer einzigen Oktave. In der Musik gibt es noch viele weitere Töne neben dem Grundton und Oktave, die in einem festen Verhältnis zueinander stehen. Zwischen dem c und dem eingestrichenen c gibt es noch weitere 11 Töne (cis, d, dis, e, f, fis, g, gis, a, ais, h), die jeweils in einem bestimmten Verhältnis zueinander und zum Grundton stehen.

Im folgenden Beispiel werde ich mit Hilfe der C-Dur Tonleiter (c, d, e, f, g, a, h, c) den Aufbau einer Tonleiter veranschaulichen. Zwischen zwei aufeinanderfolgenden Tönen in dieser Tonleiter treten die folgenden Frequenzverhältnisse auf. 9 : 8 für das Intervall von d : c, g : f, h : a; ein Verhältnis von 10 : 9 für e : d, a : g und ein Verhältnis von 16 : 15 für die Töne f : e und dem eingestrichenen c : h. Das Intervall 9 : 8 und 10 : 9 bezeichnet man als ganzen

⁵ vgl. Winkler, Klaus: *Die Physik der Musikinstrumente*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft & Co., 1988. S. 110 ff.

⁶ vgl. Redaktion Schule und Lernen: *Schülerduden Musik*. 3. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2000. S. 190ff.

Ton oder große Sekunde und das Intervall 16:15 entspricht einem halben Ton bzw. einer kleinen Sekunde. Die C-Dur Tonleiter besteht, wie auch alle anderen Dur-Tonleiter, aus einer bestimmten Folge von Ganztonschritten (GT) und Halbtonschritten (HT). Die genaue Reihenfolge einer Dur-Tonleiter lautet:

GT, GT, HT, GT, GT, HT.

Möchte man nun G als Grundton nehmen und somit die G-Dur Tonleiter spielen, gibt es zu Beginn schon geringfügige Probleme. Der erste Ganztonschritt beträgt nicht 9 : 8 sondern 10 : 9. Auf einen gravierenden Unterschied stoßen wir nach dem Ton e, denn das Intervall zum nächsten Ton f beträgt 16 : 15, aber hier brauchen wir einen Ganztonschritt, um das Schema der Dur-Tonleiter zu verfolgen. Deshalb wird nur der Ton fis eingeführt, damit das Verhältnis in der Dur-Tonleiter erhalten bleibt. Das bedeutet allerdings, dass für „festgestimmte“ Instrumente wie Klavier, Orgel etc. bei physikalisch genauer Stimmung bzw. **reinen Stimmung**, „richtige“ Tonleitern nur von einem einzigen Ton aus spielen.

Im 17. Jahrhundert fand man jedoch eine Lösung für dieses Problem. Es wurde die sog. **temperierte Stimmung** eingeführt, dessen Potential Johann Sebastian Bach (1685 – 1750) in seinen Werk „Das wohltemperierte Klavier“ darstellte. Das Prinzip funktioniert wie folgt: Eine Oktave, die aus zwölf Halbtonintervallen besteht, wird in zwölf gleichgroße Intervalle unterteilt mit dem jeweils gleichen Frequenzverhältnis: $^{12}\sqrt{2} = 1,0595$. Für die Berechnung der Ganztonintervalle rechnet man: $^6\sqrt{2} = 1,1225$. Man zieht hier die sechste Wurzel, weil zwischen dem Grundton und dessen Oktave sechs Töne (d, e, f, g, a, h) vorkommen.

Vergleicht man nun die reine Stimmung mit der temperierten Stimmung, bemerkt man geringfügige Unterschiede bei allen Tönen außer bei dem Grundton (Verhältnis ist bei beiden 1,00) und bei der Oktave (Verhältnis ist bei beiden 2,00)⁷.

Ich möchte nun noch zwei weitere Begriffe einführen: **Konsonanz** und **Dissonanz**. Das Wort Konsonanz stammt aus dem Lateinischen: consonare = zusammenklingen. Es sind für das menschliche Ohr die Töne, die es als wohlklingend auffaßt. Der Mensch empfindet einen Klang um so vollkommener, je kleiner Zahl im Nenner im Frequenzverhältnis ist. Die Oktave ist also das für uns am wohlklingendste Intervall mit einem Frequenzverhältnis von 2 : 1, dahinter folgt die Quinte mit einem Frequenzverhältnis von 3 : 2. Danach folgen Quarte, Sexte, große Terz und kleine Terz. Heute sind die Musikinstrumente in der temperierten Stimmung gestimmt. Das bedeutet, dass die Frequenzverhältnisse leicht von den gerade genannten Werten abweichen. Eine Quinte hat z.B. in der temperierten Stimmung ein

Verhältnis von: ($\sqrt[12]{2} =$) $(1,0595)^7 = 1,49831$. Man teilt eine Oktave zunächst in die 12 Halbtonschritte auf aus denen sie besteht. Diese Zahl potenziert man dann mit 7, denn die Quinte besteht aus einem Intervall von insgesamt 7 Halbtonschritten. In der reinen Stimmung steht die Quinte in einem Verhältnis von $3 : 2 = 1,50000$. Man erkennt also eine geringfügige Differenz zwischen der reinen Stimmung und der temperierten Stimmung.

Das Gegenteil von der Konsonanz ist die Dissonanz, welches sich ebenfalls aus dem lateinischen Wort: *dissonare* = missklingen herleiten. Es ist Klang, der eine Spannung erzeugt und nach Auflösung strebt. Zu der Dissonanz zählen z.B. Intervalle von Sekunden und Septimen⁸.

3. Hauptteil Messungen

3.1 Schaltbild DASyLab

Verwendete Hardware:

- Sound Blaster Live! Player 5.1.
- Mikrofon

Verwendete Instrumente:

- Yamaha Clavinova CVP-35
- C. Noeske & Co, Berlin S.W. (1885/86), Bespannung: sechs Jahre alt, gestimmt: vor 13 Monaten

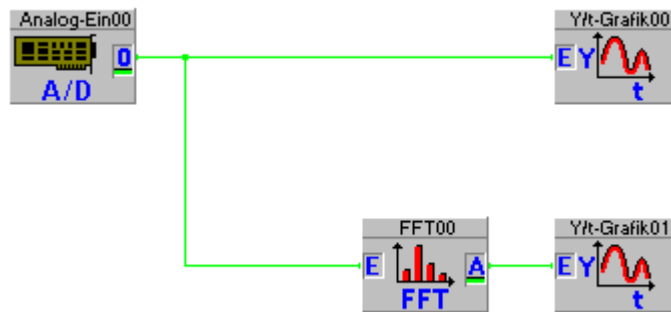
Verwendete Module:

- Analog-Digital Eingang
- FFT Modul
- Y/t-Grafik (2X)

⁷ vgl. Borucki, Hans: *Einführung in die Akustik*. 2. durchgesehene Auflage. Zürich: Bibliographisches Institut AG, 1980. S. 175 - 181

⁸ vgl. Redaktion Schule und Lernen: *Schülerduden Musik*. 3. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2000. S. 88, S. 196.

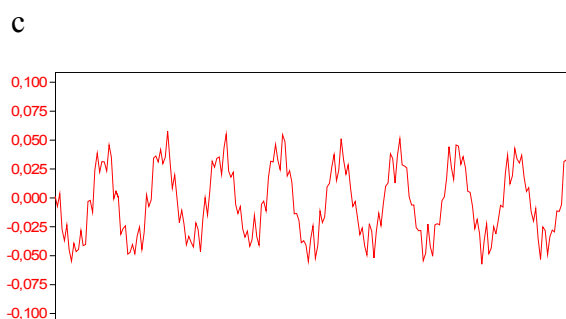
Aufbau der Schaltung:



Über das Modul „Analog-Digital-Eingang“ wird ein Ton (in diesem Fall: Der Ton des E-Pianos bzw. Klaviers) in ein digitales Signal umgewandelt. Einmal erfolgt die Ausgabe in einem Koordinatensystem, in welchem die x-Achse die Zeit in ms und die y-Achse die Intensität (Lautstärke) des Signals darstellt. In dem anderen Koordinatensystem sieht man den gespielten Klavierton in dessen Grundton und Obertöne zerlegt. Dies geschieht durch das FFT Modul (Fourieranalyse Ziff. 2.1.). Hierbei stellt die x-Achse die Frequenz in Hz und die y-Achse wiederum die Intensität dar.

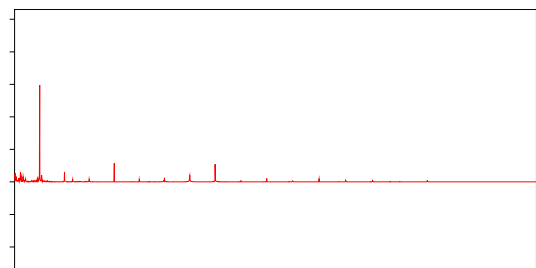
3.2. Messung am E-Piano

Zeitspektrum



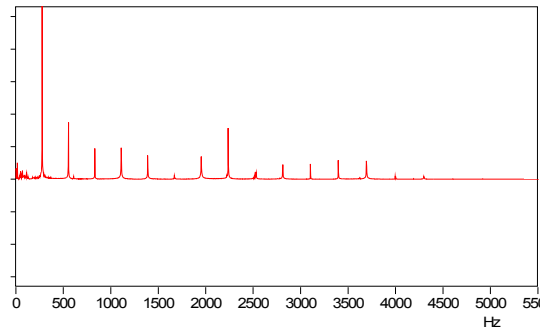
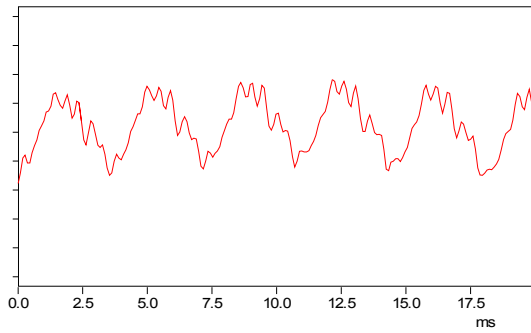
Frequenzspektrum

9

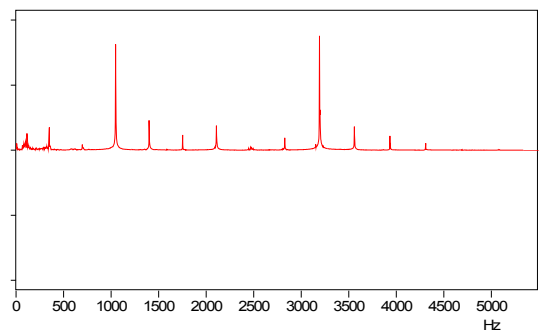
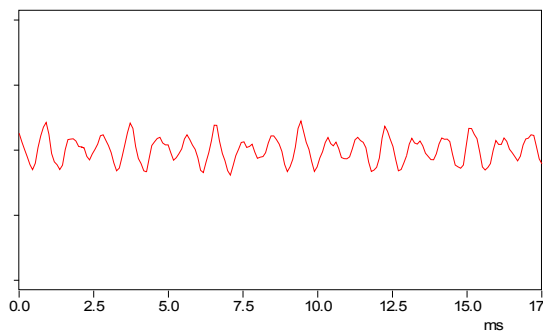


cis

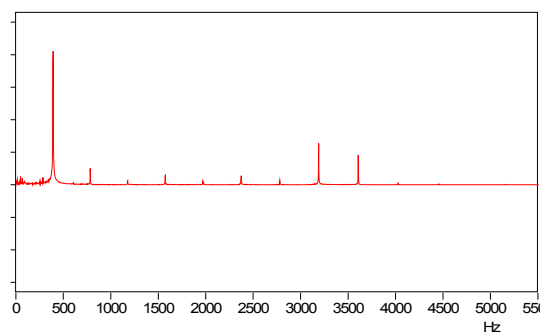
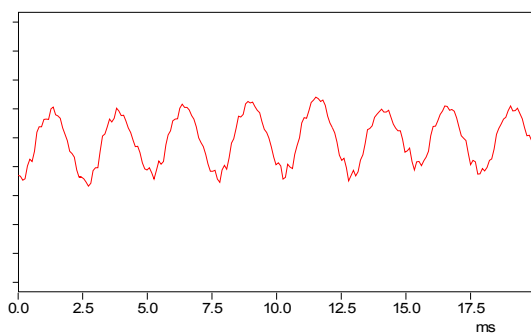
cis



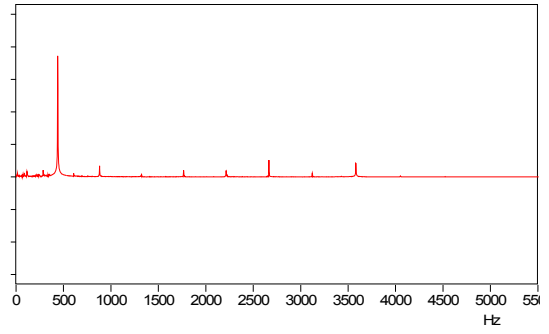
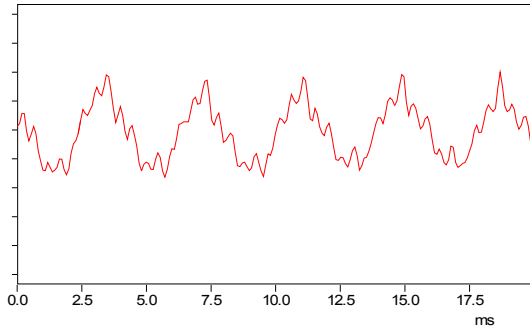
f



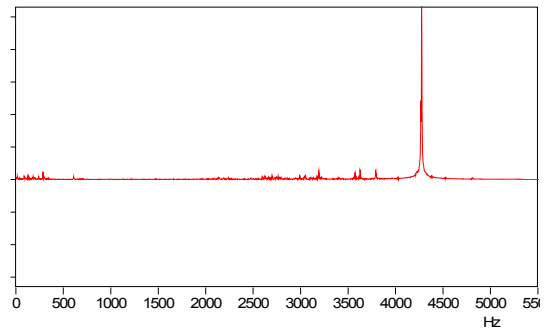
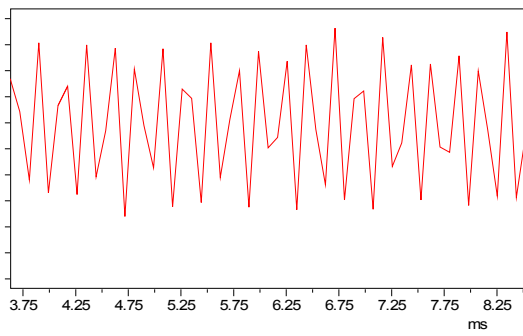
og



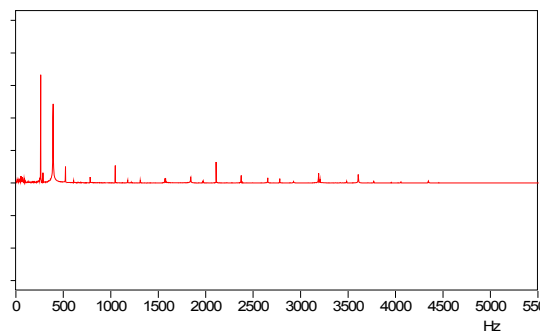
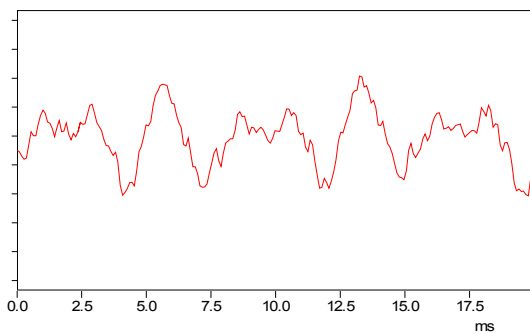
a



5-gestrichene c

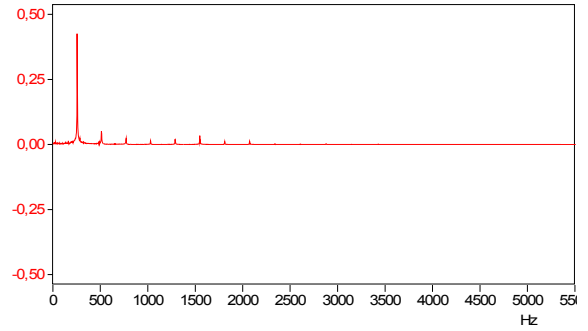
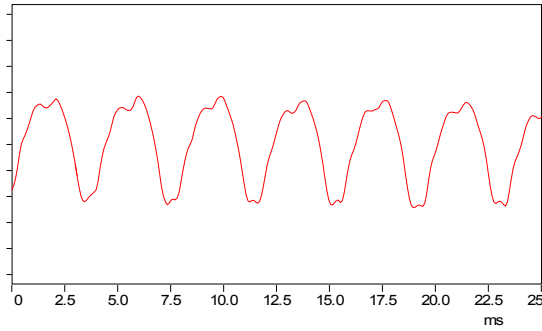


c und g (Intervall: Quinte)

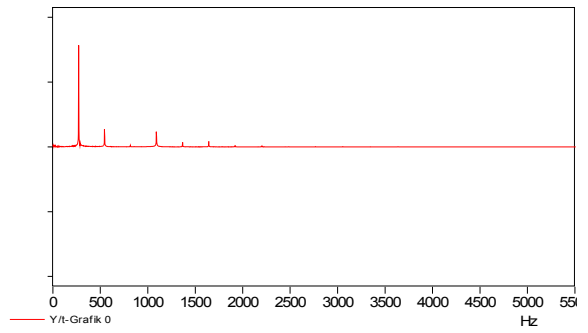
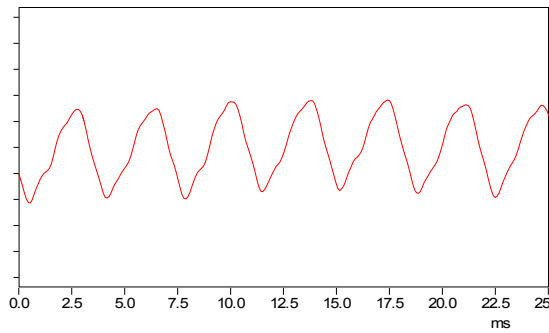


3.3. Messung am Klavier

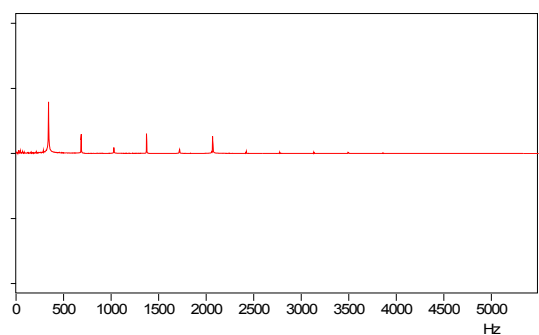
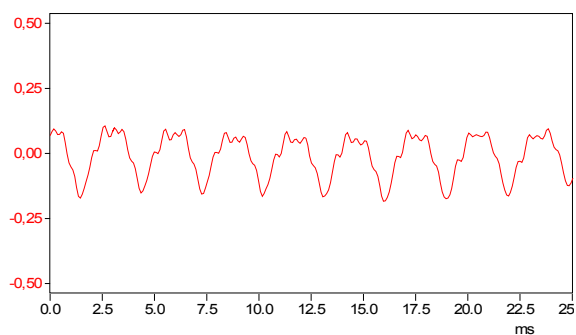
c



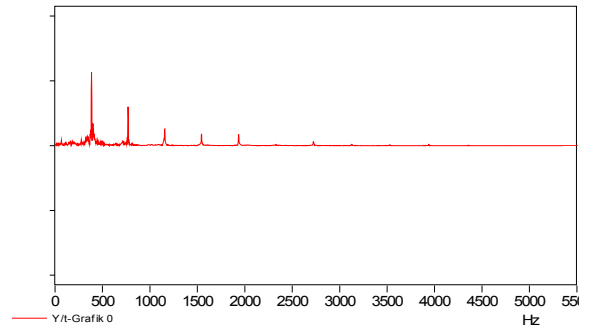
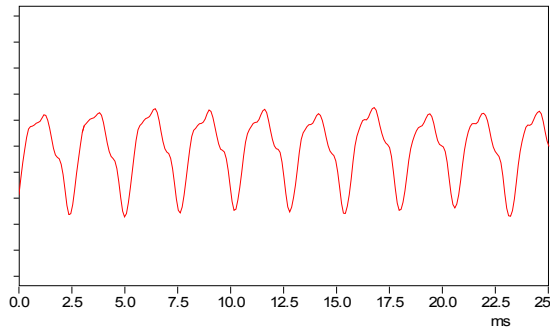
cis



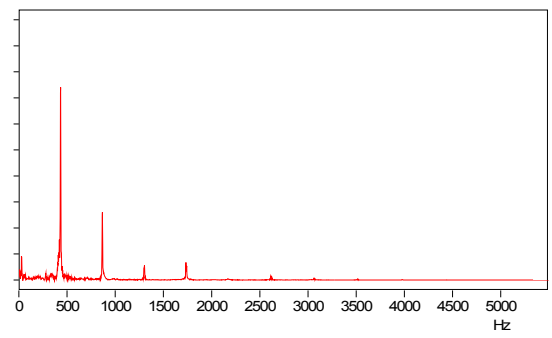
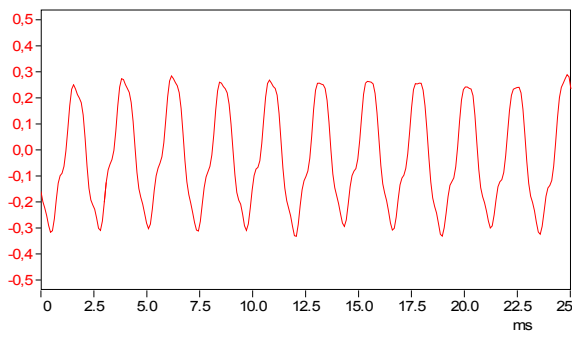
f



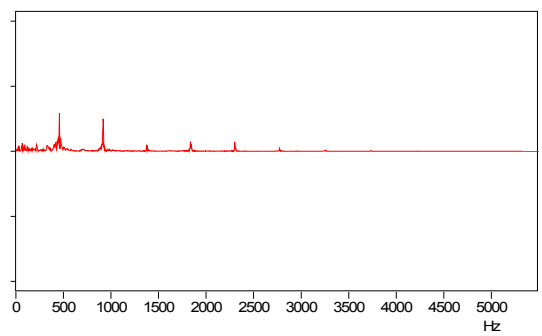
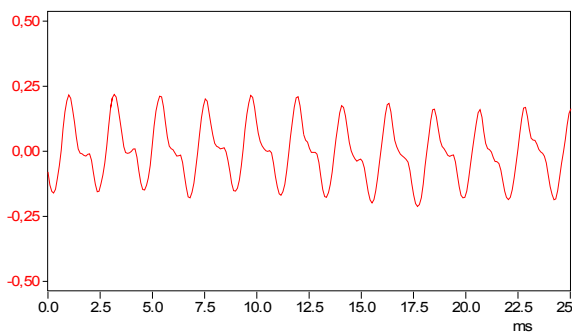
g



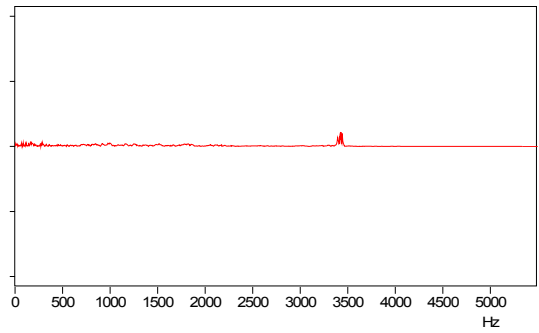
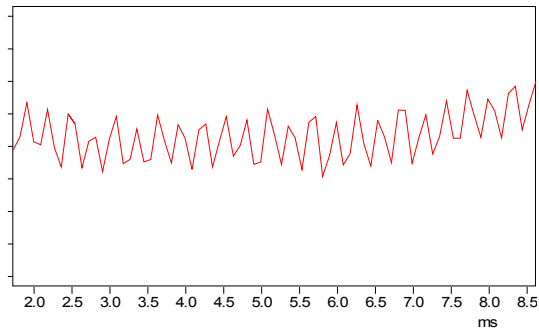
a



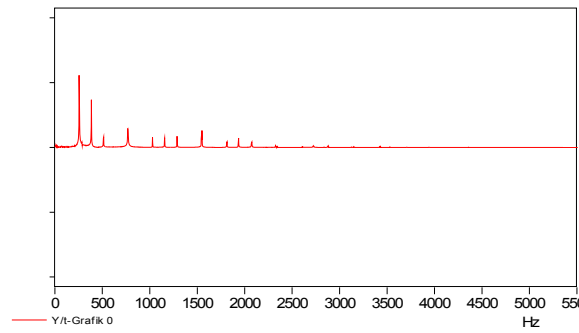
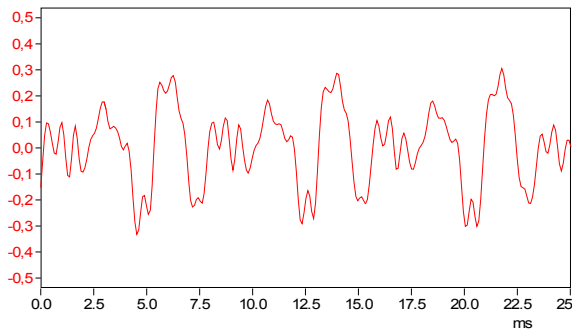
b



5-gestrichene c



c und g (Intervall: Quinte)



3.4. Ergebnisse

Abb. 1 Gemessene Frequenzen von E-Piano und Klavier

Ton	Optimal ⁹ (in Hz)	E-Piano (in Hz)	Klavier (in Hz)
-----	------------------------------	-----------------	-----------------

⁹ Kuchling, Horst: *Physik – Formeln und Gesetze*. 15. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1978. S. 147.

C	261,63	261,09	255,71
Cis	277,18	277,24	271,86
F	342,23	349,91	341,84
G	392,00	392,98	384,91
A	440,00	438,74	433,36
B	466,16	465,66	457,58
5-gestrichene c	4186,00	4274,34	3394,17

Abb. 2 Differenz der Meßwerte zu der optimalen Frequenz

Ton	Differenz E-Piano (in Hz)	Differenz Klavier (in Hz)
C	0,54	5,92
Cis	-0,06	5,32
F	-7,68	0,39
G	-0,98	7,09
A	1,26	6,64
B	0,5	8,58
5-gestrichene c	-88,34	791,83

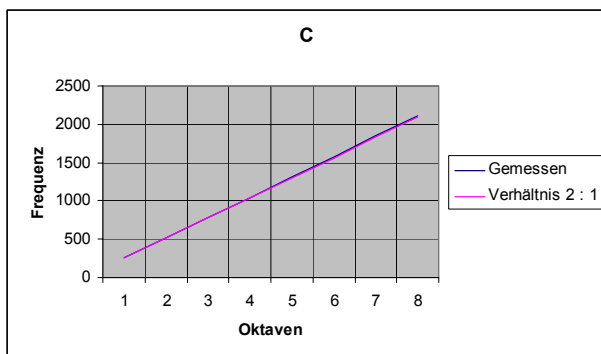


Abb. 3a Obertöne von c am E-Piano

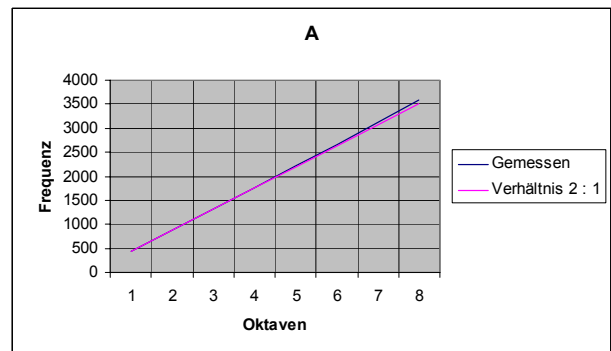


Abb. 3b Obertöne von a am E-Piano

Abb. 4a Obertöne von cis am Klavier

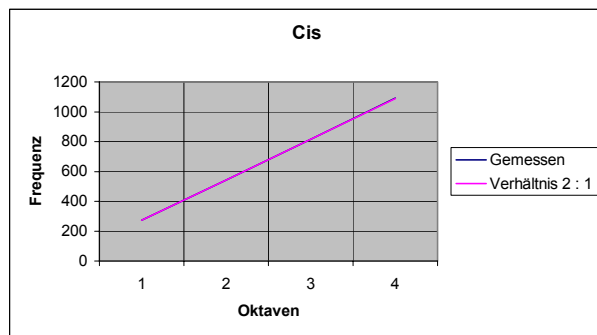
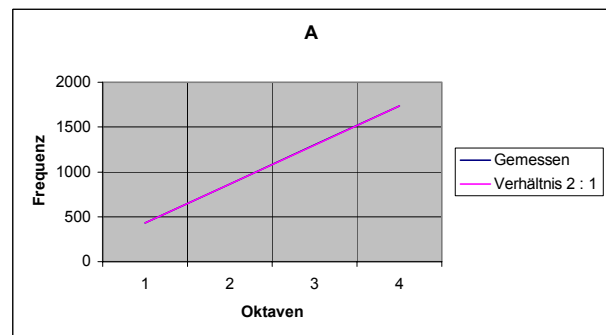


Abb. 4b Obertöne von a am Klavier



3.5. Beobachtung am E-Piano

Die Klänge, die auf dem E-Piano gespielt wurden (c, cis, f, g, a, b, höchste c), zeigen in den Zeitspektren keine reine Sinusschwingung, sondern sinusartige Schwingungen mit mehreren Spitzen. Es ist aber eine Regelmäßigkeit, wie es charakteristisch für einen Klang ist, in den Schwingungen sichtbar. Das eingestrichene g kommt einer Sinusschwingung am nächsten, während das höchste c nur noch ein „eckiger“ Ton ist. Es ist außerdem auffallend, dass fast alle Töne viele Obertöne enthalten. Vor allem bei den Tönen cis, f und g gibt es stark ausgeprägte Obertöne. Bei dem Klavier ist es üblich, dass der 1. Oberton am stärksten ausgeprägt ist und die weiteren Obertöne eine immer schwächer werdende Amplitude besitzen. Aber zum Beispiel beim F ist der 5. Oberton sogar höher als der Grundton selbst, während beim g der 7. und 8. Oberton deutlich stärker ausgeprägt sind, als die vorhergehenden.

Jedem Ton ist eine bestimmte Frequenz zugeordnet. Beim Anschlag eines bestimmten Tones sollte die zu diesem Ton festgelegte Frequenz erzeugt werden. Um dies zu überprüfen, habe ich eine Tabelle mit den Frequenzen aufgestellt, die erzeugt werden sollten und dazu, mit Hilfe der Fourieranalyse die Frequenz notiert, die ich beim E-Piano gemessen habe. Dabei fiel auf, dass die Differenz zur festgelegten Frequenz bei den Tönen c, cis, g, a, b kleiner als 1,5 Hz waren. Das Frequenz vom f hätte 342,42 Hz betragen sollten, war jedoch 7,68 Hz höher. Extrem war allerdings die Differenz beim höchsten Ton des E-Pianos, dem 5-gestrichenen c. Dieser Ton sollte bei einem Klavier 4186 Hz betragen, doch die Messung hat gezeigt, das Frequenz um 88,34 Hz höher lag.

3.6. Beobachtung am Klavier

Bei den Messungen am Klavier, bei dem die gleichen Töne wie beim E-Piano gemessen worden sind, fällt vor allem auf, dass die Zeitspektren einer Sinusschwingung viel ähnlicher ist (insbesondere das cis). Das f zeigt die unsauberste Sinusschwingung. Hier liegen drei kleine Spitzen bei einer Sinusschwingung vor. Das b weist einen kleinen Ausschwenker im Zeitspektrum auf. Im Frequenzspektrum sieht man, dass deutlich weniger Obertöne vorhanden sind. Selten weist ein Ton über vier Obertöne auf. Zudem ist, im Gegensatz zum E-Piano, der erste Oberton am stärksten ausgeprägt und die darauffolgenden werden immer schwächer. Hier fällt allerdings wiederum das f aus der Reihe. Der erste, dritte und fünfte Oberton haben eine etwa gleichstarke Amplitude, während die dazwischenliegenden Obertöne, der zweite und vierte, kaum erkennbar sind. Das Frequenzspektrum des Tones b zeigt einen ersten Oberton, der fast die gleiche Intensität besitzt, wie der Grundton. Die darauffolgenden Obertöne sind dagegen kaum sichtbar und nur sehr schwach. Auch hier habe ich die Differenz der Frequenz des gespielten Tones zu den optimalen Frequenzen verglichen. Die folgenden Töne c, cis, g, a, b wiesen eine Differenz zwischen fünf Hz und neun Hz auf. Das f dagegen nur einen minimalen Unterschied von 0,37 Hz. Das 5-gestrichene c, also der höchste Ton auf einem Klavier mit 88 Tasten, betrug 3394,17 Hz, mit anderen Worten 791,83 Hz unter der Frequenz, die eigentlich erzeugt werden sollte.

Während der Meßphase war zu beobachten, dass die Obertöne des Klaviers kurz nach dem Anschlag stark ausgeprägt waren, aber nach kurzen Einschwingen der Grundton die höchste Intensität hatte.

Insgesamt konnte man beobachten, dass die Zeitspektren der Klaviertöne sinusförmiger sind als die des E-Pianos. Das E-Piano erzeugte viele Obertöne (bis zu zwölf), dagegen traten bei den Klängen des Klavier kaum über vier Obertöne auf.

4. Auswertung der Meßergebnisse

Aus den Beobachtungen geht hervor, dass ein Klavier einen besseren Klang besitzt als das E-Piano. Die Töne des Klaviers sind nahezu sinusförmig. Die Zeitspektren des E-Pianos sind zwar periodisch, aber gleichen einer Sinusschwingung nicht so stark wie die, der Töne des Klaviers. Die Abbildungen 3a, 3b, 4a und 4b (Seite) zeigen das Verhältnis der Obertöne zu

dem Grundton der Töne c, cis und a. Dabei sollten die Obertöne im Verhältnis 2 : 1 angeregt werden. Dies bedeutet, wenn der Grundton a gespielt wird, sollte der Grundton bei 440 Hz liegen, der erste Oberton dann bei 880 Hz, der zweite Oberton bei 1220 Hz. Mathematisch heißt dies:

Frequenz des Grundtons: f_1

n. Oberton = $f_1 + (n * f_1)$; n Element Z

In den Abb. 3a, 3b sind der Grundton und die Obertöne von c und a (mit dem E-Piano gespielt) abgebildet. Einmal werden die Obertöne mit dem Programm DASYLab gemessen und in das Koordinatensystem eingetragen und einmal wurde mit der Formel

$n. \text{ Oberton} = f_1 + (n * f_1)$; n Element Z die Obertöne ausgerechnet und eingetragen, die eigentlich erzeugt werden sollen. Es ist zu erkennen, dass die Kurve der gemessenen Obertöne nach oben hin abweicht. Die erzeugten Obertöne sind stehen also nicht ganz im Verhältnis 2 : 1. In den Abb. 4a und 4b wird derselbe Versuch noch einmal mit dem Klavier durchgeführt. Dabei ist zu erkennen, dass die Obertöne kaum nach oben abweichen und somit das Verhältnis 2 : 1 erhalten bleibt. Die Obertöne sind hier also ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz. Hier spricht man dann von harmonischen Obertönen.

Insgesamt geht aus den Versuchen hervor, dass die Klänge, die am Klavier erzeugt worden sind, zwar nicht ganz den optimalen Frequenzen entsprechen, aber dennoch sind die Klänge harmonischer, als die, die am E-Piano erzeugt wurden. Das E-Piano erzeugt zudem viel mehr Obertöne, die das Klangbild beeinflussen. Man kann sagen: Die Klangqualität eines Klaviers ist besser als die des E-Pianos. Dennoch bietet das E-Piano viel mehr Einstellungsmöglichkeiten, ähnlich dem Keyboard.

5. Literaturverzeichnis

Bader, Franz; Dorn, Friedrich: *Physik 12/13 – Gymnasium Oberstufe*. Hannover: Schroedel Verlag GmbH, 2000.

Borucki, Hans: *Einführung in die Akustik*. 2. durchgesehene Auflage. Zürich: Bibliographisches Institut AG, 1980.

Eska, Georg: *Schall und Klang: Wie und was wir hören*. Berlin: Birkhäuser Verlag, 1997.

Kuchling, Horst: *Physik – Formeln und Gesetze*. 15. Auflage. Leipzig: VEB Fachbuchverlag, 1978.

Meyers Lexikonredaktion: *Meyers großes Taschenlexikon: in 24 Bänden*. 5. Überarbeitete Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 1995.

Redaktion Schule und Lernen: *Schülerduden Musik*. 3. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2000.

Redaktion Schule und Lernen: *Schülerduden Physik*. 4. Auflage. Mannheim: Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, 2001.

Winkler, Klaus: *Die Physik der Musikinstrumente*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft & Co., 1988.

„Hiermit erkläre ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst habe und alle Quellen, Hilfsmittel, wörtliche und sinngemäße Übernahmen gekennzeichnet habe. Mir ist bekannt, dass ein Täuschungsversuch zur Note ‚ungenügend‘ führt.“

Düsseldorf, den 10. Februar 2002

Patrick Hürtgen