



DEUTSCHE  
GESELLSCHAFT FÜR  
ZERSTÖRUNGSFREIE  
PRÜFUNG E.V.

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Landeswettbewerb Jugend forscht

## SAARLAND



### **Musikalisches Stimmungssystem**

Johannes Schmitt

**Schule:**

Max-Planck-Gymnasium Saarlouis  
Pavillonstraße 24  
66740 Saarlouis

## Projekt: „Stimmungssysteme“

### 1. Inhalt

1. Inhalt .....	1
2. Einleitung .....	2
2.1 Projektstufen .....	2
3. Einführung in das Thema .....	3
3.1 Frequenzen und Intervalle .....	3
3.2 Die Centrechnung .....	4
3.3 Die Naturtonleiter .....	5
3.4 Die Tonarten.....	6
3.5 Der Quintenzirkel.....	7
4. Stimmungssysteme .....	8
4.1 Die Problematik der reinen Stimmung .....	9
4.2 Die pythagoreische Stimmung .....	10
4.3 Die Mitteltontemperatur .....	11
4.4 Die wohltemperierte Stimmung.....	12
4.5 Die gleichstufige Stimmung .....	12
5. Das Programm .....	13
5.1 Die Idee .....	13
5.2 Die Bedienung des Programms.....	13
6. Ausblick und Möglichkeiten .....	14
7. Anhang.....	15
8. Quellen.....	15

## **2. Einleitung**

Versucht man auf einem Klavier allen Tönen so Frequenzen zuzuordnen, dass es immer gut klingt, wenn man zwei Töne gleichzeitig spielt, dann entsteht ein Fehler. Er kann nicht beseitigt werden. Aufgrund dieses Fehlers entstehen dann unreine Zusammenklänge.

Das Ziel des Projektes ist es, ein Stück mit vollkommen reinen Zusammenklängen der einzelnen Töne mithilfe eines dafür entwickelten Programms wiederzugeben.

Dafür werden alle Töne eingegeben und dann alle Frequenzen berechnet.

Auf diese Art ist nicht jeder Ton auf eine Frequenz festgelegt und der Fehler kann umgangen werden. Außerdem sollen alle Töne gespeichert werden können, so dass man sie wieder öffnen und bearbeiten kann.

### **2.1 Projektstufen:**

#### **1. Recherche**

Ich suche im Internet, in Büchern und in anderen Quellen nach Stichworten und Begriffen, um das Thema zu verstehen. Es ist äußerst umfangreich und kompliziert. Eigentlich ist das Thema nur die Stimmung in der Musik, aber um dieses Thema zu verstehen, muss man sich erst hineinarbeiten in die Tiefen der Musiktheorie. Hat man den Kontext verstanden, das Problem der reinen Stimmung verstanden, so ergibt sich der nächste Schritt.

#### **2. Programmentwicklung**

Nun, da das erforderliche Hintergrundwissen vorhanden ist, kann man mit dem eigentlichen Projekt beginnen. Zunächst wird "einfach" ein Programm geschrieben, das die Töne aufnimmt, die Frequenzen berechnet und sie wiedergibt. Dann wird es so erweitert, dass man das Ganze abspeichern und laden kann.

Nun hätte man eigentlich alles, was man braucht. Doch jetzt kann man beginnen einige Extras einzubauen. Man kann dem Programm beibringen Pausen einzulesen, man kann die Bedienung vereinfachen, man kann es außerdem programmieren, ein Stück auch in anderen Stimmungen zu berechnen und abzuspielen. Dies ist interessant, weil man dann Vergleichsmöglichkeiten mit anderen Stimmungen hat.

#### **3. Material zum Erklären des Themas**

Damit jeder verstehen kann, worum es in dem Projekt geht, muss das in diesem Dokument erklärt werden. Deshalb wird in diesem Dokument auch weiter ausgeholt, so dass es auch für die verständlich ist, die nicht soviel über Musiktheorie wissen.

Jedoch gibt es sehr viel anschaulichere Methoden um das Thema zu erklären. Eine solche Methode besteht in der Anfertigung einer interaktiven Powerpoint Präsentation. Man kann sich von einer Startseite in alle Themen, die man genauer erklärt haben will hineinklicken. Sie werden dann mit Texten, Bildern und Beispielprogrammen erläutert.

### 3. Einführung in das Thema

Bevor man sich an das komplexe Thema der musikalischen Stimmung heranwagt, sollte man sich erst einmal mit den Grundbegriffen der Musiktheorie vertraut machen.

#### **3.1 Frequenzen und Intervalle**

Das was wir unter einem Ton, beispielsweise dem eingestrichenen a ( $a_1$ ), verstehen, ist physikalisch gesehen ein Schall bestimmter Frequenz. Sie wird in Hertz (Hz) angegeben.

Schwingt ein Metallstab mit der Frequenz 1 Hz, dann schwingt er ein Mal pro Sekunde, bei 45 Hertz 45 Mal. Eine Frequenz berechnet man somit als Schwingungen/Sekunde.

Werden die Frequenzen höher, dann verschmelzen die einzelnen Schläge zu einem Ton. Wenn wir ein eingestrichenes a hören, dann nehmen wir nicht mehr einzelne Schwingungen wahr, sondern einen durchgehenden Klang mit der Frequenz 440 Hz. Diese Frequenz beschreibt die Anzahl von Schwingungen pro Sekunde in der Luft.

Der Ton a ist der sog. Kammerton und ist auf die Frequenz 440 Hz festgelegt. Je höher die Frequenz eines Tones, desto höher nehmen wir ihn wahr.

Ein Frequenzverhältnis ist nun das Verhältnis zweier Frequenzen. Ein Verhältnis wird als Bruch angegeben ( $4/7$ ), und kann auch gekürzt werden ( $4/12 = 1/3$ ). Hat also nun ein Ton die Frequenz 440 Hz ( $a_1$ ) und ein anderer 880 Hz ( $a_2$ ), dann haben sie ein Verhältnis von  $440/880 = 1/2$ .

Geht man von  $a_1$  zu dem Ton  $d_1$ , so nennt man den Abstand ein Intervall. Dieses spezielle Intervall heißt eine Quinte nach unten. Die Intervalle sind etwas rein musikalisch und beziehen sich auf den Abstand zweier Töne in Halbtönen. Hier eine Tabelle mit den gängigen Intervallen:

Name	Abstand (Halbtöne)	Frequenzverhältnis (reine Stimmung)	Abstand von C in C-Dur Tonleiter
Prime	0	1 : 1	C
kleine Sekunde	1	16 : 15	cis
große Sekunde	2	10 : 9	D
kleine Terz	3	6 : 5	dis
große Terz	4	5 : 4	E
Quarte	5	4 : 3	F
Tritonus	6	45 : 32	fis
Quinte	7	3 : 2	G
kleine Sexte	8	8 : 5	gis
große Sexte	9	5 : 3	A
kleine Septime	10	16 : 9	ais
große Septime	11	15 : 8	H
Oktave	12	2 : 1	C

Zu jedem Intervall ist ein Frequenzverhältnis angegeben. Dies ist das Verhältnis der Frequenzen zweier Töne, die voneinander den Abstand des Intervalls haben. Betrachten wir die Töne  $a_2$  und  $a_1$ . Sie liegen eine Oktave voneinander entfernt. Die Oktave hat ein Frequenzverhältnis von  $2 : 1$ , d.h. der erste Ton hat eine doppelt so große Frequenz wie der zweite. Wenn nun  $a_2$  8800 Hz hat, so muss  $a_1$  die Frequenz 4400 Hz haben.

Genauso kann man es auch bei allen anderen Frequenzen tun. Geht man eine Oktave aufwärts, so muss man mit dem **Kehrwert** des Verhältnisses ( $2 : 1$ ) rechnen, da die Frequenz ja größer wird.

Man kann die Intervalle addieren, indem man die Frequenzverhältnisse multipliziert.

Geht man von C eine Quinte nach oben, erreicht man G. Man muss die Frequenz von C mit  $3/2$  **multiplizieren**. Geht man nun eine Quarte nach oben, dann erreicht man c und muss dafür die Frequenz mit  $4/3$  multiplizieren.

Geht man nun direkt von C nach c, dann sind das eine Quinte + eine Quarte, man muss jedoch rechnen  $3/2 \cdot 4/3 = 12/6$ , was man zu 2 kürzen kann, einer Oktave.

Die Abfolge zweier Töne, die in einem bestimmten Intervall erklingen hört sich unabhängig von den absoluten Frequenzen ähnlich an.

Es stellt sich die Frage, wie man auf diese Verhältnisse gekommen ist.

Vorher jedoch müssen wir noch ein elementares Teil der Stimmungstheorie kennenlernen, das Cent.

### 3.2 Die Centrechnung

Das Cent (abgekürzt C) ist ein Maß für musikalische Intervalle. Es ist ein 1200stel einer Oktave.

Eine Oktave in 1200 gleich große Faktoren zu zerlegen wird durch die  $\sqrt[1200]{2}$  erreicht ( $2 =$  Frequenzverhältnis einer Oktave).

Ein Cent ist etwa  $1 : 1,0005777895$ , zwei Cent sind  $\sqrt[1200]{2}^2$ , drei Cent sind  $\sqrt[1200]{2}^3$ . Dadurch können die Angaben in Cent addiert werden, während Verhältnisse multipliziert werden müssen.

Schauen wir uns doch einmal die Quinte an. Das Frequenzverhältnis ist  $2/3$ .

Will man die Centangabe eines Verhältnisses wissen, dann muss man das  $x$  in folgender Gleichung bestimmen:

$$\sqrt[1200]{2}^x = \text{Verhältnis } \frac{a}{b}$$

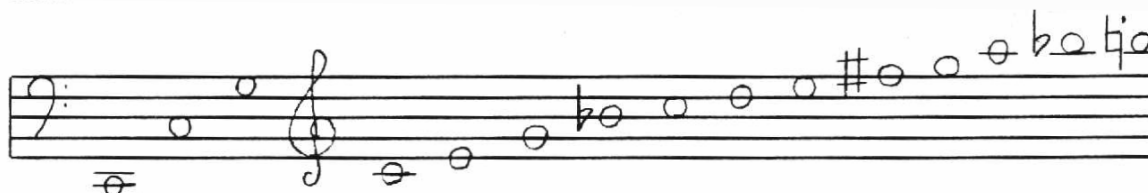
Die Lösung der Gleichung ist:

$$x = \frac{\lg \frac{a}{b}}{\lg \sqrt[1200]{2}}$$

### 3.3 Die Naturtonleiter

Wenn bei einem Klavier eine Taste angeschlagen wird, bringt ein Hammer eine Saite zum Schwingen. Ist dies die Taste für den Kammerton, dann sollte man annehmen, dass die Saite schlicht und einfach mit einer Frequenz von 440 Hz schwingt.

Jedoch schwingt sie mit einer Vielzahl von Frequenzen, denn eine Saite, oder irgendein anderer Klangkörper, der schwingt, erzeugt immer auch einige andere, höhere Töne. Diese haben zu dem Grundton ein ganzzahlige Verhältnisse ( $\times 2$ ,  $\times 3$ ,  $\times 4$ ,...). Man nennt sie Harmonische und Obertöne. Die Tonleiter aus dem Grundton und seinen Obertönen heißt Naturtonleiter.



Naturtonleiter auf Grundton C

Der Grundton C hat eine Frequenz  $c_0$ , Der erste Oberton ist das c. Es hat die Frequenz  $2 \cdot c_0$ . Zwischen den beiden liegt eine Oktave. Deshalb ist das Frequenzverhältnis  $1 : 2$ . Das Intervall liegt zwischen dem 1. und dem 2. Ton der Naturtonreihe. Der dritte Ton ist das g. Es hat die Frequenz  $3 \cdot c_0$ . Zwischen c und g ist eine Quinte mit dem Verhältnis  $2 : 3$ , da sie zwischen dem 2. und 3. Ton liegt. Dies setzt sich fort.

Erstmals wurde dies von Pythagoras beschrieben. Er fand auch heraus, dass Verhältnisse von Tönen sich gut anhören, wenn man sie mit möglichst kleinen Zahlen beschreiben kann (Oktave  $1 : 2$ , Quinte  $2 : 3$ , Quarte  $3 : 4$ ). Komplizierte Verhältnisse (Tritonus  $32 : 45$ ) empfinden wir als Dissonanzen (Missklänge).

Lässt man ein Klavier viele Jahre nicht stimmen, dann hört sich ein Stück auf ihm falsch und einfach schrecklich an. Dies liegt daran, dass sich das Holz verzieht und die Saiten nicht ausreichend gespannt sind. Dadurch wird die Feinabstimmung zwischen den Tönen zerstört. So wird eine Oktave, die das Frequenzverhältnis  $1 : 2$  haben sollte nun leicht zu groß wiedergegeben, z.B.  $49 : 97$ . Dieses Verhältnis ist kompliziert und somit hört sich das Intervall krumm und schief an.

### 3.4 Die Tonarten

Als Tonart wird allgemein eine Stufenfolge von Tönen bezeichnet. Sie bauen auf einem Grundton auf (Tonika). Nach diesem werden sie auch benannt, z.B. D-Dur oder fis-Moll.

Die Tonart äußert sich in den Vorzeichen # und b. Hier ein Verzeichnis der üblichen Dur- und Molltonarten und ihren Vorzeichen:

#### Ohne Vorzeichen

- C-Dur und a-Moll

#### Kreuz-Tonarten

- G-Dur und e-Moll: Fis
- D-Dur und h-Moll: Fis/Cis
- A-Dur und fis-Moll: Fis/Cis/Gis
- E-Dur und cis-Moll: Fis/Cis/Gis/Dis
- H-Dur und gis-Moll: Fis/Cis/Gis/Dis/Ais
- Fis-Dur und dis-Moll: Fis/Cis/Gis/Dis/Ais/Eis

#### b-Tonarten

- F-Dur und d-Moll: B
- B-Dur und g-Moll: B/Es
- Es-Dur und c-Moll: B/Es/As
- As-Dur und f-Moll: B/Es/As/Des
- Des-Dur und b-Moll: B/Es/As/Des/Ges
- Ges-Dur und es-Moll: B/Es/As/Des/Ges/Ces

Dabei ist zu beachten, dass beispielsweise H-Dur und gis-Moll die gleichen Vorzeichen haben. Sie sind enharmonisch verwechselbar.

Doch was bedeutet Dur und Moll?

Dur und Moll werden als Tongeschlechter bezeichnet.

Dur (von lat. Durum = hart) ist die Tonart, bei der die Terz vom Grundton aus eine große Terz ist. Die C-Dur Tonleiter (C,D,E,F,G,A,H,C) hat vom Grundton C eine große Terz zu E, die kleine Terz wäre dis/es, die aber in der Tonleiter nicht vorkommt.

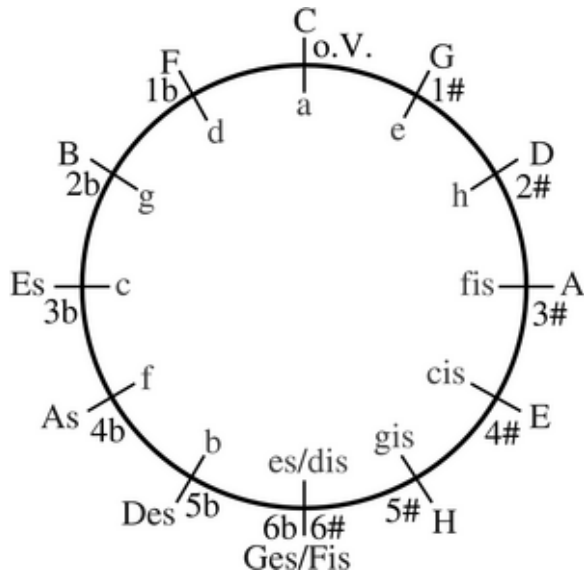
Moll (von lat. Mollis = weich) ist die Tonart mit einer kleinen Terz vom Grundton aus, also bei a-Moll A,H,C,D,E,F,G,A von A nach C.

Als enharmonische Verwechslung bezeichnet man das Umdeuten eines Tones in einen anderen um bestimmte Effekte zu erzielen. Deshalb ist beispielsweise gis in der heute üblichen Stimmung (Gleichstufige Stimmung) derselbe Ton wie as.

Diese Tonarten können nun im sog. Quintenzirkel angeordnet werden.

### 3.5 Der Quintenzirkel

Der Quintenzirkel ist eine grafische Veranschaulichung der Verwandtschaftsbeziehungen der Tonarten untereinander. Zwei Tonarten sind am ehesten miteinander verwandt, wenn sie im Abstand einer Quinte voneinander liegen.



Durch die enharmonische Verwechslung kann man die Tonarten in einem Kreis anordnen, denn so entsprechen sich fis-Moll und A-Dur.

Wir wissen nun, dass die Tonarten in Quintverwandtschaften stehen. Geht man in Quinten von C aufwärts, so erhält man: C - G - D - A - E - H - Fis - Des - As - Es - B - F - C

Dies sind die Tonarten auf dem Quintenzirkel im Uhrzeigersinn.

Das Verhältnis der Frequenzen bei einer Quinte ist 2 : 3. Es gibt 12 Quinten. Beim

Aufeinanderschichten von Frequenzverhältnissen muss man diese multiplizieren.

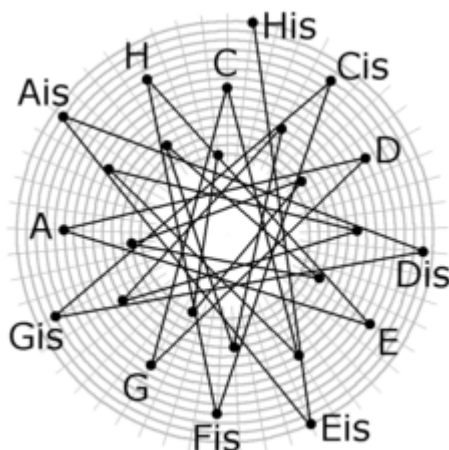
Das entstehende Frequenzverhältnis ist also:

$(3 : 2)^{12} = 129,75$  da man eigentlich nur 7 Oktaven nach oben gegangen ist müsste für das Intervall auch folgendes Frequenzverhältnis gelten :

$$2^7 = 128$$

Die Töne unterscheiden sich um das **pythagoreische Komma**. Es beträgt etwa  $74/73$ .

Will man die reinen Quinten in einer Form anordnen, so benutzt man die Quintenspirale:



Sie schließt sich nicht aufgrund des eben erwähnten pythagoreischen Kommas.

Womit wir auch schon bei unserer ersten Stimmung wären.

Dazu gehen wir zurück ins alte Griechenland zu einem gewissen Pythagoras von Samos.



#### **4. Stimmungssysteme**

Bevor wir uns die verschiedenen Systeme ansehen, sollten wir klären, was eine Stimmung überhaupt ist.

Wir haben ja im vorigen Kapitel die Frequenzen und Intervalle kennengelernt. Es gibt praktisch unbegrenzt viele Frequenzen. Wir können alle in einem Bereich von 20-20000 Hz wahrnehmen. Die Stimmung legt nun die Frequenzverhältnisse zwischen den Tönen fest.

Musik in ihrer einfachsten Form ist eine zeitliche Abfolge von Tönen. Für einen Ton ist seine Grundfrequenz charakteristisch. Da es auch in dem vom Menschen wahrnehmbaren Bereich unendlich viele Frequenzen gibt, musste man eine Auswahl treffen, da man kein Klavier mit unendlich vielen Tönen bauen kann und auf Blasinstrumenten die Tonfrequenzen durch die festen Löcher festgelegt sind. Es gibt jedoch Ausnahmen, z.B. die menschliche Stimme, Streichinstrumente, die Posaune, da man bei ihr keine festgelegten Löcher hat. Diese Auswahl von Tönen nennt man Stimmungssystem.

Alle Stimmungen basieren auf einem Ausgangston. Dieser ist der sog. Kammerton  $a_1$  und hat eine Frequenz von 440 Hz. Um nun z.B. in der reinen Stimmung den Ton  $d_1$  zu finden, muss man von  $a$  eine Quinte nach unten gehen. Die Quinte hat das Verhältnis 2:3, d.h.  $d$  hat die Frequenz  $440 \cdot \frac{2}{3} = 293,3$ .

So kann man alle Frequenzen berechnen.

Eine Stimmung eines Instruments sollte alle Intervalle rein festlegen. Doch das ist die Schwierigkeit : Es passt nicht!

### 4.1 Die Problematik der reinen Stimmung

Die reine Stimmung kann, bei einer festgelegten Frequenz für jeden Ton, nur für eine Tonart realisiert werden. Selbst in dieser Tonart gibt es dann noch Unstimmigkeiten. In anderen Tonarten kann man so überhaupt nicht spielen.

Man rechnet z.B. die Frequenzverhältnisse von C aus, wenn man für die Frequenz von C 100 Hertz annimmt (was nicht zutrifft, aber hier der Einfachheit halber so festgelegt wird); dann rechnet man dasselbe für E Tonleiter aus, wobei man dann als Grundfrequenz das von C errechnete E nimmt:

Ton	Frequenz von C rein (in Hz)	Frequenz von E (in Hz)	Differenz (in Herz)
C	100 = $100 \cdot 1$	100 = $125 \cdot 4/5$	0
Cis	106,6 = $100 \cdot 16/15$	104,1 = $125 \cdot 5/6$	2,5
D	111,1 = $100 \cdot 10/9$	112,5 = $125 \cdot 9/10$	1,4
Dis	120 = $100 \cdot 6/5$	117,2 = $125 \cdot 15/16$	2,8
E	125 = $100 \cdot 5/4$	125 = $125 \cdot 1$	0
F	133,3 = $100 \cdot 3/4$	133,3 = $125 \cdot 16/15$	0
Fis	140,6 = $100 \cdot 45/32$	138,8 = $125 \cdot 10/9$	1,8
G	150 = $100 \cdot 3/2$	150 = $125 \cdot 6/5$	0
Gis	160 = $100 \cdot 8/5$	156,25 = $125 \cdot 5/4$	3,75
A	166,6 = $100 \cdot 5/3$	166,6 = $125 \cdot 3/4$	0
Ais	177,7 = $100 \cdot 16/9$	175,8 = $125 \cdot 45/32$	1,9
H	187,5 = $100 \cdot 15/8$	187,5 = $125 \cdot 3/2$	0
C	200 = $100 \cdot 2$	200 = $125 \cdot 8/5$	0

Die reine Stimmung (auch als natürlich-harmonische bezeichnet) baut auf den reinen Frequenzverhältnissen auf, klingt aber nur in einer Tonart rein.

Man muss also Kompromisse eingehen. Diese Kompromisse in den Frequenzverhältnissen kann man entweder auf eine sehr entfernte Tonart abschieben, so dass alle Tonarten rein klingen außer einer, die jedoch dafür extrem schrecklich ist. Man kann auch den Fehler fein säuberlich auf alle Tonarten verteilen, so dass es sich im Großen und Ganzen noch passabel anhört, oder gewisse Tonarten bevorzugen und bei anderen Unreinheiten in Kauf nehmen. Dies hat man auch getan, die verschiedenen Lösungsansätze werden nun erklärt.

Für das eigentliche Projekt sind diese Stimmungssysteme weniger von Bedeutung. Man muss verstanden haben, warum man nicht einfach ein Instrument rein stimmen kann. Wenn man also im Folgenden nur Bahnhof und Abfahrt versteht, dann muss man nicht verzweifeln.

Es ist aber auch interessant zu erfahren, wie die Stimmungen sich seit dem alten Griechenland entwickelt haben.

Man sollte auch beachten, dass die Stimmungssysteme die hier vorgestellt werden nur die bedeutendsten sind. Es gibt aber zahlreiche Varianten.

## 4.2 Die pythagoreische Stimmung

Pythagoras glaubte die ganze Welt könne mit Hilfe der Mathematik errechnet werden. Von ihm stammt das Zitat "Alles ist Zahl".

Auch die Musik, so glaubte er, sei mit Hilfe der Zahlen zu berechnen. Dabei sind die wohlklingenden Intervalle solche, die sich mit einfachen Verhältnissen beschreiben lassen. Diese Verhältnisse wandte er am sog. Monochord an.

Ein Monochord ist ein Instrument mit einer Saite, die sich aufteilen ließ. War die ganze Saite der Grundton, so war die Hälfte die Oktave auf diesen. Dies erklärt sich folgendermaßen:

Die ganze Saite schwingt mit der Frequenz  $f_0$ . Wird sie nun halbiert, muss die Saite nur den halben Weg zurücklegen. Somit schwingt sie doppelt so schnell, ihre Frequenz verdoppelt sich auf  $f_0 \cdot 2$ . Also ist der entstehende Ton eine Oktave auf dem Grundton.

Man kann nun alle Töne erhalten, wenn man in reinen Quinten nach oben geht und am Schluss alles in eine Oktave bringt. Wie wir aber am Quintenzirkel gesehen haben, gibt es Schwierigkeiten. Das pythagoreische Komma bleibt übrig. Dieses Komma muss man nun von einer Quinte abziehen, die man dann selten benutzt.

Man stimmte 11 Quinten rein, die 12., die sog. Wolfsquinte war dafür sehr unrein. Man legte sie deshalb zwischen  $g_{is}$  und  $e$  oder zwischen  $h$  und  $f_{is}$ , also in eine entfernte Tonart, denn  $g_{is}$ -Moll und  $h$ -Dur jeweils 5 Vorzeichen haben.

In diesem System sind also fast alle Quinten rein, jedoch nimmt man keine Rücksicht auf die Terzen. Die kleinen Terzen wurden etwas zu klein und die großen etwas zu groß.

### 4.3 Die Mitteltontemperatur

Bis zum 14. Jhd. hatte man in allen Stimmungssystemen die reine Quinte als maßgebend angesehen (siehe Pythagoreische Stimmung).

Nun jedoch verweist man auf die Terz. Bis dato wurde diese immer als unreines oder nur gerade akzeptables Intervall angesehen. Sie ist mit einem Frequenzverhältnis von 3 : 4 nicht so konsonant wie die Quinte.

Addiert man aber 4 Quinten  $(2/3)^4$ , so erhält man **5,0625**, geht man von C aus erhält man C - G - D - A - E.

Geht man aber von C zwei Oktaven nach oben und dann eine Terz, so erhält man:  
 $2 \cdot 2 \cdot 4/3 = 5,33$ .

Die beiden Töne unterscheiden sich durch das syntonische Komma, das etwa 0,27 beträgt.

Dieses muss man nun geeignet verteilen, so dass man reine Terzen erhält, aber trotzdem die Quinten noch gut verträglich sind.

Eine Lösung, die vorgeschlagen wurde ist die  $1/4$ - **mitteltönige Temperatur**. Sie funktioniert folgendermaßen:

Das syntonische Komma wird gleichmäßig auf die 4 Quinten verteilt. Sie erklingen alle etwas zu niedrig, doch die entstehenden Terzen sind so gut wie rein. So temperiert man 11 Quinten des Quintenzirkels. Jedoch ergeben 12 dieser mitteltönigen Quinten (mit jeweils 696,5 Cent) nicht die 7 Oktaven (8400 C), sondern nur 8358 C. Die 12. Quinte ist so unrein, dass man sie nicht benutzen kann. Dies ist dann die Wolfsquinte der mitteltönigen Stimmung. Doch auch sie wurde benutzt, wenn auch nur aus Jux oder um sehr starke Emotionen auszudrücken.

Die mitteltönige Stimmung hat ihren Namen von der Tatsache, dass ein mitteltöniger Ganzton im geometrischen Mittel zwischen dem ursprünglichen Halb- und Ganzton zu liegen kommt.

Neben dieser  $1/4$  mitteltönigen Temperatur gibt es auch noch verschiedene andere, die uns bekannteste ist die  $1/6$  mitteltönige.

Dabei wird das syntonische Komma auf 6 Quinten verteilt. Dadurch sind die Quinten reiner, die Wolfsquinte ist weniger grausam, die Terzen klingen aber pythagoreischer, also zu groß.

#### 4.4 Die wohltemperierte Stimmung

Die wohltemperierten Stimmungen (es gibt einige Varianten) unterscheiden sich von den anderen Stimmungen dadurch, dass sie unregelmäßig sind.

Bisher gab es zwei Alternativen:

- man konnte den auftretenden Fehler in eine entfernte Tonart abschieben  
=>**Wolfsquinte**
- man konnte den auftretenden Fehler auf alle Tonarten gleichmäßig verteilen  
=>**keine reinen Intervalle außer Oktave**

Nun jedoch verteilte man den Fehler unregelmäßig auf die Tonarten. Dadurch konnten alle Tonarten passabel gespielt werden, doch es gab einige reine und alle hatten einen eigenen Klang.

#### 4.5 Die gleichstufige Temperatur

Die gleichstufige Temperatur ist die bei uns heute am häufigsten angewendete. Alle Klaviere werden heute nach ihr gestimmt.

Das Grundprinzip dieser Stimmung ist einfach: alle vorkommenden Intervalle sind gleich groß, der Fehler ist komplett auf alle Quinten verteilt. Das hat zur Folge, dass es außer der Oktave keine reinen Intervalle mehr gibt.

Dafür kann man aber in ihr alle Tonarten anwenden und es gibt keine Wolfsquinte. Jedes Intervall klingt in jeder Tonart gleich, wodurch man die Tonarten nicht voneinander unterscheiden kann. Viele Musiker kritisieren aber genau das. In den verschiedenen anderen Stimmungssystemen hatte jede Tonart einen eigenen Klang und Charakter.

Schauen wir uns doch einmal die Frequenzverhältnisse in der gleichstufigen Stimmung an. Dies funktioniert am besten mit den Centangaben, da man diese addieren kann.

Um die Oktave in 12 gleiche Halbtöne zu teilen muss man folgendes Verhältnis für jeden Halbton festlegen:  $\sqrt[12]{2}$

In Cent entspricht das 100 C (der Name Cent kommt daher, dass 1 C ein Hundertstel eines solchen Halbtons ist).

Das Verhältnis ist jedoch 1:1,059. Damit ist jedes Intervall außer der Oktave nur mit einem sehr komplizierten (und damit unreinen) Intervall ausdrückbar.

Wenn wir heute ein Stück aus Bachs "Wohltemperiertem Klavier" hören, so klingt es mit Sicherheit nicht so, wie Bach es gewollt hätte, denn er hat in seiner Komposition die Tonarten und ihre besonderen Eigenarten hervorheben wollen.

## **5. Das Programm**

Wie wir gesehen haben ist die reine Stimmung nur in einer Tonart möglich. Während des Stücks kann der Komponist aber die Tonart wechseln, was man modulieren nennt. In der gleichstufigen Stimmung ist es auch möglich ein Stück, wenn es zu hoch oder zu tief zum Singen ist, oder zu viele Vorzeichen hat, von Anfang an in einer anderen Tonart zu spielen, was man als Transponieren bezeichnet.

In der reinen Stimmung müsste man dazu jedes Mal das Instrument umstimmen, was nicht möglich ist.

Mit dem Computer aber kann es gehen. Es ist aber leider bisher nur auf dem Betriebssystem Windows XP möglich.

### **5.1 Die Idee**

Die Idee des Programms ist es, keine feststehenden Frequenzen für die Töne festzulegen. Dadurch ist das Problem, auf welchen Grundton man das "Instrument" stimmen will nicht vorhanden.

Gibt man ein Stück ein, dann wird der erste Ton vom Kammerton aus berechnet. Der zweite Ton wird dann von dem ersten aus berechnet, d.h. das Intervall, das man hört, ist rein. So kann jedes Intervall rein wiedergegeben werden.

Bleibt man dabei nur in einer Tonart, so kann man es auch durch eine feste, statische Stimmung bewirken. Beim Ändern der Tonart aber klängen die Intervalle nicht mehr rein.

Ändert sich im eingegebenen Stück die Tonart, dann tritt durch die Berechnung aller Intervalle dieser Fehler nicht auf. Die Frequenzen werden an die neue Tonart angepasst.

### **5.2 Bedienung des Programms**

Beim Aufrufen des Programms wird man gefragt, was man tun möchte.

Wählt man "Melodie eingeben", so muss man zuerst einen Pfad für das Stück eingeben, unter dem es dann auch gespeichert wird, z.B.

c:\Dokumente und Einstellungen\Lieddateien\sonate4.txt,  
bzw. den Namen, wenn man es in dem aktuellen Verzeichnis des Programms speichern will.

Nun kann man solange man will Töne bzw. Pausen eingeben.

Beim Eingeben des Tones muss man zunächst den Stammton (z.B. c, cis, b) angeben.

Die Oktave wird nun als Zahl eingegeben. Hier ein Verzeichnis der Oktaven:

Subkontra-Oktave	0
Kontra-Oktave	1
Große Oktave	2
Kleine Oktave	3
Eingestrichene O.	4
Zweigestrichene O.	5, usw.

Die Länge ist in Achteln anzugeben, dann kann man einen neuen Ton eingeben.

Wählt man "Ende und Speichern", so werden alle Frequenzen berechnet und das Stück unter dem eingegebenen Namen gespeichert.

Man kann es dann unter "Melodie laden" mit Eingabe des Namens laden und wiedergeben.

## **6. Ausblick und Möglichkeiten**

Installiert man dieses Programm auf Keyboards, so kann man diese so einstellen, dass sie ein Stück mit komplett reinen Intervallen in Echtzeit spielen können. Es gibt heute schon die Möglichkeit das Keyboard auf verschiedene Stimmungen einzustellen.

Das Berechnen muss während des Spielens für alle Töne geschehen. In Akkorden würden dann die Frequenzen dem Melodieton angepasst werden. Man müsste also auch ein Programm schreiben, das den Melodieverlauf verfolgt und den Melodieton aus dem Akkord herausfindet.

Eventuell könnte man Kontakt mit einem Keyboardhersteller aufnehmen und ihm das vorschlagen.

Ursprünglich war das Projekt so geplant, dass man ein Keyboard an den Computer anschließt und die Signale vom Programm verarbeitet und in Echtzeit wiedergegeben werden. Die erforderlichen Programmierkenntnisse sind jedoch enorm und man konnte sie kaum einfach so erlernen.

Die Lieder in dieser neuen Stimmung sollten sich eigentlich ziemlich gut anhören. Da unser Ohr jedoch an die gleichstufige Stimmung gewöhnt ist, könnte es sein, dass sich diese Stimmung nun ungewohnt anhört.

Diese Art des Stimmens hat natürlich als Vorteil die reinen Intervalle, die zu hören sind. Es gibt aber auch einen negativen Effekt.

Fängt das Lied mit einem a an, dann hat dieses die Frequenz 440 Hertz. Ändert sich aber in dem Stück die Tonart, dann müssen die Frequenzen angepasst werden um auch in der neuen Tonart rein zu klingen.

Hierbei kann es vorkommen, dass sich die Frequenz des Tones ändert, und am Ende das a die Frequenz 448 Hertz hat. Eigentlich ist das aber gar nicht schlimm, denn ein Intervall hört sich, unabhängig von den absoluten Tonhöhen, bei gleichen Frequenzverhältnissen gleich an.

Deshalb ist es theoretisch egal, dass die Frequenzen etwas abweichen können.

Es stellt sich auch die Frage, ob das überhaupt sinnvoll ist. Ein normaler Mensch ist kaum in der Lage die feinen Unterschiede zwischen den Frequenzen zu hören. Das heißt für die meisten Menschen wird sich ein a mit 440 Hz und eines mit 442 Hz gleich anhören.

Ein Intervall aber, das nur um wenige Cent abweicht wird er erkennen, denn für diese Unterschiede ist unser Ohr empfänglich. Für Menschen ohne musikalisch geschultes Gehör ist es meistens schwierig, die feinen Unterschiede herauszuhören.

## **7. Anhang**

1. Dieses Dokument und die "ausführliche" Kurzfassung

2. Das eigentliche Programm und der Programmquellcode als Textdatei

Es ist zu beachten, dass das Programm nur auf Windows XP einwandfrei läuft, und dass man den Pfad als Namen angeben muss, wenn sich das Programm nicht in dem gleichen Verzeichnis wie die Stücke befindet.

3. Die Setup-Datei des Compilers für den Quellcode des Programms.

4. Beispielstücke

Der Text dieser Textdokumente ist Unsinn, man muss sie mit dem Programm unter "Melodie laden" öffnen.

5. Frequenz.exe

Ein Programm zur Wiedergabe eines Tones best. Frequenz; läuft auch nur unter XP

5. Stücke (Ordner)

Wave-Dateien mit Beispielstücken in verschiedenen Stimmungen.

## **8. Quellen**

- [www.wikipedia.de](http://www.wikipedia.de)
- [www.pronix.de](http://www.pronix.de)
  
- Kaspar, Christa : Unterrichtssequenz über musikalische Temperatur  
Examensarbeit zur staatlichen Diplom-Musiklehrerprüfung an der  
Musikhochschule des Saarlandes, März 1991
- Musikalische Stimmungen auf Tasteninstrumenten  
(Eine bei der Schüler-Akademie entstandene Arbeit, erhalten von Margit-Becker  
Peters, die diese Schüler-Akademie mitbetreut hat)
- Wolf, Jürgen : C – Mit einfachen Beispielen programmieren  
Markt + Technik, 2003