

Siegfried's Homepage zu Musik

Siegfried-Maurer.net

Reine Stimmungen bei Tasteninstrumenten: Grenzen und Verbesserungen.

Siegfried's Homepage zu Musik: Hören und stimmen

Start **Hören und Stimmen** Kawai ES8 (MIDI) Quellen, Links und ©

Einstellungen

Welcher Klang? Sinus/Dreieck/Sägez./Rechteck: Piano

Lautstärke (Sinus/Dreieck/Sägez./Rechteck): 0.2 (Piano): 0.7

Welche Stimmung? reine-(C) gleichstufige- pythagoräische- mitteltönige- eigene Stimmung Kleine Intervalle

Hören (Tipps)

Dur 3-Klänge: C: C F G G7 G: G C D D7 D: D G A A7 A: A D E E7 E: E A H H7

Kadenz-Int. (ab [c]): C G D A E (diatonische-) Modulation: C->G->C C->G->D->A->E->H->Fis->Cs->Gs->Dis->Ais->Eis (F)

Kleine-Int. (ab [c]): SK (21.5 ct) [d] PK (23.5 ct) [d#] Halbohn (111 ct) [f] KGT (183 ct) [f] GGT (203 ct) [f#] GT (200 ct) [g]

Bourree_Noten_PDF Bourree Bourree gestimmt in C-Dur "rein" Bourree gestimmt in F-Dur "rein" Bourree F-Dur "rein+" Bourree F-Dur "rein++"

Choral_G_Noten_PDF BWV 99 G BWV 99 G (Stimmung G rein) BWV 99 G (Stimmung G rein+)

Präludium_C_Noten_PDF BWV 846 C BWV 846 C (Stimmung C rein) BWV 846 C (Stimmung C rein+) BWV 846 C (Stimmung C rein++)

Adagio_in_h_Noten_PDF Corelli h Corelli h (Stimmung h-rein) Corelli h (Stimmung h-rein+) Tempo: 1

Spiele n (Tipps)

Stimmen

stimm ein Zu stimmender: c' c# d' d# e' e' f' f# g' g# (a=440Hz) a# h' Ergebnis zeigen allOff

stimm ein PAUSE a'+d', stimme d' d'+g, stimme g a'+e', stimme e' Erg. zeigen eig. Stimmung verstimmen

reine (C), gleichstufige, eigene Stimmung	reine (C), gleichstufige, eigene Stimmung	reine, eigene Stimmung
c c# d d# e f f# g g# a a# h	c c# d d# e f f# g g# a a# h	g d' a' e'
Frequenzen der zweigestrichenen Oktave: 528 563 594 634 660 704 743 792 845 880 950 990 Hz	Frequenzen der einigestrichenen Oktave: 264 282 297 317 330 352 371 396 422 440 475 495 Hz	Frequenzen der kleinen Oktave: 132 141 149 158 165 176 186 198 211 220 238 248 Hz
Centwerte bezogen auf c (und a=900cent): 0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 cent		

Tasten für das Stimmen:
> +/- 1 cent
> +/- 3 cent
> +/- 5 cent

--- Impressum --- DSGVO --- © November 2020 by SKM, Lizenz: (CC) BY-NC-SA (CC Namensnennung-Nicht kommerziell).

Midi-Instrument: Kanalnummer 0
Piano 1: SX Concert Grand | EX Concert Grand | Jazz Clean | Warm Grand | Pop Grand
Piano 2: SX-5 Grand/Piano | Upright Piano | Pop Grand | Modern Piano | Rock Piano
E. Piano: Classic E. Piano | 60's E. Piano | Modern E. Piano | Classic E. Piano 2
Orgel: Drawbar Organ | Jazz Organ | Principal Oct. | Church Organ
Cembalo: Cembalo | Vibraphone | Clavi | Marimba
Streicher/Chor: Slow Strings | String Pad | Warm String | String Ensemble | Choir Oct/ah | Cov Aah | New Age Pad | Atmosphere
Bass & Guitar: Wood Bass | Electric Bass | Fretless Bass | W. Bass & Rose

Angeschlossenes Midi-Instrument:
Kawai ES8: PolyChange on | PolyChange off (zeigt auch ankommende System ex - Messages)
Midi-events: Show Midi-Events

--- Impressum --- DSGVO --- © musik@Siegfried-Maurer.net, November 2020, CC-Lizenz: (CC) BY-NC-SA (CC Namensnennung-Nicht kommerziell).

1 Einleitung

Ein A-capella-Chor, ein Streichquartett oder ein Streichorchester musizieren in „reinen“, „schwebungsfreien“ Intervallen – sofern sie nicht mit einem zu starken Vibrato die Genauigkeit der Tonfindung verschleiern. Tasteninstrumente ticken anders. Sie sind meist „gleichstufig“ (*) gestimmt. Außer der Oktave ist kein Intervall „rein“, „schwebungsfrei“.

Alle (statischen) Stimmungen auf Tasteninstrumenten, die ein Werk „rein“, „schwebungsfrei“ wiedergeben wollen, stoßen rasch an Grenzen.

Eine Auswahl solcher Stimmungen wird folgend kurz beschrieben und kann auf der Seite „Hören und Spielen“ interaktiv getestet werden.

Spielerisch kann mit dem „Stimmen einer Violine oder Klaviers“ die eigene Grenze des Hörens ausgelotet werden.

Eine „dynamische Stimmung“ („rein+“) wird abschließend vorgestellt und es kann in der „Hören und Stimmen“ Seite beurteilt werden, ob dieses Prinzip hörbar ist und eine Verbesserung „reiner Stimmung“ bei Musikinstrumenten ermöglicht.

(*) Keyboards und Digitalpianos haben heute oft die Möglichkeit außer der gleichstufigen Stimmung weitere einzustellen. Am Beispiel eines Digitalpianos Kawai ES8 ist das über die MIDI-Schnittstelle mit der Browser Oberfläche möglich. →Reiter „Kawai ES8 (MIDI)“

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	2
2	Stimmungen bei Tasteninstrumenten.....	3
2.1	Die physikalischen Einheiten für Töne: Hertz und Cent.....	3
2.2	Schwebung, Vibrato und Tremolo.....	3
2.3	Kommata, Kleine Intervalle, Abweichungen von reinen Intervallen.....	3
2.4	Reine Stimmung – Herleitung aus der Obertonreihe („Naturtöne“).....	4
2.5	Gleichstufige Stimmung – die mathematische Universallösung.....	7
2.6	Pythagoräische Stimmung – reine Quinten aus dem Quintenzirkel.....	8
2.7	Kirnberger III Stimmung – Änderung der pythagoräischen Stimmung: Kompromiss bei Quinten für reinere Terzen.....	9
2.8	1/4-Komma-mitteltönige Stimmung – viele reine große Terzen.....	10
3	Sind die Unterschiede der Stimmungen hörbar?.....	11
4	Wie gut kann ich selbst eine Violine oder ein Klavier stimmen?.....	11
5	Sind bei „realen Musikstücken“ die unreinen Intervalle der (statischen) reinen Stimmung relevant?.....	11
6	Der Versuch einer „dynamischen“ Stimmung, basierend auf der reinen Stimmung („rein+“).....	12
6.1	Analyse 1: Praetorius, Dances from Terpsicore XXXII. à 4 Bouree.....	12
6.2	Analyse 2: Choral aus BWV 99 „Was Gott thut, das ist wohlgetan“.....	13
6.3	Analyse 3: Präludium in C, BWV 846.....	13
6.4	Analyse 4: Corelli, Sonate für Violine in h-moll.....	13
6.5	Hermode Tuning.....	14
7	Zusammenfassung, Ausblick.....	15

2 Stimmungen bei Musikinstrumenten

Zunächst ein paar Grundbegriffe, ohne die es bei den folgenden Überlegungen nicht geht:

2.1 Die physikalischen Einheiten für Töne: Hertz und Cent

Den Kammerton a' kennt jeder mit „440 Hertz“. Das ist eine Frequenz f mit 440 Schwingungen pro Sekunde.

Das Intervall einer Oktave (Verdopplung der Grundfrequenz) hat dann von a' nach a'' (880 Hertz = 2*440 Hz) 440 Hz.

Von a'' nach a''' (1760 Hz = 2* 880 Hz) hat die Oktave eine Differenz von 880 Hz. Damit eignet sich die Einheit „Hz“ mit nicht für einfache Vergleiche von Intervallen.

Dafür eignet sich die Einheit Cent. Durch Logarithmieren wird aus einer Multiplikation eine Addition:

1 Oktave := 1200 Cent, 1 Halbton := 100 Cent (bei der gleichstufigen Stimmung).

Intervall f_1, f_2 [Cent] = $1200 * \text{LOG}_2(f_2/f_1)$.

2.2 Schwebung, Vibrato und Tremolo

Vibrato = Modulation der Frequenz (leichte Änderung der Tonhöhe eines Tones).

Tremolo = Modulation der Amplitude (Änderung der Lautstärke eines Tones).

Schwebung = Überlagerung zweier Frequenzen, die wenig voneinander abweichen.

Die Schwebung wird vom menschlichen Gehör ähnlich wie ein Tremolo wahrgenommen.

(->Wikipedia)

Das wird beim Stimmen verwendet:

Ist keine Schwebung mehr zu hören, sind zwei Töne gleich.

Unser Gehör hat nicht nur im Frequenzbereich des Hörens (20 Hz bis < 20 000 Hz) Grenzen sondern auch in der Wahrnehmung aufeinanderfolgender unterschiedlicher Tonhöhen (wenige Cent) und in der Beurteilung, ob es sich um ein kleines Intervall aus zwei Tönen handelt oder um „einen“ Ton mit einer Schwebung.

Erhöht sich der Unterschied der beiden Frequenzen, dann werden diese getrennt wahrgenommen und es entsteht zusätzlich ein (dann tiefer) „Kombinationston“.

Schwebungen werden nicht nur bei fast gleichen Tönen wahrgenommen, sondern auch bei Obertönen, also bei Oktaven, Quinten, Quarten usw. Genau dieses motiviert nach Stimmungen zu suchen, die möglichst reine („schwebungsfreie“) Akkorde ermöglichen.

2.3 Kommata, Kleine Intervalle, Abweichungen von reinen Intervallen

Cent	Bezeichnung Intervall	Frequenzverhältnis
19,5	DS Diaschisma Δ (3 Oktaven, 4 Quinten+4 gr. Terzen)	2048/2025
21,5	SK Syntonisches Komma Δ (GGT,KGT)	81/80
23,5	PK Pythagoräisches Komma Δ (12 Quinten, 7 Oktaven)	$(3/2)^{12} / 2^7 = 531441/524288$
41	DI Kleine Diesis Δ (1 Oktave, 3 gr. Terzen) oder:DS+SK	128/125
1,9537	Schisma Δ (PK,SK)	$(3/2)^{12} / 2^7 : 81/80 = 32805/32768$
1,955	- Δ (Quinte rein, Quinte gleichstufig)	$PK^{1/12}$

Abbildung 2-1: Abweichung von reinen Intervallen.

- Rein sind 22 von 26 möglichen Intervallen innerhalb der C-Dur Tonleiter.
- Nicht rein (Abweichung 21,5 Cent): Terz d-f, Quinte d-a, und dazu gehörende Komplementärintervalle: gr. Sexte f-d, Quarte a-d.
- Gar nicht rein (Abweichung 41 Cent): 12 Intervalle der chromatischen Erweiterung von C-Dur. Nur konsonante Intervalle betrachtet.
- In C-Dur sind die konsonanten Dreiklänge der Tonika: **C (C-E-G)**, Subdominante **F (F-A-C)** und der Dominante **G (G-H-D)** rein.
- Der dissonante Dominantseptakkord **G7 (G-H-D+F)** bekommt zum auflösungsbedürftigen Septakkord mit D-F noch zusätzlich eine zu kleine Terz.
- In der vorzeichenlosen Paralleltonart a-Moll sind Tonika **a (A-C-E)** und Dominante **e (e-g-h)** rein, die Subdominante **d(d-f-a)** wegen d-f und d-a unrein.
- C-Moll (Moll-Parallele zu Es Dur, 3 b) hat eine reine Moll-Tonika **c (c-es-g)** und Moll-Subdominante **f (f-as-c)** und eine unreine Moll-Dominante **g (g-b-d)**
- Bei Modulation nach G wird die Dominante von G-Dur: **D (D-Fis-A)** unrein, bei Modulation nach F-Dur wird die Subdominante von F-Dur: **B(B-D-F)** unrein.
- Bei Modulation um eine Doppeldominante von C nach D-Dur gibt es bereits unbrauchbare Abweichungen einer Diesis (41 Cent) im wichtigen Dominantakkord **A (a-cis-e)**
- Bei Stücken in C mit Modulation zur Doppeldominante sollte man daher die reine Stimmung in F in Erwägung ziehen. Alle entsprechenden Akkorde siehe Abb. 2-5!

Frequenzen der reinen Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen in Cent													Anhang A2, Seite 1						
C-Dur		c		d		e		f		g		a		h		c			
		GGT (9:8)			KGT (10:9)			HT		GGT (9:8)			KGT (10:9)			GGT (9:8)		HT (16:15)	
Stufe		Prim		Sekunde (II)		Terz (III)		Quart (IV)		Quinte (V)		Sexte (VI)		Sept. (VII)		Okt. (VIII)			
Anzahl Halbtöne		0		1		2		3		4		5		6		7		8	
Frequenzverhältnis		16:15		9:8 10:9		6:5		5:4		4:3		45:32 64:45		3:2		8:5		16:9 9:5	
reine Intervalle =>		111,73		203,91		315,64		386,31		498,04		590,22		701,96		813,69		884,36	
Grundton für Intervall		92,18		182,40		273,60		364,80		456,00		547,20		638,40		729,60		820,80	
Hz		cent		1 HT		GGT/KGT		kl Terz		gr. Terz		Quarte		Tritonus		Quinte		kl sexte	
C		0,00		C		111,73 cis		203,91 d		315,64 es		386,31 e		498,04 f		590,22 fis		701,96 g	
cis		281,60		111,73		92,18 d		203,91 es		274,58 e		386,31 f		478,49 fis		590,22 g		701,96 as	
d		297,00		203,91		111,73 es		182,40 e		294,13 f		386,31 fis		498,04 g		609,78 as		680,45 a	
es		316,80		315,64		es		70,67 e		182,40 f		274,58 fis		386,31 g		498,04 as		568,72 a	
e		330,00		386,31		e		111,73 f		203,91 fis		315,64 g		427,37 as		609,78 b		701,96 h	
f		352,00		498,04		f		92,18 fis		203,91 g		315,64 as		386,31 a		498,04 b		590,22 c	
fis		371,25		590,22		fis		111,73 g		223,46 as		294,13 a		405,87 b		498,04 c		609,78 d	
g		396,00		701,96		g		111,73 as		182,40 a		294,13 b		386,31 h		498,04 c		609,78 cis	
as		422,40		813,69		as		70,67 a		182,40 b		274,58 h		386,31 c		498,04 cis		590,22 d	
a		440,00		884,36		a		111,73 b		203,91 h		315,64 c		427,37 cis		519,55 d		631,28 es	
b		469,33		996,09		b		92,18 h		203,91 c		315,64 cis		407,82 d		519,55 es		590,22 e	
h		495,00		1088,27		h		111,73 c		223,46 cis		315,64 d		427,37 es		498,04 e		609,78 f	
Abweichung von reinen Intervallen in Cent (C-Dur)																			
reine Intervalle =>		111,73		203,91		315,64		386,31		498,04		590,22		701,96		813,69		884,36	
Grundton für Intervall		92,18		182,40		273,60		364,80		456,00		547,20		638,40		729,60		820,80	
Hz		cent		1 HT		GGT/KGT		kl Terz		gr. Terz		Quarte		Tritonus		Quinte		kl sexte	
C		0,00		C		0,00 cis		0,00 d		0,00 es		0,00 e		0,00 f		0,00 fis		0,00 g	
cis		281,60		111,73		92,18 d		-19,55 d		0,00 es		-41,06 e		0,00 f		-19,55 fis		0,00 g	
d		297,00		203,91		111,73 es		0,00 es		-21,51 e		-21,51 f		0,00 fis		0,00 g		19,55 as	
es		316,80		315,64		es		-41,06 e		-21,51 f		-41,06 fis		0,00 g		0,00 as		-21,51 a	
e		330,00		386,31		e		0,00 f		0,00 fis		0,00 g		41,06 as		0,00 a		19,55 b	
f		352,00		498,04		f		-19,55 fis		0,00 g		0,00 as		0,00 a		0,00 b		0,00 c	
fis		371,25		590,22		fis		0,00 g		19,55 as		-21,51 a		19,55 b		0,00 h		19,55 c	
g		396,00		701,96		g		0,00 as		-21,51 a		-21,51 b		0,00 h		0,00 c		19,55 cis	
as		422,40		813,69		as		-41,06 a		-21,51 b		-41,06 h		0,00 c		0,00 cis		0,00 d	
a		440,00		884,36		a		0,00 b		0,00 h		0,00 c		41,06 dis		21,51 d		41,06 es	
b		469,33		996,09		b		-19,55 h		0,00 c		0,00 cis		21,51 d		21,51 es		0,00 e	
h		495,00		1088,27		h		0,00 c		19,55 cis		0,00 d		41,06 es		0,00 e		19,55 f	
Abweichung 41 Cent		reine Intervalle		unrein in chrom. Tonleiter		rein innerhalb C-Dur		unrein innerhalb C-Dur		Dissonante Intervalle									

Abbildung 2-4: Reine Stimmung - Frequenzen und Abweichung von reinen Intervallen.

2.5 Gleichstufige Stimmung – die mathematische Universallösung

Eine Oktave mit dem Verhältnis 2:1 zum Grundton, setzt sich aus 12 Halbtönen zusammen.

$$\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = 2 \text{ Entsprechend ist in 12 Schritten auch } \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} \cdot \sqrt[12]{2} = 2$$

Wenn die Halbtönschritte alle gleich sein sollen und nach 12 Halbtönen die Oktave (2:1) erreicht sein soll, dann muss Frequenzverhältnis zwischen zwei Halbtönen genau $\sqrt[12]{2}$ sein, entsprechend 100 Cent.

Was wird mit der gleichstufigen Stimmung erreicht?

- Alle Tonarten klingen gleich.
- Nur die Oktave ist rein.
- Alle kleinen Terzen um 16 Cent zu klein, große Terzen um 14 Cent zu groß. Sie sind also hörbar unrein. Ebenso ihre Komplementärintervalle kl. / gr. Sexten.
- Quinten und Quarten sind mit 2 Cent Abweichung „fast“ rein. Bei 440 Hz entspricht das einem Unterschied von 0,5 Hz, einer sehr langsamen Schwebung, womit über Quinten und Quarten sogar gleichstufig gestimmt werden kann, sofern man die Änderung der Schwebung von den Tonhöhen berücksichtigt.

Die Frequenztabelle mit den Abweichungen bei den verschiedenen Intervallen zeigt, dass alle Tonarten hier „gleich“ behandelt werden:

		Frequenzen der gleichstufigen Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen in Cent											Anhang A2, Seite 3		
C-Dur		C	d	e	f	g	a	h	c						
		GGT (9:8)		KGT (10:9)		HT	GGT (9:8)		KGT (10:9)		GGT (9:8)		HT (16:15)		
Stufe	Prim	Sekunde (II)		Terz (III)		Quart (IV)		Quinte (V)		Sexte (VI)		Sept. (VII) Okt. (VIII)			
Anzahl Halbtöne	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
Frequenzverhältnis (rein)		16:15	9:8 10:9	6:5	5:4	4:3	45:32 64:45	3:2	8:5	5:3	16:9 9:5	15:8	2:1		
reine Intervalle ⇨		111,73	203,91	315,64	386,31	498,04	590,22	701,96	813,69	884,36	996,09	1088,27	1200,00		
Grundton für Intervall		92,18	182,40				609,78				1017,60	1107,82			
Hz	cent	1 HT		GGT/KGT		kl Terz	gr. Terz	Quarte	Tritonus	Quinte	kl sexte	gr. Sexte	kl. Sept	gr. Sept	Okt.
C	261,63	0,00	C	100,00 cis	200,00 d	300,00 es	400,00 e	500,00 f	600,00 fis	700,00 g	800,00 as	900,00 a	1000,00 b	1100,00 h	1200,00 c
cis	277,18	100,00	cis	100,00 d	200,00 es	300,00 e	400,00 f	500,00 fis	600,00 g	700,00 as	800,00 a	900,00 b	1000,00 h	1100,00 c	1200,00 cis
d	293,66	200,00	d	100,00 es	200,00 e	300,00 f	400,00 fis	500,00 g	600,00 as	700,00 a	800,00 b	900,00 h	1000,00 c	1100,00 cis	1200,00 d
es	311,13	300,00	es	100,00 e	200,00 f	300,00 fis	400,00 g	500,00 as	600,00 a	700,00 b	800,00 h	900,00 c	1000,00 cis	1100,00 d	1200,00 es
e	329,63	400,00	e	100,00 f	200,00 fis	300,00 g	400,00 as	500,00 a	600,00 h	700,00 h	800,00 c	900,00 cis	1000,00 d	1100,00 es	1200,00 e
f	349,23	500,00	f	100,00 fis	200,00 g	300,00 as	400,00 a	500,00 b	600,00 h	700,00 c	800,00 cis	900,00 d	1000,00 es	1100,00 e	1200,00 f
fis	369,99	600,00	fis	100,00 g	200,00 as	300,00 a	400,00 b	500,00 h	600,00 c	700,00 cis	800,00 d	900,00 es	1000,00 e	1100,00 f	1200,00 fis
g	392,00	700,00	g	100,00 as	200,00 a	300,00 b	400,00 h	500,00 c	600,00 cis	700,00 d	800,00 es	900,00 e	1000,00 f	1100,00 fis	1200,00 g
as	415,30	800,00	as	100,00 a	200,00 b	300,00 h	400,00 c	500,00 cis	600,00 d	700,00 es	800,00 e	900,00 f	1000,00 fis	1100,00 g	1200,00 as
a	440,00	900,00	a	100,00 b	200,00 h	300,00 c	400,00 cis	500,00 d	600,00 es	700,00 e	800,00 f	900,00 fis	1000,00 g	1100,00 as	1200,00 a
b	466,16	1000,00	b	100,00 h	200,00 c	300,00 cis	400,00 d	500,00 es	600,00 e	700,00 f	800,00 fis	900,00 g	1000,00 as	1100,00 a	1200,00 b
h	493,88	1100,00	h	100,00 c	200,00 d	300,00 d	400,00 es	500,00 e	600,00 f	700,00 fis	800,00 g	900,00 as	1000,00 a	1100,00 b	1200,00 h

		Abweichung der gleichstufigen Stimmung von reinen Intervallen in Cent (C-Dur)													
reine Intervalle ⇨		111,73	203,91	315,64	386,31	498,04	590,22	701,96	813,69	884,36	996,09	1088,27	1200,00		
Grundton für Intervall		92,18	182,40				609,78				1017,60	1107,82			
Hz	cent	1 HT		GGT/KGT		kl Terz	gr. Terz	Quarte	Tritonus	Quinte	kl sexte	gr. Sexte	kl. Sept	gr. Sept	Okt.
C	261,63	0,00	C	-11,73 cis	-3,91 d	-15,64 es	13,69 e	1,96 f	9,78 fis	-1,96 g	-13,69 as	15,64 a	3,91 b	11,73 h	0,00 c
cis	277,18	100,00	cis	-11,73 d	-3,91 es	-15,64 e	13,69 f	1,96 fis	9,78 g	-1,96 as	-13,69 a	15,64 b	3,91 h	11,73 c	0,00 cis
d	293,66	200,00	d	-11,73 es	-3,91 e	-15,64 f	13,69 fis	1,96 g	9,78 as	-1,96 a	-13,69 b	15,64 h	3,91 c	11,73 cis	0,00 d
es	311,13	300,00	es	-11,73 e	-3,91 f	-15,64 fis	13,69 g	1,96 as	9,78 a	-1,96 b	-13,69 h	15,64 c	3,91 cis	11,73 d	0,00 es
e	329,63	400,00	e	-11,73 f	-3,91 fis	-15,64 as	13,69 as	1,96 a	9,78 b	-1,96 h	-13,69 c	15,64 cis	3,91 d	11,73 es	0,00 e
f	349,23	500,00	f	-11,73 fis	-3,91 g	-15,64 as	13,69 a	1,96 b	9,78 h	-1,96 c	-13,69 cis	15,64 d	3,91 es	11,73 e	0,00 f
fis	369,99	600,00	fis	-11,73 g	-3,91 as	-15,64 a	13,69 b	1,96 c	9,78 c	-1,96 cis	-13,69 d	15,64 es	3,91 e	11,73 f	0,00 fis
g	392,00	700,00	g	-11,73 as	-3,91 a	-15,64 b	13,69 h	1,96 c	9,78 cis	-1,96 d	-13,69 es	15,64 e	3,91 f	11,73 fis	0,00 g
as	415,30	800,00	as	-11,73 a	-3,91 b	-15,64 h	13,69 c	1,96 cis	9,78 d	-1,96 es	-13,69 e	15,64 f	3,91 fis	11,73 g	0,00 as
a	440,00	900,00	a	-11,73 b	-3,91 h	-15,64 c	13,69 cis	1,96 d	9,78 es	-1,96 e	-13,69 f	15,64 fis	3,91 g	11,73 as	0,00 a
b	466,16	1000,00	b	-11,73 h	-3,91 c	-15,64 cis	13,69 d	1,96 es	9,78 e	-1,96 f	-13,69 fis	15,64 g	3,91 as	11,73 a	0,00 b
h	493,88	1100,00	h	-11,73 c	-3,91 cis	-15,64 d	13,69 es	1,96 e	9,78 f	-1,96 fis	-13,69 g	15,64 as	3,91 a	11,73 b	0,00 h

Abbildung 2-7: Gleichstufige Stimmung - Frequenzen und Abweichung von reinen Intervallen.

2.7 Kirnberger III Stimmung – Änderung der pythagoräischen Stimmung: Kompromiss bei Quinten für reinere Terzen

Der „Preis“ der pythagoräischen Stimmung für reine Quinten und Quarten wird mit unreinen Terzen hoch bezahlt. Insbesondere sind auch die Terzen innerhalb der C-Dur Stimmung um ein syntonisches Komma (21,5 Cent) verstimmt. Die hier gewählte Variante „Kirnberger III“ von optimierter Stimmungen (Kirnberger I, II, Werkmeister...) verschlechtert die Reinheit der vier Quinten: c-g-d-a-e: Diese Quintintervalle werden um ¼ des syntonischen Kommas verstimmt: 5,4 Cent. Die **Wolfsquinte** verschwindet ganz und die Terzen insbesondere innerhalb C-Dur werden rein oder verbessern sich auf eine Abweichung von 5,4 oder 10,8 Cent (statt 21,5 Cent). Ohne Tabellenkalkulation war das im 18. JH eine Meisterleistung! J.P. Kirnberger war Schüler von J.S. Bach. Bei bestimmten Musikstücken erweist sich diese Optimierung „wohltemperierter“ als „rein“, „gleichstufig“ und „pythagoräisch“. Sie steht in Konkurrenz zur mitteltönigen Stimmung, die große Terzen oft rein wiedergibt, das aber mit einer „kleinen“ Diesis (41 Cent) bei anderen Intervallen teuer „bezahlt“. Was ist besser? Wie so oft, es kommt auf das Stück an, welches wiedergegeben wird ...

Was wird mit der Kirnberger III Stimmung erreicht?

- **Quinten und Quarten sind um 0, 2 oder 5 Cent verstimmt, also „fast rein“. Es gibt keine „Wolfsquinte“.**
- **Terzen (und Sexten) innerhalb der C-Dur-Tonleiter um 0, 5 oder 11 Cent (bis 21,5 Cent innerhalb der chromatischen Tonleiter)**

		Frequenzen der Kirnberger III Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen in Cent										Anhang A2, Seite 5							
C-Dur		c		d		e		f		g		a		h		c			
		GGT (9:8)			KGT (10:9)			HT		GGT (9:8)			KGT (10:9)			GGT (9:8)		HT (16:15)	
Stufe		Prim	Sekunde (II)		Terz (III)		Quart (IV)		Quinte (V)		Sexte (VI)		Sept. (VII)		Okt. (VIII)				
Anzahl Halbtöne		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12					
Frequenzverhältnis (rein)		16:15	9:8	10:9	6:5	5:4	4:3	45:32	64:45	3:2	8:5	5:3	16:9	9:5	15:8	2:1			
reine Intervalle ⇨		111,73	203,91	315,64	386,31	498,04	590,22	701,96	813,69	884,36	996,09	1088,27	1200,00						
Grundton für Intervall		92,18	182,40																
		Hz	cent	1 HT	GGT/KGT	kl Terz	gr. Terz	Quarte	Tritonus	Quinte	kl sexte	gr. Sexte	kl. Sept	gr. Sept	Okt.				
C	264,00	0,00	C	90,22 cis	193,16 d	294,13 es	386,31 e	498,04 f	590,22 fis	696,58 g	792,18 as	889,74 a	996,09 b	1088,27 h	1200,00 C				
cis	278,12	90,22	cis	102,93 d	203,91 es	296,09 e	407,82 f	500,00 fis	606,35 g	701,96 as	799,51 a	905,87 b	998,04 h	1109,78 c	1200,00 cis				
d	295,16	193,16	d	100,98 es	193,16 e	304,89 f	397,07 fis	503,42 g	599,02 as	696,58 a	802,93 b	895,11 h	1006,84 C	1097,07 cis	1200,00 d				
es	312,89	294,13	es	92,18 e	203,91 f	296,09 fis	402,44 g	498,04 as	595,60 a	701,96 b	794,13 h	905,87 C	996,09 cis	1099,02 d	1200,00 es				
e	330,00	386,31	e	111,73 f	203,91 fis	310,26 g	405,87 as	503,42 a	609,78 b	701,96 h	813,69 c	903,91 cis	1006,84 d	1107,82 es	1200,00 e				
f	352,00	498,04	f	92,18 fis	198,53 g	294,13 as	391,69 a	498,04 b	590,22 h	701,96 c	792,18 cis	895,11 d	996,09 es	1088,27 e	1200,00 f				
fis	371,25	590,22	fis	106,35 g	201,96 as	299,51 a	405,87 b	498,04 h	609,78 c	700,00 cis	802,93 d	903,91 es	996,09 e	1107,82 f	1200,00 fis				
g	394,77	696,58	g	95,60 as	193,16 a	299,51 b	391,69 h	503,42 c	593,65 cis	696,58 d	797,56 es	889,74 e	1001,47 f	1093,65 fis	1200,00 g				
as	417,19	792,18	as	97,56 a	203,91 b	296,09 h	407,82 c	498,04 cis	600,98 d	701,96 es	794,13 e	905,87 f	998,04 fis	1104,40 g	1200,00 as				
a	441,37	889,74	a	106,35 b	198,53 h	310,26 c	400,49 cis	503,42 d	604,40 es	696,58 e	808,31 f	900,49 fis	1006,84 g	1102,44 as	1200,00 a				
b	469,33	996,09	b	92,18 h	203,91 c	294,13 cis	397,07 d	498,04 es	590,22 e	701,96 f	794,13 fis	900,49 g	996,09 as	1093,65 a	1200,00 b				
h	495,00	1088,27	h	111,73 c	201,96 cis	304,89 d	405,87 es	498,04 e	609,78 f	701,96 fis	808,31 g	903,91 as	1001,47 a	1107,82 b	1200,00 h				

		Abweichung der Kirnberger III Stimmung von reinen Intervallen in Cent (C-Dur)																	
reine Intervalle ⇨		111,73	203,91	315,64	386,31	498,04	590,22	701,96	813,69	884,36	996,09	1088,27	1200,00						
Grundton für Intervall		92,18	182,40																
		Hz	cent	1 HT	GGT/KGT	kl Terz	gr. Terz	Quarte	Tritonus	Quinte	kl sexte	gr. Sexte	kl. Sept	gr. Sept	Okt.				
C	264,00	0,00	C	-21,51 cis	-10,75 d	-21,51 es	0,00 e	0,00 f	0,00 fis	-5,38 g	-21,51 as	5,38 a	0,00 b	0,00 h	0,00 C				
cis	278,12	90,22	cis	-8,80 d	0,00 es	-19,55 e	21,51 f	1,95 fis	16,13 g	0,00 as	-14,18 a	21,51 b	1,95 h	21,51 C	0,00 cis				
d	295,16	193,16	d	-10,75 es	-10,75 e	-10,75 f	10,75 fis	5,38 g	8,80 as	-5,38 a	-10,75 b	10,75 h	10,75 C	8,80 cis	0,00 d				
es	312,89	294,13	es	-19,55 e	0,00 f	-19,55 fis	16,13 g	0,00 as	5,38 a	0,00 b	-19,55 h	21,51 C	0,00 cis	10,75 d	0,00 es				
e	330,00	386,31	e	0,00 f	0,00 fis	-5,38 g	19,55 as	5,38 a	19,55 b	0,00 h	0,00 c	19,55 cis	10,75 d	19,55 es	0,00 e				
f	352,00	498,04	f	-19,55 fis	-5,38 g	-21,51 as	5,38 a	0,00 b	0,00 h	0,00 c	-21,51 cis	10,75 d	0,00 es	0,00 e	0,00 f				
fis	371,25	590,22	fis	-5,38 g	-1,95 as	-16,13 a	19,55 b	0,00 h	19,55 C	-1,95 cis	-10,75 d	19,55 es	0,00 e	19,55 f	0,00 fis				
g	394,77	696,58	g	-16,13 as	-10,75 a	-16,13 b	5,38 h	5,38 c	3,42 cis	-5,38 d	-16,13 es	5,38 e	5,38 f	5,38 fis	0,00 g				
as	417,19	792,18	as	-14,18 a	0,00 b	-19,55 h	21,51 c	0,00 cis	10,75 d	0,00 es	-19,55 e	21,51 f	1,95 fis	16,13 g	0,00 as				
a	441,37	889,74	a	-5,38 b	-5,38 h	-5,38 c	14,18 cis	5,38 d	14,18 es	-5,38 e	-5,38 f	16,13 fis	10,75 g	14,18 as	0,00 a				
b	469,33	996,09	b	-19,55 h	0,00 c	-21,51 cis	10,75 d	0,00 es	0,00 e	0,00 f	-19,55 fis	16,13 g	0,00 as	5,38 a	0,00 b				
h	495,00	1088,27	h	0,00 c	-1,95 cis	-10,75 d	19,55 es	0,00 e	19,55 f	0,00 fis	-5,38 g	19,55 as	5,38 a	19,55 b	0,00 h				

Abbildung 2-9: Kirnberger III Stimmung - Frequenzen und Abweichung von reinen Intervallen.

3 Sind die Unterschiede der Stimmungen hörbar?

Das kann jeder für sich auf der Seite „Hören und stimmen“ ausprobieren. Alle Dur-Dreiklänge können per Tastendruck abgerufen werden. Musiker werden die PC-Tastatur bevorzugen, auf der auch mehrere Töne gleichzeitig abrufbar sind. Das geht auch mit „Touch“ auf einem Tablett.

Empfehlung, um die Unterschiede klar zu erforschen:

Reine Stimmung: C→F→G→C: rein, schwebungsfrei. D→G→A→D: D (D-Fis-A) und A (A-Cis-E) sind um 21,5 bzw. 41 Cent verstimmt. E→A→H→E: alle 3-Klänge haben 41 Cent Verstimmungen.

Gleichstufige Stimmung: C→F→G→C abwechselnd in reiner und gleichstufiger Stimmung spielen. Auch eine kleine Terz (Tastatur: Z,I) das a' bleibt gleich, c'' ändert sich hörbar. ...

Pythagoräische Stimmung: Wolfsquinte (h-fis): Tastatur: [J,5] oder als Quarte [5,U]. Abwechseln mit reiner Quinte / Quarte (C-G): [Q,T] oder [T-I]. Terzen (C-Es,C-E):[i,o],[i,0 null]...

Kirnberger III: Gleich wie pythagoräische Stimmung, um die Verbesserung zu hören. Die kleine Terz (C-Es) ist hier auch verstimmt. „Reiner“ ist die kl. Terz A-C (5 Cent zu klein).

Mitteltönige Stimmung: Leicht verstimmte Quinten (5 Cent), z.B. C-G. Hörbar? Wolfsquinte: As-Es [6,0].

Weitere „interessante“ Intervalle lassen sich in den Tabellen finden.

4 Wie gut kann ich selbst eine Violine oder ein Klavier stimmen?

Mit dieser spielerischen Methode, sich mit den Stimmungen auseinanderzusetzen, kann mit einer „eigenen Stimmung“ die Thematik akustisch ausprobiert und vertieft werden (→ „Hören und stimmen“). Die 11 Töne C bis H sind zufällig verstimmt und nach Auswahl des Tones, der verändert werden soll, kann mit +/- und den Cursortasten die Tonhöhe verändert werden. Alle oktavierten Töne werden automatisch mit verändert.

Falls man „rein“ stimmen möchte, wird eingeblendet, welche Intervalle beim gewählten Ton bei „reiner Stimmung“ rein sind. Das Ergebnis kann nach (oder während) des Stimmens visuell gezeigt werden.

5 Sind bei „realen Musikstücken“ die unreinen Intervalle der (statischen) reinen Stimmung relevant?

Vermutlich ja – ich fand kein Werk, in welchem (transponiert nach C-Dur) nicht eine unreine Terz D-F oder eine unreine Quinte D-A vorkam. Die Subdominant Parallele, der d-Moll Akkord (d-f-a) ist in C-Dur zwar ein Nebenakkord, kommt aber mindestens in Teilen fast immer vor, auch wenn Tonika, Subdominante und Dominante i.A. „dominieren“.

6 Der Versuch einer „dynamischen“ Stimmung, basierend auf der reinen Stimmung („rein+“)

Zwölf Quinten sind keine 7 Oktaven, 4 kleine Terzen ergeben keine Oktave ($6^4/5^4 = 2,0736 \neq 2$) usw. Die Forderung der Reinheit ist mit den gegebenen Zahlenverhältnissen mathematisch nicht lösbar.

- Der **Kompromiss bei statischen Stimmungen** von Tasteninstrumenten lautet also: „Nur maximal ein Teil ist ganz rein“ dafür gilt aber auch: „Manches ist (sehr) unrein“.

Meist wird in musikalischen Darbietungen keine neue Improvisation geboten, sondern es ist die Wiedergabe bekannter Stücke. Diese können auf „unreine“ Intervalle durchsucht werden, um diese dann zu korrigieren. Genau das habe ich in den 4 Beispielen versucht.

Generelle Vorgehensweise:

1. **Transponieren nach C-Dur**
2. **Zuordnung der Töne zu Akkorden (Tonika C (C-E-G), Subdominante F, Dominante G, den Moll Parallelen a (A-C-E), d (d-f-a) und e (e-g-h) ggf. auch Akkorde modulierter Tonarten).**
3. **Versuch der Auflösung von „Problemakkorden“ (z.B. d-Moll) durch Anheben oder Absenken von Teiltönen. Beispiel: d-Moll Akkord. Terz d-f ist zu klein, Quinte d-a ist zu klein, gr. Terz f-a ist rein. Korrektur: entweder d um ein SK absenken oder f und a um ein SK erhöhen. Bei der Entscheidung auf die Umgebung achten (Liegetöne usw. nicht verändern!).**
4. **Fokus auf konsonante Dreiklänge (gilt auch bei 4 oder mehr Tönen mit doppelten/oktavierten Tönen). Mehr als 3 unterschiedliche Töne sind grundsätzlich dissonant und damit nicht „schwebungsfrei“.**

Hinweis: „Reine G-Dur Stimmung“, das kann mit der WEB-Audio Schnittstelle hier so gelöst werden, dass von G nach C transponiert wird (5 Halbtöne) und „alles“ um 500 Cent nach unten ausgeglichen wird. Damit genügt die Implementierung einer reinen Stimmung (in C), die dadurch äquivalent zu einer reinen Stimmung in G wird. Mit der Transposition nach C-Dur kann auch immer nach den gleichen Problemintervallen gesucht werden.

6.1 Analyse 1: Praetorius, Dances from Terpsicore XXXII. à 4 Bouree

Das Original ist in C-Dur notiert. Siehe auch im Reiter Quellen & Links (1.1). Mit vielen Kreuzen ist z.B. in Takt 8 das Intervall E-Cis um 41 Cent verstimmt. Transponieren nach F-Dur reduziert insbesondere im 2. Teil die Anzahl der „Problemintervalle“. Wie im Hinweis oben gesagt, werden die transponierten Töne auf die ursprüngliche Lage korrigiert. Die ermittelten „Problemtöne“ werden dann um etwa ein syntonisches Komma korrigiert.

Die Noten.PDF enthält die Notation in C-Dur und F-Dur. Mit roten Pfeilen wird angegeben, welche Töne angehoben bzw. abgesenkt wurden. Änderungen werden auch farblich beim Abspiel Button angezeigt.

6.2 Analyse 2: Choral aus BWV 99 „Was Gott thut, das ist wohlgetan“

Original ist in G-Dur. Für Analyse und Wiedergabe wird nach C-Dur transponiert und die Wiedergabehöhe zurückkorrigiert.

Hier war wenig bei konsonanten Akkorden zu korrigieren (15 Töne). Das Fis in Takt 7 wurde auch im dissonanten a7 Akkord korrigiert – wiederkehrende Töne sollten die Höhe nicht ändern. Korrektur wieder ca. ein syntonisches Komma. (18 Cent: 3 Cent sind kaum hörbar und eine geringere Korrektur ist bzgl. Akkord-Lage im Tonraum weniger problematisch)

6.3 Analyse 3: Präludium in C, BWV 846

Die 33 Takt Variante des Präludiums wurde gewählt. Es sollte ein Stück sein, welches zwar von wechselnden Akkorden lebt – aber in Läufen. Die 2 Grundtöne werden im Präludium den halben Takt lang gehalten, der Rest sind 16-tel Läufe. Etwas aus Bach's „wohltemperierten Klavier“ darf bei Überlegungen zu reiner Stimmung nicht fehlen.

Hier gibt es 2 Varianten von Korrekturen.

Die erste (rein+) beschränkt sich auf die Korrektur des (konsonanten) d-Moll Akkords in Takt 13,

die zweite (rein++) korrigiert auch einige dissonante Akkorde, wenn unreine Intervalle auftreten. Hört man die Korrekturen der dissonanten Akkorde?

6.4 Analyse 4: Corelli, Sonate für Violine in h-moll

Für die (für nicht-Profis) einfachere Analyse wurde auch hier transponiert: nach c-Moll. Die reine C-Durstimmung passt auch für c-Moll recht ordentlich. Die Sonate ist für reine Stimmung aber eine Herausforderung, da sie (in der transponierten Version) von c-Moll nach C-Dur hin und her und jeweils darüber hinaus moduliert. Nach Korrektur der Töne (im Prinzip entweder den einen nach unten oder zwei nach oben) war das Ergebnis enttäuschend. Die empfundene Höhe der Akkordfolgen passte nicht mehr. Statt der Korrektur um +/-21,5 Cent klang eine Korrektur +/-10 Cent schon deutlich besser. Bei mindestens umfangreicheren Modulationen muss die Korrektur also „beidseitig“ gemacht werden.

Statt entweder „1 Ton nach unten“ oder „2 Töne nach oben“ erfolgte die Korrektur bei unreinen Akkorden im Stil: „1 Ton etwas nach unten UND 2 Töne etwas nach oben“.

Hinweis: Um rein von unrein unterscheiden zu können ist eine langsame Wiedergabe hilfreich, damit ein Akkord länger klingt. Eine Möglichkeit die Wiedergabegeschwindigkeit zu ändern wurde daher ergänzt.

Viel Spaß beim Hören der verschiedenen „(rein+) Versionen“ – auch mit den anderen Stimmungen!

6.5 Hermode Tuning

Im Notensatz Programm Capella (capella.com) können für die Wiedergabe verschiedene Stimmungen gewählt werden. Hermode-Tuning ist dabei keine Variante der statischen historischen Stimmungen, sondern eine adaptive Stimmung. Ursprünglich wurde Hermode Tuning für „klassische“ Orgeln entwickelt, inzwischen aber an PC et al angepasst.

Mit Capella, auch dem freien Capella Reader (PC, nicht iPad), kann die **Wiedergabe** eines Werkes auch mit der adaptiven Hermode Stimmung wiedergegeben werden. (Das entdeckte ich fast zufällig nach obigen Analysen).

Mit Capella Audite+ kann die Hermode Stimmung auch von einem angeschlossenen Midi-Gerät **interaktiv** gespielt werden. Bei meinem PC mit einer kurzen (störenden) Verzögerung.

Andere Notensatzprogramme beschreiben auch die Integration der Hermode Stimmung (Logic Pro (Apple), Cubase (Steinberg)...).

Bei Hermode.com wird einiges dazu beschrieben, auch mit Hörbeispielen. Der Algorithmus selbst ist bei dem patentierten Verfahren aber nicht veröffentlicht worden.

Da das Tuning dem Grunde nach auch in „Echtzeit“, vom Midi-Keyboad gesteuert funktioniert, muss es unter Vorgabe der Stilrichtung vermutlich aus bisherigen Noten auf zukünftig notwendige „Korrekturen“ (nächste statistische Problemintervalle) schließen. Eine Analyse der vergangenen und zukünftigen Akkorde ist ein anderer Ansatz, der hier vorgeschlagen wird.

7 Zusammenfassung, Ausblick

Verschiedene Stimmungen sind hörbar, bei Stücken wie der Corelli Sonate, die für reine Intonation besonders empfindlich ist, wird das besonders deutlich. Statische Stimmungen stoßen bei ihr und auch bei Werken größerer Modulationstiefe an Grenzen. Bei Zwölftonmusik wird niemand über reine Stimmungen nachdenken, sondern fraglos zur mathematischen Gleichstufigkeit der Stimmung greifen.

Eine nächste Stufe des oben versuchten Ansatzes, die „reine Stimmung“ dynamisch zu verbessern und an geeignete Stücke anzupassen, ist machbar.

1. Analyse eines Werkes für ein Korrekturprofil: Suche nach den „Problemintervallen“.

2. Korrektur von konsonanten Problemintervallen nach oben und unten mit den Kriterien:

- Töne unreiner Intervalle nach oben und unten korrigieren (im Konfliktfall in der Gesamtsumme um weniger als 1 SK, 21,5 Cent)
- Liegetöne dabei nicht (maximal unhörbar) ändern
- Tonwiederholungen in der Umgebung maximal „unhörbar“ ändern (je nach Tonhöhe wenige Cent)
- Gesamthöhe des Akkords maximal im „unhörbaren“ Bereich ändern.
- Auch dissonante Akkorde einbeziehen, insbesondere um die Tonlage und Liegetöne / Tonwiederholungen zu optimieren
- ...

Ein gespieltes Werk kann nach wenigen Tönen (vom Prozessor im Keyboard oder PC) erkannt werden. Damit kann eine Korrektur Optimierung abgerufen werden oder bei einem unbekanntem Stück gestartet werden, um bei einer Wiederholung zur Verfügung zu stehen. Das ginge im Wiedergabemodus und interaktiv.

Musikalisch Sinn macht alles indes nur, wenn der Klang dann mehr als die synthetischen Oszillatoren des PCs bietet und mehr als die mechanische, taktgenaue Tonabspulung einer Midi-Datei bietet. Musik ist mehr...

Ich hoffe trotzdem, zum Nachdenken und Auseinandersetzen von Grundlegendem zu Stimmungen bei Musikinstrumenten angeregt zu haben 😊

Siegfried Maurer

Quellenangaben: Wie in Reiter Quellen, Links und ©

(Links sind an den blauen Textstellen im PDF unterlegt, alle abgerufen 25.11.2020)

1. Ausgewählte, weiter bearbeitete Musikstücke:

1.1. Bouree XXXII. à 4 von Michael Praetorius [PDF-Export aus Capella \(nachbearbeitet\) Googlebooks](#),


1.2 BWV 99, Nr. 6: Choral "Was Gott thut das ist wohlgetan" J.S. Bach [PDF aus "Tobis-notenarchiv.de"](#)

1.3 BWV 846, Präludium in C aus dem wohltemperierten Klavier, J.S. Bach [PDF aus "Tobis-notenarchiv.de"](#)

1.4 Sonate für Violine und Orgel in h-moll, A. Corelli [PDF aus "Tobis-notenarchiv.de"](#)

[Tobis-Notenarchiv.de](#) ist ein empfehlenswertes und sehr umfangreiches Archiv (.PDF, .MID, .CAPX...) unter CC-

Lizenz: 

2. Die Tastatur-Klaviatur und den -Sound habe ich von [Keith William Horwood](#) (MIT-Lizenz, [Tutorial](#)) übernommen und modifiziert.

Links:

- Musiktheorie "physikalisch" (rein, gleichstufig, Frequenzen...)

-- Stimmungen, Frequenzen, Grundlagen [Wikipedia Tonstruktur](#), [Wikipedia Reine Stimmung](#), [kilchb.de](#)
[Hermode.com](#)

--Umrechnung Frequenzintervalle in Cent [sengpielaudio.com](#)

- Musiktheorie "musikalisch"

-- Harmonielehre, Funktionstheorie,...: [mu-sig.de](#), -> Harmonielehre, [wikipedia Funktionstheorie](#), -bei Bach,

-- Lehrklaenge.de: [Analyse von Bachs Präludium](#) und vieles mehr.

- Noten

-- viele Noten (PDF,mid. mp3,...): [IMSLP \(Rechte zu beachten!\)](#) [Hier das Bouree von Praetorius](#)

-- Midi-Dateien [telewerkstatt.at](#) (Mididateien können im WPlayer mit "synthetischem" sound abgespielt - aber auch in Notensatzprogrammen verarbeitet werden.)

- Technische Details

-- Midi Format (Schnittstelle zu Digital Pianos/Keyboards) [sequencer.de](#), [larsrichter-online.de](#)

-- Midi File Format (".mid") [music.mcgill.ca](#),

- Webseiten Erstellung

-- Webseitenvalidierung [w3.org](#)

-- HTML,CSS;Javascript HOW-TO [w3schools.com](#)

-- CSS, Javascript Wiki [selfhtml.org](#)

Programmiert habe ich diese Seite mit der Entwicklungsumgebung

-- [Visual Studio Code](#) und

-- [TypeScript](#) (Microsofts Aufsatz auf Javascript: Schon fast eine "richtige" Programmiersprache...) [html5/css...](#)

Für die externen Links von <https://Siegfried-Maurer.net>, die ich nicht auf Veränderungen kontrollieren kann, übernehme ich **keine Verantwortung**. Bei Problemen bitte ich um entsprechende Mitteilung, um Inhalte/Links von der Homepage zu entfernen.

Über Mitteilungen zu besprochener Thematik freue ich mich, auch falls eine Korrektur nötig sein sollte!

© musik@Siegfried-Maurer.net, November 2020, Creative Commons-Lizenz:



(Alles erlaubt, mit Quellenangabe, wenn nicht kommerziell)

Anhang:

A 1 Noten zu Hörbeispielen

A 1-1 Michael Praetorius (1571-1621), Dances from Terpsichore, **Bouree** XXXII. à 4

A 1-2 Johann Sebastian Bach (1685-1750), **Choral** „Was Gott thut das ist wohlgetan“ Aus Kantate BWV 99

A 1-3 Johann Sebastian Bach, **Präludium** in C-Dur Aus dem wohltemperierten Klavier 1. Teil BWV 846

A 1-4 Arcangelo Corelli (1653-1713) Aus Sonate 1 für Violine und Orgel: Adagio in h-moll (Op. 5 aus Nr. 1)

A2 Tabellen

A 2-1 Frequenzen der reinen Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-2 Frequenzen der reinen Stimmung in a-Moll mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-3 Frequenzen der gleichstufigen in C-Dur mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-4 Frequenzen der pythagoräischen Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-5 Frequenzen der Kirnberger III Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-6 Frequenzen der mitteltönigen Stimmung in C-Dur mit allen Intervallen und Abweichungen in Cent

A 2-7 Reinheit von Akkorden in verschiedenen Dur- und Moll-Tonarten bei reiner Stimmung in C-Dur

A 2-8 Akkordvarianten von C-Dur, c-Moll, Korrektur von ausgewählten Akkorden

A 2-0 MIDI Notenliste

