

Temperierung einer 20er Drehorgel

Wolf-G. Blümich

Zum Stimmen einer Drehorgel findet man für den Laien erst einmal verwirrende Angaben. Man kann natürlich einfach einer Anleitung folgen und mit Hilfe eines Stimmgerätes bestimmte Töne mit Abweichungen von soundso vielen Cent einstellen und sich damit dann zufrieden geben. Wenn man sich aber schon die Mühe gemacht hat, die Technik der Drehorgel beim Selbstbau bis in alle Einzelheiten zu verstehen, dann ist dieser Weg nicht befriedigend. Deshalb werden in einem separaten Artikel die Grundlagen der Tonleitern und Stimmungen bereitgestellt. Hier werden schließlich mögliche Temperierungen für die Drehorgel entworfen, verglichen oder analysiert. Sie können dann Grundlage für die Stimmung des Instrumentes sein.

1. Was macht man eigentlich beim Stimmen?

Vor dem eigentlichen Stimmen der Drehorgel muss man sich entscheiden, wie sie gestimmt werden soll. Obwohl man sich in großen Bereichen der Welt auf einen Kammerton A mit 440 Hz geeinigt hat, gibt es doch viele Möglichkeiten die weiteren Töne des Instrumentes in unterschiedlichen Frequenzverhältnissen zu diesem Ton einzustimmen und damit den Klang des Instrumentes beim Zusammenspiel verschiedener Töne zu gestalten. Diese Möglichkeiten bewegen sich zwischen zwei extremen Stimmungen, der reinen Stimmung und der gleichstufigen Stimmung. Die Tonfrequenzen für die reine Stimmung sind physikalisch ableitbar aus den Schwingungsmöglichkeiten einer Saite. Diese Stimmung ist nur für Instrumente geeignet, die nur eine Tonart spielen können und klingt recht harmonisch. Bei der gleichstufigen Stimmung werden die Tonfrequenzen nach einem mathematischen Verfahren berechnet, so dass alle Verhältnisse zwischen benachbarten Halbtönen gleich groß sind. Damit sind Instrumente in allen Tonarten spielbar, wobei es allerdings beim Zusammenspiel der Töne Schwebungen gibt, an deren Klang wir aber gewöhnt sind, weil inzwischen viele, insbesondere elektronische Instrumente nach diesem Verfahren gestimmt werden.

Beispiel C-Dur	Intervall zum Grundton	Gleichstufige Stimmung in Cent	Reine Stimmung			
			als Verhältnis	Verhältnis in Cent	Abweichung in Cent (gerundet)	
					bzgl. C	bzgl. A
C	Prime	0	1/1	0,0	0	16
D	Sekunde	200	9/8	203,91	+4	20
E	Terz	400	5/4	386,31	-14	2
F	Quarte	500	4/3	498,04	-2	14
G	Quinte	700	3/2	701,95	+2	18
A	Sexte	900	5/3	884,36	-16	0
H	Septime	1100	15/8	1088,27	-12	4
C	Oktave	1200	2/1	1200,0	0	16

Tabelle 1: Gleichstufige Stimmung mit Abweichungen zur reinen Stimmung

In der Tabelle 1 werden diese Stimmungen am Beispiel von C-Dur einander gegenüber gestellt. Weil Stimmgeräte (und auch Stimmprogramme für den PC) die Frequenzen der Töne bereits einprogrammiert haben, ist es nur noch notwendig die Abweichung des zu stimmenden Tones gegenüber dem Referenzton anzuzeigen. Anstelle von Tonfrequenzen in Hertz liest man also die Abweichungen der Tonhöhen in Cent ab. Bei der gleichstufigen Stimmung beträgt der Abstand zweier benachbarter Halbtöne immer 100 Cent. Ein Ganztonschritt hat 200 Cent. In der dritten Spalte der Tabelle 1 kann man somit gut die Folge von Ganz- und Halbtonschritten in der Dur-Tonleiter in der gleichstufigen Stimmung herauslesen. Bei der reinen Stimmung spielen nun Frequenzverhältnisse auf der schwingenden Saite eine Rolle, die aber auch in Cent umgerechnet werden können (5. Spalte). In sehr grober Näherung stimmen die Cent-Angaben der beiden Stimmungen überein. Je größer allerdings diese Abweichungen sind, desto stärker werden die Schwebungen in den Intervallen hörbar.

Wenn man nun ein Instrument in der gleichstufigen Stimmung stimmen will, muss man nur dafür sorgen, dass alle Töne so eingestellt werden, dass es keine Abweichungen mehr zu dem im Stimmgerät vorgegebenen Referenzton gibt. Ein Ton ist gestimmt, wenn die Anzeige 0 Cent zeigt. Dagegen muss man für eine reine Stimmung so stimmen, dass für jeden Ton die in der letzten Spalte der Tabelle 1 aufgeführten Abweichungen vom Referenzton angezeigt werden. Dann hat man beim Kammerton keine Abweichung zu anderen Instrumenten.

2. Mögliche Temperierungen der Drehorgel

Da die Drehorgel nur über die Töne C, D, Es, E, F, G, A und B verfügt, können auf ihr die Dur-Tonarten F und B intoniert werden. Damit kommt eine reine Stimmung nicht mehr in Frage, denn diese könnte nur für jeweils eine der beiden Tonarten realisiert werden. Aber man kann ja versuchen die Stimmung so zu temperieren, dass sie möglichst nahe an eine reine Stimmung heran kommt.

2.1 Das Problem mit dem G

Wenn man eine möglichst reine Stimmung der Drehorgel anstrebt, gibt es ein Problem mit dem G, das nun erläutert werden soll.

Den Zusammenhang zwischen den Töne kann man in einem Netz von Dreiklängen in einem Ausschnitt des Quintenzirkels darstellen (Tabelle 2), bei dem die beiden Grundtonarten B- und F-Dur von den direkten Nachbartonarten Es- und C-Dur eingerahmt werden. In diesem Ausschnitt werden alle Töne der Drehorgel erfasst.

Da die große Terz (386 Cent) und die kleine Terz (316 Cent) zusammen die Quinte (702 Cent) in der reinen Stimmung ergeben, erscheinen in der letzten Zeile die gleichen Töne wie in der ersten Zeile der folgenden Spalte. In den ersten beiden Zeilen kommt außer dem G jeder Ton der Drehorgel gerade einmal vor, so dass für diese Töne eine reine Stimmung möglich wäre, da die Beziehungen zwischen diesen Tönen eindeutig sind. Das geht aber nun leider nicht so einfach, weil das G zweimal vorkommt. Einmal liegt es 5 Quinten über dem Es und zum anderen eine große Terz über dem Es. Die fünf Quinten bilden ein Intervall von $4 \cdot 702 \text{ Cent} = 2808 \text{ Cent}$. Da eine Oktave 1200 Cent entspricht, liegt dieses G dann $2808 \text{ Cent} - 2 \cdot 1200 \text{ Cent} = 408 \text{ Cent}$ über dem Es. Das sind aber $408 \text{ Cent} - 386 \text{ Cent} = 22 \text{ Cent}$ mehr als es einer reinen großen Terz entspricht. Somit

gibt es für das G keine eindeutige Zuordnung einer Tonhöhe in diesem Tonraum. Die Differenz von 22 Cent entspricht gerade dem syntonischen Komma, das den Unterschied zwischen den beiden nur annähernd gleich großen Ganztonschritten in einer reinen Dur-Tonleiter bezeichnet. (Alle Rechnungen wurden hier mit gerundeten Werten durchgeführt.)

Es	Quinte	B	Quinte	F	Quinte	C	Quinte	G
gr. Terz		gr. Terz		gr. Terz		gr. Terz		
G	Quinte	D	Quinte	A	Quinte	E		
kl. Terz		kl. Terz		kl. Terz		kl. Terz		
B	Quinte	F	Quinte	C	Quinte	G		

Tabelle 2: Netz der Töne der Drehorgel (in Cent)

Folglich kann man zur Lösung dieses Problems nur nach einer Tempertur für die Stimmung suchen, die der reinen Stimmung möglichst nahe kommt.

2.2 Die optimale mitteltönige Temperatur

Zur Lösung des Problems bietet sich die mitteltönige Temmpertierung (siehe 2.1) an, denn sie kompensiert das syntonische Komma in Höhe von (genauer) 21,51 Cent gerade bei einem Sprung über vier Quinten (siehe Tabelle 2) und erhält die Reinheit der großen Terzen mit 386,31 Cent. Die Abweichung zur gleichstufigen großen Terz (400 Cent) ist dann -13,69 Cent. Bei der mitteltönigen Temperierung werden die Quinten jeweils um ein Viertel des syntonischen Kommas, also um 5,38 Cent, verkleinert. Sie sind dann anstatt 701,95 Cent (reine Quinte) nur noch 696,58 Cent (mitteltönige Quinte) groß und weichen um -3,42 Cent von der gleichstufigen Quinte (700 Cent) ab. Im Tonnetz werden die Abweichungen bezogen auf den tiefsten Ton Es summiert. Damit wird eine optimal auf den Tonumfang der 20er-Drehorgel abgestimmte Temperierung erreicht.

Es 0	Quinte -3,42	B -3,42	Quinte -3,42	F -6,84	Quinte -3,42	C -10,27	Quinte -3,42	G -13,69
gr. Terz -13,69		gr. Terz -13,69		gr. Terz -13,69		gr. Terz -13,69		
G -13,69	Quinte -3,42	D -17,11	Quinte -3,42	A -20,53	Quinte -3,42	E -23,95		
kl. Terz		kl. Terz		kl. Terz		kl. Terz		
B	Quinte	F	Quinte	C	Quinte	G		

Tabelle 3: Netz der Töne der Drehorgel (in Cent)

Auf Grund der Rundungen ergeben sich in den letzten Stellen minimale Abweichungen.

Zuerst werden nun die berechneten Abweichungen in der Tonfolge der Tonleiter sortiert. Sie gelten bisher für den Bezugston Es. Da man aber beim Stimmen vom Kammerton A

ausgeht, muss von allen Werten die Abweichung von A abgezogen werden, damit die Abweichung bei A zu Null wird ($-20,53 - (-20,53) = -20,53 + 20,53 = 0$).

Ton	C	D	Es	E	F	G	A	B
Abweichung in Cent	-10,27	-17,11	0	-23,95	-6,84	-13,69	-20,53	-3,42
Abweichung bzgl. A	10,26	3,42	20,53	-3,42	13,69	6,84	0	17,11
gerundet	10,3	3,4	20,5	-3,4	13,7	6,8	0	17,1

Tabelle 4: Mitteltönige Temperatur für eine 20er-Drehorgel (in Cent)

Schließlich kann man die Ergebnissen noch überprüfen, indem man die Abweichungen für die großen Terzen jeweils nachrechnet: Es-G ($6,8 - 20,5 = -13,7$), B-D ($3,4 - 17,1 = -13,7$), F-A ($-13,7$) und C-E ($-3,4 - 20,3 = -13,7$). So soll es sein!

2.3 Wohltemperierte Stimmungen

Bei den Temperaturen der wohltemperierten Stimmung ist es das Ziel, viele reine Quinten zu erhalten und trotzdem das pythagoreische Komma, im Quintenzirkel auszugleichen, so dann der Quintenzirkel sich schließt (siehe [1]).

2.3.1 Die Temperatur Werckmeister III

Andras Werckmeister (1681) hat mehrere Vorschläge für quintenoptimierte Temperaturen gemacht, von denen die Temperatur III am häufigsten verwendet. Hier sind die vier Quinten nach G, D, A und Fis um jeweils ein Viertel des pythagoreischen Kommas vermindert.

Ton	C	Cis Des	D	Dis Es	E	F	Fis Ges	G	Gis As	A	Ais B	H
Abweichung in Cent	12	2	4	6	2	10	0	8	4	0	8	4

Tabelle 5: Die Temperatur Werckmeister III

2.3.2 Die Temperierung von Walter Höffle

Im Baubuch zur Drehorgel (siehe [2]) wird folgende Stimmung vorgeschlagen:

Ton	C	Cis Des	D	Dis Es	E	F	Fis Ges	G	Gis As	A	As B	H
Abweichung in Cent	+6	+2	+2	+4	0	+6	2	+4	+2	0	+6	+2

Tabelle 6: Stimmungsvorschlag für eine 20er Drehorgel (Abweichungen in Cent)

Um einen Überblick über Abweichungen der Intervalle dieser Temperatur von den Intervallen der reinen Stimmung zu erhalten, werden die Abweichungen im Tonnetz dargestellt. Dann kann man erkennen, dass es sich um eine wohltemperierte Stimmung handelt, deren Temperatur dadurch gekennzeichnet ist, dass das pythagoreische Komma in Zwölfteln und Sechsteln auf die Quinten verteilt wird. Die Quinten zu Es, B und H sind

nicht vermindert, die zu Des, As, F, C, E und Fis sind um ein Zwölftel vermindert, die zu G, D und A um ein Sechstel.

	Es +4	+2	B +6	+0	F +6	0	C +6	-2	G +4
gr. Terz (rein: -14)	0		-4		-6		-6		
	G +4	-2	D +2	-2	A 0	0	E 0		
kl. Terz (rein: +16)	+2		+4		+6		+4		
	B +6	+0	F +6	0	C +6	-2	G +4		
Quinte (rein: +2)	+2		0		0		-2		

Tabelle 7: Die Höf fle-Temperatur im Tonnetz (in Cent)

Die Quinten sind annähernd rein, nur etwas zu klein. Die großen Terzen sind deutlich zu groß und folglich die kleinen Terzen entsprechend zu klein.

2.5 Die gleichstufige Temperierung

Ohne jede weitere Überlegung kann man sofort die Drehorgel gleichstufig stimmen. Mit Hilfe eines Stimmgerätes oder eines Computer-Programms werden alle Pfeifen für ihren Ton so abgestimmt, dass die Abweichung der Tonhöhe jeweils 0 Cent vom Referenzton des Stimmgerätes beträgt.

2.6 Alle Temperaturen im Überblick

In der Tabelle 8 werden die zuvor beschriebenen Temperaturen einander gegenübergestellt. Sie werden von den beiden Extremen, der gleichstufigen Temperatur in der ersten Zeile und den reinen Temperaturen für die beiden Tonarten der Drehorgel am Schluss der Tabelle, eingefasst.

Temperatur	C	D	Es	E	F	G	A	B
gleichstufig	0	0	0	0	0	0	0	0
Höf fle	6	2	4	0	6	4	0	6
Werkmeister III	12	4	6	2	10	8	0	8
mitteltönig	10	3	20	-3	14	7	0	17
rein B-Dur	16	-2	10	-	14	-4	0	12
rein F-Dur	16	-2	-	2	14	18	0	12

Tabelle 8: Alle Temperaturen im Überblick (Abweichungen in Cent)

Zuerst fallen die guten Übereinstimmungen der Abweichungen der beiden reinen Temperaturen am Tabellenende auf. Nur beim G wird das bei 2.1 erläuterte Problem der um das syntonische Komma unterschiedlichen Abweichungen von 22 Cent wieder

sichtbar. Das war ja der Anlass dafür, sich mit diesem Thema zu befassen.

Alle Temperaturen weisen die gleiche Modulation auf. Sie haben immer bei den Tönen ihre größeren Abweichungen, bei denen auch die reinen Temperaturen ihre größeren Abweichungen haben. Daran ist das Ziel aller Temperierungsversuche erkennbar, einen guten Kompromiss für die Stimmung chromatischer Instrumente zu finden. Nur die Stärke der Modulation nimmt bei den Temperaturen in der Tabelle nach unten hin zu.

Die Höffle-Temperatur kommt durch die kleinschrittige Aufteilung des pythagoreischen Kommas der gleichstufigen Temperatur recht nahe, was an den kleinen Abweichungen im Vergleich zu den reinen Temperaturen erkennbar ist.

Auch die Temperatur Werkmeister III ist ein Kompromiss, der darauf abgestimmt ist, alle Tonarten auf einem chromatischen Instrument spielen zu können und dabei möglichst reine Quinten zu haben.

Die an den Tonumfang der Drehorgel mit ihren zwei möglichen Tonarten angepasste mitteltönige Temperatur ist der mit Blick auf die Reinheit der Terzen optimale Kompromiss.

Welche Temperatur man nun für die Stimmung der eigenen Drehorgel nimmt, ist Geschmackssache. Fraglich ist, ob all diese Überlegungen eigentlich in der Praxis von Bedeutung sind, denn die Tonhöhe wird beim Spielen der Drehorgel auch noch durch den Luftdruck und die Anzahl der gleichzeitig erklingenden Pfeifen bestimmt. Aber interessant sind die Überlegungen trotzdem.

Weitere Informationen:

- [1] W.-G. Blümich: Stimmungen und Temperaturen, 2009
- [2] Walter Höffle, Bau einer Drehorgel, Eigenverlag, 2007