

Martin Kather: Über das Stimmen von Clavichorden

Teil 1

Es gibt viele Aspekte beim Stimmen eines Instruments. Dazu gehören etwas Theorie, musikalisches Verständnis, Einblicke in den Instrumentenbau, handwerkliches Geschick und viel praktische Erfahrung. Jeder, der wohl etwas über das Stimmen liest, wird dabei Aspekte finden, die ihn mehr oder weniger interessieren. Man muss von jedem der Aspekte etwas verstehen und am Ende hat es auch mit Fleiß zu tun. Das macht es auch schwierig, über das Stimmen zu schreiben. Um Tonverhältnisse und Temperaturen zu berechnen braucht man etwas Mathematik. Das interessiert aber nicht die, die einfach nur die passende Stimmung zu ihrem Instrument erklärt bekommen haben möchten. Und es heißt ja, dass jede Formel in einem Artikel potenzielle Leser abschreckt. Da eine Saite zum Beispiel aber nicht unendlich dünn ist, wie sie es sein müsste, damit alle Formeln in der Praxis auch funktionieren, benötigt man auch etwas Wissen aus der Physik. Das Stimmen in klimatisch ungünstigen Bedingungen erfordert auch Wissen über Biologie und Chemie, wenn man möchte, dass die Stimmung nicht jetzt, sondern in 3 Stunden perfekt ist, weil das Holz bis dahin jede Menge getan haben wird, um das Instrument zu verändern, oder Luft durch viele Zuhörer wärmer geworden ist und somit anders klingt.

Dann kommt schon mal die Frage, warum sich eine Orgel denn so schnell verstimmt. Meine Antwort verwundert dann meistens, nicht die Orgel habe sich verstimmt, sondern die sie umgebende Luft, weswegen wir andere Frequenzen wahrnehmen. Denselben Effekt können sie bei Blasinstrumenten haben, wenn sie während des Spiels gewisse Mengen an Alkohol trinken. Da sich ein Clavichord oder ein Cembalo allein durch ihr Eigengewicht verstimmen können, kann das auch nach einem ungünstigen Umstellen, ruckartigen Bewegungen oder einer Veränderung des Untergrunds passieren. Im allgemeinen aber könnte man sagen, dass das Stimmen überbewertet wird. Behauptet man das, hat man sowohl alle Stimmer, als auch alle Zuhörer gegen sich. Aber „überbewertet“ heißt ja nicht, dass man nur mittelmäßig, oder gar schlecht stimmen bräuchte, es würde schon niemand merken, nein, das Gegenteil ist der Fall. „Überbewertet“ bedeutet lediglich, dass es keine Zauberei ist. Viele Stimmer lieben es, wenn sie etwas können, von dem niemand etwas versteht, oder die Leute glauben zu lassen, man hätte ein gutes Gehör. Das führt dann zu so einem Unsinn im Internet, dass Leute behaupten 432 Hertz wäre besser als 440 Hertz. Wer so etwas behauptet, will entweder nur beeindrucken, oder veräppeln, wer das aber ernst meint, versteht nichts vom Stimmen. Dabei kann jedes menschliche Gehör, das nicht durch Krankheit oder Lautstärke geschädigt ist so viel hören (Quantität), dass der dazugehörige Kopf damit etwas anfangen- und stimmen kann (Qualität). Jeder, der mit verbundenen Augen jemand anderes anhand der Stimme erkennen kann, könnte vom Gehör her auch stimmen. Punkt.

Mit „könnte“ meine ich, dass es natürlich nicht ausreicht eben nur hören zu können. Das kann wie gesagt fast jeder, es gibt aber auch keine weiteren Geheimnisse. Es scheint mittlerweile fast eine Mode zu sein, durch die Gegend zu laufen und zu behaupten, wieder einen Tag erfolgreich geschafft zu haben, ohne den Satz des Pythagoras gebraucht zu haben. So gerne möchte man die Blockchain verstehen und mit digitalem Geld handeln, aber von Euclid, Pythagoras, und Leibniz,

habe man nie gehört. Damit schweife ich nicht wirklich vom Thema ab, denn bis ins 17. und 18. Jahrhundert war es so, sich in gebildeten Kreisen blicken zu lassen UND etwas von Mathematik zu verstehen. Wer Cembalo spielen konnte, damals, konnte auch stimmen, wer schreiben konnte, konnte auch Kiele, also Vogelfedern schneiden. Alles, wirklich alles, was man zum Stimmen an Wissen aus Mathematik und Physik, Biologie, Geographie, Psychologie und Organisation benötigt, ist seit tausenden von Jahren bekannt. Die Babylonier konnten vor 3-4 Tausend Jahren Wurzeln ziehen, also z.B. $\sqrt{2}$. Wenn sie heute die gleichstufige Stimmung mit 12 gleichen Teilen berechnen wollen, benötigen sie das. Euclid in seinen Elementen beschreibt und beweist die unendliche Menge der Primzahlen. Kann man daraus ableiten, wann sich unser heutiger Quintenzirkel schließt und warum oder warum nicht? Man kann! Pythagoras ist nicht nur für seinen berühmten Satz bekannt, er schrieb auch jede Menge über den Zusammenhang von Tönen und Klängen. Also, jeder der möchte, kann auch stimmen.

Beim Stimmen von Clavichorden geht es im Prinzip um mindestens drei Dinge:

1. Zum einen muss man sich für eine Stimmung entscheiden, die man normalerweise als Temperatur bezeichnet, oder auf Deutsch: „die gehörige Mischung“. Das sind einfach gesagt Anweisungen, oder Rezepte, wie die Töne untereinander aufzuteilen sind.
2. Dann gilt es, die beste Stimmtonhöhe zu finden - oder zu beachten, was sich im Prinzip nach dem Instrument, seinem Zustand, den Saiten und auch dem Geschmack richtet, wobei die Physik nicht jeden Geschmack zulässt, Dinge können auch reißen, und zu wenig gespannte Saiten halten die Stimmung schlecht.
3. Und schließlich muss man das Ganze auch noch ausführen, also tatsächlich Wirbel drehen, Saiten dämpfen oder andere Dinge tun.

Also gilt auch hier, man wird das Klavierspielen nicht durch den Besuch von Konzerten erlernen.

1a. Warum MUSS man temperieren?

365 Tage à 24 Stunden ergeben nicht genau ein Jahr. Den Fehler muss man irgendwann, irgendwie wieder ausgleichen. Heutzutage tun wir das alle vier Jahre mit dem Schaltjahr, indem diesem speziellen Jahr ein weiterer Tag hinzugefügt wird. Täten wir das nicht, würden sich allmählich die Jahreszeiten verschieben. Dann müsste man es entweder so lassen, dann wäre Weihnachten irgendwann im Sommer, (für die auf der Nordhalbkugel), oder müsste irgendwann gar ganze Wochen oder Monate einfügen, je nachdem wie lange man gewartet hat. Als zur Zeit Julius Cäsars um 46 v.u.Z das Schaltjahr eingeführt wurde, musste man einen ziemlich großen Fehler korrigieren und das Jahr hatte 445 Tage. Drei Zusatzmonate wurden einmalig eingeführt. Aber auch dieser Kalender war noch ungenau, so dass um 1500 schon wieder 10 Tage Abweichung entstanden waren. Noch in 1908 kamen russische Sportler fast 2 Wochen zu spät zur Olympiade nach London. Als sie am 10. Juli antreten sollten, war dort schon der 23. Juli.

Diesem ganzen ähnlich, ergeben 12 Quinten keine Oktave, oder genauer, ein Vielfaches der Oktave. Und auch hier hat es lange sehr unterschiedliche Arten gegeben, diesen Unterschied oder wenn man möchte Fehler auszugleichen. Wenn sie an anderer Stelle, oder später als geplant

ausgleichen, und dann ein Gis statt ein As stimmen, der Musiker aber ein As erwartet, kann das ähnlich fatal klingen, wie ein zu spät kommen fatal im Kalender ist. Im Gesang und bei allen Instrumenten ohne festgelegte Tonhöhe konnte man immer schon alle Töne nacheinander rein singen oder spielen, solange man unisono und einstimmig musizierte. Sobald aber eine Mehrstimmigkeit und feste Tonhöhen in der Oktave aufkamen, musste man sich etwas einfallen lassen. Wenn man jetzt also, wie wir es tun, die Oktave als das Maß annimmt, in das alle Töne passen müssen, dann müssen wir folglich den Unterschied irgendwie aufteilen. Man kann das wie mit dem Schaltjahr machen und den gesamten Fehler auf einen einzigen Tag packen, oder hier auf eine einzige Quinte, oder ein paar Terzen und alle anderen unberührt lassen, man hat aber in der Musik auch unendlich viele andere Möglichkeiten.

1b. Worum geht es beim Temperieren?

Hier können wir uns den Spaß von etwas Zahlentheorie erlauben. Bereits Euclid und Pythagoras haben das beherrscht, es sollte also nicht zu kompliziert werden, es sei denn, Sie gehören zu denen, die stolz darauf sind, alles Wissen aus der Schule wieder verlernt zu haben, „da sie es ja sowieso später im Leben nie wieder brauchen werden“; so hörte ich es auf der Abifeier meines Sohnes in der Anrede einer Schülerin. (Wir schreiben das Jahr 2022). Es kann unter Umständen helfen, im folgenden neben einer Klaviatur zu sitzen, um immer alle Quinten und Terzen, die im Text erwähnt werden mit verfolgen zu können. Ein modernes Klavier mit 7-8 Oktaven eignet sich dafür besonders gut.

Dass man sich überhaupt für eine Stimmung entscheiden muss, ist nicht jedem klar. Das habe ich in vielen Jahren Kontakt zu Kunden erlebt. Manche denken, in der heutigen Zeit, auf dem modernen Computer gäbe es die eine, die einzige (mittlerweile entdeckte) perfekte Temperatur und nur dieser jener Rechner könnte das auch perfekt kontrollieren und überprüfen. Das ist natürlich Unsinn, genauso unsinnig, wie es keinen einzigen über allem stehenden Stimmtone gibt, der besser als alle anderen ist. Es ist durchaus nicht so, dass es die eine beste Stimmung gibt, weder auf dem Papier, noch im Instrument, weder auf dem Rechner, noch nach dem Gehör und das gilt eben auch für alle Stimmtöne, aber davon später mehr. Auch gibt es keine Steigerung in der Qualität einer Temperatur. Da alle Temperaturen im Prinzip schon im Ansatz da sind, kann man sie nur noch entdecken, oder aufschreiben. Im Prinzip weiß man alles, was es zu wissen gibt seit über 2.500 Jahren. Temperaturen sind heute nicht besser, als damals. Da ist die Erkenntnis, wie sich Klang zusammen setzt und welche Teiltöne es gibt. Dann folgt schnell, dass es unendlich viele Stimmungen gibt und das meine ich wörtlich. Weder der Quintenzirkel, noch ein Zirkel aus großen Terzen wird sich jemals schließen; mit Kombinationen aus beiden gibt es unzählige Möglichkeiten, eine Stimmung zu entwerfen. Auf dem Computer mit den vielen hunderten bekannten Stimmungen gibt es also nur einen minimalen Teil der möglichen Stimmungen, oder anders gesagt, fast alle Temperaturen sind bisher noch gar nicht aufgeschrieben. Eine endliche Zahl von Stimmungen wirkt neben einer unendlichen immer winzig.

Dass sich unser Quintenzirkel niemals schließt und auch die Terzen das niemals tun werden, ist auch schon seit über 2.500 Jahren bekannt und sollte einer kleinen Erklärung bedürfen. Alle Verhältnisse von Quinte, Terz, und Oktave zum Grundton, der Prime, ergeben sich aus Primzahlen, vielfachen derselben; die Oktave mit der Primzahl 2, die Quinte mit der 3 und die große Terz mit der 5. Vielfache davon, also $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 \dots 3_n$ (der Faktor endet immer entweder auf einer 1, einer 3, einer 9, oder einer 7) oder $5 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 \dots 5_n$ (endet immer auf einer 5) können also niemals auf vielfaches der Oktave treffen, $2 \cdot 2 \cdot 2 \cdot 2 \dots 2_n$ (Faktor endet immer entweder auf einer 2, einer 4, einer 8 oder einer 6). Das sind Eigenschaften von Primzahlen. Wer gerne ein wenig selber nachrechnet, sollte nicht den Fehler machen, zu denken vier Quinten wären $4 \cdot 3$, das wäre dann nämlich $3+3+3+3=12$, und heraus käme eine gerade Zahl. Vier Quinten errechnen sich aber aus $3 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 3^4 = 81$. Die Annahme, der Quintenzirkel würde sich irgendwann schließen, hätte zur Folge, dass die beiden sich ergebenden Töne oder Frequenzen irgendwann identisch wären, ein His gleich einem C wäre, denselben Wert hätte. Teilt man zwei gleiche natürliche Zahlen größer Null durcheinander, egal welche, ergibt das immer 1. Zwei gleiche Zahlen müssen aber immer alle einzelnen Ziffern gemeinsam und an derselben Stelle haben, also auch die letzte, von der wir eben gezeigt haben, dass sie nicht identisch sein können, da vielfache von 3, d.h. 3^x immer ungerade sind, (dran denken, nicht $3 + 3 = 6$ also gerade, sondern $3 \cdot 3 = 9$, also ungerade) und so als Endziffer immer eine ungerade Zahl haben. Und vielfache von 2 sind immer gerade, haben als letzte Ziffer immer eine gerade Zahl. Ein Quotient dieser beiden Zahlen kann also niemals 1 sein und somit schließt sich der Quintenzirkel nie. Das ist gewissermaßen ein Beweis durch Widerspruch.

Jetzt stehen wir vor der Tatsache, dass es unendlich viele Möglichkeiten gibt eine Temperatur, eine Mischung oder eine Stimmung zu entwerfen. Das könnte abschreckend sein, aber im Grunde ist es befreiend, denn keine einzige von denen ist DIE richtige Stimmung. Es gibt Musiker, die stimmen jeden Tag anders, jeden Tag eine andere Stimmung. Und das schöne ist, dass man dafür gar nicht rechnen muss, keine Centwerte finden, keine Brüche rechnen muss. Aber um dahin zu kommen, muss man erst noch ein paar Dinge verstehen. Da ist zum einen die Frage, woher sich überhaupt die Anzahl der Tasten auf einem Instrument ergibt.

1c. Woher stammt also die Anzahl der Tasten auf dem Clavichord?

Clavichorde haben meistens zwischen 8 und 19 Töne pro Oktave. Wer also der Überzeugung ist, dass unser Tonsystem ausschließlich 12 Töne, zwölf Tasten oder 12 Quinten in der Oktave hat, sollte lieber ein anderes Instrument lernen, oder umdenken.

Geht man ganz an den Anfang, könnte man sich fragen, wann der Quintenzirkel zum ersten Mal vortäuscht, sich zu schließen. Das wird viele überraschen, das passiert nämlich schon nach zwei Quinten. Ausgehend von C folgen G und D, und damit sind wir das erste Mal nahe dem C mit einem Fehler von einem Ganzton ($C - D$, oder $\frac{9}{8}$). Hier temperiert man noch nicht, stimmt das D zum C, lässt das G wie es ist und hat ein Zwei-Ton System, zum Beispiel jenes der Pauke, mit $C + G + C$. Hier sollte man vielleicht einwerfen, dass man für ein Tonsystem immer einen Ton mehr benötigt als Anzahl der Quinten. Das heißt für zwei Quinten benötigt man drei Töne, (zum Beispiel: $C - G - D$) für 7 Quinten 8 Töne, und 13 Töne um 12 Quinten darzustellen. Darum heißt unser Intervall aus sieben Tönen, die aus sieben Quinten gebildet werden Oktave und nicht

Septime. Darum hat eine Oktave sieben verschiedene, aber acht Töne. Heutzutage gibt es dafür den Begriff OBOE, „Off-By-One Error“. (Es gibt tatsächlich Leute, die sich im Internet darüber streiten, ob die Woche sieben oder acht Tage hat, ein berühmter deutscher Hund rief uns damals im Fernsehen immer zu: „bis Samstag in acht Tagen“. In Frankreich wird vermittelt, da gehen zwei Wochen über 15 Tage, (2 Wochen / *la quinzaine* , in zwei Wochen / *dans quinze jours*) dann hätte eine Woche also....) Zurück zum Zirkel:

Geht man nach zwei Quinten vom vorherigen D weiter, täuscht der Quintenzirkel das nächste Mal nach drei weiteren Quinten ein Treffen vor, oder insgesamt nach fünf Quinten, (wofür ich auch hier sechs Töne benötige) ausgehend von C - G - D - A - E - beim H, mit einem Fehler eines Halbtons (C - H oder $\frac{16}{15}$).

Auch hier temperiert man noch nicht, belässt alle Quinten bis E und stimmt das H auf C. Damit hat man ein 5 Tonsystem, bekannt auch als Pentatonik, mit C + D + E + G + A + C. (Wie oben: die Pentatonik benötigt sechs Töne für die Oktave, nicht fünf). Hiermit kann man bereits eine Tonleiter bilden und spielen.

Weiter geht's aber mit den Quinten, nach dem H kommt das Fis und dann das Cis, und schon wieder schließt sich der Quintenzirkel annähernd, diesmal nach sieben Quinten mit dem Fehler eines Halbtons (Cis - C oder $\frac{17}{16}$) also etwas besser als vorhin, der Fehler wird immer kleiner. Auch hier wird wieder nicht temperiert, das Cis zum C gestimmt und man erhält eine Tonleiter mit 7, oder wenn sie wollen 8 Tönen, G.A.H.C.D.E.Fis.G, die unserem G-Dur nahe kommt. Hätte man statt C beim F mit dem Zählen begonnen, hätten wir hier ein C-Dur. Wir befinden uns jetzt in der Zeit, wo tatsächlich schon Clavichorde gebaut wurden. Diese Klaviaturen haben dann Einfluss auf alle späteren Tastaturen mit mehr als 8 Tasten. Diese Tonleiter hat bereits Ganz-/ und Halbtonschritte, weswegen sich das spätere Tastenbild ergibt.

Aber auch hier muss man nicht aufhören und kann weitere Quinten hinzufügen, jedoch schließt sich der Zirkel erst wieder annähernd nach 5 weiteren Quinten, nämlich nach Cis - Gis - Dis - Ais - Eis - und endlich beim His, insgesamt nach zwölf Quinten. Diese zwölfte Quinte ist nun der 19ten Oktave so nah $\frac{3^{12}}{2^{19}}$, dass man anfangen kann, vom gleichen Ton zu sprechen. Rechnet man das aus, sieht man, dass $\frac{531.441}{524.288}$ oder $\frac{His}{C}$ herauskommt. Diesen Bruch finden wir auch schon bei Euclid. Daran erkennt man, dass His höher klingt als C. 531.441 ist größer als 524.288. Die heute übliche Dezimalschreibweise hat den Vorteil, dass man besser schätzen kann, wie viel größer das His ist, nämlich $\approx 1,0136 \dots$ oder $\approx 1,4\%$ mal größer. Dem gegenüber sind Brüche genauer, es entstehen keine Rundungsfehler, die zu der Vermutung führen, dass sich der Quintenzirkel irgendwann schließt. Stimmt man nun dieses His auf C, hat man zum ersten Mal 12 Quinten, 11 reine Quinten und eine zu kleine, temperierte Quinte. (eine Wolfsquinte, nicht zu verwechseln mit der zu großen Wolfsquinte, die man bei der Stimmung mit großen Terzen erhält). Wenn man hier nach Mustern sucht kann man fündig werden. Bisher gab es Zusammenkünfte im Quintenzirkel nach der 2ten-, 5ten-, 7ten- und 12ten Quinte. (Muster: 2+5=7, dann 5+7=12, man zählt also die jeweils beiden vorherigen Zahlen zusammen, um zur nächsten zu gelangen, ähnlich der Fibonacci- oder der Lucas Reihe) Folgt man dem Muster, ahnt

man schon, wann sich die nächste Annäherung ergibt, nämlich nach $7 + 12$, also 19 Quinten, und die darauf folgende nach $12 + 19$, also 31 Quinten. All das haben Instrumentenbauer mit dementsprechenden Klaviaturen ausprobiert, gehalten haben sich Instrumente zwischen 2 und 19 Quinten. Das erklärt auch, warum wir auf einer Zwölfertastatur $2+3 = 5$ Ober-/ plus 7 Unter-, zusammen 12 Tasten (OBOE: $12 + 1$) haben, und nicht etwa $6+6$ Tasten. (Aber auch das hat es im 18. Jahrhundert schon gegeben, konnte sich aber nicht durchsetzen). Und das erklärt auch, warum eine Oktave in 12 und nicht in 13, 14, oder 11 Quinten geteilt wird. Es liegt also nicht an der Tatsache, dass man irgendwann festgestellt hat, dass 12 Halbtöne zufällig genau die richtige Anzahl von Tönen ist, mit einem Abstand, den man gut unterscheiden kann, sondern daran, dass sich der Quintenzirkel dort zum ersten Mal so eng annähert, dass eine Verteilung des Fehlers Sinn macht. Außerdem kann man in dem 12 er System sowohl physisch sichtbar auf der Klaviatur, als auch akustisch, die vorherigen Systeme 2, 5 und 7 unterbringen. Ein weiterer Beleg, der den natürlich gewachsenen Charakter dieser Teilung $2 + 3, 5 + 7 / 12$, zeigt.

Um die meisten angewandten Stimmungen zu verstehen, und um nachzuvollziehen, woher die weiteren Töne bis hin zum 19ten Ton in der Oktave kommen, muss man aber auch den Terzenzirkel kennen. Jetzt geht es also um die Zahl 5. Eine Frequenz fünfmal so hoch wie der Grundton ergibt den Klang einer Terz. Erhöht man den Grundton dann um zwei Oktaven erhalten wir den Bruch, mit dem wir für reine Terzen rechnen, $\frac{5}{4}$. Drei große Terzen nähern sich schon der Oktave (C - E - Gis/As - C) An dem „Gis/As“ sieht man, dass hier bereits geschummelt wird. Eigentlich müsste es C - E - Gis - His heißen, und dieses His ist ziemlich weit vom C entfernt. His ist übrigens nicht gleich His. Dieses His ist kleiner oder tiefer als C, das vorherige His, das sich durch 12 Quinten ergeben hat ist größer oder höher als C. Eine reine Großterz kann man mit 4 zu kleinen Quinten auffüllen, z. B. vom C aus zum E (Terz) folgendermaßen: C - G - D - A - E.

Gerechnet sieht das so aus: $\frac{3^4}{5 \cdot 2^4} = \frac{81}{80}$. Man sieht hier, dass die 4 Quinten viel zu hoch, bei 81 und nicht bei 80 landen. (Um die eine Terz (5) in die Nähe der 4 Quinten zu bekommen, muss man den Grundton noch mit 4 Oktaven malnehmen, daher die 2^4 in dem obigen Bruch.) Man muss also entweder 4 Quinten etwas zu klein machen, um eine reine Terz zu erhalten, oder den ganzen Fehler auf eine Terz laden, um 4 reine Quinten zu bekommen. In den späteren Stimmungen geht es meist um Mischungen aus beidem, d.h. etwas der Quinte stehlen und es der Terz geben und alles irgendwie in eine Oktave packen, aber davon später. (temperieren, „etwas gehörig mischen“)

Das sind aber auch schon alle Grundbedürfnisse, die man mit jeder Stimmung oder Temperatur hinzubekommen versucht. Im Prinzip geht es immer nur um die Quinten, oder die großen Terzen, die man versucht in eine Oktave zu passen. Das Problem bei den Terzen ist, dass der Fehler zwischen drei reinen Groß-Terzen und einer Oktave recht groß ist, und man somit die Wahl hat, zwei reine- und eine viel zu große-, eigentlich unbrauchbare Terz, oder drei mittelmäßig temperierte Terzen zu erhalten. $\frac{5^3}{2^5} = \frac{125}{128}$. Man sieht, dass drei reine Terzen mit 125 viel zu klein sind um auf die Oktave 128 zu kommen. Wer die reinen Terzen liebt, kann und muss nun seiner Klaviatur einfach weitere Tasten hinzufügen, also mehr als zwölf pro Oktave, solange bis alle gewünschten Tonarten zu haben sind. Das müssen natürlich nicht 31 sein,

können 13, 15, oder 19 Tasten sein. Instrumente mit 31 Tasten haben meiner Meinung nach experimentellen Charakter. Für ein derartiges Cembalo mit einem einzigen Register und 5 Oktaven Tonumfang benötigt man schon 156 ($= 5 \cdot 31 + 1$) Saiten, um jeden Ton, jede Quinte hörbar zu machen, das sind annähernd so viel, wie ein regulärer Kielflügel mit drei Registern und 5 Oktaven hat nämlich $3 \cdot 5 \cdot 12 + 3 \cdot 1 = 183$.

Bei einem gebundenen Clavichord hingegen kann man ohne weitere Saiten einige Töne hinzufügen, sie an vorhandene Saiten binden und so ohne weitere Chöre auskommen. Aber auch hier wären 31 Töne eine echte Herausforderung.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass bei einer Temperatur immer versucht wird auf prinzipiell drei Dinge zu achten: 1. Wie viele Tonarten möchte ich in welchen Farben gebrauchen, 2. wie verteile ich den Fehler der 12 Quinten, und 3. welche Terzen richte ich wie ein.

(Ende Teil 1)