

**ZUM TEMPERIEREN VON TASTENINSTRUMENTEN
IN DER ALTEN MUSIK**

VERSUCH EINER EINFÜHRUNG

Klaus Koenig

ANSTELLE EINES VORWORTS

Für meine Freunde
Dagmar, Jörg und Sepp

Ausgerüstet mit etwas Generalbass-Erfahrung an den Orgeln des schönen Weserberglands während meiner Schulzeit hatte ich das Glück, als junger Student bei dem Akustiker und Organologen Erich Thienhaus zwei Semester eher physikalisch orientierter Orgelkunde hören zu dürfen. Die Berührung mit der Orgel blieb auch im Berufsleben erhalten. Die Tonmeisterei erlaubt zwar nur mittelbar, elektroakustisch nachempfindend, den Zugang zum Instrument, doch häufige Kontakte mit den Adepts und Adeptinnen der Orgelzunft nach gehabter Aufnahmesession zeitigten zu später Stunde oft ebenso anregende wie unterhaltsame Stunden. Es stellte sich heraus, dass die Orgeljünger entgegen ihrem Ruf nicht nur durch die Bank von ihrem Metier besessen sind – das war zu erwarten – sondern zugleich die lustigsten Vertreter unter den Musensöhnen und –töchtern sind, die ich getroffen habe.

Doch auch die andere berufliche Schiene, das Klavierspiel, erlaubte, den Kontakt mit der Orgel aufrecht zu erhalten. Soll es doch heute noch immer – eher südlich orientierte – Regionen geben, in denen das einfache Wort „musicista“ wie ein Sesam-öffne-dich den Zugang zu historischer Orgelsubstanz gewährt.

Nie aber verliess mich der Wunsch nach weiteren Erkenntnissen in der Temperaturproblematik, sie in ihrer Gänze, von ihren Anfängen an, einmal überblicken zu können. Die Berührung mit dieser so vielschichtigen Materie beschränkte sich im Studium doch weitgehend auf den mehr oder weniger virtuosen Umgang mit allerlei Cent-Zahlen. Wie gern hätte ich damals eine einführende Arbeit zu diesem faszinierenden Gebiet in die Hand bekommen. Aber es fand sich nichts dazu auf dem Büchermarkt. Die Spezialisten, die diese Arbeit leisten könnten, kämpfen verbissen an vorderster Front um Cent-Zahlen, weit ab von den Grundlagen, die sich für sie ohnehin verstehen.

So musste ich eben selbst versuchen, zunächst für mich und einige Freunde, die auf gemeinsamen Orgelfahrten das gleiche nie erlahmende Interesse sowohl für die Klangwelt der Orgel als auch für ihre Kulturgeschichte bewiesen hatten, Fakten zusammen zu tragen, um eine Materie im Gesamtzusammenhang überblicken zu können, die heute wieder genau so aktuell ist, wie sie es durch Jahrhunderte gewesen ist. Eine Materie, die nach meinen über 40 jährigen Erfahrungen mit Musikern, nicht zuletzt auch Kirchenmusikern, zwar bei diesen seit einigen Jahrzehnten wieder lebhaftes Interesse erweckt, aber doch meist über die Kenntnis einiger häufig gelegter Temperaturen an ihren Orgeln oder Cembali nicht hinaus geht.

Hinsichtlich der Genauigkeit in der Darstellung der vielschichtigen Materie habe ich versucht, einen Mittelweg einzuschlagen: die Kenntnis der allerhäufigsten kulturgeschichtlichen Begriffe voraussetzend fand ich es andererseits angebracht, manch „Bildungsgut“, das – wie die eigene Erfahrung lehrt – dem Gedächtnis mit der Zeit halb und halb entschwinden kann, in aller Kürze neu einzuführen.

Meinen langjährigen guten Kontakten zu Herrn Dr. Bernhard Billeter, Zürich, verdanke ich die Mühen einer fachlichen Durchsicht dieser Arbeit, Korrekturen und Anregungen.

Zürich, im Dezember 2010.

1

Der Säulenschaft, auch die Triglyphe klingt,
ich glaube gar, der ganze Tempel singt.
(J.W.v.Goethe: Faust II, 2.Akt.)

Jeder Musikliebhaber, der sich einige Zeit mit dem Klavier beschäftigt hat, glaubt, die Grundlagen unserer europäischen Musik zu kennen. Die Oktave, ein akustisches Naturphänomen, das jeder Mensch infolge der grossen Ähnlichkeit mit dem Grundton sofort erkennt, gliedert den Tonraum. Jede Oktave ist in 12 gleich grosse Stufen unterteilt, in die sogenannten Halbtöne. Man spricht deshalb von der gleichstufigen Stimmung oder der gleichstufigen Temperatur. Der aus der älteren Literatur stammende, häufig verwendete Begriff der gleichschwebenden Stimmung meint dasselbe, ist aber physikalisch nicht ganz korrekt.

Jeder Halbton kann zum Grundton eines Akkords und einer auf diese Harmonie bezogenen Tonfolge werden. Es gibt also 12 tonale Zentren, 12 Tonarten. Sie unterscheiden sich nur durch die absolute Tonhöhe voneinander. Ob innerhalb der neuzeitlichen dur-moll-tonalen Harmonik oder ausserhalb eines Tonartenbezugs: das Klavier, jedes Tasteninstrument ist anscheinend in der Lage, allen Möglichkeiten der europäischen Musiksysteme gerecht zu werden.

In einem positivistischen, vom Hier und Jetzt ausgehenden Sinn ist diese Ansicht auch sicher richtig. In einer tieferen, die kulturhistorische Entwicklung unseres Kontinents und seiner Musik einschliessenden Sichtweise fehlt jedoch zum Verständnis und zur Darstellung der Musik, wie sie bis über die Mitte des 18. Jahrhunderts hinaus geschrieben und verstanden wurde, ein entscheidendes Faktum: die Kenntnis der philosophisch-theologischen Spekulationen, die seit den Anfängen der europäischen Kultur in Griechenland bis zur Aufklärung weit über die Musik hinaus in den Naturwissenschaften, Architektur, Philosophie und Religion ein kaum zu überschätzendes kulturgeschichtliches Element gebildet haben und noch im vergangenen Jahrhundert aufzuspüren sind. Und so stehen unsere modernen Tasteninstrumente zwar für eine bewunderungswürdig hochentwickelte Handwerkstechnik, Jahrtausende lang aber war eine gleichstufige Teilung der Oktave undenkbar, widersprach allen physikalischen Kenntnissen, die am Beginn unserer Musik stehen, widersprach allen philosophischen, religiösen und weltanschaulichen Vorstellungen.

Erst der Drang der Komponisten, die Beschränkungen der mittelalterlichen und nachmittelalterlichen Tonsysteme im Interesse der Nutzung möglichst aller 12 Tonarten zu durchbrechen, führte bei den Tasteninstrumenten mit der Zeit zur Einführung einer Unterteilung der Oktave in gleich grosse Halbtöne und damit zur Aufgabe eines viele Jahrhunderte, ja Jahrtausende alten Weltbildes, das die Musik in einen kosmischen Zusammenhang gestellt hatte.

Auf der klanglichen Ebene bedeutet die gleichstufige Teilung der Oktave den Verlust von akustischen Reizen, die von allem Anfang an die Musik des europäischen Kulturkreises begleitet hatten. Verloren gingen die eigentlichen Bausteine unserer Musik, die Naturtöne, genauer gesagt: die Naturtonintervalle. Die gleichstufige Stimmung enthält nur noch die Oktave als „reines“, als natürliches, in der Natur nachweisbares Intervall. Dieser Verlust mag für die Musik der Zeit nach Beethoven und

Schubert ohne Belang sein. Neues wird immer mit dem Verlust von Altem erkauft, und unser Ohr erweist sich zum Glück (oder zum Unglück?) als sehr tolerant.

Für die Interpretation „alter Musik“ – früher sprach man von der Vorklassik - bedeutet die gleichstufige Stimmung jedoch einen erheblichen, ja entscheidenden Verlust an Qualität. Ein wichtiger Teil der Komposition fällt wortwörtlich flach.

Instrumente mit ungleichstufigen Halbtonschritten geben den einzelnen „Tonarten“, wie wir sie seit der Barockzeit kennen, eine eigene Farbe. Es ergibt sich – abhängig von der jeweiligen „Temperatur“, der Vorgabe für die genaue Grösse der einzelnen Tonschritte - eine Tonartencharakteristik. Zwar noch nicht – wir kommen darauf zurück – bei der sogenannten „mitteltönigen“ Stimmung des 16. und 17. Jahrhundertes, sehr wohl aber nach Ablösung dieser Stimmung durch die ungleichstufigen des 18. Jahrhunderts. Der Hörer kann Modulationen durch den Tonartenkreis viel plastischer, dramatischer erleben als mit dem System gleicher Intervallabstände für alle Halbtöne. Und die Komponisten rechneten mit dieser Wirkung, sie komponierten sie.

In der Akkordik, im Besonderen bei lang gehaltenen Klängen, wie sie, im Gegensatz etwa zum Cembalo, vor allem für die Orgel typisch sind, kann zudem, wiederum abhängig von der spezifischen Temperatur, das Erlebnis reiner Naturtonintervalle zum Tragen kommen, zum Genuss werden. Quinte und grosse Terz waren in besonderem Masse im Blickwinkel der Musikwelt. In der antiken und mittelalterlichen Musiktheorie war es die reine Quinte, später die reine grosse Terz. Zwar gab es in der mittelalterlichen Musikpraxis Terz- und Sextparallelen. Aus volksmusikalischen Bereichen stammend fand die Terz aber nur langsam die Beachtung der Theoretiker, löste erst im 16. Jahrhundert mit dem Siegeszug der mitteltönigen Stimmung die Quinte als vornehmstes, quasi geheiliges Intervall ab.

Die Entdeckung der Naturtonreihe, ihre Verabsolutierung in einem spekulativen, dem „harmonikalnen“ Weltbild, ihr Gebrauch in den historischen Musiksystemen und die daraus erwachsende Notwendigkeit von temperierten Stimmungen für die Tasteninstrumente: es braucht mehr als ein paar Sätze, um diese Zusammenhänge zu erläutern. Und man muss weit zurückgehen in der Kulturgeschichte, bis zu den Anfängen im alten Griechenland. Wahrscheinlich noch weiter bis zu den frühen Hochkulturen des Zweistromlandes.

2.

From Harmony, from heav'nly Harmony
This universal frame began.
From Harmony to Harmony,
through all the compass of the notes it ran
the diapason closing full in Man.
(J.Dryden / G.F.Händel: Ode for
St.Cecilia's Day).

Zupft oder streicht man eine an ihren Enden eingespannte Saite, so gerät sie zwischen ihren Endpunkten ins Schwingen. Physikalisch gesprochen: zwischen zwei Wellenknoten entsteht ein Wellenbauch, der, zu seiner Eigenschwingung angeregt, einen Ton erzeugt. Je länger die Saite ist, desto tiefer ist ihr Ton. Die tiefere Saite kann durch ihre grösere Masse nur langsamer schwingen.

Umgekehrt proportional zur Länge einer Welle verhält sich die Anzahl der Schwingungen in einer bestimmten Zeit. Die Masseinheit Hertz (Hz) bezeichnet die Schwingungen pro Sekunde.

Eine Grafik ([Fig.3 im Anhang](#)) mag helfen, unsere Experimente zur Saitenteilung anschaulich zu machen.

Über das Rechnen mit Intervallen und über die Physik der Naturtonreihe werden wir später noch genauer sprechen. Einiges sei hier schon vorweggenommen.

Teilen wir die Saite in der Mitte, z.B. durch Niederdrücken mit einem Finger, so kann sie nur noch in zwei Hälften schwingen. Ein Anzupfen einer der Hälften erzeugt den Ton der Oktave zum Grundton der ganzen Saite. Wir machen also die höchst erstaunliche Entdeckung, dass das akustische Phänomen des Oktavklangs, von jedem Menschen auf Anhieb zu erkennen, einer zahlenmässigen Gesetzmässigkeit unterliegt, die einfacher gar nicht sein könnte: das Oktavintervall entsteht bei einem Saitenlängenverhältnis von 1: 2. Umgekehrt proportional in Frequenzen ausgedrückt besitzt die Oktave die doppelte Frequenz des Grundtons. Jedes 2:1-Frequenzverhältnis in der Akustik ist ein Oktavverhältnis.

Der Umgang mit Saitenteilungen bzw. Frequenzen ist, wie wir sehen, rechnerisch durch Verhältniszahlen gegeben, also durch Brüche. Die Schreibweise 2:1 ist identisch mit 2/1. Beim Umgang mit unserer Materie werden also die Methoden der Bruchrechnung in Anwendung kommen müssen. Brüche mit kleinerem Zähler als Nenner, sie werden als echte Brüche bezeichnet, geben die Ebene der Saitenteilung an, da 1 für die ganze Saite steht. Ist der Zähler grösser als der Nenner, so haben wir es mit einem unechten Bruch zu tun. Wir befinden uns damit in der Frequenzebene, denn hier steht die 1 für die Grundfrequenz, so dass alle zu diskutierenden Werte grösser als 1 sein müssen.

Teilen wir die Saite in 2/3 und 1/3 ihrer Länge und zupfen den längeren Teil, so entsteht ein Ton in der Quinte zum Grundton der ganzen Saite. 2/3 einer Strecke ergeben also zur ganzen das Quintintervall. Auf der Frequenzebene hat demnach die Quinte die Grösse 3/2 oder 1,5. Sie steht für das Eineinhalbache ihrer Grundfrequenz.

Der lateinische, aus der mittelalterlichen Musiktheorie stammende Begriff „sesquialter“, der als zweichöriges gemischtes Farbregister überlebt hat, bedeutet genau dies: das Eineinhalbache, also die Quinte. Die Bezeichnung Sexquialter, die auf die Sexte zwischen der Quinte und Terz dieses Register anspielt, mag eine spätere Verballhornung sein.

Das andere, kürzere Stück der Saite mit seiner 1/3-Länge ergibt ebenfalls eine Quinte. Sie muss eine Oktave über der ersten liegen, denn 1/3 ist die Hälfte von 2/3 und doppelte Frequenz bedeutet immer Oktavierung.

Zum Grundton der ganzen Saite ergibt sich die Duodezime. Auf der Frequenzebene hat die Duodezime damit zum Grundton ein Frequenzverhältnis von 3:1, sie steht für das Dreifache ihres Grundtons.

Werfen wir nun im [Anhang \(Fig.1\)](#) einen ersten Blick auf die Naturtonreihe. Wir sehen eine Folge von Tönen, die mit 1 beginnend fortlaufend beziffert ist. Die einzelnen Glieder sind die Teiltöne oder Partialtöne der Reihe. Es sei vorweggenommen, dass wir eine arithmetische Reihe vor uns haben: hat der Grundton die Frequenz $n = 1$, so ist jedes folgende Glied um diesen Betrag grösser als das vorherige.

Für uns ist zunächst wichtig: dem Intervall zwischen dem 1. und 2. Teilton, der Oktave C – c in dieser vom grossen C ausgehenden Darstellung, entspricht bei der Saitenteilung die Halbierung der Saite, also das Verhältnis 1:2. Das nächste Intervall, die Quinte c – g zwischen dem 2. und 3. Teilton, findet sich wieder bei der Drittteilung der Saite, bei der Teilung 1/3 zu 2/3.

C – g, der Ambitus, der Tonumfang vom 1. bis zum 3. Teilton, eine Duodezime, (= Oktave + Quinte), entspricht dem Intervall zwischen ganzer Saite und ihrem Drittel.

Die Naturtonreihe listet die Intervalle, die musikalisch-physikalischen Naturphänomene auf, die wir bei der Saitenteilung gefunden hatten. Sie bilden eine Reihe, die einem einfachen mathematischen Gesetz unterliegt.

Wenn nun der 2. Teilton wie eben vorausgesetzt das 2-fache der Grundfrequenz, der 3. Teilton das 3-fache des Grundtons beträgt, dann gilt für das Intervall c – g, die Quinte, das Frequenzverhältnis 3:2, also der Bruch 3/2, für die Duodezime C – g das Verhältnis 3:1, g hat die 3-fache Frequenz von C. Bei der Saitenteilung kamen wir zu den gleichen Ergebnissen.

Teilen wir die Saite zu 3/4 und 1/4, so erklingt im längeren Stück die Quarte, ihr Frequenzverhältnis ist also 4/3. In der Naturtonreihe sehen wir sie zwischen dem 3. und 4. Teilton, von g – c¹. Das 1/4-Stück muss die Doppeloktave zur ganzen Saite sein. Das Verhältnis 4:1 ist das Vierfache von 1. In der Naturtonreihe entspricht dem der Ambitus vom Grundton bis zum 4. Teilton.

Mit der Teilung 4/5 zu 1/5 erreichen wir im längeren Stück die grosse Terz, ihr Frequenzverhältnis ist also 5/4. Wir finden dieses Intervall in der Naturtonreihe zwischen dem 4. und 5. Naturton als c¹ – e¹.

Das 1/5 lange Stück muss eine um 2 Oktaven höher liegende grosse Terz sein, denn auf der Frequenzebene ist 5/1 das Vierfache von 5/4. $5/4 \times 4 = 20/4 = 5$. In der Naturtonreihe entspricht dem der Ambitus vom Grundton bis zum 5. Teilton, C – e¹. 5/6 der Saitenlänge ergibt die kleine Terz, ihr Frequenzverhältnis ist damit 6/5. Es ist das Intervall zwischen dem 5. und 6. Teilton.

Das Reststück 1/6 der Saite bedeutet mit seinem Frequenzverhältnis von 6:1 den Ambitus C – g¹ in der Naturtonreihe und damit die 2. Quinte über dem Grundton, die Oktave zur 1. Quinte bzw. die Quinte über der 2. Oktave.

Die fortschreitend kleiner werdenden Intervalle bei der Saitenteilung finden also ihre Spiegelung in der Naturtonreihe und unterliegen der gleichen einfachen mathematischen Gesetzmäßigkeit.

Nach Oktave, Quinte, Quarte, grosser und kleiner Terz finden sich bei weiteren Saitenteilungen oberhalb der Septime noch zwei verschiedene Ganztöne sowie ein Halbton, die für unser Tonsystem brauchbar sind. Die weiteren immer kleiner werdenden Intervalle sind für uns nur von Bedeutung, soweit sie Oktavierungen des Grundtons, der Quinte oder Terz sind. Theoretisch endet die Saitenteilung erst im Unendlichen. Doch das Irdische, das Physische ist „von Grenzen umstellt“.

Das alte Griechenland, dem Europa in kulturellen Belangen so viel verdankt, benannte die Intervalle nach der Anzahl von Tönen, die sie enthalten. Auf den römischen Begriffen, die teils die griechischen adaptieren, teils Übersetzungen ins Lateinische sind, basieren unsere Bezeichnungen.

Im Anhang (Fig.2) sind die für die Musik relevanten Intervallbenennungen aufgelistet in der Form, wie das Mittelalter sie aus der Antike übernommen hat, zusammen mit ihren aus der Saitenteilung ermittelbaren Frequenzverhältnissen.

Den Saitenlängen entsprechen bei der Orgel die Pfeifenlängen, genauer gesagt die schwingenden Luftsäulen in den Pfeifen. Dass diese Luftsäulen akustisch gesehen bei offenen Pfeifen nur eine halbe Wellenlänge, bei den oben geschlossenen, den „gedackten“ Pfeifen nur ein Viertel einer Wellenlänge darstellen, ändert für unsere Betrachtung nichts.

Die Kenntnis der Naturtonreihe führte im Orgelbau zu dem Gedanken, Pfeifenreihen, „Register“ zu entwerfen, die zweifach, dreifach, mehrfach die Frequenz des Grundregisters aufweisen, Register also, die – analog zu den Verhältnissen bei der Saitenteilung – als Oktave, Duodezime, Doppeloktave usw. erklingen. Man spricht von

den „Aliquotregistern“ oder kurz von den Aliquoten. (aliquot lat. = einige, ein paar). Der Organist hat damit eine Vielzahl von Möglichkeiten an der Hand, den Grundklang zu verstärken und zu färben.

Erst im Spätmittelalter begann diese Entwicklung zu frei wählbaren Einzelregistern, die uns Heutigen doch als ein wichtiges, ja als das vielleicht wichtigste Kennzeichen der Orgel erscheint.

Besitzen die Aliquote und ihr Grundregister, zu dem sie frequenzmässig Vielfache darstellen, wie wir längst wissen, eine mittlere Mensur und im Interesse einer guten Klangverschmelzung gleiche Bauart, so betrachten wir gerade die „Prinzipalregister“. Sie bilden das Herzstück der Orgel. Andere Register haben eine weitere Mensur, sind dadurch obertonärmer und dunkler im Klang, andere wiederum sind eng gebaut, können somit auch höhere Obertöne ausbilden und erfreuen mit einem helleren, schärferen Klang gegenüber den Prinzipalen.

Um die Aliquotregister namentlich unterscheiden zu können, verfiel man auf den praktischen Gedanken, die Länge der tiefsten Pfeife eines jeden Registers zur Namensgebung zu benutzen. Im Allgemeinen war das grosse C der tiefste Ton der Prinzipale. Da diese Pfeife 8 Fuss lang ist – man schreibt 8' – bezeichnet man das ganze Register als 8'-Register. Das alte Längenmass Fuss war bekanntlich schon in römischen Zeiten bis weit in unsere Neuzeit hinein ebenso gebräuchlich wie vielfältig. Jede Zeit, ja jede Region besass ihr eigenes Fussmass. Für uns soll genügen, dass irgendwann irgendein Fussmass Pate stand bei der Benennung der Aliquotregister der Orgel. Doch auch zur Bezeichnung anderer Registerfamilien wie den gemischten Farbregistern oder den Klangkronen dient die Fusstonlage zu genauerer Benennung.

Registerbezeichnungen in Fuss geben also die längste und damit tiefste Pfeife C des Registers an. Ein Register in der Oktave über dem Achtfussregister muss gemäss unseren Kenntnissen über die Saitenteilung ein Vierfussregister, ein 4' sein. Darüber liegt, der Naturtonreihe folgend, das unterste Quintregister. Wir sind ja jetzt in Höhe der Duodezime, dem 3. Teilton der Obertonreihe. Die Orgelwelt spricht von der „2 2/3-Fusstonlage“ oder kurz vom Register 2 2/3, denn der tiefste Ton dieses Registers muss 1/3 so lang sein wie die entsprechende 8' lange Pfeife. 1/3 von 8 berechnet sich leicht zu $8:3 = 8/3 = 6/3 + 2/3 = 2\frac{2}{3}$. Ein Register in der Doppeloktave ist sinngemäss ein 2'-Register, die Pfeifen sind halb so lang wie der 4' und haben die doppelte Frequenz. Der erste Terzklang liegt in der 1 3/5'-Lage, denn 1/5 der 8' langen Pfeife ist gleichbedeutend mit $8:5 = 8/5 = 5/5 + 3/5 = 1\frac{3}{5}$. Die nächst höhere mögliche Terz, eine Oktave höher liegend, also beim 10. Teilton, mit der doppelten Frequenz zur ersten Terz und halber Pfeifenlänge, muss also auf dem tiefsten Ton die Hälfte von 1 3/5, also $8/5:2 = 4/5$ Fuss betragen. Ein 16'-Klang oder gar ein 32' muss doppelte bzw. vierfache Länge zum 8' haben, um eine bzw. zwei Oktaven tiefer als der 8' die von einem bekannten thüringischen Orgelgrossmeister in energischen wenn auch stets erfolglosen Eingaben an einen hohen Magistrat stets geforderte „Gravität“ gewährleisten zu können. Die Quinte 5 1/3 als 16/3 geschrieben zeigt uns das unterste Quintregister, auf dem 3. Teilton der 16'- Lage basierend, an. Damit vorerst genug des Rechnens.

Der klassische italienische Orgelbau des 18. Jahrhunderts sah in den Prinzipalen die Orgel schlechthin und baute, ergänzt nur durch wenige andere Farbregister, die Obertonregister bis zur 1/4-Fusstonlage aus.

Im Anhang (Fig.5) finden wir eine Übersicht zu den im klassischen Orgelbau üblichen Aliquoten zusammen mit ihren Frequenzen, den zugehörigen Intervallen, ihren Längenmassen und Teiltonzahlen.

Die äusserst verblüffende gesetzmässige Beziehung zwischen akustisch-musikalischen Intervallen und ihrer mathematisch exakten Zuordnung zu einfachen Zahlenverhältnissen war für die Zahlen von 1 bis 4 wahrscheinlich schon im Alten Orient bekannt. Die frühen Griechen haben dieses Wissen zu einem ganzen Weltgebäude, einer Kosmologie ausgebaut. Die Kenntnis der ersten vier Naturtöne in ihrer strengen mathematischen Gesetzmässigkeit verbanden sie mit dem Harmoniebegriff, der lange vorher schon in verschiedenen Gestalten in die griechische Mythologie Eingang gefunden hatte. Harmonie wurde nun zu einem mathematisch begründeten zentralen Begriff im griechischen Denken, „war als Ordnung von Zahlen und Proportionen zu verstehen.“ (P. v. Naredi-Rainer). „Musikalische Harmonie war gleichbedeutend mit Proportionen ganzer Zahlen. Man glaubte, durch sie dem Geheimnis des Universums auf die Spur gekommen zu sein. Dieselben Gesetze gelten sowohl im kosmischen als auch im irdischen Bereich. Die Proportionen der Musik lagen der Sphärenmusik zugrunde.“ (G. Pochat).

Es sind vor allem die Pythagoräer, die dieses Gedankengebäude errichtet haben. Ihr Begründer, der Philosoph Pythagoras, lebte von 582 bis 493 v. Chr. Seine Schule hatte ein mathematisches Weltverständnis. „Alles ist Zahl“ war ihre Kurzformel, der Schlüssel ihres Denkens. Das Wissen vom Zusammenhang der Naturtöne und ihrer gesetzmässigen Verankerung in der Mathematik bildete die Grundlage ihrer kosmologischen Spekulationen. Die „Tetraktys“, eine geometrische Darstellung der Zahlen 1 bis 4, die sich zu einem gleichseitigen Dreieck aufbauen, in einer anderen Form die Beziehungen der Zahlen 6,8,9,12 zueinander aufzeigend, beschreibt die Intervalle der Naturtonreihe, ist Zentrum, Ausgangspunkt der pythagoräischen Spekulationen. Sie besass in den Augen dieser Schule einen sakralen Charakter, war Kürzel ihres Weltverständnisses und Schwurformel. „In der Zahl, die messbare Gestalt und Form annimmt, offenbart sich der Kosmos als ein Ordnungszusammenhang. Da für die Pythagoräer die Zahlen das Gesetz der Welt darstellten, lag in ihnen auch das Gesetz des Schönen. Entscheidend für den Ausbau der pythagoräischen Zahlenlehre war die Entdeckung der wechselseitigen Entsprechung von Tönen und Zahlen. Das grundlegende Verhältnis ist die Oktave. Sie wird zum harmonischen Verhältnis schlechthin. Harmonie und Oktave werden zu identischen Begriffen.“ (P. v. Naredi-Rainer).

Die Tradierung der pythagoräischen Gedankenwelt bis in unsere Zeit ist vor allem den grossen Autoritäten Plato und Aristoteles zu verdanken. Beide „erheben Harmonie zu einem Universalbegriff. Platon übernimmt die pythagoräische Konzeption und baut sie weiter aus. Im „Timaios“, (dem einzigen Werk, das im Mittelalter der Zensur der Kirche nicht zum Opfer gefallen war), beschreibt Platon die Weltseele, die Gott nach den Idealzahlen bildet. Sie entsprechen den musikalischen Konsonanzen, bilden eine absolute Harmonie“. (P. v. Naredi-Rainer). „Die Ontologie Platons, seine auf Mass und Zahl begründete Ordnung der Welt, die zugleich mit Schönheit gleichbedeutend ist, sollte noch während des ganzen Mittelalters in manchen Modifikationen und Variationen verbindlich bleiben. Auch während der Renaissance und in späteren Zeiten haben diese Gedanken in der Erkenntnistheorie, der Ästhetik, Musik- und Kunsttheorie immer wieder Aktualität erlangt.“ (G. Pochat).

Hat auch die Kirche das Studium vorchristlichen Schrifttums – im Gegensatz zu Judentum und Islam - weitgehend stigmatisiert, so hat doch der zunächst heidnische, dann christliche Neuplatonismus, die letzte der grossen antiken Philosophieschulen, das pythagoräisch-platonische Weltbild in das werdende Europa tradiert. Aurelius

Augustinus (354– 430), die bedeutendste theologische und philosophische Autorität bis ins Hochmittelalter hinein, aber auch die grossen Kompilatoren des antiken Wissens, Martianus Capella (um 400) und Anicius Boethius (um 480 – 524), waren neuplatonisch geschult. Für Augustinus sind Schönheit und Zahl Synonyme. „Nichts ist geordnet, was nicht schön wäre“.

Die Schönheit liegt in der Zahl als Grundlage der Form. Der Kosmos ist nach Mass, Zahl und Gewicht geordnet. (Nach P. v. Naredi-Rainer).

Noch im frühen 16. Jahrhundert gibt Raffael in seinem berühmten Fresko der „Schule von Athen“ in der Stanza della Segnatura im Vatikan der Figur des Pythagoras eine Tafel in die Hand, die beide Formen der Tetraktytys aufzeigt. Die sogenannte „erste Form“ zeigt die harmonischen Beziehungen, die Verhältnisse reiner Intervalle anhand der Zahlenfolge 6,8,9,12 mit den zugehörigen antik-mittelalterlichen musiktheoretischen Bezeichnungen. Die „zweite Form“ zeigt dieselben Verhältnisse anhand der Zahlen 1 bis 4, deren musikalisch-physikalische Bedeutungen wir gerade kennen gelernt haben.

Im 17. Jahrhundert entdeckt Johannes Kepler nicht nur wesentliche Gesetze der Astronomie, er schreibt auch seine „Harmonie der Welt“, glaubt an die Existenz der Sphären und der Sphärenmusik. Im frühen 20. Jahrhundert findet sich in Hans Kayser ein ernst zu nehmender Wissenschaftler, der das harmonikale Weltbild in unsere säkularisierte Welt zu integrieren versucht. Noch 1957 feiert Paul Hindemith den harmonieglaubigen Kepler auf der Opernbühne.

Seit den Pythagoräern sind Mathematik und Musiktheorie untrennbar. Die Zahlenfolge 1 bis 4 und ihre Verhältnisse zueinander entsprechen den wichtigsten musikalischen Intervallen. Sie sind Konsonanzen und werden zu Bausteinen, zu den Grundlagen der antiken und mittelalterlichen Musiktheorie. Die Naturtonintervalle, in der Natur nachweisbar und hörend erfahrbar als Oktave, Duodezime, Quinte und Quarte, in der Tetraktytys gesetzmässig geordnet anschaubar, bilden von nun an die Basis für die Entwicklung der europäischen Musik.

Auch im Altertum wussten einige Forscher schon, dass die Naturtonreihe bei der Zahl 4 nicht aufhört. Zum mindest die grosse und kleine Terz mit ihren Verhältnissen 5:4 und 6:5 finden Erwähnung in der Literatur. Doch die Magie der Tetraktytys erwies sich als so dominant, dass die Terzen während des ganzen Mittelalters als Dissonanzen galten, obwohl sie in der Volksmusik mancher Länder schon in unserem Sinne als wohlklingende Intervalle existierten. Aber erst im Spätmittelalter setzte sich mit der Entwicklung der mehrstimmigen Musik, der Polyphonie, der Konsonanzcharakter der Terzen allmählich in Theorie und Praxis durch. Denn nun erst, im Übereinander mehrerer Stimmen, konnte die grosse Terz ihre verführerische Wirkung voll entfalten. Die kleine Terz dagegen ist noch zur Bachzeit als Konsonanz nicht voll anerkannt, viele Mollkompositionen schliessen mit einem Durakkord.

Im 16. Jahrhundert hatte Gioseffo Zarlino die heilige Vierzahl der Pythagoräer durch die Sechszahl, den Senarius ersetzt. Aber noch Arnold Schönberg beruft sich anfangs des letzten Jahrhunderts für sein Zwölftonsystem, das anscheinend so radikal mit der Tradition der Harmonik, mit dem Tonartensystem bricht, auf die Naturtonreihe.

Das pythagoräische Weltbild weist neben der Musik auch der Architektur eine herausgehobene Stellung zu. Beide Künste sind „hervorbringende“ Tätigkeiten, während die bildenden Künste Malerei und Skulptur wegen ihres mimetischen, nur

nachahmenden Charakters geringen Wert besitzen. Musik wie Architektur sind der Zahl verhaftet, können deshalb Schönheit hervorbringen. Ihre Werke können abbildhaft die Weltordnung aufzeigen.

Augustinus „versteht die Baukunst als Abbild jener ewigen Harmonie, die als musica mundana das Weltall durchwaltet, als musica humana die Ordnung zwischen Leib und Seele des Menschen herstellt und als musica instrumentalis schliesslich hörbar wird.“.
(v. Naredi-Rainer).

So kann es nicht wundernehmen, wenn das pythagäisch-platonische Weltbild, durch die Neuplatoniker tradiert, in Zeiten der Antikennähe für die Architektur immer wieder wirksam wird.

Dies gilt in besonderem Mass für die italienische Renaissance. Der Vorbildcharakter der Antike erschöpft sich in der Baukunst der Renaissance nicht in Studium und Aneignung der antiken Stilmerkmale. Führende Architekten und Theoretiker wie Leon Battista Alberti oder Andrea Palladio proportionieren Gebäude, Fassaden, Räume wann immer möglich nach harmonischen Verhältnissen, nach Intervallen wie Oktave, Quinte, Terz. Schlüssel zur Schönheit ist die Zahl, die Ordnung der Naturtonintervalle.

„Die Schönheit ist eine gewisse Übereinstimmung und ein Zusammenklang der Teile zu einem Ganzen gemäss einer bestimmten Zahl, Proportion und Ordnung, so wie es die concinnitas, das oberste Naturgesetz fordert. Dieses Gesetz hat in der Musik und ihren Zahlenverhältnissen seine klarste Ausprägung erfahren“, schreibt Alberti. In einer brieflichen Ermahnung an seinen Bauführer am Tempio Malatestiano in Rimini beschwört er ihn, die Masse und Proportionen der Pfeiler genau zu beachten, um nicht „*tutta quella musica*“ durcheinander zu bringen. (nach Naredi-Rainer).

Das Phänomen der Saitenteilung mit seiner mathematischen Entsprechung in Proportionen ganzer fortlaufender Zahlen findet sich analog auch in den Blasinstrumenten. In ihren frühen einfachen Formen können insbesondere die Blechblasinstrumente mit steigendem Lippendruck eine Reihe von Naturtönen erzeugen. Das Alphorn etwa ist ein solches entwicklungsgeschichtlich „stehen gebliebenes“ Instrument. Der Spieler ist gänzlich auf die Naturtöne angewiesen. Spielhilfen wie Löcher im Korpus, Klappen, Ventile, Züge entstanden erst allmählich in der Neuzeit. Doch noch im 19.Jahrhundert schreibt Johannes Brahms die Hornpartien seiner Sinfonien so weit als möglich um der grösseren Schönheit willen in Naturtönen.

Eine weitere Erscheinung unseres Naturtonphänomens liegt in der wohl schon recht früh erkannten Tatsache, dass jeder einzelne Ton eines musikfähigen Instruments im Gegensatz zu Geräuscherzeugern nicht nur aus diesem Ton besteht, sondern stets auch aus einer Reihe von Vielfachen zu diesem, den „Obertönen“. Das grosse C, häufig der tiefste Ton der Orgel, hat eine Pfeifenlänge von etwa 2.40 m. Der erste Oberton, die Oktave, hat die doppelte Frequenz und die halbe Pfeifenlänge. Der zweite Oberton, die Duodezime, hat die dreifache Frequenz und ein Drittel der Pfeifenlänge des grossen C usw. Diese Obertöne sind nichts anderes als die uns schon bekannten Intervalle der Naturtonreihe. Dem ersten Oberton entspricht in unserer Grafik im Anhang der zweite Teilton. Analog zu den englischen und französischen Bezeichnungen „harmonics“ und „harmoniques“ spricht man im Deutschen auch von den „Harmonischen“.

Anzahl, Lage und Stärke der Obertöne bestimmen den spezifischen Klang, die Farbe des Tones. Helle, scharfe Töne besitzen viele und damit auch hohe Harmonische, dunkle Klänge sind obertonarm. Grundton und Obertöne bilden zusammen die Teiltöne. „Gedackte“ Instrumente wie die Klarinette oder die gedackten Orgelregister enthalten in ihrem Spektrum nur ungradzahlige Obertöne. Sie überblasen nicht in die Oktave

sondern in die Duodezime. Sie bilden nur eine Viertelwellenlänge aus, da sie am oberen Rand akustisch geschlossen, gedeckt, gedackt sind.

Die Aliquotregister der Orgel: die Oktavregister, Quint- und Terzregister nutzen die Kenntnis der Obertöne. Der Organist hat damit eine frei wählbare Anzahl von Klangverstärkern und Farben zur Auswahl. Wir hatten schon davon gesprochen.

3

Die Mathematik ist eine Geisteswissenschaft.
Sie beruht auf einem Axiomensystem logischer Aussagen und auf Regeln, wie aus diesen Axiomen logische Schlüsse gezogen werden dürfen.
In wie weit mathematische Aussagen etwas mit dem logischen Aufbau der Welt zu tun haben, ist eine philosophische Frage.
(mentor Durchblick, Mathematik 5. – 10. Klasse)

Haben wir uns im vorigen Kapitel bei der Teilung von Saitenlängen und der Herleitung der Orgel-Aliquote schon an unsere ersten Schuljahre und den dort so beliebten Umgang mit dem Teilen ganzer Zahlen, an die Bruchrechnung erinnert, so sind wir nun gerüstet, in diesem Kapitel noch etwas tiefer in die Basismathematik zu steigen. Schliesslich muss der Orgelbauer, der Stimmer, der Cembalist ein vorgegebenes Modell mit genauen Werten für die einzelnen Halbtöne, ein „Temperierungs“-Modell in die Praxis umsetzen. Er muss den Halbtönen innerhalb der Oktaven eine zahlenmässig vorgegebene Tonhöhe zuweisen. Der Problemkreis des Temperierens, dem wir uns nun allmählich nähern, ist also ohne einige mathematische Kenntnisse nicht nachvollziehbar.

Es wäre durchaus möglich, die Betrachtungen über genaue Tonhöhen und ihre Beziehungen zu anderen Tönen, die Intervallbetrachtungen also, auf der Frequenzebene zu tätigen. Erklären wir beispielsweise eine Frequenz von 120 Hz zum Ton c, so hätte in der gleichstufigen Stimmung der Ton cis 127,136 Hz, d wäre 134, 695 Hz gross, e gleich 151,191 Hz und g entsprächen 179,797 Hz. Es wird deutlich: die Werte sind nur mit dem Taschenrechner nachprüfbar, der Umgang mit ihnen wenig anschaulich, und in historischer Zeit konnte mangels einer definierten Masseinheit und mangels elektronischer Rechenhilfen an diese Rechenebene nicht einmal gedacht werden.

Ebenso wie für die Berechnungen am Monochord und die Benennung der Orgel-Aliquote bot sich auch für das Quantifizieren von Tönen, für ein genaues Benennen einer Tonhöhe im Verhältnis zu einem anderen Ton die Bruchrechnung an. Die Naturtonreihe ist ja auch Ausgangspunkt für die Entwicklung unserer Tonleitern, wie wir bald sehen werden.

Im Folgenden werden wir es vorwiegend mit „temperierten“ Werten zu tun haben. Mit Tonhöhen, die nicht wie bei der Betrachtung der Naturtonreihe durch Verhältnisse einfacher ganzer Zahlen gegeben sind. Die alten Theoretiker mussten beim Umgang mit Temperaturproblemen mangels Taschenrechner recht versierte mathematische Praktiker sein, um mitreden zu können. Wir dagegen können es uns eingedenk des Untertitels dieser kleinen Arbeit mit einigen einfachen Rechnungen sehr viel leichter machen.

Die Zahlenfolge 1, 2, 4, 8, 16, 32 unterliegt einer Gesetzmässigkeit. Jedes folgende Glied entsteht aus dem vorherigen durch Multiplikation mit dem Faktor 2.

Die Reihe 1, 3, 9, 27, 81 folgt dem Gesetz, jedes folgende Glied mit dem festen Faktor 3 zu multiplizieren. Wir haben es mit geometrischen Reihen zu tun.

Auch zur Berechnung von Intervallen lassen sich die Rechenprozesse nutzen, die sich zum Umgang mit geometrischen Reihen anbieten.

Betrachten wir einmal die Oktaven in der Darstellung der Naturtonreihe im Anhang (Fig.1). Die Teiltöne 2, 4, 8, 16, 32 sind Oktaven zum Grundton. Wir haben eine geometrische Reihe mit dem Faktor 2 vor uns. Die Teiltöne 3, 6, 12, 24 sind Quinten zum Grundton oder seinen Oktavierungen. Auch diese Reihe folgt dem gleichen Gesetz. Die Teiltöne 5, 10, 20 stehen im Abstand der grossen Terz zum Grundton und seinen Oktavierungen. Wieder haben wir es mit einer geometrischen Reihe mit dem Faktor 2 zu tun.

Die Rechenoperationen im Umgang mit geometrischen Reihen sind nicht besonders schwierig. Einige einfache Beispiele sollen uns die Operationen veranschaulichen: Wie wir aus der Saitenteilung wissen, aber auch in unserer Darstellung der Naturtonreihe leicht ersehen können, hat eine Quinte das Frequenzverhältnis 3/2, eine Quarte das Verhältnis 4/3. Addieren wir diese beiden Intervalle, so kommen wir – eine Klaviatur zeigt es – zur Oktave des Grundtons.

$$\begin{array}{l} \text{Quinte} + \text{Quarte} = \text{Oktave} \\ 7 \text{ Halbtöne} + 5 \text{ Halbtöne} = 12 \text{ Halbtöne} \end{array}$$

Auf der Frequenzebene bedeutet diese Addition eine Multiplikation der Verhältniszahlen der betreffenden Intervalle. Wie wir eben gesehen haben, bilden z. B. mehrere Oktaven übereinander eine geometrische Reihe mit einem festen Faktor, der jedes folgende Glied mit dem vorherigen Wert multipliziert. Allgemein gesprochen bedeutet also ein Übereinanderschichten von Intervallen eine Multiplikation ihrer Frequenzverhältnisse. Daraus folgt für unser Beispiel:

$$3/2 \times 4/3 = 12/6 = 2$$

Bei der Subtraktion von Intervallen gilt sinngemäss ebenfalls die Rechenoperation auf der nächst höheren Rechenebene, der Division:

$$\begin{array}{l} \text{Quinte} - \text{grosse Terz} = \text{kleine Terz} \\ 3/2 : 5/4 = 3/2 \times 4/5 = 12/10 = 6/5 \end{array}$$

Ein gemischtes Beispiel :

$$\begin{array}{l} \text{Quinte} + \text{Quinte} - \text{Oktave} = \text{grosser Ganzton} \\ 3/2 \times 3/2 : 2 = 9/8 \end{array}$$

Die Potenzrechnung erlaubt, gleichartige Multiplikationen verkürzt auszudrücken: Im Vorgriff auf das „pythagoräische Komma“, das wir bald kennen lernen werden, schichten wir übungshalber 12 reine Quinten übereinander. Das bedeutet, die Zahl 3/2 12 mal mit sich selbst zu multiplizieren, also in die 12. Potenz zu erheben. Für Nichtklavierspieler: Die Quinte besteht in unserem 12-stufigen Oktavsystem aus 7 Halbtönen. 12 Quinten führen $7 \times 12 = 84$ Halbtöne nach oben. Schichten wir 7 Oktaven übereinander, so müssten wir - die Oktave zu 12 Halbtönen - ebenfalls bei

demselben Ton ankommen. Auf dem modernen Klavier geht diese Rechnung auch auf. Nicht so bei Naturtonintervallen. Der Betrag von 12 Naturtonquinten ist nicht identisch mit dem Betrag der 7 Oktaven, was mit dem Taschenrechner leicht zu beweisen ist:

$$\begin{array}{rcl} 12 \text{ Quinten} & = & 3^{12} : 2^{12} = \text{ca.} 129,7 \\ 7 \text{ Oktaven} & = & 2^7 = 128 \end{array}$$

Der Unterschied, das „pythagoräische Komma“, wird uns bald wieder begegnen.

Eine Stufe tiefer als die geometrische Reihe ist die arithmetische Reihe angesiedelt. Die Zahlenfolge 1, 2, 3, 4, 5 usw. – wir hörten schon davon – ist durch Addition eines festen Betrags gekennzeichnet, nicht mehr durch Multiplikation. Der Betrag ist hier $n = 1$. Die Reihe 1, 3, 5, 7, 9 ist durch den Betrag $n = 2$ festgelegt. Die Naturtonreihe – auch das ist uns nicht neu – stellt eine arithmetische Reihe mit der Konstanten $n = 1$ dar. Hat ein Grundton die Tonhöhe n , so bilden die weiteren Glieder die Folge $2n, 3n, 4n$ usw. Sie sind das 2-fache, 3-fache, 4-fache der Grundfrequenz. Hat der Grundton die Frequenz 120 Hz, so lauten die weiteren Glieder 240, 360, 480 Hz. Das akustisch-physikalische Phänomen der Naturtonreihe, von den Pythagoräern über die Saitenteilung in seiner gesetzlichen Regelmässigkeit erkannt, ist als arithmetische Reihe mathematisch exakt fassbar. Der pythagoräische Anspruch, das den Kosmos beherrschende Prinzip entdeckt zu haben, ist für uns naturwissenschaftlich Geschulte zumindest als mathematische Gesetzmässigkeit erkennbar.

1885 führte der Engländer Alexander John Ellis das „Cent-Mass“ in die Musikwissenschaft ein. Es erleichtert den Umgang mit den musikalischen Intervallen ganz erheblich. Ellis teilt jeden Halbton in 100 Cent, abgekürzt C, ein. 12 Halbtöne erreichen die Oktave also bei 1200 C. Der Vorschlag von Ellis trägt damit dem damaligen Selbstverständnis der gleichstufigen Teilung der Oktave Rechnung. Die Hierarchie der Naturintervalle, von der denkbar einfachsten und deshalb schönsten Intervallbeziehung 2:1, der Oktave, über die nächst einfache 3:2-Beziehung der Quinte, über die Quarte 4:3 und die noch immer einfache und deshalb schöne 5:4-Beziehung der grossen Terz, von dort zu immer höheren Zahlenwerten, diese die antike und nachantike Welt wesentlich mitbestimmende Hierarchie musikalisch-mathematischer Schönheit ist nun vorüber. Nur die Oktave behält ihre dominierende Position. Die Quinte wird zu unauffälligen 702 C, die Grossterz zu 386 und die kleine Terz zu 316 C. 2 Quinten betragen nun $702 + 702 = 1404$ C anstelle der Multiplikation $3/2 \times 3/2 = 9/4$. Für 3 Oktaven gilt $1200 + 1200 + 1200 = 1200 \times 3 = 3600$ C anstelle von $2 \times 2 \times 2 = 2^3 = 8$, dem 8-fachen des Grundtons.

Die Umrechnungsformel der Brüche in Cent lautet:

$$3986 \times \log p/q = \text{Cent.}$$

Dabei ist p/q das Frequenzverhältnis des zu berechnenden Intervalls.

Als Beispiel soll die Umrechnung der reinen grossen Terz $5/4 = 1,25$ dienen.

$$3986 \times \log 1,25 = 386 \text{ C.}$$

Wir sehen, dass die Cent-Rechnung auf der logarithmischen Ebene arbeitet, eine Rechenebene tiefer als die Betrachtung der Frequenzen. Dem entspricht der Schritt von der geometrischen zur arithmetischen Reihe und damit die Vereinfachung der Rechenoperationen vom Multiplizieren und Dividieren zum Addieren und Subtrahieren. Jeder Halbton ist durch den additiven Wert von 100 C vom vorigen verschieden, nicht mehr durch einen multiplikativen Faktor.

Zugleich entspricht die Cent-Rechnung der Physiologie der menschlichen Sinne. Nach dem Weber-Fechnerschen Gesetz reagiert das menschliche Empfinden nicht proportional zur Steigerung eines Reizes sondern angenähert logarithmisch, also in einer wesentlich flacheren Kurve. Der Mensch empfindet jede Oktave als gleich grosse

Einheit, während in der physikalischen Wirklichkeit jede Oktave ja um den festen Faktor 2 grösser ist als die vorherige, wie wir gesehen haben.

Genau genommen ergeben die Umrechnungen zu Cent noch einige Stellen nach dem Komma. Wir wollen uns im Folgenden bei den nötigen Grössenangaben und Berechnungen mit den gängigen abgerundeten Werten begnügen.

Reine Intervalle sind als Verhältniszahlen, als Brüche besonders anschaulich. Die Cent-Rechnung zeichnet dagegen die gleichstufigen Werte aus. Wir werden im Folgenden die Verhältniszahlen bevorzugen und die Cent-Werte in Klammern gesetzt folgen lassen.

4

„Wie süß das Mondlicht auf dem Hügel schläft!
Hier sitzen wir und lassen die Musik
Zum Ohre schlüpfen. Sanfte Still' und Nacht,
sie werden Tasten süsser Harmonie.
Komm, Jessica! Sieh, wie die Himmelsflur
Ist eingelegt mit Scheiben lichten Goldes!
Auch nicht der kleinste Kreis, den Du da siehst,
der nicht im Schwunge wie ein Engel singt
zum Chor der hellgeäugten Cherubim.
So voller Harmonie sind ewge Geister,
nur wir, weil dies hinfäll'ge Kleid von Staub
ihn grob umhüllt, wir können sie nicht hören.“
(W. Shakespeare: Der Kaufmann von Venedig
5.Akt).

Die Erschliessung des Oktavraums mit einer musikfähigen Anzahl von Tönen konnte für die pythagoräisch gestimmte Musik der alten Griechen nur über die reinen Quinten erfolgen. Die quasigeheiligten Naturtonquinten mussten den Oktavraum mit weiteren Tönen füllen. Die reine Terz spielte, obwohl bekannt, noch keine herausgehobene Rolle. „Ihre verführerische Macht entfaltete sie erst im Zusammenklang, nicht bei der reinen Einstimmigkeit“ (B. Billeter). Die antike Musik – die Römer zeigten sich wie in anderen kulturellen Bereichen auch hier als gelehrige Schüler der Griechen – kannte noch keine Mehrstimmigkeit. Die Griechen schufen „ein Gerüst aus vier oder sechs Quinten bzw. Quarten (die Oberquinte entspricht der Unterquart), das zur Tonleiterbildung ideale, unverrückbare Fixpunkte schuf: aus dem Netz von vier Quinten $c^o - g^o - d^1 - a^1 - e^2$ entsteht durch Oktavtransposition die halbtonlose Pentatonik $c^1 - d^1 - e^1 - g^1 - a^1$, bei Hinzufügung je einer Quinte auf beiden Seiten des Gerüsts $F - c^o - g^o - d^1 - a^1 - e^2 - h^2$ die Heptatonik, Grundlage der griechischen Modi und der Kirchentöne bis hin zu unserem modernen Dur und Moll. In diesem diatonischen System (die Griechen kannten daneben noch ein chromatisches und enharmonisches) ergaben sich keine Stimmungsschwierigkeiten“ (B. Billeter). Es liegt auf der Hand, dass durch weiteres Hinzufügen von Quinten an den beiden Enden der Quinttreihen und ihrer Oktavtransposition schliesslich alle 12 Halbtöne zu gewinnen waren, was die Griechen auch bereits getan hatten.

Die spätantiken Kompilatoren des antiken Wissens, vor allem der schon erwähnte Boethius, vermittelte dem Mittelalter zwar die Begriffe der griechischen und römischen Musiktheorie, aber er kannte schon nicht mehr die genauen Inhalte. Eine neue Zeit musste den alten Begriffen neue Inhalte geben.

Auf Boethius geht wesentlich die Erhebung der Musik zu einer Wissenschaft, zu einer „ars“ zurück. Im Quadrivium der artes liberales, den vier naturwissenschaftlichen Disziplinen der „Freien Künste“, die für lange Zeit neben dem Trivium der sprachlichen Disziplinen das akademische Grundstudium des Abendlandes darstellten, erhebt sich die musica weit über das Nur-Handwerkliche der Musikausübung. Das Studium der Musiktheorie war somit im Mittelalter unverzichtbar für jeden, der eine intellektuelle Tätigkeit, einen geistigen Beruf anstrebte. Sie war ein ebenso hohes Wissensgut wie Geometrie, Arithmetik und Astronomie, die zusammen die naturwissenschaftlichen Disziplinen bildeten.

Diese erstaunliche Tatsache hatte – ebenso wie die Abwertung der klingenden Musik - ihren Grund. Wir haben schon mit Blick auf die Bewertung der Architektur bei Augustinus die Baukunst als Abbild eines dreigestuften Harmoniebegriffs kennen gelernt. Boethius greift wenige Jahrzehnte später die Vorstellung einer dreifach hierarchisch gestuften kosmischen Harmonie, die musica-Idee, wieder auf, die nun Jahrhunderte lang als festes Bildungsgut die geistige Welt des Mittelalters wesentlich mitbestimmen wird. Ursprünglich pythagoräisch-platonisch ist diese Vorstellung eines nach Zahlenharmonien geordneten Kosmos', in dem sich Gott als Architekt, als Baumeister des Weltalls offenbart, nun christliches Denken. Die höchste Stufe der Musik, die musica mundana, für den Menschen nicht hörbar, aber durch das Studium der Musiktheorie erfahrbar, hat ihr Abbild im Bau der menschlichen Seele: in der musica humana walten die gleichen idealen Zahlenverhältnisse wie in der kosmischen Musik. Wiederum abbildhaft zeigt sich der harmonische Bau der Welt in der klingenden Musik, in der musica instrumentalis. Sie vermittelt dem Menschen hörbar durch die ihr zugrundeliegenden Prinzipien eine Ahnung vom Weltenbau und ihrem Schöpfer.

Unverzichtbar angesichts der Dominanz pythagoräisch-platonischer Weltentwürfe waren auch für die Musiktheorie des beginnenden Mittelalters die Intervalle Oktave und Quinte als Bausteine für die Musik. Galt es doch, in der Musik gleichnishaft die Ordnung des nun christlich gewordenen Kosmos widerzuspiegeln. Nur dann besass die Musik Wertigkeit, nur dann konnte man ihr eine hervorbringende, „poetische“ Qualität zusprechen (*poésis* = hervorbringen), konnte sie mehr sein als eine „*mimétiké téchne*“, eine nur nachahmende Kunst, ganz im Sinne Platons, dessen Lehren und Ideen durch die Schriften seiner Schüler trotz der weitgehenden Ablehnung alles Nichtchristlichen seitens der mächtig gewordenen Kirche dennoch die geistige Welt des werdenden Europas wesentlich mitbestimmten.

Die Gewinnung eines Tonvorrats durch Überlagerung von Quinten und ihre Transponierung in den Raum einer Oktave blieb jedenfalls selbstverständlich.

Geht man vom Ton c aus, dem Dreh- und Angelpunkt der Tasteninstrumente, Ausgangspunkt für den „Quintenzirkel“, der den Tonraum, und - sehr viel später erst - den Tonartenraum erschliesst, so ergibt sich die erste Quinte g. Ihrem Frequenzverhältnis zum Grundton von 3/2 entsprechen 702 C. Die nächste Quinte liegt bereits im nächsten Oktavraum. Der Ton d muss also, um in den ersten Oktavraum zu kommen, nach unten oktaviert, zurückgerechnet werden. Es ergibt sich:
$$3/2 \times 3/2 = 9/4 : 2 = 9/8.$$
 (Das gleiche in Cent: $702 + 702 = 1404 - 1200 = 204$ C).

Wir haben einen Ganzton von der Grösse 9/8 (= 204 C) gewonnen.

Man könnte in dieser Weise weiterrechnen und einen 7-stufigen diatonischen und einen 12-stufigen chromatischen Tonraum errechnen. Darauf werden wir noch zurückkommen. Vorerst wollen wir uns aber noch einiger anderer Rechnungen befleissigen.

Ähnlich wie das Weltbild der Pythagoräer einen schweren Schlag erlitt, als sie entdeckten, dass ihre geliebte Mathematik, der Schlüssel zum Weltenbau, nicht wie gewünscht nur aus Entitäten, aus genauen Werten bestand, sondern auch Irrationalzahlen, unbestimmbare, unfassbare Größen enthielt, ähnlich war die Natur auch gegenüber den mittelalterlichen Pythagorasjüngern nicht gewillt, sich den Wünschen ihrer Verehrer zu fügen.

12 Quinten übereinander - wir wissen es schon – erreichen auf dem Klavier den gleichen Ton wie 7 Oktaven. Die Klavierquinten sind aber wie alle Intervalle der gleichstufigen Stimmung ausser den Oktaven keine reinen Intervalle. Sie sind gegenüber dem Naturintervall zwar nicht viel, aber rechnerisch doch erfassbar, etwas verkleinert. Betrachten wir nun die reinen Verhältnisse: 12 reine Quinten ergeben sich, wenn wir die Frequenz des Grundtons 12 mal mit 3/2 multiplizieren. $12 \times 3/2$ oder $(3/2)^{12}$ ergibt etwa einen Wert von 129,7. 7 Oktaven, also 2^7 ergeben aber 128. Die Intervallfolgen kommen nicht in gleicher Höhe an. Es ergibt sich rabiat gekürzt eine Differenz von rund 74 : 73 zwischen 12 reinen Quinten und 7 Oktaven.

$(12 \times 702 = 8424, 7 \times 1200 = 8400, 8424 - 8400 = 24 \text{ C})$. Dieser Betrag, der dem Quintenverehrer Pythagoras sicher nicht gefallen hätte, gesetzt den Fall, er hätte die späteren Tonsysteme schon erahnt, kann nach Lage der Dinge natürlich trotzdem nur „pythagoräisches Komma“ heissen.

Doch die Unstimmigkeiten zwischen Mensch und Natur gehen weiter: die 4. Quinte erschliesst zurückgerechnet den Ton e, die grosse Terz. Problemlos auf dem Klavier, findet sich bei reinen Intervallen auch hier eine fatale Differenz zwischen Anspruch und Wirklichkeit, zwischen dem schönen 5/4-Verhältnis der reinen Terz und der Gewinnung der Terz aus Quintschichtung und Zurückrechnen: $(3/2)^4 = 81/16$. Dies 2 Oktaven zurückgerechnet wird zu 81/64, eine grosse Terz, die recht verschieden vom 5/4-Verhältnis ist. Ihre Herkunft aus Quinten stempelt sie zur „pythagoräische“ Terz. Ihre Differenz zur reinen Terz ist 81/64 zu 5/4. $81/64 : 5/4$ entspricht $81/64 \times 4/5 = 324/320 = 81/80$. ($702 \times 4 = 2808, 2808 - 2400 = 408 \text{ C}$). Die Differenz zur reinen grossen Terz mit ihren 386 C beträgt 22 C.) Man spricht vom „syntonischen Komma“, das ebenfalls erheblich dazu beitrug, den Musiktheoretikern Kopfzerbrechen zu bereiten, als die reine grosse Terz mehr und mehr ein Daseinsrecht in der europäischen Musik beanspruchte.

Damit noch nicht genug erreichen 3 Grossterzen übereinander nicht den Wert der Oktave 2/1. $(5/4)^3 = 125/64$. Bringen wir die Oktave auf den gleichen Nenner, so erhalten wir 128/64. Die Oktave ist um 3/64 grösser als 3 grosse Terzen. ($3 \times 386 = 1158 \text{ C}$. Zur Oktave von 1200 C fehlen 42 C). Dieser bedeutende Fehlbetrag ist die „kleine Diesis“.

Die Oktave aus 4 Kleinterzen aufzubauen ist ebenfalls nur bei gleichstufiger Stimmung problemlos möglich. $(6/5)^4 = 1296/625$. Zur erweiterten Oktave 1250/625 ergibt sich ein Überschuss von 46/625. ($4 \times 316 = 1264$. Der Überschuss zur Oktave beträgt 64 C). Dieser Mehrbetrag ist die „grosse Diesis“. Sie beträgt mehr als die Hälfte eines Halbtons und stellt somit wahrlich ein grosses Problem dar.

Gehen wir von c aus 3 Quinten aufwärts und 1 Oktave zurück, so gelangen wir zum Ton a. $(3/2)^3 = 27/8 : 2 = 27/16$. ($3 \times 702 = 2106 - 1200 = 906$ C). Errechnen wir den Ton a aber durch einen Quintschritt nach unten, dann eine grosse Terz und eine Oktave aufwärts, so erhalten wir als Ton a endlich einmal einen reinen Intervallwert, die grosse Sexte $5/3$. $2/3 \times 5/4 \times 2 = 20/12 = 5/3$. Der Unterschied zwischen beiden Werten beträgt $27/16 : 5/3 = 27/16 \times 3/5 = 81/80$. ($1200 - 702 + 386 = 884$ C. $906 - 884 = 22$ C).

Wir kennen diesen Wert schon als syntonisches Komma.

Noch eine letzte Rechnung: Wir hatten schon die grosse Sekunde, den Ganztonschritt aus 2 Quinten um 1 Oktave zurückgerechnet als den Wert $9/8$ (204 C) kennen gelernt. Zieht man von einer grossen Sexte eine Quinte ab, so müsste man den gleichen Wert erreichen. Die Rechnung mit reinen Intervallen ergibt aber einen anderen Ganzton. $5/3 : 3/2 = 5/3 \times 2/3 = 10/9$. ($884 - 702 = 182$ C). Der Unterschied zwischen beiden beträgt, wie leicht zu sehen ist: $9/8 : 10/9 = 9/8 \times 9/10 = 81/80$. ($204 - 182 = 22$ C). Es ist unser alter Bekannter, das syntonische Komma, das also auch für die unangenehme Tatsache zweier Ganztöne verantwortlich ist.

Die Natur bietet eine doppelte Lösung an. Je nach Auswahl der Intervalle ergeben sich zwei um das syntonische Komma verschiedene Werte.

Tasteninstrumente benötigen aber eine genaue Position ihrer Töne. Man musste also notgedrungen eine subjektive Auswahl aus dem Naturangebot treffen. Es galt Kompromisse zu finden, die das Selbstverständnis reiner Intervalle in Einklang mit den Gegebenheiten der Musikpraxis bringen konnten.

Es ist sicher deutlich geworden: die Prämisse, die natürlichen Intervalle zur Basis eines Tonsystems zu machen, erwies sich als äusserst schwierig. Bewunderung für die strenge Ordnung in der Natur stand am Anfang der europäischen Musik. Doch die freie Allnatur war nicht bereit, sich den eigenwilligen menschlichen Konstruktionen anzubekommen, sich irdischen Zwecken anzupassen. Der Naturgott Pan liess sich nicht zähmen. Der Mensch musste den Kompromiss mit der Natur suchen.

Ein Musizieren mit nur reinen Intervallen ist zwar möglich. Es gibt Kompositionen für reine Stimmung. Der englische Komponist William Byrd z.B., der um 1600 lebte, hat – zum Spass oder versuchsweise - ein Stück für diese Stimmung geschrieben. Die Stimmung ähnelt, leicht und reizvoll verfremdet, unserer Klavierstimmung. Doch nur die C Dur- Tonleiter ist brauchbar, also die Bereiche C Dur, D Moll und der Dominantseptakkord über G. Ausflüge in andere harmonische Bereiche ergeben Intervallverhältnisse, die aus unseren auf Halb- und Ganztönen aufbauenden Systemen herausfallen, die bei aller Toleranz des Ohrs und aller Kenntnis der verschiedenen historischen Temperierungssysteme zu falsch klingen, um tragbar zu sein. Wir wissen inzwischen, warum das so ist. Denken wir an die Gewinnung des Tons a vom tonalen Zentrum c aus: je nach Melodieverlauf treffen wir auf unterschiedliche Tonhöhen für a, einmal auf die reine grosse Sexte zu c, einmal auf ein mit dem syntonischen Komma belastetes a. Ist das a der Quinte d – a rein, dann ist das a der transponierten Terz f – a um das Komma zu hoch. Im Quintenzirkel entferntere Töne werden zwei und mehr Kommata aufweisen, ihre Tonhöhen entfernen sich immer weiter von den reinen Verhältnissen. Anders gesagt: die Existenz zweier reiner Ganztöne macht es unmöglich, mit ausschliesslich reinen Intervallen zu modulieren, also andere tonale Zentren zu erreichen. Man müsste je nach angestrebter Tonart den einen oder den anderen Ganzton benutzen. Ein Tasteninstrument braucht aber nun einmal festgelegte Halbtonwerte.

Um eine brauchbare Ordnung der Musik zur Verfügung zu haben, musste sich jede Zeit und jede Region eine Ordnung, ihr System selbst erschaffen. Das Selbstverständnis, möglichst viele reine Intervalle zu erhalten, war auf Grund gemeinsamer kultureller Traditionen allen Zeiten und Regionen wichtig. Der jeweilige Entwicklungsstand, die spezifischen Strukturen der Musik mussten zu entsprechenden Lösungen führen, die sich im Zuge stetiger Veränderungen dieser Strukturen mitveränderten. Die wichtigsten dieser Lösungen werden wir gleich zu skizzieren haben.

Doch vorher sei es gestattet, einen Blick auf die grosse Gruppe der Nicht-Tastenspieler zu werfen, auf Streicher, Bläser und Sänger.

Die alten Bundinstrumente, Lauten, Theorben, später die Gitarren, verhalten sich in diesem Zusammenhang eher wie Tasteninstrumente. Die Lage der Bünde bestimmt die genaue Tonhöhe, nicht der Spieler.

Doch im Prinzip stehen alle Musiker, nicht nur die Tastenspieler, vor der fatalen Entscheidung, zwischen Skylla und Charybdis, zwischen der Sehnsucht nach dem reinen Intervall und der nicht mehr veränderbaren Vorgabe von 12 melodischen Stufen in der Oktave einen gangbaren Weg zu finden. Erinnert sei nur an die extreme Differenz zwischen der Oktave und einer melodischen Phrase aus 3 grossen oder 4 kleinen reinen Terzen. Von den vielen „Kommafehlern“ ganz zu schweigen.
„Auch auf Instrumenten, deren Tonorte nicht fixiert sind, muss der Ausführende zwischen dem Streben nach akustisch exakter Darstellung tonaler Tonbeziehungen einerseits und dem Wunsch nach reinen Intervallen andererseits ständig Kompromisse schliessen.“ (Riemann Musiklexikon).

Manche Nicht-Tastenmusiker behaupten, Intervalle, vor allem natürlich die Intervalle des Dreiklangs, grosse Terz und Quinte, rein zu intonieren. Da mag wohl oftmals der Wunsch schon für die Tat stehen. Das Ergebnis nachzuprüfen dürfte jedenfalls schwierig werden. Immerhin, Bewusstsein und Wille sind unbestreitbar vorhanden. Doch ein anderes Tonhöhenproblem stellt sich in der Praxis zunächst viel dringlicher: die Schwierigkeit, überhaupt sauber zu intonieren. Es existiert in jedem Augenblick des Musizierens und beansprucht mindestens zur Hälfte die Aufmerksamkeit des Spielers, Bläser keineswegs ausgenommen. Spielhilfen wie Ventile, Klappen, Züge garantieren allein noch keine gute Intonation. Die perfekte Intonation auf der Schallplatte oder im Radio ist oft genug Ergebnis vieler Wiederholungen und Korrekturen. Die Werte der Kommata können da schnell zu einer „quantité négligeable“ werden. (Der Verfasser kann dazu nach langen beruflichen Erfahrungen in der Musikproduktion ein – hoffentlich sauberes – Liedlein singen). Zudem können Unterschiede zwischen reinen und nichtreinen Intervallen nur in längeren Noten vom Ohr erfasst werden. Ist der Musizierpartner ein Tastenspieler, so befiehlt bei längeren Noten oder Akkorden eh der Tastenspieler, wo die richtige Tonhöhe ist.
Viele Musiker sind sich der Problematik der Kommata allerdings kaum oder gar nicht bewusst. Mit mehr Talent, gutem Gehör und Erfahrung als Wissen suchen sie sich ihren eigenen Weg durch die Tonhöhenprobleme.

Eine Hilfe finden sie dabei zumindest in der Musik nach 1800. Das „Vibrato“, die künstlich vom Spieler erzeugte Tonhöhen Schwankung von wenigen Schwingungen in der Sekunde, hilft bei längeren Notenwerten, das Tonhöhenproblem zu mildern. (Vom

Vibrato schon etwas ausgesungener Damen und Herren des Sängerfachs wollen wir hier besser nicht im Detail reden).

Im chorischen Ambiente, den Streichergruppen der Sinfonieorchester etwa, kann - durchaus im Sinne eines chorischen Klanges – von genauen Cent-Zahlen, wie sie der Cembalo- oder Orgelstimmer legen muss, sowieso nicht die Rede sein.

Das Problem der Anpassung an die Unvollkommenheit unseres Musiksystems, das Musiktheorie und -praxis über Jahrhunderte beschäftigt hat und heute wieder beschäftigt, existiert für alle Musiker. Auch für diejenigen, die sich ihre Töne selber suchen müssen. Es betrifft auch die Spezialisten der alten Musik, die auf ihren ventil- und zuglosen Blechblasinstrumenten, Hörnern, Trompeten, Posaunen, möglichst viele Töne aus der Naturtonreihe nehmen müssen. Auch sie können ihre schönen natürlichen Intervalle nicht immer zur Geltung bringen. Die Existenz syntonischer Kommata verlangt Kompromisse mit der reinen Lehre.

Der Theoretiker Arthur von Oettingen hat ein „Intervallnetz“ von reinen Quinten und reinen grossen Terzen vorgeschlagen, das in einfachster Weise plausibel macht, warum bei natürlichen Intervallverhältnissen jeder Ton verschiedene Werte annimmt, abhängig davon, ob man ihn aus der Schichtung von Quinten oder von grossen Terzen ableitet. Ersichtlich wird auch, wie die Differenzbeträge sich vervielfachen, je weiter man sich vom tonalen Ausgangspunkt entfernt. So bekommt auch der theoretisch weniger Vorgebildete, der Musiker etwa, eine Vorstellung von der Notwendigkeit, in unserer entscheidend von Harmonie und Modulation geprägten abendländischen Musik das Ideal reiner Intervalle modifizieren zu müssen.

Das Intervallnetz, hier im Ausschnitt dargestellt, lässt sich theoretisch ewig weiter führen. Die praktische Musik würde damit jedoch sehr schnell verlassen. In der Horizontalen finden sich Quintenketten in der Ordnung des Quintenzirkels. In der Vertikalen sehen wir Schichtungen grosser Terzen. Die Überstriche zeigen die syntonischen Kommata an, um die aus grossen Terzen gewonnene Töne kleiner sind als die aus Quinten gewonnenen. Die Unterstriche ergeben sich, wenn man von c aus abwärts den B-Tonartenbereich betrachtet. Man denke sich c als Symmetriearchse, die links und rechts gleiche Werte mit umgekehrtem Vorzeichen spiegeln. Vom Ton c aus abwärts ist dann beispielsweise eine reine Grossterz grösser, weniger tief im Minusbereich als die entsprechende pythagoräische. Genau umgekehrt ist es im Kreuztonartenbereich. In der Bruchrechnung verändert sich die reine grosse Terz c-e mit ihrem 5/4-Verhältnis gespiegelt am Ton c zu c-as mit dem Wert 4/5. Zum Beweis eine Rechnung: Die Quarte c-f ist 4/3 gross. Oktavierung nach unten bedeutet Halbierung der Frequenz. 2/3 ist also der Wert der Unterquinte c-f von c = 1 aus. Wie das nächste Kapitel zeigen wird, waren erst die Naturquinten, dann die natürlichen Grossterzen die Leitintervalle zur Füllung des Oktavraums mit Skalen. Sie sind zugleich die Intervalle, die den Dreiklang bilden.

	<u><u>d</u></u>	<u><u>cis</u></u>	<u><u>gis</u></u>	<u><u>dis</u></u>	<u><u>ais</u></u>	<u><u>eis</u></u>	<u><u>his</u></u>	
	a	e	h	fis	cis	gis	dis	
es	b	f	c	g	d	a	e	h
	<u>ges</u>	<u>des</u>	<u>as</u>	<u>es</u>	<u>b</u>	<u>f</u>	<u>c</u>	<u>g</u>
	<u>heses</u>	<u>fes</u>	<u>ces</u>	<u>ges</u>	<u>des</u>	<u>as</u>		

Betrachten wir zur Beweisführung den Ton e: die grosse Terz aus der Addition von 4 Quinten von c aus und ihrer Rückführung in den Oktavraum des Ausgangstons ergibt die schon bekannte pythagoräische Terz mit dem Wert 408 C. Der Ton e als reine

grosse Terz über c ist aber 386 C gross. Je nach Herleitung finden wir für den gleichen Ton e eine Differenz von 22 C. Sie entspricht dem syntonischen Komma.

2 reine grosse Terzen über c belasten den oberen Ton gis gegenüber einem aus Quinten gewonnenen gis schon mit 2 Kommata: $2 \times 386 = 772$ C. Gis aus 8 Quinten ergibt dagegen: $702 \times 8 = 5616$. Abzüglich 4 Oktaven mit ihren 4800 C erhalten wir 816 C. Die Differenz von 44 C zum gis aus grossen Terzen bedeutet die Existenz von 2 syntonischen Kommata. Die Terzenkette c – e – gis - his würde dem obersten Ton ein drittes syntonisches Komma einbringen.

Die Grosssterzkette as – c – e – gis ist auf dem gleichstufigen Klavier ein problemloser in der Oktave endender „übermässiger“ Dreiklang, denn in dieser künstlichen Stimmung sind as und gis gleich gross. Doch 3 reine grosse Terzen über as enden nicht beim Oktavton as sondern beim Ton gis, der um einen recht grossen Betrag niedriger als as ist. Wir wissen, es handelt sich um die 42 C der kleinen Diesis, die Differenz, die 3 reine grosse Terzen von der Oktave trennt. Dazu gleich mehr.

Der Geiger, der 3 grosse Terzen nacheinander rein spielen möchte, wird fast einen Viertelton zu tief ankommen. Er wird seine Terzen höher, gleichstufig nehmen müssen, will er den Oktavton erreichen und sein stets oktavenvernarres Publikum zufrieden stellen.

Dass er beim Versuch, 4 kleine Terzen rein zu spielen, nicht nur an die Grenzen seiner Kunst sondern selbst im Idealen infolge der grossen Diesis tragisch scheitern muss, versteht sich inzwischen ganz von selbst.

Wer unsere einfachen Rechnungen aber lieber übersprungen hat und damit einen erfreulichen Beweis für sein unbegrenztes Vertrauen in unsere mathematischen Fähigkeiten liefert, wird dennoch allein durch die Betrachtung des Intervallnetzes bemerkt haben, wie das Wechseln zu anderen tonalen Zentren, das Modulieren, bei reinen Intervallen sehr schnell zu immer grösseren Abweichungen in der Tonhöhe ein und desselben Intervalls führt. Nicht nur die Tasteninstrumente, aber am Dringendsten sie brauchen jedoch eindeutige Tonhöhenzuweisungen. Korrekturen am natürlichen Tonvorrat sind also unvermeidlich. „Corrigez la nature“, diese Forderung der Gartentheoretiker im französischen Grand Siècle - und ganz Europa beeilte sich, ihnen nachzueifern - in der Musik war diese Maxime längst jedermann selbstverständlich.

Ein Hinweis auf die „Leittonstrebungen“, der Begriff stammt von dem Theoretiker Ernst Kurth, darf in diesem Zusammenhang nicht fehlen: die Neigung der Nicht-Tastenmusiker, die Leittöne, die zur Auflösung in die Tonika nach oben streben, sehr hoch zu nehmen, die Leittöne nach unten dagegen tiefer anzusetzen als das Tonsystem eigentlich verlangt. Die Interpreten erschaffen sich damit weitgehend eine eigene tonale Ordnung.

Doch erst die Romantik hat dieses Mittel zur Ausdruckssteigerung entwickelt. Die Violinschule von Louis Spohr beschreibt es 1832 zum ersten Mal. Streicher, Bläser, Sänger, die sich ernsthaft mit vorromantischer Musik beschäftigen, müssen jedoch nicht nur diese Tatsache beachten, sie brauchen auch Kenntnisse zu den historischen Stimmungen, wenn sie alte Musik den Konventionen ihrer Zeit gemäss darstellen wollen. Die mitteltönige Stimmung etwa bringt mit sich, „dass Töne mit Kreuzen als Vorzeichen relativ tief liegen, Töne mit b-Vorzeichen aber relativ hoch, also ganz entgegen der heutigen Gewohnheit von Streichern und Sängern, welche aufwärts strebende Leittöne hoch, abwärts strebende tief intonieren“. (B. Billeter).

Rechnen wir nach am Beispiel der Töne fis und ges, indem wir dem nächsten Kapitel schon etwas vorgreifen. Gis ergibt sich von c aus, klarer Fall, durch Addition von zwei

reinen grossen Terzen: $386 + 386 = 772$ C. As entsteht durch Reduktion der Oktave um eine reine Grossterz: $1200 - 386 = 814$ C. Der Ton as, im Umfeld von Es-Dur unverzichtbar, ist also um 42 C, um fast einen Viertelton höher als der Ton gis, der im Umfeld der Kreuztonart A Dur und natürlich als Terz von E Dur benötigt wird. Für die anderen „chromatischen“ Halbtонwerte wie es/dis oder ges/fis würden wir den gleichen Unterschied, wiederum die kleine Diesis erhalten.

Noch in der Mitte des 18. Jahrhunderts macht Leopold Mozart in seinem „Versuch einer gründlichen Violinschule“, erschienen im gesegneten und unvergesslichen Jahr 1756, auf die Unterschiede zwischen dem „richtigen Verhältnisse“ und ihrer Einebnung auf dem Klavier aufmerksam und empfiehlt: „Es wäre freilich gut, wenn man die Lehrlinge zu dem Klangmässer (Monochordon) führete“. An der Saitenteilung soll der Lehrling also erfahren, dass die Töne fis und ges, cis und des usw. nicht identisch sind, dass sie genetisch weit entfernt und in ihrer Tonhöhe verschieden sind.

„Wer hat also recht, die heutigen Geiger oder Leopold Mozart? Natürlich beide: es kommt eben darauf an, ob die Terz des Dominantdreiklangs als in sich ruhende Klangterz oder als Leitton empfunden wird. In romantischer Harmonik ist meist letzteres der Fall, im 16. und 17. Jahrhundert aber ersteres“. (B. Billeter). Ein Beispiel: wenn sich der D-Durdreiklang a – d – fis nach G Dur auflöst, so wird fis als Leitton empfunden. In erster Linie durch den Halbtönschritt fis – g geniessen wir den Wechsel von der Dominante zur Tonika, von Spannung zu Entspannung. Leopold Mozart mahnt nun, „nach dem richtigen Verhältnisse“ sei das fis tiefer als ein ges zu nehmen. Ein heutiger Geiger aber wird das fis möglichst hoch nehmen. Will er ernsthaft alte Musik spielen, so müsste er die Lehren und Ermahnungen Leopold Mozarts kennen und beachten.

Die Forschung sieht allerdings auch Anzeichen dafür, dass Leittonstrebung schon in der Mozartzeit bekannt war. Dann nämlich, wenn der Leitton zu einem Tritonusintervall gehörte. Das menschliche Empfinden reagiert auf dieses Intervall etwas unschlüssig, weniger entschieden als auf eine Terz, Quint oder gar Oktave. So war im Dominantseptakkord d – fis – c der Leitton c, der nach h und damit in die Tonika G Dur drängt, auch vertieft gut verträglich, da die Tonfolge fis – c, ein Tritonus, viel Spielraum verträgt.

Orgel, Clavichord und Cembalo spielten in den vergangenen Jahrhunderten mit ihrem Schwerpunkt auf der geistlichen Musik, daneben auch in der Hausmusik, eine viel grössere Rolle als heute. Die Temperaturprobleme waren somit wichtige Themen für Musiktheoretiker und Praktiker. Sie sind es heute noch, oder - dank der Renaissance der alten Musik seit einigen Jahrzehnten – sie sind es wieder. Die Frage der besten Temperatur für welche Musik ist vielleicht aktueller denn je. Man spielte früher fast nur die Musik seiner Zeit. Historisches Bewusstsein gilt als Errungenschaft der Romantik. Dass Haydn und Mozart in Wien auf Anregung von van Swieten sich mit Bach und Händel beschäftigten, ist eher als bemerkenswerte Ausnahme zu werten denn als Normalfall. Doch heute steht den Interpreten ein Repertoire von mehreren Jahrhunderten offen. Eine Situation, wie sie es noch nie in der Geschichte gegeben hat. Somit sind auch Fachfragen wie die Einstimmung von Tasteninstrumenten eher schwieriger zu lösen als in früheren Epochen. Kenntnisse und Einfühlung in verschiedenste historische Zeiten sind nötig, um der überlieferten Musik gerecht werden. Der Komponist rechnete mit den Temperierungssystemen seiner Zeit, seine Musik verlangt sie, um in ihrer Qualität heute noch erfahrbar zu sein.

5

Arnold Schönberg hat in seiner Harmonielehre das gleichstufige System als Kompromiss bezeichnet und festgestellt, dass es einen auf unbestimmte Frist geschlossenen Waffenstillstand darstellt. Es ist an der Zeit, dass an die Stelle des Waffenstillstandes die friedliche Koexistenz vielfältigster Möglichkeiten tritt, an der auch die Moderne teilhaben könnte. (J. Goens).

Musik entsteht nicht im luftleeren Raum sondern im Umfeld eines existierenden Musiksystems. Die Komponisten und Improvisatoren bewegen sich in einem ihnen theoretisch und handwerklich vertrauten Rahmen. Sie nutzen seine Möglichkeiten gemäss den Regeln ihrer Kunst. Auch „die verschiedenen Temperatursysteme, die einen Ausgleich schaffen zwischen idealen Tonwerten und äusserer Notwendigkeit, sind immer Ausdruck des Gestaltungswillens der jeweiligen Epoche“. (J. Goens).

Die Dominanz der Quinte und der spekulative Überbau der Naturtonintervalle blieb im Abendland Wissens- und Bildungsstoff. In immer neuen Renaissances versicherte man sich der Massstäblichkeit des antiken Wissens für die eigene Zeit, trotz aller grundsätzlichen Vorbehalte von Seiten der Kirche.

Für das Mittelalter hatte schon Pythagoras die Weichen gestellt. Oktave und Quinte, die geheiligten überlieferten reinen Naturintervalle, mussten das Tonsystem der Musik, ihre Intervallverhältnisse dominieren. Es galt also, so viele reine Quinten in das Gerüst der Oktaven einzufügen als möglich, und für die anderen, weniger prominenten Intervalle möglichst viele für das Ohr akzeptable Werte zu finden und die unakzeptablen beim Komponieren und Improvisieren zu umgehen. Denn wir wissen ja: Quinten und Oktaven treffen sich nicht, 12 reine Quinten sind höher als 7 Oktaven. Will man aus den Quinten und ihrer Rückführung in den ursprünglichen Oktavraum eine Leiter gewinnen, so lässt sich das 11 mal tun, aber die 12. Quinte trägt das Stigma eines Überschusses, eines Kommas. Ein geschlossenes System wie auf unserem Klavier kann diese dem Propagandisten der Quinte gewidmete „pythagoräische“ Stimmung nicht sein.

Es versteht sich, dass für den Ganzton der pythagoräischen Tonleiter nur der 9/8-Wert in Frage kam, denn er ergibt sich aus zwei Quinten und ihrer Rückrechnung um eine Oktave ganz im Sinne der prominenten Stellung der Quinte: $3/2 \times 3/2 = 9/4 : 2 = 9/8$. ($702 + 702 = 1404 - 1200 = 402$ C). Die Rechnung ist uns nicht neu, die Wiederholung kaum noch nötig. Der zweite reine Ganzton bleibt aussen vor, denn er ergibt sich nicht so sinnfällig.

Die grosse Terz hatte im Mittelalter kein Gewicht. Sie galt als Dissonanz, denn im pythagoräischen System gewann man sie aus 4 Quinten und ihrer Rückführung in die Ausgangsoktave. $(3/2)^4 = 81/16 : 4 = 81/64$. ($4 \times 702 = 2808$. $2808 - 2400 = 408$ C). Auch das ein alter Bekannter, die pythagoräische Terz. Ein Wert, der für ein schönes Terzverhältnis viel zu gross ist, recht viel grösser noch als unsere Klavierterz mit ihren 400 C. Die reine Grossterz hat ja 386 C.

Die grosse Terz war noch nicht das, was sie später werden sollte: strahlender Mittelpunkt und eigentlicher Ausdruckswert des Durakkords. Auch die anderen Intervalle der Tonleiter machten den Naturtönen nicht eben viel Ehre. Ihre aus Quinten gewonnenen Werte erweisen sich als recht kompliziert. Der Halbton e – f ist mit 256/243 nicht eben eine Augenweide. Nur die Quarte, Ergänzung der Quinte zur Oktave, konnte ihr reines 4/3-Verhältnis behalten.

Eine temperierte, in manchen Werten den Bedürfnissen entsprechend zurechtgerechnete Stimmung war das aber noch nicht. Man hatte sich mit Hilfe der sakrosankten Quinten einen Tonverrat geschaffen und akzeptierte die Intervalle wie sie eben waren. Natürlich mit Ausnahme der Quinten selbst und ihrer Ergänzung zur Oktave, den Quarten.

Die Musik des Mittelalters war zunächst einstimmig, „monodisch“. Der Gregorianische Choral galt als von Gott selbst diktiert. Er war geheiligt, war Zentrum und Ausgangspunkt der kommenden Entwicklungen. Erst über einen langen Zeitraum hinweg entstand neben der monodischen Musik die Mehrstimmigkeit. Die „Organum“-Kompositionen des 12. Jahrhunderts unterlegten die bisher einstimmigen Linien mit Quinten- und Quartenparallelen. Beim Einstimmen von Tasteninstrumenten – der Begriff „Organum“ weist auf das Vorhandensein von Orgeln – waren genaue numerische Entscheidungen zu treffen. Selbstverständlich waren die Quintenparallelen als reine Naturtonintervalle einzustimmen.

Wenn die frühesten erhaltenen Traktate zur pythagoräischen Stimmung auch erst aus der Zeit um 1450 stammen, so ist die Entstehung des Systems doch mit den Anfängen der Entwicklung der Mehrstimmigkeit in Beziehung zu setzen.

Die pythagoräische Stimmung war wie jede Stimmung Ausdruck ihrer Zeit. Sie erfüllte die Anforderungen, welche die Zeit an sie stellte. Orgelaufnahmen mit Musik des Spätmittelalters in pythagoräischer Stimmung zeigen eine lineare Musik, die noch nicht im späteren Sinne moduliert und andere tonale Zentren ansteuert. Die Musik des Mittelalters dachte diatonisch. Die „Kirchentöne“, das tonale Ordnungsprinzip der europäischen Musik, genau kodifizierte Tonfolgen, die der Musik als Gerüst dienten wie später unsere Tonleitern, kannten noch keine Chromatik. Sie nutzten die Möglichkeiten, die 12 Halbtöne boten, nicht in dem Sinne wie im späten 16. Jahrhundert etwa ein Gesualdo da Venosa. Und auch dieser geniale Komponist ist in seiner Zeit eher als Ausnahme zu werten.

Erst in der Renaissance tendiert die mehrstimmige Musik nach und nach dazu, vertikal, alsakkordische Musik gehört zu werden. Damit beginnt die Zeit der reinen grossen Terz. Sie wird zum bestimmenden Intervall des sich konstituierenden Dreiklangs. Sie gibt dem Akkord die Farbe, seinen Gefühlswert, auch wenn es bis zu den strahlend-optimistischen Klängen eines Bach oder Händel im Spätbarock noch ein langer Weg ist. Nun beginnt auch die Zeit des Temperierens von Intervallen.

Im England des 14. Jahrhunderts hatte der Musiktheoretiker Walter Odington unter dem Einfluss der englischen Volksmusik, die sich in ihrer Terzenseligkeit von keinem Theorietraktat hatte beirren lassen, die grosse Terz zur Konsonanz erklärt und ihr schönes 5:4-Verhältnis hervorgehoben, entgegen der bisherigen Ansicht, die sie, wie wir wissen, höchst eigenwillig um der reinen Quinten willen aus 4 dieser Intervalle hergeleitet hatte.

Um 1450 erscheint nach heutigem Wissenstand in Italien in der musiktheoretischen Literatur zum ersten Mal der Begriff „temperare“. Pietro Aaron gibt 1523 gleichfalls in Italien die erste Beschreibung eines festen Systems, das als „mitteltönige Stimmung“ zuerst wohl dort Eingang in die Stimmpraxis der Tasteninstrumente findet. Was Aaron beschreibt, ist aber wohl längst gängige Praxis, und das nicht nur in Italien. Erste

Vorboten eines terzverliebten Tonsystems werden schon dem Buxheimer Orgelbuch von ca. 1480 zugeschrieben.

Die Regionen nördlich der Alpen sind gemäss den heutigen Forschungsergebnissen im 16. Jahrhundert durch Empirie und Vielfalt gekennzeichnet. Ziel ist auch hier die Emanzipation der Terzen, und mitteltönige Praxis kann auch hier angenommen werden, wie das Beispiel des Buxheimer Orgelbuchs zeigt. Aber erst nach 1600 kann sich unter dem Einfluss des Theoretikers und Komponisten Michael Praetorius, in seiner „Organographia“ von 1619 theoretisch und praktisch exakt beschrieben, die mitteltönige Stimmung als Standard für die Tasteninstrumente durchsetzen. Ihm zu Ehren spricht man auch von der „prätorianischen“ Stimmung.

Die wichtigsten Kennzeichen dieser Temperatur lassen sich anschaulich an dem Schema im Anhang (Fig.4) ablesen, wie es zur Darstellung von Temperierungsmodellen üblich ist: Vom Ton c ausgehend sind nach rechts die Quinten der Kreuztonarten bis gis, nach links der Quintenzirkel bis zum Ton es auf einem Kreis aufgetragen. Die 8 Quinten, die in die Bereiche der Kreuztonarten führen, sind um $\frac{1}{4}$ des syntontischen Kommas verkleinert, ebenso die 3 Quinten, die von c aus abwärts in die B-Tonarten führen. Wie wir wissen ergab sich die pythagoräische Terz aus 4 Quinten, die um 2 Oktaven zurück zu rechnen sind. Das syntontische Komma belastet sie gegenüber der reinen Terz mit 22 C. Will man im Interesse schön klingender Akkorde möglichst viele Dreiklänge mit reinen Terzen haben, so gilt es, den Überschuss von 22 C auf je 4 Quinten zu verteilen. $\frac{1}{4}$ des Kommas beträgt 5,5 C. Die mitteltönige Quinte errechnet sich dem gemäss gegenüber der reinen Quinte zu: 702 minus 5,5 = 696,5 C. Dann ist gewährleistet, die eingezeichneten Linien symbolisieren es, dass 8 Grossterzen in den von c ausgehenden wichtigsten Tonarten als reine Terzen die Dreiklänge färben: c-e, g-h, d-fis, a-cis, e-gis, f-a, b-d und es-g.

Der Raum zwischen gis und es, auf dem Klavier eine Quinte wie jede andere, ist mit 737,5 C allerdings alles andere als ein brauchbares Intervall. Die mitteltönige Temperatur legt die schon aus der pythagoräischen Stimmung bekannte „Wolfsquinte“ an diesen von c aus weit entfernten Ort. Die Quinte über gis wäre dis. Aber der Ton dis ist rechnerisch nicht identisch mit dem Ton es, der von c aus im Quintenzirkel abwärts nach 3 Quinten erreicht wird. Das System schliesst sich nicht. Es stehen nicht alle Tonarten zur Verfügung. Im Interesse von 8 reinen Terzen, also 8 herrlich klingenden Dur-Akkorden, verzichtet man auf einen geschlossenen Tonartenkreis.

„Enharmonische Verwechslungen“, wie sie für die romantische Musik typisch sind, der Wechsel von einer Kreuz-Tonart zu einer B-Tonart oder umgekehrt über den gleichen Dreiklang, sind im Gegensatz zur gleichstufigen Temperatur also nicht möglich. Oder sagen wir besser: eigentlich nicht möglich, denn findige Gelehrte haben gleichwohl Beispiele für Experimente mit Enharmonik ausfindig gemacht. Doch grundsätzlich gilt: fis hat nicht die gleiche Tonhöhe wie ges, der Dreiklang fis – ais – cis ist nicht identisch mit dem Dreiklang mit ges – b – des. Für die anderen Obertasten gilt ein Gleiches.

Doch es gab noch einen Preis zu zahlen: die kleine Diesis sorgt bekanntlich dafür, dass 3 reine Terzen nicht die Oktave erreichen. Will man wenigstens 2 von 3 Terzen rein halten, so muss man die dritte um 42 C vergrößern. Sie ist dann $386 + 42 = 428$ C gross und damit kaum noch als grosse Terz zu bezeichnen. Sie ist eine „Wolfsterz“. Für die Musik in einem zwölfstufigen Oktavraum ist sie nicht zu gebrauchen. Bei 8 reinen grossen Terzen ergeben sich demnach 4 (nicht eingezeichnete) Terzen über h, fis, cis und gis, auf die Verzicht zu leisten ist.

Das Fehlen von H Dur, Fis Dur, Cis Dur und Gis Dur, von höheren B-Tonarten ganz zu schweigen, war kein Unglück. Man stand immer noch unter dem Bann der alten Kirchentöne, die sich mit einem begrenzten harmonischen Ambitus begnügt hatten. Die Forderung, den Quintenzirkel auch in seinen fernen unbekannten Regionen zu erforschen, war noch kein allgemeines Thema, wenn auch Avantgardisten schon hier und da von neuen Ufern träumten.

Der Begriff „mitteltönig“ bezieht sich auf die spezifische Generierung des Ganztons. Man benutzte weder den grossen noch den kleinen natürlichen Ganzton, sondern kreierte einen eigenen nichtnatürlichen, indem man die reine Terz kurzerhand halbierte. Da $386\text{ C} : 2 = 193\text{ C}$ ergeben, steht der mitteltönige Ganzton also genau in der Mitte zwischen den beiden Naturganztönen 182 und 204 C, die ja zusammen gleichfalls die reine Terz bilden.

Organisten, die über mitteltönig eingestimmte Orgeln verfügen, sprechen oft von 6 Dur- und 2 Molltonarten, die zur Verfügung stünden. Doch das ist keine ganz feste Grenze. Cent-Zahlen sind zwar absolute Werte, aber die Komponisten, die ihr System genau kannten, fanden durchaus Wege, die tonartliche Begrenzung etwas aufzuweichen. In den Grenzgebieten konnte man mit sorgfältig gewählten melodischen Wendungen allzu dissonante Intervalle und Akkorde umgehen. E Dur, schon 4 Tonarten im Quintenzirkel von C Dur entfernt, klingt bereits sehr gespannt, nicht alltäglich. Gerade deshalb wohl, um der Affektpspannungen willen benutzt der Komponist Girolamo Frescobaldi diese Tonart in mehreren seiner Orgel-Elevationstoccaten, die zur Wandlung, dem Höhepunkt der Messe, zu spielen waren. Doch den so nahe liegenden Ton dis, die grosse Terz der Dominante H Dur, umgeht er oder schreibt ihn nur als kurzen Durchgangston. Die Terz h – dis war (und ist) als längeres Intervall auch für mitteltönig Geübte jenseits der Grenze des Tolerierbaren. Die übermässige Affektpspannung wird zum Missklang. (Nach B. Billeter). Andererseits sind sich die Forscher sicher, dass Dissonanzen oft bewusst eingesetzt wurden, um bestimmte Ausdruckswerte zu erreichen. Auch darin zeigt sich, welche Bedeutung der richtigen Temperierung zur Darstellung historischer Literatur zukommt.

Manche Organisten betrachten das mitteltönige System als ein eher gleichstufiges Modell, da 8 Dreiklänge mit identischen Terzen nur wenig „Tonartencharakteristik“ zulassen. Andere dagegen verweisen darauf, dass andere Intervalle in verschiedenen harmonischen Bereichen durchaus verschieden seien, und jeder harmonische Bereich durchaus eine eigene Färbung besitze. Ansichtssache.

Bernhard Billeter, Theoretiker und Praktiker in einer Person, soll das Schlusswort zu diesem Thema haben:

„Mitteltönige Stimmung ist unserem Ohr zunächst sehr ungewohnt. Zwar geniesst es bei Dur-Dreiklängen die wunderbar reinen Terzen, welche sehr viel angenehmer zu hören sind als die Terzen der gleichschwebenden Stimmung, besonders auf der Orgel. Aber es braucht eine gewisse Umstellung der Hörgewohnheiten, bis das Fehlen von erhöhten Leittönen nicht mehr als Mangel, sondern als Charakteristikum der alten Musik empfunden wird, bis bei chromatischen Tonleitern die herbe Ungleichheit der Halbtorschritte als Verdichtung des Ausdrucks erlebt wird. Wer aber Orgelmusik des 16. oder 17. Jahrhunderts schon in mitteltöniger Stimmung gespielt oder gehört hat, wird sich nie mehr mit der gleichstufigen Stimmung zufrieden geben.“

Mitteltönig gestimmte Orgeln sind noch in der Mitte des 19. Jahrhunderts insbesondere in Italien nachweisbar. Doch auch in Norddeutschland, wo am Ende des 17.

Jahrhunderts der grosse Orgelbauer Arp Schnitger eine dominierende Stellung einnahm, klang seine Orgelbauweise und die damit verbundene Mitteltönigkeit noch lange nach.

Doch schon Michael Praetorius, die Referenz in Sachen Mitteltönigkeit zumindest in Deutschland, denkt im beginnenden 17. Jahrhundert auch bereits über eine Ausweitung der Grenzen dieses Systems nach, über Wege, weitere harmonische Bereiche der Musik zu öffnen. Das Ziel, den Quintenzirkel zu schliessen, über möglichst alle Tonarten zu verfügen und die Wölfe zu beseitigen, die allzu falschen Intervalle, die sich an den Enden der beiden Zweige des Quintenzirkels ergeben hatten, war somit zumindest schon ins Auge gefasst.

Es hat in den mitteltönigen Jahrhunderten nicht an Versuchen gefehlt, die harmonischen Beschränkungen auf ganz andere Art zu überwinden als durch das Temperieren von Intervallen. Man begann, Orgeln, vor allem aber Cembali mit „gebrochenen“ Obertasten zu bauen. Man baute die Obertaste b/ais doppelt und stimmte die eine für den Gebrauch der B-Tonarten als b, die andere zum Gebrauch in den Kreuztonarten als ais aus. Damit liess sich der harmonische Ambitus erweitern. Instrumente mit mehreren doppelt gebauten Obertasten folgten. Und 1555 beschreibt Nicola Vicentino ein „Archicembalo“ mit durchgehend gebrochenen Obertasten. Um 1600 wird ein Instrument mit 31 Tasten erwähnt, das für die Bestrebungen steht, die griechische Chromatik und Enharmonik wieder zu beleben.
Doch die zunehmende Virtuosität, die die Komponisten einforderten, machte den Umgang mit solchen Instrumenten auf Dauer unmöglich.

Als bahnbrechend für die weitere Entwicklung der musikalischen Temperatur erwiesen sich die Vorschläge Andreas Werckmeisters, die er 1681 in seiner „Orgelprobe“ veröffentlichte. „Aus allen Clavibus eine erträgliche Harmonie zu machen“, war mit seinem System erstmals möglich. „Er verwirft das Pramat der reinen, der „guten“ Terz zugunsten reiner Quinten und eines sich schliessenden Quintenzirkels. Zwangsläufig rückt von jetzt ab das pythagoräische, nicht mehr das syntonische Komma und seine Verteilung ins Blickfeld.“ (F. J. Ratte).

Das eigentliche praktische Temperierungsmodell Werckmeisters, unter Insidern als „Werckmeister 3“ bekannt, das heute in vielen Orgeln zu finden ist, verzichtet also auf die völlige Reinheit der grossen Terzen. Genauer: sie werden um ein viertel, ein halbes, einige um ein dreiviertel oder ein ganzes Komma erhöht. Die beiden letzten Werte sind damit höher, also noch schlechter als die gleichstufige grosse Terz mit 400 C.

In der Folge entstehen eine kaum überschaubare Anzahl von Temperierungsmodellen, die unter der nun selbstverständlichen Voraussetzung eines geschlossenen Systems versuchen, immer wieder einen neuen Kompromiss zwischen den gegebenen Faktoren einer möglichst grossen Reinheit der Grossterzen und Quinten, der Verteilung der Temperierungswerte in die entfernteren Tonarten, Entfernung der Wolfsintervalle usw. suchen.

Von grosser Wichtigkeit erwies sich ein Wesenszug dieser Systeme, der sich sozusagen von selbst, durch die Unzulänglichkeit des Materials einstellte. Dadurch, dass alle Tonarten notgedrungen verschiedene Intervalle besassen, ergab sich eine „Tonartencharakteristik“. Jeder harmonische Bereich hatte seine eigene Farbe. Den Komponisten war damit ein Mittel an die Hand gegeben, den Tonarten Gefühlswerte zuzuschreiben und sie in Musik zu setzen. In der reinen Mitteltönigkeit war dieses

Mittel, wie wir gesehen haben, infolge der annähernd gleichen Intervallbeziehungen der 8 wichtigsten Dreiklänge nur eingeschränkt wirksam. 8 reine Terzen hatten ihren Preis.

Musik für Tasteninstrumente rechnete, wir hörten schon davon, mit den zeittypischen Temperaturmodellen. Die Komponisten kalkulierten die Wirkungen einer spezifischen Temperatur, bezogen sie in den kompositorischen Prozess mit ein. Spielt man solche Musik auf gleichstufigen Instrumenten, so fehlt ein wesentlicher Teil der Komposition. Läufe, Linien verlieren an Spannung, an Ausdruck, Akkorde verlieren an Wärme und Schönheit. Eine Erfahrung, die so vielfach belegt ist, dass an ihr nicht zu zweifeln ist.

Der Begriff der „modifizierten Mitteltönigkeit“ hat sich für die Temperierungsmodelle mit geschlossenen Systemen eingebürgert. Der Organist und Organologe Harald Vogel benutzt in seinen Veröffentlichungen auch den Terminus „wohltemperiert“, ohne ihn im Einzelnen zu definieren. Natürlich stellt dieser Begriff einen Bezug zu dem berühmten Sammelwerk Bachs, dem „Wohltemperierten Klavier“ her, in dem der Meister – keineswegs als erster – zweimal den gesamten Quintenzirkel ausleuchtet: das grossartigste Zeugnis der nunmehr seit Werckmeister errungenen Fähigkeit, das von der Natur vorgegebene mathematisch fassbare Gesetz der Töne in ein dem Menschen gemässes Musiksystem zu bringen und zu beherrschen.

Die ältere Bachforschung war manchmal geneigt, in diesem grossen Werk den Beweis für den Durchbruch des gleichstufigen Systems zu sehen. Doch diese Vorstellung wird heute eher verneint. Bachs Einstellung zum Temperaturproblem hat die Bachforschung zwar nicht erschliessen können, noch viel weniger Bachs bevorzugtes Temperaturmodell. Die Forschung sieht auch als gesichert an, dass um 1700 die gleichstufige Stimmung, als Denkmodell schon lange bekannt, nicht nur diskutiert wurde sondern auch in die Praxis Eingang gefunden hatte und neben den vielen Modifizierungen der alten Mitteltönigkeit mehr und mehr an Boden gewann. Für die Bachsche Tastenmusik ist jedoch eine ungleichstufige Stimmung höchstwahrscheinlich. Eine Stimmung, die Bach, wie manche Forscher meinen, möglicherweise gar nicht mathematisch genau berechnete sondern empirisch legte.

Noch sein Schüler Kirnberger veröffentlicht drei verschiedene ungleichstufige Temperaturmodelle. Zu einer Zeit, als die gleichstufige Temperatur bei Theoretikern und Praktikern bereits so an Boden gewonnen hatte, dass ihr Siegeszug nicht mehr aufzuhalten war. Heute sehen Organologen wie Herbert Kelletat in der „Kirnberger-3“-Stimmung, die inzwischen in vielen Orgeln zu finden ist, „für alle tonale Orgelmusik die optimale Lösung des Temperaturproblems. Man kann damit auch die Musik des 20. Jahrhunderts spielen“. Freilich ist das nur eine Stimme unter mehreren. Nicht wenige Forscher vertreten durchaus andere Meinungen und propagieren andere Stimmungen als bestmöglichen Kompromiss oder gar als Ideallösung.

Doch die Zukunft gehörte erst einmal der gleichstufigen Stimmung. Im Sinne dieses Prinzips kann man den leidigen Überschuss von 12 Quinten zu 7 Oktaven, die 24 C des pythagoräischen Kommas, endlich auf alle 12 Quinten gleichmässig verteilen, so das die gleichstufige Quinte mit 700 C nur um 2 C enger ist als die reine. Eine annehmbare Situation für Freunde der Quinte.

Da 3 Grossterzen nun auch die Oktave erreichen sollen, wird diese gedrittelt, so dass jede Grossterz 400 C erhält. Es verschwindet damit die kleine Diesis von 42 C, die den reinen grossen Terzen zur Oktave gefehlt hatte. Sie wird auf die 3 Terzen verteilt. Das bedeutet eine Erhöhung der reinen Terz um $42:3 = 14$ C. Auch so erreichen wir den Wert von 400 C. Er bedeutet einen empfindlichen Verlust an Klangschönheit für dieses

höchst empfindliche den Dreiklang dominierende Intervall. Der Dreiklang, seit langem schon wichtigstes Element insbesondere der Orgelmusik mit ihrer Liebe zu stationären Klängen, wurde der Idee grösster Einfachheit und Logik und dem Gleichheitsprinzip aufgeopfert. Der Gedanke der Gleichheit, in den Studierstuben des 18. Jahrhunderts erdacht, in der französischen Revolution und der amerikanischen Verfassung in die Tat umgesetzt, auch in der Musik setzte er sich durch.

Ein Stück Aufklärung steckt in dem Siegeszug dieser Stimmung: die Ratio des Menschen befreite sich von altväterlichen Traditionen, von Gedankenkonstrukten aus sagenhafter Vorzeit, an die zu glauben nur noch abseitigen Bücherwürmern möglich war.

Man zog die Konsequenz aus einer Entwicklung, die den harmonischen Intervallen im Interesse einer Aufwertung der bisher vernachlässigten entfernten Tonarten ihre frühere Wertigkeit genommen hatte. Das war im Einzelnen zwar kein geradliniger Weg, aber er führte doch immer mehr in die Richtung der Gleichstufigkeit. Die herausgehobene Stellung des Tones c: historischer Ballast, den es abzuwerfen galt. Alle Tonarten sind gleichwertig. Und in der Tat: Welch schöne Wirkungen hat die romantische Musik aus As Dur oder Des Dur oder aus f Moll gezogen. Doch Vorsicht ist geboten: Des Dur-Akkorde oder -Läufe bestehen aus genau denselben Intervallen wie das so nahe C Dur. Ein etwas veränderter Kammerton oder ein Plattenspieler, der etwas langsamer läuft, und unsere Vorstellung des besonders schönen Des Dur ist nur noch Einbildung! Der Organologe Franz Josef Ratte soll für uns den historischen Wechsel zur Gleichstufigkeit zusammenfassen: „Auch diejenigen Musiker und Theoretiker, die sich vehement für die gleichstufige Temperatur einsetzen, waren sich bewusst, dass die uneingeschränkten Transpositions- und Modulationsmöglichkeiten teuer erkauft waren auf Kosten der verschärften grossen Terzen in allen Tonarten, der leichten Einstimmbarkeit (dies ist vor allem für die besaiteten Tasteninstrumente relevant) und durch den Verlust einer echten und objektiven Tonartencharakteristik.“

Im 20. Jahrhundert bewirkte die Orgel-Bewegung in mehreren Schüben eine Rückbesinnung auf die Prinzipien des klassischen Orgelbaus. Sie mündete in den 70er Jahren in die Alte Musik-Bewegung, die inzwischen überall in der Welt die europäische historische Musik aus den Bedingungen ihrer Zeit zu erarbeiten versucht. So kam auch die Temperaturfrage bei Tasteninstrumenten erneut in den Blickwinkel.

Stellt ein Umstimmen von besaiteten Tasteninstrumenten relativ wenige Probleme, so ist bei Orgeln der Aufwand dagegen ganz erheblich viel grösser. Das ist sicher einer der Gründe, warum sich alte Stimmungen in ländlichen Regionen gegen den Trend der Zeit noch lange erhalten haben.

Doch viele im Laufe der Zeit veränderte alte Instrumente sind in den letzten Jahrzehnten restauriert und soweit als möglich in ihren ursprünglichen Zustand zurückgeführt worden. Dass dabei auch wieder eine Temperatur in Anwendung zu kommen hat, ist seit langem selbstverständlich. Welche Temperatur für welches Instrument die beste Lösung darstellt, ist allerdings ein Feld, auf dem sich trefflich streiten lässt. Anders als in historischen Zeiten will jeder Organist heute ja ein möglichst breites Spektrum an Literatur auf seiner Orgel zur Verfügung haben. Unstrittig ist allein die Notwendigkeit einer Temperatur.

Der französische Organist und Organologe Pierre-Yves Asselin schreibt: „Toute interprétation soucieuse d'authenticité se doit de réunir les différents éléments du context original dans lequel le répertoire a été créé : le choix d'un tempérament adéquat est, à cet égard, non moins essentiel que celui de l'instrument sur lequel on joue, sinon davantage ».

(Jede um Authentizität bemühte Interpretation muss alle Elemente der Musik berücksichtigen, um den originalen Kontext herzustellen. Die richtige Temperatur ist dabei mindestens so wichtig, wenn nicht noch wichtiger als das richtige Instrument.)

Auch für neue Instrumente, die den klassischen Bauprinzipien folgen, ist das Legen einer Temperatur heute fast selbstverständlicher Teil des Bauplans. Es gibt gemäss Harald Vogel Orgelbauer, die jedem ihrer Instrumente unabhängig von den jeweiligen Vorgaben eine ungleichstufige Temperatur geben.

Eine Beschäftigung mit Geschichte, Theorie und Praxis des Temperaturproblems ist heute für die Fachwelt wie für den Musikfreund wieder ebenso aktuell und ebenso interessant wie ehedem.

6

„Es gehört schon ein gehöriges Mass an Duldsamkeit dazu, die dissonant schwirrenden Mixturen eines Pleno-Dreiklangs einfach hinzunehmen.“ (Matthias Naeschke).

Es erscheint angebracht, diesem kurzen Einblick in die Geschichte des Temperaturproblems noch einige Gesichtspunkte hinzuzufügen, die mit unserem Gegenstand ursächlich zusammenhängen.

Mehr als bei den besaiteten Tasteninstrumenten wie Cembalo, Clavichord und Hammerklavier bringt die gleichstufige Temperatur bei der Orgel vor allem durch das Erhöhen der grossen Terzen um 14 C enorme klangliche Probleme mit sich, die der Musikliebhaber sich im allgemeinen nicht erklären kann.

Das Orgel-„Plenum“, das „volle Werk“ aktiviert für einen Ton mehrere, oft viele Pfeifen. Dabei kommt es unausweichlich zu Interferenzerscheinungen: zu Schwebungen und Differenztönen.

Eine Schwebung entsteht als Differenz zweier leicht gegeneinander verstimmter Töne. Der Frequenzunterschied wird bei wenigen Hertz als Tonhöhenschwankung, als Vibrato hörbar. Viele Orgeln besitzen bekanntlich ein Schweberegister. Jeder Ton dieses Registers ist doppelt gebaut. Leichtes Verstimmen der beiden Pfeifen gegeneinander erzeugt somit eine künstliche Schwebung, die in ruhigen Stücken eine enorme Wirkung ausüben kann. Voix céleste, Unda maris oder die italienische voce umana sind solche Schweberegister.

Nimmt die Frequenz einer Schwebung zu, so wird der Gesamtklang rauh und unangenehm. Bei noch grösseren Frequenzunterschieden treten Differenztöne auf. Auch sie entstehen als – nicht im Schallfeld vorhandene, allein im Ohr entstehende – Differenz von zwei Tönen. Ihr Frequenzunterschied ist aber so gross, dass er in den Hörbereich des Ohres fällt. Zum Beispiel ergeben die beiden Töne c mit 256 Hz und e mit 320 Hz den Differenzton C mit 64 Hz. ($320 - 256 = 64$). Er liegt also harmonisch, ist Teil des C Dur-Akkords. Eine gleichstufig gestimmte Orgel mit ihren um 14 C grösseren Terzen gegenüber reinen erzeugt aber unharmonische Differenztöne. Sie fallen nicht in den Akkord. Sie liegen je nach Frequenzunterschied mehr oder weniger neben den harmonischen Werten und erzeugen dissonante Klanganteile, die ein Plenum schwer erträglich machen können.

Der Verfasser hat – vielleicht infolge seiner beruflichen Sensibilisierung – unter solchen „dissonant schwirrenden“ Klangbildern schon viel in seinem Leben gelitten, sei es bei der Berufsarbeit, im Konzert oder zuhause unter dem Kopfhörer. Es ist schon sehr erstaunlich, dass der Zuhörer dieses Phänomen als offenbar zum Orgelklang gehörend einfach hinnimmt, ohne je eine Frage zu stellen.

Entsprechen zwei gleichzeitig erklingende Töne dem genauen Frequenzverhältnis von Naturtönen zueinander, sind sie also als Glieder einer arithmetischen Reihe Vielfache ihrer gemeinsamen Grundfrequenz, so ist das Intervall schwebungsfrei. Diesem äusserst erstaunlichen akustischen Phänomen liegen vermutlich die Verwandtschaftsverhältnisse der Obertöne reiner Intervalle zugrunde. (Der 2. Teilton der Grundfrequenz ist zugleich der Grundton des nächsten Gliedes der Reihe, der Oktave. Der 3. Teilton der Grundfrequenz ist Grundton des übernächsten Gliedes, der Duodezime. Viel plausibler als eine umständliche Beschreibung zeigt ein Blick auf die Grafik der Naturtonreihe im Anhang diesen einfachen Zusammenhang. Zudem haben harmonische Oberwellen als Vielfache ihrer Grundschwingung die gleichen „Nulldurchgänge“ wie die Grundschwingung. Die Wellenlehre kann diesen Tatbestand sehr einfach aufzeigen. Auch das könnte ein Grund für dieses verblüffende Phänomen sein. Zugleich fallen die Differenztöne reiner grosser Terzen und Quinten harmonisch in den Durdreiklang. Für Quinten hatten wir eben gerade ein Beispiel errechnet. Für Molldreiklänge geht die Rechnung allerdings nicht auf.

Mitteltönig gestimmte Orgeln mit ihren meist 8 reinen grossen Terzen besitzen also in diesen 8 Tonarten schwebungsfreie grosse Terzen, und wichtige Differenztöne liegen harmonisch zum Durakkord. Sie erfüllen damit alle Anforderungen ihrer Zeit. Erfüllen sie fast, denn die mitteltönigen Quinten, nur 696,5 C gross und damit 5,5 C kleiner als die pythagoräisch-reinen, die das Mittelalter so begeistert hatten, erzeugen unvermeidlich Schwebungen, die vor allem auf der Orgel mit ihren vielen stationären Klängen störend wirken können. So störend, dass viele Komponisten des 16. und 17. Jahrhunderts, meist zugleich ihre eigenen Interpreten, häufig in den Dur-Schlussakkorden die Quinte weg liessen. Noch nicht so lange war es damals her, dass man die grosse Terz im Schlussakkord weggelassen hatte, da sie, um der Quinte ihre Reinheit zu gewährleisten, zum unansehnlichen und dissonant klingenden 81/64-Bruch verkommen war.

Nach einer These von Helmholtz ist das Dissonanzempfinden auf Schwebungen zurückzuführen. Sie treten bei dissonanten Klängen infolge der starken unharmonischen Verhältnisse in besonders starkem Masse auf. Auch hier ist die Orgel durch ihre Möglichkeit zur Registerkombination und die orgeltypischen stationären Klänge empfindlicher als die besaiteten Tasteninstrumente.

Die Quint- und Terzregister der Aliquote werden ebenso wie die gemischten, also die mehrhörigen Farbregister und die Klangkronen grundsätzlich rein eingestimmt, um mit dem Grundregister möglichst gut zu verschmelzen. Damit entstehen in den Dreiklängen nur wenige Schwebungen und überwiegend nur harmonische Differenztöne. Ist das Instrument gleichstufig temperiert, so bilden die reinen Intervalle der Obertonregister mit den gleichstufigen besonders gute Voraussetzungen für grosse Klanganteile an Schwebungen und unharmonischen Differenztönen. „Dissonantes Schwirren“ ist dann programmiert.

Ein gewisses Mass an akustischen Unvollkommenheiten ist andererseits klangästhetisch durchaus positiv zu werten. Würden sie gänzlich fehlen, so würde im Besonderen Orgelmusik recht steril wirken. Man denke z.B. an den Begriff der „offenen Windführung“, der seit der Rückbesinnung auf das Prinzip der mechanischen Orgel wieder in den

Blickpunkt geraten ist. Einen atmenden, durch kleine Unstetigkeiten bestimmten Wind forderten die alten Theoretiker. Nur ein solcher Wind, „gleichsam der Orgel Seele“, gab und gibt dem Orgelklang Leben, Lebendigkeit und Charme. Nur dürfe er „nicht gar zu sehr“ schwanken, schreibt Werckmeister. Das Mass, der richtige Anteil am Gesamtklang entscheidet, ob akustische Unvollkommenheiten den Höreindruck positiv oder negativ beeinflussen.

Der Organist Matthias Naeschke, dessen Instrument vor einigen Jahren von der gleichstufigen Stimmung in die mitteltönige überführt wurde, berichtet nicht nur von seiner Begeisterung über die reinen, klaren Klänge seines jetzigen Instruments, er sagt auch, dass leichte Verstimmungen seines Instruments von den reinen Terzen viel stärker kompensiert würden als früher von den gleichstufigen. In den letzten fünf Jahren hätte sein Instrument nur einmal nachgestimmt werden müssen, während die gleiche Orgel früher infolge der Rauhigkeiten im Klang jedes halbe Jahr eine Nachstimmung nötig gehabt hätte.

Warum also nicht alle Orgeln mitteltönig stimmen? Wir hatten schon darüber gesprochen: nur ein Teil des Repertoires ist in dieser Stimmung gut darzustellen. Mitten durch das Bachsche Werk sehen Analysten eine deutliche Grenze verlaufen. Ein - allerdings kleiner - Teil der Stücke des Grossmeisters ist offenbar auf mitteltönigen Instrumenten gut darstellbar, während ein anderer Teil mit einer modifizierten, einer „wohltemperierten“ Stimmung rechnet, da er über den harmonischen Bereich, der der Mitteltönigkeit zuzumuten ist, hinausgeht.

Zugleich warnt Naeschke aber davor, Temperierungen nur mathematisch, nur mit Sicht auf die Cent-Zahlen zu sehen. Die Raumakustik ebenso wie der Aufbau des Instruments und die Anordnung der Pfeifen hätten grossen Einfluss darauf, wie störend Schwebungen im Klang beim Hörer empfunden würden. „Musikalisch störend sind nur Schwebungen, keine Cents.“

Das akustische Phänomen der Schwebung war in historischer Zeit das einfachste Mittel, eine mathematisch festgelegte Temperatur am Instrument, an Orgel, Cembalo, Clavichord oder Hammerklavier in die Praxis umzusetzen, die Temperatur zu „legen“. Auch heute werden wohl vor allem Cembalisten ihrem Instrument mit Hilfe von Schwebungen ihre Wunschtemperatur geben oder – sehr viel öfter noch – ihr Instrument nachstimmen. Nach den Erfahrungen von Bernhard Billeter kann das Nachstimmen eines Cembalos in dieser Weise dem Geübten durchaus Zeit ersparen gegenüber dem Stimmen mit einem elektronischen Stimmgerät, wie sie heute zur Verfügung stehen. Der Orgelbauer Kristian Wegscheider, der sich über viele Jahre damit beschäftigt hat, heraus zu finden, wie „die Alten“ ihre Temperaturen gelegt haben, glaubt, dass der Puls oder das Pendel als Zeitmass gedient haben könnten, um die Schwebungsfrequenz festzulegen, die beim Einstimmen eines Intervalls dem rechnerisch vorgegeben Wert entsprach. Die modernen elektronischen Stimmgeräte verfügen über einen Ton mit genau einstellbarer Frequenz, so dass die zu stimmende Pfeife oder Saite bei Schwebungsfreiheit die gewünschte Tonhöhe hat. Das mag für die Orgel von Vorteil sein, da ein sehr genaues Legen die Schwebungen vermindert. Doch manche heute wieder viel zitierten Experten der Stimmungsprobleme in historischer Zeit sind in ihren Anweisungen alles andere als besonders exakt. Sie sind entschuldigt, da sie keine modernen Zeitmesser besessen. Doch es scheint, dass ihre öfters etwas ungefähren Angaben völlig ausreichten, um das gewünschte Ergebnis zu erzielen. Auch auf dieser Ebene der Musik ist ein wenig Ungenauigkeit offenbar dem ästhetischen Empfinden des Menschen nur zuträglich.

Bernhard Billeter formuliert in seiner „Anweisung zum Stimmen von Tasteninstrumenten“: „Man sollte bei der Diskussion von Temperaturen Theorie und Praxis streng auseinanderhalten. In der Theorie haben die exakten Grössen ihren Platz, in der Praxis hingegen die ungefähren Annäherungswerte. Im bisherigen Schrifttum werden aber

beinahe ausnahmslos die genauen Werte der Theorie als für die Praxis verbindlich hingestellt, was geradezu als unwissenschaftlich zu bezeichnen ist. Eine gute Wissenschaft wird Theorie und Praxis auseinanderzuhalten wissen und versuchen, beiden an ihrem Orte gerecht zu werden.“

So kann es nicht verwundern, wenn die Evangelienorgel in der Klosterkirche Muri in der Schweiz, eines der ganz wenigen Instrumente, das seine ursprüngliche mitteltönige Temperatur bewahrt hat, von der reinen Lehre der Mitteltönigkeit durchaus bei einigen Intervallen um mehrere Cents abweicht.

Interessant ist die Tatsache, dass das moderne Klavier von diesen Problemen der historisch älteren besaiteten Tasteninstrumenten weniger berührt ist. Die Obertöne des Klaviers liegen infolge der enormen Saitenspannung, die nur durch einen Gusseisenrahmen überhaupt zu erzielen ist, nicht ganz harmonisch. Sie liegen etwas höher. Streng genommen ist also das Klavier kein harmonisches Musikinstrument. Der Verfasser liebt es trotzdem, und mit ihm offenbar ein grosser Teil der Menschheit. Wir lernen also: das Harmonische ist nicht alles. Es gibt auch eine Welt des Schönen jenseits von Pythagoras und Prätorius.

Der Temperierungsgedanke ist inzwischen – undenkbar noch vor wenigen Jahrzehnten – nicht mehr nur ein Thema von Spezialisten für alte und uralte Musik. Das Thema ist in der Welt des Massenkonsums angekommen. Die moderne Unterhaltungselektronik bietet seit einer Reihe von Jahren ihre Synthesizer und Keyboards mit frei wählbaren Temperaturen an, die überwiegend die historischen Temperaturmodelle nachahmen. Mitteltönige Unterhaltungsmusik, die Songs der Beatles in Werckmeister-3: es scheint, dass die gleichstufige Temperatur doch nicht das Ei des Kolumbus ist. Wie schrieb doch Schönberg in seiner Harmonielehre: „Das gleichstufige System ist ein auf unbestimmte Frist geschlossener Waffenstillstand.“

Auf einen weiteren wichtigen Punkt , der mit unserem Temperaturproblem eng verknüpft ist, sei noch hingewiesen.

Jeder Mensch unseres Kulturreises empfindet unser gleichstufiges Intervallsystem als richtig, gut und schön. Er ist im Regelfall von klein auf in unser Musiksystem hineingewachsen und kennt wahrscheinlich auch kein anderes. Der schon einmal erwähnte Pierre-Yves Asselin meint, „in unserer unbegrenzten Welt der Töne sei alles relativ. Alles sei nur eine Frage der Gewohnheit. Die Mehrheit der alten Traktate beweise, dass unsere Vorfahren die Konsonanzen der gleichstufigen Temperatur als untragbar eingestuft hätten.“ Naeschke versichert – wir hatten schon Billeter im gleichen Sinn dazu gehört -, dass es nur kurze Zeit brauche, um die mitteltönige Stimmung als natürlich, selbstverständlich und schön anzusehen. Dieselbe Musik auf einem gleichstufig gestimmten Instrument wirke dann langweilig und spannungslos. Er spricht damit eine Erfahrung aus, die auch von anderen Organisten und Cembalisten immer wieder zu lesen und zu hören ist. Wer mit chinesischer Musik konfrontiert wird, empfindet die Pentatonik dieser Musik im allgemeinen als langweilig und repetitiv. Er kennt eben weder den kulturellen Hintergrund noch ist er mit dem Tonsystem vertraut.

Das Gehör, oder besser das akustische Wahrnehmungsvermögen des Menschen gewöhnt sich offenbar an eine bestimmte Intervalordnung. Es ist aber auch in der Lage, sich an andere Systeme zu gewöhnen. Wenn also ein Jemand über eine bestimmte musikalische Temperatur sagt, sie klinge falsch, so besteht die Möglichkeit, dass sein Urteil auf fehlender Gewöhnung basiert und damit wenig Aussagewert besitzt. Es ist zu befürchten, dass diese Situation oft gegeben ist.

Auf der anderen Seite haben wir gesehen, dass im 17. und 18. Jahrhundert verschiedenste Systeme miteinander konkurriert und Theoretiker und Praktiker in der Temperaturfrage

konträre Meinungen vertreten haben. Von einer einheitlichen Hörgewohnheit konnte damals also nicht so ganz die Rede sein. Auch heute setzt sich dieser Expertenstreit munter fort. Einer Aussage, ein Intervall klinge zu falsch in einer bestimmten Temperierung, steht da manchmal eine gegenteilige Ansicht gegenüber. Die intellektuelle Überzeugung scheint also ebenso wie die Hörgewohnheit die Urteile zu färben.

Auch wenn wir den Mechanismen der menschlichen Natur nicht auf den Grund gehen können: Ein Stück Misstrauen, aber auch Verständnis gegenüber vorschnellen Urteilen über Temperierungsmodelle sollten wir uns angewöhnen.

Unter dem Titel „Musique et Tempérament“ hat Pierre-Yves Asselin eine Arbeit zu unserem Thema vorgelegt, der auch zwei Tonträger beigelegt sind. Sie enthalten - realisiert auf Orgel und Cembalo – Musikstücke in 8 bzw. 15 verschiedenen Temperaturen, zudem kurze Ausschnitte, welche die ungleichstufigen Temperaturen der gleichstufigen gegenüberstellen.

Es ist nicht der erste Versuch, der es erlaubt, die Temperaturen der Tasteninstrumente studieren zu können. Schon in den 50er Jahren konnte man per Schallplatte solche Gegenüberstellungen am Cembalo kennen lernen. Aber die Gründlichkeit des Asselinschen Unternehmens ist meines Wissens bis heute unerreicht.

Wer sich in diese Musikbeispiele einmal versenkt, kann erfahren, wie spannungsvolle musikalische Abläufe in der gleichstufigen Version in sich zusammenfallen, und wie wohlig-süffige Dreiklänge sich in harte Akkorde verwandeln, ja wie das ganze Instrument an Charme, an Schönheit verliert. Er wird an der Bedeutung der ungleichstufigen Stimmungen für die Musik nicht mehr zweifeln.

Der Bildhauer Polyklet fand einen „Kanon“, eine Proportionslehre, die für ihn den Schlüssel zum „rechten Mass“, zur Schönheit darstellte. Doch seine Schrift ist verloren. Albrecht Dürer suchte sein Leben lang, in Proportionen, in Zahlenverhältnissen das Geheimnis des Schönen zu finden. Am Ende seines Lebens schreibt er: „Was aber die Schönheit ist, das weiss ich nit“.

Ist der pythagoräisch-platonische Gedanke, dem die Geisteswelt viele Jahrhunderte so leidenschaftlich anhing, Schönheit sei Zahl, der Urgrund alles Schönen sei durch harmonische Zahlenverhältnisse bestimmt, doch mehr als Spekulation?

Ist er vielleicht wahr?

DIE SPÄTANTIK-MITTELALTERLICHEN INTERVALL- BEZEICHNUNGEN,

Hinweise zum Anhang Fig.2

Die griechischen Intervallnamen wie diatessera oder diapente geben die Anzahl der Töne des Intervalls an, und bieten somit keine Verständnisschwierigkeiten.

Anders verhält es sich mit den ebenfalls in historischer Zeit gebräuchlichen lateinischen Bezeichnungen. Sie erschliessen sich nicht ohne weiteres dem Verständnis.

Anicius Boethius hat sie uns überliefert. Laut Georges, dem bewährten lateinisch-deutschen Wörterbuch, bedeutet sesqui so viel wie „ein halb mal, um die Hälfte mehr, anderthalb von einem Mass enthaltend“, sesqui pes ist also entsprechend „anderthalb Fuss.“

Wichtig für uns ist der Hinweis: „In der Zusammensetzung mit einem Zahlwort bedeutet sesqui die Zugabe eines solchen kleinsten Bruchteils, als die Einheit des folgenden Zahlworts gleiche Bruchteile enthält“.

Sesqui-alter = anderthalbig (adv): gemäss dem obigen Satz bedeutet „alter“ hier nicht „der zweite“, sondern $\frac{3}{2}$, was mit seinem kleinsten Bruchteil, also mit $\frac{1}{2}$, zu addieren ist, so dass sich das Verhältnis $1\frac{1}{2}$ oder $3 : 2$ ergibt. Wir wissen, dass wir damit die reine Quinte vor uns haben.

Nach Georges wird die Quinte ebenfalls erreicht, „wenn die grössere Zahl die kleinere einmal ganz und deren Hälfte enthält.“ Auch hier ergibt sich $3 = 2 + 1 = 3$. Gebräuchlicher für die Quinte war aber die griechische Bezeichnung diapente.

Der Begriff Sesquialter hat sich in dem gleichnamigen zweichörigen gemischten Farbregister $2\frac{2}{3} + 1\frac{3}{5}$ erhalten. Zudem gibt es diesen Begriff in der vom Spätmittelalter bis zum 18. Jahrhundert gültigen Proportionslehre, d.h. bei den einkomponierten Temporelationen in einem Musikstück. Dabei bedeutet „proportio dupla“, dass anstelle von einem Notenwert zwei im gleichen Zeitabschnitt zu spielen sind oder umgekehrt, und „proportio tripla“ bezeichnet drei Noten, die in einem Zeitabschnitt anstelle von einer zu erklingen haben oder auch umgekehrt, und „proportio sesquialter“ hat dann die Proportion $2 : 3$ oder $3 : 2$ (nach B. Billeter).

Sesqui-tertius: analog zu sesqui-alter bedeutet tertius hier nicht der dritte, sondern $\frac{3}{2}$. Zuzüglich seines kleinsten Bruchteils $\frac{1}{3}$ ergibt sich der Wert von $\frac{4}{3}$, gleichbedeutend mit $1\frac{1}{3}$ oder der Proportion $4 : 3$. Wir haben also die reine Quart vor uns.

Sesqui-quartus bedeutet damit $\frac{4}{4} + \frac{1}{4} = \frac{5}{4}$, also $1\frac{1}{4}$ oder die Proportion $5 : 4$. Wir haben die reine grosse Terz gewonnen.

Sesqui-quintus bedeutet also $\frac{5}{5} + \frac{1}{5} = \frac{6}{5}$, also $1\frac{1}{5}$ oder die Proportion $6 : 5$. Es handelt sich um die reine kleine Terz.

Sesqui-octavus bedeutet analog $\frac{8}{8} + \frac{1}{8} = \frac{9}{8}$, also $1\frac{1}{8}$ oder $9 : 8$. Es ist der reine grosse Ganzton $9 : 8$.

Sesqui-nonus bedeutet analog $\frac{9}{9} + \frac{1}{9} = \frac{10}{9}$, also $1\frac{1}{9}$ oder $10 : 9$. Wir haben den reinen kleinen Ganzton vor uns.

Die Gesetzmässigkeit gilt natürlich auch bei den weiteren, meist weniger die Musiktheorie betreffenden Intervallverhältnissen wie sesqui-sextus, dem Verhältnis von 7 : 6, oder sesqui-septimus, dem Verhältnis von 8 : 7, und so fort.

Es überrascht, dass Spätantike und Mittelalter die Intervallverhältnisse nicht gemäss der Saitenteilung in echten Brüchen angegeben haben, (die Oktave ergibt sich ja als halbe Saitenlänge zur ganzen, in der Sprache der Mathematik ist sie gleich $\frac{1}{2} : 1 = \frac{1}{2}$), sondern in ihren reziproken Werten, von denen wir wissen, dass sie die Betrachtung der Intervalle auf die Frequenzebene verlagern, wie uns das heute geläufig ist.

„Die Alten“ ordneten aber, anders als wir, dem tieferen Ton, also dem längeren Saitenstück, den grösseren Zahlenwert zu. Das war allgemeiner Brauch, obwohl die Saitenteilung ihnen das Gegenteil zeigte. So erklärt sich, warum die Oktave als dupla, als Doppeltes bezeichnet, für uns den Frequenzwerten entspricht, warum sesqui-altera, das Eineinhalbache, die Frequenzverhältnisse der Quinte 3 : 2 wiedergibt, obwohl erst das 18. Jahrhundert die Wellenlehre und damit das Denken in Schallschwingungen in der Einheit der Sekunde postuliert hat, um hier nur die beiden einfachsten Proportionen heraus zu greifen. Die alten Theoretiker konnten ja nicht ahnen, dass für uns heutige Erdenbürger die Umkehrung der Verhältniszahlen der Intervalle eine genaue physikalische Bedeutung, eben die Frequenzebene, haben würde.

Immerhin finden sich in dem für das Mittelalter so folgenreichen Werk des Boethius „De institutione musica“ Hinweise, dass dieser Autor schon dezidierte Vorstellungen über die Entstehung des Schalls hatte. Er erklärte sich das Entstehen höherer Töne aus den schnelleren Bewegungen der von einem Klangkörper angeregten Luft. Tieferen Töne besassen entsprechend langsamere Luftbewegungen. Auch vergleicht er den Schallvorgang mit den Wellen, die ein ins Wasser geworfener Stein auslöst. Die Physik weiss heute, dass Schallwellen sich zwar anders darstellen als Wasserwellen, aber die Erkenntnis der Wellennatur des Schalls war doch damals alles andere als selbstverständlich.

Literaturverzeichnis:

- Götz Pochat: Geschichte der Aestethik und Kunsttheorie, DuMont-Buchverlag 1986
- Paul von Naredi-Rainer: Architektur und Harmonie, DuMont-Buchverlag 1986
- Wolfgang Adelung: Einführung in den Orgelbau, Breitkopf und Härtel 1991
- Hans Klotz: Das Buch von der Orgel, Bärenreiter-Verlag 1955
- Karl Wörner: Geschichte der Musik, Vandenhoeck und Ruprecht 1961
- Riemann Musiklexikon, B. Schott's Söhne 1967, 3 Bände
- Pierre-Yves Asselin: Musique et Tempérément, Editions Jobert 2000
- Alfred Dürr : Johann Sebastian Bach, Das wohltemperierte Klavier, Bärenreiter
- Matthias Naeschke: Erfahrungen mit mitteltöniger Stimmung bei einer modernen Orgel
In: Ars Organica 3/1981, S 170 ff, Edition Merseburger
- Jan Goens: Bach auf der mitteltönigen Orgel
In: Ars Organica (Nummer unbekannt, Fotokopie), Edition Merseburger
- Harald Vogel: Beilagen zu den Schallplatten organa ORA 3002 (Portrait einer fürstlichen Orgel auf Schloss Frederiksborg), organa 3003 (Die norddeutsche Orgelkunst Nr.1, Cosmae-Orgel in Stade), und organa ORA 3007 (Die Schnitger-Orgel in Norden)
- Werner Lottermoser: Akustische Untersuchungen an alten und neuen Orgeln, in Klangstruktur der Musik, Verlag für Radio-Foto-Kinotechnik 1955
- Reinhart Frosch: Mitteltönig ist schöner, Peter Lang AG, Europäischer Verlag der Wissenschaften 1993
- Bernhard Billeter: Anweisung zum Stimmen von Tasteninstrumenten in verschiedenen Temperaturen, Edition Merseburger 1979 und 1989
- Christian Wegscheider: Das „Geheimnis“ der Stimmungsarten im Orgelbau des 17. und 18. Jahrhunderts, in: ISO Journal Nr.20, Juli 2004.
- Franz Josef Ratte: Temperierungspraktiken im süddeutschen Orgelbau, insbesondere zur Zeit J. N. Holzheys, in Acta Organologica Band 24, S 387 – 424
Edition Merseburger 1994.
- Gretel Schwörer-Kohl: Musik im alten China: Huangzhong, die „Gelbe Glocke“, in Brockhaus multimedial 2007.
- Musik in Geschichte und Gegenwart, Band 3 und 4, Bärenreiter-Verlag 1995.

ANSTELLE EINES NACHWORTS

Meinem Freund Prof. Dr. Knud Nierhaus, Berlin, bin ich dankbar für den folgenden Einblick in die altchinesische Musik mit ihrer verblüffenden Entsprechung zu den Grundlagen unserer europäischen Musik.

Die Chinesen benutzten schon vor etwa 3000 Jahren ein Tonsystem, das die Oktave in 12 Halbtönschritte, die 12 Lü, unterteilt, wie wir von Funden spielbarer Instrumente aus der Shang-Zeit (1500 bis 1050 v. Chr.) wissen. Der sensationellste Fund war das 1977 entdeckte Grab des sogenannten Marquis Yi von Zeng aus dem 4. Jahrhundert v. Chr., in dem sich 125 wohlerhaltene Instrumente fanden.

König Cheng legte 1037 v. Chr. ein Musikritual fest, an dem bis zu 1200 Musikbeamte teilnahmen, und das sich – mit zeitlichen Lücken – bis zur Abdankung der Mandschu-Kaiser 1912 erhalten hat.

Bereits im 4./5. Jahrhundert n. Chr. beschrieb He Chengtian die gleichstufige Stimmung.

1598 gab Prinz Zhu Zaiyu den Algorithmus zur Berechnung der exakten Frequenz der Halbtöne an, 100 Jahre vor Andreas Werckmeister.

Die Bambus-„Urflöte“ Huangzhong gab den Grundton der Musik an, der etwa unserem Ton g entspricht. Die Flöte wurde häufig zu Beginn einer neuen Regierungszeit geeicht. Etwa 30 mal ist dieser Vorgang im Lauf der chinesischen Geschichte bezeugt. 1200 Hirsekerne füllten die Flöte. Volumen und Gewicht der Hirsekerne definierten die Eichmasse des chinesischen Reiches.

Huangzhong war somit Brücke zwischen Musik und Wirtschaft, Grundlage sowohl des Tonsystems als auch der Volumen- und Gewichtsmasse spätestens seit der Han-Zeit (206 v. Chr. bis 220 n. Chr.)

Die Quinte mit ihrem Frequenzverhältnis zum Grundton von 3/2 reflektierte die Harmonie des Kosmos, denn die Zahl 3 bedeutete den Himmel, 2 war Symbol für die Erde. Den Himmel finden wir im männlichen Yang wieder. Yang stand auch für Licht, Sonne, ungerade Zahl und für das Aktive. Der Erde entsprach das weibliche Yin, dem auch die Begriffe Dunkelheit, Mond, gerade Zahl und das Passive zugeordnet waren, wie es schon im „I Ging“ aus der Zhou-Dynastie (1045 bis 770 v. Chr.) beschrieben worden ist. Das Gleichgewicht von Yang und Yin bedeutete Gesundheit, Dauer der Regierung und Harmonie des Kosmos, was sich im Naturtonsystem auf der Basis der reinen Quinten widerspiegelte.

Somit erscheinen die Pythagoräer als Bindeglied der europäischen Welt zum Wissen und Wesen des Ostens.

ANHANG

Die Naturtonreihe mit den im Orgelbau gebräuchlichen Aliquotregistern: (Fig.1)



Jeder Teilton der Reihe ist ein weiteres Vielfaches der Frequenz des Grundtons. Der 2. Teilton (= der 1. Oberton), die Oktave, besitzt die doppelte Frequenz des Grundtons. Somit bilden die Teiltöne 4, 8, 16, 32 usw. Oktaven bzw. Oktavenvielfache. Die Folge der Zahlen stellt eine geometrische Reihe dar.

Der 3. Teilton besitzt die dreifache Frequenz des Grundtons. Zum 2. Teilton bildet er das Quintintervall. Die Teiltöne 6, 12, 24 usw. sind als Vielfache von 3 also Oktavierungen der Quinte. Die Folge bildet eine geometrische Reihe.

Der 5. Teilton bildet mit dem 4. die grosse Terz. Die Teiltöne 10, 20 usw. sind als Vielfache von 5 Oktavierungen der grossen Terz. Sie stellen ebenfalls eine geometrische Reihe dar.

Der 7. und der 14. Teilton, die natürlichen Septimen, sind für unser Musiksystem nicht brauchbar. Sie sind tiefer als die gleichstufige kleine Septime. Der 11. Teilton liegt zwischen f und fis, der 13. zwischen as und a. Auch sie eignen sich nicht zur Gewinnung von Tonmaterial.

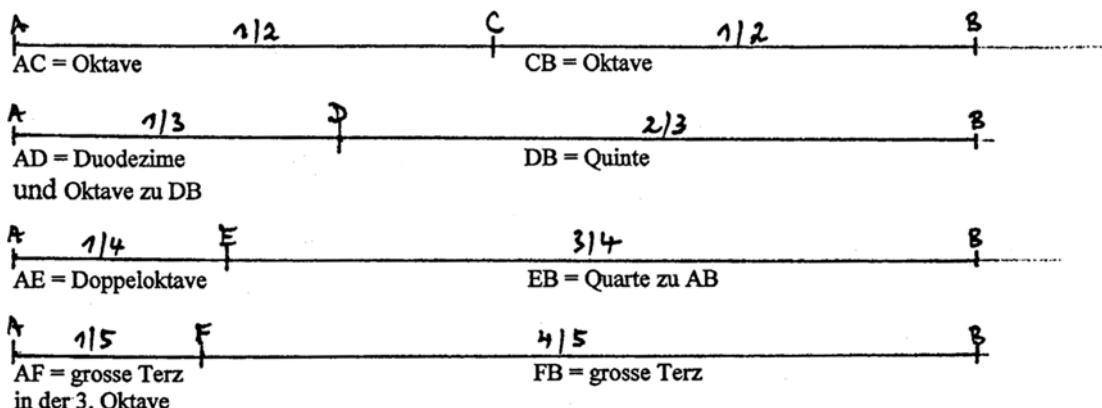
Eine Darstellung der Naturtonreihe anhand unseres fünflinigen Notationssystems der Musik ist zwar anschaulich, aber auch missverständlich. Denn ihr Bild sagt nichts aus über die genaue Tonhöhe, die Frequenz der Töne. Problematisch wird diese Darstellung insbesondere bei Naturtönen, die nicht in unsere Zwölfteilung der Oktave passen. Die Pfeile unter den Teiltönen 7, 11, 13 und 14 sollen andeuten, dass diese Naturtöne tiefer liegen als ihre Entsprechungen in unseren Musiksystemen.

Die Intervallbezeichnungen:

ihre natürlichen (reinen) Proportionen: (Fig.2)

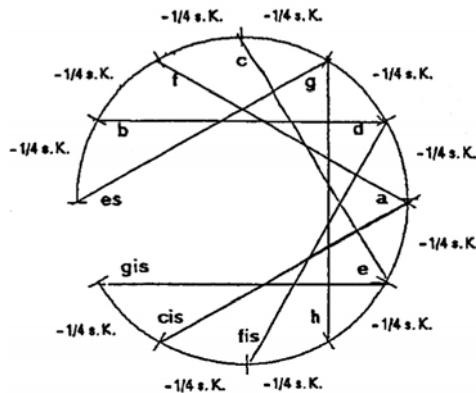
Halbton (semitonium)	16 : 15
Kleiner Ganzton (tonus / sesqui-nonus)	10 : 9
Grosser Ganzton (tonus / sesqui-octavus)	9 : 8
Kleine Terz (semiditonius / sesqui-quintus)	6 : 5
Grosse Terz (sesqui-quartus)	5 : 4
Quarte (diatessaron / sesqui-tertius)	4 : 3
Tritonus (tritonus)	45 : 32
Quinte (diapente / sesqui-alter)	3 : 2
Kleine Sexte (semitonium et diapente)	8 : 5
Grosse Sexte (tonus et diapente)	5 : 3
Kleine Septime (semiditonius et diapente)	9 : 5
Grosse Septime (ditonus et diapente)	15 : 8
Oktave (diapason / dupla)	2 : 1

Die Gewinnung der ersten Naturtonintervalle aus der Saitenteilung: AB = Grundton (Fig.3)



Analog dazu sind: 5/6 der Saite = kleine Terz, 1/6 der Saite = Quinte in der 3. Oktave.

Schema zur mitteltönigen Temperatur: der Quintenzirkel. (Fig.4)



Die gebräuchlichsten Fusstonlagen des klassischen Orgelbaus von der Achtfusslage aus:

Die Aliquotregister, ebenso die gemischten Farbregister und die Klangkronen sind Obertonregister. Ihre Tonhöhen (ihre Frequenzen) entsprechen den Naturtönen.

Der Orgelbau trifft zum Zweck der Klangverstärkung und Klangfärbung des Grundregisters eine Auswahl aus der Obertonreihe. Zu ihrer Benennung dient die in Bruchzahlen angegebene Länge der tiefsten Pfeife c des Registers im Verhältnis zur tiefsten Pfeife C der Achtfusslage, deren Länge im alten Längenmass Fuss 8' beträgt.

Teiltöne	Pfeifenlänge tiefstes c in Fuss	Pfeifenlänge tiefstes c in cm ca.	Frequenz- verhältnis zu Grundton	Intervall	Tonhöhe	(<u>Fig.5</u>)
----------	---------------------------------------	---	--	-----------	---------	------------------

1	8	240	1:1	Prim	C	
2	4	120	2:1	Oktave	c	
3	2 2/3	80	3:1	Quinte	g	
4	2	60	4:1	Oktave	c ¹	
5	1 3/5	48	5:1	Terz	e ¹	
6	1 1/3	40	6:1	Quinte	g ¹	
7	1 1/7	34	7:1	Septime	h ¹	
8	1	30	8:1	Oktave	c ²	
10	4/5	24	10:1	Terz	e ²	
12	2/3	20	12:1	Quinte	g ²	
16	1/2	15	16:1	Oktave	c ³	
20	2/5	12	20:1	Terz	e ³	
24	1/3	10	24:1	Quinte	g ³	
32	1/4	7,5	32:1	Oktave	c ⁴	

Für die 32'- und die 16'-Lage, die 2 bzw. 1 Oktave tiefer liegen, sind die Längenmasse vierfach bzw. zweifach zu nehmen. In der 32'-Lage beginnen die Quinten also mit 10 2/3' (32 : 3), die Terzen ab 6 2/5' (32 : 5).

In der 16'-Lage sind die Werte entsprechend 5 1/3' für die erste Quinte und 3 1/5' für die erste Terz.