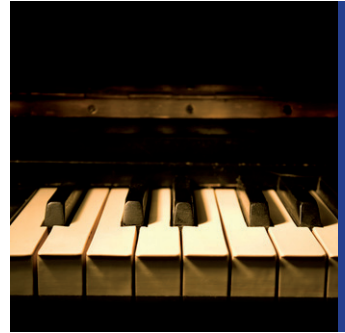


ERIC KRÜGER

Skalen der Musik

Entstehung, Analyse und Vergleich
wichtigster Tonleitern.
Praktische Gegenüberstellung.



Skalen der Musik

Eric Krüger

Skalen der Musik

Entstehung, Analyse und Vergleich wichtigster Tonleitern.
Praktische Gegenüberstellung.



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

AVM – Akademische Verlagsgemeinschaft München 2011
© Thomas Martin Verlagsgesellschaft, München

Umschlagabbildung: © -Misha - Fotolia.com

Alle Rechte vorbehalten. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urhebergesetzes ohne schriftliche Zustimmung des Verlages ist unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Nachdruck, auch auszugsweise, Reproduktion, Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie Digitalisierung oder Einspeicherung und Verarbeitung auf Tonträgern und in elektronischen Systemen aller Art.

Alle Informationen in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet und geprüft. Weder Autoren noch Verlag können jedoch für Schäden haftbar gemacht werden, die in Zusammenhang mit der Verwendung dieses Buches stehen.

e-ISBN (ePDF) 978-3-96091-228-6
ISBN (Print) 978-3-86306-723-6

Verlagsverzeichnis schickt gern:
AVM – Akademische Verlagsgemeinschaft München
Schwanthalerstr. 81
D-80336 München

www.avm-verlag.de

VORWORT

*„Wie viele Jahrhunderte mögen wohl vergangen sein,
bis sich aus den primitiven Anfängen musikalischer Betätigung
die erste wohl geordnete Melodie entwickelt hatte!“¹*

Tonleitern bilden die Grundlage der Melodik und Harmonik von Musik. Sie beinhalten das Material, aus dem der größte Teil der Kompositionen auf dem gesamten Globus besteht – angefangen vom einfachen Volkslied bis hin zu komplexen Sinfonien, Opern und Rocksongs.

Im westlichen Kulturraum herrscht ein ausgeprägtes Dur- und Moll-Empfinden. Die dazugehörigen Dur- und Moll-Tonleitern – auch Skalen genannt – sind entwicklungshistorische Resultate aus verschiedenen Tonsystemen, die auf die antike griechische Musiklehre zurückgehen, in überraschend ähnlicher Form aber auch in anderen Hochkulturen der Erde (wie China oder Indien) zu finden sind. Gemeinsamkeiten bei der Entwicklung der Tonsysteme auf den verschiedenen Kontinenten sind also nicht von der Hand zu weisen – vielmehr herrschen durch die Natur vorgegebene allgemein gültige Gesetze, die die Herausbildung einer Tonleiter mit festgelegten Regeln fordern. Die damit verbundene Thematik der Obertonreihe, aber auch Zusammenhänge mit kosmischen Ereignissen und der Entwicklung einer Skala finden in dieser Ausarbeitung Beachtung. Neben dem Dur-Moll-System und den Skalensystemen der genannten Hochkulturen fanden aber auch Tonleitern Einzug in unsere Hörgewohnheiten, die ihr Dasein verschiedenen regional begrenzt auftretenden Völkern und Stämmen zu verdanken haben. Zwar sind auch jene Skalen an die physikalisch festgesetzten Regeln der Tonleiternbildung gebunden, sie beinhalten aber charakteristische Tonsprünge, die sie von den westlichen Leitern abgrenzen. Betrachtet man die Summe von Musikstücken in der persönlichen Umwelt, wird man jedoch überrascht sein, wie verbreitet jene „exotischen Skalen“ sind.

Die historisch entwickelten Tonleitern grenzen sich von weiteren künstlich konstruierten Skalen ab. Diese wurden von Musiktheoretikern und Komponisten gezielt geschaffen, um das tonale Material zu kompositorischen und musizierpraktischen Zwecken zu erweitern. Besonders im 20. Jahrhundert erlangte die Suche neuer musikalischer Möglichkeiten Präsenz. Im Jazz ist es üblich, beliebige Stufen jeder nur erdenklichen Skala zu alterie-

¹ Vgl. Grabner, S. 1.

ren und sie somit an das jeweilige Stück und dessen Akkordstruktur anzupassen. Es ergeben sich unzählige Möglichkeiten von Skalenarchitekturen, von denen sich einige im Laufe der musikalischen Historie als weniger beliebt, andere als populär herausbildeten. Sie fanden schließlich Einzug in die Lehrbücher und gehören heute ebenso zu den wichtigsten Tonleitern der Musiklandschaft.

Die somit resultierende Unmenge an Skalen ist schwer zu überblicken. Zwar bemühen sich geläufige Musiktheorie-Lehren mit der Auflistung und Notation wichtiger Tonleitern, ihr charakteristischer Klang ist dem Interessierten damit aber noch lange nicht geläufig!

- Besitzt die Mi Sheberach-Skala eher Dur- oder Moll-Charakter?
- Kann mit dem dritten Messiaenschen Modus eine eindeutige Funktionalität nach den Vorstellungen aus dem Dur-Moll-System erzeugt werden und ist jene Kadenzierung für das individuelle musikalische Empfinden nachvollziehbar?
- Klingen die Modi der halbtönen Pentatonik verschieden genug, um sie in ihrer Klangwirkung unterscheiden zu können?

Es ist verständlich, dass der Leser einer gebräuchlichen Musiktheorie-Lehre beim Betrachten der notierten Tonleiter keine Idee von ihrer musikalischen Wirkung innerhalb eines Musikstückes erlangen kann. Nicht nur das Nachspielen der jeweiligen Leiter an einem Instrument wäre hier nötig, sondern das Auskomponieren und Musizieren. (Denn darum geht es bei der ganzen Theorie schließlich letztendlich.)

Diese Ausarbeitung schlägt aus diesem Grund zusätzlich zum üblichen Weg, eine Auswahl an Skalen zu visualisieren, historisch einzuordnen und analytisch aufeinander zu beziehen, einen weiteren Weg ein: Die Skalen werden unter Beibehaltung ihrer Struktur in Form von Modellkompositionen musikalisch ausgeformt. Eine vorher festgelegte Melodie- und Begleitungsstruktur wird in jede Tonleiter übertragen und damit eine Beispielkomposition geschaffen. Da die Stufenstruktur der Melodie und Begleitung in jeder Skala die gleiche bleibt, ist eine maximale „klangliche Objektivität“ vorauszusetzen. Der Leser kann nun zusätzlich zur Information über den Herkunftsort und den Aufbau einer Skala auch deren Klang erfahren, gegebenenfalls die klangästhetische Wirkung verschiedener Skalen miteinander vergleichen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede erkennen. Zusätzlich zu diesen modellhaften Kompositionen finden im letzten Teil dieser Arbeit Anwendungen ausgewählter Skalen in Form von größeren Kompo-

sitionen statt. Der Leser und Hörer kann hier den praktischen Einsatz einer Tonleiter innerhalb eines ausführlicheren musikalischen Kontextes erfahren.

Diese Arbeit wurde als Abschlussarbeit (Masterarbeit) für mein Lehramtsstudium an der Universität Potsdam, Institut für Musik und Musikpädagogik im Sommer 2010 verfasst. Es wurden einige Passagen der Original-Arbeit zu Gunsten der Lesbarkeit, Verständlichkeit und Relevanz in Hinblick auf die Produktion dieses Buches abgeändert, entfernt oder gekürzt.

Ein besonderer Dank gilt meinen Dozenten und Betreuern dieser Arbeit – Eckhard Laube und Bringfried Löffler, die mich mit motivierenden und kreativitäts-fördernden Lehrveranstaltungen und Tipps im Bereich Musiktheorie durch mein Studium (und glücklicherweise darüber hinweg) begleiteten. Ebenso bedanke ich mich beim amerikanischen Musikwissenschaftler John Schuster-Craig, der mir seine Ausarbeitungen zu einem möglichen achten Modus mit begrenzter Transponierbarkeit zur Verfügung gestellt hat.

Ich danke weiterhin all denen, die sich lektorierend durch den zähen Text der Arbeit gekämpft haben und mit mir so manche Diskussion über orthographische Themen führen mussten.

Viel Freude beim Lesen, Hören, Spielen und – so hoffe ich – musikalischen Nachvollziehen!

INHALTSVERZEICHNIS

1. ALLGEMEINE VORBETRACHTUNGEN	1
1.1 Die Naturtonreihe	1
1.2 Die Oktavteilung in zwölf Halbtöne	6
1.2.1 Helmholtz	6
1.2.2 Grabner	10
1.3 Das pythagoräische Komma, die Temperierung	11
1.4 Das Skalendiagramm	15
1.5 Anmerkungen zu dieser Ausarbeitung	17
2. SKALENÜBERBLICK UND ANALYSE	19
2.1 Kirchentonleitern	19
2.1.1 Alois Hába: Dur- und Mollcharakter von Intervallen ..	19
2.1.2 Die heutigen Kirchentonleitern	24
2.2 Dur- und Mollskalen	30
2.2.1 Reine Dur-Skala	32
2.2.2 Reine Moll-Skala	35
2.2.3 Harmonische Moll-Skala	39
2.2.4 Melodische Moll-Skala	40
2.2.5 Harmonische Dur-Skala	43
2.2.6 Weitere Dur- und Mollskalen	45
2.3 Pentatonik	45
2.3.1 Anhemitonische Pentatonik	47
2.3.2 Hemitonische Pentatonik	51
2.4 Messiaensche Modi, Faust-Modus	56
2.5 Bluestonleitern	64
2.5.1 Moll-Blues-Skala	66
2.5.2 Dur-Blues-Skala	68
2.6 Zigeunertonleitern	69
2.6.1 Zigeuner-Moll	69
2.6.2 Zigeuner-Dur	71
2.7 Jüdische Skalen	73
2.7.1 Fraigish	74
2.7.2 Mi Sheberach	75
2.7.3 Moloch	76
2.8 Weitere Skalen	77
2.8.1 Ganztonleiter	77
2.8.2 Halbtonleiter	78
2.8.3 Halbton-Ganzton-Leiter, Ganzton-Halbton-Leiter	79

2.8.4 Alterierte Skala	79
2.8.5 Verminderte Skala.....	82
2.8.6 Übermäßige Skala.....	83
2.8.7 Enigmatische Skala	84
3. KLANGLICHER VERGLEICH DER SKALEN IN MODELLEN	87
3.1 Melodiebildung.....	87
3.2 Begleitungsbildung.....	91
3.3 Klangliche Gegenüberstellung der Skalen	92
3.3.1 Kirchentonleitern	94
3.3.2 Dur- und Mollskalen.....	101
3.3.3 Pentatonik.....	105
3.3.4 Messiaensche Modi, Faust-Modus	112
3.3.5 Bluestonleitern	120
3.3.6 Zigeunertonleitern.....	124
3.3.7 Jüdische Skalen.....	126
3.3.8 Weitere Skalen	128
4. EIGENKOMPOSITIONEN ALS ANWENDUNGSBEISPIEL.....	134
4.1 Vorbetrachtungen.....	134
4.1.1 Zu Eigenkomposition 1 – „Penta di tri“.....	134
4.1.2 Zu Eigenkomposition 2 – „Zigeuner-Walzer“	135
4.1.3 Zu Eigenkomposition 3 – „Walkin‘ Messiaen“	136
4.2 Eigenkomposition 1.....	139
4.3 Eigenkomposition 2.....	143
4.4 Eigenkomposition 3.....	147
5. NACHBETRACHTUNGEN.....	151
QUELLEN/ WEITERFÜHRENDE LITERATUR.....	152

1. ALLGEMEINE VORBETRACHTUNGEN

1.1 Die Naturtonreihe

Der griechische Philosoph und Mathematiker Pythagoras von Samos beschäftigte sich mit der Einteilung der Oktave in *Stufenfolgen*² bereits etwa 500 Jahre vor Christus. Er selbst wurde von ägyptischen Priestern in die musikalische Stufentheorie eingewiesen. Ihnen waren (wie den Chinesen) schon Jahrtausende früher Zusammenhänge zwischen der Schwingungszahl einer Saite und resultierender Tonhöhe bekannt. Pythagoras errechnete die Frequenzverhältnisse von Tönen zueinander und definierte die *Obertöne*³ zu einem *Fundamentalton*⁴. (Die erste schriftlich belegte Abhandlung über die Ordnung der Obertöne wurde dagegen erst 1627 durch Marin Mersenne in seinem Werk „Harmonie Universelle“ getroffen.)⁵

Pythagoras ist bekannt, dass ein in der Natur vorkommender Klang nicht als isolierter Fundamentalton klingt, sondern sich aus der Summe der Obertöne zusammensetzt. Der Klangcharakter eines Instruments ist also größtenteils abhängig vom Lautstärkeverhältnis des Fundamentaltons und der Obertöne. Dabei gelten physikalisch vorgegebene Gesetzmäßigkeiten.

- Anmerkung: Einen Naturton ohne Obertöne gibt es nicht. Erst durch elektronische Klangerzeugung mithilfe von *Oszillatoren*⁶ wurde es im 20. Jahrhundert möglich, Klänge zu erzeugen, die ausschließlich aus einem isolierten Fundamentalton – einer *Welle*⁷ – bestehen.

² Als Stufe wird die Lage eines Tones innerhalb einer Skala bezeichnet. Vgl. Lindlar, S. 284.

³ Ein Oberton ist ein zu einem Grundton mitschwingender Ton, der sich aus einer ganzzahligen Teilung der Frequenz des *Fundamentaltons* ergibt. Vgl. Hempel, S. 19.

⁴ Mit Fundamentalton ist der tiefste Ton einer Naturtonreihe gemeint. Er entspricht dem Ton, der gezielt angeschlagen, gesungen oder anderwärtig erzeugt wird und zu dem stets weitere Obertöne erklingen – im Prinzip der „Anfangston“ einer Obertonreihe. Er wird in einigen Musiklehren als Grundton bezeichnet. Da dies aber zu Verwechslungen mit dem Grundton einer Skala führen kann, wird hier der Begriff Fundamentalton verwendet. Vgl. Sikora, S. 15.

⁵ Vgl. Restle, S. 282.

⁶ Als Oszillator wird hier ein Gerät bezeichnet, welches aus einem elektrischen Signal (der Netzfrequenz der Wechselspannung) einen für den Menschen hörbaren Ton erzeugt. Vgl. Grill, Band 16, S. 193.

⁷ Als (mechanische) Welle wird ein Vorgang bezeichnet, bei dem Energie in Form von Bewegung (Schwingung) eines Mediums transportiert wird. (hier: Schall) Ein Fundamentalton – oder Oberton – besteht also aus einer Welle mit definierter Amplitude (Lautstärke des Tones) und Frequenz (Tonhöhe, Einheit: Hertz). Vgl. Grill, Band 24, S. 40f.

Pythagoras versuchte nun, die Obertöne gezielt und unabhängig vom Fundamentaltone hörbar zu machen. Er realisierte dies mithilfe einer fest gestimmten, schwingenden Saite (meist am *Monochord*⁸):

- Wird diese Saite in der Mitte abgegriffen resultiert ein Ton, der dem Ton der ursprünglichen unabgegriffenen Saite um eine Oktave nach oben transponiert entspricht.⁹ Die abgegriffene Saite schwingt in doppelter Frequenz der unabgegriffenen Saite. Es besteht das Frequenzverhältnis 2:1. Der erste Oberton des Fundamentaltone wird hörbar.
- Wird die ursprüngliche Saite durch drei geteilt (es besteht das Frequenzverhältnis 3:1), schwingt die dritte Teilung der Saite also in dreifacher Frequenz der Ursprungssaitenlänge. Der zweite Oberton ist hörbar.
- Ein erneuter Abgriff fordert das Schwingen der neu entstehenden Saitenlänge in vierfacher Frequenz der Ursprungssaitenlänge (Frequenzverhältnis 4:1), worauf der dritte Oberton hörbar wird. Und so weiter.

Die unabgegriffene Saite entspricht also dem Fundamentaltone eines Naturtones, die einzelnen abgegriffenen Saiten den Obertönen. Die mit dieser Technik hörbar gemachten Obertöne werden *Teiltöne* oder *Partialtöne*¹⁰ eines Fundamentaltone genannt. Ein Teilton ist also ein isolierter Einzelton einer Naturtonreihe:

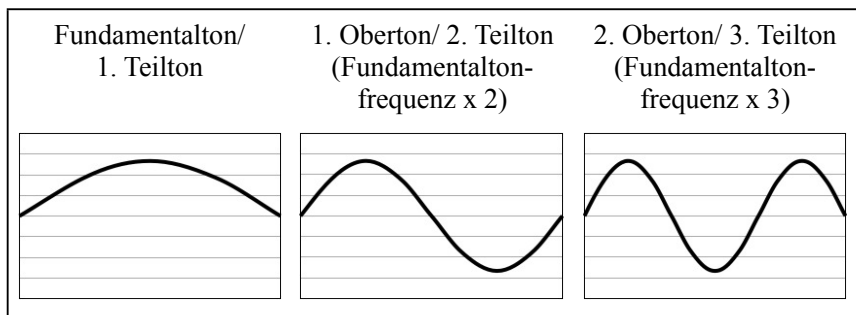


Abb. 1

⁸ Ein Monochord ist ein antikes Saiteninstrument, welches nur eine Saite besitzt. Es wurde von Pythagoras entwickelt und zum Zweck der Verdeutlichung seiner Lehre zur Obertonreihe eingesetzt. Vgl. Lindlar, S. 186.

⁹ Vgl. Hempel, S. 19.

¹⁰ Vgl. Ziegendrucker, S. 12.

Nimmt man die Schwingungsfrequenz einer ursprünglichen Saite mit 64 Hertz an (dies entspricht dem Ton C)¹¹ und bildet dazu die Teiltöne, besteht zwischen den einzelnen Teiltönen eine Frequenzdifferenz von 64 Hertz: Fundamentalton (64 Hertz) + 64 Hertz = 2. Teilton. Fundamentalton (64 Hertz) + 64 Hertz + 64 Hertz = 3. Teilton. Fundamentalton (64 Hertz) + 64 Hertz + 64 Hertz + 64 Hertz = 4. Teilton. Und so weiter.

Jeder Teilton schwingt in diesem Beispiel also in einem Vielfachen von 64. Erstaunlich ist, dass – obwohl der Abstand von 64 Hertz von einem zum nächsten Teilton stets gleich bleibt – die Teiltöne, je höher wir gelangen, in immer geringerem Intervallabstand zu einander klingen¹²: Ist der Ton, dem 128 Hertz entsprechen (2 x 64 Hertz), noch im Abstand einer Oktave zum Grundton mit 64 Hertz angesiedelt, liegt der Ton, dem 196 Hertz entsprechen (3 x 64 Hertz), nur eine weitere reine Quinte höher. (→ **Abb. 2 und Abb. 3**) Es entsteht die folgende Anordnung der Teiltöne:

- Fundamentalton (1. Teilton)
- 2. Teilton (eine Oktave höher)
- 3. Teilton (eine weitere reine Quinte höher)
- 4. Teilton (eine weitere reine Quarte höher)
- 5. Teilton (eine weitere große Terz höher)
- 6. Teilton (eine weitere kleine Terz höher)

Es ließe sich hier unendlich weit fortfahren. In Form von Frequenzverhältnissen dargestellt ergibt sich folgende Übersicht:¹³

- Fundamentalton (1. Teilton) → 2. Teilton: reine Oktave, Frequenzverhältnis 1:2.
- 2. Teilton → 3. Teilton: reine Quinte, Frequenzverhältnis 2:3.
- 3. Teilton → 4. Teilton: reine Quarte, Frequenzverhältnis 3:4.
- 4. Teilton → 5. Teilton: große Terz, Frequenzverhältnis 4:5.

Und so weiter.

¹¹ Die Benennungen der Töne und Oktavbereiche ist nach allgemein gültigen Regeln vorgenommen: Die Kontra-Oktavlage beginnt mit dem C², die große Oktavlage mit dem C, die folgende kleine Oktavlage beginnt mit dem c usw. Vgl. Haunschild, S. 24.

¹² Ebd., S. 25.

¹³ Hierbei ist der Fundamentalton bzw. erster Teilton mit der Frequenz 1 anzunehmen, der zweite Teilton mit der Frequenz 2, der dritte Teilton mit der Frequenz 3, usw. Der Fundamentalton gilt dabei zwar als erster Teilton, nicht aber als erster Oberton. Vgl. Hempel, S. 19.

Je höher (und je mathematisch komplexer) das Frequenzverhältnis wird, desto dissonanter empfinden wir das Intervall. Wirkt die Oktave mit dem Verhältnis 1:2 ungetrübt konsonant und weist keine *Schwebung*¹⁴ auf, wird die große Sekunde mit ihrem Frequenzverhältnis 8:9 bzw. 9:10¹⁵ viel dissonanter und als stark schwebend empfunden.

Zusätzlich zur Intervallbildung durch das Erklängen benachbarter Teiltöne können auch nicht unmittelbar aufeinander folgende Teiltöne zusammen erklingen. Hier ergeben sich rechnerisch kompliziertere Brüche der Frequenzverhältnisse. Als Beispiel soll die übermäßige Quarte angeführt werden – der Tritonus:

- Als Grundton des Tritonus wird c' angenommen.
- Dies entspricht 512 Hertz (8 x 64 Hertz).
- Der zweite Ton zur Bildung des Tritonus ist dementsprechend das fis' mit einer Frequenz von 729 Hertz¹⁶.
- Das Intervall des Tritonus besitzt folglich das Frequenzverhältnis 512:729.
- Dieser „komplizierte“ Bruch impliziert uns eine hohe Dissonanz.
- Tatsächlich empfinden wir den gespielten Tritonus als stark dissonant.

Wird die Reihe von Teiltönen zusammengerafft, oktaviert und chronologisch aneinander gesetzt, entsteht ein Fundus von Tönen, der eine Art Ursprungs-Tonleiter bildet. Da der Fundamentaltone jede Frequenz besitzen kann – also nicht nur das im Beispiel angenommene C' (64 Hertz) – sind schließlich auch Obertöne mit jeder anderen Frequenz auffindbar.

- Anmerkung: Aus diesen durch die Natur festgelegten Tönen werden nicht nur alle Skalen gebildet, die in dieser Ausarbeitung thematisiert werden, sondern sämtliche Musik um den gesamten Erdball!

¹⁴ Als Schwebung wird in der Akustik das Phänomen bezeichnet, welches beim Erklängen von zwei gegeneinander verstimmt Tönen auftaucht: Der Hörer nimmt ausschließlich einen Ton wahr, dieser schwankt aber scheinbar stark in seiner Lautstärke. (Amplitudenschwankung) Vgl. Grill, Band 30, S. 39.

¹⁵ Beide Frequenzverhältnisse entsprechen einer großen Sekunde. 9:8 wird dabei kleiner Ganzton genannt, 10:9 großer Ganzton. Vgl. Obertöne und Naturtonreihe, Musikzeit.info.

¹⁶ Das fis' der Naturtonreihe liegt einige Hertz unter dem fis' in unserer gleichstufigen Stimmung. Somit wird hier die Frequenz des uns geläufigen fis' von 729 Hertz angenommen.

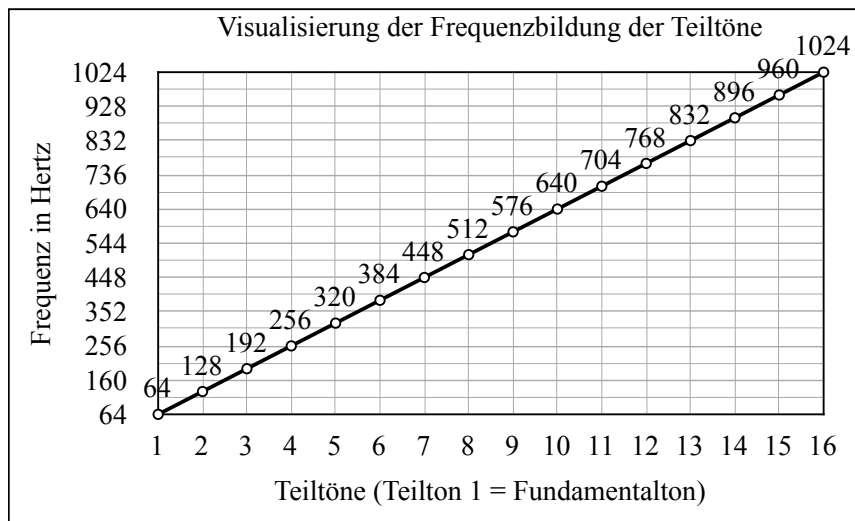


Abb. 2¹⁷

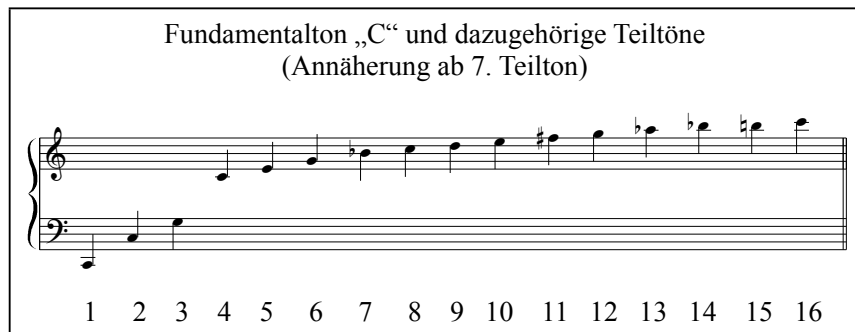


Abb. 3

Die Abstände der Teiltöne werden, je weiter nach oben fortgeschritten wird, immer enger und unterschreiten schließlich das Intervall einer kleinen Sekunde. Somit ist es nicht möglich, mit unserem Notationssystem jene Abweichungen der Intervalle zu den heute gebräuchlichen (angeglichenen) Intervallen ab dem siebten Teilton (hier b) auszudrücken. Es ist ab

¹⁷ Vgl. Haunschild, S. 25.

dem siebten Teilton also von einer Annäherung an die in der Natur vorkommende tatsächliche Obertonreihe auszugehen.¹⁸

- **Anmerkung:** Zusätzlich zur Obertonreihe existiert mathematisch gesehen auch eine *Untertonreihe*¹⁹. Sie ist nach ähnlichen Prinzipien aufgebaut wie die Obertonreihe, findet und fand aber in der Musizierpraxis keinen Einsatz, da sich rechnerisch Frequenzen ergeben, die vom menschlichen Gehör nicht wahrzunehmen sind.²⁰

1.2 Die Oktavteilung in zwölf Halbtöne

An dieser Stelle der Ausarbeitung darf nicht die Frage unterschlagen werden, warum man sich beim Betrachten aller europäischen und westlichen Tonsysteme auf eine Oktavteilung in zwölf Halbtöne bezieht. Die Naturtonreihe impliziert zwar einen Fundus von Intervallen, dieser Fundus ist aber mathematisch gesehen unendlich groß. Die Intervalle der Obertöne zu einem Fundamentaltone nehmen, je weiter sie vom Fundamentaltone entfernt sind, immer geringere Abstände zueinander ein.

- Wie wurde also entschieden, welches Intervall das kleinste für unsere Oktavteilung brauchbare ist?
- Warum wurde die kleine Sekunde und nicht die „Viertel-Sekunde“ als Grundintervall der Oktave festgelegt?
- Wieso hat sich nicht das sonst verbreitete Dezimalsystem bei der Oktavteilung durchgesetzt?

Zu diesen Fragen findet man in der Musik-Literatur mehrere Versuche einer Erklärung. Zwei Modelle sollen beschrieben werden:

1.2.1 Helmholtz

Der Physiker Hermann von Helmholtz bietet in seiner Abhandlung „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die

¹⁸ Vgl. Hempel, S. 19.

¹⁹ Die an dieser Stelle beschriebene Untertonreihe ist nicht zu verwechseln mit der Untertonreihe der Theorie des harmonischen Dualismus des Physikers A. von Oettingen.

²⁰ Vgl. Ziegenrucker, S. 13.