

Gerhard Mantel

Intonation

Spielräume für Streicher



SCHOTT

Wie kann ich sauberer – noch sauberer – spielen? Diese Frage bewegt jeden anspruchsvollen Streicher beim täglichen Üben. Eine Umfrage ergab, dass über 70 % der aufgewendeten Übezeit und Aufmerksamkeit eines Streichers der Intonation gilt.

In diesem Buch vermittelt Gerhard Mantel Hintergrundwissen zum Phänomen der Intonation und nennt praktische Übemethoden, die über eine simple, spontane Bestimmung von zu hoch – zu tief« weit hinausgehen. Die teilweise unkonventionellen Lösungsansätze ermöglichen jedem Streicher, seinen individuellen Weg zu einer optimalen Intonation zu finden und scheinbar unlösbare Probleme beim Zusammenspiel mit anderen Streichern, Bläsern oder Pianisten zu beseitigen. Besonderen Wert legt der Autor darauf, spielerisch mit der Intonation umzugehen und sie gezielt für den künstlerischen Ausdruck einzusetzen.

Gerhard Mantel (1930–2012), international erfahrener Cellist und Pädagoge, lehrte an der Musikhochschule Frankfurt und war Ehrenpräsident der deutschen Sektion der »European String Teachers Association« (ESTA). 1993 gründete er das Forschungsinstitut für Instrumental- und Gesangspädagogik e. V. und führte Kurse und Seminare im In- und Ausland durch.

Weitere Veröffentlichungen bei Schott Music: »Cello üben. Eine Methodik des Übens nicht nur für Streicher«, »Einfach üben. 185 unübliche Überezepte für Instrumentalisten«, »Interpretation. Vom Text zum Klang« und »Mut zum Lampenfieber. Mentale Strategien für Musiker zur Bewältigung von Auftritts- und Prüfungsangst«.

Gerhard Mantel

Intonation

Spielräume für Streicher

SCHOTT

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.

Bestellnummer SDP 163
ISBN 978-3-7957-8780-6
© 2021 Schott Music GmbH & Co. KG, Mainz
Alle Rechte vorbehalten

Als Printausgabe erschienen unter der Bestellnummer ED 8729
ISBN 978-3-7957-8729-5
© 2005 Schott Music GmbH & Co. KG, Mainz

www.schott-music.com
www.schott-buch.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung
in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen
schriftlichen Einwilligung des Verlags.

Lektorat: Lektorat: Dorle Ellmers / Monika Heinrich

BSS 51863

Inhalt

Vorwort	9
Einleitung	11
 I. Das Spiel der Zahlen	 15
1. Das pythagoräische Komma	15
2. Das syntonische Komma	18
3. Konsequenzen für die einzelnen Intervalle	21
3.1 Reine Intervalle fast ohne Intonationsspielraum: Primen, Oktaven, Quinten und Quarten	21
3.2 Terz	22
3.3 Sexte	23
3.4 Große Sekunde (Ganzton)	23
3.5 Kleine Septime	24
3.6 Große Septime	25
3.7 Der Halbton	25
3.8 Der Tritonus	27
4. Frequenz und schwingende Saitenlänge	27
5. Intervallbestimmung in Cents	28
6. Schwebungen	29
7. Differenztöne	31
8. Die gleichschwebende oder gleichstufige Intonation	33
 II. Wahrnehmung von Tonhöhe und Intervall	 37
1. Wahrnehmung harmonisch-vertikal	37
2. Wahrnehmung melodisch-horizontal	39
3. Wechsel zwischen den verschiedenen Intonationssystemen	41
4. Wahrnehmung und Vorstellung	45
5. Intonationswahrnehmung und Tempo	46
6. Intonationswahrnehmung und Lautstärke	51
7. Intonationswahrnehmung und Klangfarbe	52
8. Intonationswahrnehmung und Rhythmus	55
9. Zurechthören	56
10. Wahrnehmung fremder Intonationssysteme	58

III. Intonation als Ausdruck	60
1. »Intonation expressive« (Casals) – Möglichkeiten und Grenzen ...	60
2. Expressive Intonation und Sicherheit	61
3. Portamento	64
4. »Lieber zu hoch als falsch«	65
IV. Räumliche Auswirkungen auf dem Griffbrett	68
1. Logarithmische Veränderungen innerhalb der Lage	68
2. Praktische Intonationsmuster	72
3. Saubere Töne oder saubere Intervalle?	72
4. Intervallschritte aufeinander abstimmen	75
5. Intonationsvergleich verschiedener Lagen	76
6. Intonationssicherung mit Hilfe von Flageolett-Tönen	78
7. Intonation von Akkorden	79
8. Intonation und Übetempo	81
V. Intonation und Bogen	83
1. Bogenbewegung und Tonhöhe	83
2. Bogendruck und Tonhöhe	83
3. Intonation und Mut	87
4. Doppelgriffe und Bogendruck	87
VI. Intonation und Bewegung	91
1. Sensibilität und Körperbewegung	91
2. Intonation und Fingerbewegung	94
3. Umsetzen der Finger bei Doppelgriffen	97
4. Intonation und Lagenwechsel	98
4.1 Tonhöhenvorstellung	98
4.2 Intonation und räumlicher Abstand	99
4.3 Motorisches Gedächtnis	103
4.4 Vorstellungshilfen zum Lagenwechsel	104
4.5 Intonation und »Timing« des Lagenwechsels	107
4.6 Korrekturhilfen	109
4.7 Intonation von Spielfiguren	109
5. Intonation und Sprache	110

VII. Tonhöhe und Vibrato	112
1. Vibrato als absichtliche Verunreinigung	112
2. Vibrato und empfundene Tonhöhe	113
3. Vibrato als persönliches »Markenzeichen«	114
VIII. Stimmen	115
IX. Psychologische Aspekte von Intonation	118
1. Intonation und Selbstbewusstsein	118
2. Mut zur Unsauberkeit	119
3. Fehlertoleranz	120
4. Intonation und Aufmerksamkeit	122
5. Intonation und Anstrengung	123
6. Intonatorische Definitionshilfen	124
7. Alle Sinne einschalten	125
7.1 Das Auge	125
7.2 Der Tastsinn	126
7.3 Der kinästhetische Sinn	128
7.4 Geruchssinn und Geschmackssinn	130
X. Gewohnheiten	132
1. Kulturelle Gewohnheiten	132
2. Individuell erworbene Gewohnheiten	132
3. Intonationspräferenzen	133
4. Schlechte Gewohnheiten in gute verwandeln	134
5. Intonation und absolutes Gehör	136
XI. Intonation im Zusammenspiel	138
1. Zusammenspiel mit Streichern	138
2. Zusammenspiel mit Klavier	139
3. Zusammenspiel mit Bläsern	142
4. Zusammenspiel mit Cembalo und Orgel	144
5. Zusammenspiel im Orchester	145
5.1 Intonationsband des Orchesterklangs	145
5.2 Individuelle Intonation des Streichers im Orchester	146

XII. Intonation im Unterricht	148
1. Unterscheidungsfähigkeit von Tonhöhen	148
2. Fehlerakzeptanz als Bedingung für gute Intonation	151
3. Intonation und Disziplin	153
4. Intonation und Information statt einer Zusammenfassung	154
Schlusswort	157
Literaturverzeichnis	158
Sachregister	159

Vorwort

Eine kürzlich vorgenommene Blitzumfrage unter Streicherstudenten ergab, dass ungefähr 70 bis 90 Prozent der aufgewendeten Übezeit und Aufmerksamkeit eines Streichers der Intonation gilt. Diese Umfrage erhebt zwar keinen Anspruch auf wissenschaftliche Genauigkeit, sie zeigt aber, dass ein riesiges Aufmerksamkeitspotential jedes Streichers auf das Phänomen der Intonation gerichtet ist. Je höher der Anspruch an die eigene Intonation, desto größer dieser Aufwand.

Die Arbeit an der Intonation, also ganz einfach an der Tonhöhe der einzelnen Töne, absorbiert so viel Aufmerksamkeit, dass für die eigentlichen musikalisch-künstlerischen Aspekte einer Interpretation wie Charakterisierung, Dynamik, Feinagogik, Interpunktion, Klangqualität, Phrasierung, Artikulation, Gliederung, Übergänge, Ausdruck, Stil etc. meist nur ein Rest übrig bleibt, den so mancher Streicher glaubt ohne weitere Mühe von der Natur als Geschenk, als angeborene Musikalität, als Begabung erwarten zu können – Hauptsache, er spielt sauber. Präzise, gezielte Intonation wird zunächst nicht als primäres künstlerisches Gestaltungsmittel gesehen. (»Es muss zuerst einmal sauber sein, dann sehen wir weiter.«)

Verständlich ist diese Ansicht: Die schlechte Intonation eines Streichers zerstört alle anderen künstlerischen Bemühungen. Die ausdrucksvollste Phrasierung, der schönste Klang bleiben wirkungslos, ja kippen ins Lächerliche um, wenn die Intonation nicht sauber ist. Ziel dieses Buches ist es, diesen Begriff der »Sauberkeit« genauer unter die Lupe zu nehmen, die Bedingungen der Sauberkeit für den Streicher zu beschreiben, Toleranzspielräume und -grenzen aufzuzeigen und praktische, nachprüfbare Methoden zur technischen Verwirklichung vorzuschlagen.

Darüber hinaus soll der Intonation ihre so wichtige Rolle als Ausdrucksmittel zuerkannt werden. Dadurch, dass der Intonation ein beachtlicher künstlerischer Gestaltungsspielraum, ja Gestaltungsfreiraum zugewiesen wird, kann dem Problem außerdem ein guter Teil seines Schreckens genommen werden. Wo ein Spielraum ist, gibt es Optionen, entstehen Alternativen zu dem beängstigenden Entweder-oder von »sauber« und »unsauber«.

Dieses Buch wurde auf der Basis einer lebenslangen Praxis für Streicher mit einem hohen Anspruch an die eigene Intonation geschrieben (es gibt unterschiedliche Ebenen dieses Anspruchs!). Es ist keine wissenschaftliche Abhandlung über Gehörpsychologie oder -physiologie. Auch geht es hier nicht um eine ästhetische Auseinandersetzung mit unterschiedlichen

historischen Intonationssystemen oder um eine physikalisch-mathematische Frequenzanalyse, so wichtig und interessant diese Themen sind¹.

Wohl aber soll dieses Buch dazu beitragen, einige Missverständnisse auszuräumen und vor allem Halbwahrheiten aufzudecken, um den täglichen Umgang mit der Intonation mit ganz konkreten Zielen und nachvollziehbaren Methoden auszustatten. Dabei werden auch einige praktische klangtechnische Arbeitsweisen zur Umsetzung intonatorischer Varianten und Korrekturen besprochen. Ein Minimum an einfachen physikalischen Informationen und einige simple Zahlenvergleiche sind dabei als Grundlage zum Verständnis der Problematik unerlässlich.

Drei Fragen eines Streichers sollen hier beantwortet werden:

- Was sollte ich theoretisch mindestens wissen, um sauber (noch sauberer) zu spielen?
- Welche Hindernisse stellen sich mir in den Weg?
- Was kann ich machen, um dieses Ziel – eine gute Intonation – praktisch zu erreichen?

Dieses Buch muss nicht von vorne bis hinten durchgelesen werden. Wer sich mehr für die praktischen Themen interessiert, kann den mathematischen Teil im ersten Kapitel überspringen. Der Leser wird sich dann aber vermutlich irgendwann fragen, worin der so oft beschworene Spielraum in Wirklichkeit begründet ist – und er wird dann vielleicht doch die einfachen Frequenzvergleiche im Kapitel I. in Angriff nehmen, in dem auf leicht nachprüfbarer Weise die wissenschaftliche Grundlage zum Verständnis aller in diesem Buch beschriebenen ästhetischen Phänomene dargestellt wird.

¹ Wer sich für diese wissenschaftlichen Grundlagen interessiert, findet im Internet und in der einschlägigen Literatur genauere Hinweise. Die Musik-Enzyklopädie *Musik in Geschichte und Gegenwart* bietet z. B. ausführliche Beiträge zu diesen Themen (Kassel 1968). Hervorzuheben ist auch das Buch *Praktische Intonationslehre* von Doris Geller mit Hörbeispielen auf CD, Kassel 1997.

Einleitung

Angesichts des großen zeitlichen und emotionalen Aufwandes jedes Streichers im Bemühen um eine saubere Intonation ist es nachgerade verwunderlich, dass ein ausgesprochenes Desinteresse, ja manchmal geradezu eine Abneigung dagegen besteht, sich mit den natürlichen, nämlich von der Natur vorgegebenen Grundlagen und Bedingungen der sauberen oder – sagen wir lieber – der im Einzelfall adäquaten Intonation zu befassen. (Das Wort »richtig« soll hier aus gutem Grund vermieden werden!)

Der Standardeinwand gegen theoretische Überlegungen zur Intonation lautet: Ich brauche das doch nicht zu wissen, ich höre doch, ob es richtig oder falsch ist! Abgesehen davon, dass die Begriffe »richtig« und »falsch« bei der Beurteilung von Intonation nicht anwendbar sind (wie noch zu zeigen sein wird), ergibt sich aus einer solchen, auch von durchaus prominenten Pädagogen vertretenen Ansicht noch kein Hinweis, wie das »Richtige« gelernt und verfeinert werden kann. Auch im Zusammenhang mit dem Problem der Intonation kann die berühmte Schumann'sche Forderung gelten, dass Kopf, Herz und Hand zusammenarbeiten müssen. Das bedeutet aber auch: Wissen über die Probleme fördert das Können, das zu ihrer Lösung führt. Und: Wissen ermöglicht sachliche Kommunikation im Ensemble.

Als Ergänzung zu der simplen Aufforderung, doch sauberer zu spielen, kann man gelegentlich die Auffassung hören, *cis* sei beispielsweise höher als *des*. Halbwahrheiten sind die verführerischsten Lügen: Natürlich kann ein *cis* in einer D-Dur-Tonleiter als Leitton höher sein als ein *des* in einer abwärts zum *c* führenden phrygischen Tonleiter mit einem Halbtonschritt *des-c* am Schluss. Im Doppelgriff einer großen Terz abwärts von *f* gilt das Gegenteil: Das *des* muss viel höher sein als das *cis*, wenn dieses z. B. zu einem *a* eine reine große Terz ergeben soll.



Hier ist *des'* tiefer als *cis'*.



Aber hier ist *des'* deutlich höher als *cis'*!

Wenn jemand mit einer solchen Kenntnis ausgestattet nun versucht, sauber zu spielen, kommt er unweigerlich in Schwierigkeiten: Sein falsches, vermeintliches Wissen überschwemmt, wie noch zu zeigen sein wird, den Höreindruck. Wir können hier wie in so manchen anderen Lebensbereichen erleben, wie »Ideologie« sogar primäre Sinneseindrücke hinwegspülen kann. Der Autor bekennt, in seiner Jugend aus Begeisterung über die Entdeckung der Leittöne und der Casals'schen »Intonation expressive« selbst in solche Fallen getappt zu sein.

Niemand kann ganz sauber spielen. Hierfür gibt es nicht nur den nahe liegenden Grund, dass eben kein Mensch perfekt ist – die Unmöglichkeit eines perfekt sauberen Spiels liegt tiefer, sie ist im Tonsystem selbst begründet. Wir glauben, ein Intervall genau bestimmen zu können. Je nach Schulungsstand des Gehörs eines Spielers ist dies tatsächlich innerhalb kleiner Toleranzgrenzen möglich. Wenn wir nun mehrere ganz präzise bestimmte Intervalle hintereinander setzen, müssen wir oft überrascht feststellen, dass die aus diesen perfekten Intervallen entstandenen »Additionen« unsauber sind. Wie kann das sein? Wie können zwei perfekt saubere Intervalle zusammen ein unsaubereres Intervall ergeben, wenn wir doch die Sauberkeit jedes Intervalls ganz genau geprüft haben?

Das hat mathematisch-physikalische Gründe: Intervalle sind Frequenzverhältnisse (mathematisch in Brüchen ausgedrückt) zwischen Schwingungszahlen, und die *Addition* von Intervallen ist in Wirklichkeit die *Multiplikation* von Schwingungsverhältnissen. Eine reine Quinte (aufwärts) steht zu ihrem Ausgangston im Verhältnis 3:2, eine reine Quarte im Verhältnis 4:3. Quinte plus Quarte bedeutet deshalb eigentlich Quinte (3:2) *mal* Quarte (4:3). Das Produkt der beiden Brüche (12:6) ist eine reine Oktave (12:6, gekürzt 2:1). In sehr vielen Fällen ergibt diese Multiplikation aber keine reinen Intervalle, auch wenn die Teilintervalle rein sind. Im Kapitel I wird dies genauer ausgeführt.

Schon der Versuch, eine simple zweistimmige tonale Musikzeile ganz rein einzustimmen, erweist sich im Experiment mit einem Computer als undurchführbar. Entweder stimmen die Intervalle der Linie, oder es stimmen die Zweiklänge. Und selbst wenn man jedes Intervall in jeder einzelnen Linie konsequent als rein analysiert, landet man am Schluss dieses Experiments in einer völlig anderen Tonhöhe.

Der Autor hat einmal als junger Cellist auf einer Auslandsreise – ausgestattet mit einem, wie er glaubte, guten Gehör und einem Stimmschlüssel, aber ohne Kenntnis der hier beschriebenen Sachverhalte – versucht, ein völlig verstimmtes Klavier notdürftig zu stimmen. Außer völligem Frust

über den totalen Misserfolg, vielen Blasen an den Händen und Ärger wegen acht verlorener Stunden hat ihm dies nichts eingebracht.

Für uns Streicher ist es also ganz trostreich zu wissen, dass wir nicht immer selbst schuld sind, wenn der Versuch, eine Stelle ganz sauber zu spielen, nicht vollständig gelingt. Niemand ist perfekt, und darüber hinaus scheint es sogar einen individuellen Spielraum für Präzision in der Intonation zu geben. Bei vergleichenden Messungen von Stellen aus der Streicherliteratur, gespielt von berühmten Streichern, wurden ganz erhebliche individuelle Unterschiede in der Intonation festgestellt, obwohl man im Einzelnen keinem der Künstler krasse Unsauberkeit oder die Unfähigkeit, einen anvisierten Ton zu treffen, unterstellen konnte.

Hier erhebt sich nun die Frage, wie sauber wir überhaupt spielen müssen, wenn in puncto Intonation selbst berühmte Streicher erwiesenermaßen – innerhalb gewisser Grenzen – so unterschiedlich, d. h. unterschiedlich »unsauber«, spielen. Und unversehens eröffnen sich uns ganz neue Möglichkeiten: Wenn es in Wirklichkeit unmöglich ist, ganz sauber zu spielen, dann können wir die Intonation als eine Spielwiese betrachten, auf der sich musikalischer Ausdruck abspielt. Immer haben wir es mit dem Spiel von Ungenauigkeiten zu tun! Perfektion in Bezug auf feste Messgrößen ist auf dem Feld der Intonation genauso wenig möglich, genauso wenig erstrebenswert wie im Bereich von Dynamik und Rhythmus. Auch hier findet künstlerischer Ausdruck als Spiel von Ungenauigkeiten statt: Metronomisches Spiel und dynamische Gleichförmigkeit sind langweilig.

Wer nun nach alledem meint, es sei also ziemlich egal, wie sauber jemand spielt, »denn ganz sauber spielt ohnehin niemand«, dem muss diese Illusion genommen werden. Wie bei allen anderen musikalischen Parametern (Dynamik, Agogik, Artikulation, Klangfarbe etc.) gilt auch für die Intonation: Entscheidend ist, ob eine Abweichung von der Asymptote, also von einem unerreichbaren Endziel, zufällig oder aber beabsichtigt ist. Die Asymptote – die Perfektion selbst – ist ohnehin unmenschlich und daher weitgehend ausdruckslos. Niemand kann sie erreichen, ja niemand sollte sie erreichen wollen. Aber: Eine gezielte Abweichung kann von größter musikalischer Bestimmtheit und Wirkung sein, und eine vielleicht *quantitativ* viel kleinere, »aus Versehen« entstehende Unsauberkeit kann Indifferenz und Belanglosigkeit signalisieren – und *qualitativ* als viel unsauberer empfunden werden.

Der Unterschied zwischen den beiden Arten der Abweichung in der Intonation ist der gleiche wie der zwischen einem schlampigen Rhythmus und einer intensiven Agogik. Er ist qualitativer Natur: Hier eine Nachläss-

sigkeit, dort ein gezielter künstlerischer Ausdruck. Ähnliches gilt für die Dynamik: Gleichförmigkeit und Zufälligkeit langweilen. Nur gezielt dynamisch bewegte Musik ist interessant.

Eine saubere Intonation stellt also immer einen gezielten, kunstvollen, durchaus kreativen Kompromiss dar. Um eine solche Abweichung von einer illusorischen Perfektion, nämlich einen musikalisch bestimmten, beabsichtigten Intonationskompromiss sinnvoll in das Spiel einfließen lassen zu können, sollte ein Streicher über einige Grundkenntnisse zum Phänomen der Intonation verfügen, die über eine simple, spontane Bestimmung von »zu hoch, zu tief« hinausgehen.

I. Das Spiel der Zahlen

Von dem deutschen Philosophen Gottfried Wilhelm von Leibnitz stammt der eigenartige Satz »Musica est raptus numerare se nescientis animae«: »Die Musik ist ein Zustand (eigentlich: ein »Anfall«) der Seele, die rechnet, ohne es zu wissen.« Das klingt eigenartig für uns Musiker, da die Idee, Musik sei eine Rechenkunst, angesichts ihres emotionalen Ursprungs und ihres emotionalen Ziels zunächst absurd, ja geradezu ketzerisch erscheint.

Und doch müssen wir uns bei näherer Betrachtung eingestehen, dass jeder Klang, jede Melodie, jeder Akkord, also alles, was in der Musik Emotionen auslöst, sich eigentlich aus dem faszinierenden Spiel von Proportionen, d. h. Zahlenverhältnissen, ableiten lässt. Natürlich erleben wir nicht die Zahl, nicht den Quotienten, aber der Auslöser des Erlebens ist die Zahl. Jedes Intervall, jede Klangfarbe, jede Modulation, jede musikalische Struktur ist ein Spiel mit Zahlen, oder besser gesagt, mit Zahlenverhältnissen.

1. Das pythagoräische Komma

Durch die ganze Musikgeschichte zieht sich wie ein roter Faden das Problemthema des so genannten pythagoräischen Kommas. Es war schon in der Antike bekannt, und Pythagoras von Samos und vor ihm auch schon andere Philosophen und Wissenschaftler haben mit den Zahlenverwandtschaften der Intervalle experimentiert. Das pythagoräische Komma ist eine der Hauptursachen für die Probleme der Intonation auf einem Streichinstrument. Was hat es mit dem pythagoräischen Komma auf sich? Warum kann ein so wenig anschaulicher Begriff eine Bedeutung für die Praxis der Intonation bei Streichern haben?

Wie schon erwähnt, ist ein musikalisches Intervall, mathematisch betrachtet, das Verhältnis zwischen zwei Schwingungszahlen. Eine Oktave hat die doppelte Frequenz eines gegebenen Grundtons. Wenn wir nun sieben Oktaven übereinander schichten, also z. B. vom tiefsten (Kontra-) C auf dem Klavier aus über die gesamte Tastatur siebenmal eine Oktave zum dann jeweiligen neuen Grundton (c, c', c'' etc.) anschlagen, dann verdoppelt sich mit jedem Oktavsprung jeweils die Frequenz.

Wenn wir die Frequenz eines beliebigen Grundtons mit » a « bezeichnen, können wir den beschriebenen Sachverhalt auch als Formel schreiben:

$$\text{Grundton } a \text{ mal } 2^7 = a \text{ mal } 128$$

Ein Ton, der sieben Oktaven höher ist als ein beliebiger Grundton *a*, schwingt also 128-mal so schnell wie dieser Grundton. Behalten wir diese Zahl für einen kurzen Moment im Gedächtnis.

Eine reine Quinte schwingt zu ihrem Grundton im Verhältnis 3:2, also anderthalb mal so schnell wie dieser. Wenn wir einmal um den ganzen Quintenzirkel herumwandern und zwölf Quinten übereinander schichten, kommen wir auf dem Klavier nach zwölf Quinten beim gleichen Ton an, den wir beim Experiment mit den Oktaven erreicht haben: Auch er liegt sieben Oktaven höher als der Grundton.

Halten wir also fest: Eine Quinte über dem Grundton hat die Schwingung dieses Grundtons mal $\frac{3}{2}$. Oder anders gesagt, eine Quinte hat die Frequenz des Grundtons mal 1,5.

Um zwölf Quinten rechnerisch übereinander zu schichten, müssen wir dieses Verfahren zwölfmal durchführen und landen bei folgender Schwingungszahl:

**Grundton mal $1,5^{12}$ = Grundton mal ca. 129,75
(hier auf zwei Stellen
hinterm Komma aufgerundet)**

Ein Ton, der zwölf reine Quinten über einem Grundton liegt, schwingt also 129,75-mal so schnell wie dieser Grundton. Hier liegt die Hauptursache unserer Intonationsproblematik: Wir bemerken einen nicht unerheblichen Unterschied zwischen

**$2^7 = 128$ einerseits
und $1,5^{12} = 129,75$ andererseits.**

Diesen rechnerischen – und hörbaren! – Unterschied zwischen der siebten Oktave und der zwölften Quinte nennt man das pythagoräische Komma. Wir können diese Frequenzdifferenz hören, sie beträgt etwa ein Viertel von einem Halbton.

Um diese in der Zahlenreihe selbst liegende Diskrepanz »zurechtzubiegen«, gab es im Laufe der Musikgeschichte zahlreiche Versuche, reine Intervalle innerhalb eines Hör-Toleranzbereichs minimal zu »verunreinigen«. Es musste ein Kompromiss für die Stimmung der Instrumente gefunden werden, damit sich am Ende die zwölfte Quinte doch wieder mit der siebten Oktave deckte. Hier seien nur einige der vielen Stimmungen genannt,