

Die Harmonische Teilung als naturgesetzlicher Prozeß

Die Entstehung von Schwingungsspektren unterliegt, wie jedes physikalische Phänomen, einem fundamentalen naturgesetzlichen Prinzip, das von der Experimentalphysik nachgewiesen und exakt beschrieben werden kann.

Die erste Aufgabe bei einer experimentellen Nachweisführung besteht dabei darin, jene idealisierten Bedingungen herzustellen, unter denen sich das zu beschreibende Naturprinzip, weitestgehend frei von irgendwelchen das experimentelle Ergebnis verschlüsselnden Faktoren, klar und eindeutig wahrnehmen lässt.

Im Falle der Entstehung von mechanischen Schwingungsspektren wird nun - im Gegensatz z.B. zu den Experimenten der Atomphysik - das Kriterium der unmittelbaren (sinnlichen) Wahrnehmbarkeit zumindest im Bereich der Akustik auf natürliche Weise erfüllt. Verfolgt man also das Ziel, jenes den Schwingphänomenen zu Grunde liegende fundamentale naturgesetzliche Prinzip unmittelbar zu erkennen und darzustellen, dann liegt es nahe, sich - wie nachfolgend praktiziert - zunächst und vor allem auf diesen Physikbereich zu konzentrieren.

Schwingungszustände bilden sich in der Mechanik dann aus, wenn in einem geschlossenen schwingfähigen Zusammenhang Wellen diametral reflektiert werden - wobei sich nach der chaotischen Phase des Einschwingens Welle und Wellenreflexion so auf einander einschwingen, dass sie sich zum einen exakt gegenphasig und zum anderen mit entgegengesetzter Bewegungsrichtung interferenzmäßig überlagern. Dieser grenzwertige Zustand wird allgemein als „Stehende Welle“ bezeichnet.

Der Aufbau eines stehenden Wellensystems, d.h. eines Spektrums, verläuft dann hinreichend störungsfrei im Sinne einer erfolgreichen Durchführung eines physikalischen Experimentes

- wenn zum einen der „Wellenträger“ an jedem Punkt auf der Strecke zwischen Wellenquelle und Wellenreflexion vollkommen homogen ist,
- wenn zum anderen störende Energiewirkungen ausgeschlossen werden können und
- wenn zum dritten die Wellenreflexion an den beiden Umkehrpunkten verlustfrei ist.

Diese drei Bedingungen werden z.B. bereits von der eingespannten Saite eines musikalischen Saiteninstrumentes hinreichend erfüllt: Das Kriterium der Homogenität wird dabei von einer hochentwickelten Herstellungstechnik gewährleistet. Einen störungsfreien Ablauf des Schwingvorganges ermöglicht die annähernde Eindimensionalität des Saitenkörpers. Dessen Einspannung in eine massive Konstruktion wiederum sorgt für die vollständige Reflexion an den Endpunkten der Saite.

Ich stelle daher fest: **Die eingespannte Saite eines Musikinstrumentes eignet sich grundsätzlich für ein wissenschaftliches Experiment mit dem Ziel einer Beschreibung des für das Schwinggeschehen maßgeblichen naturgesetzlichen Prinzips.**

Die spezielle Konstruktion eines musikalischen Saiteninstrumentes ist nun weiterhin darauf angelegt, dass die Saitenschwingungen auf Grund einer festen Verkoppelung der Saite mit einem breitbandig wirkenden, leistungsfähigen Resonanzkörper (z.B. Geige, Gitarre usw.) breitflächig in den Wahrnehmungsraum strahlen.

Das Saiteninstrument hat deswegen gegenüber anderen denkbaren Konstruktionen den Vorteil, dass das Ergebnis des Experimentes auch subjektiv sehr gut erlebbar ist.

Das Ergebnis des Schwingens einer Saite ist nun jene hoch komplexe und zugleich perfekt geordnete „harmonische“ Überlagerungsstruktur, die man in der Akustik „Klang“ nennt. Das für die Entstehung von Schwingungsspektren verantwortliche fundamentale naturgesetzliche Prinzip muss nun und ist in der Struktur des Klanges auf exemplarische Weise enthalten und kann damit - über die musikalische Aufführungspraxis - als seit langem in seiner naturgesetzlichen Form empirisch dargestellt verstanden werden. Es nimmt wegen seiner faszinierenden Wirkung auf das Gehör und das emotionale System des Menschen über dieses hinaus eine herausragende Stellung in der Kulturtradition ein.

Der „Klang“ lässt sich in diesem Sinne als ein spektrales Ganzes beschreiben, dessen Teile sich zum ungeteilten Ganzen, d.h. zum „Grundton“, frequenzmäßig wie eins, zu zwei, zu drei, zu vier, zu fünf usw. nach der harmonischen Folge verhalten. Die verschiedenen Teile des spektralen Ganzen (Grundton, Obertöne) verfügen dabei in umgekehrter Proportionalität zueinander stehend - auf eine zwischen den polaren Extremen „Singularität“ und „Multiplizität“ fließende Weise - über eine sowohl qualitative als auch quantitative Natur.

Für das Verständnis des Zusammenhanges ist die Berücksichtigung der Tatsache, dass der Grundton einfach (singulär), der erste Oberton 2-fach, der zweite 3-fach, der dritte 4-fach, der vierte 5-fach usw. in Erscheinung tritt, von entscheidender Wichtigkeit. Mit zunehmendem Teilungsgrad sind Obertöne ihrer Natur nach nämlich zunehmend nur im Sinne von „Quanten“ zu verstehen, das meint: als Größen, deren „individuelle Bedeutung“ im Ganzen zunehmend durch eine kollektive Bedeutung kompensiert wird. Der Wert für die „individuelle Bedeutung“ drückt sich in der Schwingweite, d.h. in der Amplitude aus, die dementsprechend mit zunehmendem Teilungsgrad nach Null tendiert und der Wert für die „kollektive Bedeutung“ in der Frequenz, die dementsprechend mit zunehmendem Teilungsgrad nach $\lim_{\rightarrow} \infty$ tendiert.

Das heißt: Die Amplitude des Grundtones ist wahrnehmungsmäßig so dominant, dass sie dem Klang den „Ton“, d.h. die Identität gibt. Die Obertöne ordnen sich mit zunehmendem Teilungsgrad zunehmend vollständiger in diese Identität ein. Mit zunehmendem Teilungsgrad wirken die Obertöne also einerseits abnehmend „identifikativ“ und andererseits (mit zunehmendem Teilungsgrad) die energetische Substanz des Ganzen quantitativ zunehmend repräsentierend. (Die weitaus meisten Obertöne und damit der weitaus größte Anteil des Spektrums bilden sich in dessen wahrnehmungsmäßig kaum noch bzw. nicht mehr identifizierbaren Bereich aus.)

Ich stelle nach allem hier fest: **Das für die Entstehung von Schwingungsspektren verantwortliche naturgesetzliche Prinzip stellt sich, dem Klang einer Saite entsprechend, als eine Ordnungssystematik dar, die einen sowohl quantifizierenden als auch hierarchisierenden Charakter aufweist.**

In seiner idealen Form realisiert der Klang eine bis ins letzte Detail exakt durchstrukturierte Hierarchie, mit dem „ganzheitlichen“ Grundton an der bestimmenden, das meint: Identität gebenden, qualitativen „Spitze“ und einer nach $\lim \infty$ tendierenden Zahl von Obertönen in der sozusagen „Masse“ bzw. „Substanz“ gebenden „Basis“ des spektralen Ganzen.

Analog zur Wechselbeziehung zwischen kinetischer und potentieller Energie bei der Pendelschwingung verhalten sich die Schwingweite (Amplitude) und die Zahl der Teile eines Tones/Obertones jeweils umgekehrt proportional zueinander.

Die räumliche Teilung der Seite findet dabei ihren zeitlichen Ausdruck in der jeweiligen Frequenz.

Ich verstehe nun die Amplitude als qualitativen und den Teilungsfaktor der Obertöne als quantitativen Wert und gelange so zur Gleichung „*Qualität x Quantität = konstant*“.

In dieser Gleichung sehe ich den Schlüssel zum Verständnis eines jeden konstruktiven Prozesses. (Im Fall des Klanges ist dieser konstruktive Prozess mit der „Einschwingphase“ identisch.)

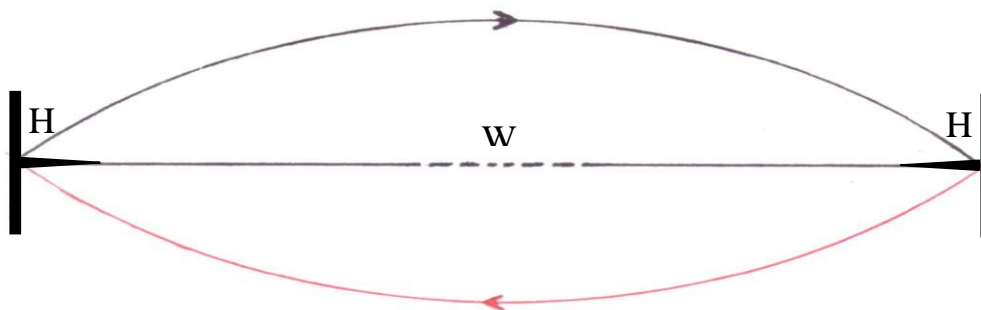
Neben dem experimentellen Nachweis der realen Form des für die Entstehung und Erhaltung von Schwingzuständen bestimmenden Prinzips, gibt es mit der Fourier-Analyse den mathematischen Nachweis der naturgesetzlichen Allgemeingültigkeit dieser Form. Die Fourier-Analyse weist nämlich rechnerisch nach, dass dieses sich unter idealisierten Bedingungen im Experiment ausbildende harmonische System Klang prinzipiell auch für alle anderen in ihrer akustischen Wirkung keineswegs als Klang erkennbaren Schwingzustände maßgeblich und bestimmend ist.

Im Nachfolgenden will ich nun versuchen, das wahrnehmbare und berechenbare Phänomen Klang in seiner nicht wahrnehmbaren inneren Ablauflogik gedanklich nachzuzeichnen:

Ich verfolge die Abläufe zunächst beim Schwingen in der Grundfrequenz:

Die eingespannte Saite ist dadurch gekennzeichnet, dass sich im Ruhezustand auf Grund der Einspannung an den Saitenenden zur Saitenmitte hin abnehmende Hartstellen (H) und in der Saitenmitte eine relative, die Ausbildung eines Schwingungsbauches begünstigende Weichstelle (W) befinden. Aus dieser Konstellation resultiert bei einer energetischen Aufladung - dem Prinzip gemäß, daß Energie stets den Weg des geringsten Widerstandes nimmt - natürlicherweise die Grundschiwingung.

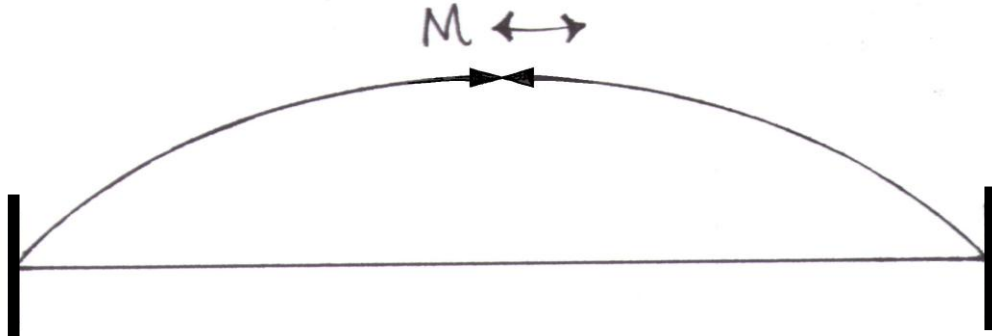
Abb. 1



Die Schwingbewegung löst nun bei ihren periodischen transversalen Durchbiegungen Zugkräfte auf die Saitenenden aus, die - da diese fest verankert sind - in der Saite eine longitudinale periodische Änderung des inneren Spannungszustandes bewirken.

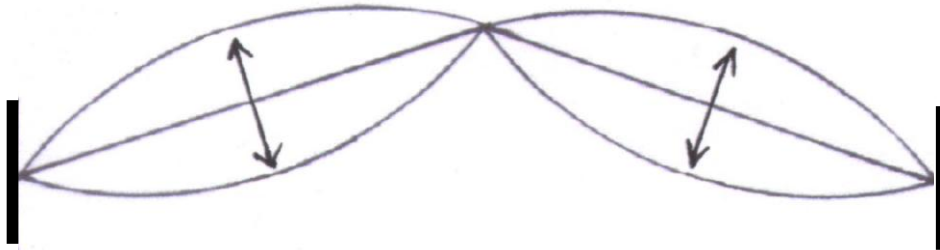
Diese Veränderung verläuft dergestalt in Längsrichtung der Saite, daß sich bei der Grundschwingung das Maximum der Zugspannung (M) periodisch in der Saitenmitte und zwei der Normalspannung entsprechende Minima jeweils an den Saitenenden befinden.

Abb. 2



Das Maximum der Zugspannung in der Saitenmitte bewirkt nun, da es durch die elastischen Gegenkräfte des Saitenmaterials kompensiert wird, eine lokale Verhärtung des Materialzustandes der Saite, der einer weiteren Durchbiegung entgegensteht. Diese Kraft bewirkt nun ein das Grundschwingen überlagerndes Umkippen in – bezogen auf die Grundschwingung - zwei identische Stehende Wellen mit jeweils halber Wellenlänge und dementsprechend doppelter Schwingungsfrequenz.

Abb. 3

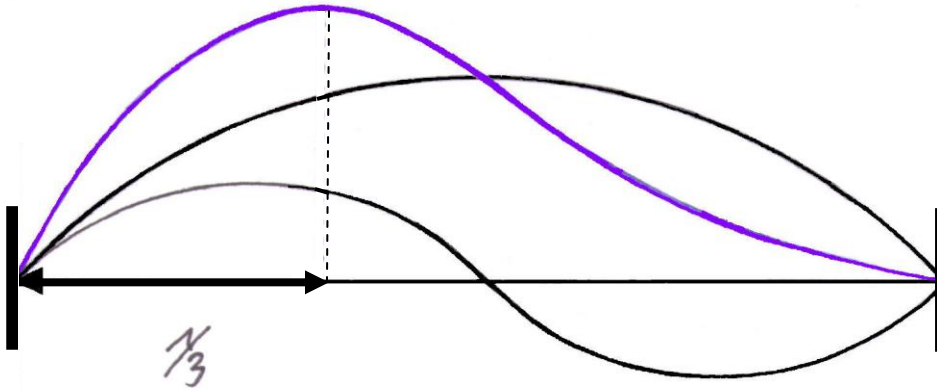


Analog hierzu verläuft der Entstehungsprozess aller weiteren geradzahligen Teilschwingungen.

Die während der Grundschwingungsphase stattfindenden beiden Perioden der ersten Oberschwingung verlaufen nun jeweils gegenphasig zueinander. Die Überlagerung durch die Oktave besteht also nicht nur in einer partiellen Erhöhung der Amplitude der Grundschwingung, sondern zugleich auch in einer entsprechenden Verringerung in der zweiten Hälfte der Saite, wobei beides im periodischen Wechsel stattfindet.

Durch die Überlagerung der Grundschwingung durch die Oktave (Abb. 4 / blaue Kurve) verschiebt sich das Maximum der Saitenamplitude periodisch hin zu den Dritteln der Saitenlänge.

Abb. 4



Entsprechend dem Vorherigen resultieren hieraus Maxima der Zugspannung und daraus wiederum die Ausbildung von Schwingungsknoten in den jeweiligen Dritteln der Saitenlänge.

Auf prinzipiell gleichartige Weise bilden sich auch alle übrigen ungeradzahligen, also einen Schwingungsbauch in der Saitenmitte aufweisenden Teilschwingungen des harmonischen Schwingungssystems aus.

Entscheidend für die Ausbildung des Harmonischen Spektrums ist, daß der modal geordnete Zustand für die eingehende Energie solange den Weg des geringsten Widerstandes darstellt, wie die Elastizitätsgrenze des schwingenden Materials nicht überschritten wird. Die Grenze des schwingenden Zustandes wird also durch die objekt- und materialspezifische elastische Eigenschaft definiert.

Die schwingende Energie ist dann homogen im Spektrum verteilt, wenn jeder Teil des Spektrums über den gleichen Energieinhalt verfügt.

Letzteres ist, wie bereits erwähnt, dann gegeben, wenn das Produkt aus der Anzahl der (gleichfrequent) schwingenden „Äquidistanzteile“ - das ist die quantitative Komponente - und der Wert für die Amplitude - das ist die qualitative Komponente - im gesamten Spektrum eine konstante Größe darstellt, wenn also **Qualität x Quantität = konstant** ist.