

## Schwingungen, Resonanzen

Im Zusammenhang des Schwingens wird in der Mechanik zwischen „Eigenschwingen“ und „erzwungenem Schwingen“ unterschieden, wobei ersteres prinzipiell ein Schwingen als Folge einer unspezifischen Anregung, nämlich eines Anschlages oder Reibens u. ä. meint und letzteres ein Schwingen als Folge einer spezifischen Anregung, nämlich einer frequenzmäßigen Einwirkung, d.h. einer (sinusförmigen) Welle.

Man kann sagen:

Die „Eigenschwingung“ ist das Schwingen in den eigenen Frequenzen, das „erzwungene Schwingen“ demgegenüber das Schwingen in den Frequenzen eines „Anderen“

Beide Arten des Schwingens lassen sich deswegen auf ideale Weise am Modell des Saiteninstrumentes veranschaulichen, weil der Klang z.B. einer Geige, eines Klaviers, einer Gitarre usw. nichts anderes ist als das hoch spezialisierte Produkt einer Wirkeinheit aus beiden Arten des Schwingens, d.h. aus „Eigenschwingen“ **und** „erzwungenem Schwingen“.

Im Saiteninstrument sind nämlich mit der Saite ein „Spezialist“ für das „Eigenschwingen“ und mit dem Korpus des Instrumentes bzw. dessen Resonanzplatten ein „Spezialist“ für das „erzwungene Schwingen“ symbiotisch<sup>1</sup> miteinander verbunden.

Durch Klopfen (Klavier), Zupfen (Cembalo, Gitarre, Harfe) oder durch Reiben (Streichinstrumente) wird die Saite zunächst zur Eigenschwingung angeregt. Über den koppelnden Steg wirken dann die von der Saite ausgehenden, aus der Eigenschwingung der Saite resultierenden Wellen auf den Resonanzkörper ein, der so in den Eigenfrequenzen der Saite „erzwungen“ zu schwingen beginnt.

So überzeugend die Differenzierung zwischen „Eigenschwingen“ und „erzwungenem Schwingen“ zunächst tatsächlich erscheint und so sehr sie sich in der Praxis bewährt haben mag, sie kann allein schon vom Begrifflichen her nicht wirklich befriedigen.

**Jedes** Schwingen - also auch das „erzwungene Schwingen“ – ist in dem Sinn nämlich letztendlich ein „Eigenschwingen“ als beim Schwingen prinzipiell ausschließlich die Frequenzen zur Wirkung gelangen können, die im Eigenschwingspektrum des Körpers enthalten sind, und jedes Schwingen – also auch das „Eigenschwingen“ – ist insofern „erzwungen“, als es einer anregenden Energiewirkung bedarf.

Im Nachfolgenden werde ich aus diesem Grund versuchen, über ein genauer differenzierendes Betrachten der Schwingzusammenhänge auch zu einer genauer differenzierenden Begrifflichkeit zu gelangen – wobei ein solches Unterfangen naturgemäß vorab gebietet, mit einer grundsätzlichen, auf die fundamentalen Zusammenhänge hinzielenden Betrachtung zu beginnen:

In diesem Sinne stelle ich zunächst einmal fest, dass alle Schwingungen prinzipiell zur Kategorie der „stehenden Wellen“ zu zählen sind, wobei diese wiederum als doppelnaturhafte energetische Grenzzustände zu verstehen sind, die zum einen – da stationär – das Kriterium des Statischen und zugleich zum anderen – da bewegt – das Kriterium des Dynamischen erfüllen.

---

<sup>1</sup> Ich nenne diese Verbindung symbiotisch, weil Saite und Korpus sich wirkungsmäßig ideal ergänzen.

Die Doppelnatur des Schwingzustandes drückt sich über dies hinaus auch darin aus, dass jedes Schwingen eine gleichgewichtige Wirkeinheit aus „**Eigenleisten und Fremdleisten**“ darstellt – wobei das Fremdleisten für das „Wegstellen“ und das „Eigenleisten“ für das „Rückstellen“ verantwortlich sind.

Die Wegstellkraft ist beim Schwingen mithin als „fremd“ und angreifend zu verstehen und die Rückstellkraft als „eigen“ und abwehrend.

Weil dieses gleichermaßen für das „Eigenschwingen“, wie für das „erzwungene Schwingen“ gilt, erweist sich der in der Physik übliche Begriff „Eigenschwingen“ vor allem insofern als problematisch als er die Vorstellung eines Schwingens auch ohne „Eigenleisten“ weckt.

Der Begriff „erzwungenes Schwingen“ ist darüber hinaus sogar irreführend, weil er allegorisch das genaue Gegenteil der eigentlichen Natur des Schwingens assoziiert.

**Der Zustand des Schwingens ist als solcher nämlich seiner Natur nach unmöglich zu „erzwingen“ und setzt im Gegenteil stets das „Antworten“, das „Eigenleisten“ und damit sozusagen die „Freiwilligkeit“ voraus.**

Eine solche „Freiwilligkeit“ wird in der Physik üblicherweise allein dem gemeinhin als Grenzfall des erzwungenen Schwingens verstandenen Phänomen „Resonanz“ zuerkannt.

Berücksichtigt man hier allerdings die Tatsache, dass es Schwingzustände im Sinne einer einzigen Frequenz zumindest in der Mechanik überhaupt nicht gibt, es sich beim Schwingen folglich daher stets nur um Spektren handeln kann (wobei das Ganze dadurch noch komplizierter wird, dass die Bestandteile des Spektrums wiederum untereinander wechselseitig resonanzfähig sind!), dann wird erkennbar, dass **jede Art des „erzwungenen Schwingens“ in letzter Konsequenz eine Form der Resonanz** ist, dann erweisen sich „erzwungenes Schwingen“ und „Resonanz“ der Kategorie nach in der Tat als ein und dasselbe.

Zu differenzieren ist im Zusammenhang von Resonanz genau genommen daher nicht zwischen einem „erzwungenen Schwingen“ innerhalb und einem „erzwungenen Schwingen“ außerhalb der Kategorie Resonanz, sondern allein

zwischen „**rangordnungsmäßigen**“ **Stufen der Resonanz**<sup>2</sup>, welche sich daraus herleiten, dass ein Körper eben keineswegs allein dann resoniert, wenn die Frequenz der einwirkenden Welle mit der Eigenschwingfrequenz des angegriffenen Körpers vollständig oder hinreichend angenähert übereinstimmt, sondern bereits dann, **wenn es eine Übereinstimmung der Wellenfrequenz mit irgendeiner Frequenz des Eigenspektrums des angegriffenen Körpers gibt.**

Dem jeweiligen „Rang“ der im Spektrum in Resonanz gebrachten Teilschwingung des Eigenschwingspektrums entsprechend will ich nun wie folgt systematisieren:

**„Resonanz ersten Ranges“** nenne ich hier die Übereinstimmung der angreifenden Wellenfrequenz mit der Grundfrequenz des resonierenden Körpers

**„Resonanz zweiten Ranges“** die Übereinstimmung der angreifenden Wellenfrequenz mit der Frequenz der 1. Teilschwingung des resonierenden Körpers,

**„Resonanz dritten Ranges“** die Übereinstimmung der angreifenden Wellenfrequenz mit der Frequenz der 2. Teilschwingung des resonierenden Körpers usw.

---

<sup>2</sup> Diese Rangordnung drückt sich darin aus, dass die höheren Teilschwingungen immer geringere Amplituden bei gleichzeitig – da der Schwingvorgang sich zunehmend quantifiziert und damit über Zeit und Geometrie verteilt – immer „homogenere“ Raum-Zeit-Wirkung aufweisen. Das Umkippen von Schwingungsenergie in die höhere spektrale Einheit beinhaltet de facto eine Verschiebung von Qualität (= Amplitude) in Quantität (Anzahl der identischen Schwingungsvorgänge, Schwingungszahl).

Die Resonanzkapazität von physikalischen Körpern erstreckt sich dementsprechend **nach „Rängen“ geordnet** prinzipiell über die gesamte Breite des Eigenschwingspektrums.

Die sich hieraus ergebende Vielzahl differierender potentieller Resonanzzustände erklärt im übrigen überhaupt erst, warum Resonanzkörper von Musikinstrumenten eine derart breite, sich zumindest über das hörbare Frequenzspektrum erstreckende Resonanzleistung zu erbringen in der Lage sind.

Der komplexen Natur der Resonanz<sup>3</sup> entsprechend lösen Resonanzschwingungen *Sekundäreffekte* aus, die darin bestehen, dass sich die Resonanzenergie – nach der unmittelbaren ersten Phase der Anregung – in einer **körperinternen** zweiten Resonanzphase *quasi feldmäßig* in alle zur Eingangswirkung resonanzfähigen Bereiche des Eigenschwingspektrums verteilt. (Einen analogen Mechanismus kennen wir vom Pedaleinsatz beim Klavierspiel!)

Dabei kommen Einschwingmechanismen zum Tragen, die in der zeitlichen Abfolge gemäß der (auf die angreifende Frequenz bezogenen) „spektralen Rangstufe“ verlaufen. Letztere bezeichne ich hier als **„hierarchische Einschwingordnung“**.

Resonanzen aller Rangstufen (d.h. der hier gegebenen Definition nach: alle erzwungenen Schwingungen) verfügen damit – dies ist im übrigen aus der einfachen musikalischen Praxis bekannt – stets über einen spezifischen, sich nicht allein aus der Einwirkung, sondern gleichfalls auch aus dem Eigenschwingspektrum des resonierenden Körpers herleitenden spektralen Charakter.

Letzterer ist dem Wesen nach ein feldartiger Anschlusseffekt, den ich hier **„Sekundärresonanz“** nenne.

Die Einschwingung der *Sekundärresonanz* verläuft den Gesetzen der Resonanz entsprechend von der auslösenden *Primärresonanz* aus im Eigenschwingspektrum der Reihe nach sowohl nach unten wie nach oben, d.h. sowohl in Richtung Grundschwingung als auch in Richtung des oberen, sozusagen **„grenzwertigen spektralen Randes“**.

Bei der *Sekundärresonanz* wird somit grundsätzlich die gesamte Breite des Eigenschwingspektrums des resonierenden Körpers (der *hierarchischen Einschwingordnung* entsprechend abgestuft angeregt<sup>4</sup>).

Da diese *feldmäßige* Resonanzerscheinung sich – dem prinzipiell *„individualistischen Charakter“*<sup>5</sup> des harmonischen Spektrums entsprechend – aus „individuellen“ Bestandteilen zusammensetzt, nenne ich dieses Resonanzfeld **„individualistisch“**.

Eine der wichtigen und auffälligen strukturellen Merkmale innerhalb des harmonischen Spektrums besteht nun allerdings darin, dass die individuelle Unterscheidbarkeit der einzelnen Teilschwingungen mit zunehmendem Teilungsgrad zunehmend abnimmt.

---

<sup>3</sup> Gemeint ist hier die Tatsache, dass es zur Resonanz kommt, wenn es zum einen die völlige, zum anderen die harmonische und zum dritten die annähernde Übereinstimmung zwischen angreifender Welle und Eigenspektrum gibt.

<sup>4</sup> Die Resonanzanregung ist dann von vorne herein natürlich besonders gering, wenn die Grundfrequenz der Welle nicht direkt, sondern lediglich indirekt d.h. über eine ihrer ggf. sogar entfernten Teilschwingungen mit einer Frequenz des Eigenschwingspektrums des Körpers übereinstimmt. In diesem indirekten Fall erfolgt die Einschwingung ab der Teilschwingung des Eigenschwingspektrums, deren Frequenz der Wellenfrequenz in der hierarchischen Rangfolge am nächsten steht.

<sup>5</sup> Ich nenne dieses Resonanzfeld *individualistisch*, weil die individuelle Ausprägung und Unterscheidbarkeit der einzelnen Teiltöne wesensmäßig zu diesem Resonanzfeld gehört. Es steht dabei im Kontrast zum *„kollektivistischen Resonanzfeld“*, bei dem genau dies ausgeschlossen ist.

Jenseits eines aus spektraler Sicht grenzwertigen Teilungsgrades sind die Teilschwingungen im Spektrum einander so ähnlich, dass eine Trennung in Einzelgrößen – und damit in Einzelresonanzen – praktisch nicht mehr gegeben ist.

Die zahlenmäßig besonders vielen Teilschwingungen mit solchen grenzwertig hohen Teilungsgraden verschwimmen dementsprechend während der *sekundären Resonanzphase* zu einer eigenständigen Größe, die ich hier – da für sich genommen keinen „*individualistischen*“ Charakter mehr aufweisend – als „*kollektivistisches Resonanzfeld*“ bezeichne.

Letzteres ist dabei einer von zwei Bestandteilen der *Sekundärresonanz*, den ersten, d.h. den sozusagen ***konsonant-dissonanten Spektralbereich*** umfassenden Bestandteil, habe ich hier *individualistisches Resonanzfeld* genannt.

Man kann damit sagen:

Die *Sekundärresonanz* setzt sich aus zwei eigenständigen Resonanzfeldern zusammen, dem *individualistischen Resonanzfeld* zum einen und dem *kollektivistischen Resonanzfeld* zu anderen.

Wegen der hierarchischen Natur seiner Schwingstrukturen ist das *individualistische Resonanzfeld* im Sinne von „inhomogen“ **spezifisch**. Im Gegensatz dazu ist das *kollektivistische Resonanzfeld* wegen des grenzwertig verschwimmenden Teilungsgrades der Bestandteile seiner Schwingstruktur dem Charakter nach im Sinne von „homogen“ **unspezifisch**.

Da die Größen der Amplituden innerhalb des Spektrums bei gleichem Energieinhalt natürlicherweise mit der Größe der Teilungszahl abnehmen, da also – wenn man so will – abnehmende Qualität (nämlich Amplitude) durch zunehmende zeitliche und räumliche Quantität (nämlich Anzahl der Schwingvorgänge pro Zeit- und pro Raumeinheit) kompensiert wird, ist die primäre Wirkung in dem *grenzwertigen Spektralbereich* sowohl wahrnehmungsmäßig als auch messtechnisch vernachlässigbar.

Die unmittelbare wahrnehmungsmäßige und messtechnische Bedeutungslosigkeit des *grenzwertigen Spektralbereiches* steht dabei in einem vollkommenen Kontrast zur Größe der Zahl in ihm sozusagen verschwimmender Teilgrößen und mit dieser in vollkommenem Kontrast zur quantitativ energetischen Bedeutung im Eigenschwingspektrum – und mit dieser dann auch zur potentiellen (quantitativen) Resonanzkapazität.

Die *hierarchische Einschwingordnung* bewirkt bei Körpern mit hinreichenden Kapazitäten in dem durch die relativ minimal bis gering geteilten Teilschwingungen definierten *konsonant-dissonanten Bereich* des Eigenschwingspektrums (Körper solcher Art sind z.B. lang gestreckte Körper wie eingespannte Saiten) dass die sich gemäß der *hierarchischen Einschwingordnung* bei der *sekundären Resonanzphase* zuletzt aufladende Resonanzkapazität des *grenzwertigen Spektralbereiches* wahrnehmungsmäßig und messtechnisch nur minimal zur Wirkung gelangt.

Bei diffus eigenschwingenden Körpern mit einer stark reduzierten Resonanzkapazität im *konsonant-dissonanten Spektralbereich* (Körper solcher Art sind insbesondere membranartige Objekte) verhält es sich demgegenüber genau umgekehrt.

Die potentielle Resonanzkapazität des *grenzwertigen Spektralbereiches* wird hier wegen der Geringe der *konsonant-dissonanten Resonanzkapazität* (und der hieraus folgenden Geringe der vorausgegangenen feldmäßigen Resonanzabsorption) bis hin zur Ausbildung eines eigenständigen *kollektivistischen Resonanzfeldes* aufgeladen.<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Da es sich hier um einen Sekundäreffekt handelt, kommt es auch beim Eigenschwingen zu dieser Resonanzaufschaukelung.

Die eigenständige Resonanz des *grenzwertigen Spektralbereiches* verstehe ich – da vom Geschehen der *Sekundärresonanz* abgegrenzt – als „**Tertiärresonanz**“. Diese ist ihrem Charakter nach ein nur minimal spektrales dafür aber maximal energetisches Ereignis.

Während sich die Wirkung der *Sekundärresonanz* im *konsonant-dissonanten Bereich* durch einen eindeutigen Wellencharakter auszeichnet, wirkt nämlich die kollektive dynamische Ladung des *kollektivistischen Resonanzfeldes* – entsprechend der Anregung z.B. durch den Bogenstrich beim Geigenspiel oder Anregung durch den Luftstrom beim Blasinstrument – nach Art einer diffusen Anregung auf das Körperganze.

Dies wiederum heißt:

Die Resonanzen eines diffus eigenschwingenden Körpers regen diesen selber *tertiär* über die Resonanz des *kollektivistischen Resonanzfeldes* stets auch zum Eigenschwingen an.

Auf übliche Weise formuliert heißt dies: **Das erzwungene Schwingen eines membranartigen Körpers bewirkt stets auch dessen Eigenschwingen.**

Dieses *tertiäre Eigenschwingen* ist bei der Resonanz membranartiger Körper deswegen von großer energetischer Bedeutung, weil über die zeitlich vorausgegangene Einschwingung des sich nur schwach ausbildenden individualistischen Resonanzfeldes tatsächlich nur wenig Resonanzenergie zu etablieren vermochte.

Dem Wesen nach ist die Wirkung des *individualistischen Resonanzfeldes* dabei in dem Sinne spezifisch als es die einwirkenden Wellen (resonanzmäßig differenziert) spektral zu übernehmen hilft.

Membranartige Körper sind grundsätzlich – wie eingangs am Beispiel des Saiteninstrumentes gezeigt – auf das „erzwungene Schwingen“ und damit auf die Gesamtheit der *Rangstufen der Resonanz* hin spezialisiert.

Der „naturtreue“, d.h. dem einwirkenden Frequenzspektrum entsprechende Anteil dieser Resonanzleistung ist dabei im zeitlichen ersten Teil der *Sekundärresonanz*, d.h. im *individualistischen Resonanzfeld* angesiedelt.

Ziel bei der Konstruktion von auf die Resonanzleistung hin zu trimmenden Membranen muss es demnach sein, hinreichend große Resonanzkapazitäten im *konsonant-dissonanten* Spektralbereich anzusiedeln, ohne dass dabei die primäre Bestimmung, nämlich die Spezialisierung auf das „erzwungene Schwingen“ bzw. auf die Gesamtheit der *Rangstufen der Resonanz* hin, beeinträchtigt wird.

Dies erklärt den Erfolg der Methode der *Resonanz-Spektral-Abstimmung*, die genau dieses Ziel verwirklicht.