

Vorbemerkung:

Anlässlich einer wissenschaftlichen Testreihe an der PTB in Braunschweig, deren Ergebnisse ich 1994 in der Zeitschrift, das Musikinstrument, veröffentlichte, schrieb ich die folgenden, für meine damalige Forschungsarbeit programmatischen Sätze:

„Für jeden, der sich aktiv mit Geigenforschung und Geigenbau befasst, muss es ganz einfach deprimierend, ja blamabel sein, schlussendlich immer wieder akzeptieren zu müssen, dass einstmals in vorwissenschaftlicher Zeit schlichte Handwerker mit primitiven Techniken Maßstäbe setzten, denen bislang – jedenfalls was Klang und Spieleigenschaften betrifft – trotz all des überlegenen Wissens, trotz all der überlegenen Techniken unserer Zeit, auch nicht annähernd entsprochen werden kann. Das besonders Irritierende dabei ist, dass man niemals etwas technisch wirklich Auffälliges oder gar Sensationelles an einer Stradivari oder einer „del Gesù“ entdecken konnte – obwohl natürlich bei diesen Instrumenten jeder Fleck, jeder Winkel immer wieder aufs neue durchforscht und vermessen wurde.

Und doch muss es hier ganz einfach rational fassliche, herstellungsmäßig reproduzierbare Fakten geben. Schließlich beruhen die Phänomene des Geigenklanges weder auf Magie noch auf Kunst, sondern auf Physik.“ (G. Ignatius, Störfaktor-Messungen an der Geige mit Hilfe von Metallgranulat / Das Musikinstrument – 2-3/94)

Nachdem ich seit über 40 Jahren auf verschiedensten Ebenen und in unterschiedlichen Funktionen mit Resonanzschall befasst bin - zunächst als Musiker, dann als Geigenforscher und Instrumentenbauer und in den letzten 10 Jahren im Rahmen raumakustischer Fragestellungen - war für mich die Zeit dafür herangereift, schlussendlich den Blick unmittelbar auf die Wurzel des akustischen Geschehens zu wagen, um die Zusammenhänge dort einer sozusagen mikroskopisch genauen Analyse unterziehen zu können.

Die nachfolgende Untersuchung ist das Ergebnis dieses Versuches. Sie wird auf theoretischer Ebene den Beweis dafür erbringen, dass der Resonanzschall einer Geige nicht allein deswegen so mysteriös erscheint, weil er unergründlich kompliziert und komplex ist, sondern vor allem deswegen, weil wir in der Akustik den Geigenklang bislang mit Messtechniken zu erfassen suchen, die für diese spezielle Form des Schalles, d.h. für den Resonanzschall, ungeeignet sind. Tatsächlich transformieren die Resonanzschwingungen der Plattenelemente der Geige nämlich die akustische Wirkung in eine Art des Schalles, die – sieht man von der Frequenz ab – nahezu nichts mehr mit dem kugelförmigen Erscheinen herkömmlicher Schallwellen zu tun hat. Die Plattenabstrahlungen einer Geige entsprechen zumindest im Obertonbereich ihrem physikalischen Erscheinungsbild nach in Wahrheit vielmehr den longitudinalen Korpuskel-Wellen des Lichtes.

Will man also den Geigenklang angemessen wissenschaftlich erforschen, dann helfen herkömmliche akustische Messtechniken eher wenig, dann wird man konsequent auf solche Techniken zurückgreifen müssen, wie sie im Zusammenhang quantenmechanischer Fragestellungen analog bei der Untersuchung z.B. von Photonenphänomenen zum Einsatz gelangen. Da der Geigenkorpus aus verschiedenen, zu einem Hohlkörper zusammengefügt Platten besteht, werden die Abläufe im Nachfolgenden der Einfachheit wegen am Schwingverhalten der einzelnen Platte untersucht.

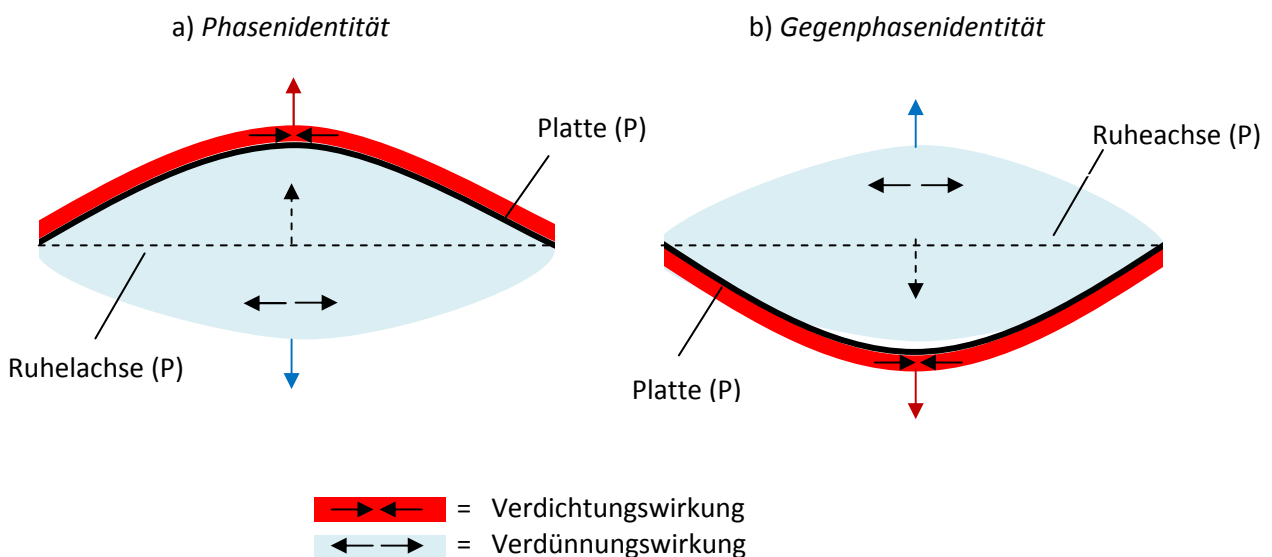
Der „Sononeneffekt“ und die Transformation der Schallwirkung durch die Plattenresonanz

Das Resonanzschwingen einer Platte basiert auf „*Stehenden Wellen*“, die sich in den Frequenzbereichen des für die Resonanz ursächlichen Schalles transversal zu diesem ausbilden, wobei diese *Stehenden Wellen* wiederum als senkrecht zur Plattenebene abstrahlende Schallquellen fungieren.

Stehende Wellen treten nun in einfacher bis grenzwertig geteilter Form in Erscheinung. Die Teilungsstruktur einer geteilten *Stehender Welle* wiederum ist dadurch gekennzeichnet, dass alle Teile jeweils eine identische Frequenz aufweisen, und jeweils benachbarte Schwingungsbäuche dabei stets gegenphasig zueinander schwingen. Das heißt: Teilschwingungen einer Plattenresonanz weisen ihrer Natur nach, jeweils im stetigen Wechsel, sowohl eine – wie ich es hier nennen will – „*Phasen-*“ wie eine „*Gegenphasenidentität*“ auf.

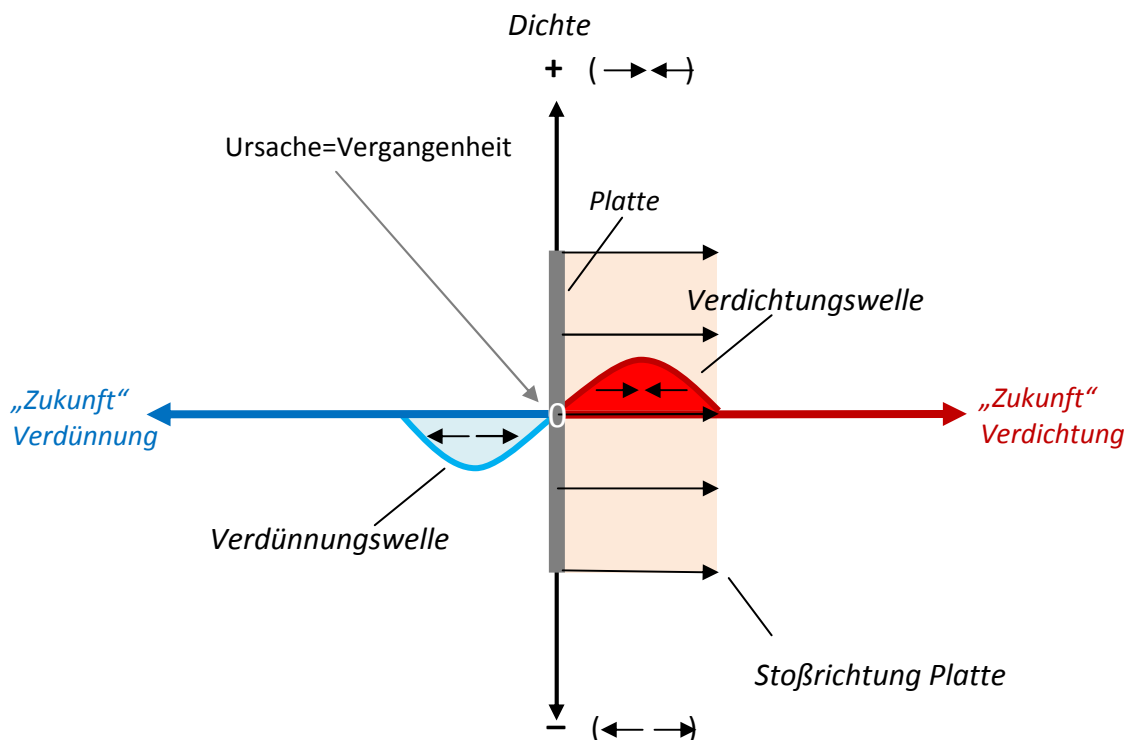
Die von den *Stehenden Wellen* einer Plattenresonanz ausgehenden Schalle bilden damit ein *akustisches Feld* der besonderen Art. Dies deswegen, weil – wie ich später erläutern werde – Verdichtungs- und Verdünnungsphasen in dieser Konstellation stets nicht nur zeitlich phasenverschoben sondern (wegen der Gegenphasigkeit nebeneinanderliegender gleichfrequenter „stehender“ Schwingungsbäuche) auch „gleichzeitig phasenverschoben“ in Erscheinung treten.

Abb. 1



Die nachfolgende Abbildung stellt die Wirkung der *Phasenidentität* im Koordinatenkreuz dar. (Die *Gegenphasenidentität* verhält sich exakt spiegelsymmetrisch hierzu):

Abb. 2



Die Abbildungen 1 und 2 dokumentieren, dass die Wirkungen von *Phasenidentität* wie von *Gegenphasenidentität*, d.h. die von diesen jeweils abgestrahlten *laufenden Wellen*, sich aus zwei jeweils zugleich gegensätzlichen als auch gegenläufigen Wirkungskomponenten zusammensetzen. (vgl. auch G. Ignatius, *Texte/ Resonanz/„Der Dualismus der physikalischen Wirkung“*, www.georg-ignatius.de).

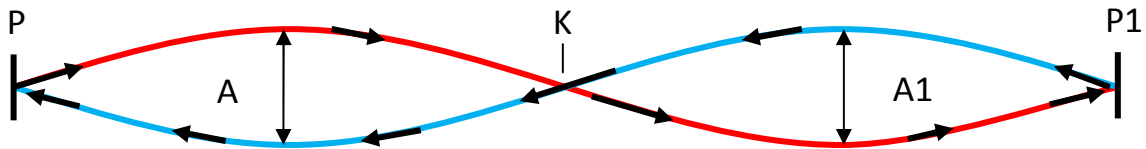
Die eine dieser Komponenten ist eine longitudinale Verdichtungswelle, die von der „Vorderseite“ der Platte angestoßen wird, die andere eine longitudinale Verdünnungswelle, die durch den selben ursächlichen Vorgang, also gleichzeitig, von der „Rückseite“ der Platte in die Gegenrichtung abstrahlt. Die Begriffe „Vorder-“ und „Rückseite“ sind dabei – ebenso wie Phase und Gegenphase – während des Schwingzustandes der Platte relativ und hängen **allein** vom Standort des Betrachters ab.

Stehende Wellen bilden – wie ich im Nachfolgenden zeigen werde – in diesem Sinn Abfolgen von Schwingungsknoten- und jeweils im Wechsel phasenverschobenen Schwingungsbauchbereichen aus, die auf solche Weise bis hin zur Grenzwertigkeit geteilt spektral in Erscheinung treten.

In den Knotenbereichen ist die Schwingungsamplitude dabei gleich Null und in denen der Bauchbereiche von minimal (in Knotennähe) bis maximal (im Zentrum des Schwingungsbauches) ausgeprägt.

Die nachfolgende Abbildung (3) zeigt das Schwingen der nebeneinander liegenden *Schwingungsbäuche* A und A1 innerhalb des durch die Endpunkte P und P1 abgeschlossenen Bereiches.

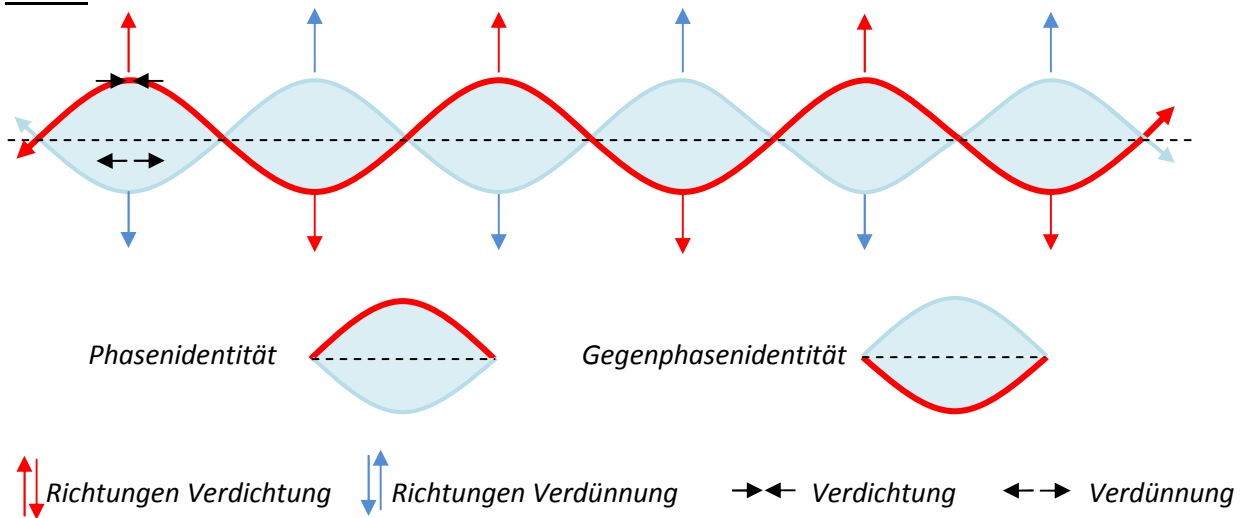
Abb. 3



Es wird erkennbar, dass das dynamische Wirken an den Endpunkten P und P1 reflektiert wird und sich dabei (nach einer Einschwingzeit) stationär nebeneinander liegende *Schwingungsbäuche* ausbilden, die - wie eingangs festgestellt – gleichzeitig, gleichfrequent aber im Wechsel jeweils um eine halbe Wellenlänge **phasenverschoben** zueinander schwingen.

Auf solche Weise entstehen über die Resonanz von Plattenelementen Quantitäten von dicht nebeneinander liegende gleichfrequente Schallquellen mit jeweils im Wechsel zueinander gegenphasiger (+/-) Wirkung.

Abb. 4



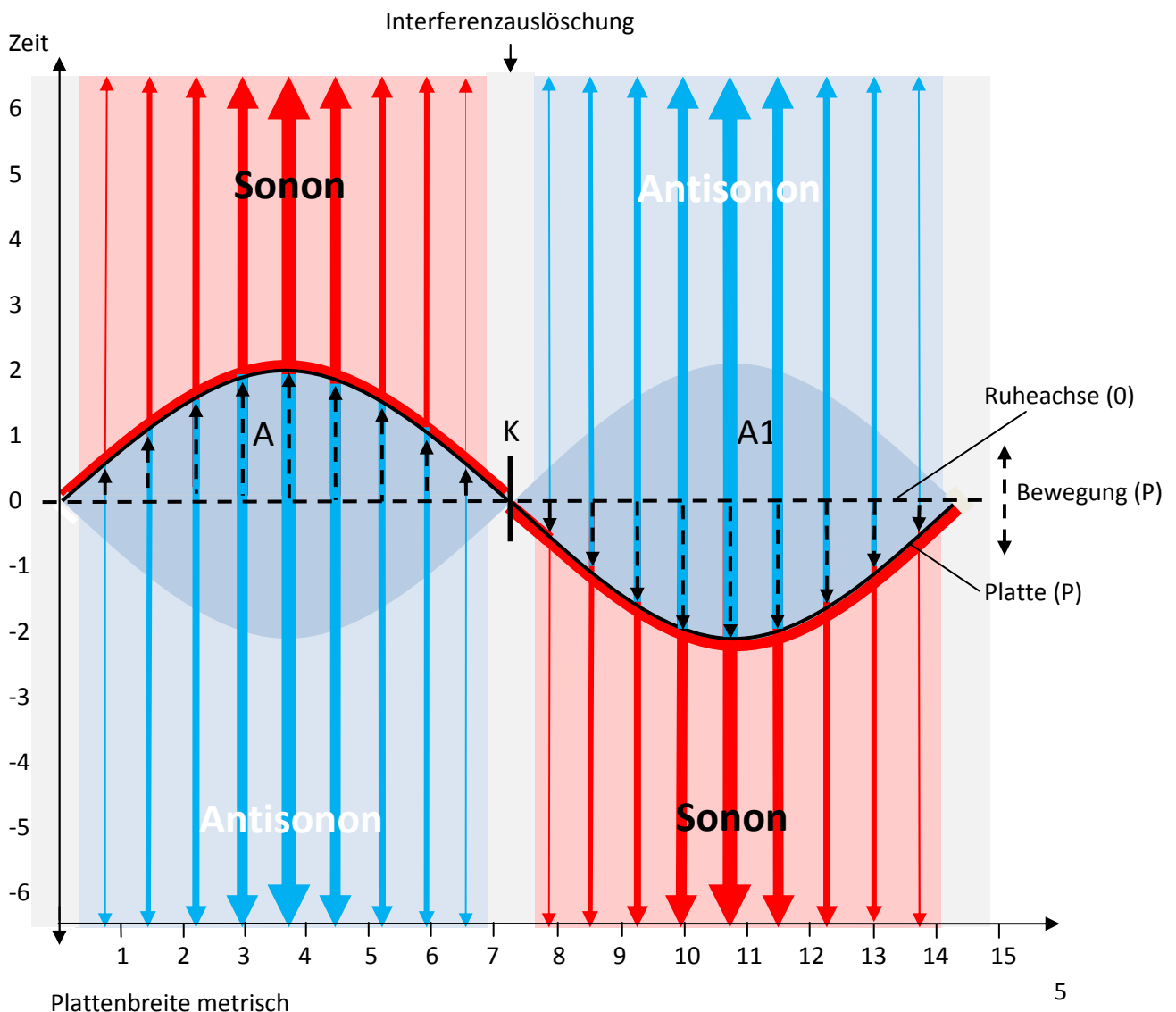
Verdichtungswirkungen und Verdünnungswirkungen eines Membranschwingens dehnen sich mit jeweils gleicher Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung halbkugelförmig so in den Raum, dass beide Wirkungskomponenten gemeinsam eine Kugel bilden, deren Hälften gegenphasig zueinander schwingen. Dieser Vorgang wird in der Akustik als Kugelstrahler 1. Ordnung¹ bezeichnet (vgl. auch F. Trendelenburg, *Einführung in die Akustik*, Berlin 1961).

¹Aus „dtv-Lexikon der Physik“ (Mai 1970 Deutscher Taschenbuchverlag GmbH & Co), Stichwort „Kugelstrahler“: „Beim Kugelstrahler 1. Ordnung schwingen zwei durch einen in Ruhe befindlichen Großkreis getrennte Kugelhälften **gegenphasig** zueinander.“

Weil gegenphasige Wirkungen sich in dem Augenblick interferenzmäßig auslöschen, in dem sie aufeinandertreffen, folgt hieraus klar und eindeutig, dass die akustischen Wirkungen von (geteilten) Resonanzschwingungen einer Platte, die ursprünglich naturgemäß kugelförmig angelegt sind, all die Anteile der ursprünglichen Charakteristik, deren Strahlungsrichtung vom Grenzfall der **Senkrechten** zur Plattenebene abweichen, die also nicht vollkommen parallel zueinander verlaufen, nach kürzester Zeit einer vollkommenen Interferenzauslöschung unterliegen (Abb. 5). Ausgenommen hiervon ist allein der unmittelbare Randbereich, bei dem nur ein Teil der Wirkung hiervon betroffen ist und der andere Teil sich zur einhüllenden Kugel von der Platte weg in den Raum hinein dehnt.

Auf Grund der Gegenphasigkeit von frequenzgleich nebeneinander liegenden Schallquellen strahlt eine Platte somit ihren Resonanzschall im Innenbereich der Platte **nicht anders** als exakt senkrecht zur Plattenebene ab. Den verdichteten Anteil dieser (geradlinig gleichförmigen) Abstrahlung nenne ich wegen seines „Korpuskel-analogen“ Wellencharakters in Anlehnung an den Begriff Photon hier **„Sonon“**, den verdünnten Anteil dementsprechend **„Antisonon“**. Die räumliche Ausbreitung dieser Welle entspricht dabei dem Durchmesser des ursächlichen Schwingungsbauches, tendiert also mit zunehmendem Teilungsgrad nach Null.

Abb. 5



Von einer Position aus betrachtet, von der aus der *Sononeneffekt* unmittelbar als longitudinale Welle empfangen wird (d.h. senkrecht zur Platte), folgen *Sononen* und *Antisononen* mit nach Null tendierender Flächenwirkung im frequenzmäßigen Wechsel **zeitlich** aufeinander.

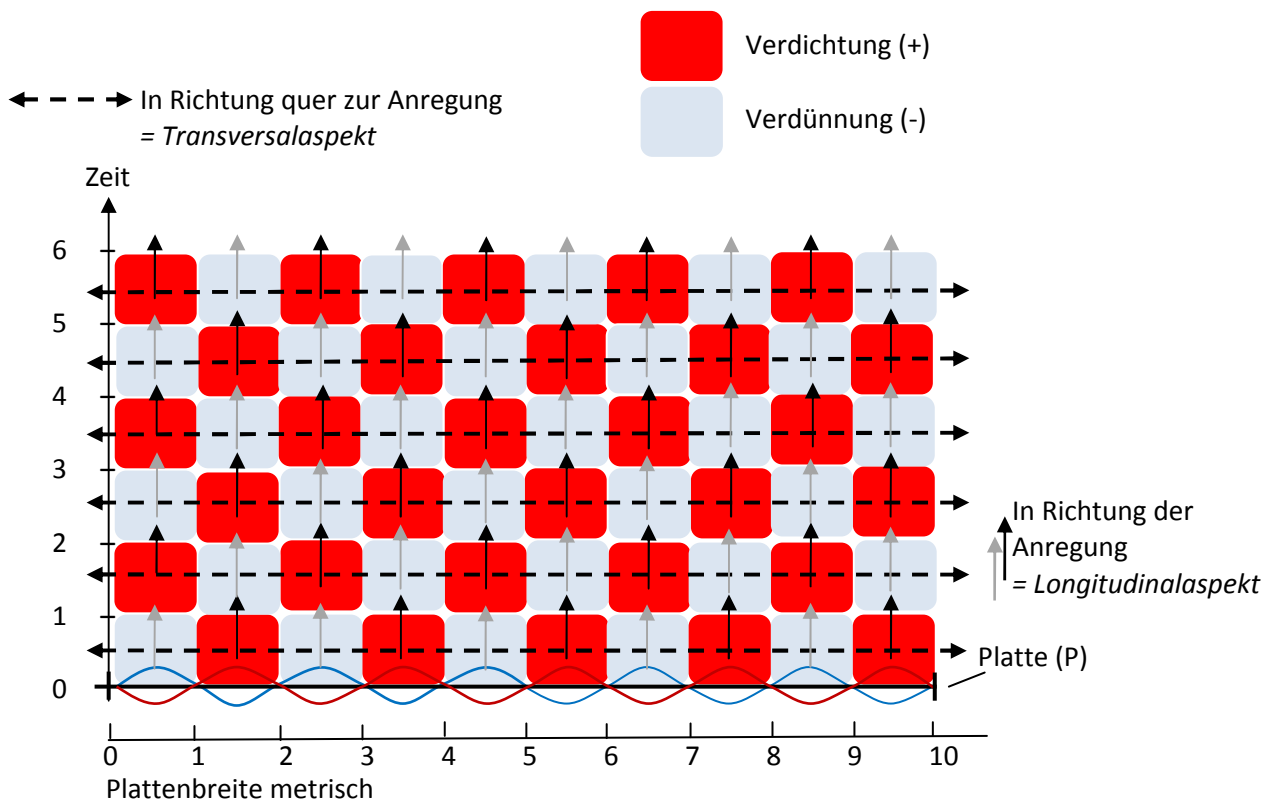
Von einer Betrachtungsposition quer zur Wellenausbreitung aus tritt der gleiche Zustandswechsel demgegenüber als **räumliche** Verdichtungs-/Verdünnungsstruktur gleichzeitig in Erscheinung.

Der *Sononeneffekt* ermöglicht in diesem Sinne eine doppelte Betrachtungsposition.

Zum einen ist eine *Sononenwelle* direkt empfangbar als „*Sononenstrom*“, d.h. als **zeitliche** frequenzmäßige Abfolge von verdichteten (+) und verdünnten (-) diskreten, das meint: engbegrenzten Raumzuständen im Sinne einer longitudinalen Korpuskelwelle, und zum anderen indirekt als eine **räumlich** frequenzmäßige Abfolge im Sinne eines transversalen *Wellenfeldes*.

Beide Betrachtungspositionen sind analog zu den Zusammenhängen in der Atomphysik (vgl. *Unschärferelationen der Quantenmechanik*) naturgemäß nicht unmittelbar gleichzeitig einnehmbar und somit auch nicht unmittelbar gleichzeitig wahrnehmbar bzw. messbar.

Abb. 6



Ich interpretiere an dieser Stelle den *transversalen Wellenaspekt* des Resonanzschalles als analogische Entsprechung zum Feldeffekt und den *longitudinalen Wellenaspekt* als analogische Entsprechung zum Korpuskeleffekt (Photonen) bei den Lichtwellen. Eine herkömmliche longitudinale Schallfrequenz, die in Form von Kugelwellen auf eine hartelastische Wand auftrifft, wird mithin - wie gezeigt - im Falle der Wandresonanz nahezu vollständig in eine frequenzgleiche aber gegensätzlich andere Form des Schalles transformiert.

Wenn ich diese Form des Schalles hier als eine akustische Entsprechung zu den longitudinalen Lichtwellen verstehe, dann lässt dies im Umkehrschluss vermuten, dass insbesondere hochfrequente elektromagnetische Wellenphänomene letztendlich generell als Resonanzabstrahlungen schwingender Flächen zu verstehen sind.

Die beiden Aspekte beim „*Sononenschall*“, d. h. der transversale und der longitudinale Wellenaspekt, verhalten sich, wie es scheint, im Prinzip zueinander wie Wellen- und Teilchenaspekt beim Dualismus des Lichtes.

Weiterhin erkenne ich hier eine Analogie zum Quantenphänomen der Elementarteilchenphysik:

Die ursprünglich kugelförmige Welle eines Ausgangsschalles wird durch die Plattenresonanz „gebrochen“ und in Scharen bzw. Quantitäten von \rightarrow „eindimensionale“ verdichtete und verdünnte, in diesem Sinne also abwechselnd sozusagen jeweils *positiv* und *negativ* geladene, longitudinal wirkende „*Korpuskelwellenpaare*“ transformiert, die ich hier *Sononen/Antisononen* genannt habe.

Sononen/Antisononen weisen in diesem Sinne mit zunehmender Frequenz einen zunehmend ausgeprägteren „*Quantcharakter*“ (bzw. eine „*Quanteigenschaft*“) auf.

Das meint: *Sononen/Antisononen* entfalten ihre tatsächliche Wirkung mit zunehmendem Teilungsgrad nicht als Einzelgröße, d.h. nicht über die messbare individuelle Amplitude, sondern über die **Anzahl** ihres identitätsgleichen Erscheinens.

Sononen/Antisononen des Obertonbereiches wären in der Akustik somit zunehmend weniger als Individualgrößen, um so mehr aber als „*Quanten*“ zu behandeln.

Hieraus wäre zu folgern, dass Schallabläufe im Obertonbereich mit zunehmendem Teilungsgrad de facto den Gesetzen der Quantenmechanik unterliegen.

Die „Mitglieder“ bzw. die Teile eines bestimmten „*Sononen/Antisononenquants*“ verfügen jeweils über die exakt gleiche Frequenz.

Die Existenz von *Sononen* wurde hier mathematisch-theoretisch hergeleitet. Es wird dementsprechend erwartet und vorhergesagt, dass *Sononen* mit Hilfe von Messmethoden, wie sie analog z.B. im Zusammenhang der Photonen usw. praktiziert werden, experimentell nachgewiesen werden können.

Im Flüssigkeitsmedium ist der *Sononen*effekt bereits aus der Praxis bekannt:

Regt man einen mit Flüssigkeit gefüllten schwingfähigen Behälter (z.B. eine Klangschaale) zu Eigenschwingungen an, so bilden sich bei hinreichender Anregungsenergie Scharen gleichmäßig verteilter kleiner gleichartiger Flüssigkeitsfontänen, die von der Oberfläche der Flüssigkeit hochspritzen. Die Ursache für dieses Phänomen sind – so vermute ich - *Sononen*, die – verstärkt und gebündelt durch die „Hohlraumresonanz“ der Flüssigkeitssäule – primär von den *Stehenden Wellen* der schwingenden Bodenfläche des Behälters abgestrahlt werden.

Jeder spezifische Bestandteil des Obertonspektrums eines zu Resonanz- oder Eigenschwingungen angeregten flächenartigen Körpers, das meint: jeder der sich überlagernden Obertöne des Resonanz- bzw. Eigenschwingspektrums, welches z.B. von einer schwingenden Platte abgestrahlt wird, stellt in diesem Zusammenhang ein spezifisches „*Sononen/Antisononenquant*“ dar.

Die bekannte Tatsache, dass sich das Eigenschwingen von flächenartigen und langgestreckten Körpern aus einer Überlagerungsstruktur *stehender* Biegewellen zusammensetzt, zeigt, dass *Sononen* dann in entscheidendem Maße an der Schallentwicklung beteiligt sind, wenn es zu Resonanzerscheinungen solcher Körper kommt.

Mit zunehmendem Teilungsgrad gelangen *Sononen* dabei überwiegend nur noch in „*Quantform*“ zur Wirkung. Oberschwingungen eines Klanges weisen demgemäß eine „*sononisch*“ ausgeprägte Richtcharakteristik auf, die vom Ohr auch als solche detailliert wahrgenommen wird.

Dem Obertonbereich eines Klanges kommt somit - betrachtet man ihn vor dem Hintergrund des *Sononenaspektes* – eine über die reinen individuellen Lautstärkenwerte (Amplituden) weit hinaus reichende Bedeutung für die auditive Wahrnehmung zu.

Wegen seiner *Quantenform* wäre er – wie gesagt – realistisch nur quantenmechanisch zu bemessen und zu erfassen.