

DIE DISKREPANZ ZWISCHEN RESONANZ- UND NATURTONFREQUENZEN
BEI BLECHBLASINSTRUMENTEN

Klaus Wogram

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Braunschweig

1. Einleitung

Akustische Untersuchungen über die Qualitätsmerkmale von Blechblasinstrumenten wie Stimmung, Klang und Ansprache werden üblicherweise derart vorgenommen, daß ein oder mehrere Musiker ein Versuchsinstrument anblasen, und die gewünschte Information aus dem abgestrahlten Schallsignal gewonnen wird. Dieses Verfahren birgt den Nachteil in sich, keine exakt reproduzierbaren Ergebnisse zu liefern, da die spielerischen Eigenschaften des Bläusers durch menschliche Unzulänglichkeiten und Umwelteinflüsse Schwankungen unterworfen sind. Zur Erlangung objektiver Meßergebnisse ist es deshalb erforderlich, die Instrumente künstlich anzublasen und die Schallquelle mit all' den Merkmalen zu versehen, die sich aus der Kenntnis der Wechselwirkungen zwischen Musiker und Instrument als erforderlich zeigen /1/.

2. Klangerzeugung

Ähnlich der Stimmritze beim Sprachvorgang stellen die Lippen des Musikers das schwingungsfähige System dar, das eine Modulation der zwischen den Lippen austretenden Luftströmung bewirkt.

Fig.1 zeigt das Ersatzmodell der Bläserlippen sowie der gesamten Einheit Bläser mit Instrument, wobei die durch den Druck in der Mundhöhle verursachte Kraft K_M auf die Innenflächen der Lippen und damit entgegen der Lippen- oder Muskelkraft K_L wirkt. Da die Masse der Lippen sich während des Spielens in einem Frequenzbereich von ca. vier Oktaven nicht verändern kann, ist der Bläser gezwungen, die

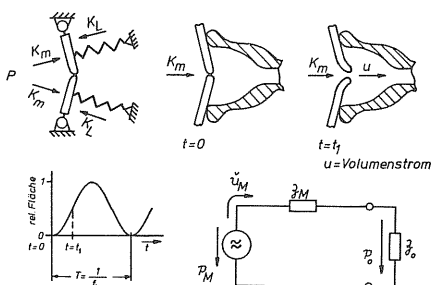


Fig.1 Ersatzmodell für die Klangerzeugung

verursachte Kraft K_M auf die Innenflächen der Lippen und damit entgegen der Lippen- oder Muskelkraft K_L wirkt. Da die Masse der Lippen sich während des Spielens in einem Frequenzbereich von ca. vier Oktaven nicht verändern kann, ist der Bläser gezwungen, die

Resonanzfrequenz seiner Lippen durch Variation der Lippenspannung einzustellen. Beim normalen Anblasvorgang schwingen die Lippen nahezu sinusförmig, d.h. auch die Fläche zwischen Ober- und Unterlippe folgt dem zeitlichen Verlauf einer Sinusfunktion /2/. Dadurch erfährt der durch den Spalt austretende Luftstrom eine sinusförmige Modulation, und der Musiker kann im elektrischen Ersatzschaltbild als Schallquelle mit sehr hohem Innenwiderstand \mathcal{J}_M dargestellt werden. An den Bläser ist das Instrument angekoppelt, das durch seine Eingangsimpedanz \mathcal{J}_0 ersetzt ist.

Das gesamte System, bestehend aus Schallquelle und Verbraucher, weist lt. Definition bei den Frequenzen Resonanzen auf, bei denen ein maximaler Energietransport möglich ist, d.h. bei denen die Impedanz der Quelle konjugiert komplex zur Impedanz des Verbrauchers ist. Wegen des hohen Innenwiderstandes der strömungsgesteuerten Quelle wird die Luftsäule im Instrument immer dann am leichtesten zu Schwingungen angeregt werden können, wenn die Eingangsimpedanz des Instrumentes Maximalwerte erreicht. Die Abschlußimpedanzen eines Blechblasinstrumentes sind in erster Näherung auf der Mundstücksseite als schallhart und auf der Trichterseite als schallweich zu bezeichnen.

3. Resonanzfrequenz und Naturtonfrequenz

Der Betrag der Eingangsimpedanz einer B-Tenorposaune ist in Fig.2 in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Auf den Phasenwinkel der Impedanz, der gleichfalls mitgemessen wurde ist hier verzichtet worden, da sich der Verlauf nicht wesentlich von dem eines zylindrischen Rohres unterscheidet. Grundsätzlich ist nur zu bemerken, daß beim Betragsmaximum gleich-

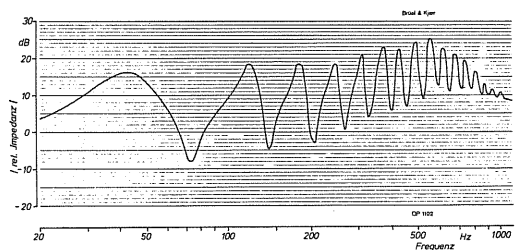


Fig.2 Gemessener Verlauf der Eingangsimpedanz einer Posaune

zeitig ein Phasen-Nulldurchgang vorliegt. Diese Frequenz wird im folgenden als Resonanzfrequenz des kompletten Instrumentes mit Mundstück bezeichnet, wohingegen unter Naturtonfrequenz die

Frequenz zu verstehen ist, die ein Musiker auf dem Instrument erzeugt.

Die beiden tiefsten Resonanzfrequenzen liegen bei der untersuchten Posaune gemäß Fig.2 bei 41 Hz und 115 Hz. Aus der Impedanzbetrachtung ergibt sich nun die Annahme, daß auch ein Musiker als hochohmige Schallquelle diese Frequenzen für die Klangerzeugung auswählen würde. Das ist jedoch nicht der Fall, und die geblasenen Naturtonfrequenzen können mit 59Hz und 118Hz gemessen werden. Der Grund für diese Diskrepanz liegt in dem Prinzip der Anregung durch die schwingenden Bläserlippen, die eine zeitliche Änderung der Quellenimpedanz bewirken. \mathfrak{J}_M in Fig.1 ist somit eine Funktion der Zeit und schwankt sinusförmig zwischen zwei Extremwerten. Dadurch erfährt das Anregungssignal eine Modulation mit seiner eigenen Zeitfunktion, und das als Sinus angenommene Schallsignal wird stark verzerrt. Der Modulationsgrad und damit der Obertongehalt werden durch den Schwingweg der Lippen bestimmt, sodaß die Verzerrung mit fallender Grundtonfrequenz anwächst. Die in

Fig.3 gezeigten Schalldrucksignale im Mund und Mundstück bestätigen diese Abhängigkeit, die von grundsätzlicher Bedeutung für den Blechblasinstrumentenklang ist /3/. Bei der Resonanzbetrachtung muß man demzufolge die gesamte vom Bläser abgegebene Schallleistung berücksichtigen, die sich auch auf die Obertöne verteilt. Versucht der Musiker, auf dem betrachteten Instrument

einen Klang mit der Grundtonfrequenz von 41Hz anzublase, so fallen der erste und vierte Oberton in Bereiche sehr niedriger Eingangsimpedanz, was durch die Kurzschlußwirkung eine hohe Dämpfung zur Folge hätte; der Wirkungsgrad ist bei dieser Frequenz also sehr niedrig. Wird dagegen eine Frequenz von 59Hz angeregt, so wird zwar der Grundton des Klanges etwas bedämpft, sämtliche Obertöne liegen jedoch in Bereichen hoher Impedanz

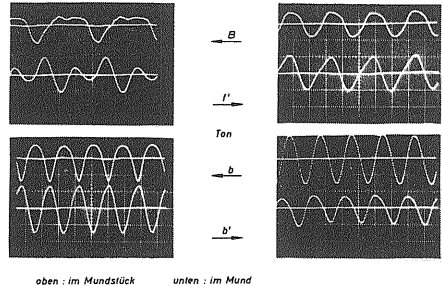


Fig.3 Schalldrucksignale beim Anblasen einer Posaune

und sind gut angepaßt.

Rechnerisch lassen sich die Naturtonfrequenzen ermitteln, indem man die Summe aller Realteile der Eingangsimpedanzen bildet, die bei den Harmonischen eines stark verzerrten Signales wirksam sind. Trägt man diese Summe über der Grundtonfrequenz auf, so erhält man die Summenfunktion von Fig.4, die deutliche, hohe Spitzen bei den Naturtonfrequenzen aufweist, Zwischen

den Hauptmaxima erkennt man eine Reihe von Nebenmaxima, die als Spiegelungen der höheren Resonanzfrequenzen erscheinen und von einem guten Bläser erregt werden können.

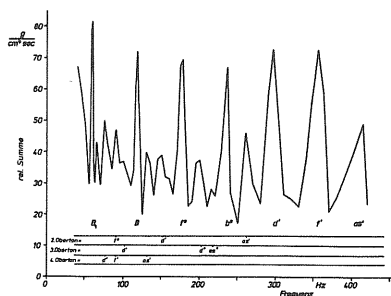


Fig.4 Summenfunktion der Posaune lt. Fig.2

Neben der Lage der Naturtonfrequenzen gibt diese Summenkurve zudem Auskunft über die Ansprache des Instrumentes, d.h. die Leichtigkeit, mit der ein Klang erzeugt werden kann. Je genauer die Resonanzfrequenzen des kompletten Instrumentes einer harmonischen Reihe entsprechen, umso größer wird der Amplitudenabstand zwischen Haupt- und Nebenmaxima und umso höher wird die "Resonanzgüte" /4/.

4. Zusammenfassung

Die nichtlineare Funktionsweise der Klangerzeugung bei Blechblasinstrumenten macht eine Energiebetrachtung notwendig, bei der auch die Obertöne im anregenden Schallsignal berücksichtigt werden. Durch Bildung einer frequenzabhängigen Impedanzsumme können sowohl die Naturtonfrequenzen als auch die Ansprache eines Blechblasinstrumentes bestimmt werden.

5. Literatur

- /1/ Wogram, K.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten. Dissertation 1972, TU-Braunschweig
- /2/ Martin, D.W.: A Physical Investigation of the Performance of Brass Musical Wind Instruments. Dissert.1941, Univ. Illinois
- /3/ Backus, J. u. Hundley, T.C.: Harmonic Generation in the Trumpet JASA 49(2), 1971, 509
- /4/ Wogram, K.: Die Beeinflussung von Klang und Ansprache durch das "Summenprinzip" bei Blechblasinstrumenten
11. IMS-Kongreß, Kopenhagen 1972