

11. IMS-Kongreß Kopenhagen 1972

Die Beeinflußung von Klang und Ansprache durch das "Summenprinzip" bei Blechblasinstrumenten

Klaus Wogram, Braunschweig

1. EINLEITUNG

Die Qualität von Blechblasinstrumenten wie Trompeten, Posaunen, Tuben und dergleichen wird neben der handwerklichen Verarbeitung vorwiegend durch Stimmung, Klang und Ansprache beeinflusst. Benötigt der Zuhörer für seine Urteilsbildung meist nur die klangliche Wirkung eines Instrumentes, so ist der Spieler den zusätzlichen Qualitätsparametern Stimmung und Ansprache unmittelbar unterworfen. Daraus ergibt sich die scheinbare Forderung, nicht das Blechblasinstrument allein, sondern die Verbindung Musiker mit Instrument als Einheit zu betrachten und zu beurteilen. Eine derartige Betrachtungsweise, bei der die unterschiedlichen, sich ändernden spielerischen Eigenschaften des Musikers berücksichtigt werden müßten, ist jedoch vom physikalischen Standpunkt nicht sinnvoll, zumal objektive Unterschiede zwischen Instrumenten verschiedener Epochen durch den subjektiven Einfluß verwischt werden können. Günstiger ist hingegen der Versuch, die Wechselwirkungen zwischen Musiker und Instrument zu studieren und damit zum Verständnis des klanglichen Resultates zu gelangen.

2. KLANGERZEUGUNG

Wie so oft in den Naturwissenschaften ist es auch hier von Vorteil, den Spieler eines Blechblasinstrumentes grob vereinfacht als Schallquelle aufzufassen, die die angeschlossene Luftsäule im Instrument zu Schwingungen anregt /1/. Dabei öffnen sich die Lippen immer dann, wenn die durch den Luftdruck im Mund auf die Innenflächen der Lippen

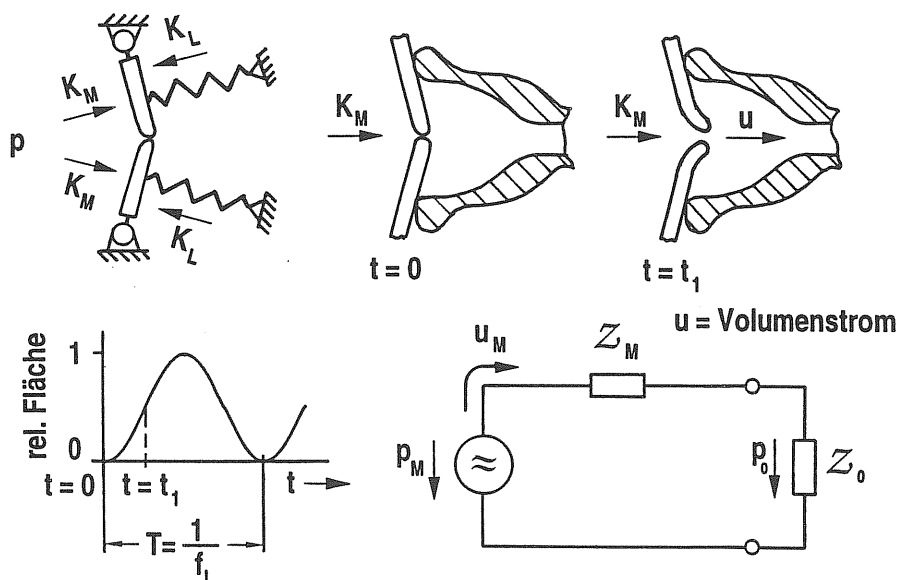


Fig.1 Ersatzmodell für die Klangerzeugung

wirkende Kraft K_M in Fig. 1 den Wert der Schließkraft K_L der Lippen übersteigt. Der Druck in der Mundhöhle bricht zusammen, und die Lippen schließen wieder, was sich periodisch wiederholt. Der durch den Spalt zwischen Ober- und Unterlippe austretende Luftstrom wird in seiner Amplitude moduliert und stellt somit die anregende Schallwelle dar. Wie umfangreiche Untersuchungen /2/ ergeben haben ändert sich die Spaltfläche zwischen den Lippen weitestgehend sinusförmig mit der Zeit, so daß der Musiker im elektrischen Ersatzschaltbild als Sinusgenerator angenommen werden kann, der auf Grund seines Druckes p_M einen Volumenstrom u_M über seinen sehr hohen Innenwiderstand Z_M in das angekoppelte Blechblasinstrument einspeisen kann.

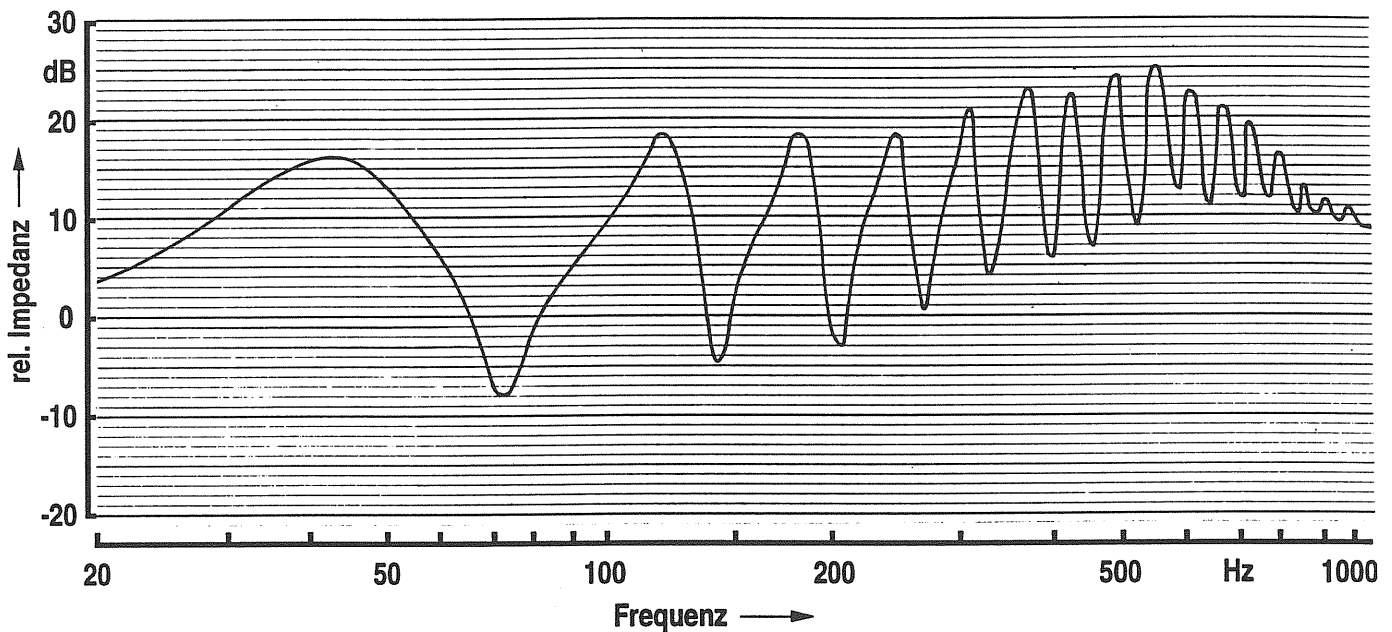


Fig.2 Gemessener Verlauf der Eingangsimpedanz einer Posaune

Das Instrument ist reduziert auf seine Eingangsimpedanz Z_0 , die die Schallenergie vom Bläser aufnimmt. In Fig. 2 ist der typische Verlauf des Betrages der Eingangsimpedanz einer Tenorposaune in Abhängigkeit von der Frequenz dargestellt. Die hier interessierenden Resonanzfrequenzen sind gekennzeichnet durch Kurvenmaxima, bei denen eine hochohmige Schallquelle, wie sie der Musiker darstellt, am besten an das Instrument angepaßt ist. Der tiefste von einem Musiker erreichbare Ton entspräche danach der Resonanzfrequenz von ca. 41 Hz (Es_1), einem Ton, der jedoch auf dem betrachteten B-Instrument ohne Verlängerung des Zuges in der Praxis kaum angeblasen werden kann.

Der Grund dafür ist die zeitliche Änderung der Lippenspaltfläche und damit der Bläserimpedanz Z_M die eine Amplitudenmodulation des Generatorsignales mit sich selbst verursacht /3/. Dadurch wird das Schalldrucksignal p_0 im Mundstück verzerrt, und die vom Bläser abgegebene Energie verteilt sich auf die Harmonischen des Spektrums. In Fig.3 sind eine Reihe von Schalldrucksignalen dargestellt, die beim Anblasen einer Tenorposaune bei verschiedenen Naturtönen im Mund sowie im Mundstück aufgenommen worden sind. Dabei ist festzustellen, daß der Obertongehalt mit steigender Frequenz abnimmt, was durch Verringerung des Schwingweges der Lippen, und damit Abnahme des Modulationsgrades verursacht wird.

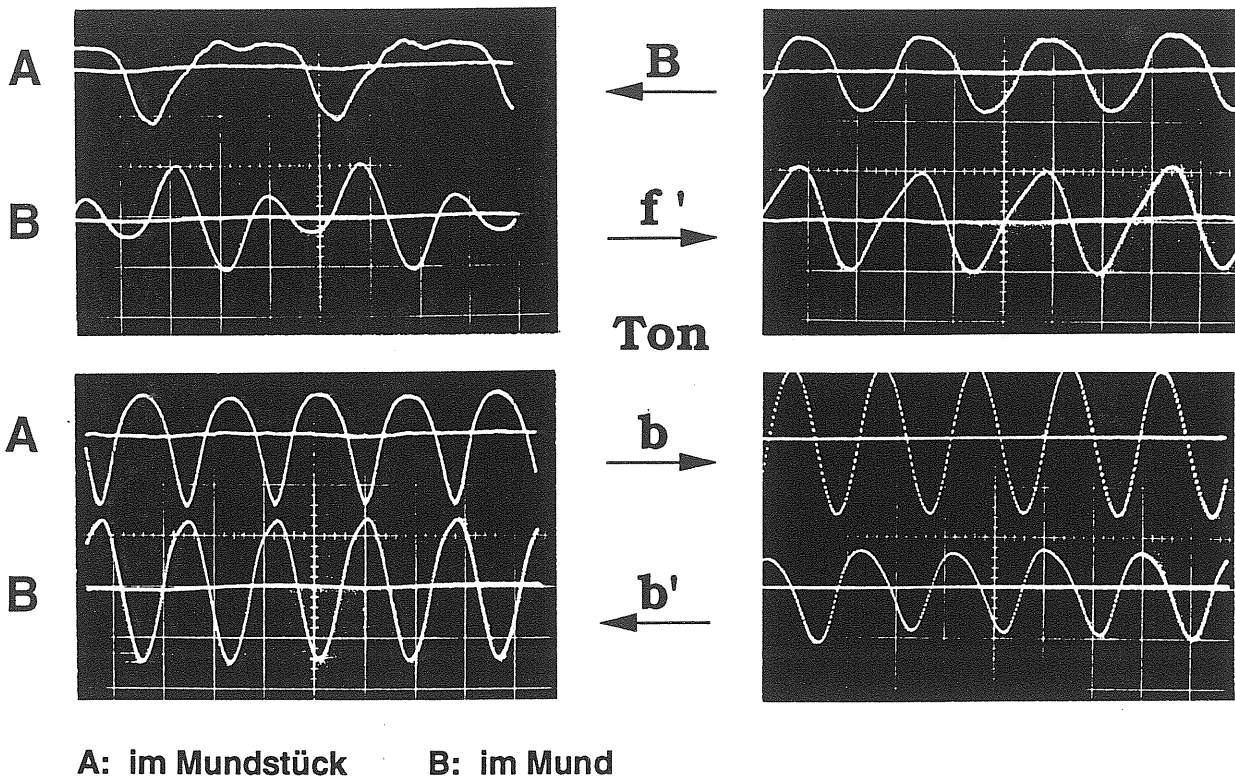


Fig. 3 Schalldrucksignale beim Anblasen einer Posaune

3. Das " SUMMENPRINZIP "

Die Wechselwirkungen zwischen Musiker und Instrument dürfen nach den Betrachtungen am vereinfachten Ersatzmodell nach Fig. 1 nicht nur bei den Grundtonfrequenzen der erzeugten Klänge untersucht werden, sondern es ist notwendig, auch den Verbleib der in den Harmonischen enthaltenen Energie zu berücksichtigen. Der Bläser als Schallquelle ist also nicht dann am besten an das Instrument angepaßt, wenn der Grundton des erzeugten Klanges mit einer Resonanzfrequenz des Instrumentes übereinstimmt, sondern dann, wenn möglichst viele Teiltöne in Bereiche hoher Eingangsimpedanz fallen, oder sogar den Resonanzfrequenzen entsprechen. Bei der hier betrachteten Posaune ergibt sich somit ein ungünstiger Energietransport bei der Resonanzfrequenz von 41 Hz, da der erste (82 Hz), dritte (164 Hz) und vierte (205 Hz) Oberton des Klanges in Gebiete niedriger Eingangsimpedanz fallen. Für den Naturton B mit der Frequenz von 59 Hz ergibt sich hingegen eine günstige Anpassung, denn mit Ausnahme des Grundtones liegen alle Obertöne in Bereichen hoher Eingangsimpedanz.

Bildet man die Summe aus allen Impedanzrealteilen, die den Teiltonfrequenzen eines Klanges zuzuordnen sind, und trägt sie über der Grundtonfrequenz auf, so erhält man die Summenfunktion, die in Fig. 4 für die Posaune gemäß Fig. 2 dargestellt ist. Bei den Naturtönen B_1 , B, f etc. erhält man hohe Spitzen, die sich aus dem Nebefeld weit herausheben. Zwischen diesen Hauptmaxima erkennt man eine Reihe von Nebenmaxima, die sich dadurch ergeben, daß fast ausschließlich die Impedanzkomponenten der Obertöne die Summe bilden. Man findet diese Spitzen deshalb stets bei Frequenzen, deren Vielfache den Resonanzfrequenzen entsprechen.

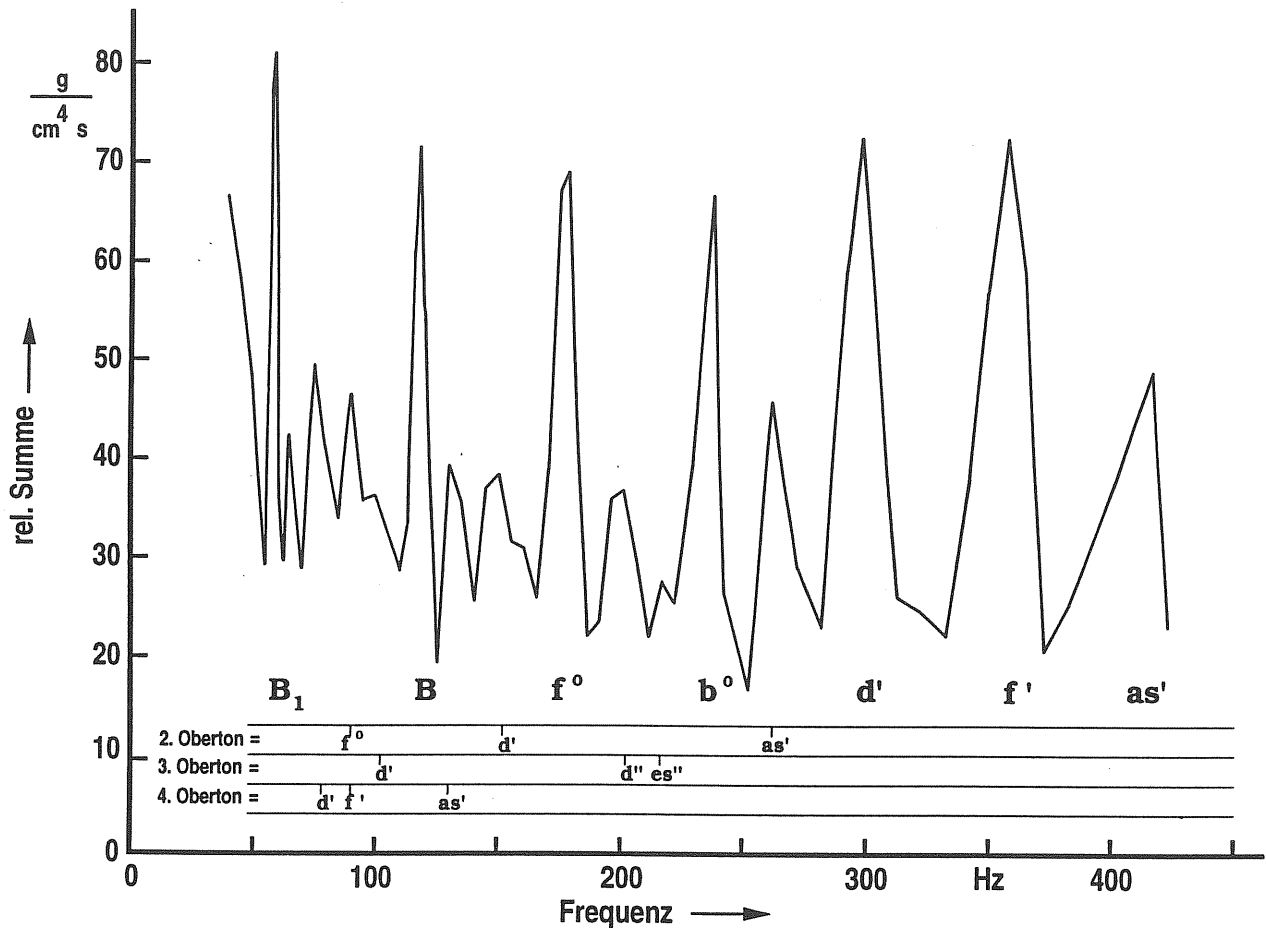


Fig. 4 Summenfunktion der Posaune aus Fig. 2

Der Spieler eines Blechblasinstrumentes sucht durch Veränderung der Lippenspannung diejenigen Spitzen aus der Summenfunktion heraus, deren Amplituden aus dem Feld der Nebenmaxima stark herausragen. Je größer der Amplitudenunterschied zwischen Haupt- und Nebenmaxima ist, umso leichter ist die Wahl der Naturtonfrequenz und damit die Ansprache des Instrumentes. Daraus ergibt sich die Folgerung, daß ein Blechblasinstrument mit ausgeglichenem Stimmungsverlauf auch eine leicht Ansprache aufweisen muß! Dieser Zusammenhang ist durch eine Reihe umfangreicher Untersuchungen von objektiver Stimmung und subjektivem Ansprachsempfinden bei Berufsmusikern bestätigt worden.

Dabei konnte festgestellt werden, daß der Musiker bei einem Instrument schlechter Stimmung bestrebt ist, in einer hohen Dynamikstufe zu blasen und piano-Klänge zu vermeiden. Im forte ist die Schallenergie nämlich hauptsächlich auf die Obertöne des Klanges verteilt, sodaß der Einfluß der Grundtonresonanz in seiner ungünstigen Lage an Bedeutung verliert. Zur Erhöhung der Treffsicherheit eines Naturtones im piano ist der Spieler eines Instrumentes mit schlechter Ansprache gezwungen, zuerst ein forte anzustoßen und anschließend auf die gewünschte Dynamikstufe abzusinken.

Neben der Ansprache wird auch der Klang eines Blechblasinstrumentes durch den Verlauf seiner Summenfunktion beeinflusst. Die Lage der Resonanzen der Eingangsimpedanz bestimmt die Energieverteilung im Spektrum des abgestrahlten Schalles, wie es in ähnlicher Form bei Orgelpfeifen beobachtet wurde. /4, 5/. Im Gegensatz zu den Orgelpfeifen werden die Lippenschwingungen jedoch nicht nur vom Grundton, sondern auch von den Obertönen der schwingenden Luftsäule synchronisiert.

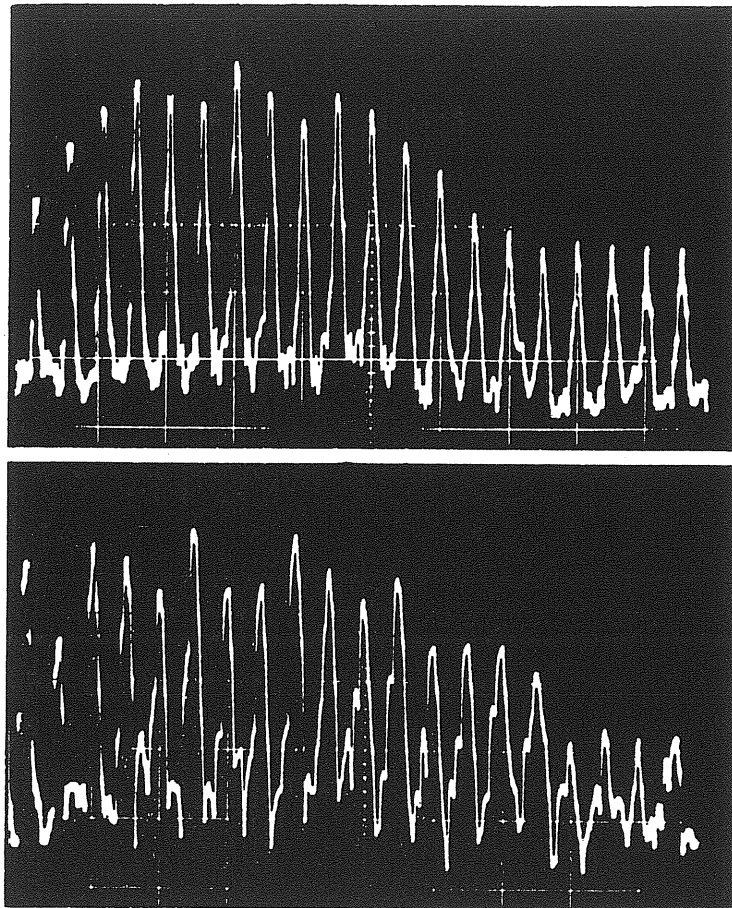


Fig. 5 Klangspektren zweier Posaumentöne

Fig. 5 zeigt Aufnahmen von Schallspektren geblasener Klänge zweier Posaunen mit sehr unterschiedlichen Verlauf der Summenfunktionen. Der Amplitudenmaßstab beträgt ca. 8 dB / Teilung, und die relative Frequenz ist linear aufgetragen, wobei der Grundton links beim ersten erkennbaren Teilstrich liegt, und sich jeweils zwei Obertöne pro Teilung nach rechts laufend ergeben. Die Grundtonfrequenz beträgt ungefähr 50 Hz. Das obere Spektrum ist dem Klang einer normalen Tenorposaune mit leichter Ansprache zuzuordnen, während sich das untere Klangspektrum beim Anblasen eine stark verstimzte Posaune ergab. Im Gegensatz zur Summenfunktion der normalen Posaune, deren Verlauf dem der Fig. 4 entspricht, weist die Kurve für das stark verstimzte Instrument keine diskreten Spitzen auf, sondern eine Vielzahl von kleinen Maxima, die sehr dicht beieinander liegen und nicht in einem harmonischen Zusammenhang stehen. Dementsprechend ist auch das obere dargestellte Spektrum als ausgeglichen zu beurteilen, wohingegen das unten abgebildete Spektrum starke Schwankungen in den Teiltonamplituden aufweist.

Durch den stetigen Verlauf der Hüllkurve mit den starken Obertonamplituden am rechten Bildrand ergibt sich für das obere Spektrum eine Klangfarbe, die als voll und strahlend charakterisiert werden kann. Im Vergleich dazu besitzt das untere Klangspektrum eine stärkere Grundtonamplitude und einen geringen Obertongehalt, was durch den welligen Verlauf der Hüllkurve zu einer rauhen und dumpfen Klangfarbe führt. Bei diesem Klang hat auch der Zuhörer sofort den Eindruck, daß es sich um ein Instrument minderer Qualität handeln muß.

4. ZUSAMMENFASSUNG

Durch das Prinzip der Schwingungserregung bedingt, werden die Naturtonfrequenzen nicht nur von der Grundresonanz bestimmt, sondern von der Energieverteilung im gesamten breitbandigen Spektrum. Unter Berücksichtigung der Anpassung zwischen Spieler und Instrument bei den Obertönen der Klänge kann eine Impedanz-Summenfunktion für jedes beliebige Blechblasinstrument ermittelt werden, die neben der Aussage über die Stimmung auch Rückschlüsse über Klangfarbe und Ansprache des Instrumentes zuläßt. Anhand zweier Beispiele werden diese Zusammenhänge diskutiert.

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. Dissertation 1941, University of Illinois.
3. Backus, J. and Hundley, T.C.: Harmonic Generation in the Trumpet, JASA 49 (2), 1971, 509
4. Skudrzyk, E.: Die Grundlagen der Akustik, Springer Verlag, Wien 1954
5. Lottermoser, W.: Klanganalytische Untersuchungen an Zungenpfeifen. Neue deutsche Forschung, Band 105, Berlin 1936