

Akustische Auswahlkriterien bei Blechblasinstrumenten

ZUSAMMENFASSUNG: *Zuhörer beurteilen Blechblasinstrumentenklänge ausschließlich nach ästhetischen Gesichtspunkten; dagegen rücken beim Bläser Ansatz und spieltechnische Parameter in den Vordergrund. Neben der Intonation und den oftmals damit verbundenen Ansatzumstellungen spielt die Resonanzdämpfung sowie das Reflexionsverhalten des vorderen Schallstückes eine entscheidende Rolle. Es werden Meßmethoden und -ergebnisse für verschiedene Blechblasinstrumente diskutiert.*

1. Einleitung

Jeder Musiziervorgang auf beliebigen Musikinstrumenten ist durch eine mehrfache Energieumwandlung gekennzeichnet, um einen hörbaren, in musikalischem Kontext stehenden Klang zu erzeugen. Wie in Abb. 1 erkennbar, können beim Instrumentalspiel Funktionsblöcke unterschieden werden, denen eine einzelne, stark vereinfachte Aufgabe zugeteilt wird. Irgend eine Energiequelle wird an und abgeschaltet und dient als Initiator für einen Oszillator, der erst einmal die Voraussetzung für einen Klang liefert. Seine Schwingungen werden nach Maßgabe eines Filterblockes gewandelt und dem Strahler zugeführt, der letztendlich für die Umwandlung in den hörbaren Klang sorgt.

Wenden wir dieses einfache Schema auf die konventionellen Musikinstrumente an, so sind bis auf den Gesang die Blöcke "Filter" und "Strahler" immer durch das Instrument geprägt. Der Einfluß des Spielers hängt dagegen von der Familie ab, dem das Instrument zugeordnet werden kann. Während der Musiker bei der Orgel - grob vereinfacht - nur den Schalter für die Energiezufuhr darstellt, übernimmt er bei den Blechblasinstrumenten bereits die Funktionen der Energiequelle, des Schalters und sogar des Oszillators. Blechblasinstrumente sind ja die einzigen Instrumente, bei denen die Tonerzeugung durch die Vibration der Lippen des Spielers vorgenommen wird.

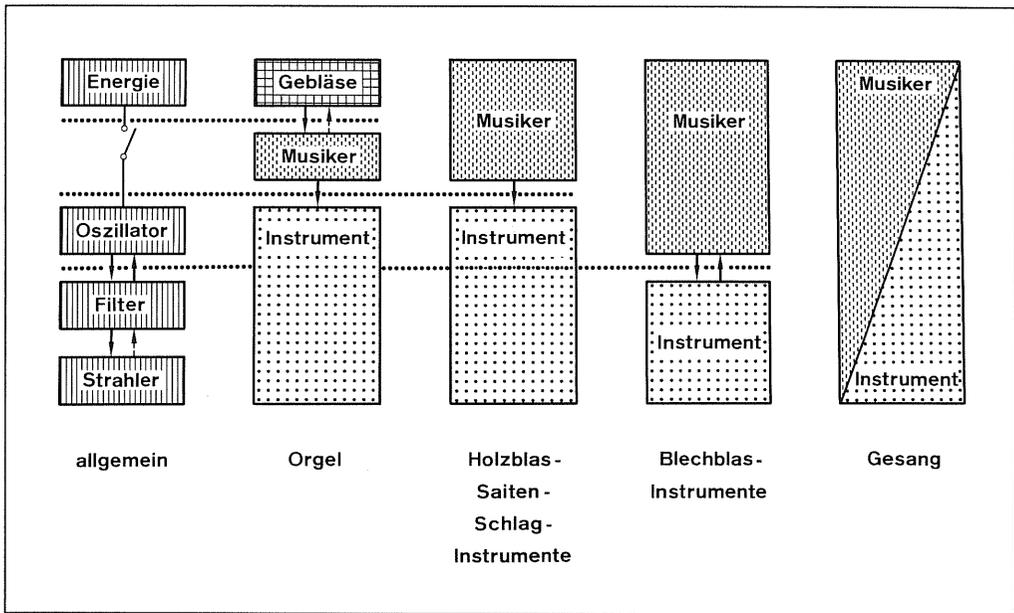


Abb. 1) Funktionsblöcke beim Instrumentalspiel.

Entsprechend dieser Abhängigkeit werden Aussagen über die musikalisch-akustische Qualität von Blechblasinstrumenten in starkem Maße davon bestimmt sein, ob der Spieler selbst oder ein Zuhörer das Urteil abgibt. Darüberhinaus ist auch von Bedeutung, wer das Instrument spielt, denn damit liegt die Eingangsinformation eines Systems fest, dessen Ausgangsinformation bewertet wird. Da aber der Spieler immer auch der Käufer des Instrumentes ist, muß sich der Hersteller in starkem Maße an dessen Aussagen orientieren.

2. Musikalisch-Akustische Grundgrößen

Läßt man die ästhetischen und mechanischen Eigenschaften eines Blechblasinstrumentes, die auf die Handhabung und die musikalische Interpretation einen großen Einfluß haben, einmal außer Betracht, dann sind als wichtigste, musikalisch-akustische Grundgrößen der Klang, die Intonation und die Ansprache zu nennen. Diese drei Parameter bilden, bei unterschiedlicher individueller Gewichtung, die Bewertung für die Qualität eines Instrumentes.

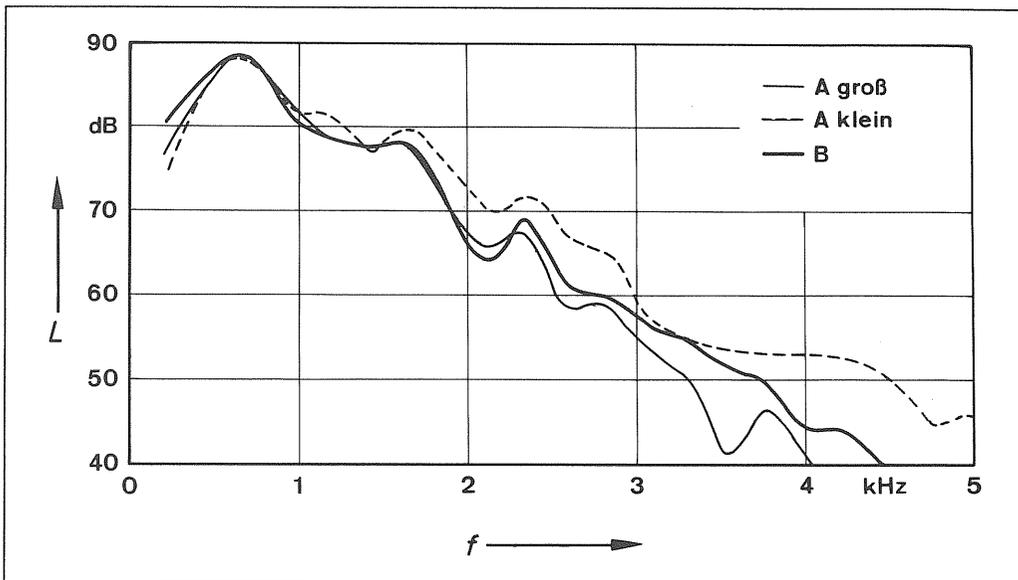


Abb. 2) Hüllkurven von Posaunenklängen vor dem Schallstück im reflexionsarmen Raum.

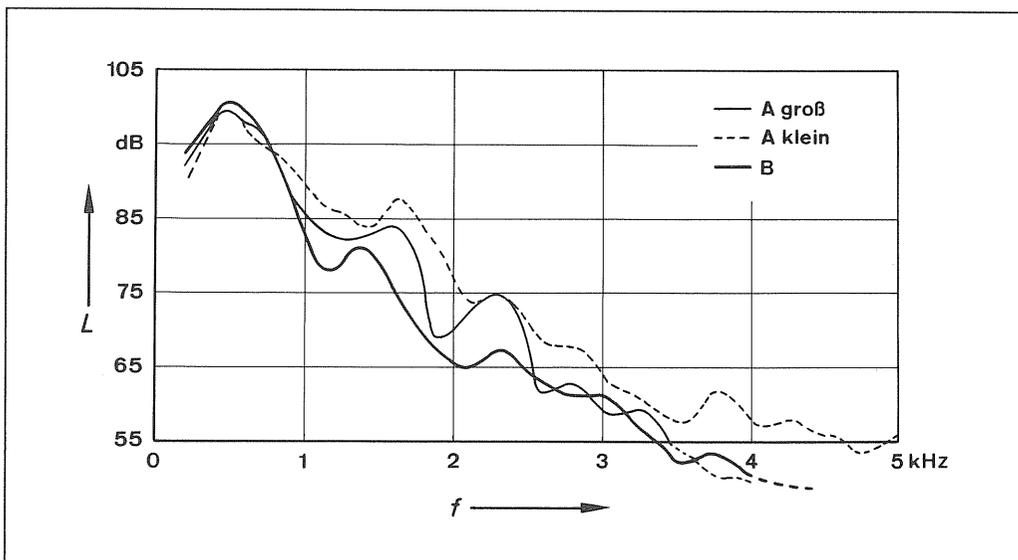


Abb. 3) Hüllkurven von Posaunenklängen am linken Ohr des Bläusers im reflexionsarmen Raum.

a. Klang

Der Klang eines Instrumentes setzt sich im wesentlichen aus seinem stationären Teil sowie seinem Einschwingvorgang zusammen. Eine Trennung dieser beiden Zeitbereiche wird von den beurteilenden Personen selten vorgenommen; vielmehr faßt sie ein Zuhörer zu einer einzigen Klangbewertung zusammen, während der Spieler dazu neigt, den stationären Teil als Klang und den Einschwingvorgang als Teil der Ansprache zu werten. Deshalb wird in diesem Abschnitt nur der stationäre Teil des Klanges diskutiert. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die Beurteilung einer Klangfarbe stets dem individuellen Geschmack unterworfen ist. Da dieser wiederum von Umwelteinflüssen und Modetrends beeinflußt wird, kann kein allgemeingültiges und reproduzierbares Qualitätsmaß für den Klang gefunden werden. Alle Aussagen in dieser Richtung können nur vergleichenden Charakter besitzen und sollten nicht als bewertende, sondern nur beschreibende Größe angesehen werden.

Natürliche Klänge setzen sich aus einer Summe von Teiltönen zusammen, die anhand einer spektralen Darstellung am leichtesten diskutiert werden können. Bildet man die Hüllkurven über dem Fourier-Spektrum, so erhält man Mittelwerte, die über die Schwerpunktlage bestimmter Frequenzgebiete Auskunft geben. Für drei Posaunen unterschiedlicher Bauart ist das in Abb. 2 wiedergegeben, es handelt sich um Hüllkurven von geblasenen Klängen, die im reflexionsarmen Raum der PTB vor dem Schallstück aufgenommen wurden [3]. Das Instrument A ist eine engmensurische Tenorposaune in zwei Exemplaren mit einem großen (23 cm) bzw. einem kleinen (18 cm) Stürzendurchmesser. Die Mensuren beider Instrumente sind identisch. Das Instrument B ist dagegen eine Quartposaune weiter Mensur mit einem 22 cm-Schallstück. Vergleicht man zunächst die Hüllkurven für das Instrument A, so zeigt sich ein Anstieg der Komponenten im oberen Frequenzgebiet bei der kleineren Stürze, der mit einem Abfall im Grundtonbereich verbunden ist. Die Vergrößerung der Stürze führt demnach zu einer volleren und weicheren Klangfarbe. Wird unter Beibehaltung des Stürzendurchmessers die Mensur erweitert, so ergeben sich die für das Instrument B gezeigten Ergebnisse; hier ist der Grundtonbereich nochmals angehoben, ebenso derjenige oberhalb 2,5 kHz. Im Bereich 500 Hz bis 2500 Hz entsprechen sich die Hüllkurven der Instrumente A groß und B sehr gut, deshalb werden diese Instrumente vom Zuhörer einer einheitlichen Klangverwandtschaft zugeordnet.

Ganz anders sieht es aus, wenn man die Klänge am linken Ohr des Spielers aufzeichnet (Abb. 3). Die Unterschiede im Teiltongehalt sind zwischen den verschiedenen Stürzendurchmessern beim Instrument A zwar geblieben, doch fällt die Hüllkurve des Instrumentes B jetzt im Bereich 1000 - 2500 Hz niedriger aus, als für das Instrument A groß. Das bedeutet, daß der Spieler den Klang der Posaune B als sehr viel weicher empfindet im Vergleich zu Posaune A groß, der Zuhörer jedoch nicht. Bei der Auswahl eines Blechblasinstrumentes im Hinblick auf die Klangqualität darf deshalb nicht vergessen werden, daß der Spieler das Urteil abgegeben hat. Seine Aussage muß sich mit der des Zuhörers jedoch nicht unbedingt decken. Leider wird die klangliche Situation am Ort des Zuhörers nur sehr selten bei der Auswahl von Blechblasinstrumenten berücksichtigt.

b. Intonation

Grundsätzlich ist die Intonation bei Blechblasinstrumenten ausschließlich durch die Mensur, d.h. den Verlauf des inneren Durchmessers in Abhängigkeit von der Längenkoordinate bestimmt. Während die Anpassung der inneren Luftsäule an den Außenraum durch die Form des Schallstückes vorgegeben ist, kann die Anpassung des Spielers an das Mundstück jedoch in gewissen Grenzen verändert werden. Damit stehen Korrekturmöglichkeiten zur Verfügung, die für die künstlerische Gestaltung des Vortrages oder zum Ausgleich innerhalb einer Musiziergruppe genutzt werden können. Neben diesen beabsichtigten "Ziehen" eines Tones tritt in der Praxis auch ein unwillkürliches Schwanken der Stimmung auf, wenn Klänge ohne musikalischen Zusammenhang einzeln gespielt werden. Die Reproduzierbarkeit von unabhängigen Einzeltönen liegt bei einem einzelnen Bläser im allgemeinen in einem Bereich von ± 10 cent, wie aus der oberen Intonationskurve einer Tenorposaune in Abb. 4 hervorgeht. Das Instrument wurde von einem Spieler fünfmal unter gleichen Bedingungen angeblasen. Nimmt man nun vier weitere Bläser hinzu, so ergibt sich die untere Stimmungskurve des selben Instrumentes. Die Schwankungen liegen hier bei ± 15 cent mit starken Überschreitungen bis ± 30 cent. Der Grund für diese Uneinheitlichkeit liegt vor allem darin, daß die Bläser sich auf die üblicherweise von ihnen verwendeten, unterschiedlichen Instrumente im Laufe der Zeit derart eingeblasen haben, daß sie ungünstig liegende Resonanzen automatisch durch ihren Ansatz korrigieren, um eine saubere Intonation zu erhalten. Diese ihnen nicht bewußte Korrektur wenden sie nun auch auf das Testinstrument an, so daß das Ergebnis u. U. ein Spiegelbild ihres eigenen Instrumentes ist.

Bei der objektiven Bestimmung der Intonation kann man nun die Eingangsimpedanz von Blechblasinstrumenten, also die Resonanzfrequenzen der schwingenden Luftsäule, messen. Da jedoch der Klang dieser Instrumente immer eine Vielzahl von Teiltönen aufweist, ist die Betrachtung der Resonanzen, die ja nur für einen Teilton gelten, allein nicht ausreichend. Vielmehr muß die Resonanzamplitude für den Gesamtklang, also die Summe vieler Teiltöne, ermittelt werden [4]. Hierzu dient eine künstliche Anblasvorrichtung, die einen Forteklang durch Modulation eines Luftstromes erzeugt. Da der Teiltongehalt mit der Lautstärke zunimmt, sind die Meßwerte mit der Anblasvorrichtung der Dynamikstufe *ff* zuzuordnen, während die reine Resonanzfrequenzbestimmung der Dynamikstufe *pp* entspricht. Je weiter die Meßkurven nach diesen beiden Verfahren auseinanderliegen, umso stärker muß der Bläser seinen Ansatz korrigieren, um eine ausgeglichene Intonation in allen Dynamikstufen zu erzielen. In Abb. 5 sind z.B. die Meßergebnisse für ein Euphonium aufgetragen; hier erkennt man die Probleme vor allem in der kleinen Oktave.

Neben der Anblasstärke können die derart genommenen Meßergebnisse auch dazu dienen, eine Verwendung des untersuchten Instrumentes von Bläsern unterschiedlicher Anblastechnik zu diskutieren. Ein fester und kontaktstarker Ansatz erfordert die Anpassung an viele Teiltöne, d.h. für einen Bläser mit dieser Anblastechnik gilt überwiegend die mit der Anblasvorrichtung gewonnene Summenkurve. Bläser mit extrem Druckschwachem Ansatz reagieren überwiegend auf die Anpassung des Grundtones an die Resonanz; für sie hat die Re-

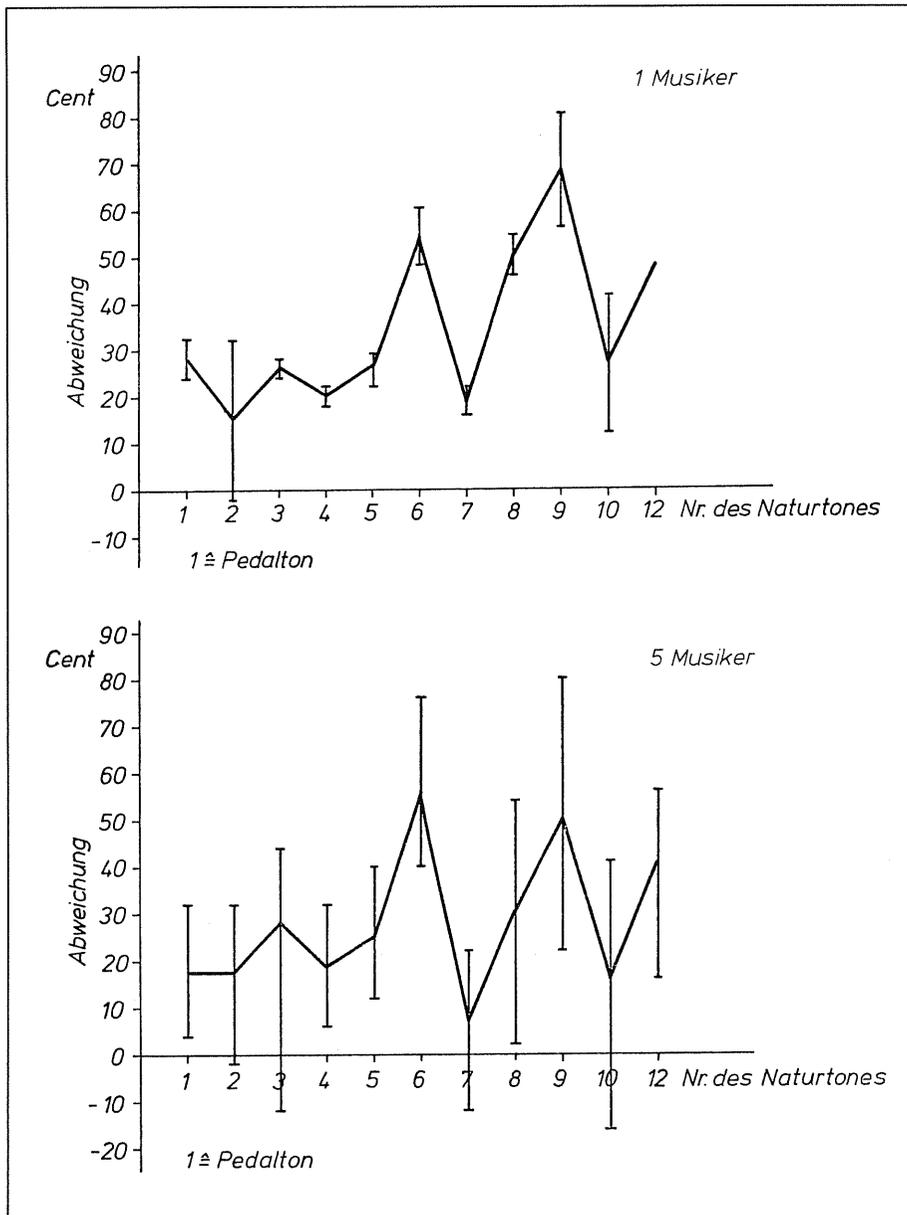


Abb. 4) Intonationskurven einer Versuchsposaune. oben: 1 Bläser, unten: 5 Bläser.

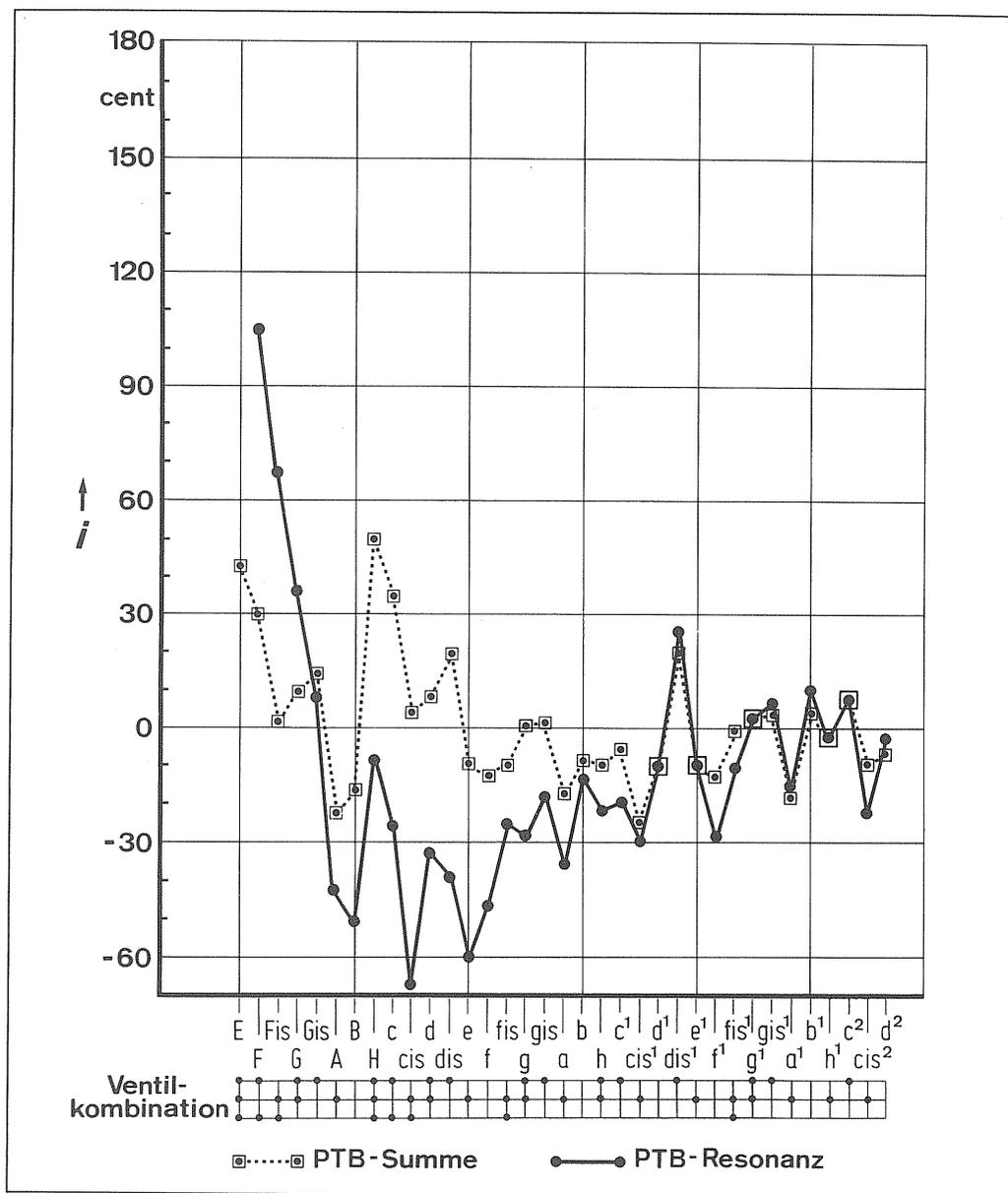


Abb. 5) Chromatische Intonationskurven eines Euphoniums.

sonanzabweichung die größere Bedeutung. Die Zweipunktmessung der Intonation hat somit den Vorteil, daß sie für jede Dynamikstufe und für jeden Bläser eine Aussage zuläßt. Je besser und universeller ein Blechblasinstrument eingesetzt werden kann, umso geringer ist der Abstand der beiden Meßwerte voneinander.

c. Ansprache

Die durch Intonationsänderungen in den einzelnen Dynamikstufen verbundenen Ansatzänderungen machen es dem Spieler schwer, sich bei großen Dynamiksprüngen auf die klangliche Wirkung seines Instrumentes zu konzentrieren. Alles was an zusätzlicher Korrekturarbeit aufgebracht werden muß, ist für Klangmodulationen verloren. Deshalb empfindet ein Bläser den Abstand zwischen der Resonanz- und der Summenkurve auch zusätzlich als Anspruchswert. Je geringer dieser Abstand ausfällt, desto besser gelingt ihm eine ausgeglichene Stimmung sowie eine homogene Klangfarbe, und desto besser empfindet er die Ansprache des Instrumentes. Man kann dem Abstand zwischen diesen beiden Meßwerten auch unmittelbar eine Qualitätsnote zuordnen (Abb. 6), wie es sich für einen Vergleich mehrerer gleichartiger Blechblasinstrumente als sinnvoll herausgestellt hat. Durch die Schwingungsstruktur der Luftsäule als $2/4$ -Oszillator bedingt, liegen die tiefsten Resonanzen bei den meisten Instrumenten zwangsläufig weit von den Naturtönen entfernt, so daß die Benotung entsprechend Abb. 6 nur ab der vierten Resonanzmode vorgenommen wurde.

Die Intonationsmessung liefert nun aber noch weitere Aussagen über die Ansprache eines Blechblasinstrumentes. So kann der Unterschied zwischen der grundsätzlich harmonischen Struktur des Klangspektrums und der nicht immer harmonisch aufgebauten Resonanzfrequenzreihe des Instrumentes herangezogen werden. Wird z.B. ein Ton mit einer Frequenz von 120 Hz geblasen, und hat das Instrument bei 120 Hz eine Resonanz, so ist das noch nicht ausreichend für eine gute Ansprache. Erst wenn die, automatisch mit erzeugten, höheren Teiltöne von 240 Hz, 360 Hz, 480 Hz usw. auch mit Resonanzen übereinstimmen, spricht der Ton gut an [1]. Als wichtigste Größe muß hier der Oktavteilton von $2 \times 120 = 240$ Hz gesehen werden, da er im allgemeinen eine stärkere Amplitude im mittleren Spielbereich aufweist als der Grundton (120 Hz). Die Ansprache fällt deshalb umso besser aus, je besser der Oktavteilton mit einer Resonanz zusammenfällt. Oder anders ausgedrückt: je geringer die Abweichung zweier Resonanzen vom Verhältnis 2 (Oktave) desto besser die Ansprache. Wird z.B. die untere Quinte (3. Mode) angeblasen, so muß die 6. Resonanzfrequenz ($2 \times 3 = 6$) genau im Oktavabstand liegen. Ebenso die 8. für den 4., die 10. für den 5. Naturton usw..

Doch auch dieser Zusammenhang bedarf einer Einschränkung. Je nachdem, wie flach die Resonanzkurve verläuft, läßt sich der geblasene Naturton ziehen. Je flacher die Resonanzkurve, desto geringer sind die Amplitudenänderungen bei einer Frequenzverschiebung spürbar und umso besser wird die Ansprache empfunden. Die Resonanzgüte oder -scharfe muß deshalb mit in die Ansprachekennzeichnung einbezogen werden. In Abb. 7 sind die wichtigsten Parameter einer Trompete im Hinblick auf die Ansprache wiedergegeben. Für die Ordnungs-

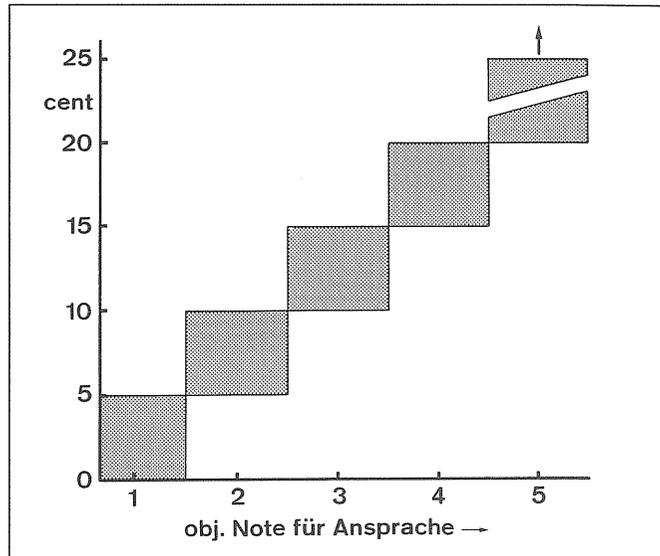


Abb. 6) Qualitätsstufen für die mittlere Abweichung der Resonanz - von den Naturtonfrequenzen für die Moden Nr. 4 bis 10.

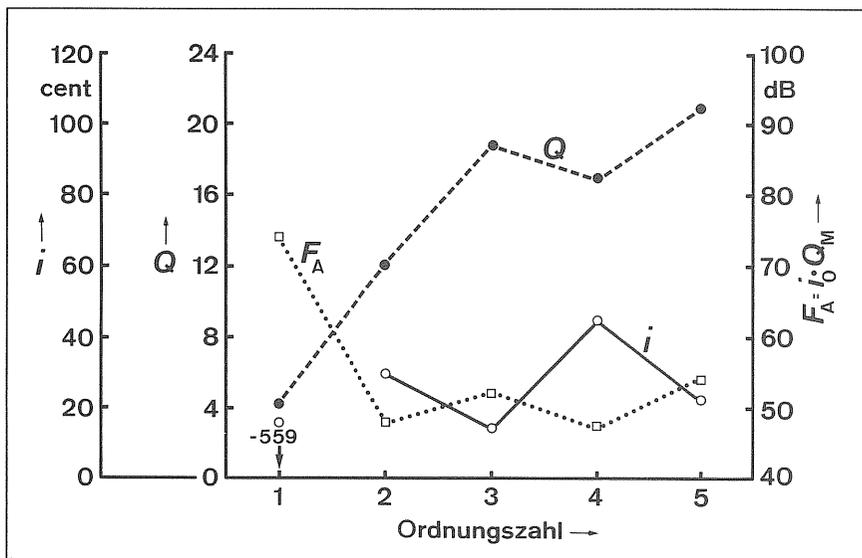


Abb. 7) Intonation i , Resonanzgüte Q und Ansprachefehler F_A .

zahlen 1 bis 5 ist zunächst die Stimmungsabweichung i der Resonanzen gegenüber der temperierten Skala aufgezeichnet. Die sehr niedrige 1. Resonanz liegt bei - 559 cent und damit weit außerhalb des spielbaren Bereiches. Dieser Ton wird ohnehin kaum auf einer B-Trompete gespielt. Die Resonanzkurve verläuft in diesem Bereich sehr flach, so daß eine niedrige Resonanzgüte von ca. 4 vorliegt. Die 2. Resonanz liegt mit einer Stimmungsabweichung von ca. 30 cent mitten im Spielbereich; ebenso die weiteren Resonanzen. Die Güte nimmt stetig mit steigender Ordnungszahl zu. Vergleicht man den 2. mit dem 4. Naturton, so müßte im pp der 2. mit + 28 cent und der 4. mit + 45 cent intoniert werden. Als Oktavabweichung ergibt sich eine Differenz von $i_0 = 17$ cent. Dieses könnte zu einer Beeinträchtigung der Ansprache führen, da der Ansatz des Bläasers variiert werden müßte. Die Gütekurve zeigt nun

aber einen relativ geringen Wert für den 2. Naturton, was einem größeren Ziehbereich dieses Tones entspricht. Multipliziert man diesen Wert mit der Oktavabweichung i_0 von 2 nach 4, so erhält man den Ansprachefehler F_A , der aufgrund der niedrigen Güte klein ausfällt. Das bedeutet, daß der 2. Naturton trotz der großen Oktavabweichung sehr gut anspricht.

Beim Anblasvorgang entsteht im Instrument eine Reihe von stehenden Wellen, die den Teiltönen des Klanges zugeordnet sind. Die Ursache für die stehenden Wellen ist das hin- und herpendeln der Schallinformation zwischen den Bläserlippen und dem Schallbecherrand. Der erste akustische Impuls, der durch die Lippen in das Instrument gelangt, wandert in der Luftsäule zum Schallstück, wird dort von der Stürze z.T. abgestrahlt und zum größeren Teil wieder reflektiert. Nach rückwärtigem Durchlauf gelangt der Impuls wieder an die Lippen und kann je nach Eintreffzeitpunkt die Schwingung der Lippen unterstützen oder bedämpfen. Auf seinem Weg von den Lippen zur Stürze und zurück erfährt das Schallsignal Reduzierungen durch Reibungsdämpfung oder Stoßstellenreflexionen. Mit einem Mikrofon im Mundstückskessel erhält man Echogramme, wie sie beispielhaft in Abb. 8 aufgezeichnet sind. Der erste Druckimpuls ist das Eingangssignal, das in das Instrument geleitet

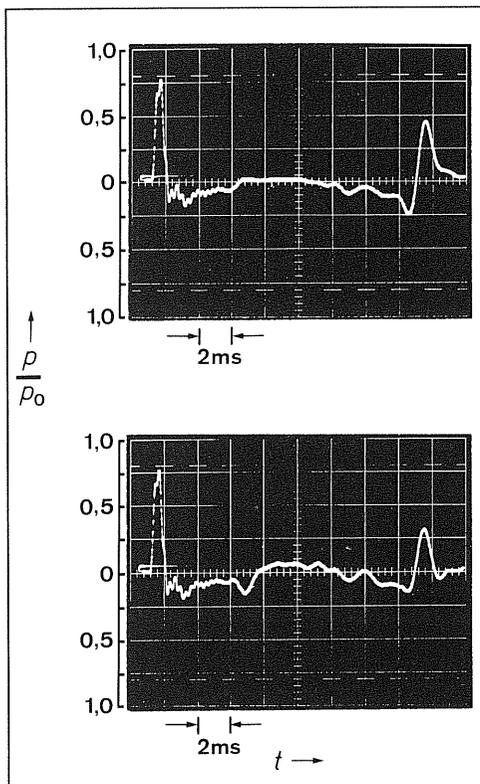


Abb. 8) Impulsechogramme für zwei Tenorposaunen.
oben: geringe Störung, gute Ansprache,
unten: viele Störungen, schlechte Ansprache.

wird. Nach ca. 14,5 ms erscheint das Hauptecho von der Stürze. Je größer es ausfällt, umso stärker kann die Schwingungsunterstützung der Lippen ausfallen. Andererseits entfällt dann auch eine große Schallabstrahlung, so daß wieder die Diskrepanz in der Aussage von Spieler und Zuhörer auftreten kann. Bei dem Ergebnis des unteren Teilbildes erkennt man neben einem sehr viel schwächeren Hauptecho noch eine Reihe von zusätzlichen kleinen Echos, die von verschiedenen Störstellen im Rohrverlauf herrühren. Hier sind vor allem die Wasserklappe sowie die Stoßstellen am Schloß sowie an dem Stimmzug zu nennen. Aus der Sicht des Bläusers ist eine hohe Echoamplitude von Vorteil, so daß auch eine objektivierte Ansprachenote entsprechend Abb. 9 angegeben werden kann.

Wie die Diskussion der Echogramme gezeigt hat, ist das Auswahlkriterium "Ansprache" eine überwiegend durch transiente Vorgänge gekennzeichnete Größe. Eine objektive Bestimmung von Anspracheparametern ist auch unter Zuhilfenahme von getakteten Sinussignalen möglich, wenn die Schallquelle die gleiche Quellimpedanz besitzt, wie die Bläserlippen. Da derartige Anregungssysteme in der PTB entwickelt sind, können selektive Einschwingvorgänge für die einzelnen Resonanzen bzw. Teiltöne untersucht werden. In Abb. 10 ist z.B. das Einschwingen eines Tonpaketes im Mundstück einer Perinet-B-Trompete wiedergegeben. Die Tonfrequenz entspricht der Frequenz der 8. Resonanzmode des Instrumentes mit 920 Hz. Man erkennt deutlich, daß erst einmal ca. 8 ms vergehen, bis die Amplitude sprunghaft ansteigt. Nach der 8. Periode des Eingangssignals erscheint nämlich das 1. Hauptecho von der Stürze und überlagert sich additiv dem Eingangssignal. Voraussetzung für die Schallverstärkung ist natürlich die richtige Eintreffzeit des Echos bzw. seine richtige Phasenlage. Diese ist jedoch bei genauer Abstimmung auf die Resonanzfrequenz gegeben. Die Zeit von ca. 8 ms stellt die Wertezeit dar, die immer vergehen muß, da das Schallsignal nur mit geringer Geschwindigkeit die Rohrstrecke durchlaufen kann.

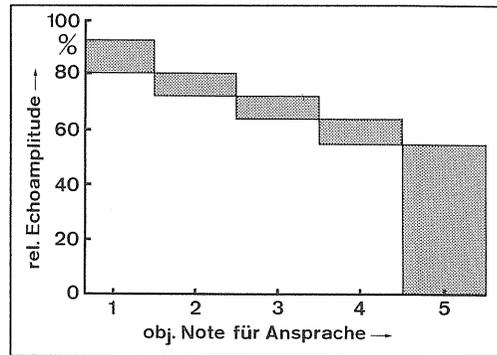


Abb. 9) Qualitätsstufen für die relative Amplitude des Impulsechos vom Schallstück.

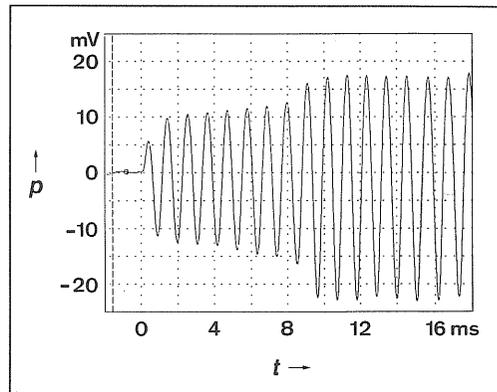


Abb. 10) Einschwingvorgang bei einer Perinet-B-Trompete. Tonburst von 920 Hz, 8. Resonanzmode.

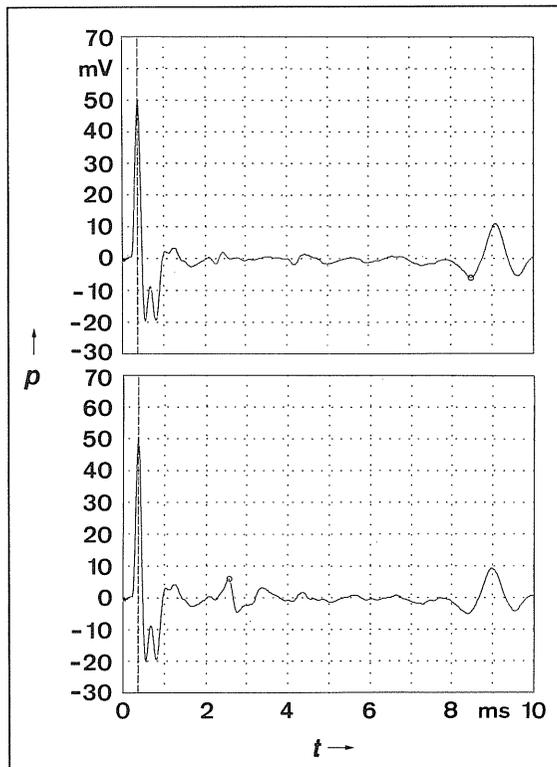


Abb. 11) Impulsechogramm für die Perinet-B-Trompete.
oben: Instrument ohne Störstelle,
unten: Instrument mit Störstelle
bei $l = 40$ cm.

Führt man nun in das Instrument an bestimmten Orten Störungen in Form von Querschnittsveränderungen ein, so kann man damit Zusatzechos generieren, die die Einschwingzeit selektiv verkürzen können. Abb. 11 zeigt die Echogramme für eine B-Trompete ohne (oben) und mit (unten) einer derartigen Störstelle. Sie ist als Rohrverengung in 40 cm Abstand vom Mundstück ausgeführt. Das Störecho erscheint ca. 2 ms nach dem Eingangsimpuls und damit um 6 ms früher als das jetzt in seiner Amplitude geschwächte Hauptecho. Durch die Störung hat sich bereits die Resonanzkurve der Trompete geringfügig verändert, wie Abb. 12 zeigt. Nicht verändert haben sich jedoch die Frequenzwerte der Resonanzen selbst, so daß die Trompete mit der gleichen Intonation gespielt werden kann wie ohne Störstelle. Bildet man die Hüllkurve der einschwingenden 8. Resonanz entsprechend Abb. 10 und trägt den Pegel über der Zeit auf, so erhält man die Kurven der Abb. 13. Man erkennt wieder die Stufe nach ca. 8 ms für das Instrument ohne Störstelle (oben). Nach Einfügung der Störstelle erscheint nun bereits nach ca. 2 ms eine erste Stufe (unten) im Einschwingvorgang. Sie wird durch das Echo der Störstelle gebildet und ist für den Bläser deutlich spürbar. Er hat das Gefühl, daß der Ton schneller und direkter anspricht und außerdem leichter zu erzeugen ist. Dieser Ansprachegewinn resultiert aus dem Ansteigen des Gesamtpegels im Mundstück. Er kann leicht erkannt werden, wenn man die Hüllkurven der Abb. 13 zusammenfaßt, wie das in Abb. 14 geschehen ist. Dadurch, daß

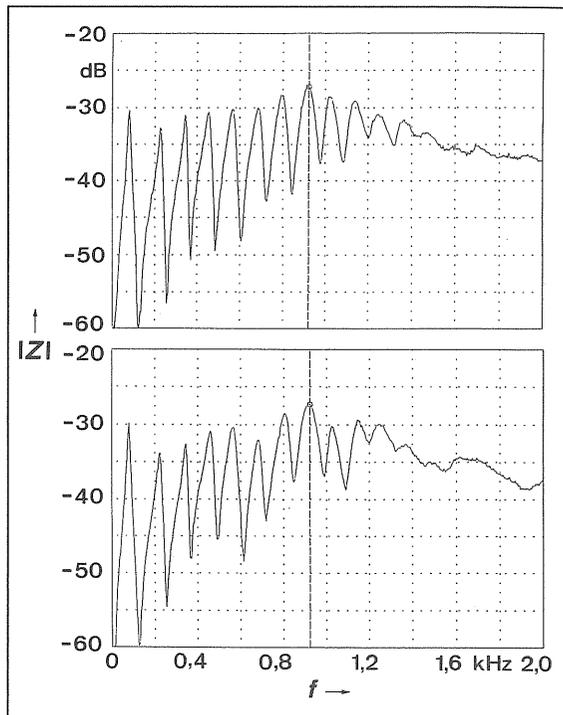


Abb. 12) Eingangsimpedanzen der Perinet-B-Trompete. oben: Instrument ohne Störstelle, unten: Instrument mit Störstelle bei $l = 40$ cm.

ein größerer Teil der Schallenergie zwischen Bläserlippen und Störstelle hin- und herpendelt, wird er dem Schwingungssystem nicht durch Schallabstrahlung entzogen und kann die Lippenvibration besser unterstützen. Bei dieser Betrachtung darf jedoch nicht übersehen werden, daß eine derartige Anspracheverbesserung durch eine Reduzierung des abgestrahlten Schalles erkauft worden ist. Außerdem wirkt sie sehr selektiv, d.h. es existieren andere Resonanzmoden, die in ihrer Wirksamkeit durch die Störstelle herabgesetzt werden können. Andererseits ist jedes Ventil und jeder Teleskoprohrübergang eine Störstelle, die je nach Bauart zu gewollten oder ungewollten Anspracheveränderungen führen kann. Auch lassen sich Unterschiede im Einschwingverhalten z.B. von Perinet- und Zylindertrompeten mit Hilfe der gezeigten Ergebnisse auf einfache Weise erklären.

3. Parasitäre Schwingungen

Da bei der Auswahl von Blechblasinstrumenten überwiegend das Urteil der Bläser herangezogen wird, müssen auch solche Eigenschaften berücksichtigt werden, die ausschließlich vom Spieler empfunden werden. In diese Kategorie fallen auch die parasitären Schwingungen der Instrumente. Hierbei handelt es sich um mechanische Schwingungen der Instrumententeile, die nicht unmittelbar mit der Schwingung der inneren Luftsäule in Verbindung stehen

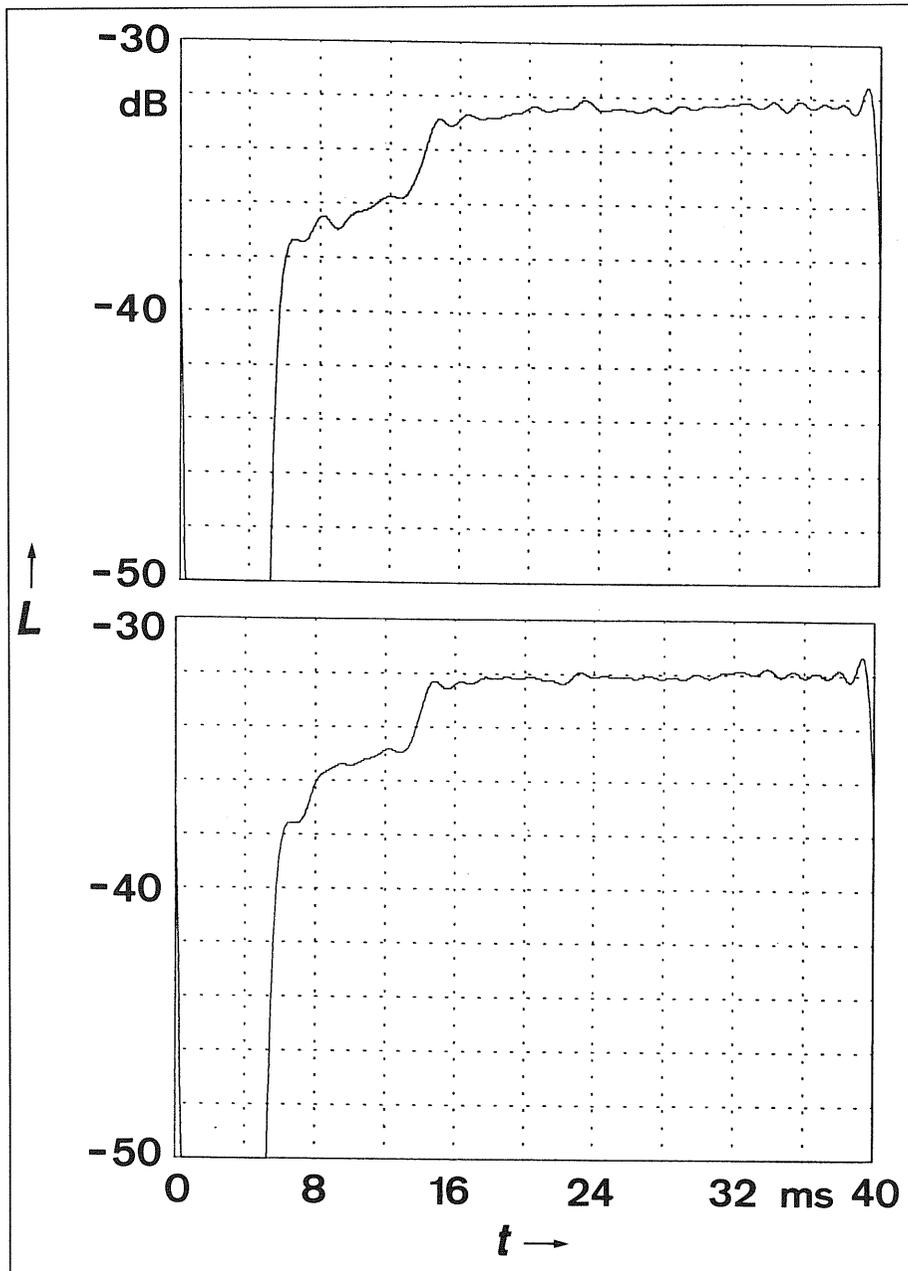


Abb. 13) Pegelverlauf des Einschwingvorganges der Perinet-B-Trompete. Tonburst von 920 Hz, 8. Resonanzmode. a) Instrument mit Störstelle bei $l = 40$ cm. b) Instrument ohne Störstelle.

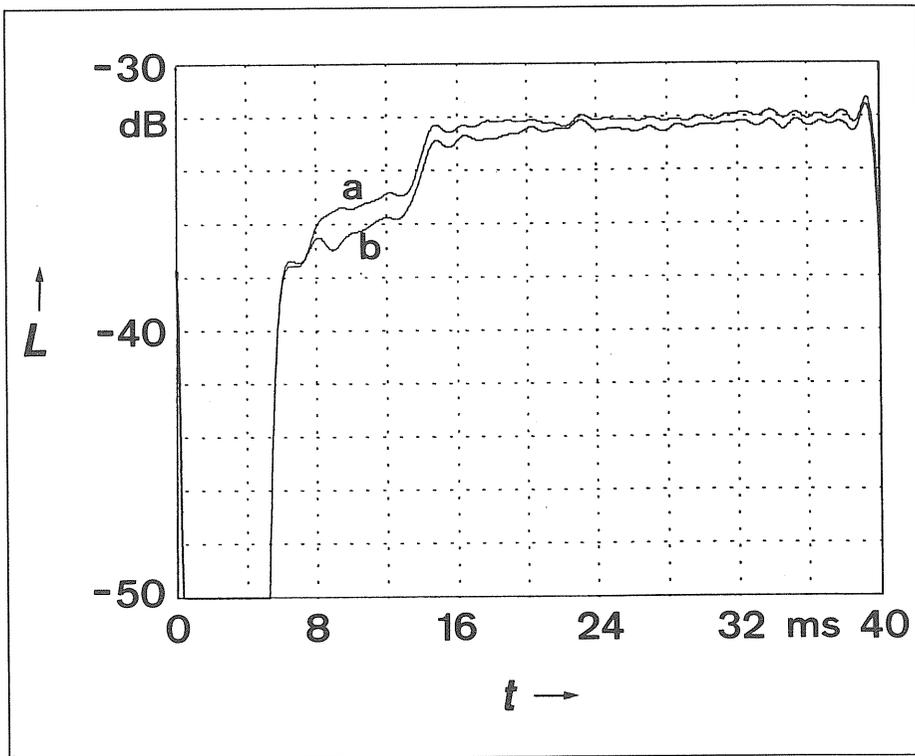


Abb. 14) Zusammenstellung der Ergebnisse von Abb. 13: a) Instrument mit Störstelle bei $l = 40$ cm. b) Instrument ohne Störstelle.

müssen. Das am leichtesten zu derartigen Schwingungen anzuregende Teil ist das Schallstück. Es besitzt eine relativ geringe Biegesteifigkeit bei geringer Masse und wird häufig nur an wenigen Punkten mit dem restlichen Instrument verbunden. Die Anregung erfolgt durch den Schalldruck der stehenden Welle der inneren Luftsäule, wenn ihre Frequenz mit denen der Resonanzmoden des Schallstückes übereinstimmt.

Es treten dabei zwei typische Schwingungszustände des Schallstückes auf, die sich dadurch unterscheiden, daß zum einen das ganze Teil senkrecht zur Längsachse, zum anderen überwiegend in radialer Richtung vibriert. Während der Querschnittverlauf bei axialen Biegeschwingungen nahezu unverändert bleibt, verformt er sich bei radialen Schwingungen in Abhängigkeit vom Ort und der Frequenz. Abb. 15 zeigt eine derartige Biegeschwingungsform einer Perinet-B-Trompete, die mit Hilfe der Modalanalyse gewonnen wurde. Um den Bewegungsablauf des Schallstückes relativ zum Instrumentenkörper zu erkennen, ist das restliche Instrument stark vereinfacht als statische Strichzeichnung wiedergegeben. Die beiden linken Teilbilder zeigen den Bewegungsablauf der Biegeschwingungen zu den beiden Zeit-

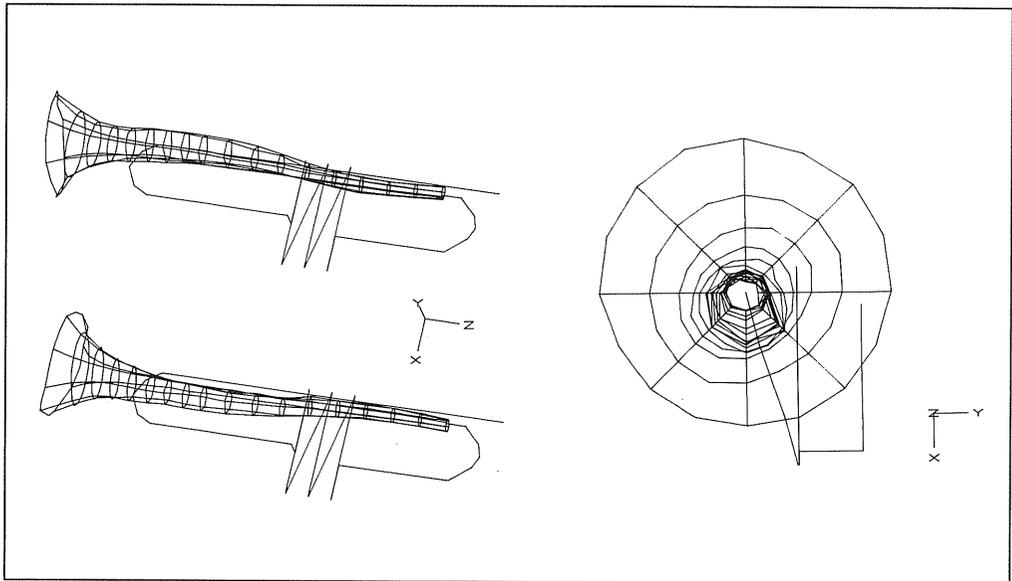


Abb. 15) Schwingungsform eines Trompetenschallstückes, Biegeschwingung, 700 Hz.

punkten, an denen die Auslenkung Maxima durchläuft; rechts daneben ist eine Ansicht von vorn in das Schallstück wiedergegeben. Bei diesem Bewegungsablauf wird das Schallstück an den Befestigungspunkten vorn vor dem oberen Stimmzug sowie am 2. Ventilkörper in Ruhe gehalten, während die freien Schallstücksteile zwischen diesen Auflagen hin- und herschwingen. Der kreisförmige Querschnitt des Instrumentenrohres wird dabei weitestgehend unverformt beibehalten.

Anders sieht es dagegen bei radialen Schwingungen aus, wie sie Abb. 16 für das gleiche Instrument darstellt. Hier bleibt die Mittelachse des Schalltrichters in Ruhe, während sich die Querschnittsform bis zu einer 8 verändert. Natürlich sind die realen Verformungen bei weitem nicht so stark, sie sind mit Hilfe der Modalanalyse-Software überzeichnet, um die Formänderungen deutlich zu machen.

Derartige Schwingungen sind im allgemeinen nicht gewollt, denn sie können bei ungünstiger Abstimmung und Amplitude sehr störend wirken. Zum einen strahlen die schwingenden Teile eine Schallwelle ab, die aufgrund der geringen Lautstärke aber nur vom Bläser gehört wird. Da der metallene Schalltrichter meistens sehr geringe Dämpfungswerte aufweist, schwingen seine parasitären Komponenten länger aus, als das vom Bläser beeinflusste Signal. In Räumen mit kurzer Nachhallzeit (Aufnahmestudios) werden die parasitären Schwingungen deshalb als sehr unangenehm empfunden.

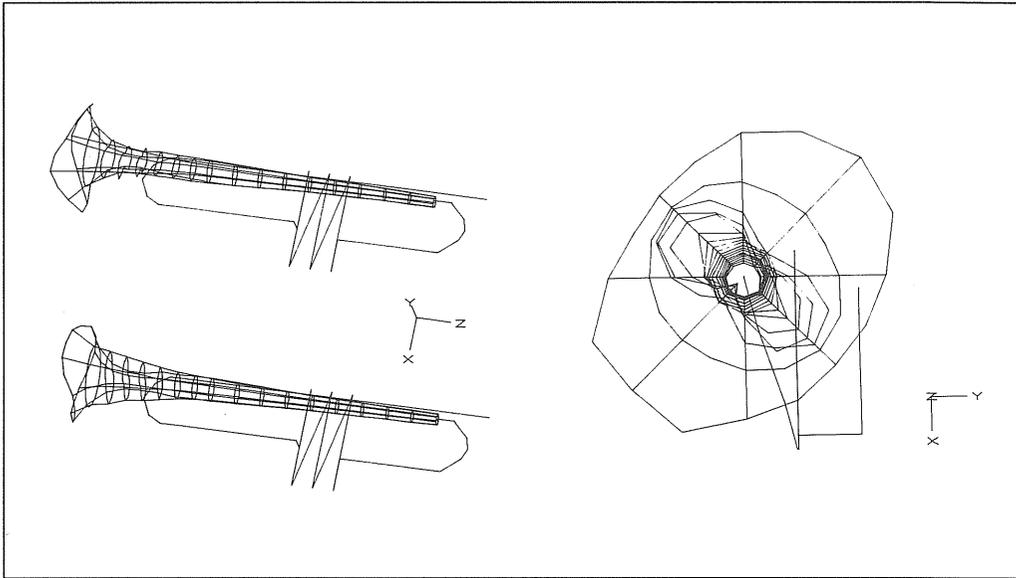


Abb. 16) Schwingungsform eines Trompetenschallstückes, Radialschwingung, 550 Hz.

Eine direkte Rückwirkung auf die stehenden Wellen im Instrument konnte bislang nicht nachgewiesen werden; vielmehr scheint eine Beeinflussung des Instrumentenklanges nur über das Regelsystem Bläser-Instrument-Raum-Bläser von Bedeutung zu sein. Dadurch, daß der Bläser nämlich die lange nachklingenden und aufhellenden parasitären Schwingungen hört, ändert er seinen Ansatz und damit den akustischen Abschluß der Instrumentenluftsäule. Diese Änderung der Impedanz führt zu einer Modifikation der Resonanzen und damit zu leichten Klangfarbenverschiebungen. Von einem direkten Einfluß der Materialschwingungen auf den Klang der Blechblasinstrumente, wie er von vielen Bläsern immer wieder geäußert wird, kann deshalb nur mit erheblichen Einschränkungen gesprochen werden. Frühere Untersuchungen [2] haben dieses bereits als Ergebnis gebracht; solange der Bläser sein Augenmerk nicht auf das Material richtet, oder eventuell auftretende parasitäre Schwingungen nicht von ihm gehört werden können, bestehen keine erkennbaren Unterschiede bei Verwendung verschiedener Schallstückmaterialien.

Eine letzte Einflußmöglichkeit der parasitären Schwingungen auf die Auswahl eines Blechblasinstrumentes ist die Übertragung auf die das Instrument haltende Hand. In diesem Falle ist die Schwingung fühlbar. Je nach innerer Einstellung und technisch-musikalischer Vorbildung wird das vom Bläser als Unterstützung oder als Störung empfunden. Zum einen wird behauptet, daß die Schwingungen der Blechwandung die Resonanzfähigkeit des Instrumentes verbessern könne, zum anderen wird der durch die Blechschwingung abgestrahlte Schall als Verlust und damit als Dämpfung der Luftsäulenschwingung betrachtet. In beiden

Fällen scheint die Überzeugung von der Richtigkeit der Ansicht das Ergebnis, nämlich den Klang, derart stark zu beeinflussen, daß auch die parasitären Schwingungen der Blechwandung als wichtiges Auswahlkriterium für Blechblasinstrumente angesehen werden müssen.

Literatur

- [1] BENADE, A.H., Fundamentals of Musical Acoustics, New York (Oxford University Press) 1976.
- [2] WOGRAM, K., Einfluß von Material und Oberflächen auf den Klang von Blechblasinstrumenten, in: *Instrumentenbau-Zeitschrift* 5/1976.
- [3] WOGRAM, K., Diskrepanz zwischen Tragfähigkeit und Hörbarkeit von Blechblasinstrumenten, 18. Akust. Konf. d. Akad. d. Wiss. d. CSSR, Cesky Krumlov, 1979.
- [4] WOGRAM, K. und MEYER, J., Objektive Prüfung der Stimmung von Blechblasinstrumenten, in: *Das Musikinstrument* 9/1973.