

Die Bedeutung des Mundstückes bei Blechblasinstrumenten

Klaus Wogram, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig

Blechblasinstrumente gehören der Familie der Polsterzungeninstrumente an, d. h. das eigentlich schallerzeugende Element sind die schwingenden Lippen des Bläfers. Das Instrument wirkt in seiner Gesamtheit ausschließlich als Filter, das den von den Lippen herrührenden Schall in seiner Klangfarbe, d. h. seiner Teiltonzusammensetzung verändert. Außerdem wirkt die Stürze des Instrumentes, das ist der vorderste Bereich des Schalltrichters, als Strahler, der die Luftschallwelle erzeugt, die vom Zuhörer als Blechblasinstrumentenklang wahrgenommen wird. Im Prinzip schwingt also nur die im Metallrohr des Instrumentes eingeschlossene Luftsäule zwischen den Lippen und der Stürze hin und her.

Damit die Lippen des Bläfers frei aber kontrolliert schwingen können, benötigt man ein Mundstück, daß zwischen Spieler und Instrumentenrohr eingesetzt wird. Da die Form und die elastischen Eigenschaften der Bläserlippen sehr unterschiedlich sein können, werden die Bläser auch ihr Mundstück nach sehr individuellen Gesichtspunkten auswählen. Gegen diese Praxis ist grundsätzlich nichts einzuwenden, denn schmale Lippen erfordern einen anderen Rand als volle Lippen; doch haben die vielen verschiedenen Mundstücke daneben auch noch akustische Eigenschaften, die die Qualität des musikalischen Vortrages unabhängig vom Bläser beeinflussen.

Musikalisch-akustische Wirkung des Mundstückes

a) Resonanz

Durch die typische geometrische Form eines Blechblasinstrumentenmundstückes schwingt seine innere Luftsäule auf eine andere Weise als diejenige in einem einfachen zylindrischen Rohr. Im Anschluß an den Kessel folgt die eigentliche Bohrung oder Seele als Verengung der Luftsäule, die sich dann wieder bis auf das Instrumentenmaß langsam erweitert. Betrachtet man beispielsweise ein Posaunenmundstück mit einer Länge von ca. 8 cm und berücksichtigt, daß die Bläserlippen den Kessel an der Randseite vollkommen abdichten, so ergeben sich die Resonanzfrequenzen eines gleichlangen zylindrischen Rohres zu $f_1 = 1062$ Hz, $f_2 = 3187$ Hz und $f_3 = 5312$ Hz. Diese Werte errechnen sich aus der Bedingung, daß immer dann eine Resonanz vorliegt, wenn ein ungeradzahliges Viertel einer Wellenlänge λ in das Mundstück hineinpaßt, wenn also

$$l = (2n-1) \cdot \frac{\lambda}{4} \text{ mit } n = 1, 2, 3, \dots$$

Mit der Bedingung, daß die Frequenz einer Schallwelle dem Quotienten aus Schallgeschwindigkeit c und Wellenlänge λ entspricht

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

ergibt sich diese unter Einsetzung der obigen Gleichung zu

$$f = (2n-1) \frac{c}{4l} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Vergleicht man die errechneten Resonanzfrequenzen mit denen eines Posaunenmundstückes der Größe 6 1/2 AL von $f_1 = 650$ Hz, $f_2 = 2875$ Hz, $f_3 = 5725$ Hz, so erkennt man die Abweichungen, die durch die innere Form der Luftsäule gebildet werden. Ein erheblich kleineres Mundstück einer Trompete (z. B. 7C) bewirkt bei nahezu gleicher Länge von 8,8 cm dagegen $f_1 = 775$ Hz, $f_2 = 2250$ Hz, $f_3 = 4425$ Hz, liegt also bei f_1 viel höher als das Posaunenmundstück, obwohl es etwas länger ist. Lediglich die weiteren Resonanzfrequenzen liegen tiefer als bei dem Posaunenmundstück; sie scheinen demnach mehr von der Länge als von der inneren Kontur abzuhängen.

Mundstückparameter	musikalisch-akustische Eigenschaften		
	wenig Geräusch	hohe Stabilität	leichte (schnelle) Ansprache
Kesselvolumen	groß	groß	–
Kesselform	–	tief	–
Bohrungsdurchmesser	–	groß	–
Form der Hinterbohrung	linear-konisch	lin.-kon.,weit	linear-konisch
1. Resonanzfrequenz	600-700 Hz	< 700 Hz	–
2. Resonanzfrequenz	–	$f_2 > f_1$	–
Resonanzgüte am Instrument	–	hoch	–

Die Meßkurven der beiden genannten Mundstücke ohne Instrument sind in den Abb. 1 und 2 wiedergegeben. Sie wurden mit dem in der PTB-Braunschweig entwickelten Meßverfahren gewonnen. Man beachte auch, daß die Resonanzkurven für das Posaunenmundstück viel spitzer verlaufen und damit eine geringere Dämpfung aufweisen. Wir werden später noch sehen, worauf diese Eigenschaften beruhen.

Bläst der Musiker in ein Mundstück hinein – egal, ob mit oder ohne Instrument – so werden die von den Lippen verursachten Teiltonschwingungen durch die Resonanzwirkung des Mundstückes unterschiedlich bedämpft bzw. gefiltert. Im Bereich der Resonanzmaxima entstehen kräftige

Komponenten, die den Klang maßgeblich beeinflussen. So ist die tiefste Resonanzfrequenz des Mundstückes – bei der Posaune ca. 650 Hz – für den typischen Formanten im Posaunenklang verantwortlich. Würde man das Trompetenmundstück 7C auf der Posaune blasen, so ergäbe sich eine eher trompetenartige Klangfarbe.

Die tiefste Resonanzfrequenz eines Mundstückes kann man auch dadurch hörbar machen, daß man mit dem flachen Handteller auf den Rand des Mundstückes klopft. Die Tonhöhe wird durch die tiefste Resonanzfrequenz geprägt, die Klangfarbe durch die höheren. Der in den Abb. 1 und 2 erkennbare Abfall zu höheren Frequenzen hin sagt aus, daß es schwieriger ist, hohe Frequenzanteile durch

das Mundstück hindurch in das Instrument zu leiten. Damit ist die obere Spielgrenze auch vom Mundstück her begrenzt – das Mundstück wirkt wie ein Tiefpaß, läßt also vorwiegend tiefe Komponenten hindurch. Bei einem gleichlangen Rohr wäre dieser Effekt praktisch nicht vorhanden!

Bei der Trompete mit einem Spielbereich bis ca. f^3 von 1400 Hz oder der Posaune mit f^2 von 700 Hz liegt die tiefste Resonanz der Mundstücke mitten im Diskantbereich und bestimmt somit als einzige die Ausbildung des Grundtones des Klanges. Da die Lippen außerdem bei der Grundtonfrequenz die größte Schwingungsamplitude aufweisen, werden die meisten musikalisch-akustischen Parameter durch die Resonanzkurve unterhalb der 2. Resonanz des Mundstückes bestimmt.

Betrachtet man zunächst beispielhaft die Resonanzkurve einer Tenorposaune ohne Mundstück in Abb. 3, so erkennt man, daß die Resonanzwirkung langsam mit steigender Frequenz abnimmt, jedoch noch bei der 17. Frequenz deutlich ist¹. Außerdem scheint die Resonanzkurve um einen horizontalen, konstanten Wert herumzupendeln. Steckt man nun das typische Posaunenmundstück auf das Instrument und mißt erneut die Resonanzkurve, so erhält man die Abb. 4. Es ist deutlich die Resonanzüberhöhung im Bereich der 1. Mundstücksresonanz zu sehen sowie ein Abfall oberhalb dieses Frequenzbereiches. Dadurch ist das Instrument nicht beliebig hoch spielbar und erhält seine typische Klangfarbe auch durch das Mundstück.

Posaunenmundstück 6 1/2 AL

10 kHz A: AC/ 1V B: AC/10mV S. SUM 8/8 DUAL 1k

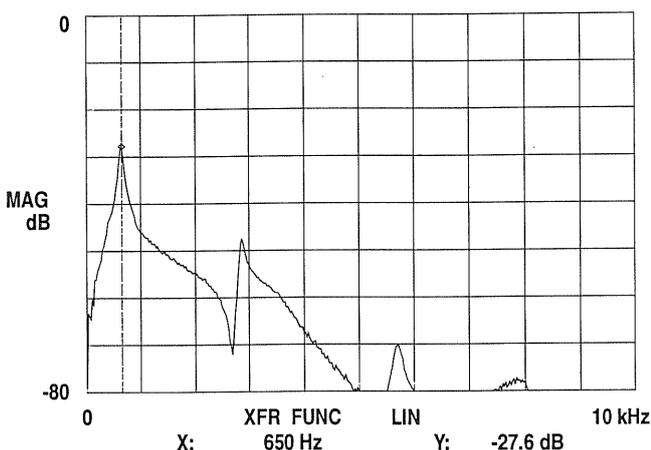


Abb.1: Resonanzkurve eines Posaunenmundstückes 6 1/2 AL

Trompetenmundstück 7 C

10 kHz A: AC/ 1V B: AC/50mV S. SUM 8/8 DUAL 1k

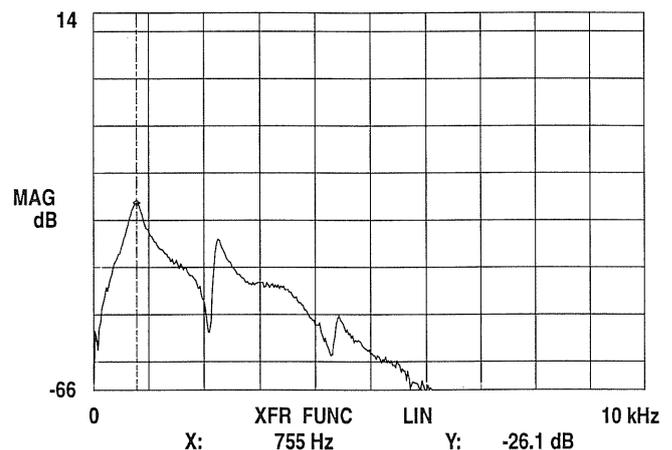


Abb.2: Resonanzkurve eines Trompetenmundstückes 7 C

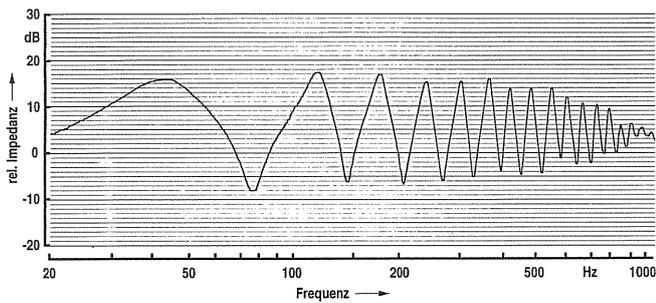


Abb.3: Resonanzkurve einer Posaune ohne Mundstück.

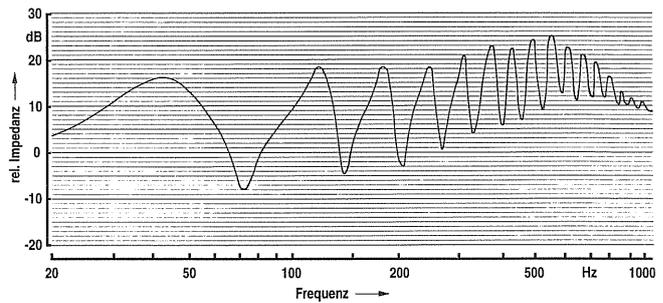


Abb.4: Resonanzkurve einer Posaune mit Mundstück.

Intonation

Der Vergleich der Resonanzfrequenzen eines Mundstückes mit denen eines gleichlangen zylindrischen Rohres hat gezeigt, daß die größte Abweichung im Bereich der tiefsten Resonanzfrequenzen liegt. Da diese aber wiederum mitten im Spielbereich liegt, ist sie für den Bläser von besonderer Bedeutung. Für eine Erklärung des Effektes wollen wir die verändernde Wirkung des Mundstückes auf die Resonanzen eines glatten zylindrischen Rohres von z. B. 2,5 m Länge betrachten. Das Rohr hätte als $^*/4$ -Resonator die Resonanzfrequenzreihe 34 Hz, 102 Hz, 170 Hz, 238 Hz, 306 Hz, 374 Hz usw. Steckt man ein sehr kleines Posaunenmundstück von 8 cm Länge auf dieses Rohr, so müßte es eigentlich die Resonanzreihe 32.9 Hz, 98.8 Hz, 164.7 Hz, 230.6 Hz, 296.5 Hz, 362.4 Hz, 428.3 Hz, 494.2 Hz usw. liefern. Man kann jedoch folgende Reihe messen:

33.6 Hz, 100.8 Hz, 167.6 Hz, 234.1 Hz, 299.4 Hz, 362.4 Hz, 425 Hz, 482.9 Hz... Hieraus ergibt sich, daß die Resonanzfrequenzen mit Mundstück in der unteren Lage stets höher liegen und in der oberen Lage stets tiefer. Oder anders ausgedrückt: Das Mundstück verändert seine akustisch wirksame Länge mit der Frequenz; diese Länge ist in der Tiefe sehr gering und steigt zum Diskant hin steil an. Für das betrachtete Mundstück liegen diese effektiven Längen für die 1. Resonanz bei 2 cm, für die 4. bei 4,2 cm, für die 6. bei 8 cm und für die 8. bereits bei 14 cm. In Abb. 5 sind die effektiven Längen von Tenormundstücken aufgezeichnet, die sich bei unterschiedlicher Kesselgröße aber konstanter 1. Resonanzfrequenz ergeben. Die Variationsbreite für das kleinste Mundstück liegt bei 1:7.8, für das größte jedoch nur bei 1:2. Hieraus resultiert die häufig geäußerte Schwierigkeit, ein Blechblasinstrument mit einem zu kleinen Mundstück stimmend zu blasen (Doppelkessel).

Vergleicht man die realen Resonanzfrequenzen eines Blechblasinstruments mit und ohne Mundstück miteinander und variiert zusätzlich das Kesselvolumen oder die Bohrung, so erhält man die Abb. 6 und 7. Es sind jeweils in groben Stufen von 25 % das Volumen verkleinert bzw. die Boh-

rung vergrößert. N ist die Nachgiebigkeit des Luftpolsters im Kessel, die dem Volumen gegenüber proportional ist, und $N = NO$ bedeutet den Ausgangszustand. Die effektive Mitschwingmasse M in der Bohrung ist umgekehrt proportional zum Bohrungsdurchmesser so daß $M = 0$ prak-

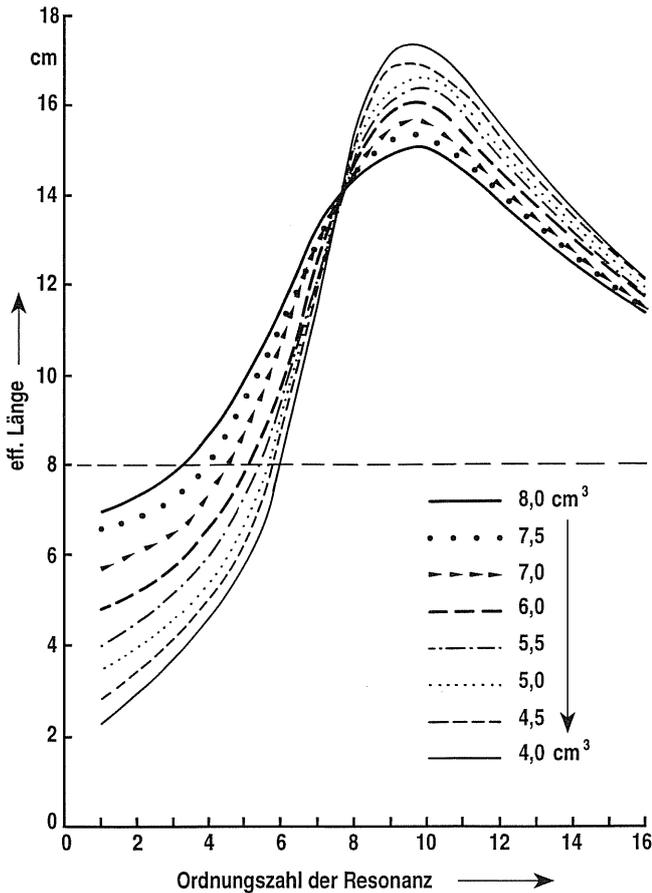


Abb.5: Effektive Resonanzlänge von Mundstücken verschiedener Kesselgrößen aber gleicher 1. Resonanzfrequenz.

tisch eine Bohrung bedeutet, die genauso groß ist wie die des Instrumentes. Allen Kurven gemeinsam ist die stärkste erniedrigende Wirkung der Resonanzfrequenzen im Bereich der 1. Resonanz des Mundstückes. Dieser Bereich ist wiederum von der Größe des Kessels bei konstanter Bohrung oder von der Größe der Bohrung bei konstantem Kesselvolumen abhängig. Die Federwirkung des Kesselvolumens mit der Masse des Bohrungs-Luftpfropfens ergibt ein Resonanzsy-

stem, dessen Frequenz der 1. Resonanzfrequenz des Mundstückes entspricht. Ein großer Kessel senkt die Resonanzfrequenz, eine große Bohrung hebt sie an. Durch geeignete Wahl von Bohrung und Kessel kann man gezielt das optimale Mundstück finden, daß genau diejenige 1. Resonanzfrequenz besitzt, die das Instrument für eine ausgeglichene Intonation erfordert, und außerdem dem Ansatz sowie den Klangvorstellungen des Bläusers entgegenkommt.

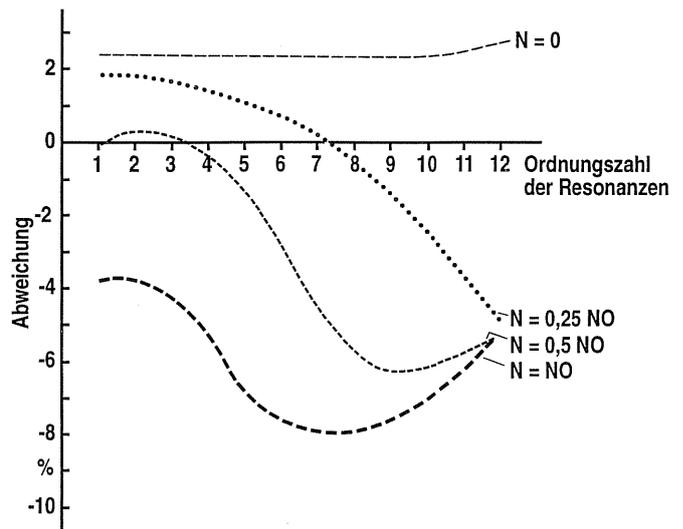


Abb.6: Resonanzverschiebung durch ein Mundstück mit verschiedenen Kesselvolumina.

Beispiele für Mundstücke für Naturtrompete

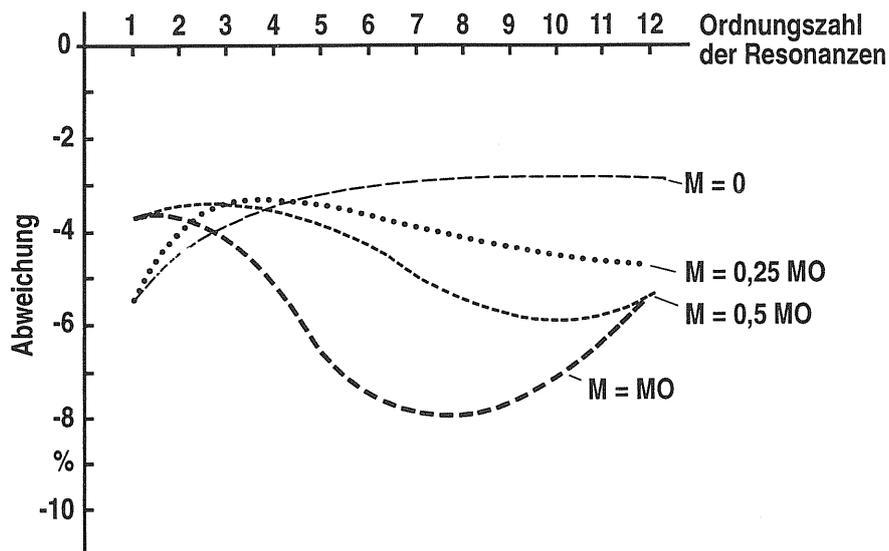
In den vergangenen Jahren hat der Autor zusammen mit dem anerkannten Naturtrompeter Don Smithers eine Reihe von 13 historischen Mundstücken für Naturtrompeten in D untersucht und geblasene Klänge subjektiv und objektiv verglichen². Die dabei verwendeten Mundstücke sind in ihren Außenansichten sowie den inneren Konturen in Abb. 8 und 9 wiedergegeben. Man erkennt die großen Unterschiede vor allem in der Kesselform und der Form und Länge der Hinterbohrung. Für einen groben Vergleich sind die Mundstücke Nr. 4, 10 und 13 ausgewählt und allein sowie mit der Trompete vermessen worden. Die Mundstücke sind durch folgende Konturunterschiede gekennzeichnet:

- Nr.4: kleiner, flacher Kessel; enge zylindrische Bohrung; lange, sich plötzlich erweiternde Hinterbohrung; scharfe Kante am Kesselboden.
- Nr. 10: großer, tiefer Kessel; kurze weite Bohrung; kurze, linear konische Hinterbohrung; sanfter Übergang am Kesselboden.
- Nr. 13: kleiner, flacher Kessel; lange, mittelenge Bohrung; lange, linearkonische Hinterbohrung; scharfe Kante am Kesselboden.

Die dazugehörigen Resonanzkurven sind in Abb. 10 übereinander dargestellt. Man erkennt, daß sich die 1. Resonanzfrequenzen in ihrer Frequenz

lage kaum unterscheiden, wohl aber in ihrer Resonanzgüte, die dadurch gekennzeichnet ist, wie spitz sich das Maximum heraushebt. Im weiteren rutschen die höheren Resonanzen immer weiter von der Frequenz der 1. Resonanz weg, wenn man von Mundstück Nr. 10 über 13 nach 4 weitergeht. Steckt man die Mundstücke auf die Referenztrompete und mißt die Resonanzkurve des kompletten Systems, so erhält man die Ergebnisse der Abb. 11. Um den Einfluß der Lage der Mundstücksresonanzen mit erfassen zu können, sind diese als Pfeile unterhalb der Resonanzkurven eingetragen.

Besonders auffällig sind zwei Erscheinungen. Zum einen sind die Einschnürungen zwischen den Resonanzen bei Mundstück Nr. 10 sehr tief, bei Nr. 13 am geringsten. Zum anderen verläuft die Resonanzüberhöhung im Bereich der 1. Mundstücksresonanz bei Nr. 13 am deutlichsten, bei Nr. 10 am schwächsten. Während die Einschnitttiefe ein Maß für die Resonanzgüte ist, bewirkt die Dominanz der Mundstücksresonanz eine Klangfärbung als Formant. Die Ergebnisse der Resonanzgüteauswertung zeigt Abb. 12; hier liegt das Instrument mit Mundstück Nr. 10 weit über denen mit Mundstück Nr. 4 oder gar Nr. 13. Da die Resonanzgüte hoch mit der Ansprache korreliert ist, kann diese Abbildung bereits als Qualitätshinweis



für die drei betrachteten Mundstücke gelten.

Eine subjektive Beurteilung gespielter Einzeltöne umfaßte die musikalisch-akustischen Eigenschaften Geräuschanteil, Stabilität und Schnelligkeit des Ansprechens aus der Sicht des Zuhörers. Diese Eigenschaften wurden mit den Mundstücksparametern Kesselvolumen, Kesselform, Bohrungsdurchmesser, Form der Hinterbohrung, Frequenz der 1. Resonanz, Frequenz der 2. Resonanz sowie der Resonanzgüte des kompletten Sy-

stems in Zusammenhang gebracht. Die vorstehende Tabelle zeigt die Zuordnung bzw. die Forderungen an die genannten Eigenschaften.

Empfehlungen für Bläser

Die besonderen Untersuchungen zur Problematik der Mundstückswahl lassen eine Reihe von Empfehlungen und Aussagen sinnvoll erscheinen, die dem Bläser helfen können, das geeignete Mundstück für ihr Instrument zu finden:

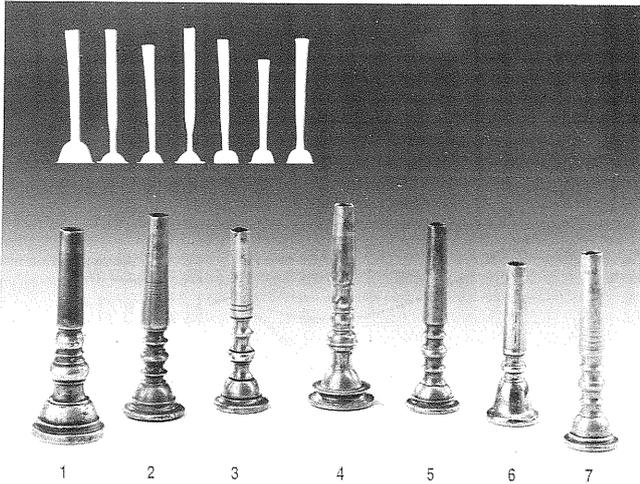


Abb.8: Ansichten der historischen Mundstücke Nr. 1 bis 7

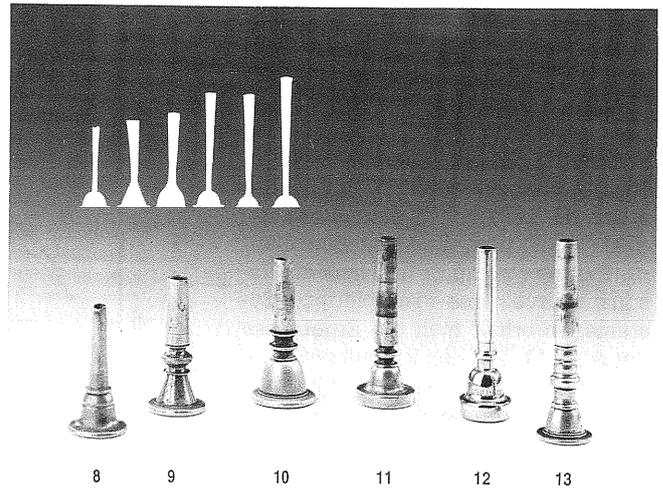


Abb.9: Ansichten der historischen Mundstücke Nr. 8 bis 13

1. Zunächst sollte eine Randform ausgesucht werden, auf der die Lippen ohne Druckgefühl aufliegen können. Dabei ist ein größerer Durchmesser einem kleinen vorzuziehen, auch wenn dadurch die Trainingszeit ansteigen muß. – Viel üben hat noch nie geschadet!
2. Es sollte ein Mundstück ausgewählt werden, dessen 1. Resonanzfrequenz (Klopfen auf Handteller) derjenigen des zusammen mit dem Instrument gelieferten Mundstückes entspricht, weil da-

- mit eine ausgeglichene Intonation sichergestellt ist. Durch Wahl der richtigen Kombination von Kesselvolumen und Bohrungsdurchmesser kann diese 1. Resonanzfrequenz eingestellt werden. Eine Vergrößerung des Kessels erniedrigt die Resonanzfrequenz, eine Vergrößerung der Bohrung hebt sie wieder an.
3. Ein großer und tiefer Kessel erhöht die Stabilität und reduziert die Geräuschanteile, erfordert jedoch leider auch viel Ansatztraining.

4. Eine Vergrößerung der Bohrung erhöht die Stabilität und fördert die Ansprache im hohen Register. Wird die Bohrung jedoch zu weit – in Relation zum Kesselvolumen – dann nimmt der Geräuschanteil wieder zu (Rauhigkeit).
5. Der Abstand zwischen der 2. und 1. Mundstücksresonanz sollte möglichst groß sein – größer als 3!
6. Je deutlicher die Tonhöhe beim Anklopfen des losgelösten Mundstückes zu hören ist, umso höher ist die Resonanzgüte und desto leichter fällt die Ansprache aus.

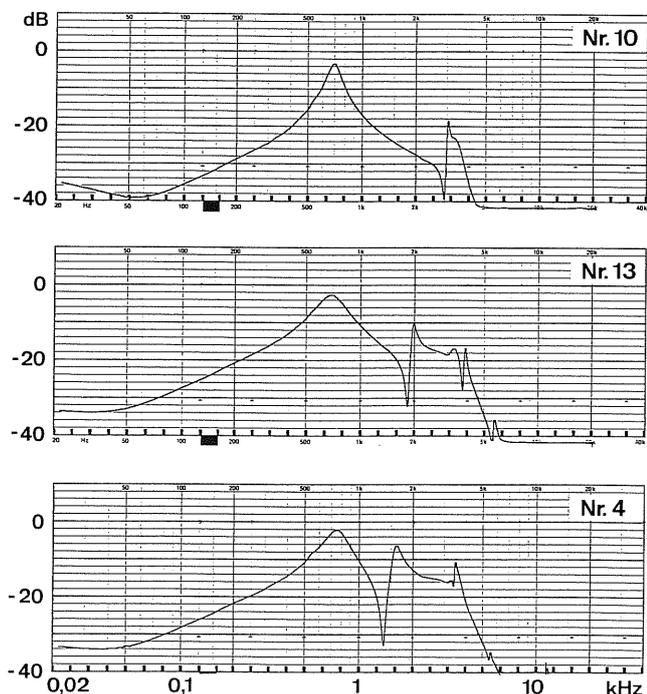


Abb.10: Resonanzkurven für die Mundstücke Nr. 10, 13, 4.

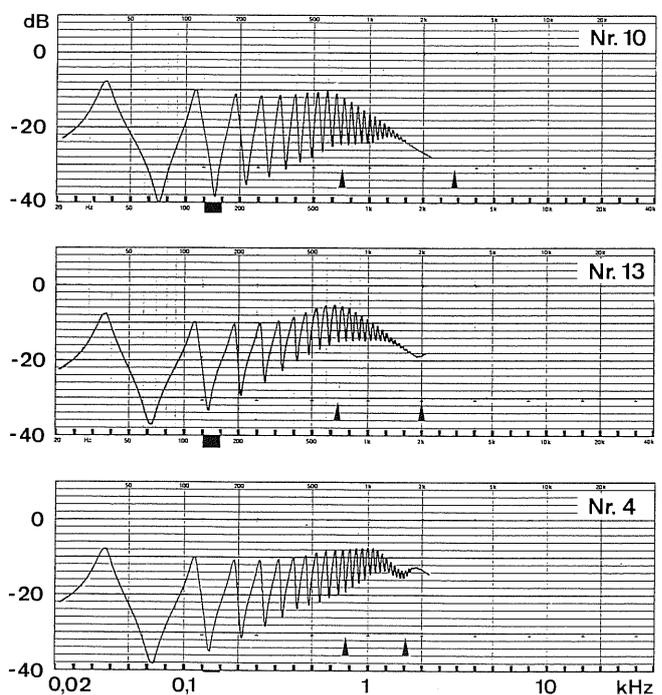


Abb.11: Resonanzkurven der Naturtrompete mit den Mundstücken Nr. 10, 13, 4.

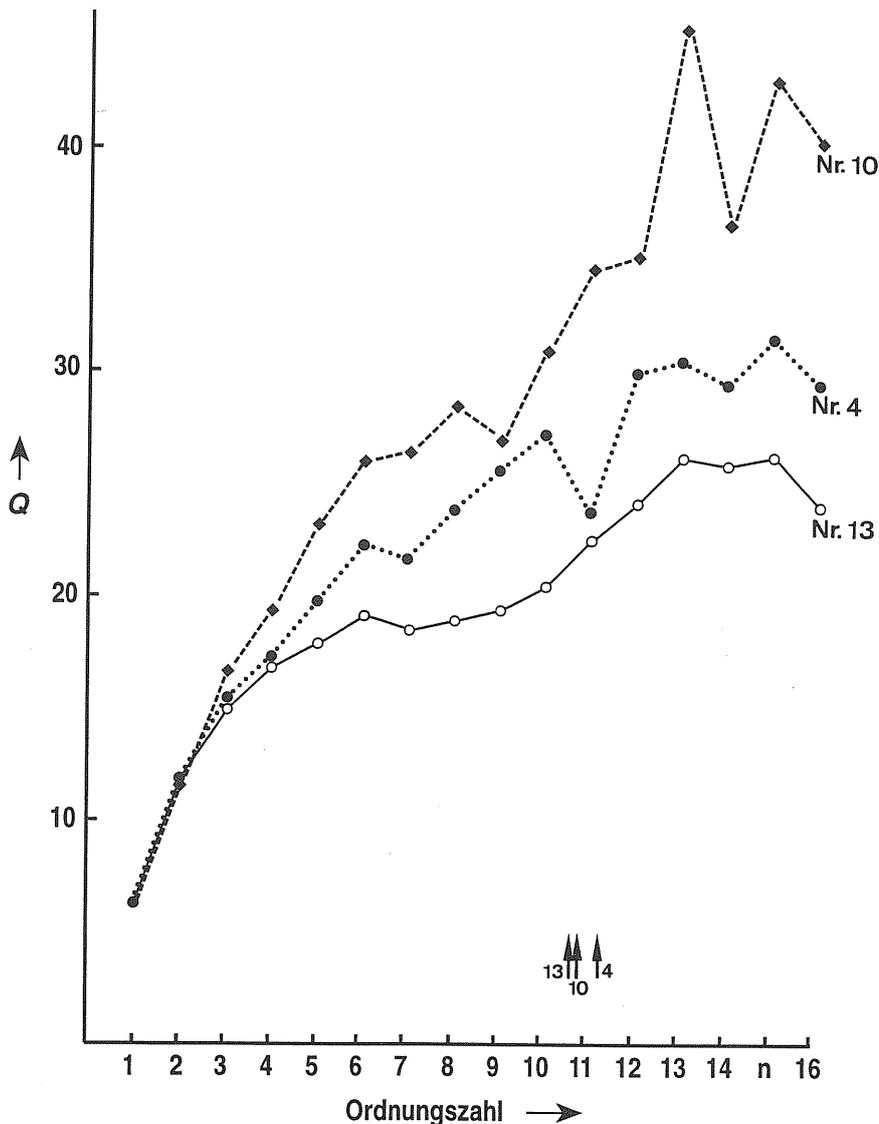


Abb. 12: Verlauf der Resonanzgüten der Naturtrompete mit den Mundstücken Nr. 10, 13, 4.

7. Enge und lange zylindrische Bohrungen sind zu vermeiden, denn sie fördern Geräusch und Instabilitäten und verschlechtern die Ansprache.
8. Die Hinterbohrung sollte sich gleichmäßig und sanft erweitern, d. h. der Konus sollte linear verlaufen und keine plötzlichen Erweiterungen aufweisen.
9. Das Mundstück sollte möglichst nicht zu lang sein; 8 cm erscheinen als ein sinnvoller Kompromiß.
10. Der Übergang vom Kessel in die Bohrung – häufig auch Seele oder Knospe genannt – sollte sanft und gleichmäßig verlaufen. Damit verbessert sich vor allem die Stabilität.

Mit diesen Ergebnissen kann man auf objektivem Hintergrund dazu beitragen, die oftmals hitzigen Diskussionen in Bläserkreisen sachlicher zu gestalten und unsicheren Bläsern ein Hilfsmittel an die Hand zu geben, das richtige Mundstück zu finden. Daß die richtige Eindringtiefe des Mundstückes in das Mundrohr sowie ein schlackkerfreier Sitz eine absolute Voraussetzung sind, braucht hier nicht näher erläutert zu werden.

Literaturverzeichnis

¹ Wogram, K.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten. Diss. TU-Braunschweig, 1972

² Wogram, K.: Die akustische Bedeutung des Mundstückes bei Naturtrompeten. Fortschritte der Akustik, DAGA'90, S. 583-586