



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Die Akustik der Posaune“

Verfasser

Ewald Edtbrustner

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag.phil.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 316

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Diplomstudium Musikwissenschaft

Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter

Inhaltsverzeichnis

	Einleitung	3
1	Die Geschichte der Posaune	4
1.1	Frühformen.....	4
1.2	Die Zugvorrichtung.....	6
1.3	Nomenklatur.....	8
1.4	Entstehung.....	9
1.5	Nürnberg: Blütezeit.....	10
1.6	Krise im 18. Jahrhundert.....	11
1.7	Das 19. Jahrhundert.....	13
1.8	Die moderne Posaune.....	16
1.9	Zusammenfassung.....	17
2	Die Konstruktion der Posaune.....	19
2.1	Mundstück.....	20
2.2	Zugteil	22
2.3	Zugpositionen und Stimmung.....	24
2.4	Hauptstimmzug, Stimmbögen, -rohre	26
2.5	Schallstück (Schalltrichter, Stürze).....	28
2.6	Bohrung und Mensur.....	30
2.7	Ventile bei (Zug-)Posaunen	33
2.8	Tonumfang	33
2.9	Dämpfer.....	36
2.10	Unterschiedliche Bauarten: Die Posaunenfamilie.....	37
2.10.1	Die Kontrabassposaune.....	38
2.10.2	Die Sopranposaune	39
2.10.3	Kuriositäten im Posaunenbau.....	40
3	Die Akustik der Posaune	41
3.1	Impedanzmessungen	45
3.2	Mundstück und Bläserlippen.....	50
3.3	Einschwingvorgang.....	52
3.4	Quasistationärer Teil	53
3.4.1	Obertonspektrum.....	53
3.4.2	Formanten	54
3.4.3	Wandschwingungen	56
3.4.4	Geräuschanteile.....	56
3.4.5	Dynamikbereich	57
3.5	Akustische Funktion von Dämpfern	60
3.6	Der Vokaltrakt.....	61
3.7	Abstrahlcharakteristik	65
3.8	Der Einflussfaktor Raum.....	68
3.9	Zusammenfassung.....	71

4	Zukünftige Forschungen.....	73
5	Literaturverzeichnis.....	75
	Zusammenfassung	81
	Lebenslauf	82
	Ehrenwörtliche Erklärung	83

Einleitung

Wie entsteht der Klang in meinem Musikinstrument? Wie ist er zusammengesetzt? Weshalb unterscheidet sich der Klang von dem anderer Instrumente? Wie kann ich ihn beeinflussen? Welche Teile erfüllen welche Aufgabe in der Klangproduktion?

Bei intensivem Auseinandersetzen mit einem Musikinstrument stellt man sich früher oder später diese oder ähnliche Fragen. Durch Beschäftigung mit der musikalischen Akustik werden diese beantwortet und oft gleichzeitig neue Fragen aufgeworfen. Da dieses Forschungsfeld seit Beginn des Computerzeitalters stark expandiert und monatlich neue Erkenntnisse veröffentlicht werden, ist es nicht einfach in kurzer Zeit einen Überblick über den gegenwärtigen Forschungsstand zu erlangen. Diese Arbeit soll dies vereinfachen. Es wird die akustische Funktion der Posaune erklärt und ein Einblick in aktuelle Forschungen gegeben. Am Ende werden Fragen und mögliche Strategien für weiterführende Forschungen formuliert.

Der folgende Text wird vor allem Posaunisten ansprechen, die das Wissen über ihr Instrument erweitern wollen. Am Beginn stehen zwei Abschnitte zur Geschichte und Konstruktion, um Posaunisten den Einstieg in das komplexe Thema der Akustik zu erleichtern und andere Leser zuerst mit dem Instrument vertraut zu machen. Zur weiteren Vertiefung kann das 2006 erschienene Buch von Trevor Herbert¹ und die Website <http://kimballtrombone.com>² empfohlen werden, welche die wohl umfangreichste Sammlung an überlieferten Wort- und Bilddokumente enthält. Für Grundlagenwissen und praxisrelevante Informationen zur Akustik bieten sich Publikationen von Hall³ und Meyer⁴, sowie speziell für Blechbläser untenstehende Internetquelle⁵ an.

¹ Herbert, Trevor (2006): The Yale Musical Instrument Series. The Trombone, Yale.

² <http://kimballtrombone.com/trombone-history-timeline/> (abgerufen am 30.1.2013)

³ Hall, Donald E. (2008): Musikalische Akustik. Ein Handbuch, Mainz.

⁴ Meyer, Jürgen (2004): Akustik und musikalische Aufführungspraxis, 5. Auflage, Bergkirchen.

⁵ <http://www.phys.unsw.edu.au/jw/brassacoustics.html>

1 Die Geschichte der Posaune

1.1 Frühformen

Präparierte, hohle Tierhörner waren die früheste Form von Blasinstrumenten, die Menschen durch Schwingen ihrer Lippen, d. h. deren schnelles periodisches Öffnen und Schließen, zum Klingen anregten (Dullat 1989, 20). Die Bezeichnung Horn für ein modernes Metallblasinstrument zeugt noch heute von diesem Ursprung (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 14). Auch wird der Begriff im weitesten Sinn auf verschiedene Blasinstrumente, im speziellen Blechblasinstrumente, angewandt (Meucci 2001, 709) (Dullat 1989, 22).

In der Bronzezeit begann man Instrumente aus Metalllegierungen mit hohem Kupfergehalt zu fertigen. Zunächst wurden sie in Form und Größe entsprechend dem Vorbild der Tierhorn-Instrumente gegossen. Die Technik Bleche zu schlagen und daraus Rohre zu formen war noch nicht bekannt. Auch die Erfindung von Mundstücken aus Metall ist in diese Zeit einzuordnen. Diese wurden neben Luren gefunden und zeigen die noch heute charakteristische Form mit Kessel, Verengung und Rückbohrung (Baines 1978, 58).

Die S-förmig geschwungenen Luren (vgl. Abbildung 1) erinnern an Mammutstoßzähne (Baines 1978, 58). Ein Hinweis auf die Vorbildwirkung des eiszeitlichen Riesensäugetiers liefert die Tatsache, dass Luren meist paarweise gefunden wurden (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 16). Die in zahlreichen nordeuropäischen Ländern in Gräbern entdeckten Instrumente sind schwierig zu datieren. Als Entstehungszeitraum für die Fundstücke wird 1000 - 600 v. Chr. (Baines 1978, 58) oder zwischen 1500 und 800, für die ältesten um 3000 v. Chr. (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 16) angenommen. Luren wurden aus mehreren Teilen gegossen und aneinandergesetzt (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 17), sind zwischen 160 und 225 cm (Baines 1978, 58) oder 151 und 238 cm (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 16) lang und besitzen „angesetzte Mundstücke, die unseren Posaunenmundstücken ähnlich sind.“ (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 16). Der Innendurchmesser, d. h. die Bohrung, beträgt am Mundstück 5 bis 8 mm (vgl. Tabelle A, Kapitel 2.1) und erweitert sich annähernd gleichmäßig konisch bis zum Rohrende auf 80 bis 90 mm. Die Wandstärke der aus mehreren Teilen zusammengeführten Instrumente schwankt zwischen 0,75 und 1,5 mm.

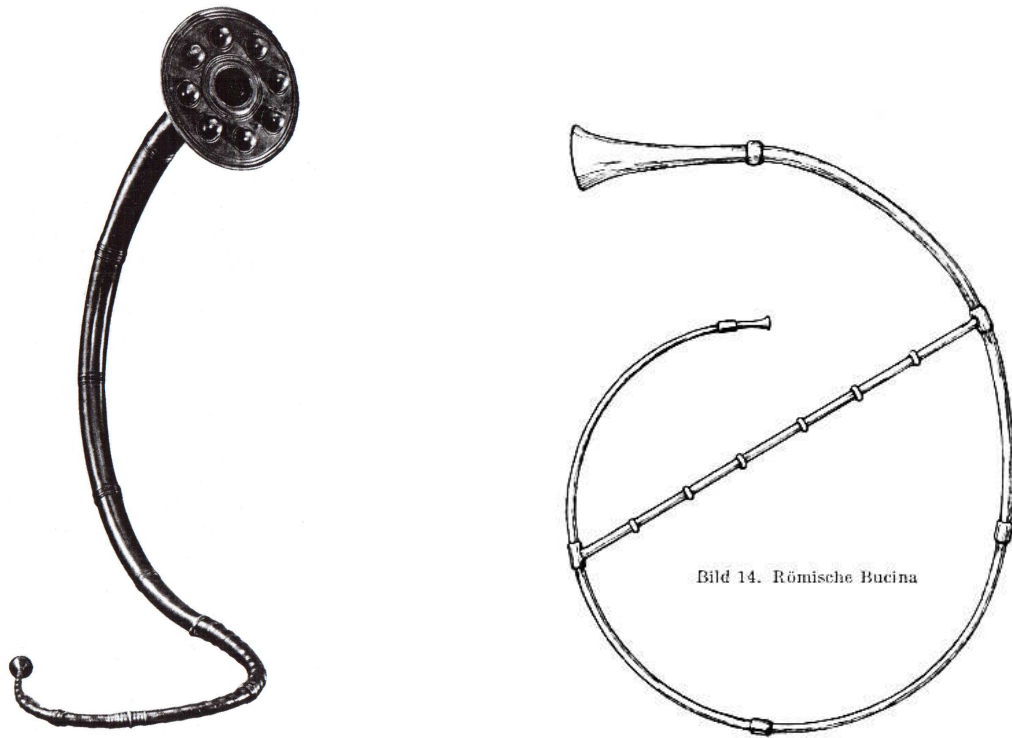


Abbildung 1 (links): Lure (Mc Kinnon 1984, 548)

Abbildung 2 (rechts): römische Bucina (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 19)

Im römischen Kaiserreich (Imperium Romanum) wurden zahlreiche Blasinstrumente aus Metall gefertigt. Unter diesen Instrumenten wie tuba, cornu und lituus besitzt die römische bucina (auch buccina) neben ihrer Wortverwandtschaft auch in der Länge und engen Mensur mit größtenteils zylindrischer Bohrung die deutlichste Ähnlichkeit mit der Posaune. Das römische cornu ist ähnlich lang wie die bucina und ebenso in Form eines C oder G gekrümmt, weist aber einen durchgehend konischen Rohrverlauf auf. Eine Verwandtschaft von Lure und cornu kann deshalb nicht ausgeschlossen werden (Baines 1978, 60).

Nach dem Ende des weströmischen Reichs um 475 n. Chr. dauerte es noch etwa 1000 Jahre bis die Posaune in ihrer heutigen S-förmigen Gestalt mit Zugvorrichtung entwickelt wurde, denn „der verhältnismäßig hohe Entwicklungsstand der Metallblasinstrumente gegen Ende des Altertums blieb im beginnenden Mittelalter leider nicht erhalten. Auswirkungen der Völkerwanderung brachten es mit sich, daß manche Errungenschaft verloren ging. Man kehrte wieder zum Tierhorn zurück, von dem aus dann eine stetige Entwicklung bis in die Gegenwart zu verzeichnen ist.“ (Bahnert; Herzberg; Schramm

1958, 20). Laut Ahrens verwendete man aber weiterhin kurze, sehr konisch verlaufende Metallblasinstrumente (Ahrens 2003a, 368).

Das erste aus dem europäischen Mittelalter bekannte dünnwandige Metallblasinstrument ist die vermutlich aus dem orientalischen Raum stammende Busine (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 22). Dieses erstmals im 11. Jahrhundert literarisch erwähnte trompetenähnliche Instrument war 130 bis 150 cm lang und bestand aus einer geraden zylindrisch verlaufenden Röhre, welche am Ende in einen Schalltrichter aufging (Csiba 2000, 94). Manche Businen waren auch über 2 Meter lang (Mayer Brown 2001, 567). Das aus Messing oder Silber hergestellte Instrument diente zunächst nur als Signalinstrument und wurde bei Hofe oft mit Bannern behängt (Mayer Brown 2001, 567). Die Busine tritt auch in etwas weiterer, stärker konisch verlaufender, meist leicht gebogener Form auf und diente den Instrumentenbauern des Mittelalters als Ausgangspunkt für die folgenden Entwicklungen. Sie kann deshalb als direkter Vorfahre aller in der europäischen Kunstmusik gebräuchlichen Metallblasinstrumente bezeichnet werden (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 22).

1.2 Die Zugvorrichtung

Das charakteristische Merkmal, das die Posaune von den übrigen Blechblasinstrumenten unterscheidet, ist ihre U-förmige Zugvorrichtung. Die Konstruktion einer solchen erfordert die Beherrschung zweier Techniken: erstens das Biegen von Metallrohren für den U-Teil des Außenzugs, und zweitens die Herstellung zweier zylindrischer Rohre leicht unterschiedlichen Durchmessers mit ausreichender Präzision, so dass die beiden Rohre, wenn sie ineinander gesteckt werden, eine möglichst reibungslose Bewegung erlauben und gleichzeitig gut abdichten. Zu welchem Zeitpunkt diese Fertigkeiten erstmalig angewandt wurden, und welche der beiden Techniken zuerst gemeistert wurde, ist nicht genau bekannt.

Das Biegen von Metallrohren ermöglichte eine kompaktere Bauweise, die die Bedienung sowie den Transport der Instrumente erleichterten und den Einsatz längerer Rohre im Instrumentenbau vereinfachten und somit begünstigten. Vor 1300 wurden die meisten Trompeten in gerader Form hergestellt (Herbert 2006, 47). Um 1375 verbreitete sich

zunächst die S-Form, um 1400 die gefaltete Form bei Trompeten (Polk 1989, 395; Polk 1997, 43; Herbert 2006, 49).

Der teleskopartig funktionierende Einzelzug wurde vermutlich im 14. Jahrhundert zum ersten Mal in Trompeten eingebaut, wie die Handhaltung von Trompetern auf Bildern dieser Zeit suggeriert (Dullat 1989, 97; Herbert 2006, 52). Die erste erhaltene Zugtrompete stammt aber erst aus dem Jahr 1651 oder 1646 (Dullat 1989, 97) und wurde von Huns Veit in Naumburg gebaut (Krickeberg 2000, 105), jedoch ist von dieser und anderen Zugtrompeten kein Zug erhalten.

Je nach Länge des Instruments konnte der Spieler den Grundton um bis zu drei weitere Halbtonschritte senken (Herbert 2006, 55), was den spielbaren Tonraum gegenüber Trompeten ohne Zugvorrichtung beträchtlich erweiterte, aber im Bereich unterhalb des vierten Teiltons weiterhin Lücken ließ. Möchte man einen spielbaren Ton um einen Halbton senken, so muss man das Rohr um etwa 6,7% verlängern. Durch diese Proportionalität ergibt sich, dass die Zugpositionen tiefer Instrumente weiter auseinander liegen als die höher gestimmter Instrumente, weshalb bei tiefen Trompeten die Armlänge des Bläfers nicht mehr ausreicht, um den Grundton seines Instruments um drei Halbtöne zu senken. Diese Lage war für ein einzelnes Metallblasinstrument vorerst auch durch die Erfindung des Einzelzugs nicht auf einem einzigen Instrument gänzlich bespielbar. Möglicherweise bestand die Motivation, die zur Entwicklung des Doppelzugs der Posaune führte darin, das tiefe Register mit Blechblasinstrumenten zu erschließen: Gisela und Jozsef Csiba führen die Erfindung des Posaunenzugs auf die Weiterentwicklung der Mehrstimmigkeit zurück: „Der Bass bildet sich als tiefste Stimme im mehrstimmigen Satz der a-capella-Polyphonie der Renaissance-Musik in der zweiten Hälfte des 15. Jahrhunderts heraus und wird zum Harmonieträger. Er erweitert den Tonraum der Vokalpolyphonie zur Tiefe hin. Die Ausführung solcher Bassstimmen ist auf der Zugtrompete nicht mehr möglich (...). Der Doppelzug der Posaune, der – wie seine Bezeichnung schon sagt – jede Zugbewegungsstrecke aufgrund seiner U-Form verdoppelt, halbiert die jeweils notwendigen Zugbewegungen (...).“ (Csiba 2000, 99). Damit war es möglich, ein Instrument der tiefen Lage mit ca. 260 cm Rohrlänge und Doppelzug zu bauen, bei dem die Armlänge ausreicht, den Grundton um sechs Halbtöne zu senken. So gelang es erstmals auf einem Metallblasinstrument alle Töne oberhalb des zweiten Teiltons zu spielen.

1.3 Nomenklatur

Für die im 14. und 15. Jahrhundert entstehenden neuen Blechblasinstrumente gab es je nach Region unterschiedliche Bezeichnungen. Aus heutiger Sicht ist es nicht eindeutig möglich, jedem dieser Begriffe einem eindeutigen Instrumententypus zuzuordnen (Herbert 2006, 51).

Der Ausdruck *Tuba ductilis* wurde in einigen Schriften des 16. und 17. Jahrhunderts gefunden und war seit damals die übliche lateinische Bezeichnung für Posaunen (Baines; Myers; Herbert 1980, 766; Herbert; Wallace 1997, 70). Es wäre naheliegend, dass auch Zugtrompeten so bezeichnet wurden, da die Bauart der römischen *tuba* derjenigen der mittelalterlichen Trompete am nächsten ist. Barocke Trompeten mit Zugvorrichtung wurden *Tromba da tirarsi*, die Ausführung mit etwas kürzerem Zug einfach nur *Tromba* genannt (Csiba 2000, 93).

Der im deutschen Sprachraum gebräuchliche Begriff Posaune entstand aus *buisine*, *busûne* oder *buzaun*. Der gemeinsame Wortstamm *buisine* (Mayer Brown 2001, 567) entsprang wiederum dem lateinischen *bucina* (Guion 1988, 151). Die Bezeichnung Posaune wurde bereits im 14. Jahrhundert verwendet und beschrieb wahrscheinlich große Naturtrompeten (Polk 1989, 393). Als Pusaune wurde möglicherweise auch eine Zugtrompete bezeichnet (Csiba 2000, 98-99).

In Frankreich taucht 1468 der Name *trompette saicqueboute* auf, später wurde sie einfach nur *saqueboute* genannt, in Spanien 1474 *saccabuche* (Baines 1978, 108) und in England *sackbut* (Herbert; Wallace 1997, 69), wovon es zahlreiche Variationen wie *sagbutt*, *sacbut*, *shagbut* gab. Dieser Terminus ist eine Zusammensetzung des französischen *saquer* = Ziehen und französischen *bouter* = Stossen und weist auf die Zugbewegung des Instruments beim Spielen hin (Dullat 1989, 98 f.). Auch hier ist nicht klar, ob die Bezeichnung *saqueboute* ausschließlich auf Posaunen oder auch auf Zugtrompeten angewandt wurde. An französischen Höfen gab es für letztere die Bezeichnung *trompette des ménstrels* (Polk 1989, 394).

In Italien entstand der Begriff *trombone*, der sich von *tromba* ableitet und soviel wie große Trompete bedeutet. "The first instance I know of the term *trombone* in Italy is an entry in Ferrara in 1439 to a 'tuba ductilis ... *trombonus vulgo dictus*'. In 1445 Florence hired a performer of a 'trombone grosso [or] *tromba retorta*'" (Polk 1989, 392; vgl.

Auch Baines 1978, 107). Ab dem 19. Jahrhundert bezeichnet man die Posaune auch im englischen Sprachraum mit dem italienischen trombone (vgl. Kapitel 1.6).

1.4 Entstehung

Über den Entstehungsort der Posaune sind sich die Autoren in ihren Spekulationen nicht einig: Es wird das damalige Burgund, das heutige Südfrankreich, Norditalien oder Deutschland angegeben (Dullat 1989, 97; Ahrens 2003, 1732). Trevor Herbert vermutet: “We do not know exactly when and where the trombone was invented but it is likely to have been in the north“ (Herbert 1997, 70), während in Deutschland festgestellt wird: „Unter den älteren Posaunenmachern ragt ein Hans Meuschel [Neuschel, Druckfehler] in Nürnberg hervor, der um das Jahr 1520 den Posaunenzug erfand und der auch sonst das Instrument vervollkommnete“ (Bahnert, Herzberg, Schramm 1958, 28). Keith Polk merkt an: “One should note that the player in Florence was German, as were the leading wind performers in Ferrara throughout the fifteenth century. We may infer that the ‘trombone’ may have been invented earlier elsewhere (Italian documents suggest Germany) and that it was subsequently brought into Italy” (Polk 1989, 392). In England zeigt sich ein ähnliches Bild: “(...) the first named trombone players associated with the Englishcourt (...) were Hans Broen and Hans Nagle, the latter originated in Leipzig.” (Baines; Myers; Herbert 1980, 767). Später schließt sich Herbert den Meinungen von Polk und Bahnert an und meint, es wäre nicht weit hergeholt den Erfindungsort der Zugvorrichtung in Nürnberg zu finden (Herbert 2006, 63). Zur Verbreitung der Posaune schreibt er: “(...) it is certain, that in the second half of the fifteenth century the trombone was widely used in the courts of mainland Europe (...).“ (Herbert 1997, 70). Dieser Aussage steht die vorsichtigere Feststellung Polks gegenüber: “By shortly before 1450 the double slide principle was known, but performers seem not to have preferred this form until the last years of the century.” (Polk 1989, 395).

Die erste bekannte eindeutige Abbildung einer Posaune findet man auf einem Fresko von Filippino Lippi in der Kirche Santa Maria sopra Minerva in Rom (siehe Abbildung 4). Das 1488-93 entstandene Fresco zeigt die Posaune mit deutlicher Zugvorrichtung samt typischer, moderner Spielhaltung (Baines 1978, 107; Herbert 2006, 60 f.).



Abbildung 3: Teil des Fresko von Filippino Lippi (Herbert 2006, 61)

1.5 Nürnberg: Blütezeit

„Als erstes Zentrum des Posaunenbaus etablierte sich Nürnberg, wo die Fertigung von Posaunen (neben dem sehr viel älteren Handwerk des Trompetenbaus) seit dem ausgehenden 15. Jahrhundert florierte.“ (Ahrens 2003, 1739). Die im 11. Jahrhundert gegründete, im Herzen Mitteleuropas liegende Stadt Nürnberg war bereits am Beginn des 15. Jahrhunderts ein Handelszentrum und bekannt für ihre Metallhandwerkskunst, die durch die gute Rohstoffversorgung in Nürnberg florierte. „Als entscheidendes Kriterium könnte sich der durch einen hochdifferenzierten Metallverarbeitungssektor hervorgerufene Technologievorsprung erweisen, der technisch knifflige Lösungen, wie z.B. einen innenlaufenden Doppelzug bei der Posaune, ermöglichte.“ (Kimbauer 2000, 29). Die Personalunion von Herstellern und professionellen Spielern, die in Nürnberg als Stadtpfeifer und in vielen Zentren Europas tätig waren sicherte den guten Ruf der Nürnberger Instrumente.

Mitte des 15. Jahrhunderts begann die Familie Neuschel in Nürnberg Blechblasinstrumente herzustellen (Herbert 2006, 63-64). Familie Schnitzer, später Hainlein und Ehe (vgl. Abbildung 4) sind weitere große Nürnberger Instrumentenbau-Dynastien des 16. und 17. Jahrhunderts (Baines 1978, 118-119). Nürnberger Posaunen wurden an Höfe in ganz Europa verkauft (Herbert 2006, 65) und von den heute noch erhaltenen Posaunen

aus dem 16. Jahrhundert stammen alle bis auf eine aus der mitteleuropäischen Stadt (Baines 1978, 109). „Wie Johann Christoph Weigel 1698 berichtete, lieferten die Nürnberger Meister ihre Produkte ‚fast an die meisten Kur- und Fürstenhöfe und in großer Menge nach Spanien, Frankreich, Dänemark, Holland, sogar nach Moskau‘ (zit. nach Jahn 1925, S.37).“ (Ahrens 2003, 1739).

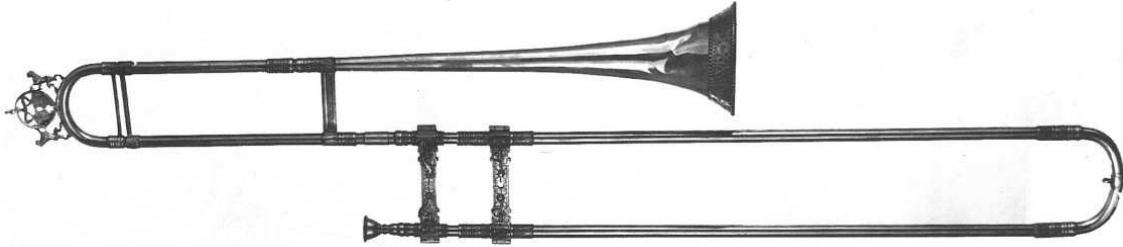


Abbildung 4: Barockposaune, Gg. Ehe, Nürnberg 1619 (Dullat 1989, 221)

1.6 Krise im 18. Jahrhundert

Posaunen wurden zu Beginn des 17. Jahrhunderts in der Kirche, am Hof und bei den Stadtpfeifern regelmäßig eingesetzt. Etwa um 1650 setzte im Großteil Europas ein deutlicher Rückgang im Gebrauch der Posaune ein. Zum Beispiel gab es nach 1700 in Italien nur noch wenige Posaunisten, und die Verwendung von Posaunen in italienischen Werken des 18. Jahrhunderts konnte bisher nicht sicher nachgewiesen werden (Guion 1988, 161). Im deutschen Raum wird der Rückgang bereits zu Beginn der 18. Jahrhunderts dokumentiert, wie Mattheson schreibt: „Es sind der Posaunen große und kleine (...) welche vor sich selbst ein vollständiges Chor ausmachen können / aber außer in Kirchen-Sachen und Solennitäten sehr wenig gebraucht werden.“ (Mattheson 1713, 266 f.). Dies stimmt mit Moritz Fürstenaus Aussage aus dem Jahr 1719 überein: „Posaunen wurden nur noch in der Kirche gebraucht und kamen auch da immer mehr in Abnahme.“ (Csiba 2000, 99). Die Posaune geriet auch in England außer Gebrauch, sodass es 1784 beim Handel Festival in England fast unmöglich war Posaunisten zu finden (Guion 1988, 144). Man hatte die Existenz von Posaunen in England weitgehend vergessen: „Burney appears to have believed it to be an entirely new instrument (...).“ (Baines; Myers; Herbert, 766). Herbert geht sogar so weit zu sagen: “There was probably not a single native-born trombone player in the British Isles for almost the entire eighteenth century.” (Herbert 2006, 110). Die Posaune wurde im England des 19. Jahr-

hunderts als trombone neu entdeckt. Es wurde der italienische Name übernommen, denn die im 16. und 17. Jahrhundert gebräuchliche Bezeichnung sackbut war wie das Instrument vergessen. Heute werden im englischen Sprachraum Renaissance- und Barockposaunen wieder mit sackbut, moderne Posaunen weiterhin mit trombone bezeichnet. Englisch ist somit die einzige Sprache, in der sich – durch Zufall – ein eigener Begriff für die moderne Posaune etabliert hat.

Die Gründe für den Rückgang in der Verwendung von Posaunen sind nicht vollständig geklärt. Die Musik wurde im 17. und 18. Jahrhundert stark vom höfischen Absolutismus bestimmt. Die Posaune war seit ihrer Entstehung einerseits als religiöses Symbol und Instrument der Kirche bekannt, andererseits beispielsweise durch die Stadtpfeifer auch beim Volk bekannt. Im aristokratischen Milieu des 18. Jahrhunderts hat sich die Posaune nie etablieren können. Am Hofe bevorzugte man Streichinstrumentenklänge: „The most obvious is a change in taste which favoured more homogenous sonorities, particularly after the fashion of the string orchestra of the French court.“ (Baines; Myers; Herbert, 771).

Auch die Einsatzmöglichkeiten der Posaune wurden eingeschränkt: Die colla-parte-Praxis wurde weitgehend aufgegeben und in Oper und Sinfonie wurde die Posaune sehr selten eingesetzt (Ahrens 1987, 94). Schubart schrieb in seinen Ideen zu einer Ästhetik der Tonkunst: „Die Katholiken in Deutschland allein begünstigen indeß dieß Instrument noch, und wenn nicht in Wien Rath geschafft wird; so müssen wir fürchten, solches allmählig ganz zu verlieren.“ Und weiter: „Da sie heutiges Tages so verabsäumt wird, und man nur armseligen Zinkenisten die Ausübung überlässt, so sollten unsere Musiklenker vorzüglichen Bedacht darauf nehmen, dieß göttlich autorisirte Instrument wieder zu wecken; Genies für sie zu beflügeln, und dadurch der Posaune den Donnerton wiederzugeben, den sie zu Salomos Zeiten hatte. Inzwischen gibt es doch noch jetzt sonderlich in Sachsen und Böhmen treffliche Posaunisten.“ (Schubart 1806, 315-317). Nach Schubarts Ansicht gab es also Bereiche bzw. Regionen, in denen Posaunen noch verwendet wurden. Das bestätigt auch der heutige Forschungsstand: „Die Situation im 18. Jahrhundert war regional unterschiedlich. Während im protestantischen Mitteldeutschland sowie in Süddeutschland Posaunen häufig, wenn auch in unterschiedlicher Weise verwendet wurden, waren sie in der Hamburger Oper nicht besetzt.“ (Ahrens 2000, 86).

Ein Spezialfall des Posaunengebrauchs im 18. Jahrhundert war Wien. Hier blieb die Posaune das ganze Jahrhundert über in Verwendung, auch solistisch: Georg Christoph Wagenseil schrieb um 1760 ein Concerto für Altposaune, ein anderes erschien 1769 von Johann Georg Albrechtsberger (Guion 1988, 133; Carter 2000, 56). Dass Mozart 1783 in der Messe c-Moll KV 427 sogar für die zu jeder Zeit seltene Diskantposaune schreibt (Ahrens 2003, 1737), zeugt ebenfalls von der Existenz versierter Posaunisten in Wien.

1.7 Das 19. Jahrhundert

Die Posaune in der Oper

Monteverdi besetzte in seiner Oper Orfeo 1607 Posaunen, aber nach der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurden Posaunen nicht mehr für Opern verwendet. Gluck schrieb mit Orfeo ed Euridice 1762 wieder einen Posaunenpart. Es folgte Mozart mit Don Giovanni, Idomeneo und der Zauberflöte (Guion 1988, 229), welche wie Glucks Orfeo alle in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhundert in Wien geschrieben wurden. Mozarts Beispiel folgten bald andere Komponisten und so waren in 40 von insgesamt 86 zwischen 1790 und 1806 in Frankreich komponierten Opern Posaunen vorgeschrieben (Ahrens 2003, 1742).

Die Posaune in der Symphonie

Ludwig van Beethoven setzte als einer der ersten Komponisten Posaunen in der Gattung der Symphonie ein (Guion 1988, 135). Er besetzte sie in seiner 5., 6. und 9. Symphonie und schrieb die Stimmen einfach und traditionell: Neben getragenen Tonfolgen, Akkorde, Haltetöne und colla-parte-Führung mit den Singstimmen bestand die Aufgabe der Posaunen vor allem im Anheben der Gesamtlautstärke (Guion 1988, 136). Franz Schubert geht in seinen Symphonien einen Schritt weiter. Der Gebrauch in den Symphonien Nr.7 h-Moll (D 759, 1822) und Nr.8 C-Dur (D 944, ?1825-1828) markiert einen Wendepunkt in der Behandlung von Posaunen in Symphonien: „Erstaunlich ist dabei insbesondere, dass der Komponist die Posaunen gerade nicht für große Finalsteigerungen aufsparte, sondern sie jeweils auch im langsamen Satz sowie in Abschnitten mit geringer Lautstärke verwendete.“ (Ahrens 2003, 1742).

Neuer Aufschwung nach der Krise

Um die Jahrhundertwende beginnt in ganz Europa ein neuer Aufschwung was die Verwendung des Instruments anbelangt. Die Zahl an versierten Posaunisten war aber vorerst noch gering: „1799 musste in Leipzig die Solopartie im Tuba mirum des Requiems von W. A. Mozart auf einem Fagott ausgeführt werden.“ (Ahrens 2000, 90). Und auch bei einer Aufführung in Berlin musste ein Horn das Solo übernehmen (Guion 1988, 155). „Posaunisten gehörten teilweise bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts nicht zum etatisierten Orchesterpersonal, sondern wurden von außen geholt.“ (Ahrens 2000, 91). Ahrens meint damit offensichtlich Militärkapellen, in denen Posaunisten eine feste Anstellung hatten. Zu Beginn des 19. Jahrhunderts fanden gleichzeitig mehrere Prozesse statt: Die Entwicklung neuer Arten von Blechblasinstrumenten, die weitere Mechanisierung in der Herstellung und dadurch mögliche Massenproduktion der Instrumente, und eine enorm gesteigerte Verwendung von Blechblasinstrumenten wie beispielsweise in den neu gegründeten Militärkapellen, Blasmusiken und den Brass Bands in England (Baines; Myers; Herbert 1980, 771 f.).

Das Ventil für Blechblasinstrumente

Alle Instrumente wurden im 19. Jahrhundert weiterentwickelt, die Posaune sogar am geringsten. Die größte Auswirkung im Bereich der Blechblasinstrumente hatte die Erfindung des Ventils, „als Heinrich Stölzel und Friedrich Blühmel von den Wasser- und Luftleitsystemen im Bergbau sich anregen ließen, einen ähnlichen Mechanismus für Blechblasinstrumente zu entwickeln“ (Ahrens 1987, 112). Beide hatten offenkundig unabhängig voneinander um 1814 einen Ventilmechanismus erfunden und am 12. April 1818 ein Patent auf das Pumpen- oder Piston-Ventil erhalten. Jetzt war der Weg frei für eine Modernisierung aller Blechblasinstrumente, die nicht wie die Posaune lückenlos chromatisch einsetzbar waren (Ahrens 1987, 97). 1832 konstruierte Josef Riedl in Wien das Drehventil, das neben dem Pumpenventil heute am häufigsten verwendet wird (Suppan 1988, 44) (Ahrens 1987, 108).

Das Stölzel Ventil wurde nicht nur in Trompeten und Hörnern eingebaut, sondern regte die Instrumentenbauer auch zu eigenen Kreationen an, sodass innerhalb weniger Jahre nach dessen Erfindung neue VentilBlechblasinstrumente in den verschiedensten Formen und Größen entstanden. Zentren dieser Entwicklung waren Frankreich und Deutschland (Myers 1997, 126 f.). Die neuen Instrumente wiesen eine erweiterte Mensur auf (Ahrens

1987, 110), d. h. das Rohr beginnt meist gleich nach dem Ventilblock sich konisch zu weiten. Der Rohrverlauf bei den eng mensurierten Trompeten, Posaunen und Hörnern ist hingegen größtenteils zylindrisch (vgl. Kapitel 2.6). Die neuen Instrumente erhielten Bezeichnungen wie Bass Trompete, chromatisches Basshorn, Bass Tuba oder Tenortrompetenbaß. Letzteres ist ein Vorläufer des Tenorhorns (Ahrens 1987, 110). Der Bass Tuba gelang es als einziges dieser Instrumente in die moderne Orchesterbesetzung: “The most important completely new instrument resulting from the valve’s emancipation of bore profiles was the Bass Tuba, the name first used by Wieprecht in 1835 for a wide-bore model valved bass in 12ft. F.” (Myers 1997, 126 f.).

Schließlich wurde auch die Posaune zum Ventil-Instrument umgebaut, indem die S-Form zwar beibehalten, aber der Zug durch einen Ventiltail ersetzt wurde. Die ersten Ventilposaunen gab es bereits Ende der 1820er Jahre in Prag oder Wien (Baines 1978, 248). Sie konnten sich rasch ausbreiten und vor allem beim Militär die Zugposaunen verdrängen. Dort wurden Ventilposaunen wegen ihrer größeren Robustheit und besseren Handhabung beim Marschieren und Reiten bevorzugt (Ahrens 2003, 1745) (Dullat 1989, 101).

“The valve trombone stood in serious opposition to the slide instrument among professional orchestral players in Vienna for forty years, and even longer in Italian and Czech orchestras (...).” (Herbert 2006, 191). Im Orchester konnte sich die Ventil-Posaune aber auf Dauer nicht durchsetzen, und in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts begannen Orchestermusiker wieder zur traditionellen Form der Posaune mit Zugvorrichtung zu wechseln (Herbert 2006, 191) (Ahrens 2003, 1745). Die Ventilposaune bot Vorteile in der Handhabung und der Bewältigung schneller Passagen, aber mit der Zugposaune war besseres Artikulieren und ein offenerer Klang bei gleichzeitig perfekter Reinheit der Intonation möglich (Herbert 2006, 191). Somit ist die Zugposaune prädestiniert für das Klangideal der europäischen Kunstmusik. Ventilposaunen werden seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts der Unterhaltungsmusik zugeschrieben und gelten vorwiegend als “band instrument” (Herbert 2006, 191). Sie sind heute nur noch selten in Gebrauch. Die einzige Sparte in der sie sich als alternative Soloinstrumente etablieren konnten ist der Jazz: “The valve trombone has found its most eloquent voice in jazz.” (Herbert 2006, 193).

1.8 Die moderne Posaune

Posaunen wurden seit dem 16. Jahrhundert in verschiedenen Stimmungen gebaut (vgl. Kapitel 2.9). Als die Posaune zu Beginn des 19. Jahrhunderts wieder weitere Verbreitung fand, verdrängte die Tenorposaune die Alt- und Bassposaune in Frankreich (Guion 1988, 8), sodass um 1830 alle drei Stimmen im Orchester normalerweise von Tenorposaunen gespielt wurden (Baines 1978, 242). Berlioz erwähnt 1844 in seiner Instrumentationslehre die Existenz von vier Arten von Posaunen, von welchen in französischen Orchestern nur zwei verwendet wurden: Die Tenorposaune sei „unstreitig die beste von allen“ (Berlioz 1905, 321) und am häufigsten in Gebrauch, die Altposaune wurde hingegen nicht in allen Orchestern besetzt (Berlioz 1905, 321).

Auch Richard Wagner verzichtet im Lohengrin auf die Verwendung der klangdünnen Altposaune und schreibt schon im Ring die von C. F. Sattler in Leipzig 1839 entwickelte Quartventilposaune oder Tenor-Baßposaune für die 2. und 3. Stimme vor (Weber 1978, 567). Sattler fügte der Tenorposaune ein Ventil hinzu, was einige spieltechnische Vorteile ähnlich der Ventilposaune brachte, aber im Klang und Intonation nur unmerklich beeinträchtigte. Durch Betätigen des Ventils wird die Grundstimmung um eine Quart von B auf F gesenkt, was eine Erweiterung des Tonumfangs in die Tiefe ermöglicht und die Lücke zwischen E und den Pedaltönen, d. h. Kontra B abwärts fast zur Gänze schließt (vgl. Kapitel 2.7).

Um die neu erschlossene tiefe Lage leichter bespielbar zu machen und das Klangvolumen in der Basslage zu steigern, baute Sattler die Tenor-Baßposaune in größeren Proportionen (Herbert 2006, 23). Diese neue Posaunen-Generation wurde laut Weber erstmals 1853 von V. F. Czerveny in Königgrätz gebaut, und erreichte sehr schnell Deutschland, Österreich und slawische Länder, während man in Westeuropa noch bis nach 1945 an der alten schlanken Mensur der Renaissance- und Barockposaunen festhielt (Weber 1978, 566 f.). „Die deutsche Posaune – ein erst im 19. Jahrhundert aufkommender Typus romantischen Ursprungs, ist eine im Klangvolumen vergrößerte Posaune (...)“ (Weber 1978, 566). Die heutige amerikanische Posaune ist der Mensur nach eigentlich eine deutsche Posaune der Romantik. Amerika war laut Weber das erste westliche Land, das die weite deutsche Posaune übernahm und nachbaute. Deutsche Auswanderer prägten das Klangbild der Orchester der USA als Musiker und auch als Instrumentenbauer. So schrieb der 1890 in Österreich geborene, ab den 1920er Jahren in

den USA als Instrumentenbauer erfolgreich tätige Vincent Bach zu seiner Tenorposaune Stradivarius 42B: “a dark, compact tone with a german character ...“ (Weber 1978, 568). Die deutsche Posaune, wie sie erstmals Sattler oder Czerveny bauten, wurde in den USA zur modernen Posaune weiterentwickelt (Baines; Myers; Herbert 1980, 773). Nach dem zweiten Weltkrieg kam diese moderne Bauart deutschen Ursprungs von den USA aus nach England und Frankreich, wo sie ab den frühen 1950er Jahren erstmals in Orchestern Verwendung fand (Herbert 2006, 24), nachdem sie in den USA seit den 30er Jahren in Gebrauch war (Baines 1978, 246).

Die dynamische Unterlegenheit der engen Bauart mit kleiner Bohrung und kleinem Schallstückdurchmesser wurde durch den modernen Posaumentypus ausgeglichen. Die Kombination von Zug und Quartventil brachte technische Vorteile und erweiterte den Tonumfang der Posaune zum größten unter den Blechblasinstrumenten (Ahrens 2003, 1748) (vgl. Kapitel 2.8) bei gleichzeitiger Beibehaltung der Originalität und Reinheit in der Intonation. „Da sie zudem im Hinblick auf die Klangqualität und die Art der Tonverbindung die stärksten Ähnlichkeiten mit der menschlichen Stimme und überdies eine bedeutende klangliche und dynamische Vielfalt aufweist, avancierte die Posaune in der avantgardistischen Musik nach 1950 zum wichtigsten aller Blechblasinstrumente“ (Ahrens 2003, 1748). Dieselben Gründe führten auch dazu, dass die Posaune ein fixer Bestandteil der Jazzmusik wurde (Herbert 2006, 263).

1.9 Zusammenfassung

Die um 1000 vor Christus im nördlichen Europa verwendete Lure wurde mit einem Mundstück geblasen, dessen Maße denen heutiger Posaunenmundstücke nahe kommen. Da auch die Gesamtrohrlänge nicht allzu weit von der der Tenorposaune abweicht, kann die Lure als deren Vorfahre angesehen werden. Die heutige S-Form mit Zugvorrichtung entstand jedoch erst im 15. Jahrhundert, nachdem etwa 100 Jahre zuvor im mittelalterlichen Europa das Rohrbiegen und das Prinzip der teleskopartigen Zugvorrichtung entwickelt wurden. Nach einer ersten Blütezeit im 16. Jahrhundert, die maßgeblich vom Nürnberger Instrumentenbau geprägt wurde, geriet die Posaune gegen Ende des 17. Jahrhunderts weitgehend außer Gebrauch. Erst im 19. Jahrhundert wurde sie, von Neu- und Weiterentwicklungen im Instrumentenbau unterstützt, wieder häufiger verwendet: Durch die Erfindung des Ventils für Blechblasinstrumente entstanden Brass Bands, Mi-

litär- und Blaskapellen, und Komponisten besetzten Posaunen regelmäßig in ihren Orchesterwerken. Obwohl die Ventilposaune im Laufe des 19. Jahrhunderts die Zugposaune zu verdrängen schien, blieb vorwiegend aus klanglichen Gründen die Zugvorrichtung bis heute erhalten, wenngleich heute gebräuchliche Zugposaunen meist ein zusätzliches Ventil besitzen. Die Entwicklung der modernen Posaune ging im 19. Jahrhundert von Deutschland aus und wurde in den USA weitergeführt, von wo aus sie im 20. Jahrhundert auf der ganzen Welt verbreitet wurde. Sie unterscheidet sich wesentlich von älteren Instrumenten durch ihre weitere Bauart.

2 Die Konstruktion der Posaune

Die Posaune wird seit ihrer Erfindung aus drei Hauptbestandteilen zusammengesetzt: Schallstück, Zug und Mundstück (Herbert 2006, 14). Der Zugteil wurde mit dem Schallstückteil zunächst nur durch festes Zusammenstecken der passgenauen Rohre zusammengehalten. Bei modernen Posaunen ist an der Verbindungsstelle (siehe Abbildung 5, Ziffer 2) ein Gewinde mit Schraube installiert, das ein Auseinanderfallen des Instruments verhindert (Herbert 2006, 15). Das Schallstück (1) mündet in den Schallstück-Bogen (4), in den der Stimmzug integriert ist. Der Zug (8) besteht aus dem H-förmigen Innenzug und dem U-förmigen Aussenzug (Abbildung 6), der am Zugbogen (9) mit Zugstopper (10), meist aus Gummi, und Wasserklappe (11) ausgestattet ist. Das Mundstück (5) wird ohne Gewinde in das Zugrohr eingesetzt.

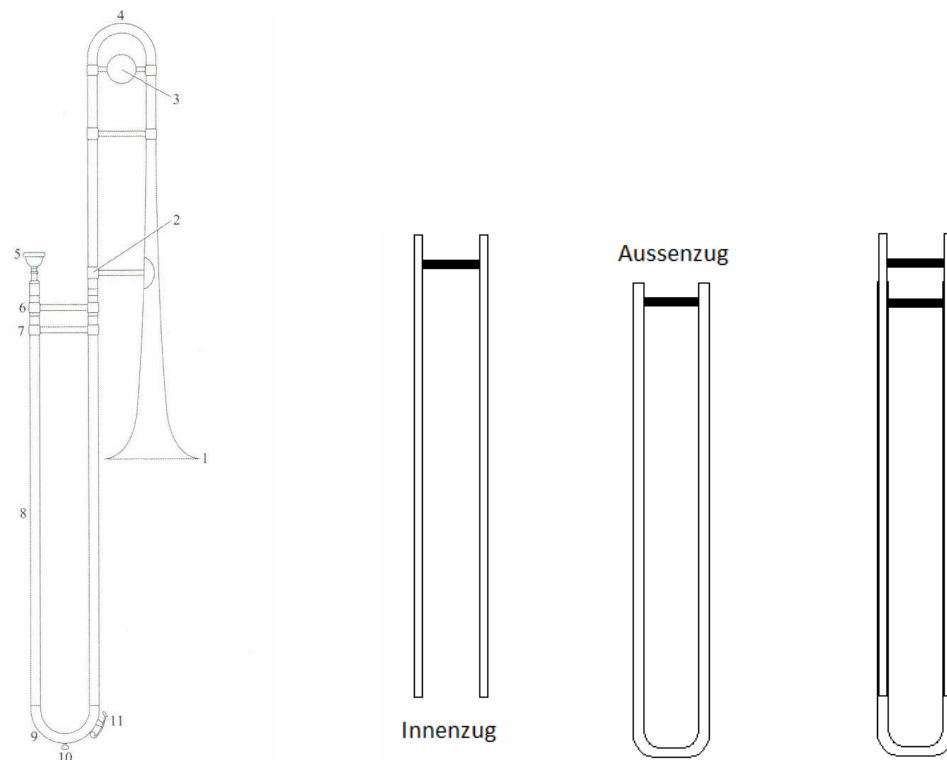


Abbildung 5 (links): schematische Skizze einer modernen Posaune (Herbert 2006, 13)

Abbildung 6 (rechts): schematische Darstellung des Zugteils

Neben dem Quersteg des Innenzugs (6) und dem des Außenzugs (7) wird am Schallstückteil mindestens ein weiterer Quersteg eingesetzt, um das lange, gebogene Metallrohr zu stabilisieren. Bei Posaunen ohne Quartventil ist am obersten Quersteg oft ein

Gewicht (3) angebracht, das die Gewichtsbalance beim Spielen ausgleichen soll (Baines, Myers, Herbert 1980, 762) und durch schwingungsdämpfende Wirkung möglicherweise Auswirkungen auf die Tonansprache und den Klang hat. Die Querstege, auch Stützen oder Brücken genannt (Ahrens 2003, 1733), waren bis ins späte 18. Jahrhundert flach und meist verziert. Ab dem 17. Jahrhundert begann man runde, durch teleskopisches Ausziehen leicht in der Länge anpassbare Stege einzusetzen (Herbert 2006, 24). Um 1800 wurden sie durch fest verlötete zylindrische Stege ersetzt (Baines; Myers; Herbert 1980, 772). Die runden Querstege ermöglichten eine einfachere Spielhaltung, bei der die Finger um den Quersteg des Innenzugs greifen. Bei sehr frühen Instrumenten waren die Teile nur zusammengesteckt (vgl. Abbildung 7) oder durch Wachs zusammengehalten, später wurden sie fest verlötet (Barclay 1997, 35; Herbert 2006, 14).



Abbildung 7: Quersteg eines Tenorposaunenzugs von Seb. Hainlein II, Nürnberg 1642
(Dullat 1989, 217)

2.1 Mundstück

Posaunenmundstücke werden oft wie die Trompetenmundstücke als kesselförmig eingeordnet, wogegen das Hornmundstück als trichterförmig klassifiziert wird (Michels 1998, 47). Im 19. Jahrhundert war das Posaunenmundstück aber eher eine große Version des Hornmundstücks, also mit tiefem Kessel und trichterförmigem Verlauf (Baines; Myers; Herbert 1980, 763). Auch Gregory merkt an, dass frühe Posaunen zumindest

manchmal mit trichterförmigen Mundstücken gepaart wurden (Gregory 1973, 30). Ahrens stimmt damit überein, merkt aber an, dass heute kesselförmige Mundstücke mit engerer Bohrung und relativ weichen Rundungen des Kessels bevorzugt werden. (Ahrens 2003, 1735).

Mundstücke wurden zumeist aus Messing gefertigt, aber auch Mundstücke aus Elfenbein und verschiedenen Holzsorten waren bis ins 19. Jahrhundert in Verwendung (Herbert 2006, 18).

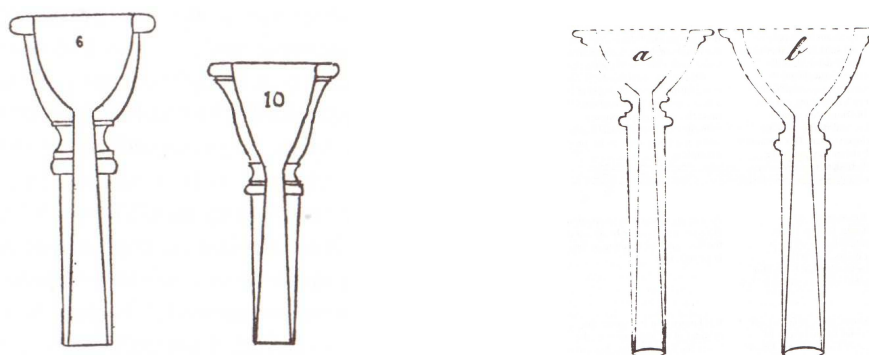


Abbildung 8 (links, Ausschnitt): 6: trombone, 10: trombone, French traditional (Baines 1978, 23)

Abbildung 9 (rechts): a: Tenorposaune, b: Bassposaune (Froehlich 1811, 29)

Das durchschnittliche moderne Tenor-Posaunenmundstück hat eine äußere Randbreite von 38 mm, 25 mm Innenrand, 6,5 mm Durchmesser an der engsten Stelle (Kehle) und eine Kesseltiefe von 21 mm (Baines 1978, 59). Tabelle A zeigt die Ähnlichkeit der Maße von Luren, Renaissance-/Barockposaunen und den heute üblichen Größen:

Mundstückmaße in mm	Außenrand	Innenrand	Kehle	Tiefe
Dänische Lure 1	43	25	8	24
Dänische Lure 2	35	25	6	16
A. Schnitzer, 1579	37	23,2	8,2	13,9
I. Ehe, 1612	37,5	24	8	21
moderne Mundstücke: 1 (Baines)	38	25	6,5	21
2 (Bahnert; Herzberg; Schramm)	37,5	24	6,0	26,4

Tabelle A: Datenquellen: (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 216; Baines 1978, 59; Baines 1978, 113)

2.2 Zugteil

Der Innenzug ist zur besseren Gleitfähigkeit nickel- oder chrombeschichtet (Gregory 1973, 21) (Herbert 2006, 18-21). Beide Röhren der H-förmigen Zuggabel besitzen meist denselben Durchmesser. 1930 ließ George Case einen Zug patentieren, bei welchem das mit dem Schallstückteil verbundene Rohr eine etwas weitere Bohrung hatte. Solche Züge gab es möglicherweise schon vor 1930 und werden noch heute angeboten, um Ansprache und Tragfähigkeit der tiefen Töne zu verbessern (Ahrens 2003, 1733). An anderer Stelle wird über diese im Rohrverlauf frühere, leichte Erweiterung des überwiegend zylindrischen Rohrverlaufs berichtet: “Duo-bore is intended to give a larger, rounder tone at the expense of brilliance.” (Gregory 1973, 21).

Um die Reibfläche zu reduzieren wurden im Laufe des 19. Jahrhunderts am unteren Ende des Innenzugs Schuhe (engl. stockings) eingeführt. Die letzten 8 - 16 cm des Innenzugs erhielten einen etwas größeren Außendurchmesser, wodurch sich die Reibung des Außenzugs auf diesen Bereich reduzierte (Abbildung 10).

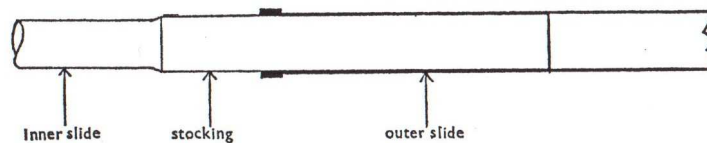


Abbildung 10 (Gergory 1973, 21)

Weiters wurden speziell ab dem frühen 20. Jahrhundert Zugfette oder -öle zum Auftragen auf den Innenzug beworben. Heute werden für diesen Zweck eigens für diesen Zweck hergestellte chemische Präparate angeboten. Welche Art von Schmiermittel in Renaissance oder Barock verwendet wurden, ist nicht bekannt (Herbert 2006, 18).

J. H. Guilmartin meldete 1897 eine weitere Neuerung beim britischen Patentamt an. Er entwickelte Zugfedern, die anstatt der meist aus Kork gefertigten festen Stopper im Innenzug angebracht wurden (Abbildung 11). Die Federn machten es möglich, den Zug auf der ersten Position mit etwas Druck noch ein Stück weiter zu verkürzen, was im speziellen das korrekte Intonieren des 7. Naturtons (bei der Tenorposaune in B: as') auf der ersten Position möglich machte (Herbert 2006, 20).

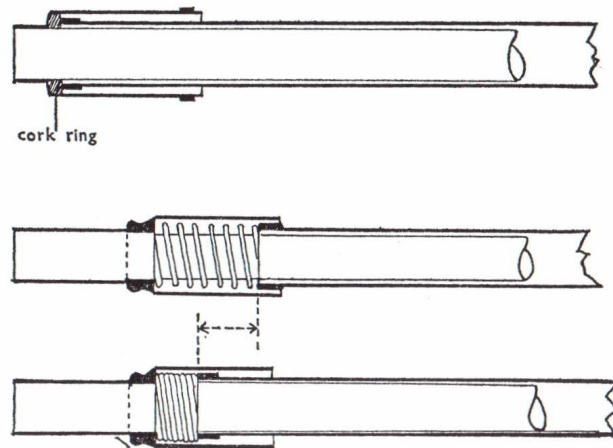


Abbildung 11 (Gergory 1973, 20)

Die Wasserklappe wurde um 1830 eingeführt. Einer Notiz von Johann Friedheim aus dem Jahr 1821 zufolge, gab es kurze Zeit lang an derselben Stelle, an der sich heute die Wasserklappe befindet, ein kleines Reservoir, das das Kondenswasser auffing und nur alle halbe Stunden entleert werden musste. Im Jahr 1845 ließ Jean-Louis Halary diese Vorrichtung als ‚Siphon‘ patentieren. Bis ins späte 19. Jahrhundert wurde diese Art der Wasserbekämpfung im Innern der Zugrohre in Frankreich und England angeboten, bevor sich die Wasserklappe endgültig durchsetzte (Herbert 2006, 21).

C. Grinstead und E. E. Stuart meldeten 1904 das Patent für eine Zugsperrung an (Abbildung 12), die heute Standardausstattung jeder Posaune ist (Herbert 2006, 11-12) und die Handhabung vereinfacht.

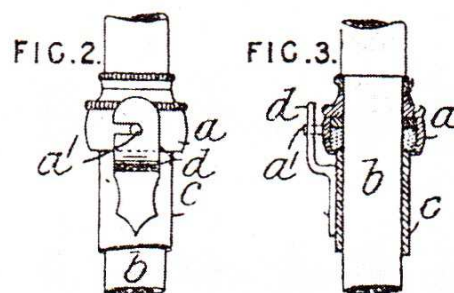


Abbildung 12 (Herbert 2006, 12)

2.3 Zugpositionen und Stimmung

Die Gesamtlänge des Instrumentenrohrs der Tenorposaune beträgt bei geschlossenem Zug und ohne Mundstück etwa zwischen 263 cm (Carter 2000, 54) und 269 cm (Bahner; Herzberg; Schramm 1958, 183 f.). Durch Ausziehen des Außenzugs kann das Rohr soweit verlängert werden, dass der Grundton um 6 Halbtöne gesenkt wird, was einem spielbaren Tonintervall von einer übermäßigen Quart entspricht. Auf jeder dieser insgesamt 7 Positionen kann eine Naturtonreihe geblasen werden kann (Baines; Myers; Herbert 1980, 762) (Herbert 2006, 33). Die genauen Zugpositionen sind variabel und müssen je nach geblasenem Naturton bzw. harmonischer Funktion korrigiert werden. Außerdem steigt die Distanz zwischen zwei Positionen mit zunehmender Rohrlänge proportional um ca. 6% an (Fletcher; Rossing 1998, 441 f.; Rossing; Moore; Wheeler 2002, 234; Hall 2008, 280): Bei geschlossenem Zug und einer angenommenen Gesamtlänge von Instrument und Mundstück von 275 cm muss das Rohr um etwa 16,5 cm verlängert werden, um einen gleichstufig temperierten Halbtonschritt spielen zu können. Aufgrund des Doppelzugs halbiert sich die zurückgelegte Distanz zwischen erster und zweiter Position auf 8,25 cm. Für einen weiteren Halbtonschritt muss das Rohr um 6% der neuen Gesamtlänge ($= 275 + 16,5 = 291,5$ cm) verlängert werden, d.h. ca. 17,5 cm, was um 1 cm mehr ist als beim vorhergehenden Halbtonschritt, usw.

Es sei noch angemerkt, dass bei Verlängerung des Rohrs der zylindrische Anteil an der Gesamtlänge wächst, wodurch die durchschnittliche Mensur des Instruments enger wird und die akustischen Eigenschaften des Instruments leicht verändert werden (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 234).

In der Literatur stößt man diesbezüglich durchgehend auf ungenaue Angaben, die teilweise das Prinzip der Proportionalität negieren (Kunitz 1959, 600; Herbert 2006, 33; vgl. Tabelle B): Bei Kunitz stimmt auch die angegebene Gesamtrohrlänge von 290 cm mit keiner Tenorposaune in B auch nur annähernd überein, während Herbert wenigstens anmerkt, dass die tatsächliche Länge zwischen den Positionen von Instrument zu Instrument verschieden ist (Herbert 2006, 33). Eine zumindest in den Ergebnissen gute Annäherung findet man in (Baines; Myers; Herbert 1980, 762), siehe Tabelle B.

Alle Maße in cm	Kunitz (1959, 600)	Herbert (2006, 33)	Baines; Myers; Herbert (1980, 762)	Berechnung (gerundet)
Gesamtlänge	290	k. A.	k. A.	275
Distanz 1.-2. Pos.	9,5	10 – 12	8	8,3
Distanz 2.-3. Pos.	8,5	10 – 12	8,8 *	8,8
Distanz 3.-4. Pos.	11	10 – 12	9,6 *	9,3
Distanz 4.-5. Pos.	7	10 – 12	10,4 *	9,8
Distanz 5.-6. Pos.	12	10 – 12	11,2 *	10,4
Distanz 6.-7. Pos.	13	10 – 12	12	11,0
Distanz 1.-7. Pos.	61	66	60	57,6

* vom Autor linear interpoliert

Tabelle B: Gesamtrohrlängen und zurückgelegte Zugdistanz zwischen den einzelnen Positionen

Eine schematische Veranschaulichung des Prinzips findet man in folgender Abbildung aus einer Anfängerschule für Posaune eindeutig wieder:

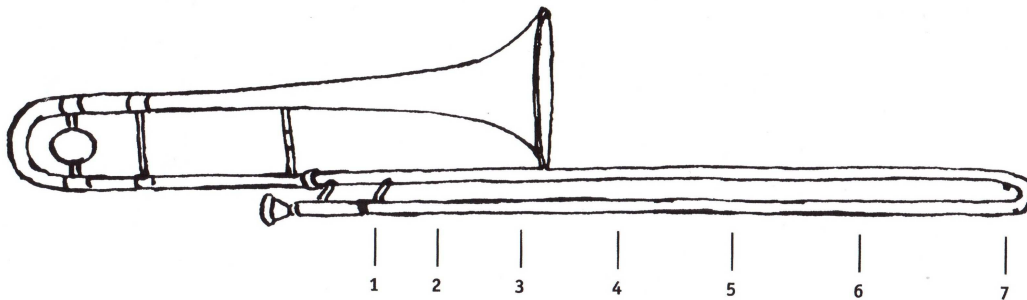


Abbildung 13 (Kastelein; Jansma 2000, 52)

Das moderne System der 7 chromatischen Zugpositionen wurde erstmals ca. 1795 von André Braun (Baines; Myers; Herbert 1980, 772; Carter 2000, 59) und danach 1811 von Joseph Froehlich beschrieben. Gleichzeitig wurde die Tenorposaune von denselben Autoren erstmals als Instrument in B behandelt (Guion 1988, 92). Bis zum Ende des 18. Jahrhunderts kannte man die Tenorposaune überwiegend als Instrument in A mit vier diatonischen Positionen, Alt- und Bassposaunen als Instrumente in D (Carter 2000, 56). Carter verglich die in der Literatur verwendeten Tonarten, und erkannte, dass bis ins 18.

Jahrhundert D, A und diesen nah verwandte Tonarten am häufigsten benutzt wurden. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts wurden in Wien jedoch B und Es zu den bevorzugten Tonarten in Kompositionen für Posaunen, wie Werke von Albrechtsberger 1769, Wagenseil 1760 und Mozarts Tuba mirum des Requiems (d-moll, KV626) zeigen. Zur selben Zeit waren in Salzburg sowohl b-Tonarten als auch Kreuztonarten in Verwendung (Carter 2000, 58 f.).

Der Übergang von A nach B fand höchstwahrscheinlich zwischen 1700 und 1760 statt (Carter 2000, 59). Der Grund für die Verschiebung wird im Gebrauch unterschiedlicher Stimmtöne gesucht (Carter 2000, 61 - 65) (Baines 1978, 115). Baines geht davon aus, dass die Posaunen in sehr hohem A gestimmt waren, damit die noch ohne Stimmvorrichtung ausgestatteten alten Instrumente in der alten Orgelstimmung (Cornett-ton) spielen konnten, bei der a' etwa 460 Hz hatte (Carter 2000, 63). In Wien lag der Kammerton (Cammerton) um 1750 zwischen 430 und 435 Hz (Haynes 2003, 1825 und 1827; Carter 2000, 63). Um den richtigen Ton zu finden, mussten die Posaunisten den Zug je nach Stimmtongfrequenz mehr oder weniger weit ausziehen (Baines 1978, 115), sodass bei hohen Stimmungen das A nahe der heutigen ersten Position zu finden, und das B dort nicht spielbar war, wogegen beim Wiener Kammerton um 1750 das A zwischen zweiter und dritter Position lag, wodurch selbst das B etwas unterhalb der ersten Position zu spielen war. Durch die Senkung des Kammertons waren die technischen Voraussetzungen zur Beschreibung der Posaune als Instrument in B gegeben.

2.4 Hauptstimmzug, Stimmbögen, -rohre

Trotz der Vielfalt an gebräuchlichen Stimmtönen, die in den letzten 400 Jahren in Europa bis zu 6 Halbtöne auseinander lagen (Haynes 2003, 1813), veränderte sich die Gesamtrohrlänge der Posaune nicht: Aus Renaissance und Barock erhaltene Instrumente sind zwischen 250 und 270 cm lang (Carter, 2000, 55). Die Stimmung dieser Posaunen wurde durch Anpassen der Zugpositionen und Einsetzen von Rohrstücken alteriert. Die kurzen Rohrstücke oder auch Bögen wurden zwischen Zug- und Schallstückteil eingefügt. Wie Georg Neuschel 1541 erwähnte und Praetorius und Mersenne illustrierten (Abbildungen 14 und 15), gab es solche Teile in den unterschiedlichsten Formen (Herbert 2006, 22).

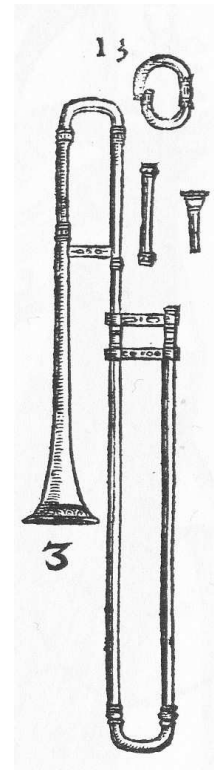
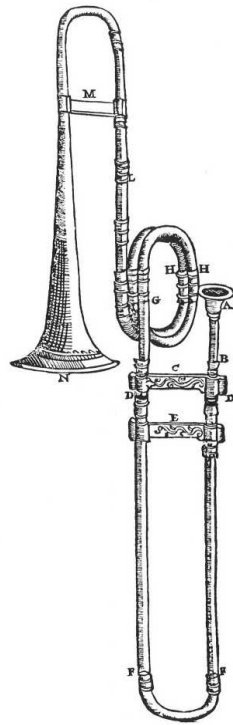


Abbildung 14 (links): Zeichnung von Mersenne 1636, aus: (Dullat 1989, 99)

Abbildung 15 (rechts): Ausschnitt, aus: (Praetorius 1618)

Die zweitälteste der noch erhaltenen Posaunen stammt aus dem Jahr 1557 und wurde von Jörg Neuschel in Nürnberg gebaut (Weber 1989, 511). Baines schreibt über dieses Instrument: “Slide bores for alto and tenors are usually very narrow, between 9 and 10 mm. For bass (...) bores are considerably wider, between 11 and 12 mm. The Neuschel tenor of 1557, however, which has much of its original slide, has a bore of nearly 12 mm; (...)” (Baines 1978, 111). Soloposaunist Karlheinz Weber entdeckte 1989, dass es sich bei diesem Instrument um eine Bassposaune handeln musste, auch wenn die Gesamtlänge eher der einer Tenorposaune ähnelt, aber „(...) eine für die Nürnberger Tradition ganz und gar unübliche Stimmung zwischen b und c hat, es sei denn ...” (Weber 1989, 511). Wie sich herausstellte hatte der Besitzer einen zu der Posaune passenden Aufsteckbogen parat, der die vermeintliche Tenorposaune zur eine Bassposaune in F verwandelte, womit sich die weite Bohrung und hohe Stimmung ohne Bogen erklären ließ. Das Modell wurde zuvor aufwändig als Tenorposaune kopiert und wird auch in der Literatur oft als solche angeführt (siehe oben). Zudem verfälscht die Kopie die historische Klangfarbe der Renaissance-Tenorposaune (Weber 1989, 512).

Der Hauptstimmzug wurde im frühen 19. Jahrhundert von Francois Riedloker oder André Braun erfunden und in den Schallstückbogen eingebaut (Abbildung 4, Ziffer 4). Vom Prinzip her funktioniert er wie der Posaunenzug, hat jedoch einen wesentlich größeren Widerstand, damit die eingestellte Position sich nicht von selbst löst. In seltenen Fällen findet man den Stimmmechanismus auch in den Außenzug integriert (Gregory 1973, 23), was den Vorteil hat, dass am Schallstückteil ein ungestörter konischer Verlauf im U-Bogen möglich wird und dieser ohne Applikation einer zusätzlichen Querstrebe, wie sie beim Stimmbogen benötigt wird, auskommt.

2.5 Schallstück (Schalltrichter, Stürze)

Schallstücke werden wie die übrigen Teile des Instruments aus Kupfer-Zink Legierungen hergestellt. Bei Messing oder Gelbmessing beträgt das Verhältnis Kupfer:Zink etwa 70:30, bei Goldmessing 85:15 oder 90:10 (Bowsher 1997, 1643). Letzteres wird auch Rotmessing genannt. Ein höherer Kupferanteil soll einen besonders weichen, runden und kompakten Klang begünstigen (Barclay 1997, 28; Ahrens 2003, 1735). Neusilber, oder Nickel-Silber erhält man, wenn zu Kupfer und Zink ein Anteil von ca. 10% Nickel beigemischt wird (63:27:10). Neusilber wird meist nur für die Zugvorrichtung verwendet, in seltenen Fällen auch für Schalltrichter (Bowsher 1997, 1643).

Der mittlere Durchmesser bei Schallstücken von modernen Tenorposaunen beträgt zwischen 205 und 220 mm (Bahnert, Herzberg, Schramm 1958, 184; Ahrens 2003, 1733). Nürnberger Tenorposaunen von Anton Schnitzer aus dem späten 16. Jahrhundert hatten eine Stürzenweite von etwa 19,5 cm (Vereecke 2011, 32). Instrumente vor 1800 wurden allgemein in engeren Proportionen gebaut (Herbert 2006, 22 f.). Vor allem war die Schallstürze nicht so ausladend wie heute üblich (Herbert 2006, 14), sondern “shaped like a cone, with little or no terminal flare.” (Guion 1988, 119; vgl. Abbildung 16). Abbildung 17 zeigt das Schallstück einer Barockposaune. Neben dem geringen Durchmesser und dem eher konischen Verlauf unterscheiden sich alte Instrumente von heute hergestellten durch Verzierungen in Form von Gravuren und Beschlägen, sowie durch die Tatsache, dass alte Instrumente unlackiert sind (vgl. auch Abbildung 18).

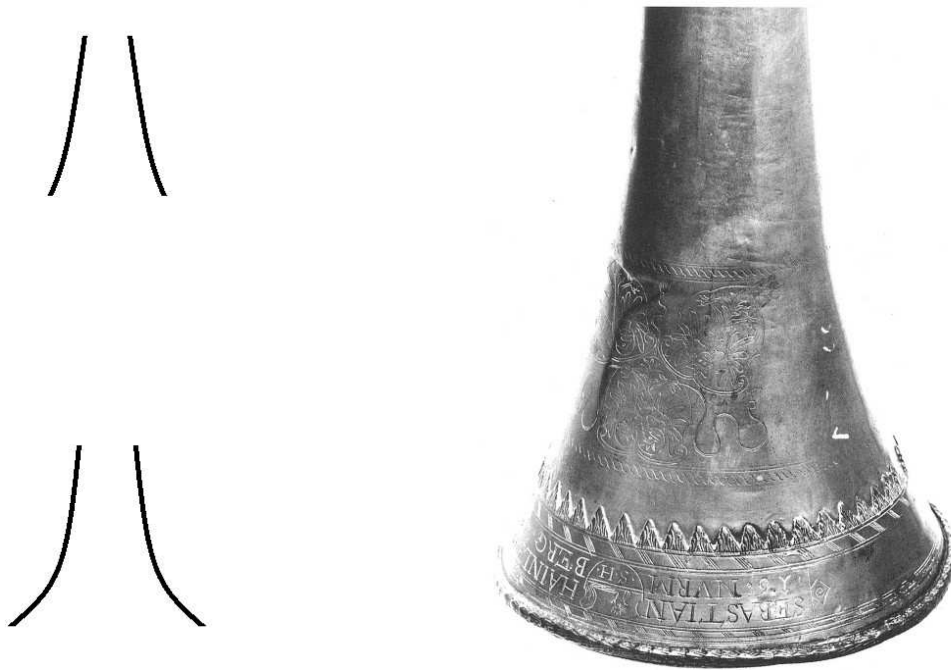


Abbildung 16 (links): Schema des Schallstückverlaufs im Querschnitt, oben Barockposaune, unten moderne Posaune.

Abbildung 17 (rechts): Schallstück einer Barockposaune (von Sebastian Hainlein II, Nürnberg 1642) mit typischen Verzierungen (Dullat 1989, 216)

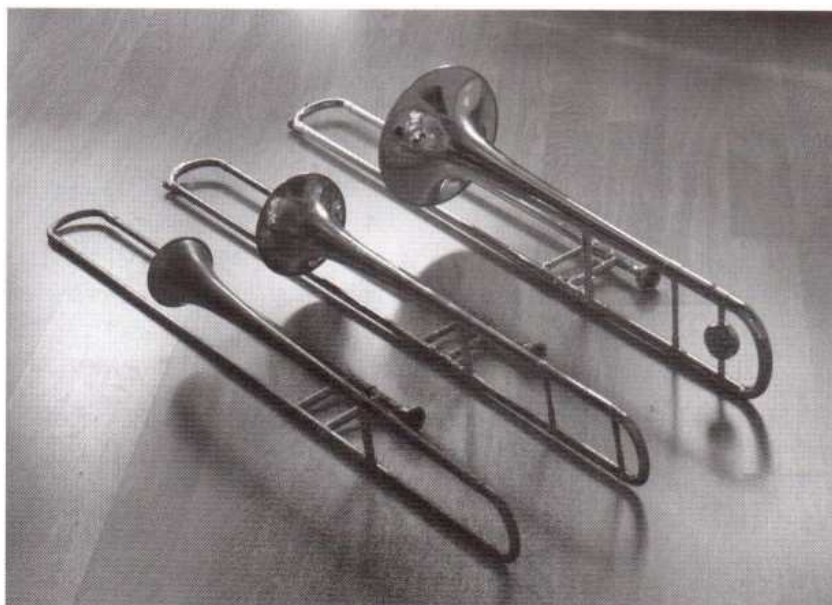


Abbildung 18 (Herbert 2006, 14)

Abbildung 18 zeigt drei Tenorposaunen in B. links: Nachbau einer Posaune von Sebastian Hainlein (1632), Mitte: Modell aus England (1938), rechts: moderne amerikanische Posaune (1980).

2.6 Bohrung und Mensur

Der Verlauf des Rohrdurchmessers vom Mundstück bis zum Ende des Schallstücks wird Bohrung oder Mensur genannt und spielt eine entscheidende Rolle für die akustischen Eigenschaften von Blasinstrumenten (Herbert 2006, 22 f.).

Die größte Veränderung beim Rohrverlauf in der Geschichte des Posaunenbaus begann in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts: "In the 1830s, a trombone of strikingly large proportions was produced by Sattler in Leipzig." (Herbert 2006, 23). In Deutschland vergrößerte sich die Bohrung von durchschnittlich 11 mm um 1800, bis auf 13 mm oder sogar 14 mm um 1840, und auch der Schallstückdurchmesser wurde erhöht (Baines; Myers; Herbert 1980, 772). Um die Bewegungsfreiheit bei der Bedienung nicht zu beeinträchtigen, wurde bei Posaunen mit größerem Schallstück in Deutschland der Radius des Schallstück-Bogens erweitert, was den Abstand des Schalltrichterrands zum Zug ausreichend erhöhte (Baines 1978, 245). Der gleiche Effekt wurde bei amerikanischen Posaunen durch einen leichten Knick im unteren Rohr des Schallstückteils erreicht (Baines 1978, 246).

In Frankreich wurde die Posaune im 19. Jahrhundert noch in gewohnt engen Proportionen gebaut. Während der Rohrdurchmesser des zylindrischen Teils bei 11 mm oder weniger unverändert blieb, begann der konische Teil bereits am Schallstück-Bogen (Guion 1988, 8) und ließ die Stürze weiter aufgehen (Baines; Myers; Herbert 1980, 772). Die von Courtois vor 1860 perfektionierte klassische französische Posaune fand auch in England Verbreitung: "Every first and second player of a British orchestra or band played these French-model instruments up to 1930" (Baines 1978, 243), die wegen den engen Dimensionen scherzhaft "peashooters" genannt wurden (Herbert 2006, 23).

Abbildung 17 zeigt eine französische Tenor-Posaune in B, hergestellt von François Riedlocker, Paris, 1810: ohne Wasserklappe, Zugsperre, Zugstopper, Lackierung, Mundstück und Schraube zwischen Schallstück und Zug. Auch die Mensur ist noch eng und verläuft am Schallstückbogen zylindrisch. Es fehlt der leichte Knick unter dem Quersteg am Schallstückteil nahe der Stürze.

Heute gebräuchliche Instrumente haben einen Rohrdurchmesser von 11,2 - 12,2 mm bei Altposaunen, 12,6 - 13,9 mm bei Tenor- und Tenor-Bass-Posaunen und 13,4-14,3 mm bei Bassposaunen (Ahrens 2003, 1733).

Untersuchungen an Bohrung und Mensur

Arnold Myers untersuchte die Entwicklung von Bohrung und Mensur und veranschaulichte die Ergebnisse in seinem Artikel "Trombone Designs in the Transition from Early Models to Modern" (Myers 2000, 39-52): In Abbildung 19 ist der allgemeine Trend zur Vergrößerung der Bohrung, d. h. des Durchmessers des zylindrischen Teils der Posaune, gut erkennbar. Außerdem ist die Bandbreite in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts am größten. Die weite Bohrung der neuen Bauart von Sattler (siehe oben) zeigt sich an den Modellen aus Leipzig ab 1840 bis Anfang des 20. Jahrhunderts, die von den Instrumentenbauern moderner amerikanischer Posaunen übernommen wurden, wie die beiden Einträge am rechten Rand zeigen. Auch die besonders enge Bohrung französischer Modelle ist am unteren Rand ab 1800 zu erkennen, ebenso wie die Übernahme dieser Bauart durch englische Hersteller.

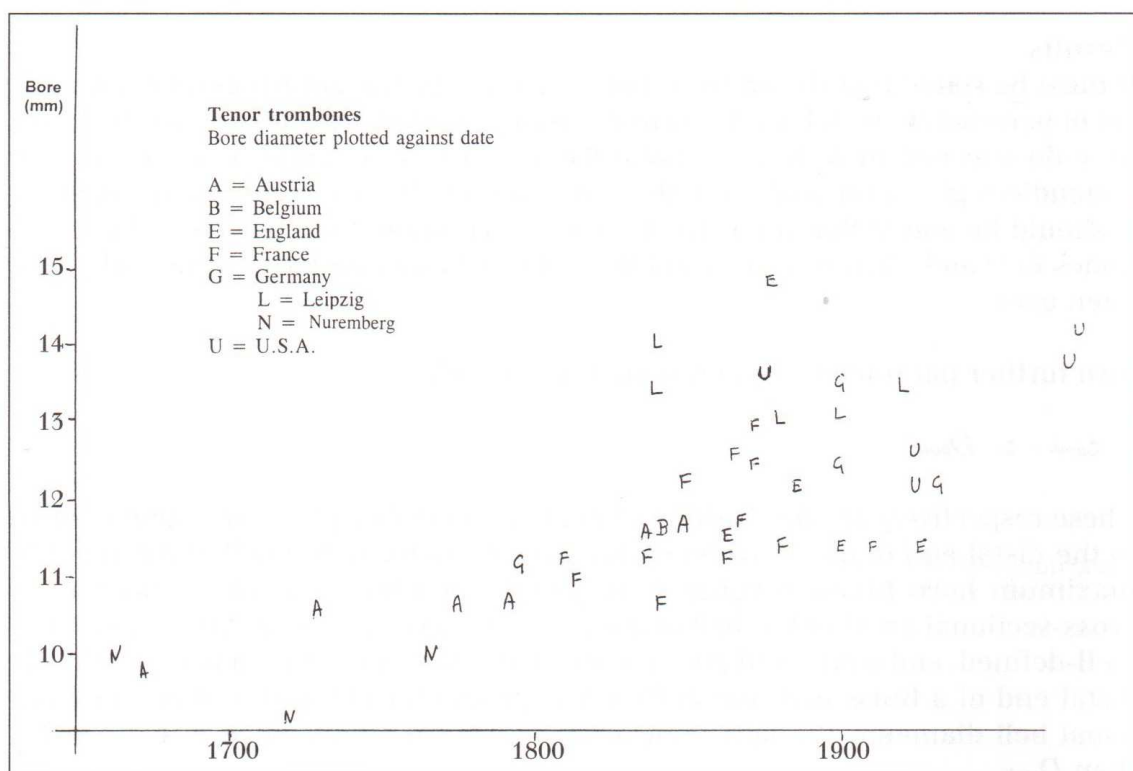


Figure 4: Tenor trombones: Bore diameter plotted against date.

Abbildung 19 (Myers 2000, 44)

Der Parameter C in Abbildung 20 beschreibt einen Punkt auf der relativen Distanz zwischen Mundstück (= 0) und Ende der Stürze (= 1.0). C definiert den Punkt im Rohrverlauf, an dem der Innendurchmesser doppelt so groß ist wie der auf halber Distanz zwischen Mundstück und Rohrlänge. C kann deshalb nur zwischen 0,5 und 1,0 liegen und ist höher, je länger der zylindrische Anteil an der Gesamtlänge ist. Bei modernen Posaunen beginnt sich das Rohr bereits am Schallstück-Bogen zu weiten, wodurch sich der Punkt an dem der Rohrdurchmesser doppelt so groß ist in Mundstückrichtung wandert und C klein ist (Myers 2000, 41).

In Abbildung 20 zeigt sich, dass von den Nürnberger Barockposaunen bis ins späte 19. Jahrhundert C um 0,84 liegt, was auf eine enge Mensur mit hohem zylindrischen Anteil deutet. Im Gegensatz zur Bohrung (Abbildung 19) ist hier kein durchgehender Trend erkennbar. Erst mit Beginn des 19. Jahrhunderts ist eine stetige Verringerung von C zu bemerken, was auf einen immer früher beginnenden und möglicherweise auch stärkeren konischen Rohrverlauf der zu dieser Zeit hergestellten Posaunen hinweist. Hier sind, ohne Berücksichtigung einzelner Ausreisser, keine regionalen Unterschiede erkennbar.

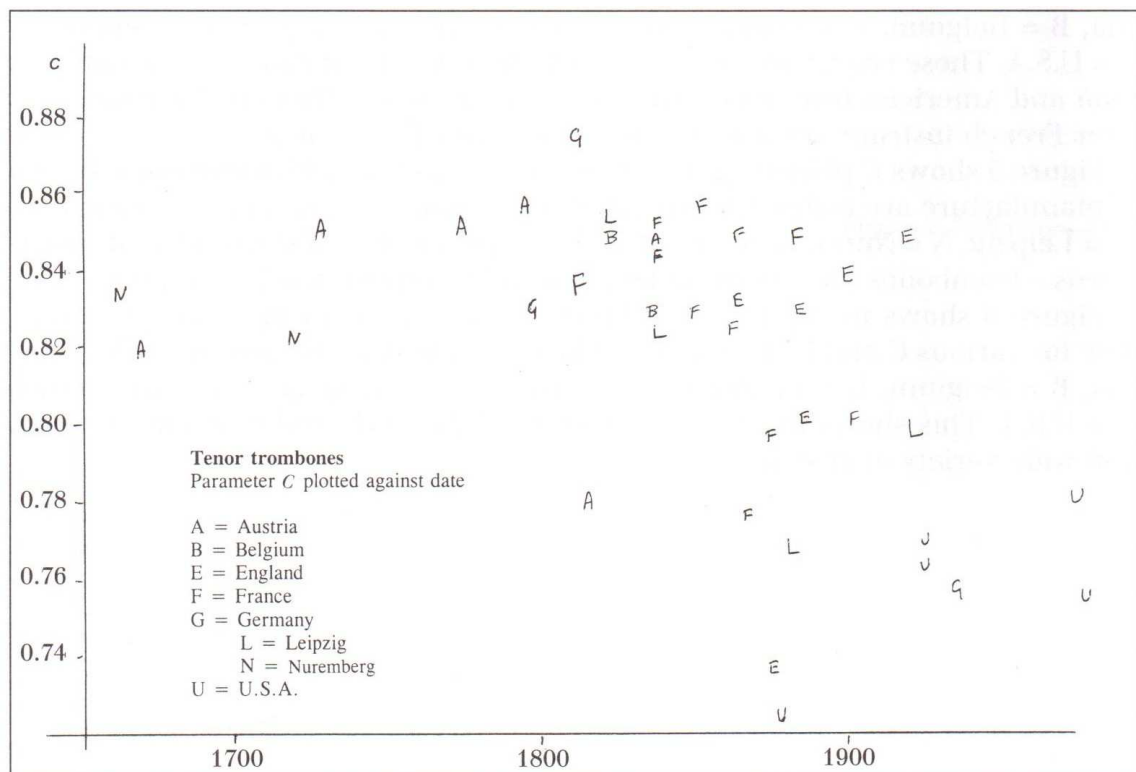


Figure 5: Tenor trombones: Parameter C plotted against date.

Abbildung 20 (Myers 2000, 44)

2.7 Ventile bei (Zug-)Posaunen

Das Daumenventil bei Posaunen wurde zuerst von Friedrich Sattler in Leipzig 1839 eingeführt (Baines 1978, 243; Dullat 1989, 100; Herbert 2006, 29). “In Paris Halary and Sax followed with similar instruments, though they were little used in France” (Baines; Myers; Herbert 1980, 764). Berlioz kannte dieses Ventil bereits 1844, als er seine Instrumentationslehre veröffentlichte (Berlioz 1905, 324). Sattler baute es in ein Instrument mit weiter Bohrung ein (deutsche Posaune) und nannte es dem Intervall entsprechend Quartventil. Diese Tenor-Bass-Posaune ist zu Beginn des 20. Jahrhunderts weit verbreitet (Berlioz 1905, 324) und spätestens seit der 2. Hälfte die Standardausführung bei Tenorposaunen, da es das Instrument vielseitig einsetzbar macht. Das Ventil ermöglicht nicht nur das Erreichen der tiefen Lage, sondern bietet auch technische Vorteile in schnellen Passagen, Ventiltriller und erweiterte Glissando-Möglichkeiten (Herbert 2006, 196).

Die Tenor-Bass-Posaune mit nochmals erweiterter Bohrung und größerem Schallstück und Mundstück ersetzte spätestens mit dem Einsatz eines zweiten Ventils die Bassposaunen in F oder G, da sie agiler und handlicher war. Die moderne Bassposaune hat dieselbe Grundstimmung wie die Tenorposaune, jedoch ein zweites Ventil, das den Grundton um eine Sekund oder Terz erniedrigt (B/F/Es oder B/F/D) (Herbert 2006, 29). Bei paralleler Anordnung und Terzventil kann dieses auch allein betätigt werden und ermöglicht zusätzlich eine Stimmung in Ges. Im späten 20. Jahrhundert kamen Ventile verschiedenen Designs auf den Markt, die alle das Ziel hatten, die zusätzlichen Rohrbiegungen durch die Ventile zu minimieren, den Klang offen zu halten und eine bessere Ansprache zu ermöglichen (Baines; Myers; Herbert 1980, 764). Diese nur bei Posaunen eingebauten Konstruktionen wurden schnell akzeptiert und so gibt es bei der Bassposaune heute neben dem Drehventil eine beachtliche Anzahl verschiedener Ventilarten, von denen die Thayer- und Hagmann-Ventile am weitesten verbreitet sind.

2.8 Tonumfang

Der Ambitus eines Blechblasinstruments hängt von dessen akustischen Eigenschaften, aber in wesentlichem Maß auch von den Fähigkeiten des Bläasers ab. Außerdem muss zwischen von Spielern prinzipiell erreichbaren und musikalisch sinnvoll einsetzbaren

Tönen unterschieden werden (Herbert 2006, 40). Die in der Literatur angegebenen Werte beschränken sich meist auf letztere.

Albrechtsberger gab 1790 als Ambitus der Tenorposaune A bis a₁ an (Guion 1988, 75). Dieser Tonumfang gehört zu den kleinsten der in Literatur überlieferten Rahmenintervalle und orientiert sich möglicherweise am Umfang der Tenor-Singstimme. Albrechtsberger ist hier sehr konservativ, wie die meisten Komponisten vor dem 19. Jahrhundert (Herbert 2006, 40). Berlioz erweitert diese zwei Oktaven in seiner Instrumentationslehre um eine Sext und setzt den spielbaren Bereich zwischen großem E und c₂ fest, wobei auch das des₂ spielbar sei, jedoch nur sehr schwer (Berlioz 1905, 322). Anschließend widmet sich Berlioz ausführlich den Pedaltönen. Mit diesem, auf die Kirchenorgel hinweisenden Begriff, wird der erste Naturton eines Metallblasinstruments bezeichnet. Die Verwendung von Pedaltönen erweitert den Tonumfang nochmals in die Tiefe (Berlioz; Strauss 1905, 323). Berlioz verwendete in seinen Werken als erster Komponist diese tiefste Lage (Baines; Myers; Herbert 1980, 764).

Er beschreibt weiters auch die Lücke, die zwischen dem tiefsten zweiten Naturton, also dem großen E, und dem höchsten Pedalton, Kontra B, besteht (Berlioz 1905, 323). An späterer Stelle berichtet Berlioz allerdings über das Daumenventil, durch welches die zuvor nicht spielbaren Töne der großen Oktav spielbar wurden (Berlioz 1905, 324). Dies, zusammen mit der Tatsache, dass Berlioz davor so ausführlich auf die Lücke hinweist, lässt vermuten, dass er den Abschnitt über die Tenorposaune mit Ventil erst später hinzugefügt hat. Strauss merkt an, dass dieses Ventil heute [1905] fast allgemein von der dritten Posaune benutzt wird (Berlioz 1905, 324).

Der von Berlioz 1844 angegebene Ambitus wurde auch über hundert Jahre danach nicht wesentlich verändert. So wird zum Beispiel 1958 ein Umfang Kontra E bis b₂, bis d₂ in Klammern angegeben (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 45). Hier wird zwar die Existenz einer Tenor-Baß-Posaune mit Quartventil, nicht aber die Lücke zwischen Kontra B und großem E bei Tenorposaunen ohne Ventil erwähnt, die Berlioz bereits über 100 Jahre so deutlich beschrieben hat.

Tabelle C zeigt eine Übersicht über die auf Tenorposaunen ohne Ventil theoretisch spielbaren Töne und deren Zugpositionen. Die Zeilen zeigen die auf der jeweiligen Position produzierbaren Naturtonreihen:

	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	N13	N14	N15	N16
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																

Tabelle C: Zugpositionen der Tenorposaune in B, nach (Herbert 2006, 34)

Die Lücke zwischen N1 auf Position 1 und N2 auf Pos. 7 kann auf der Tenor-Baß-Posaune fast vollständig geschlossen werden. Durch Betätigen des Quartventils wird die Stimmung von B auf F gesenkt. Mit der daraus resultierenden Verlängerung des Rohrs erweitert sich wegen der Proportionalität der Rohrlängen (vgl. Kapitel 2.3) der Abstand zwischen den Positionen soweit, dass der Grundton nur noch um 5 Halbtöne gesenkt werden kann. Die in Tabelle D angeführten Zugpositionen stimmen demnach nicht mehr mit denen in Tabelle C überein.

	1	2	3	4	5	6
N2 mit Ventil						
N1 mit Ventil						

Tabelle D: Erweiterung des Tonumfangs nach unten durch Betätigen des Quartventils

Aus den beiden Tabellen ergibt sich ein theoretischer Tonumfang von Kontra C bis b2, der von manchen Virtuosen auch produziert werden kann. Im Gegensatz dazu haben manche Laien sogar beim von Albrechtsberger verlangten a1 Probleme (Herbert 2006, 40 f.). Auf diese Unterschiede und deren akustischer Hintergrund wird in Kapitel 3 näher eingegangen.

2.9 Dämpfer

“Mute, an object placed in the bell of an instrument which affects the radiation of sound from the instrument and modifies its tone-quality.“ (Herbert; Wallace 1997, 278). Dieser treffenden Beschreibung der englischen Bezeichnung für Dämpfer soll noch hinzugefügt werden, dass die Verringerung der Lautstärke nur ein sekundärer Effekt ist (Herbert 2006, 26), obwohl der Name anderes vermuten ließe. Klangfarbenmodulator wäre hier eine treffendere Bezeichnung für solche Objekte. Wagners Götterdämmerung (1876) ist das erste Beispiel einer expliziten Dämpfervorschrift für Posaunen (Herbert 2006, 27). Abbildung 21 zeigt eine Auswahl der heute gebräuchlichen Dämpferarten.

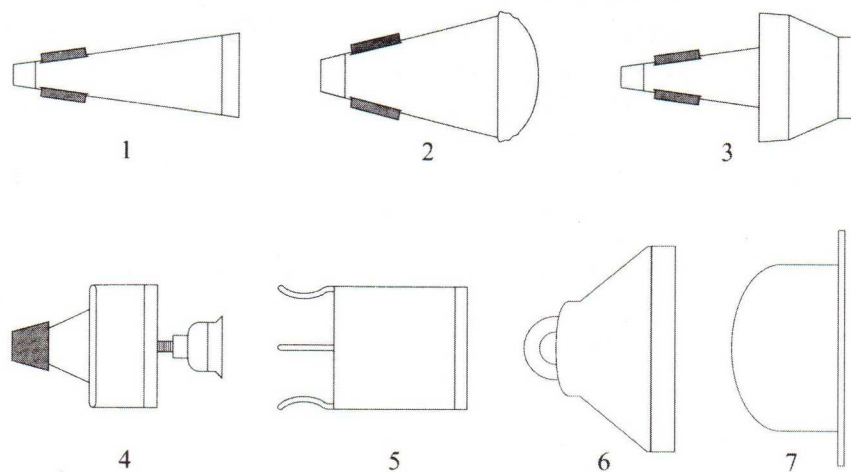


Illustration 10. Some trombone mutes

- 1 Straight fibre mute – secured to the inside of the bell by corks
- 2 Straight metal mute, similar to the fibre mute apart from its material
- 3 Cup mute
- 4 Harmon or ‘wow-wow’ mute – the effect is produced by the player covering and uncovering the protruding section
- 5 Bucket mute – clips onto the bell of the instrument
- 6 Plunger – originally, literally a sink plunger
- 7 High hat mute – favoured by dance band brass players

Abbildung 21 (Herbert 2006, 26)

2.10 Unterschiedliche Bauarten: Die Posaunenfamilie

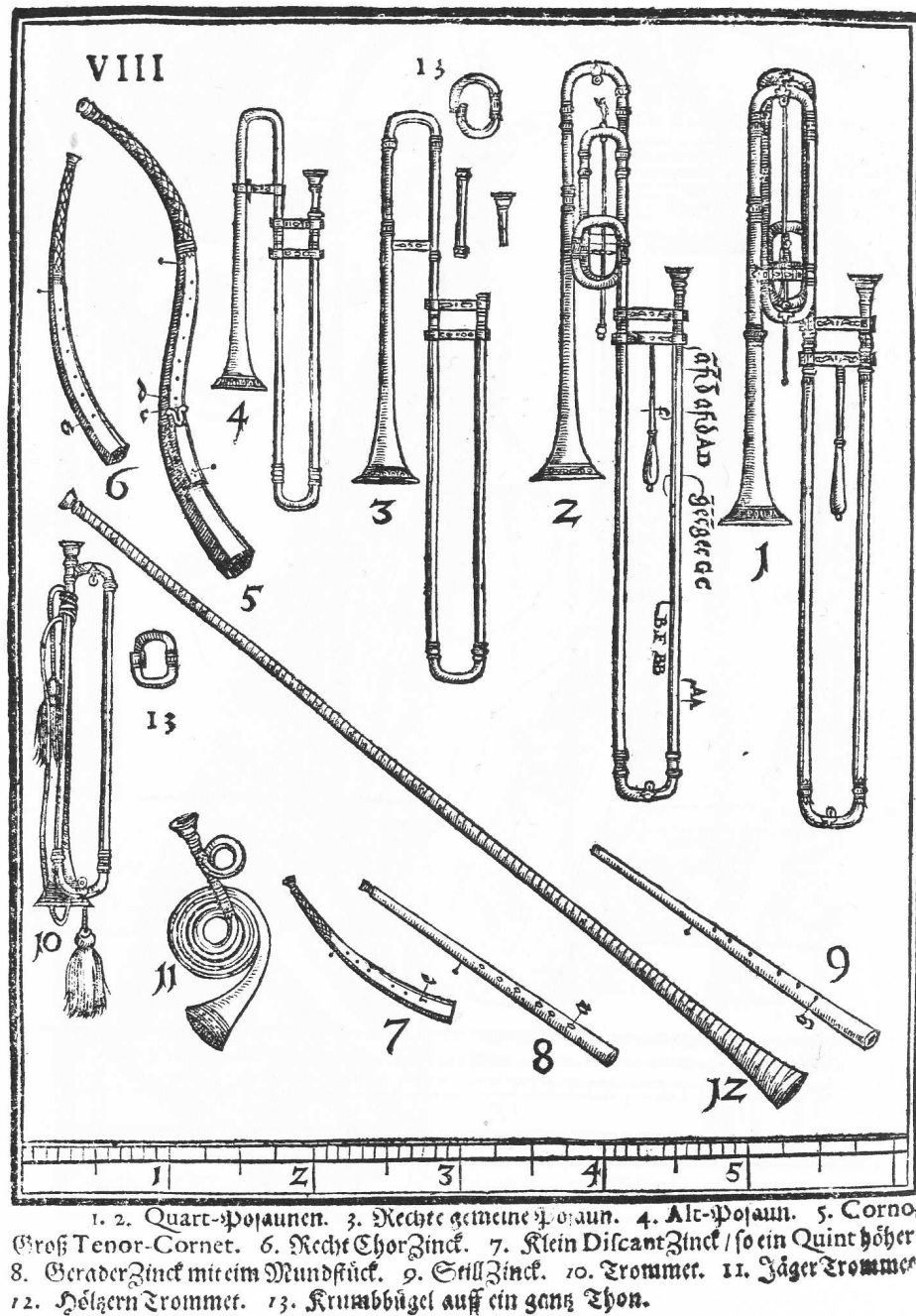


Abbildung 22 (Praetorius 1618)

Posaunen wurden im Laufe der Geschichte in den verschiedensten Stimmungen gebaut. Die gebräuchlichste war seit ihrer Erfindung die Tenorposaune mit dem Grundton Kontra B. Praetorius nannte sie die Rechte gemeine Posaun (Abbildung 22, Ziffer 3). Auch als Tenorposaunen zu bezeichnen sind die seltenen in A oder C gestimmten Exemplare

(Baines; Myers; Herbert 1980, 764). Darüber gab es Altposaunen in D und der heute üblichen Stimmung in Es. Ab dem späten 17. Jahrhundert war in seltenen Fällen eine Sopran- oder Diskantposaune in B, eine Oktave über der Tenorposaune, in Gebrauch (vgl. Kapitel 2.10.2). Posaunen, welche tiefer als auf Kontra A gestimmt werden, können generell als Bassposaunen bezeichnet werden. In England war um 1900 die Bassposaune in G am weitesten verbreitet, wogegen in Kontinentaleuropa Kontra F der übliche Grundton war (Baines 1978, 243 f.). Der Ausdruck von Praetorius Quartposaun bezieht sich auf die Relation zur Rechten gemeinen Posaun, was die zentrale Stellung letzterer innerhalb der Posaunenfamilie untermauert. Speziell in Frankreich waren auch Modelle in Kontra Es in Gebrauch (Berlioz 1905, 322). An den Zügen der Bassposaunen in G, F oder Es war ein Schwengel angebracht, der es dem Bläser ermöglichte die äußersten Positionen des überlangen Zugs solcher Posaunen zu erreichen (vgl. Abbildung 21, Ziffer 1 und 2). Die Sonderform der Kontrabassposaune in Subkontra B wird im nächsten Kapitel behandelt.

Heute sind neben der Tenorposaune in B die Altposaune in Es und Bassposaune in F am gebräuchlichsten, wobei die tiefste Stimme nicht auf einer solchen, sondern auf der modernen Bassposaune geblasen wird. Diese ist im Wesentlichen eine Tenor-Bass-Posaune mit Grundton Kontra B, jedoch weiterer Bohrung, größerem Schallstück und zwei Ventilen, die den Grundton auf F (1. Ventil) und Es oder D (1. und 2. Ventil) absenken (vgl. Kapitel 2.7).

2.10.1 Die Kontrabassposaune

Die Bezeichnung Kontrabassposaune ist eigentlich irreführend, denn sie klingt nicht eine Oktave tiefer als notiert wie der Kontrabass, sondern wird wie alle Posaunen klingend notiert. Praetorius nennt sie Octavposaun, weil ihr Grundton eine Oktave tiefer liegt als bei der Rechten gemeinen Posaun (Tenorposaune). Ein weiterer ungeschickter Begriff ist die Bezeichnung Baßkontrabassposaune. Hier ist eine Baßposaune in F gemeint, die zwei Ventile hatte, durch welche die Grundstimmung der Instruments nach Es oder Subkontra B gesenkt werden konnte (Ahrens 2003, 1736).

Um alle Zugpositionen auf der Kontrabassposaune erreichen zu können, entwickelte bereits Anton Schnitzer im 16. Jahrhundert den Doppelzug, der sich damals wie heute nicht durchsetzen konnte (Herbert 2006, 29). Die Firma Halary in Paris baute 1830 eine

Kontrabassposaune mit Doppelzug. Diese war offenbar auch das Vorbild des Modells, welches Firma C. W. Moritz in Berlin in den 1860er Jahren für Wagners Ring entwickelte (Ahrens 2003, 1736).

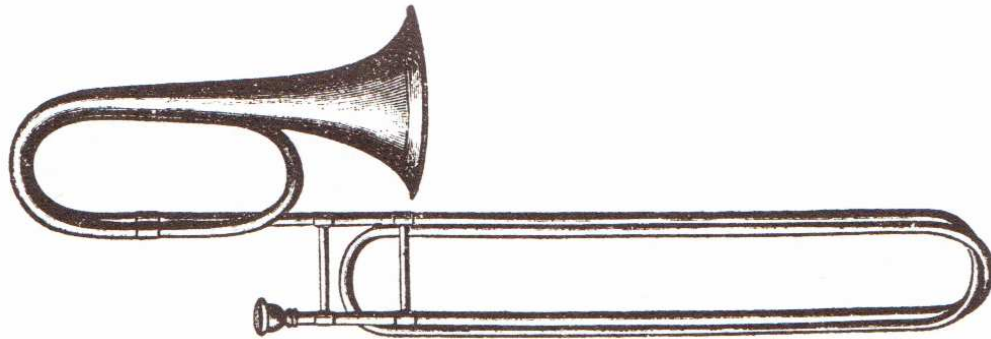


Abbildung 23: B-flat contrabass with double slide, Moritz (Baines 1978, 244)

2.10.2 Die Sopranposaune

„Die Sopranposaune, auch Diskantposaune genannt, gehört von Anfang an, also spätestens seit Beginn des 16. Jahrhunderts zur Familie der Posaunen.“ (Kunitz 1959, 794). „Es entstand gleichzeitig ein vollständiger Posaunenchor mit einer Diskantposaune in B, Altposaune in F, gemeine oder rechte Posaune in B, Quartposaune in F, Quintposaune in Es und Oktavposaune in B.“ (Bahnert; Herzberg; Schramm 1958, 28).

Diese beiden übereinstimmenden Aussagen über die Sopran- oder Diskantposaune sind historisch unhaltbar (Weiner 2000, 67) und haben ihren Ursprung wahrscheinlich in einer falschen Auslegung des Syntagma Musicums von Praetorius, der „Alt **oder** Diskantposaun“ schreibt, anstatt Alt **und** Diskantposaune bei Kunitz (Weiner 2000, 69).

Das erste erhaltene Instrument stammt von 1677 von Christian Kofahl und aus heutiger Sicht existieren auch keine graphischen Darstellungen, Beschreibungen oder spezifisches Repertoire aus dem 16. Jahrhundert (Weiner 2000, 79). Kunitz dichtet Komponisten wie Heinrich Schütz die Verwendung eines vierstimmigen Posaunensatzes an (Kunitz 1959, 794), wobei es in der Literatur dafür kein einziges Beispiel gibt (Weiner 2000, 73).

Die Sopranposaune mag der geschichtlich unbedeutendste Posaumentyp sein (Herbert 2006, 28), aber immerhin verlangte Mozart in der Messe c-Moll KV 427 (1782/83) ausdrücklich eine Diskantposaune (Ahrens 2003, 1737).

2.10.3 Kuriositäten im Posaunenbau

Im 19. Jahrhundert gelangten zwei besondere Bauarten der Posaune mit Zugvorrichtung zumindest für kurze Zeit in Umlauf: Buccins waren Posaunen mit Schalltrichtern in Form von Schlangen- oder Drachenköpfen. Sie waren im 19. Jahrhundert vor allem in Frankreich bekannt: Berlioz verlangt im *Ressurexit* seiner *Messe solennelle* (1824) nach einem solchen Instrument (Herbert 2006, 16). Buccins wurden vermutlich im Zuge der französischen Revolution erstmals gebaut. In der farbig bemalten Drachenkopfstürze war häufig eine Metallzunge angebracht, die beim Spiel vibrierte (Ahrens 2003, 1742).

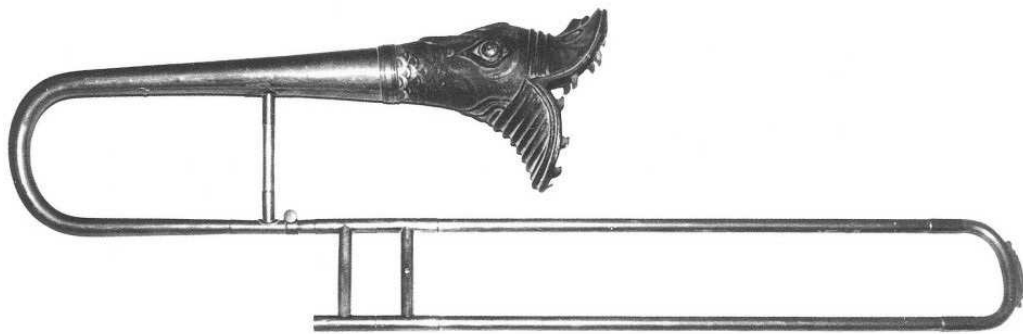


Abbildung 24: Buccin (Dullat 1989, 103)

Die zweite ungewöhnliche Bauweise geht auf die Verwendung in Militärkapellen zurück, die im 19. Jahrhundert Posaunen mit nach hinten gerichtetem Schallstück ausgerüstet wurden (Herbert 2006, 16). Auch bei der Boston Brass Band wurden solche “over-the-shoulder models” eingesetzt, um die Posaune an das Design der anderen Instrumente anzupassen, die alle nach hinten gerichtete Schalltrichter besaßen (Baines; Myers; Herbert, 772).

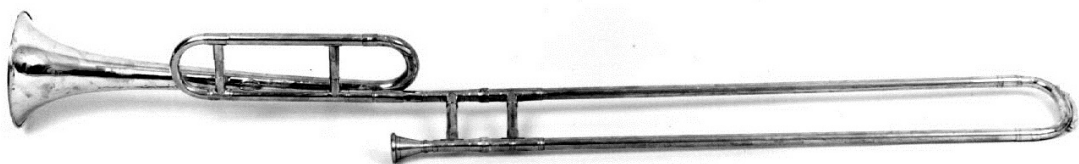


Abbildung 25: Trombone in Bb, over-the-shoulder model (probably France or Belgium, early 19th century)

(<http://www.music.ed.ac.uk/euchmi/ucj/ucjth3.html>, abgerufen: 20.12.2012)

3 Die Akustik der Posaune

Klassifikation

Die Posaune wird nach der Klassifikation der Instrumente von Hornbostel und Sachs den Aerophonen zugeordnet, was bedeutet, dass primär die Luft selbst in Schwingung gerät. Sie wird zu den Trompeteninstrumenten gezählt, die wiederum eine Untergruppe der Blasinstrumente sind und als Blechblasinstrumente bezeichnet werden (Ruf 1991, 251). Dieser Begriff ist nicht nur deswegen irreführend, weil auch andere Instrumente wie Saxophon oder Flöte aus Metall bestehen, sondern vor allem auch weil das Material keine entscheidende Rolle für den Klang spielt: "Brass instruments are not necessarily made of brass." (Bowsher 1997, 1643). Das eindeutige Unterscheidungsmerkmal zwischen Holz- und Blechblasinstrumenten ist der Anregungsmechanismus (Oszillator), der bei letzteren von den Lippen des Bläusers gebildet wird (siehe Abbildung 26). Demnach ist die Posaune kein vollständiges Musikinstrument, sondern nur ein Resonator (Filter und Strahler, vgl. Wogram 1992a, 53), der die Schwingungen der Lippen umformt und verstärkt.

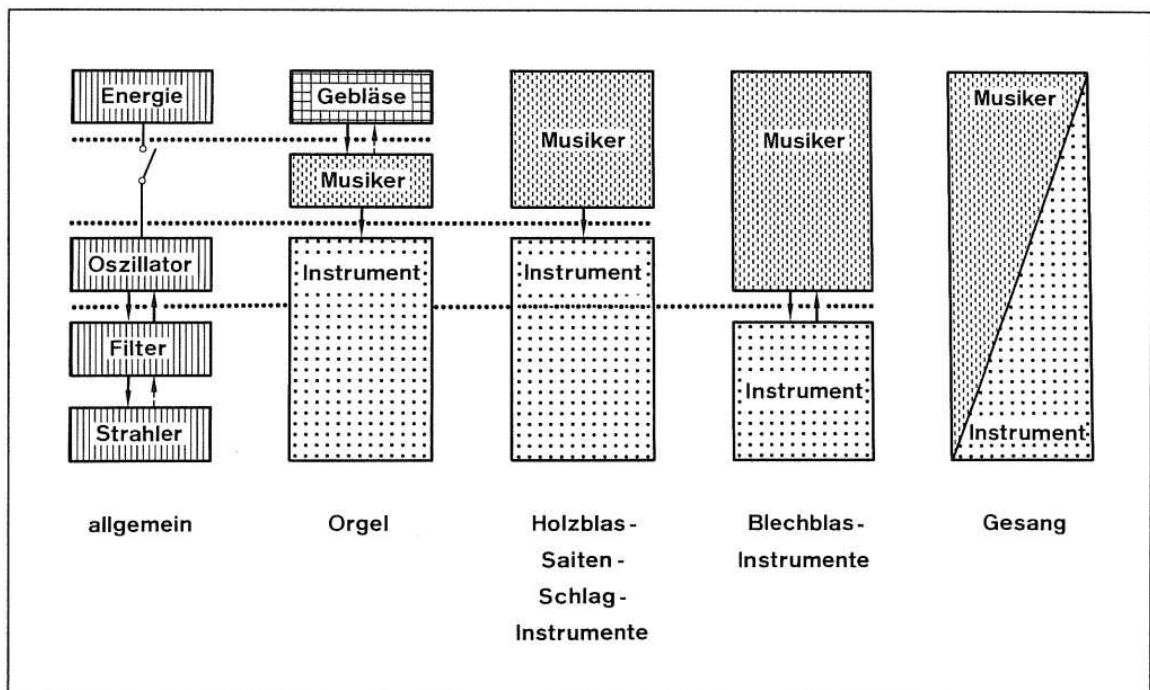


Abbildung 26: Instrumentengruppen (Wogram 1989, 120)

Der bedeutende Anteil des Musikers bei der Klangerzeugung legt nahe, dass das akustische Resultat in hohem Maße durch die Eigenschaften des Bläfers hinsichtlich seiner Physiognomie als auch seiner musikalischen Vorstellungen beeinflusst wird (Bowsher 1997, 1649; Wogram 2000, 185). Es gibt physikalische Eigenschaften des Instruments, die für alle Posaunisten die gleiche Bedeutung haben. Da aber das Instrument ohne die Lippen des Bläfers nicht funktioniert, bleibt immer die subjektive Komponente des Musikers beteiligt, dessen Spiel von einem komplizierten Muster aus physischen, neurophysiologischen und psychologischen Prozessen geprägt ist. Diese Faktoren müssen bei akustischen Forschungen immer mit einbezogen werden: "Physiological and psychological factors are actually more important than acoustical when attempting to assess differences between instruments of the same general configuration." (Bowsher 1997, 1650). Wogram kommt deswegen zu folgendem Schluss: „Es erscheint deshalb nicht sinnvoll, die klanglichen Resultate eines Spiels auf Blechblasinstrumenten objektiv und damit spielerunabhängig beurteilen zu wollen.“ (Wogram 2000, 185). Diese besonderen Umstände erschweren die Forschungsarbeit im Bereich aller Polsterzungeninstrumente, d. h. Blasinstrumente, bei denen das schwingungserzeugende Element von den Lippen des Bläfers gebildet wird (Wogram 1992a, 53).

Tonerzeugung

Der Posaunist regt sein Instrument durch Schwingen der Lippen an. Dabei geschieht folgendes: „Gegen die geschlossenen Lippen strömt Luft. Weil die Lippen geschlossen sind, steigt der Luftdruck hinter den Lippen, und das allmählich so stark, bis er die Lippen öffnet. Der daraus nun resultierende Druckabfall erlaubt es den Lippen, sich wieder zu schließen und dann beginnt der Vorgang von vorn.“ (Burba 2005, 7; vgl. auch Hall 2008, 276). „Das Andauern dieser Lippenvibrationen wird außerdem durch den aerodynamischen Bernoulli-Effekt unterstützt.“ (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 232 f.; vgl. auch Hall 2008, 276; 302 - 304).

Polsterzungeninstrumente unterscheiden sich von allen anderen dadurch, dass der Schwingungsgenerator komplett eigenständig funktioniert (Fletcher; Rossing 1998, 450). Das periodische Öffnen und Schließen der Lippen wird aufrechterhalten, solange Luftdruck und Lippenspannung im richtigen Verhältnis zueinander stehen. Geübte Bläser können auch ohne Instrument Frequenzen im Umfang von über zwei Oktaven produzieren.

Führt der Musiker diese Schwingung am Instrument aus, entsteht durch die beim Öffnen der Lippen (siehe oben) ins Instrument strömende Luft ein Überdruckimpuls, der entlang der Röhre in Richtung Schallstück wandert (Myers 1997, 22). Dort wird ein kleiner Teil an die Umgebung abgestrahlt, der Großteil aber wird reflektiert und wandert zurück zum Mundstück (Wogram 1992b, 124). Je nach Eintreffzeitpunkt kann die zurücklaufende Druckwelle die Schwingungen der Lippen unterstützen oder auch dämpfen (Auhagen 1994b, 385; Rossing; Moore; Wheeler 2002, 228). Da die Schallgeschwindigkeit bei gegebenem Luftdruck und fixer Temperatur konstant ist, entscheidet das Verhältnis der Frequenz der Lippenschwingung zum zurückgelegten Weg, also zur Rohrlänge, ob die Schwingung unterstützt wird. Ist dieses Verhältnis günstig, spricht man von Resonanz und durch das Hin- und Herwandern der Druckwelle entsteht im Instrumentenrohr eine stehende Welle (Wogram 1992b, 124): Beide Wellen überlagern sich so, dass es festliegende Punkte entlang des Rohrs gibt, an denen zu jeder Zeit derselbe Luftdruck herrscht (Druckknoten), während sich an anderen Punkten die Amplituden der Luftdruckschwankungen beider entgegengesetzt verlaufenden Wellen addieren (Druckbäuche). Abbildung 27 zeigt eine schematische Darstellung vom Querschnitt des Rohrverlaufes und einige mögliche stehende Wellen. Zu beachten ist, dass am Mundstück immer ein Druckbauch, am reflektierenden Ende immer ein Druckknoten existiert. Der letzte Druckknoten liegt bei sehr tiefen Frequenzen weit innerhalb des Instruments und wandert mit steigender Frequenz Richtung Schallstückrand.

„Im Gegensatz zur fortschreitenden Welle wird in einer stehenden Welle keine Energie transportiert.“ (Auhagen 1994a, 375), aber am offenen Ende des Rohrs wird ein Teil der Energie als hörbarer Schall an die Umgebungsluft abgegeben. Ein weiterer Teil geht durch Reibung an der Instrumentenrohrinnenseite verloren, ein kleiner Teil auch durch die Bläserlippen (Myers 1997, 19). Um die stehende Welle aufrecht zu erhalten, muss die verlorene Energie ersetzt werden. Diese Aufgabe erfüllt der Bläser, indem er dem Instrument Luft zuführt.

Akustische Funktion der Rohrs

Mund bzw. Lippen dichten den Mundstückrand vollständig ab, sodass das angeblasene Ende des Rohrs effektiv geschlossen ist (Myers 1997, 19; Hall 2008, 277). Bei der Posaune überwiegt der zylindrisch verlaufende Anteil (170 cm) an der Gesamtrohrlänge (275 cm) (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 227). An einem Ende geschlossene zylindri-

sche Rohre besitzen Resonanzen, die in etwa den ungeradzahligen Vielfachen der Grundtonfrequenz entsprechen (Myers 1997, 20; Hall 2008, 277). Trotzdem ist es möglich auf einer Posaune eine vollständige harmonische Reihe, also alle ganzzahligen Vielfachen der Grundtonfrequenz, zu produzieren, weil durch die nichtzylindrischen Teile am Anfang und am Ende des Instruments (Mundstück und Schallstürze) die Resonanzeigenschaften des Rohrs verändert werden (Hall 2008, 277).

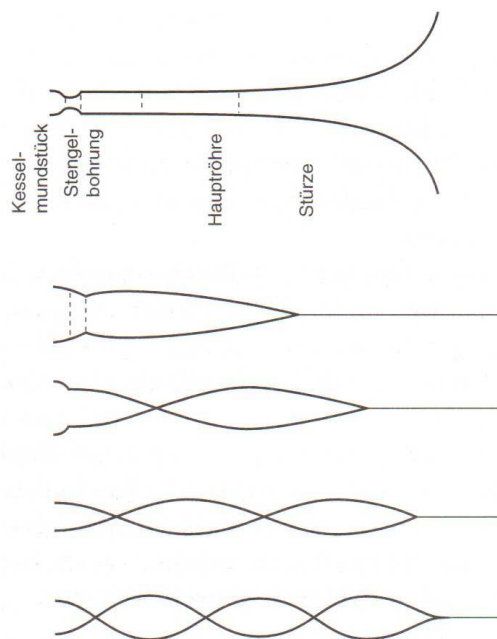


Abbildung 27 (Hall 2008, 278)

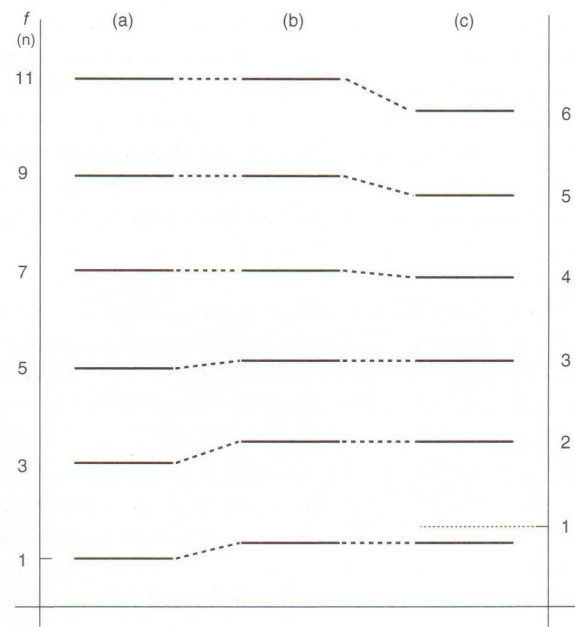


Abbildung 28 (Hall 2008, 278)

Abbildung 28 (a) zeigt die Resonanzfrequenzen eines zylindrischen Rohrs, das an einem Ende geschlossen ist. Die Aufweitung der Schallstürze bewirkt eine Erhöhung der unteren Frequenzen (Abbildung 28 (b); Benade 1988, 49; Vereecke 2011, 32), da der letzte Druckknoten durch die Stürze weiter nach innen wandert, also die Wellenlänge der stehenden Welle verkürzt (Abbildung 27). Das Einsetzen des Mundstücks bewirkt eine Erniedrigung der höheren Resonanzfrequenzen, sodass die Resonanzen ab dem zweiten Teilton den ganzzahligen Vielfachen einer anderen Grundtonfrequenz als der des zylindrischen Rohrs gleicher Länge entsprechen (Hall 2008, 278). Weiters liegt die Resonanz des ersten Teiltons unterhalb der errechneten Grundtonfrequenz (Abbildung 28, gestrichelte Linie), weshalb die erste Resonanz musikalisch nicht nutzbar ist (Hall 2008, 279; vgl. Kapitel 3.1, Abbildung 32).

3.1 Impedanzmessungen

“A brasswind instrument is an acoustical system whose acoustical properties can be characterized essentially by its input-impedance (...).” (Vereecke 2011, 27).

By determining the input impedance “ (...) one gets within few seconds nearly all acoustical properties of the instrument and information on ~90 % of its musical quality.” (Widholm 2012, 4).

Diese beiden Aussagen verdeutlichen die hohe Bedeutung der Eingangsimpedanz bei der Bestimmung der Resonanzeigenschaften eines Blechblasinstruments. Die ersten Impedanzmessungen wurden in den 1950er Jahren durchgeführt (Widholm 2012, 4): Zur Messung wird ein kurzer Klangimpuls in das Instrument geschickt. Am Mundstück nimmt ein kleines Mikrofon die Rückwürfe auf und leitet es an einen Oszillographen oder eine Software weiter (Benade 1988, 47 f.; Wogram 1992b, 126; Reuter 1995, 129 f.). Seit 1999 gibt es Programme, die Eingangsimpedanz und Intonation verbessern können, indem sie Instrumentenbauern die im Rohrverlauf zu verändernden Stellen errechnen (Anglmayer 2000, 167 – 174; Widholm 2012, 4).

Die Eingangsimpedanz bezeichnet das Verhältnis zwischen Druck und Schallfluss am Mundstück (Anglmayer 2000, 167; Vereecke 2011, 27). Die sich aus einer Impedanzmessung ergebende Kurve zeigt die Reaktion des Instruments auf den Anregungsimpuls des Bläasers. Eine Spitze in der Kurve bedeutet, dass bei dieser Anregungsfrequenz ein Maximum der zugeführten Energie im Instrument bleibt und sich eine stehende Welle bilden kann (Vereecke 2011, 27 f.). Solche Stellen werden demnach Resonanzspitzen genannt.

Abbildung 29 zeigt die Impedanzkurve eines zylindrischen Rohrs mit 140 cm Länge. Die erste Resonanzfrequenz (63 Hz) ist am stärksten ausgeprägt. „Die Resonanzamplitude nimmt stetig ab, weil die Wellen mit steigender Frequenz durch Reibung an der Innenwand immer mehr an Energie verlieren.“ (Benade 1988, 50). Zu beachten ist, dass die Resonanzspitzen bei den ungeradzahigen Vielfachen von 63 Hz liegen (vgl. Abbildung 28 (a)). Eine Kurve dieser Art findet im Didgeridoo praktische Verwendung.

Das Einsetzen eines trompetenförmigen Schallstücks an einem Ende der zylindrischen Röhre verändert den Impedanzverlauf (Abbildung 30). Alle Resonanzspitzen nehmen ab und rücken zusammen (vgl. Abbildung 28 (b)), während oberhalb von 1500 Hz nur

wenig Energie im Instrument bleibt (Benade; Campbell 2001, 115). Ein Hornist vermindert durch Einführen seiner Hand ins Schallstück dessen Einfluss auf die hohen Resonanzen, sodass sich hier Resonanzspitzen bilden und sehr hohe Töne leichter spielbar werden (Auhagen 1994b, 392; Benade; Campbell 2001, 115).

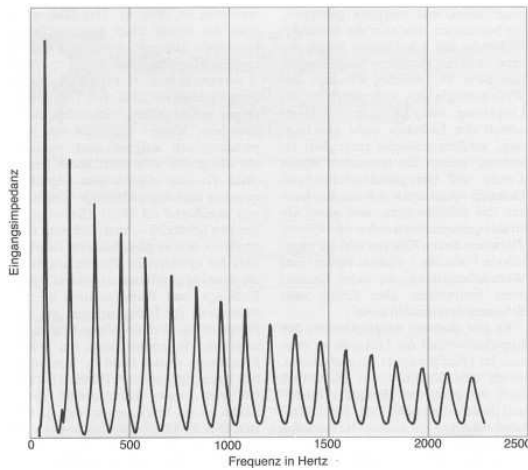


Abbildung 29 (Benade 1988, 50)

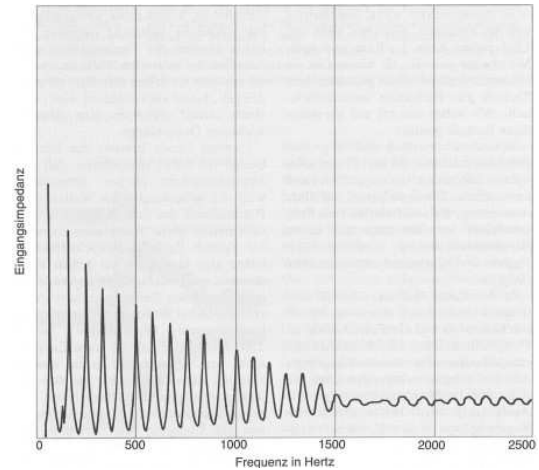


Abbildung 30 (Benade 1988, 50)

Durch Hinzufügen des Mundstücks verschieben sich die Resonanzen nochmals (vgl. Abbildung 28 (c)) und die Spitzen der mittleren Teiltöne werden angehoben (Abbildung 31). Die dritte und vierte Spitze entsprechen dem jeweiligen Teilton und sind etwas schwächer als in einem idealen gleichmäßigen Impedanzverlauf. Ansonsten zeigt die Kurve in Abbildung 31 einen Verlauf, der für alle Instrumente der Trompeten- und Posaunenfamilie typisch ist (Benade 1988, 50).

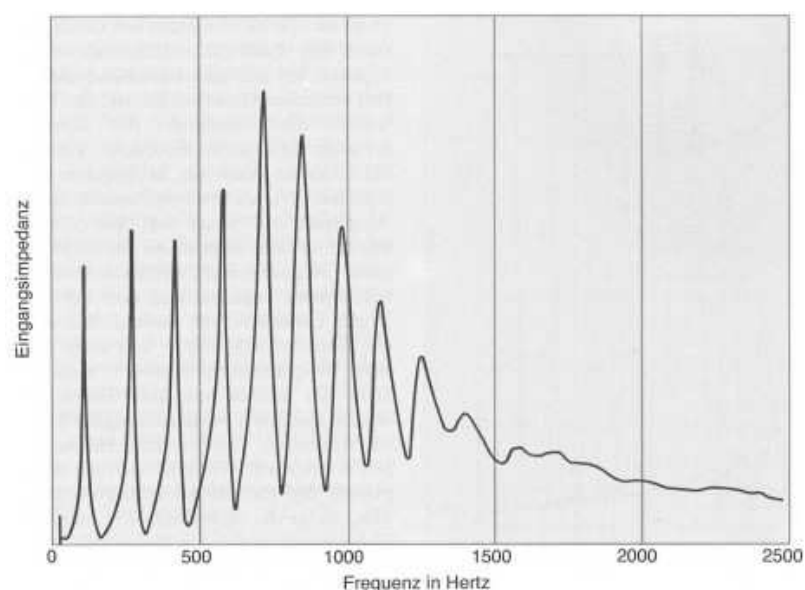
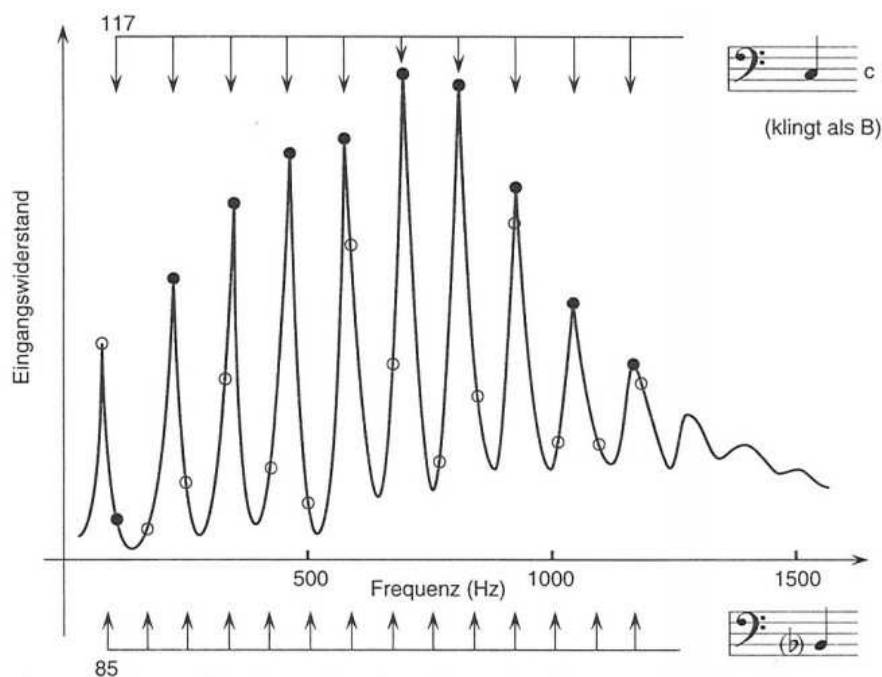


Abbildung 31 (Benade 1988, 51)

Beim Spielen eines Tons tragen auch die Resonanzen der ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz (Obertöne) zur Spielbarkeit bei, denn diese sind im Gesamtklang des Tons je nach gespielter Dynamik mehr oder weniger stark ausgeprägt (vgl. Kapitel 3.4.1): „Da die einzelnen Teiltöne des Anregungsspektrums unterschiedliche Amplituden besitzen, ist es notwendig, die zugehörigen Impedanzwerte bei der Bestimmung der Intonation entsprechend zu gewichten.“ (Anglmayer 2000, 167).

Die erste Resonanzfrequenz liegt etwas zu tief, um mit den oberen Resonanzspitzen zusammenzutreffen (vgl. Abbildung 28 (c)). Die leeren Kreise in Abbildung 32 zeigen Stellen, an denen die ganzzahligen Vielfachen der ersten Resonanzspitze liegen. Aufgrund der fehlenden Unterstützung durch die höheren Teiltöne kann sich hier keine stabile stehende Welle ausbilden. Obwohl die theoretische Grundtonfrequenz der höheren Teiltöne auf keiner Resonanzspitze liegt, kann mit dieser Anregungsfrequenz im Instrument eine stehende Welle gebildet werden, weil der Widerstand der Obertonresonanzen stark genug ist (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 232; Hall 2008, 287).



der Grundton selbst ist praktisch nicht vorhanden, so schwach ist er ausgeprägt. Leere Kreise: Ein Versuch, die der ersten Eigenschwingung entsprechende Note zu erhalten, scheitert an der fehlenden Unterstützung durch höhere Eigenschwingungen.

Bild 13.20

Schwarze Kreise: Das Blasen des sog. Pedaltons (= Grundton, erste Eigenschwingung) der Trompete mit der erklingenden Tonhöhe B bewirkt das kooperative Auftreten der zweiten und folgenden Eigenschwingungen, aber

Abbildung 32 (Hall 2008, 287)

Abbildung 33 zeigt Beispiele für die Unterstützung verschiedener Resonanzspitzen bei der Anregung höherer Teiltöne in der Impedanzkurve einer Trompete. Je höher der zu spielende Ton, desto weniger Resonanzspitzen tragen zum Erhalt der stehenden Welle im Instrument bei und desto mehr Arbeit muss der Generator (Bläserlippen) leisten: “Lip-reed instruments differ from all others by virtue of the fact that the lip generator can operate autonomously, without the assistance of the tube resonances, and indeed it is largely this feature that makes it possible to play reliably the notes in the upper registers.” (Fletcher; Rossing 1998, 450).

Im rechten Fenster von Abbildung 33 existiert pro Ton praktisch nur noch eine Resonanzspitze, wodurch diese Töne biegsamer werden: „Der dritte oder vierte Teilton kann weniger als einen Halbton von der für diesen Teilton ‚richtigen‘ Frequenz abweichen, bevor der Ton zum nächstliegenden um springt. Die höheren Teiltöne (8, 9, 10 usw.) sind nicht so gut getrennt und bringen daher die Gefahr mit sich, daß der Ton hin und her springt oder sogar von einem zum nächsten Teilton ‚jault‘. Sie erfordern daher sehr viel mehr Lippenkontrolle und Sensibilität des Spielers.“ (Hall 2008, 279). Dies trifft vor allem auf Hornisten zu, die meist über dem 8. Teilton spielen.

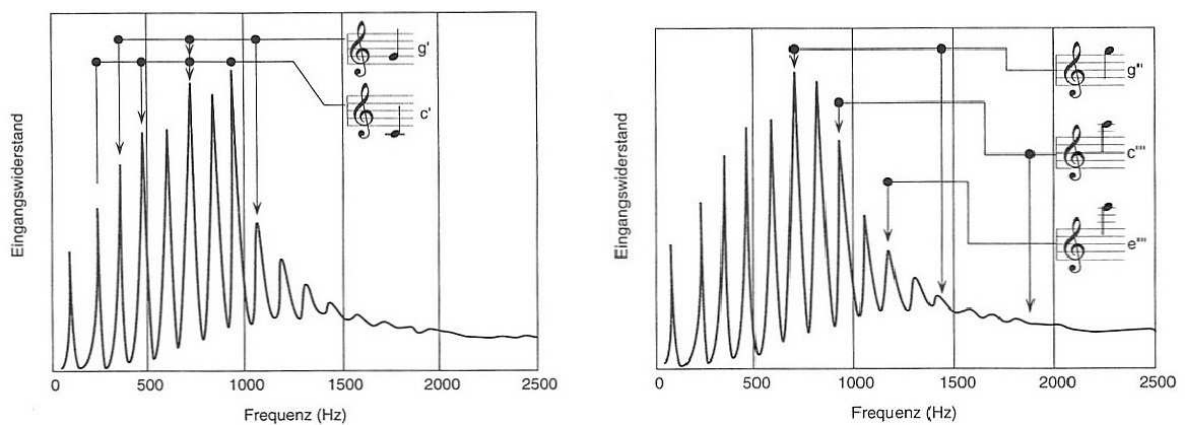


Abbildung 33 (Hall 2008, 286)

Impedanz-Optimierung

Die am Institut für Wiener Klangstil (IWK) entwickelte Optimierungssoftware BIOS (Blas-Instrumente-Optimierungs-Software) errechnet bei Eingabe der Mensur des Instruments, der veränderbaren Menusbereiche und der gewünschten Intonationsänderungen das bestmögliche Ergebnis (Anglmayer 2000, 171). Anglmayer zeigt den Nutzen anhand der Optimierung einer B-Trompete:

„Es wurde versucht die mit BIAS (Blas-Instrumente-Analyse-System) gemessene Intonation des oben beschriebenen Versuchsinstruments zu verbessern. Als Mensuränderungen war aus praktischen Gründen nur das Einsetzen einer Metallhülse (Länge 40 mm, Wandstärke 5 mm) im zylindrischen Teil der Trompete zugelassen. Das Programm hatte also nur die optimale Position der Hülse zu bestimmen.“ (Anglmayer 2000, 172). In Abbildung 34 sind die Ergebnisse dieser Intonationsverbesserung dargestellt. Vor der Optimierung lag die durchschnittliche Abweichung der angegebenen Töne bei 6,14 cent, danach nur noch bei 3,57 cent. Klaus Wogram stellte ebenfalls im Jahr 2000 ein ähnliches Programm namens „Messka“ vor (Wogram 2000, 185 – 198).

Tonname klingend	B	f ¹	b ¹	d ²	f ²	b ²	d ³
Vor der Optimierung	-2	-5	14	-2	8	-1	-15
Nach der Optimierung	-1	5	7	-4	2	0	-8

Tab. 2: Intonationsfehler (in cent) der Versuchstrompete vor und nach der Optimierung.

Abbildung 34 (Anglmayer 2000, 172)

Der Bereich der Eigenimpedanz von Blechblasinstrumenten wurde bereits umfangreich erforscht. Messungen liefern sehr genaue Ergebnisse und mit Hilfe computergestützter Optimierungsprogramme können Instrumentenbauer gezielt Verbesserungen von Intonation und Ansprache erreichen. Trotzdem bleiben Fragen hinsichtlich der Interpretation von Impedanzkurven: Wie wirkt sich die Eingangsimpedanz auf den Klang aus? Höhere Spitzen implizieren eine bessere Ansprache (Vereecke 2011, 27 f.), aber wie verhält sich die Ansprache in höheren Registern? Ein weiterer Bereich wären Temperaturunterschiede in der Röhre: Beim Spielen erwärmt der Atem des Bläasers die Luft im Mundstück auf etwa 35°C, wogegen am Schallstück nur rund 22°C herrschen. “The full consequences of this variation remain to be explored.” (Bowsher 1997, 1645).

3.2 Mundstück und Bläserlippen

Mundstück

Akustisch betrachtet erfüllt das Mundstück zwei Hauptaufgaben: Erstens die Verstärkung der Resonanzen der im Spielbereich gelegenen Frequenzen und zweitens die Erniedrigung der höheren Resonanzen (Bowsher 1997, 1646; Rossing; Moore; Wheeler 2002, 231; vgl. Abbildung 28), wofür primär die tiefste Resonanzspitze verantwortlich ist, während die Klangfarbe von den höheren beeinflusst wird (Wogram 1992a, 54).

Beim Spielen eines Blechblasinstruments entstehen die höchsten Druckpunkte im Mundstück. Deshalb hat jede kleine Änderung an dessen Größe und Form eine Auswirkung auf Spielgefühl und Klang (Vereecke 2011, 30). Bereits eine Änderung des Durchmessers der Bohrung um 5 Prozent wird von musikalisch erfahrenen Personen beim Klangvergleich wahrgenommen (Carral; Campbell 2002, 12).

Neben der Bohrung sind der Kessel und die Rückbohrung die akustisch wichtigsten Teile am Mundstück. Das Volumen des Kessels beeinflusst die Klangqualität und kann die Stimmung um bis zu 35 cent verändern, die Rückbohrung um bis zu 30 cent (Vereecke 2011, 30). Eine Vergrößerung des Kesselvolumens bewirkt eine Erniedrigung der Resonanzfrequenz, eine Vergrößerung des Bohrungsdurchmessers erhöht sie (Wogram 1992a, 56; Vereecke 2011, 30).

Bläserlippen

Der Oszillator bei Blechblasinstrumenten ist Teil des menschlichen Körpers. Durch die direkte muskuläre Kontrolle der Lippen ist der Einfluss des Spielers größer als bei den meisten anderen Instrumenten (Bowsher 1997, 1649). Zum Schwingungsmuster der Lippen wurden im Laufe der akustischen Forschung verschiedene Modelle entwickelt (Ayers 2001, 83 – 86; Kausel 2003, 205 – 208; Ludwigsen 2003, 209 – 212). Hochgeschwindigkeitsaufnahmen von Bläserlippen ermöglichen einen tieferen Einblick in die Bewegungsmuster, sodass beispielsweise herausgefunden wurde, dass die Lippen nicht zum metallischen Klang bei sehr hohen Lautstärken beitragen, da sich ihr Öffnungsbereich in Abhängigkeit zur Dynamik nicht wesentlich verändert (Stevenson; Campbell; Bromage 2009, 152 - 157).

Mundstückdruck an den Lippen

Der Parameter des angewandten Mundstückdrucks variiert nicht nur mit der gespielten Lautstärke und Tonhöhe, sondern auch von Bläser zu Bläser, sodass Manche für einen bestimmten Ton am selben Instrument den doppelten Druck anwenden als Andere (Bowsher 1997, 1649). Abbildung 35 zeigt konkrete Unterschiede in Abhängigkeit von Tonhöhe und Fähigkeit von Trompetern. Hobbymusiker (medium), die etwa 2 Stunden pro Woche spielen, wandten den höchsten Mundstückdruck an, während Berufsmusiker (professional) das Mundstück am geringsten an die Lippen pressten.

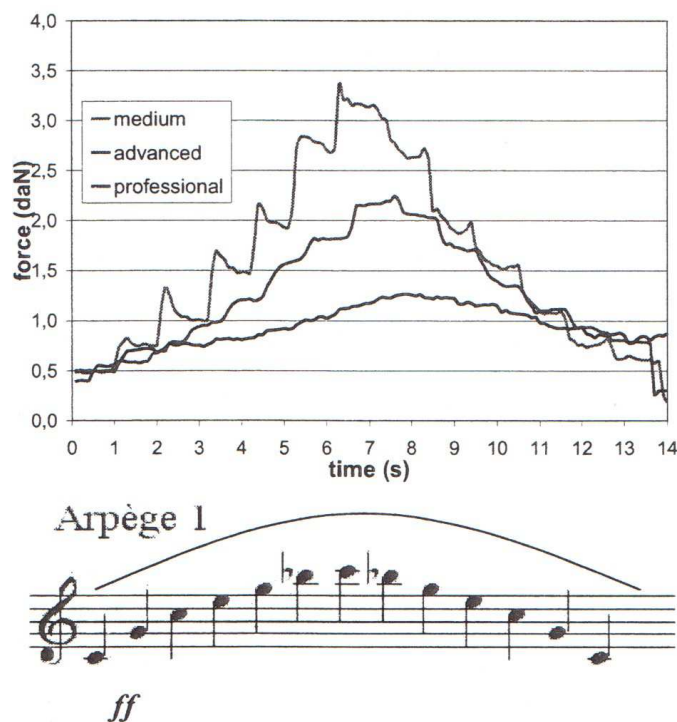


Figure 6: *force(time)* for arpeggio 1, dynamic *ff*.

Abbildung 35 (Petiot 2003, 227)

Weiters ist aus der Abbildung ersichtlich, dass bei allen Gruppen die Werte mit steigender Tonhöhe zunehmen, was sich dadurch erklären lässt, dass beim steigenden Luftdruck höherer Frequenzen ein größerer Mundstückdruck notwendig ist, um die Dichtigkeit zwischen Mundstückrand und Lippen aufrecht zu halten (Petiot 2003, 227 f.). Petiot stellt weiter fest, dass die Kurven nicht symmetrisch verlaufen, sondern beim Spielen der absteigenden Tonfolge ein höherer Druck aufgebracht wurde als bei der ansteigenden Sequenz: “The control of the release of the embouchure and the air pressure during descending intervals seems to be more difficult than the control of the contraction (this

is confirmed by many brass players).” (Petiot 2003, 228). Die Druckspitzen bei den Tonanfängen des am wenigsten geübten Trompeters deuten darauf hin, dass dieser Bläser die Tonhöhe hauptsächlich über den Luftdruck steuert, was Petiot auf mangelnde Erfahrung und dadurch fehlendes Blasgefühl (der Lippen) zurückführt (Petiot 2003, 228).

3.3 Einschwingvorgang

Die Einschwingzeit ist die Zeitspanne zwischen dem ersten Anregungsimpuls und Erreichen des Schallpegels, der 3 dB unter dem endgültigen stationären Pegel liegt (Meyer 2008, 147). Im Durchschnitt beträgt die Dauer dieses Einschwingvorgangs 20 – 50 ms (Fletcher; Rossing 1998, 453). Der Einschwingvorgang von Blechblasinstrumenten wird von einem charakteristischen Vorläuferimpuls geprägt und der Verlauf des Klangbeginns ist zusätzlich abhängig von Kesselform und Bohrung des Mundstücks (Reuter 1995, 138 f.).

Tabelle 4.7 Einschwingzeiten von Orchesterinstrumenten

Instrument	scharfer Tonansatz in ms		weicher Tonansatz in ms	
	tiefe Lage	hohe Lage	tiefe Lage	hohe Lage
Violine / Viola	55	30	270	200
Violoncello	25	30	180	230
Kontrabass	140	45	400	60
Flöte	110	25	180	40
Oboe	35	15	110	35
Klarinette	35	30	60	50
Fagott	30	15	65	60
Horn	75	35	120	90
Trompete	30	18	175	35
Posaune	40	18	70	40
Tuba	70	25	130	60

Abbildung 36: (Meyer 2008, 148)

Aus Abbildung 36 ist erkennbar, dass die Einschwingdauer mit steigender Tonhöhe kürzer wird. Dies gilt für alle Instrumente in der Tabelle außer dem Violoncello. Weiters ist ersichtlich, dass die Zeitspanne durch einen weichen Tonansatz des Musikers meist mehr als verdoppelt werden kann (Meyer 2008, 148 f.). Für die Ausprägung und Dauer des Einschwingvorgangs sind neben Tonhöhe und Artikulation auch die Resonanzeigenschaften des Instruments von Bedeutung (Reuter 1995, 231): „Je geringer die

Abweichung zweier Resonanzen vom Verhältnis 2 (Oktave), desto besser die Ansprache“ (Wogram 1989, 126; Wogram 1992b, 124), bzw. „desto leichter und geräuschloser vollzieht sich die Ansprache“ (Reuter 1995, 126). Reuter stellt weiters fest, dass bei kurzen und unkomplizierten Einschwingvorgängen der Formant (vgl. Kapitel 3.4.2) im Spektrum deutlicher ausgeprägt ist und Fluktuationen im Spektrum schwächer sind (Reuter 1995, 231).

Im Allgemeinen kann die Spieldynamik anhand des Einschwingvorgangs nur schwer erkannt werden (Reuter 1995, 198). Zur Erkennung von Instrumenten ist der Klangbeginn nur dann notwendig, wenn der Grundton über dem ersten Formantbereich des Instruments liegt; darunter können Instrumente auch ausschließlich anhand des stationären Klangs unterschieden werden (Reuter 1995, 210 f.; 231 f.).

Die Tonhöhenwechsel bei Blechblasinstrumenten dauern mit 70 ms für die Trompete und 120 ms für die Posaune wesentlich länger als deren Einschwingvorgänge (Reuter 1995, 134). Hierbei spielen vielleicht Eigenschwingungen der Instrumentenwände eine Rolle, durch die der Tonbeginn des folgenden Tons möglicherweise verzögert wird. Weiters könnte auch der Musiker eine Rolle spielen, der durch Lippen und Luftstrom wesentlich zur Klangproduktion beiträgt. Dieses Phänomen muss noch erforscht werden.

3.4 Quasistationärer Teil

Klang, Intonation und Ansprache bilden die drei Hauptparameter für die Bewertung eines Instruments (Wogram 1989, 120; Wogram 1992b, 122). Für den Zuhörer hat der Klang die größte Bedeutung; Intonation und Ansprache sind nur für den Bläser spürbar, das Publikum erlebt die Resultate des Zusammenwirkens aller Faktoren ausschließlich über den Klang.

3.4.1 Obertonspektrum

Ein Klang ist definiert als eine komplexe, aus mehreren Teilschwingungen zusammengesetzte Schwingung. Sind die Frequenzen dieser Teilschwingungen ganzzahlige Vielfache einer Grundfrequenz, so spricht man von einem harmonischen Klang (Auhagen 1994a, 371). Je nach Anzahl und Stärke der Obertöne, d. h. Teilschwingungen über der

Grundfrequenz, erhält der Klang seine charakteristische Farbe. Die Amplituden dieser Obertöne nehmen bei den meisten Musikinstrumenten mit der Lautstärke zu, weshalb laute Klänge obertonreicher sind als leise. Diese Änderung im Klangspektrum ist für die Lautstärkenempfindung wahrscheinlich von größerer Bedeutung als die Änderung des Schallpegels (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 240; Meyer 2008, 142). Das Spektrum von Blechblasinstrumenten mit dünnen Wänden ändert sich mit zunehmendem Schallpegel stärker als das bei dickwandigeren Instrumenten (Bowsher 1997, 1647). Bei Blechblasinstrumenten erscheinen in hohen Dynamikstufen eine Vielzahl stark ausgeprägter Obertöne: „Im *ff* entwickelt die Posaune einen außerordentlich obertonreichen Klang, dabei liegen die 3000-Hz-Komponenten nur um 5 bis 10 dB unter den stärksten Teiltönen (...).“ (Meyer 2004, 55).

Infolge der tiefen Tonlage der Posaune liegen die Teiltöne sehr eng beieinander. Durch die Dichte der benachbarten Teiltöne kann ein geräuschartiger Höreindruck entstehen, den Meyer als metallisch beschreibt (Meyer 2004, 55). Dieser raue Klang verstärkt sich bei niedrigeren Frequenzen und ist deshalb vor allem für die Bassposaune charakteristisch. Aufgrund der Vielzahl an Obertönen und deren geringer Abstand zueinander ähnelt der *ff* Klang von Blechblasinstrumenten in tiefen Lagen dem breitbandigen geräuschhaften Klängen von Percussion-Instrumenten, jedoch mit noch deutlich ausgeprägter Tonhöhe.

3.4.2 Formanten

Im Klangspektrum von Musikinstrumenten weisen einzelne Frequenzbereiche unabhängig von der Grundtonfrequenz höhere Amplituden auf. Diese sogenannten Formantbereiche bilden bei Sprache und Gesang die Grundlage für die Vokalfärbungen und geben Musikinstrumenten bei unterschiedlicher Tonhöhe und Spielstärke einen gleich bleibenden charakteristischen Klang (Myers 1997, 23; Fricke 2000, 180; Meyer 2008, 128). Formanten bei Blechblasinstrumenten sind sehr viel breiter als bei gesungenen Vokalen und tragen daher weniger zur Klangfärbung bei (Meyer 2008, 130). “They make an important contribution to wood-wind character, and are less important for brass but still significant.” (Myers 1997, 23).

Das Frequenzgebiet mit den größten Teiltonintensitäten bildet der Hauptformant, der bei der Tenorposaune zwischen 500 Hz und 600 Hz liegt (Meyer 2008, 130), wobei Meyer auf derselben Seite im Text 650 Hz angibt. Dies ist möglicherweise ein Druckfehler und soll 550 Hz (der Mittelwert der oben angegebenen Spanne) heißen, denn 2004 gibt Meyer 520 Hz an. Allerdings ändert sich der Hauptformant mit der Tonlage, sodass er in tiefen Lagen bei 480 Hz, in hohen Bereichen bei 600 Hz liegt (Meyer 2004, 54). Die Bassposaune in F (Cimbasso) besitzt wie das Wiener Horn denselben Grundton und somit eine ähnliche Rohrlänge. Der Hauptformant liegt bei beiden Instrumenten im Bereich um 360 Hz, also deutlich tiefer (Meyer 2004, 57; Meyer 2008, 130). Die Trompete in B hat die halbe Rohrlänge einer Tenorposaune und ihr Hauptformantbereich liegt zwischen 1200 und 1500 Hz. Aus Abbildung 37 ist der Zusammenhang von Rohrlänge, respektive Tonhöhe, und Lage der Hauptformanten gut ersichtlich:

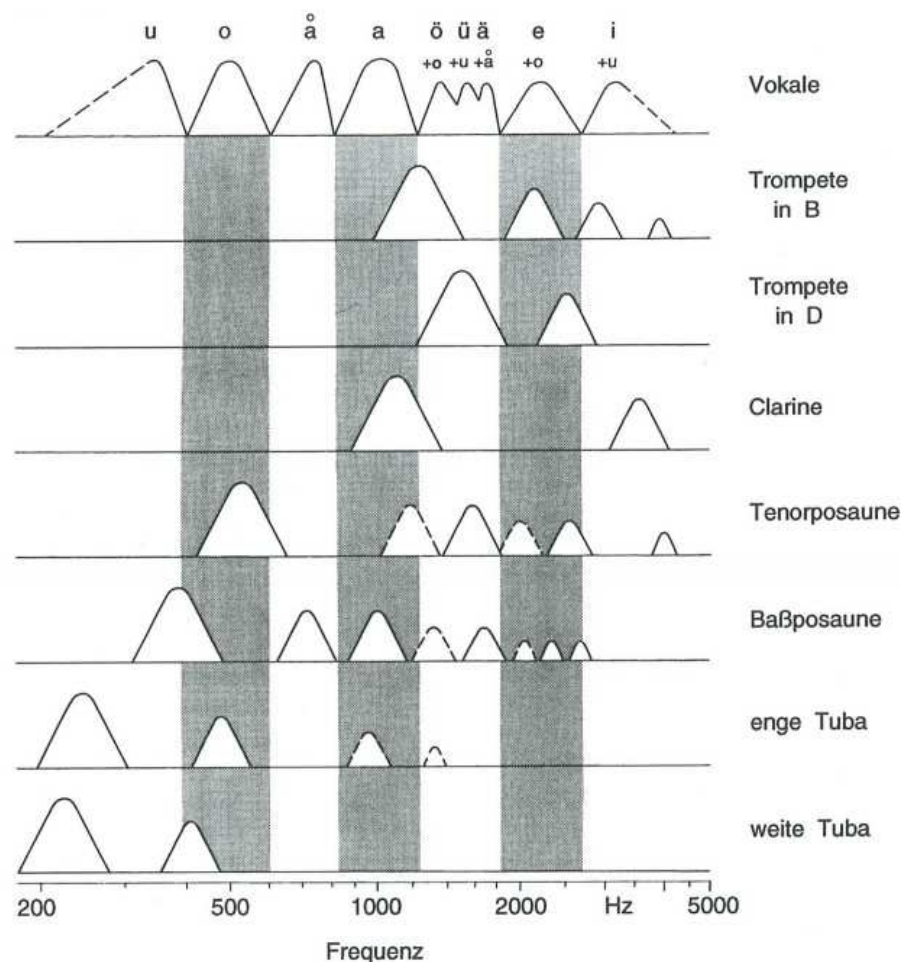


Abbildung 37: Formantbereiche von Blechblasinstrumenten (Meyer 2004, 51)

3.4.3 Wandschwingungen

„Von einem direkten Einfluß der Materialschwingungen auf den Klang der Blechblasinstrumente, wie er von vielen Bläsern immer wieder geäußert wird, kann (...) nur mit erheblichen Einschränkungen gesprochen werden.“ (Wogram 1989, 135). Über 20 Jahre nach dieser Feststellung fanden Wissenschaftler wieder verstärktes Interesse an Wandschwingungen bei Blechblasinstrumenten. Aktuelle Forschungen zeigen, dass diese doch ein bedeutender Faktor sind: “Based on a review of the literature, one can now confidently assert that the wall vibrations of brass wind instruments do indeed affect the radiated sound. Furthermore, this effect can be significant enough to be noticeable to the average listener, and the differences in the power contained in individual overtones can exceed 6 dB in some cases.” (Kausel; Zietlow; Moore 2010, 3162). Die Ursachen für diesen Einfluss auf den Klang liegen vermutlich in der Wechselwirkung zwischen Luftsäule und Wandschwingungen (Kausel; Zietlow; Moore 2010, 3173).

Faktoren, welche Art und Ausmaß der Wandschwingungen beeinflussen sind das Material, dessen Gewicht und Verarbeitung, die Wandstärke und auch die Stabilität des Instruments als Ganzes. Letztere wird maßgeblich von der Anzahl und Position der Querstege bestimmt. Die Abhängigkeit der Vibrationen von der Wandstärke wurde bereits bewiesen (Vereecke 2011, 35). Sowohl in Experimenten, als auch in numerischen Simulationen wurde gezeigt, dass Wandschwingungen die Eingangsimpedanz deutlich beeinflussen (Chatziioannou; Kausel; Moore 2012, 2248).

3.4.4 Geräuschanteile

Die Form des Mundstücks kann einen geräuschhaften Klang begünstigen: Ist die Bohrung in Relation zum Kesselvolumen zu weit, nimmt der Geräuschanteil zu (Wogram 1992a, 58). Ebenfalls fördert eine enge und lange zylindrische Bohrung des Mundstücks den Geräuschanteil des vom Schallstück abgestrahlten Klangs (Wogram 1992a, 59). Ein großer und tiefer Kessel reduziert die Geräuschanteile (Wogram 1992a, 58).

Der oft als metallisch oder schmetternd bezeichnete Klang von Blechblasinstrumenten, welche in extremen Lautstärken geblasen werden, resultiert nicht von Schwingungen des metallischen Schallstücks (Gilbert and Petiot, 1997; Benade; Campbell 2001, 116 f.): Wie Hirschberg 1996 zeigte, entstehen bei ausreichend hohen Schalldrücken inner-

halb des zylindrischen Instrumentenrohrs Schockwellen, die für den charakteristischen Klang von Posaunen und Trompeten verantwortlich sind (Hirschberg et al. 1996, 1754 – 1758): “At the point in the vibration cycle at which the player’s lips open, a large pressure jump is created in the mouthpiece. This pressure rise becomes steeper and steeper as it travels down the tube; by the time it reaches the bell it has become an extremely short and powerful pulse. The form of this shock wave is similar to that created by the passage of a supersonic aircraft, and the sound of a *fortissimo g*’ on a trombone has been graphically described as ‘four hundred sonic bangs per second’ (...).” (Benade; Campbell 2001, 116 f.).

Hirschberg zeigte, dass zur Bildung von Schockwellen ein langer zylindrischer Rohrannteil notwendig ist, was die Entstehung bei Trompete und Posaune eher begünstigt als bei weitmensurierten Instrumenten wie Flügelhorn, Tenorhorn oder Tuba (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 238).

3.4.5 Dynamikbereich

Das in den Raum abgestrahlte Klangspektrum hängt zum einen vom Spektrum der stehenden Welle im Instrument, zum anderen von der Abstrahlungseffizienz des Schallstücks ab (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 237; vgl. Kapitel 3.7; Abbildung 45). Die dynamische Spanne des vom Musiker gesteuerten, im Instrument erzeugten und in Folge abgestrahlten Klangs wird durch die Raumakustik weiter beeinflusst, indem er zum Beispiel durch Wandreflexionen gebündelt und somit an bestimmten Orten verstärkt wird. Ein halliger Klang wird zudem subjektiv als lauter empfunden als ein trockener Klang gleichen Pegels (Meyer 2008, 142). Ähnliches gilt für die Zusammensetzung des Klangspektrums, dessen Gestalt von der Spielstärke abhängt (Meyer 2008, 142; vgl. Kapitel 3.4.1). Weitere Variablen für die gemessene Lautstärke sind Abstand und Winkel zum Instrument (vgl. Kapitel 3.7). Der Schallpegel reduziert sich mit der Entfernung zur Schallquelle: Dem Abstands- oder Entfernungsgesetz zufolge bedeutet eine Verdopplung des Abstandes eine Reduzierung des Gesamtpegels um 6 dB (Hall 2008, 95). Messwerte für erreichte Lautstärken von Instrumenten müssen daher immer in Relation zur Positionierung des Mikrofons gesetzt werden.

Die in Abbildung 38 angegebenen Werte sind zum Vergleich innerhalb der Messung geeignet, da gleiche Bedingungen angenommen werden können. Der hier angegebene

Maximalwert für Einzeltöne auf der Posaune (113 dB) unterscheidet sich jedoch sehr von den 95 dB einer anderen Messung in (Burghauser; Špelda 1971, 70). Da Letztere Angaben zum Abstand des Mikrofons enthält, kann die Differenz zu den Werten in Abbildung 38 hochgerechnet werden, wenn man davon ausgeht, dass beide Posaunisten in etwa gleich laut gespielt haben. Die 95 dB wurden in einem Abstand von 16 m gemessen (Burghauser; Špelda 1971, 69), was bedeutet, dass in 8 m Entfernung 101 dB, in 4 m 107 dB und in 2 m 114 dB gemessen worden wären. Aufgrund der großen räumlichen Anhängigkeit erscheint es sinnvoll, absolute Werte zu vernachlässigen und sich auf einen relativen Vergleich zwischen den Instrumenten zu konzentrieren. Hier muss gesagt werden, dass die in Abbildung 38 angegebenen Werte deshalb nicht praktikabel sind, weil die Orchesterinstrumente in der Konzertaufstellung verschieden weit vom Zuhörer entfernt sind, sodass sich die dynamische Überlegenheit der Blechblasinstrumente allein durch ihren größeren Abstand zum Publikum etwas relativiert. Weiters beeinflusst auch die Abstrahlcharakteristik in Zusammenhang mit räumlichen Gegebenheiten die tatsächlich wahrgenommene Lautstärke (vgl. Kapitel 3.7).

Tabelle 4.5 Schalleistungspegel und Dynamikumfang von Streich- und Blasinstrumenten

Instrument	schnelle Tonfolgen in dB		Einzeltöne in dB		praktischer Dynamikumfang in dB
	<i>ff</i>	<i>pp</i>	<i>ff</i>	<i>ff</i>	
Violine	94	74	99	58	30 – 35
Viola	91	73	95	63	25 – 30
Violoncelle	96	74	98	63	25 – 30
Kontrabass	96	79	100	66	25 – 30
Flöte	94	82	101	67	12 – 20
Oboe	95	83	103	70	20 – 30
Klarinette	97	77	106	57	20 – 30
Fagott	96	81	102	72	25 – 30
Horn	107	86	117	65	35 – 40
Trompete	104	89	111	78	25 – 30
Posaune	105	89	113	73	30 – 35
Tuba	108	93	112	77	25 – 30

Abbildung 38: Schalleistungspegel⁶ (Meyer 2008, 143)

Wie Abbildung 38 zeigt, weisen die Blechblasinstrumente in allen Bereichen ähnliche Werte auf. Die einzigen Abweichungen sind das sehr leise *pp* bei Einzeltönen am Horn und die 93 dB der Tuba bei schnellen Tonfolgen im *pp*.

⁶ Druckfehler: Die Bezeichnung für die 5. Spalte (Einzeltöne in dB, niedrigere Werte) soll *pp* heißen

Der Dynamikumfang der Posaune reicht mit 30 – 35 dB nicht ganz an den des Horns, liegt aber über den aller anderen Orchesterinstrumente außer den Violinen, bei denen derselbe Umfang gemessen wurde. Andere Angaben zur Dynamikspanne schwanken ebenfalls zwischen 30 und 35 dB (Burghauser; Špelda 1971, 69; Bowsher 1997, 1644; Fletcher; Rossing 1998, 457; Rossing; Moore; Wheeler 2002, 240; Meyer 2004, 55).

In Abbildung 39 sind die spielbaren Dynamikbereiche verschiedener Blechblasinstrumente gegenübergestellt. Sie ähneln sich in ihrer Gestalt, sodass bei allen die Maximal-lautstärke im oberen Frequenzbereich liegt, während die leisesten Pegel im Unteren erreicht werden. Außerdem liegt die Frequenz mit der größten spielbaren Dynamikspanne meist im mittleren bis unteren Bereich, denn in höheren Registern sind leise Töne schwierig zu produzieren. In der kleinen und eingestrichenen Oktave erreichen Tenorposaunen die höchsten Schallpegel, „die überhaupt zu den maximalen zählen, die auf klassischen Instrumenten möglich sind“ (Burghauser; Špelda 1971, 80).

Abbildung 39 zeigt auch eine verhältnismäßig große gemeinsame Fläche, die auf das ausgeglichene und konzentrierte Klangfeld der Blechblasinstrumente hinweist, welches bei Holzblasinstrumenten nicht zu finden ist (Burghauser, Špelda 1971, 79 - 80).

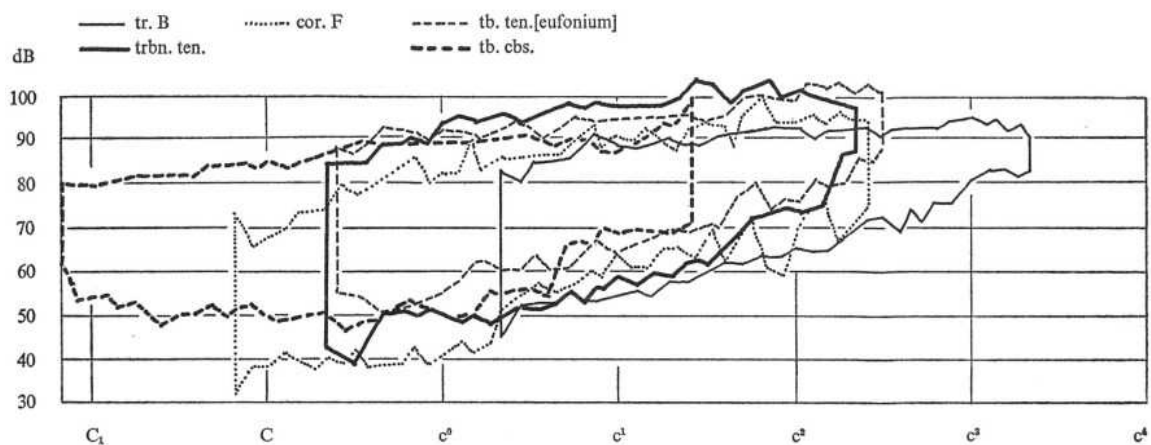


Abbildung 39: Dynamik der Blechblasinstrumente (Burghauser; Špelda 1971, 79)

3.5 Akustische Funktion von Dämpfern

Das Einsetzen von Dämpfern in das Schallstück reduziert die Klangabstrahlung und verändert die Klangfarbe, indem das abgestrahlte Klangspektrum verändert wird (Hall 2008, 292 f.). Bei den meisten Dämpferarten werden Amplituden tiefer Frequenzen gesenkt und hohe Anteile moduliert: „Bei den Trompeten mit Dämpfern war besonders bei niedrigeren und mittleren Frequenzen ein Sinken der Pegel zu beobachten. Bei hohen Tönen war das Sinken unmerklich oder es zeigte sich sogar ein geringer Anstieg der Intensität.“ (Burghauser; Špelda 1971, 70). Diese Beobachtungen sind in den Abbildungen 40 und 41 zu sehen: Mit (a) ist der Klang ohne Dämpfer dargestellt, (b) zeigt die Daten für einen konischen Dämpfer (Spitzdämpfer) und (c) die Ergebnisse für einen Wah-wah Dämpfer.

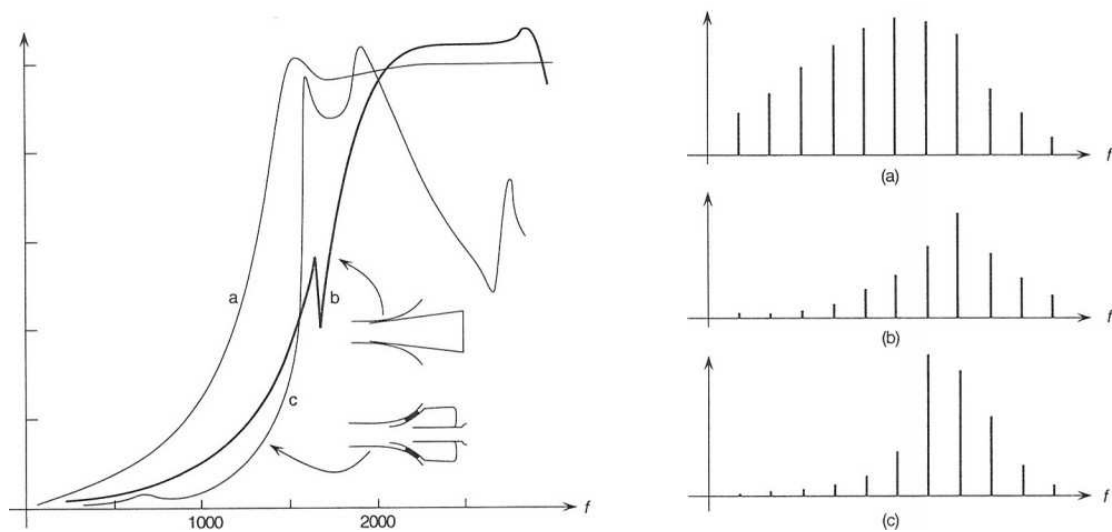


Abbildung 40 (links): Abstrahlungseffizienz (Hall 2008, 292)

Abbildung 41 (rechts): Klangspektrum (Hall 2008, 293)

3.6 Der Vokaltrakt

Blechblasinstrumente funktionieren auf ähnliche Weise wie der menschliche Stimapparat. Die Stimmlippen vibrieren beim Singen ähnlich der Lippen eines Posaunisten, wenn dieser sie ohne Instrument zum Schwingen anregt (Benade 1976, 391; Hall 2008, 65). Die dünne hochwirksame Resonanzröhre des Instruments ist der wichtigste Unterschied zur menschlichen Stimme, deren Äquivalent der Mundraum bzw. Vokaltrakt bildet. Dieser kann durch Stellung der Zunge, des Unterkiefers und der Lippen in seinen Resonanzeigenschaften so verändert werden, dass sich gesangstypische Formanten bilden (vgl. Kapitel 3.4.2).

Der Vergleich wirft die Frage auf, ob und inwiefern der Vokaltrakt bei Blechbläsern eine Rolle in der Klangproduktion spielt. Die Bedeutung scheint dabei außer Frage zu stehen: „Die Klangfarbe eines Blechblasinstruments kann durch viele Parameter verändert werden. Der Bläser, speziell die Form seines Vokaltraktes, spielt hierbei eine wichtige Rolle“ (Auhagen 1994b, 392). „(...) the character of what the listener hears is principally determined by the shape of the bore profile of the instrument and of the oral cavities of the player.“ (Myers 1997, 23; vgl. Rossing; Moore; Wheeler 2002, 241).

Die Art und Weise des Einflusses des Vokaltrakts ist noch nicht hinreichend erforscht, jedenfalls hat er eine andere Funktion als beim Sänger, denn der eigentliche Resonanzkörper des Bläsert ist das Instrument und der Vokaltrakt liegt hinter dem Oszillator. Die Bläserlippen funktionieren nicht nur als Ventil sondern auch als Trennwand zwischen zwei Systemen (Fletcher, Rossing 1998, 457). Weiters setzt auch der Bläser seine Stimmlippen ein: „(...) beginning players hold their vocal folds (cords) wide open, but in more experienced players they are nearly closed“ (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 241; vgl. auch Fletcher, Rossing 1998, 458; Wolfe; Chen; Smith 2010, 5).

Möglicherweise beeinflusst der Vokaltrakt den Klang von Blechblasinstrumenten ausschließlich indirekt, indem bei bestimmter Position die Resonanzeigenschaften des Mundraums zu höherer Stabilität und besserer Ansprache der Lippenschwingungen führen (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 241): „A fundamental question is whether brass instrument players make use of upstream resonances to help initiate and support lip vibrations, especially when the magnitude of the downstream impedance at the lips is

weak. Didjeridu performers demonstrate a clear influence of vocal tract adjustments on the characteristics of the radiated sound.” (Freour et al 2011, 625; vgl. auch Campbell 2003, 185). Freour untersuchte dazu die Druckverhältnisse zwischen Mundraum (upstream) und Mundstück (downstream). Abbildung 42 zeigt, dass bei höheren Tönen (Sekunde 4 - 6) der Druck im Mundraum größer ist als im Instrument: “In the higher register (...), the ratio of the upstream to downstream pressure at the fundamental frequency reached values above one, which suggests a higher magnitude of the vocal-tract impedance compared to the corresponding downstream impedance at this frequency.” (Freour et al 2011, 625 f.).

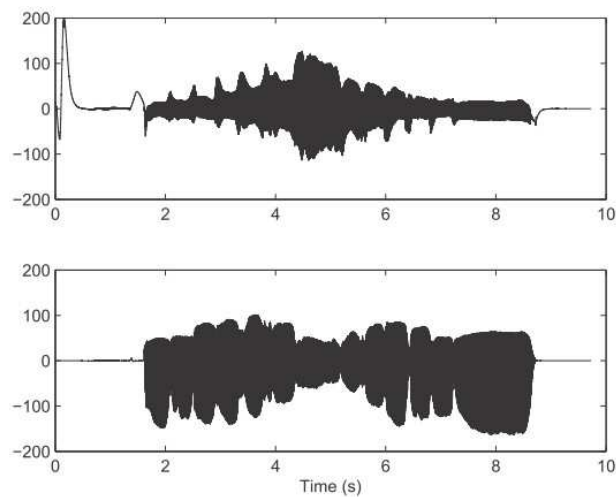


Figure 2. Waveform of the upstream pressure (top) and downstream pressure (bottom) during an ascending and descending overtone series from F3 (175 Hz) to F5 (700 Hz).

Abbildung 42 (Freour et al 2011, 627)

Eine weitere Studie, die sich mit intraoraler Druckentwicklung bei Holz- und Blechbläsern beschäftigt, steht unter dem Aspekt der Musikermmedizin. Hier ist der Durchschnittswert bei normaler Spielweise von größerer Bedeutung als die maximal erreichten Werte, denn gerade in der Dauerbelastung liegt das Hauptproblem für den menschlichen Organismus (Schwab, Schultze-Florey 2004, 183).

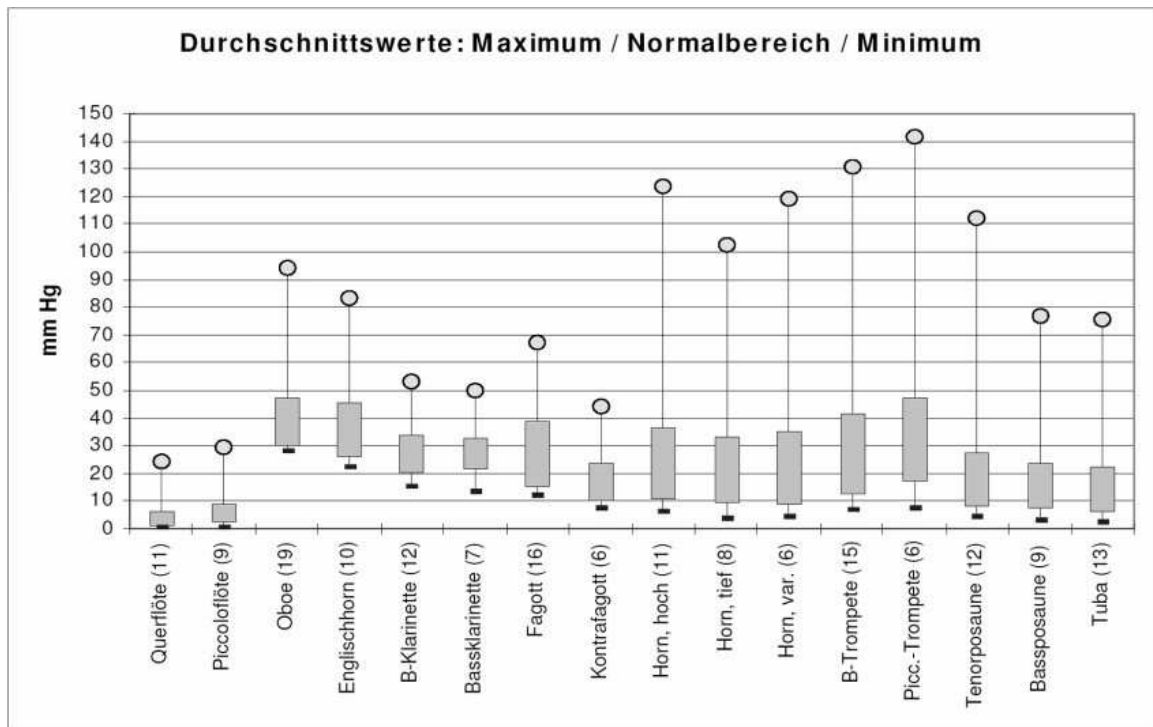


Abbildung 43 (Schwab, Schultze-Florey 2004, 186)

Die Rechtecke in Abbildung 43 zeigen für verschiedene Blasinstrumente den Bereich an, den die Musiker subjektiv als normal empfinden. Balken und Kreis sind die Mittelwerte der gemessenen Minimal- bzw. Maximalwerte an (Schwab, Schultze-Florey 2004, 186). Hier ist zu erkennen, dass beim Spielen auf Blechblasinstrumenten zwar höhere Maximaldrucke im Mundraum herrschen, aber der Durchschnitt im Bereich bzw. sogar unterhalb des Normaldrucks der Rohrblattinstrumente liegt. Ebenfalls ist zu sehen, dass bei tieferen Instrumenten niedrigere Luftdrucke anliegen. Dies bestätigt auch der Vergleich zwischen Tenor- und Bassposaune in Abbildung 44. Dort ist weiters feststellbar, dass es von Musiker zu Musiker deutliche Unterschiede gibt, die nicht vom Grad der Ausbildung abhängen. Die Gründe hierfür könnten in der speziellen Physiognomie, der Spielweise der einzelnen Posaunisten oder auch in den akustischen Eigenschaften des Instruments wie Resonanzeigenschaften und Ansprache liegen.

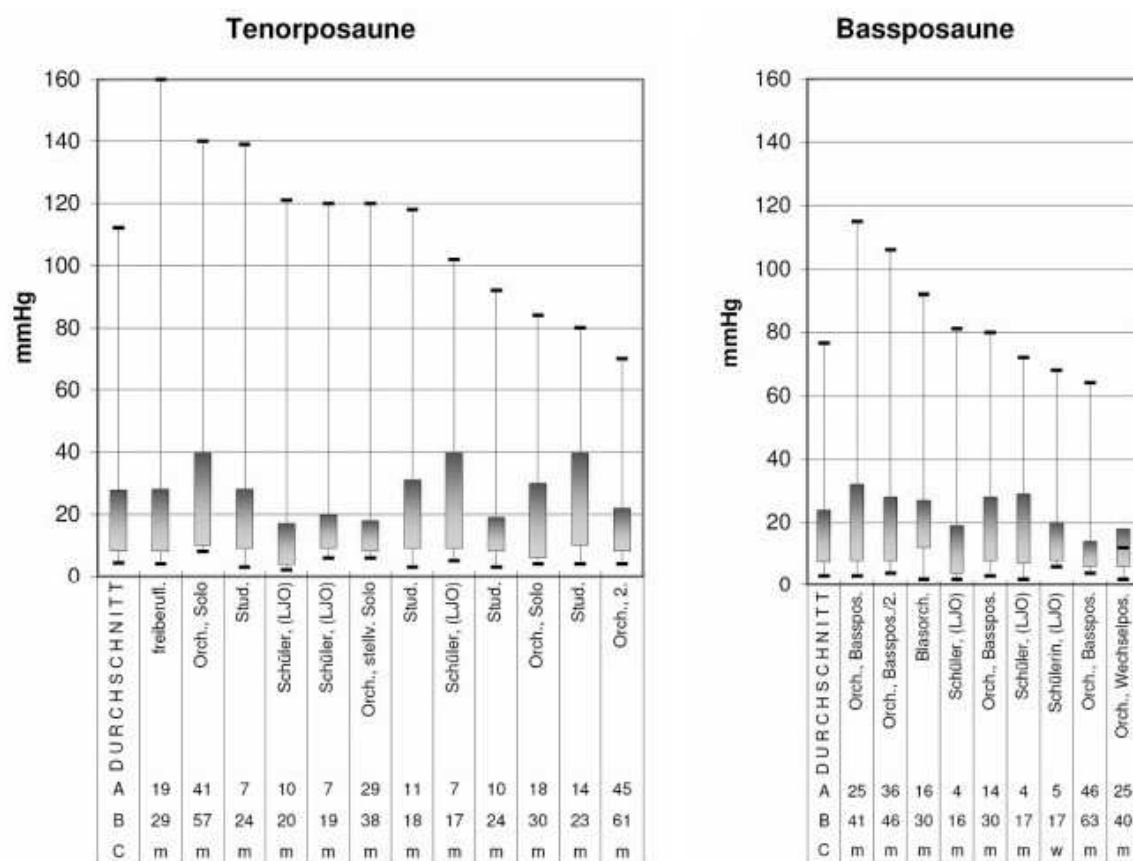


Abbildung 44 (Schwab, Schultze-Florey 2004, 192)

Zeile A: Spielerfahrung

Zeile B: Alter

Zeile C: Geschlecht

3.7 Abstrahlcharakteristik

„Wird Schall durch ein einzelnes schmales Loch abgestrahlt, so breitet er sich fast gleichmäßig nach allen Richtungen aus; dies trifft auf die tiefsten Schwingungen sowohl der Holz- wie der Blechblasinstrumente zu.“ (Hall 2008, 292): In Abbildung 27 ist ersichtlich, dass bei der tiefsten Frequenz die stehende Welle weit vor dem Ende des Instrumenrohrs endet, also an einer Stelle mit geringem Rohrdurchmesser. Dies zusammen mit der Tatsache, dass der Schalltrichter im Vergleich zur Wellenlänge niedriger Frequenzen klein ist, trägt zur kugelförmigen Abstrahlung tiefer Frequenzen bei (Meyer 2008, 157 f.).

Die Aufweitung des Schallstücks bei Blechblasinstrumenten führt dazu, dass hochfrequente Klangkomponenten nach vorne, also längs der Trichterachse, wesentlich stärker abstrahlen als zur Seite (Meyer 2004, 110). Neben dieser frequenzabhängigen Bündelung und der Änderung der Resonanzeigenschaften des Instruments bewirkt das Schallstück die Formung des hörbaren Klangspektrums und erhöht die Effizienz der Abstrahlung durch Anpassung des hohen Drucks im inneren des Instruments mit dem niedrigeren Druck außerhalb (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 230).

Die Tuba wandelt die Energie am effizientesten in Schall um; von der Energie die der Bläser dem Instrument zuführt werden weniger als 1 % als Schall abgestrahlt (Bowsher 1997, 1647). „The maximum sound power output from a brass instrument is about 1 watt.“ (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 240). Die durchschnittliche Effizienz liegt um 0,1 % (Fletcher, Rossing 1998, 457).

Der interne Druck der stehenden Welle hängt von der Resonanzfähigkeit des Instruments bei gegebener Frequenz und von der Menge der vom Bläser zugeführten Energie ab. Abbildung 45 zeigt das Spektrum im inneren des Instruments (oben), wobei gestrichelte Linien die Amplituden bei *fff* und durchgezogene Striche bei *mp* darstellen. Im Vergleich zum äußeren Druck (unten) ist zu bemerken, dass im inneren des Instruments die tiefen Frequenzen überwiegen, während beim abgestrahlten Spektrum die mittleren Teiltöne hervortreten. Die mittlere Grafik zeigt die Funktion für die Abstrahlungseffizienz, die maßgeblich vom Schallstück bestimmt wird (Rossing; Moore; Wheeler 2002, 237). Hier ist leicht zu erkennen, dass hohe Frequenzen besser abgestrahlt werden, wo-

gegen die tiefen Komponenten wesentlich stärker im Instrument wirken als sie im Raum hörbar sind.

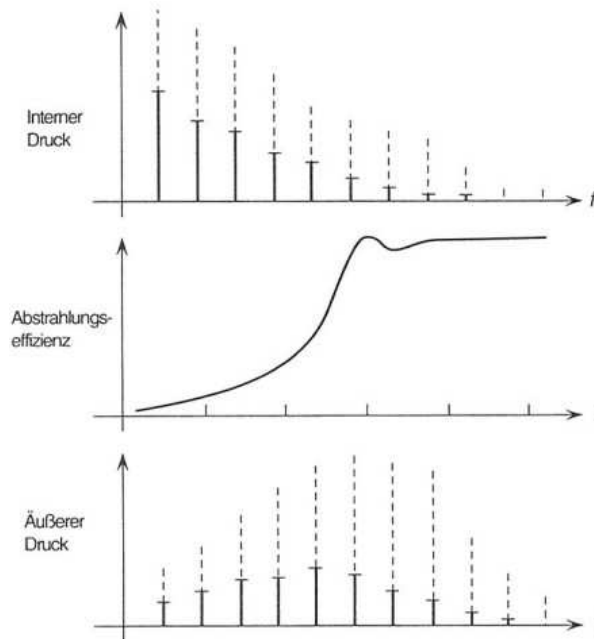
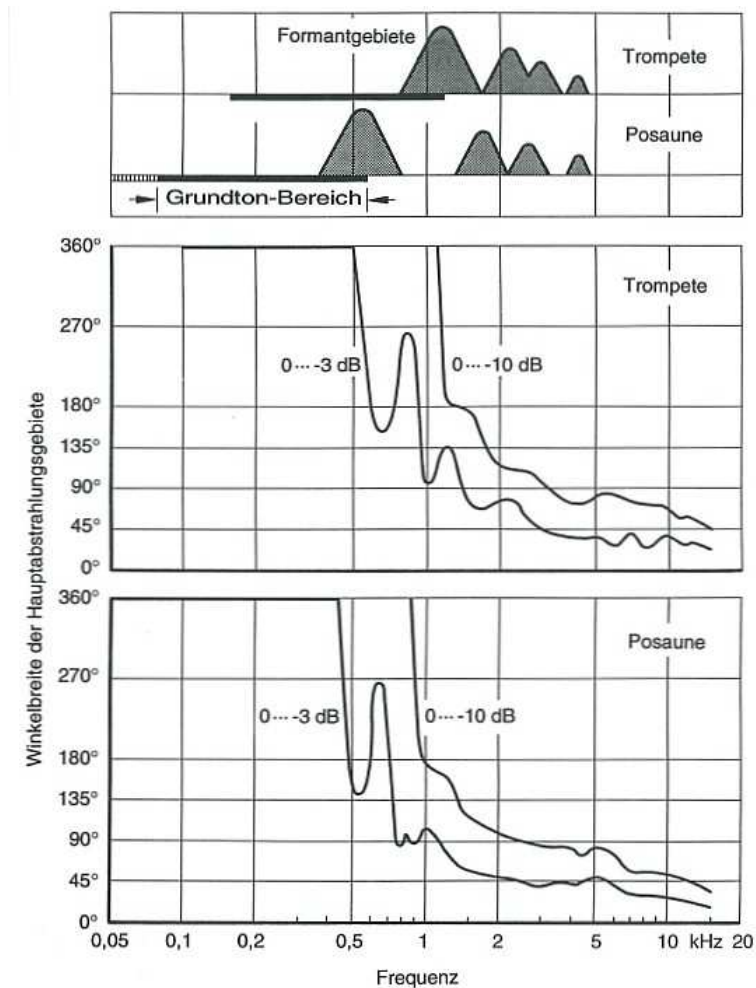


Abbildung 45 (Hall 2008, 291)

Die Abstrahlcharakteristik der Posaune erfolgt im Wesentlichen rotationssymmetrisch um die Trichterachse (Meyer 2004, 110), weshalb die Werte in Abbildung 47 auch für die Horizontalebene gelten. Bei allen Frequenzen herrscht in Richtung der Trichterachse die größte Intensität (Meyer 2004, 111). Abbildung 46 zeigt die Breite der Winkelbereiche, in denen die Amplituden nicht mehr als 3 dB bzw. 10 dB vom Maximalwert entlang der Trichterachse absinken. Die Form dieser Polardiagramme von Trompete und Posaune ähneln sich stark, wobei sich bei der Posaune wegen des größeren Schallstücks die Werte um etwa 20 % zu tieferen Frequenzen verschieben, wohingegen der Tonumfang um eine Oktave tiefer liegt (Meyer; Wogram, 1970; Meyer 2008, 159). „Bemerkenswert hinsichtlich der Abstrahlung des Posaunenklangs ist, daß die Grundtöne weitgehend in den Kugelstrahlerbereich fallen und der Hauptformant weniger stark gebündelt, d.h. also breiter, abgestrahlt wird als bei der Trompete.“ (Meyer 2004, 112). Deswegen kommt der Stärke der Rückwandreflexionen für den Gesamtklang eine größere Bedeutung zu als bei den Trompeten (vgl. Kapitel 3.8). Selbes gilt auch für Seitenwandreflexionen (Meyer 2004, 244; Meyer 2008, 159). Meyer stellt weiter fest, „daß bei Posaunen verschiedener Mensur und Trichter keine nennenswerten Unterschiede in den Richtcharakteristiken auftreten.“ (Meyer 2004, 112).



Abbildungung 46: Abstrahlung bei Trompete und Posaune (Meyer 2004, 111)

Bei Posaunen liegt der Hauptformant um 500 – 600 Hz (vgl. Kapitel 3.4.2), was im Vergleich zur Trompete eine verhältnismäßig breite Abstrahlung dieser wichtigen Klanganteile ergibt (Meyer 2004, 244; Abbildung 46). In Abbildung 46 und 47 ist erkennbar, dass Frequenzen in diesem Bereich stärker gerichtet sind als die Nächstgelegenen. Das bedeutet, dass der Hauptformant Den Klang im Bereich hinter dem Posau-nisten weniger stark prägt. Untersuchungen dazu sind dem Autor keine bekannt. Die Signifikanz dieses Faktums könnte durch einen Vergleich der Erkennbarkeit von Posaunen- und Trompetenklängen gezeigt werden, denn der Hauptformantbereich bei Trompeten ist zwar insgesamt stärker gebündelt, tritt im Vergleich zu den umliegenden Frequenzgruppen jedoch deutlicher hervor.

Für den Gesamtklang im Zuschauerraum eines Konzertsaaes spielen bei Frequenzen unterhalb von etwa 1100 Hz und vor allem unter 700 Hz Seitenwandreflexionen eine wichtige Rolle (Meyer 2004, 244; vgl. Abbildung 46), unterhalb von 500 Hz auch

Rückwandreflexionen. Bei Frequenzen um 2000 Hz überwiegt für die klangliche Wirkung der Direktschall, da hier der Winkelbereich um etwa 45° liegt und sich mit zunehmender Frequenz weiter verringert (Meyer 2004, 244; Abbildung 47).

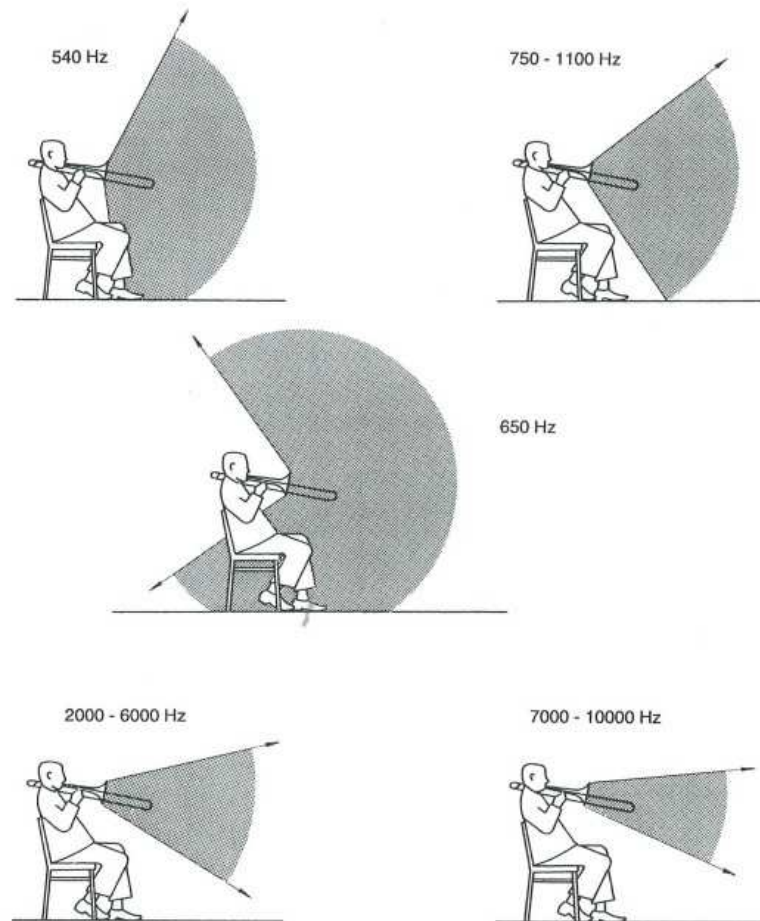


Abbildung 47: Hauptabstrahlungsrichtungen (0 - 3 dB) der Posaune (Meyer 2004, 244)

3.8 Der Einflussfaktor Raum

In Verbindung mit der Abstrahlcharakteristik spielt das Abstands- oder Entfernungsgesetz eine maßgebliche Rolle bei der Wirkung des Klangs auf den Zuhörer (Hall 2008, 95 f.). Jede Verdopplung des Abstandes zur Schallquelle verringert die Intensität auf $1/4$, sodass der Schallpegel um 6 dB abnimmt (vgl. Kapitel 3.4.5). Dies trifft jedoch nur zu, wenn man von einem freien Feld ohne Reflexionsflächen ausgeht. In Konzertsälen addiert sich zum Direktschall noch der über Reflexionen an das Ohr des Zuhörers dringende Anteil (Hall 2008, 96).

Legt man die Ausklingzeit für Instrumentenklänge als Zeitspanne in der der Pegel um 60 dB fällt fest (Meyer 2008, 153), erhält man bei Blasinstrumenten Dauern um die 0,1 Sekunden. Die Ausklingzeit ist vom Bläser praktisch nicht beeinflussbar. Bei allen Instrumenten verhält sich die Dauer indirekt proportional zur Frequenz, d. h. tiefe Frequenzen schwingen länger nach als Hohe (Meyer 2008, 153). Der Nachklang von Blasinstrumenten wird demnach weitestgehend durch den Raum bestimmt.

Wegen der starken Bündelung hoher Frequenzen bei der Abstrahlung von Blechblasinstrumenten (vgl. Kapitel 3.7) spielen Absorptions- und Reflexionsflächen nahe der Spielrichtung (d.h. Trichterachse) eine wichtige Rolle. Das dem Schallstück nächstgelegene Objekt ist bei Trompeten und Posaunen Regelfall das Notenpult. Aus ergonomischen Gründen steht dieses meist in direkter Linie zwischen Musiker und Dirigent bzw. Publikum. Dabei zeigt die Stürze jedoch direkt auf das Notenpult oder bestenfalls einen halben Meter daran vorbei. Stellt man sich demzufolge vor dem Posaunisten in Abbildung 47 ein Notenpult vor, erkennt man, dass dieses Teiltöne oberhalb von 2000 Hz teilweise und oberhalb von 7000 Hz größtenteils in ihrer Ausprägung beeinflusst. Dies bestätigt auch Abbildung 48: Wird der Schalltrichter seitlich des Notenpultes gehalten, nimmt oberhalb von 1500 Hz der Pegel in Blickrichtung um durchschnittlich mehr als 5 dB zu, jedoch ist dann eine Senke im Bereich des Hauptformanten (500 – 600 Hz) zu finden (Meyer; Wogram 1970, 9; Meyer 2008, 159).

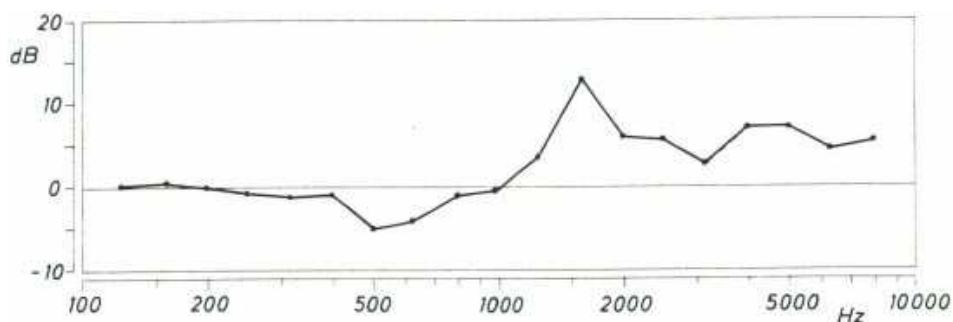


Abbildung 48: Schallpegel-Erhöhung in Blickrichtung des Spielers bei seitlich versetztem Notenpult (Meyer 1970, 9)

Die durch das Notenpult verursachten Abweichungen sind bei der Posaune geringer als bei der Trompete, aber dennoch deutlich wahrnehmbar (Meyer; Wogram 1970, 9). Neben dem Notenpult spielen für den Posaunenklang in Konzertsälen auch Rückwandreflexionen eine Rolle, denn Blechbläser sitzen in den letzten Reihen und Posaunen strahlen Frequenzen bis 500 Hz, also die meisten Grundtöne des Tonumfangs und oft auch

noch den ersten Oberton beinahe kugelförmig ab (vgl. Kapitel 3.7, Abbildung 46). Der Unterschied im nach vorne abgestrahlten Klangspektrum ist in Abbildung 49 dargestellt (Den Spitzen zufolge handelt es sich um einen Klang von rund 160 Hz Grundfrequenz): Die Pegelerhöhung durch die Rückwand im unteren Frequenzbereich ist deutlich erkennbar.

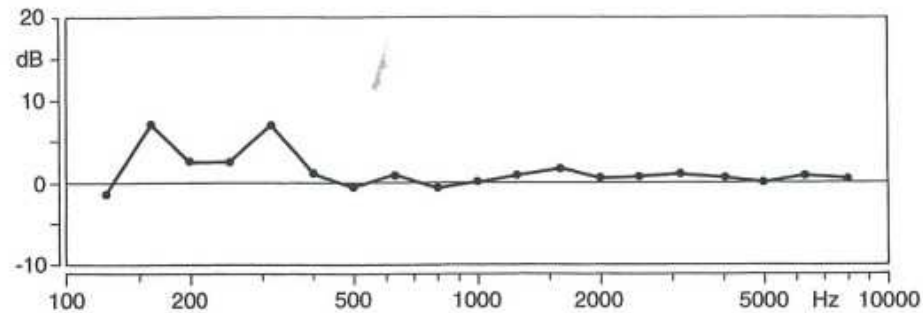


Abbildung 49: Pegelerhöhung in Blickrichtung des Spielers durch eine reflektierende Rückwand (Meyer 2004, 246)

Führt man Abbildung 48 und 49 zusammen, erhält man eine Erhöhung der tiefen als auch der hohen Frequenzen, während der Bereich zwischen 500 und 1000 Hz gleich bleibt bzw. sogar etwas gesenkt wird. Vergleicht man die Werte aus Kapitel 3.4.3, ist ersichtlich, dass sich das klangliche Resultat bei seitlich versetztem Notenpult und starken Rückwandreflexionen deutlich hörbar vom gegenteiligen Fall unterscheidet. Der Fall ohne Rückwandreflexionen ist in Abbildung 50 dargestellt. Beim Vergleich mit den beiden vorangegangenen Abbildungen scheint es, als würden sowohl Rückwandreflexionen als auch ein seitlich versetztes Notenpult zu einem ausgeglicheneren Pegelverlauf beitragen.

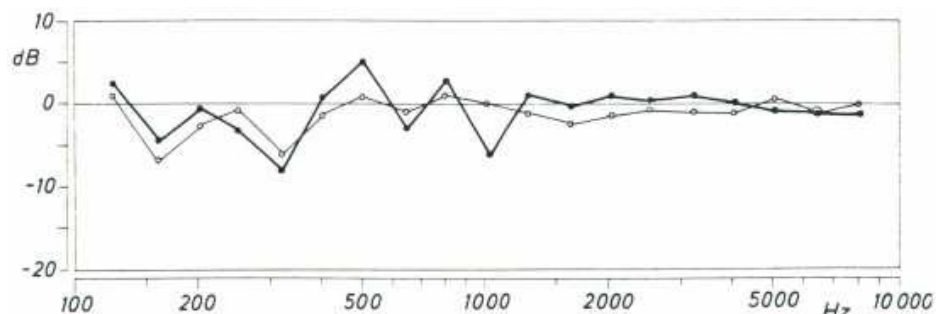


Abbildung 50: Schallpegel-Änderung in Blickrichtung des Spielers beim Fortfall von Rückwandreflexionen. Kreise: seitliche Haltung, Punkte: normale Haltung (Meyer 1970, 9)

3.9 Zusammenfassung

Blechblasinstrumente bestehen aus einem speziell geformten Mundstück und dem Instrumentenrohr, das anfangs zylindrisch verläuft, bis sich der Rohrdurchmesser gegen Ende immer stärker vergrößert und so das Schallstück bildet. Da der anregende Mechanismus von den Lippen des Blägers gebildet wird, reagiert das Instrument ausschließlich auf die Lippenschwingung und fungiert als Resonator. Die Resonanzeigenschaften der Posaune werden hauptsächlich vom Rohrverlauf bestimmt und können mittels Impedanzmessungen ermittelt werden. Die resultierenden Impedanzkurven liefern Informationen zur Intonation und Ansprache. Moderne Computerprogramme können konkrete Vorschläge zur Verbesserung dieser Parameter errechnen und ermöglichen Instrumentenbauern ein gezieltes Vorgehen.

Die Eigenimpedanz liefert aussagekräftige Werte zur Qualität von Instrumenten und ist ein wichtiger objektiv messbarer Parameter der Akustik von Blechblasinstrumenten. Bläser haben durch ihr Spiel einen enormen Einfluss auf die Klangproduktion. Messungen zum angewandten Mundstückdruck und intraoralen Druck bestätigen die hohe Variationsbreite an Spielfaktoren unter Blechbläsern.

Der größte Unterschied bei der Tonproduktion im Vergleich zu anderen Instrumenten ist die Generatorfunktion, die vollständig vom Körper des Blechblägers übernommen wird. Ein Posaunist kann einen Großteil des spielbaren Tonumfangs auch ohne Instrument produzieren. Im Instrumentenrohr wandern die beim periodischen Öffnen und Schließen der Lippen zugeführten Überdruckimpulse in Richtung Schallstück, wo sie größtenteils reflektiert werden und eine stehende Welle im Instrument formen. Nur 5 – 10 % der zugeführten Energie wird als Schall an die Umgebung abgegeben (Widholm 2012, 4). Die stehende Welle wird aufrechterhalten, solange der Bläser sie mit Energie in Form von Luft versorgt und die Lippenschwingungen eine Frequenz haben, die den Resonanzfrequenzen des Instruments entsprechen. Letztere sind vom Rohrverlauf und der Rohrlänge abhängig, die bei der Posaune durch die Zugvorrichtung verändert wird.

Jeder Ton eines Blechblasinstruments besteht nicht nur aus der von den Lippen erzeugten Grundschwingung, sondern auch aus höheren Frequenzkomponenten, welche ganzzahlige Vielfache der Grundfrequenz sind. Anzahl und Stärke dieser sogenannten Obertöne steigen mit Erhöhung der gespielten Dynamik an.

Der als knatternd oder metallisch bezeichnete charakteristische Klang von Blechblasinstrumenten in hohen Lautstärken resultiert aus Schockwellen, die sich bei Instrumenten mit langen zylindrischen Rohranteilen bilden. Das Material ist hierfür nicht ausschlaggebend. Der Einfluss von Material und Wandstärke auf den Klang wird von Musikern als zu hoch eingeschätzt, wurde allerdings von Wissenschaftlern in der Vergangenheit unterschätzt. Gegenwärtige Forschungen konzentrieren sich auf den Einfluss von Wandschwingungen auf Klang, Intonation und Ansprache.

Der Schalltrichter verändert nicht nur die Resonanzeigenschaften, sondern prägt das Abstrahlverhalten entscheidend, indem hohe Frequenzen der stehenden Welle besser abgestrahlt werden als tiefe, deren Energie zu einem größeren Teil im Instrument bleibt und zum Aufrechterhalten der Schwingung beiträgt. Die Funktion der Stürze wird durch Einsetzen von Dämpfern unterschiedlich stark beeinflusst, indem die Lautstärke tiefer Klanganteile gesenkt wird und Komponenten im höheren Obertonbereich verstärkt werden.

Weiters beeinflusst das Schallstück die Abstrahlcharakteristik, sodass hohe Frequenzen stärker gebündelt werden als tiefe, weswegen für den Gesamtklang von Blechblasinstrumenten dem Direktschall eine besondere Bedeutung zukommt. Für den Klangeindruck entscheidend ist jedoch auch das akustische Umfeld. Das Notenpult filtert hohe Frequenzen und Rückwandreflexionen erhöhen die Pegel unterhalb von 500 Hz.

Der Posaunenklang im *fff* zählt zu den lautesten der klassischen Instrumenten. Der spielbare Dynamikbereich von 30 – 35 dB gehört ebenfalls zu den größten unter den Orchesterinstrumenten. Der subjektive Lautstärkeindruck wird wegen der Veränderung des Klangspektrums im *ff* durch stark ausgeprägte Obertöne noch unterstützt.

4 Zukünftige Forschungen

“Is there a connection between what we feel when playing an instrument and what we can measure?” (Bertsch 2003, 193). Die Forschung am Gebiet der Blechblasinstrumentenakustik ist an einem Punkt angelangt, an dem diese Frage nicht mehr zu ignorieren ist. Sowohl Bläser als auch Instrumentenbauer setzen sich mit akustischen Forschungsberichten hauptsächlich deswegen auseinander, um daraus für ihre Arbeit als Musiker oder Hersteller einen Nutzen zu ziehen. Instrumentenbauer wollen mit dem kleinstmöglichen Aufwand bessere Posaunen produzieren und Posaunisten suchen nach Entscheidungshilfen bei der Wahl des idealen Mundstücks und Instruments, mit denen sie ihre Klangvorstellung umsetzen können und zugleich ein angenehmes Spielgefühl haben. Im Gegensatz dazu besteht die Aufgabe der Wissenschaft primär darin, Sachverhalte zu erforschen und die Realität möglichst präzise zu beschreiben.

Bis vor wenigen Jahrzehnten bedienten sich Akustiker meist stark vereinfachter Modelle. “(...) the rapid increase of computing power in the years after the turn of the millennium finally allowed to work with complex models and led for the first time to results effectively matching the reality.” (Widholm 2012, 2). Dank der gegenwärtig vorhandenen enormen Rechenleistung können multidimensionale Systeme, wie Wandschwingungen oder Bläserlippen simuliert werden: “Attention is currently focused on developing more sophisticated lip models, guided by experiments using artificial lip excitation systems and visualisations of human lip motion during playing.” (Campbell 2003, 185). Beim Spiel auf Blechblasinstrumenten arbeiten drei voneinander unabhängige Schwingungssysteme: die stehende Welle im Instrument, Wandschwingungen und das Instrument als Ganzes. “All these effects on the musical quality of brasses are object of recent research work.” (Widholm 2012, 4 f.). Auch das Zusammenwirken dieser verschiedenen Schwingungssysteme kann jetzt modelliert werden.

Die grundlegende akustische Funktion von Blechblasinstrumenten ist gut erforscht. Es wurden zahlreiche Parameter wie Abstrahlcharakteristik, Resonanzeigenschaften, Obertonspektrum und Einschwingvorgang untersucht und Messergebnisse veröffentlicht. Um die Bedeutung der Resultate zu erkennen, müssen diese ebenso wissenschaftlich auf ihre Praxisrelevanz hin getestet werden. Die Forschungsergebnisse müssen in Korrelation zum praktischen Musizieren gebracht werden. Dies ist noch zu wenig geschehen:

“Musicians and instrument makers still criticize the enormous gaps between the physics based parameters and the empirically reported feelings of brass players on quality aspects of their instruments. Deviations between played and measured parameters like intonation and their variability have already been focused on in earlier studies. Attempts at finding a theoretical explanation of these deviations using physical modelling continue.” (Bertsch 2003, 193).

Die Schwierigkeit bei akustischen Messungen an Blechblasinstrumenten liegt beim Bläser. Dieser bringt durch seinen beachtlichen Einfluss an der Tonproduktion neue Variablen ins System, die das ohnehin sehr komplexe Schwingungssystem des Instruments von Musiker zu Musiker unterschiedlich beeinflussen. Wissenschaftler suchen einen Ausweg in der Verwendung künstlicher Bläser, die durch eine bessere Reproduzierbarkeit objektivere Ergebnisse liefern sollen. Die Fähigkeiten solcher Konstruktionen liegen derzeit weit unter denen durchschnittlicher Musiker und auch die Reproduzierbarkeit von simulierten Ansatzstellungen der mit Wasser gefüllten Silikonschläuche lässt noch zu wünschen übrig. Schlussendlich sitzt auf der Bühne ein Mensch, dessen Lippen aus einem differenziert kontrollierbaren Ringmuskel bestehen und der bei jedem Ton den Mundraum durch Zunge, Unterkiefer und Stimmbänder verformen kann. Um den Klang der Posaune zu erforschen sind neben dem Wissen über physikalische Vorgänge deshalb auch die physiologischen Abläufe im Musiker von Bedeutung.

Musiker sollten in die Forschungen stärker mit einbezogen werden, um den notwendigen Schritt in Richtung Praxis zu tun. Ein professioneller Blechbläser spielt täglich und verbringt möglicherweise mehr Zeit mit Üben als mit Sprechen. Er wird dadurch sensibel für die feinsten Unterschiede im Spielgefühl und Klang. Einer objektiven Auswertung dieser Resultate stehen allerdings einige psychologische Faktoren im Weg. Die meisten Blechbläser benutzen ihren Körper beim Spielen intuitiv und wissen nicht, was sie zum Beispiel mit ihrer Zunge tun. Neben fehlendem Körperbewusstsein sind Vorurteile, subjektive Bewertung und fehlende Reproduzierbarkeit weitere Faktoren, die ein wissenschaftliches Miteinbeziehen des Bläusers in Forschungen erschweren.

Bei ausreichender Kommunikation zwischen Forscher und Musiker können durch qualitative Forschungsmethoden all diese Faktoren erkannt werden und ein Zusammenhang zwischen subjektivem Spielgefühl und physikalischem Ursprung hergestellt werden.

5 Literaturverzeichnis

- Ahrens, Christian (1987): *Blechblasinstrumente*, in: Moeck, Hermann (Hg.): *Fünf Jahrhunderte Deutscher Musikinstrumentenbau*, Celle, S. 91 - 112.
- Ahrens, Christian (2000): *Zur Verwendung der Posaune im 18. und 19. Jahrhundert*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 83 - 92.
- Ahrens, Christian (2003a): *Hörner*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Sachteil Bd. 4, Kassel/Stuttgart, Sp. 368 - 395.
- Ahrens, Christian (2003b): *Posaune*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Sachteil, Bd. 7, Kassel/Stuttgart, Sp. 1730 - 1751.
- Anglmayer, Paul (2000): *“Physical Modeling von Blechblasinstrumenten und dessen Anwendung zur Intonationsoptimierung von Trompeten”*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 167 - 174.
- Auhagen, Wolfgang (1994a): *Akustik II. Akustische Grundbegriffe*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Bd. 1, Kassel/Stuttgart, Sp. 367 - 375.
- Auhagen, Wolfgang (1994b): *Akustik IV. Instrumentenakustik 1. Blasinstrumente*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Bd. 1, Kassel/Stuttgart, Sp. 385 - 394.
- Ayers, R. Dean (2001): *Basic Tests for Models of the Lip Reed*, in: Bonsi, Davide; Gonzalez, Diego; Stanzial, Domenico (Hg.): *International Symposium on Musical Acoustics 2001*, Vol. 1, Venedig, S. 83 - 86.
- Bahnert, Heinz; Herzberg, Th.; Schramm, Herbert (1958): *Metallblasinstrumente*, Leipzig.
- Baines, Anthony (1978): *Brass Instruments. Their History and Development*, London.

- Baines, Anthony C.; Myers, Arnold; Herbert, Trevor (1980): *Trombone*, in: Sadie, Stanley (Hg.): *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, Vol. 19, London, S. 762 - 773.
- Barclay, Robert (1997): *Design, technology and manufacture before 1800*, in: Herbert, Trevor; Wallace, John (Hg.): *The Cambridge Companion to Brass Instruments*, Cambridge, S. 24 - 37.
- Benade, Arthur H. (1976): *Fundamentals of musical acoustics*, New York, S. 391 - 429.
- Benade, Arthur H. (1988): *Blechblasinstrumente*, in: Winkler, Klaus (Hrsg.): *Die Physik der Musikinstrumente*, Heidelberg, S. 44 - 55.
- Benade, Arthur H.; Campbell, Murray (2001): *Acoustics, §IV Wind instruments*, in: Sadie, Stanley (Hg.): *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, Vol. 1, London, S. 111 - 117.
- Berlioz, Hector (1905): *Instrumentationslehre - ergänzt und revidiert von Richard Strauss*, Leipzig.
- Bertsch, Matthias (2003): *Bridging Instrument Control Aspects of Brass Instruments with Physics-based Parameters*, in: Bresin, Roberto (Hg.): *Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Vol. 1, Stockholm, S. 193 - 196.
- Bowsher, L. M. (1997): *Brass Instruments*, in: Crocker, M. J. (Hg.): *Encyclopedia of Acoustics*, New York, S. 1643 - 1651.
- Burba, Malte (2005): *Brass Master Class. Die Methode für alle Blechbläser*, Mainz.
- Burghauser, Jarmil; Špelda, Antonin (1971): *Akustische Grundlagen des Orchestrierens*, Regensburg.
- Campbell, Murray (2003): *Brass instruments as we know them today*, in: Bresin, Roberto (Hg.): *Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Vol. 1, Stockholm, S. 185 - 188.
- Carral, S.; Campbell, D. M. (2002): *The influence of the mouthpiece throat diameter on the perception of timbre of brass instruments*, o.O.
- Carter, Stewart (2000): *Trombone Pitch in the Eighteenth Century: An Overview*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 53 - 66.

- Chatziioannou, V.; Kausel, W.; Moore, T. (2012): *The effect of wall vibrations on the air column inside trumpet bells*, in: Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference, 2243 - 2248.
- Csiba, Gisela; Csiba, Jozsef (2000): *Die Tromba da Tirarsi und ihre Folgen*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 83 - 92.
- Dullat, Günter (1989): *Metallblasinstrumentenbau. Entwicklungsstufen und Technologie* (= Fachbuchreihe das Musikinstrument, 48), Frankfurt am Main.
- Fletcher, Neville H.; Rossing, Thomas D. (1998): *The Physics of Musical Instruments. Second Edition*, New York.
- Freour, Vincent; Scavone, Gary P.; Lefebvre, Antoine; Germain, François (2011): *Acoustical properties of the vocal-tract in trombone performance*, in: Forum Acusticum 2011 – Aalborg Denmark, 625 - 630.
- Fricke, Jobst P. (2000): *Eine andere Art Physical Modeling zur Erzeugung von Posaunen- und Trompetenklängen*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 175 - 184.
- Froehlich, Joseph (1811): *Vollständige theoretisch- praktische Musikschule für alle bey dem Orchester gebräuchlichen wichtigeren Instrumente, IIIte Abteilung*, Bonn, S. 27 - 35.
- Gregory, Robin (1973): *The Trombone. The Instrument and its Music*, London.
- Guion, David M. (1988): *The Trombone. Its History and Music, 1697-1811*, New York.
- Hall, Donald E. (2008): *Musikalische Akustik. Ein Handbuch*, Mainz.
- Haynes, Bruce (2003): *Stimnton*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Sachteil Band 12, Kassel/Stuttgart, Sp. 1813 - 1831.
- Herbert, Trevor (1997): *'Sackbut': the early trombone*, in: Herbert, Trevor; Wallace, John (Hg.): *The Cambridge Companion to Brass Instruments*, Cambridge, S. 68 - 83.
- Herbert, Trevor (2006): *The Yale Musical Instrument Series. The Trombone*, Yale.
- Hirschberg, A.; Gilbert, J.; Msallam, R.; Wijnands, A. P. J. (1996): *Shock waves in trombones*, in: Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 99, No. 3, 1754 - 1758.

- Holmes, Peter (2003): *Hörner*, in: Finscher, Ludwig (Hg.): *Die Musik in Geschichte und Gegenwart*, Sachteil Bd. 4, Kassel/Stuttgart, Sp. 361 - 368.
- Kastelein, Jaap; Jansma, Jild (2000): *Hören, lesen & spielen 2*, Heerenveen, S. 52.
- Kausel, W.; Zietlow, D.; Moore, T. (2010): *Influence of wall vibrations on the sound of brass wind instruments*, in: *Journal of the Acoustical Society of America*, 128(5), S. 3161 - 3174.
- Kausel, Wilfried (2003): *Studying lip oscillators of brass instruments: a distributed two dimensional lip model and its electrical equivalent circuit*, in: Bresin, Roberto (Hg.): *Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Vol. 1, Stockholm, S. 205 - 208.
- Kirnbauer, Martin (2000): *Blechblasinstrumentenbau im 15. Jahrhundert. Überlegungen am Beispiel Nürnbergs*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 15 - 30.
- Kunitz, Hans (1959): *Die Instrumentation. Ein Hand- und Lehrbuch, Teil VIII: Posaune*, Leipzig.
- Ludwigsen, Daniel O. (2003): *Physical modelling of the trombone player's lips*, in: Bresin, Roberto (Hg.): *Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Vol. 1, Stockholm, S. 209 - 212.
- Mattheson, Johann (1713): *Das Neu=eröffnete Orchestre*, Hamburg.
- Mayer Brown, Howard (2001): *Buisine*, in: Sadie, Stanley (Hg.): *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, Vol. 4, London, S. 567.
- Mc Kinnon, S. W. (1984): *Lure*, in: *New Grove Dictionary of Musical Instruments*, Bd. 2, S. 548.
- Meucci, Renato (2001): *Horn*, in: Sadie, Stanley (Hg.): *The New Grove Dictionary of Music and Musicians*, Vol. 11, London, S. 709 - 725.
- Meyer, Jürgen (2004): *Akustik und musikalische Aufführungspraxis*, 5. Auflage, Bergkirchen.
- Meyer, Jürgen (2008): *Musikalische Akustik*, in: Weinzierl, Stefan (Hrsg.): *Handbuch der Audiotechnik*, Berlin, S. 123 - 180.
- Meyer, Jürgen; Wogram, Klaus (1970): *Die Richtcharakteristiken von Trompete, Posaune und Tuba*, in: *Das Musikinstrument*, Ausgabe 19.

- Michels, Ulrich (Hg.) (1998): *dtv-Atlas Musik*, München, S. 47.
- Myers, Arnold (1997): *Design, technology and manufacture since 1800*, in: Herbert, Trevor; Wallace, John (Hg.): *The Cambridge Companion to Brass Instruments*, Cambridge, S. 115 - 130.
- Myers, Arnold (1997): *How brass instruments work*, in: Herbert, Trevor; Wallace, John (Hg.) (1997): *The Cambridge Companion to Brass Instruments*, Cambridge, S. 19 - 23.
- Myers, Arnold (2000): *Trombone Designs in the Transition from Early Models to Modern*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 39 - 52.
- Petiot, Jean-François (2003): *Measurment of the force applied to the mouthpiece during brass instrument playing*, in: Bresin, Roberto (Hg.): *Stockholm Music Acoustics Conference 2003*, Vol. 1, Stockholm, S. 225 - 228.
- Polk, Keith (1989): *The trombone the slide trumpet and the ensemble tradition of the early Renaissance*, in: Kenyon, Nicholas (Hg.): *Early Music Vol. XVII No.3* August 1989, S. 389 - 396.
- Polk, Keith: *Brass instruments in art and music in the Middle Ages*, in: Herbert, Trevor; Wallace, John (Hg.) (1997): *The Cambridge Companion to Brass Instruments*, Cambridge, S. 38 - 50.
- Praetorius (1618): *De Organographia, Tafel VIII*, aus: *Syntagma musicum II*.
- Reuter, Christoph (1995): *Der Einschwingvorgang nichtperkussiver Musikinstrumente*, (= Europäische Hochschulschriften, Reihe 36 Musikwissenschaft, Bd. 148), Frankfurt am Main.
- Rossing, Thomas D.; Moore, Richard F.; Wheeler, Paul A. (2002): *The science of sound*, San Francisco, S. 225 - 242.
- Ruf, Wolfgang (Hg.) (1991): *Lexikon der Musikinstrumente*, Mannheim, S. 248 - 252.
- Schubart, Christian Friedrich Daniel (1806): *Ideen zu einer Ästhetik der Tonkunst*, Wien.
- Schwab, B.; Schultze-Florey, A. (2004): *Intraorale Druckentwicklung bei Holz- und Blechbläsern*, in: *Musikphysiologie und Musikermedizin* (2004), 11. Jg., Nr. 4, S. 183 - 194.

- Stevenson, S.; Campbell, M.; Bromage, S. (2009): *Motion of the lips of brass players during extremely loud playing*, in: JASA 125 (4), April 2009, EL 152 - 157.
- Suppan, Wolfgang (1988): *Entwicklungsstufen der Blechblasinstrumente*, in: Instrumentenbau Zeitschrift, 42. Jg., Heft 11, November 1988, S. 44 - 45.
- Vereecke, Hannes W. (2011): *The Trombone of Anton Schnitzer the Elder in Verona: A Survey of Its Properties and Their Acoustical Significance*, in: Historic Brass Society Journal 23, S. 25 - 42.
- Weber, Karlheinz (1978): *Die „deutsche“ Posaune*, in: Das Orchester, 26. Jahrgang 1978, S. 566 - 570.
- Weber, Karlheinz (1989): *Die zweitälteste Posaune (von 1557)*, in: Das Orchester, 35. Jahrgang 1989, S. 511 - 512.
- Weiner, Howard (2000): *Der Sopranposaunen-Schwindel*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 67 - 82.
- Widholm, Gregor (2012): *Music Acoustics – A Recent Field Of Research With Roots In Ancient Greece*, in: 5th Congress of Alps-Adria Acoustics Association.
- Wogram, Klaus (1976): *Einfluss von Material und Oberflächen auf den Klang von Blechblasinstrumenten*, in: Instrumentenbau-Zeitschrift 30, S. 414 - 418.
- Wogram, Klaus (1989): *Akustische Auswahlkriterien bei Blechblasinstrumenten*, Braunschweig, S. 119 - 136.
- Wogram, Klaus (1992a): *Die Bedeutung des Mundstückes bei Blechblasinstrumenten*, o. O., S. 53 - 60.
- Wogram, Klaus (1992b): *Impulsmessverfahren für die Qualitätsbestimmung bei Blechblasinstrumenten*, in: Instrumentenbau-Zeitschrift 46, Heft 2/3, S. 122 - 132.
- Wogram, Klaus (2000): *Eine einfache akustische Messmethode zur Beurteilung und Verbesserung von Intonation*, in: Lustig, Monika (Hg.): *Posaunen und Trompeten. Geschichte – Akustik – Spieltechnik*, Band 60 der Michaelsteiner Konferenzberichte, 19. Musikinstrumentenbausymposium in Michaelstein 20. bis 22. November 1998, Michaelstein, S. 185 - 198.
- Wolfe, Joe; Chen, Jer-Ming; Smith, John (2010): *The acoustics of wind instruments – and of the musicians who play them*, in: Proceedings of 20th International Congress on Acoustics, ICA 2010.

Zusammenfassung

Nach einem geschichtlichen Überblick zur Entstehung folgt eine genaue Beschreibung der Konstruktion der Posaune. Im Hauptteil wird die akustische Funktion der einzelnen Komponenten erklärt. Die hervorstechende Besonderheit in der Akustik von Blechblasinstrumenten ist der große Einfluss des Blägers auf das Klangresultat. Gegenwärtige Forschungen konzentrieren sich deswegen insbesondere auf Bläserlippen und Vokaltrakt, aber auch Wandschwingungen, die Bedeutung der Impedanz beim Spiel und medizinische Studien werden behandelt.

Lebenslauf

Ewald Edtbrustner, geboren 1983.

Schulische Ausbildung

1989–1997	Volks- und Hauptschule, Loosdorf
1997–2001	Bundesoberstufenrealgymnasium mit Instrumentalunterricht, St.Pölten

Akademische Laufbahn

Seit 2003	Studium Musikwissenschaft an der Universität Wien Interessensschwerpunkt systematische Musikwissenschaft
Seit 2009	Studium Instrumental(Gesangs-)Pädagogik an der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien (Schwerpunkt: Musikkunde)

Berufserfahrung

Seit 2003	Rege Konzerttätigkeit als Posaunist in verschiedensten Formationen im In- und Ausland
Seit 2009	Tätigkeit als Musikschullehrer in den Fächern Posaune und Tenorhorn

Ehrenwörtliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel verfasst habe. Alle den benutzten Quellen wörtlich oder sinngemäß entnommenen Stellen sind als solche einzeln kenntlich gemacht.

Diese Arbeit ist bislang keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden und auch nicht veröffentlicht worden.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

WIEN, 30.1.2013 

Ort, Datum, Unterschrift