Der Einfluß des Dämpfers auf das akustische Verhalten und die Klangfarbe der Trompete

Diplomarbeit zur Erlangung des Magistergrades der Philosophie - eingereicht an der Geisteswissenschaftlichen Fakultät der Universität Wien

von

Matthias Bertsch

Wien, am 29. Jänner 1993

„Der einzige Weg, der zum Wissen führt, ist Tätigkeit."

George Bernard SHAW

Vorbemerkung

Das Entstehen dieser Arbeit verdanke ich vor allem Ass. Prof. Mag. Widholm, der mir die Voraussetzungen sowohl theoretisch als auch praktisch durch sein Institut mit all seinen Einrichtungen bot. Er und seine Kollegen - insbesondere Dipl.-Ing. Werner Winkler in technischen Belangen - waren eine große Unterstützung bei den Aufnahmen und Versuchen.

Ein Wort des Dankes geht an dieser Stelle an meinen geschätzten Prof. Dr. Franz Födermayr für die Betreuung dieser Arbeit, für zahlreiche Anregungen und Denkanstöße. So manche fruchtbaren Ideen erhielt ich auch durch Dr. Lubej und meine Kollegen aus dem Diplomanden-Seminar.

Hervorheben möchte ich auch die Analysemöglichkeiten mit Hilfe digitaler Signalverarbeitung, die wir Dr. Werner Deutsch, Anton Noll und ihren Kollegen von der Kommision für Schallforschung verdanken. Auch Sie unterstützten mich während der Arbeit durch ihre Hilfe.

Last but not least gilt mein Dank den Trompetern und allen, die mir mit Informationen aushalfen bzw. sich bei der Umfrage beteiligten, insbesondere Herrn Stoppacher und Herrn Sikora, die sich für die Aufnahmen zur Verfügung stellten.

Inhaltsverzeichnis

Seite

I. **Vorbemerkung** 1

II. **Inhaltsverzeichnis** 2

III. **Einleitung** 5

1. **Methoden und Versuchsaufbau**

1.1 Untersuchungsmethoden 6
1.2 Versuchsaufbau 8

2. **Grundlagen zur Akustik der Trompete**

2.1 Schwingungserzeugung 14
2.2. Hauptteile der Trompete 14

2.2.1. Mundstück 15
2.2.2. Mundrohr 16
2.2.3. Das Hauptrohr 16
2.2.4. Ventile 16
2.2.5. Schallbecher 17
2.2.6. Weitere Konstruktionsmerkmale 17

2.2.6.1. Mensur 17
2.2.6.2. Krümmungen 17
2.2.6.3. Material 17
2.2.6.4. Wandstärke 18
2.2.6.5. Oberfläche der Rohr-Innenwand 18

2.3. Resonanzfrequenzen 18
2.4. Klangfarbe 21
2.5. Dynamik 23
2.6. Richtcharakteristik 24

3. Der Trompetendämpfer

Seite

3.1. Über Dämpfer allgemein 26
3.2. Konstruktion und Herstellung 26
3.3. Verwendungszweck 27
3.4. Bisherige akustische Untersuchungen 29
3.5. Überblick über Dämpfertypen 30

3.6. Die untersuchten Dämpfer

3.6.1. Der Straight Dämpfer

3.6.1.1. Allgemein 35
3.6.1.2. Ansprache 37
3.6.1.3. Intonation 37
3.6.1.4. Klangfarbe 38
3.6.1.5. Dynamik 40
3.6.1.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete 41

3.6.2. Der Cup Dämper

3.6.2.1. Allgemein 43
3.6.2.2. Ansprache 45
3.6.2.3. Intonation 45
3.6.2.4. Klangfarbe 46
3.6.2.5. Dynamik 48
3.6.2.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete 49

3.6.3. Der Velvet Dämpfer

3.6.3.1. Allgemein 50
3.6.3.2. Ansprache 51
3.6.3.6. Intonation 51
3.6.3.4. Klangfarbe 52
3.6.3.5. Dynamik 53
3.6.3.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete 54

3.6.4. Der Harmon Dämpfer (ohne Tubus) Seite

3.6.4.1. Allgemein.....55
3.6.4.2. Ansprache.....57
3.6.4.3. Intonation.....57
3.6.4.4. Klangfarbe.....58
3.6.4.5. Dynamik.....61
3.6.4.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete.....62

3.6.5. Der "Wah Wah" Dämpfer (Harmon Dämpfer mit Tubus)

3.6.5.1. Allgemein.....63
3.6.5.2. Ansprache.....66
3.6.5.3. Intonation.....66
3.6.5.4. Klangfarbe.....67
3.6.5.5. Dynamik.....69
3.6.5.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete.....70

3.6.6. Der Plunger offen (8 cm Spalt) **und geschlossen** (1 cm Spalt)

3.6.6.1. Allgemein.....71
3.6.6.2. Ansprache.....73
3.6.6.3. Intonation.....74
3.6.6.4. Klangfarbe.....75
3.6.6.5. Dynamik.....78
3.6.6.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete.....80

4. Zusammenfassung.....81

5. Literaturverzeichnis.....85

6. Anhang.....88

Einleitung

"Eigentlich sind mir alle Dämpfer ein Horror" schreibt ein Trompeter bei der Umfrage, obwohl er als professioneller Jazz - Trompeter seit über 40 Jahren damit arbeitet.

Die Verwendung von Dämpfern ist für manche Trompeter eine Philosophie, für andere eine Plage und für einige ein Mirakel. Daß ein Trompetendämpfer die Lautstärke verringert und die Klangfarbe verändert, weiß beinahe jeder. Relativ unbekannt sind die weiteren akustischen Auswirkungen des Dämpfers, und die genaueren Unterschiede zwischen den verschiedenen Arten. Häufig bereiten die Bezeichnungen der Dämpfer Verwirrung, da als einzige Informationsquelle die zumeist ungenauen Beschreibungen der Firmen dienen.

Jeder Trompeter, der Dämpfer verwendet, macht natürlich seine eigene Erfahrungen. In keinem Lehrwerk und keiner einzigen Trompetenschule wird der Dämpfer objektiv thematisiert. Die meisten Spieler verwenden Dämpfer sehr selten oder nie, und wenn doch, nur einen Typus meistens den Straight mute (Spitz Dämpfer). Eine Selbstverständlichkeit ist der Umgang mit Dämpfern nur für wenige, zumeist für professionelle Trompeter oder Studenten.

Meine eigenen Erfahrungen mit Dämpfern waren meist mit Unsicherheit verbunden. In vielen Stücken steht nur "with mute" ohne genauere Angabe. Den Umgang damit konnte man stets nur von den "alten Hasen mit viel Erfahrung" lernen. Allerdings sind deren Erfahrungen manchmal genau so unterschiedlich wie die Dämpfer, die sie verwenden, und die Namen, die sie den Typen gaben.

Die Ausgangsbasis zur vorliegenden Arbeit ist der naturwissenschaftliche Ansatz. Es ist ein Versuch, die bisherigen Erfahrungen und die wenigen akustischen Untersuchungen über Dämpfer zusammenzutragen, und durch objektiv meßbare Fakten zu ergänzen. Die Methoden und der Versuchsaufbau sind Gegenstand des ersten Kapitels.

1. Methoden und Versuchsaufbau

1.1. Untersuchungsmethoden

Literatur

Trotz längerer Recherchen waren nur sehr wenige Arbeiten über Dämpfer zu finden. Die erste objektive Untersuchung zu diesem Thema, die nur direkt aus den USA erhältlich war, stammt von Martin J. Kurka aus den 50er Jahren. Die Hilfsmittel, die ihm damals zur Verfügung standen, haben sich aufgrund der Computer - gestützten Messungen und Analysen wesentlich erweitert. Seine Untersuchungen ergaben, daß die vielen unterschiedlichen Dämpfer in Typen gegliedert werden können. Diese Typologie wurde in der Arbeit übernommen. Die Klangfarben-Analyse war zu seiner Zeit jedoch noch relativ schwierig und lieferte nur unzureichende Ergebnisse. Seine Schlußfolgerungen stehen unkommentiert im Kapitel 3.4. "Bisherige akustische Untersuchungen", da sie rein objektive Aussagen überschreiten.

1976 erschien im Journal of Acoustical Society of America (Vol 60, No 2. S. 470-80) der Aufsatz "Input impedance curves for the brass instruments" von John Backus. In diesem zehnseitigen Artikel geht Backus auf den Einfluß des Dämpfers auf den Impedanzverlauf ein. Es waren die ersten Messungen dieser Art. Die Auswirkungen der Dämpfer auf die Schallabstrahlung eines Schallbechers und die elektrischen Ersatzschaltbilder sind in den einzelnen Kapiteln angeführt. Rückschlüsse auf die Stimmung, die Intonation, oder eine Untersuchung der Klangfarben sind in dem relativ kurzen Artikel nicht enthalten.

Der Vergleich zwischen der Arbeit von Backus und dieser Untersuchung muß sich auf prinzipielle Gemeinsamkeiten eines Dämpfertypes beschränken, da nicht identische Dämpfer verwendet wurden. Absolute Frequenzangaben sollten daher durch Frequenzbereiche ersetzt werden.

Den einzigen Gesamt-Überblick über Dämpfer liefert Bevan im "New Grove Dictionary of musical Instruments" (1984: 729f). Dieser Artikel steht übersetzt, ergänzt und mit Abbildungen versehen im Kapitel 3.5. "Überblick über Dämpfertypen".

Weitere schriftliche Quellen für diese Arbeit waren die Informationen der Hersteller von Trompetendämpfern. Aufgrund einer Anfrage waren zwei Erzeuger bereit, Angaben über ihre Produkte und deren Herstellung zu machen. Dies waren Tom Crown aus den USA und Frau Ingeborg Riedl (EMU) aus Deutschland.

Die aus den Geschäften erhältlichen Prospekte dienen vorwiegend dazu, einen Überblick über die am Markt befindlichen Produkte zu gewinnen. Die Angaben wurden in die Untersuchung nicht miteinbezogen, da der Inhalt eindeutig auf Verkaufszwecke abgestimmt ist, und nicht selten der Objektivität entbehrt.

Die historische Betrachtung des Dämpfers sollte prinzipiell aus dieser akustischen Untersuchung ausgeklammert werden. Dies bedeutet jedoch nicht, daß sämtliche historische Aspekte unberücksichtigt blieben. So weit als nötig wurden Angaben aus der einschlägigen Literatur übernommen.

Experimente und Versuche

Die Experimente und Versuche im Vorfeld dieser Arbeit umfaßten zwei verschiedene Vorgangsweisen: erstens die Messung der abgestrahlten Schallenergie, also das äußere Spektrum der Trompete im schallarmen Raum, und zweitens die Eingangsimpedanzmessungen, also das innere Spektrum der Trompete. Das äußere Spektrum bildet die Grundlage zur Beurteilung der hörbaren Kriterien eines Tones, der Klangfarbe, Dynamik, Tonhöhe etc.. Messungen außerhalb des Instruments liefern nicht annähernd so viele Einzelheiten über das gesamte System wie Messungen innerhalb des Mundstücks. Das innere Spektrum ist ein wichtiges Kriterium für den Spieler . Es bestimmt die "spürbare " Ansprache, die Intonation und weitere Qualitäten des Instruments.

Bei den Aufnahmen und Messungen wurden stets dasselbe Instrument und Mundstück, sowie um weitere Variablen auszuschalten, auch stets dieselben Dämpfer verwendet. Gegenstand der Untersuchung war die Auswirkung der verschiedenen Dämpfertypen, und nicht Abweichungen verschiedener Modelle innerhalb eines Typus'. Die Gemeinsamkeiten verschiedener Dämpfermodelle eines Dämpfertypus' und deren Kategorisierung ergaben sich aus dem allgemeinen Gebrauch. Die Einteilung wurde durch Kurkas Untersuchungen bestätigt.

Die für diese Arbeit verwendeten Dämpfer sind Produkte von Firmen, die in Trompeterkreisen bekannt sind und sehr häufig verwendet werden. Die Ergebnisse der Untersuchung gelten nur für den speziell untersuchten Dämpfer.

Das Kapitel über die Grundlagen zur Trompete soll die Voraussetzungen für ein Verständnis der Thematik schaffen, bietet jedoch kein vollständiges Bild über den Stand der Wissenschaft über das Thema Trompete. Eine Zusammenfassung sämtlicher Literatur über die Akustik der Trompete würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen, da der Schwerpunkt meiner Untersuchungen die Dämpfer sind. Das Literaturverzeichnis, auf das ich in diesem Zusammenhang hinweisen möchte, umfasst die meisten Standardwerke zur Akustik der Trompete.

Umfrage

Objektiv meßbar sind nur physikalische Größen, und nicht subjektive Eindrücke. Um die durch Messungen ermittelten Ergebnisse zu kontrollieren, sowie um die praktischen Erfahrungen der Musiker mit einzubeziehen, erfolgte eine Umfrage an über 120 professionelle und semi-professionelle Trompeter aus dem Klassik- und Jazzbereich. Obwohl leider nur 25 Trompeter den Fragebogen ausfüllten, bietet die Umfrage dennoch eine sehr interessante Zusatzinformation zu den "sterilen" Messungen, und hilft, einen Überblick über die Einsatzbereiche und Erfahrungen mit den gebräuchlichsten Trompetendämpfern zu gewinnen. Einer der Hauptgründe für die Befragung bestand darin, Adjektive zu finden, die die jeweilige Klangfarbe des Dämpfers am besten beschreiben.

Der Fragebogen, sowie die statistischen Angaben, sind im Anhang festgehalten. Die Antworten wurden ohne eingreifende Veränderungen in die jeweiligen Kapitel eingegliedert.

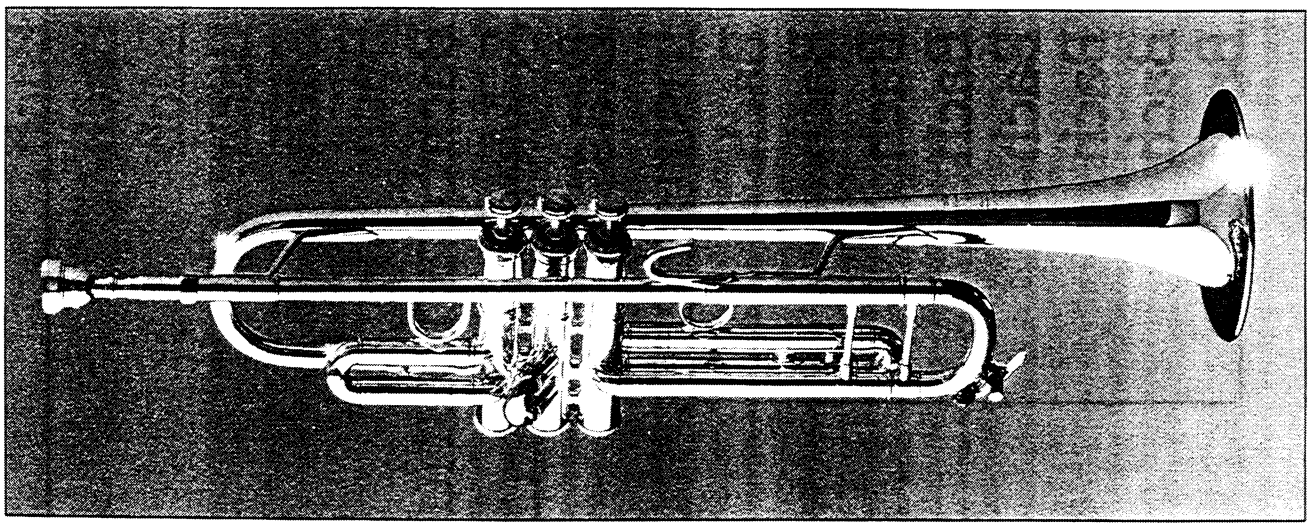
1.2. Versuchsaufbau:

Für die Aufnahmen zur Untersuchung der Klangfarbe sowie für die Eingangsimpedanzmessungen wurden das folgende Mundstück, Instrument und Dämpfer verwendet :

Mundstück: Spezial Bruno Tilz 3DE (D)

Trompete: Vincent Bach Stradivarius ML
Selmer Company, Elkhart, Indiana (USA)

Modell:	72 (weite Mensur)
Bohrung:	11,66 mm
Material:	70 % Kupfer, 30 % Zink, nachträglich außen versilbert (galvanisiert)



Dämpfer:

- **Straight** Denis Wick Precision Mute (GB),
  Aluminium, 3 Korkstreifen mit ca. 5 mm Dicke,
  an der Spitze ein dünner Filzring,
  Höhe ca.15 cm, Durchmesser ca. 90 mm vorne
  und 20 mm an der Spitze,
  das Volumen beträgt ca. 360 ml.

- **Cup** Humes & Berg New Stone Lined (USA),
  gehärtete Pappe, 3 Korkstreifen mit 6 mm Dicke,
  Höhe ca.18 cm; Durchmesser ca. 63 mm außen am breiten Ende
  und 11 mm am vorderen dünnen Ende.

- **Velvet** Humes & Berg New Stone Lined (USA),
gehärtete Pappe, 3 Metallbügel, innen mit Watte gefüllt,
Höhe ca.10,5 cm, Durchmesser ca. 10 cm.

- **Harmon (ohne Tubus) / Wah-Wah (mit Tubus)**

Tom Crown (USA),
Aluminium, Korkring 3,5 cm breit,
Höhe mit Tubus ca. 15 cm, Höhe ohne Tubus ca. 12 cm,
Durchmesser ca. 9 cm, Tubuslänge mit Trichter 13,3 cm,
Tubuslänge ohne Trichter 9 cm, Durchmesser Tubus ca. 1,4 cm.

- **Plunger** EMO (D),
  Plastik, Metallgriff, innen Filz,
  Höhe ca. 5,5 cm, Durchmesser ca. 11 cm.

Aufnahmen

Folgende Konstellation schuf die Grundlage für die Aufnahmen und Messungen bei dieser Arbeit:

Aufnahmeraum:	Schallarmer Raum des Instituts für Wiener Klangstil an der Hochschule für Musik und darstellende Kunst Wien. (Länge der absorbierenden Faserkeile: 1m)
Mikrophon:	Neutrik 1/2 Zoll
Abstand Mikrophon Spieler:	2 m in der Ebene des Schallbechers
Spieler der Voruntersuchung:	Matthias Bertsch
Spieler der analysierten Aufnahmen:	Manfred Stoppacher und Christoph Sikora

Auswertung

Die digitale Signalverarbeitung ermöglichte die Auswertung der Aufnahmen. Dafür wurde die Arbeitsstation **S_Tools** © verwendet, die vielseitige und exakte Analysemöglichkeiten bietet. Mehr Information über dieses digitale akustische Werkzeug liefert u.a. der Artikel von Dr. Werner Deutsch (1989: 309-323) "Sound Tools: Konzept und Entwicklung einer Arbeitsstation zur digitalen Analyse und Bearbeitung von Musik".

Die Aufnahmen für diese Arbeit wurden auf DAT-Rekorder aufgenommen und anschließend für die Analyse mit einer Samplingrate von 32.000 Hz digitalisiert. Dies ermöglichte eine Klanganalyse bis 16 kHz.

Die Klangfarbe wird durch das abgestrahlte Spektrum bestimmt. Dieses wird durch die Anzahl, Lage und Amplitude der Partialtöne im quasistationären Klanganteil, sowie durch den Einschwingvorgang und andere Modulationen im Zeit- und Frequenzbereich geprägt.
Die Untersuchungen zur Klangfarbe von Trompetendämpfern in der vorliegenden Arbeit beschränken sich auf das Spektrum des quasistationären Klanges. Die anderen klangbestimmenden Parameter sind in die Beschreibungen bei der Umfrage miteinbezogen.

Spektrogramme zeigen die Anzahl, Lage, Stärke und den zeitlichen Verlauf der Obertöne. (Auf der X-Achse ist die Zeit in Sekunden, auf der Y- Achse ist die Frequenz in Hertz angegeben; die abgestuften Graustufen bzw. Farbstärken[1] werden durch die unterschiedlichen Amplituden bestimmt.)

Im Laufe der Voruntersuchungen konnte festgestellt werden, daß unabhängig von der gespielten Dynamik, und vor allem unabhängig von der gespielten Tonhöhe, im Frequenzspektrum der Klänge von den diversen Dämpfertypen gewisse Teiltonbereiche stets auffallend starke bzw. schwache Amplituden aufweisen. Diese "bevorzugt" bzw. "vermindert" abgestrahlten Frequenzbereiche werden in dieser Arbeit mit den Begriffen " Formant" und "Antiformant" bezeichnet.

Tiefe Trompetentöne enthalten mehr Teiltöne als hohe. Da diese im Spektrum außerdem näher beieinander liegen, wurde für die meisten Abbildungen das klingende kleine *b* ausgewählt. Nachdem sich mit ansteigender Lautstärke auch die Anzahl und die Amplituden der Teiltöne erhöhen, sind des weiteren vorwiegend die Abbildungen der "fortissimo - Klänge" ausgesucht worden, um die Klang-Charakteristik exemplarisch darzustellen.

Das Cepstrum ist ein geglättetes Mittelwertspektrum. Die einzelnen Amplitudenspitzen der Teiltöne werden nicht mehr einzeln aufgelöst. In dieser Arbeit wurden 40 Koeffizienten im Frequenzbereich gewählt. Durch die Glättung werden die starken und schwachen Frequenzbereiche im Spektrum besonders deutlich. Dies entspricht grob den Formanten und Antiformanten des Instruments.

Der Unterschied zwischen zwei abgestrahlten Spektren wird deulich, wenn die Mittelwertspektren voneinander subtrahiert werden.[2] Sind zwei Klänge gleich, verläuft das Differenzspektrum entlang der Nullinie. Das abgebildete Differenzspektrum entstammt von zwei Cepstren mit 40 Koeffizienten zweier Klänge eines *b* im Fortissimo. Das Cepstrum " Trompete ohne Dämpfer " wurde vom Cepstrum " Trompete mit Straight Dämpfer " subtrahiert. Die absoluten Werte sind nur für diese Klänge und diesen Dämpfer gültig (relative Amplituden). Die Bereiche der Verstärkung und Abschwächung sind weitgehend bei verschiedenen gespielten Tonhöhen und Dynamikstufen gleich. Das Differenzspektrum ist jedoch nicht als Filterkurve eines Dämpfers anzusehen. Der Dämpfer ist kein post-linearer Filter, da er auf das gekoppelte System zurückwirkt, und die Ansprache und Intonation beeinflußt.

Nach den Untersuchungen von Meyer (1980: 43) ist der Dynamikumfang der Trompete frequenzabhängig. In der tiefen Lage ist der Umfang mit ca. 30 Phon am größten. Um die Auswirkung der verschiedenen Dämpfertypen zu verdeutlichen, wurde ein Crescendo in der tiefen Lage ausgewählt.

---

[1] Die Möglichkeit eines Farbausdruckes besteht leider im Moment noch nicht. Deutliche Aussagen am farbigen Bildschirm "verblassen" häufig bei den Graustufenausdrucken, bei denen starke Teiltöne dunkler sind als schwache.

[2] Die Anregung zu dieser Methode stammt von Kollegen durch ihre Anwendung der Subtraktionsmethode für die Arbeit "Zur Frage des Trompetendämpfers bei W. A. Mozart " (Weber; Jena; Hubek; Noll 1992).

Eingangsimpedanzmessungen

Die Eingangsimpedanzmessungen wurden mit der Arbeitsstation **BIAS** © vorgenommen. Als Meß-Mikrophon wurde ein 1/2" Mikrophon der Firma Neutrik verwendet.

Als primäres Ergebnis erhält man bei der Messung die Rohdaten des Instrumentes. Diese stellen eine Resonanzkurve dar, die man als "akustische Visitenkarte" des Instrumentes bezeichnen könnte. Bei den Frequenzen mit hoher Impedanz - den Spitzen in den Abbildungen - liegen die "Naturtöne" des Instruments. Nur bei diesen Maxima kann der Spieler einen Ton erzeugen.

Anhand der Verteilung der Impedanzspitzen berechnet der Computer mit einem Programm von BIAS die optimale Intonation der Trompete. Der 1., 7., und 11. Naturton bleiben unberücksichtigt, da sie nicht in das temperierte (oder reine) Tonsystem passen und auch nicht verwendet werden.
Problematisch wird eine Abweichung um etwa mehr als 20 Cent, das den Ziehbereich des Spielers überschreitet.

Eine weitere Auswertung der Daten mit Hilfe von BIAS ist die Impulsantwort. An der Pulsantwort erkennt man, an welcher Stelle im Instrument Schallenergie zurückreflektiert wird. Die Haupt-Reflexion findet immer an der Stürze statt, außer wenn im Instrument Störstellen vorliegen, die durch dieses Verfahren erkannt werden können. Besonders interessant ist für diese Untersuchung die veränderte Reflexionscharakteristik des Schallbechers durch den Einsatz eines Dämpfers.

Nähere Angaben und Erläuterungen zu BIAS wurden von Winkler, Widholm und Pichler u.a. im Kongressbericht der FASE 1992 veröffentlicht.

2. Grundlagen zur Akustik der Trompete

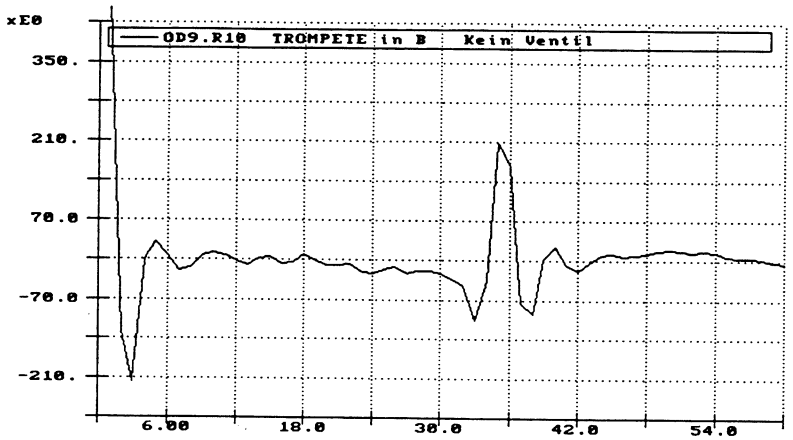
2.1 Schwingungserzeugung

Ein Trompetenton entsteht durch die Wechselwirkung zwischen den schwingenden Lippen des Bläsers und stehenden Wellen in der (durch die Instrumentenaußenwand umschlossene) Luftsäule im Instrument (Benade 1988: 44). Um einen Ton zu erzeugen, muß die Erregerfrequenz der Lippen mit der Eigenfrequenz des Luftraumresonators synchronisiert werden (gekoppeltes System). Bei einem Ton von 440 Hz öffnen und schließen sich die Lippen 440 mal pro Sekunde. Da die Lippen das stärker gedämpfte System sind, wird die Kopplungsfrequenz weitgehend durch die Eigenresonanzen der Schallröhre bestimmt (Stauder 1966:763). Dies bedeutet, daß die Eigenschaften der schwingenden Luftsäule die Lippenschwingungen in starkem Maße beeinflußt. Durch das Zusammentreffen neu angeregter Schallwellen mit an der Stürze reflektierter Wellen (Impedanzunterschied) , entstehen stehende Wellen. Es hängt also von einem präzisen Wechselspiel zwischen hin - und rücklaufender Welle ab.

Die Form der stehenden Wellen hängt unmittelbar mit dem Impedanzverlauf zusammen. [Impedanz = Schalldruck / Schallschnelle] Da am offenen Ende (Stürze) ein Druckausgleich möglich ist, befinden sich dort immer Druckknoten. Ein Teil der Schallenergie wird am Ende des Schalltrichters durch den Impedanzunterschied[3] reflektiert und erhält die stehende Welle im Instrument. Der Rest wird durchgelassen und ist der hörbare Klang des Instruments (siehe auch Widholm 1990: 60ff). Am geschlossenen Ende beim Mundstück sind stets Druckbäuche. Die Lippen des Bläsers öffnen und schließen sich nicht vollkommen sinusförmig (Martin, D.W. 1942), sondern führen auch verzerrte Schwingungen aus, wodurch die harmonischen Teiltöne der Schallröhre angeregt werden, die den charakteristischen Klang der Trompete prägen.

2.2. Hauptteile der Trompete

Die Hauptteile der Trompete sind das Mundstück, das Mundrohr, das Hauptrohr mit den Ventilen und der Schallbecher (Stürze) (Benade 1988: 44). Die Gesamtlänge des Instrumentes beträgt ca. 137 cm.



Die Abbildung 1 zeigt den Verlauf eines Impulses durch die Trompete. (Die Zeiteinteilung auf der X-Achse entspricht dem Verlauf des Instruments vom Mundstück zur Stürze. Die hohe Amplitude vorne ist der Impuls, der durch das Instrument bis zur Stürze gelangt, von wo er reflektiert wird. (Zeiteinheit 35; Zweites Amplitudenmaximum)

[3] Die Wellenimpedanz einer Zylindrischen Röhre (WI) ist abhängig von dem Querschnitt (A), der Elastizität (B) und der Dichte (d) des Mediums. [$WI = (1/A) * (B*d)^{1/2}$] (Benade 1976: 397)

Bei fehlerhaften Ventilen oder einer Störstelle, wie z.B. einer bei einem Druckbauch liegenden Delle, würden bei der Impulsantwort zwischen den beiden Spitzen weitere kleine Maxima auftreten, da an der jeweiligen Stelle Reflexionen stattfänden.

Das kleine Zwischenmaximum bei der Zeiteinheit 5 in der Abbildung 1, wird durch Reflexionen im Bereich Mundstück-Mundrohr hervorgerufen. Sie entstehen durch abrupte Querschnittsveränderungen.

Wesentlich für die vorliegende Arbeit ist bei den Impulsantworten der Bereich der Stürze, da Dämpfer dort z.T. einen starken Einfluß auf die Reflexion haben können. Der Reflexionspunkt an der Stürze ist von der Fequenz abhängig. Tiefe Frequenzen werden früher ins Instrument zurückreflektiert als höhere. Daher ist das zweite Amplitudenmaximum in der Abb. 1 keine exakte Spitze.

2.2.1. Mundstück

Das Mundstück ist ein Kessel mit kurzer, sich konisch erweiternder Bohrung. Wesentlich ist die Kesselform, das Volumen, sowie die Innenbohrung. Mundstücke besitzen eigene Resonanzen, bzw. sehr gedämpfte Resonanzbereiche. Kesselmundstücke, die bei Trompeten verwendet werden, haben zwei starke und einen schwachen Resonanzbereich. Das erste Maximum liegt bei ca. 850 Hz und überlagert die Resonanzfrequenzen des restlichen Instruments (Benade 1976: 400ff). Das Mundstück hat eine stärkere Auswirkung auf die höheren als auf die tieferen Resonanzfrequenzen.

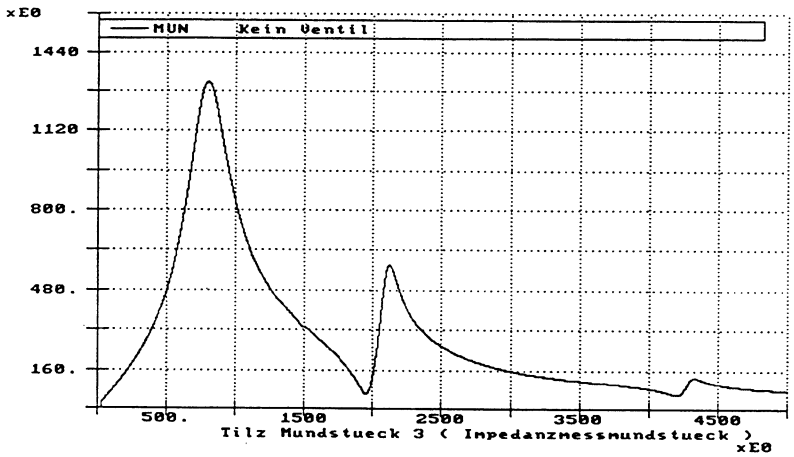


Abb. 2: Die Impedanzmessung des Mundstückes allein zeigt drei Resonanzbereiche. Das erste Hauptmaximum liegt bei ca. 850 Hz. Dieser Bereich überlagert die Impedanzen der Trompete ohne Mundstück. Das zweite Maximum bei ca. 2100 Hz und das dritte bei ungefähr 4300 Hz spielen keine wesentliche Rolle, da hohe Frequenzen vom Schallbecher abgestrahlt, und kaum reflektiert werden. Das Mundstück hat vor allem einen starken Einfluß auf die höheren Resonanzfrequenzen der Trompete.

Gleichzeitig mit der Erhöhung der Spitzen im Resonanzbereich verändert es die Lage der Eigenresonanzen des Instruments auf der Frequenzachse. Die Eigenresonanzen des Instruments unterhalb des ersten Maximums des Mundstücks werden zu höheren Frequenzen verschoben, die oberhalb werden zu tieferen Frequenzen verschoben.

Das Mundstück hat, da es den Kontakt mit den Lippen des Bläser herstellt, einen erheblichen Einfluß auf das Spielgefühl. Aber auch physikalisch wirkt es sich auf die Ansprache, die Stimmung und den Klang des Instrumentes aus.

Der Resonanzbereich des Mundstücks kann zu tieferen Frequenzen verschoben werden, indem man den Kessel vergrößert oder die Bohrung verkleinert. Letzteres wirkt sich jedoch meist nur auf mittlere und hohe Resonanzen aus. Da je nach Spieler die Lippen unterschiedlich tief in das Mundstück hineinragen, ist auch das Kesselvolumen und somit die Stimmung des Instruments unterschiedlich. Ein größeres Kesselvolumen erleichtert das Spielen in der tiefen Lage, erschwert aber die Ansprache bei hohen Tönen.
Die Breite des Randes hat keine Auswirkungen auf die Akustik des Systems, aber variiert nach den Präferenzen des Spielers.

2.2.2. Mundrohr

Das Mundrohr schließt an das Mundstück an und ist ebenfalls konisch. Seine Mensur ist kleiner als die des Hauptrohres und unterstützt die Wirkung des Mundstücks. Der Durchmesser beträgt ca.11 mm und verengt sich je nach Instrument unterschiedlich. Der Querschnittsverlauf des Mundrohres kann einen Einfluß auf die Ansprache des Instrumentes haben. Ein mehr konischer Verlauf verursacht einen kürzeren Einschwingvorgang.

2.2.3. Das Hauptrohr

Das Hauptrohr der Trompete liegt zwischen Mundrohr und dem Beginn der konischen Erweiterung des Schallbechers. Es ist vorwiegend zylindrisch. In diesem zylindrischen Teil sind die drei Ventile eingebaut. Der Durchmesser erweitert sich anschließend auf ca. 110 mm am Schallbecher.

2.2.4. Ventile

Die Ventile der heute vorwiegend in Verwendung stehenden B- und C-Trompeten unterscheiden sich in Drehventile und Pump- oder Perinétventile. Der Unterschied ist vor allem bei Bindungen hörbar, da der Luftstrom bei den deutschen Drehventiltrompeten, die waagrecht gehalten werden, und bei den Pumpventiltrompeten, die senkrecht gespielt werden, anders geführt bzw. unterbrochen wird.[4] Der Ventilstock sitzt bei den Drehventil- Trompeten weiter vorne als bei den Trompeten mit Pump-Ventilen. Üblicherweise werden drei Ventile verwendet, von denen das erste Ventil den Naturton um einen Ganzton, das zweite um einen Halbton und das dritte um eine kleine Terz erniedrigt. Sie ermöglichen das chromatische Spiel ab dem kleinen *fis*, da sie zusammen die Quinte zwischen dem ersten und zweiten Oberton ausfüllen. Kombinationen von Ventilen sind stets ein Kompromiß, da die zugeschaltete Rohrlänge der einzelnen Ventile von der Gesamtrohrlänge des Instrumentes bestimmt wird, und andere bereits gedrückte Ventile nicht einbezogen sind. Berücksichtigt wird dies nur beim dritten Ventil, dessen Rohrlänge etwas länger ist als das erste und zweite Ventil zusammen. Häufig ist am ersten und dritten Ventil ein Trigger angebracht, mit dem sich die zugeschaltete Rohrlänge etwas verlängern läßt. Zumeist klingen Ventilkombinationen aber musikalisch zu hoch und müssen so weit wie möglich durch die Lippenspannung des Bläsers korrigiert werden. Durch das Hinzufügen von Ventilrohrstücken wird der Erweiterungsparameter des Instrumentes kleiner (es ist weniger konisch). Dies bewirkt eine stärkere Beeinflussung der tiefen Teiltöne als der hohen.

[4] Wissenschaftlich aufgearbeit ist der Unterschied zwischen den Wiener Pumpventilen und Drehzylinderventilen bei Hörnern bei Widholm und Sonneck 1987 (siehe auch Stauder 1966: 767).

2.2.5.Schallbecher

Im Gegensatz zu den Flügelhörnern, bei denen sich die Röhre über weite Teile des Instruments langsam konisch erweitert, erweitert sich der Schallbecher der Trompete recht unvermittelt über eine kurze Strecke. Die Form des Schalltrichters bestimmt in hohem Maße den spektralen Aufbau des abgestrahlten Klangs und übt einen Einfluß auf die Stimmung des Instruments aus. Der Schallbecher bewirkt, daß die tiefen Resonanzen erhöht werden und sich in die harmonische Teiltonreihe eingliedern. Der Erweiterungsparameter entspricht in etwa den der Besselhörnern (Benade 1976: 406ff). Wesentlich ist der Durchmesser der Stürze im Verhältnis zur Wellenlänge. Ist die Wellenlänge im Verhältnis zum Schallbecher groß, so wird der größte Teil der Schallenergie zurückreflektiert. Ist sie relativ klein, so wird die meiste Energie abgestrahlt. Bei sehr hohen Tönen ist es deshalb schwierig, eine stehende Welle aufrechtzuerhalten, da sich der Trichter wie ein Megaphon verhält und kaum Energie zur Erhaltung der stehenden Welle reflektiert (Benade 1988: 46f). Ein Instrument mit größerem Schallbecher strahlt mehr Energie ab (ist deshalb auch lauter), und benötigt daher auch mehr Energiezufuhr vom Spieler als eine Trompete mit einem kleineren Schallbecher.

2.2.6. Weitere Konstruktionsmerkmale

2.2.6.1. Mensur

Die Mensur- bzw. der Rohrinnendurchmesser übt einen direkten Einfluß auf die spielbaren Naturtöne aus. Je größer die Mensur, desto höher die Schallgeschwindigkeit und daher auch die Grundstimmung. (Benade 1976: 409)
Der Grad der Erweiterung der Mensur, die Konizität, hat einen wesentlichen Einfluß auf die Resonanzkurve des Instruments (Widholm 1990: 102). Bei eng mensurierten Instrumenten sind die einzelnen Spitzen sehr steil, und auch die hohen Spitzen sind stark ausgeprägt. Bei weiter mensurierten Instrumenten sind die Spitzen weniger scharf und die Impedanz liegt allgemein höher als beim engen Rohr. Diese Tatsachen bewirken, daß der Ziehbereich auf eng mensurierten Instrumenten weit geringer ist, als auf weit mensurierten Instrumenten. Die Treffsicherheit ist auf engmensurierten Instrumenten besser, wogegen weit mensurierte im allgemeinen leichter ansprechen (höhere Impedanz). Da weit mensurierte Trompeten meist auch eine größere Stürze haben und daher mehr Schall abstrahlen, erfordern sie einen höheren Kraftaufwand, klingen aber auch kräftiger.

2.2.6.2. Krümmungen

Krümmungen des Rohres bewirken dasselbe wie eine Erweiterung der Mensur: -die Schallgeschwindigkeit nimmt zu, -der Schallwellenwiderstand (Impedanz) nimmt leicht ab, und -beim Übergang von und zu Krümmungen kann es zu Reflexionen kommen (Benade 1970: 406ff). Daher haben gekrümmte Instrumente ein etwas anderes Verhalten als die gleichen ohne Krümmungen. Die Auswirkungen betreffen die stehende Welle und vor allem den Einschwingvorgang.

2.2.6.3. Material

Das Material der Trompete, d.h. die Legierung, hat weit weniger Einfluß auf das Instrument, als die Wandstärke und die Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrinnenwand. Die verwendete Legierung hat nur eine sehr geringe Auswirkung auf den Klang, die eher für den Spieler hörbar ist, als für den Zuhörer. Im Allgemeinen werden drei Arten von Legierungen verwendet : Messing (70% Kupfer, 30% Zink), Goldmessing (85 % Kupfer, 15 % Zink) und Neusilber (50% Kupfer, 30% Zink , 20% Nickel).

2.2.6.4. Wandstärke

Ist die Instrumentenwand sehr dünn, schwingt sie wesentlich mehr mit als eine dickere, und entzieht der stehenden Welle mehr Energie. Daher strahlt die Trompete auch weniger Energie ab. Durch die stärkere Dämpfung bei dünnwandigen Instrumenten sind die Impedanzspitzen flacher. Dies vergrößert den Ziehbereich einzelner Töne, d.h. etwas falsch liegende Resonanzspitzen können leichter auf die erwünschte Tonhöhe gezogen werden. Die Ansprache von dünnwandigen Instrumenten ist besser, da stärkere Resonanzen einen längeren Einschwingvorgang benötigen. (siehe auch Widholm 1990: 105). Der Spieler muß mehr Energie zuführen und erreicht dies im Fortissimo nur durch eine über die Zeit größere Lippenspaltfläche, was zur Folge hat, daß im Klang mehr Obertöne enthalten sind. Aus diesem Grunde klingen dünnwandige Instrumente im Fortissimo heller und "schmettern" bzw. "scheppern" eher als dickwandige.

2.2.6.5. Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrinnenwand

Die Beschaffenheit der Oberfläche der Rohrinnenwand hat ebenfalls Einfluß auf den Dämpfungsgrad. Eine rauhe Oberfläche entspricht einem höheren Energieverlust. Je größer die Unebenheiten, desto stärker ist Reibung und Dämpfung, und desto flacher sind die Resonanzspitzen.[5] Selbst das Kondenswasser oder ein Belag aus kleinen Verunreinigungen wirken sich (nicht unbedingt negativ) auf das Spielgefühl des Bläser aus. Der Klang und die Ansprache werden nur in geringem Umfang beeinflußt. Weit mehr wirken sich Dellen, kleine Löcher oder sonstige Störstellen aus, die unter Umständen das Verhalten der Trompete vollständig verändern können, indem sie zum Beispiel zusätzliche Resonanzen hervorrufen, oder erwünschte Impedanzspitzen abschwächen.

2.3. Resonanzfrequenzen

Resonanzfrequenzen können sich nur ausbilden, wenn das gekoppelte System - Lippenventil und schwingende Luftsäule - funktioniert. Die neu angeregten Schallwellen und die an der Stürze reflektierten Wellen müssen ein abgestimmtes Wechselspiel vollführen. Bei Blechblasinstrumenten nennt man die Resonanzfrequenzen, die ohne Hilfe von technischen Mitteln spielbar sind, Naturtöne. Die erste und tiefste Resonanzfrequenz ist der Grundton. Dieser wird jedoch selten verwendet, da er nicht in der (fast) harmonischen Reihe der höheren Naturtöne (Obertöne) liegt.[6] Der Spielbereich der Trompete geht zumeist vom 2. bis zum 8. Naturton, im Clarinregister bis zum 16. Naturton, und bei Ausnahmetrompetern im Jazz sogar noch höher. Ausgenommen sind aber der 7. und der 11. Naturton, da sie im temperierten System nicht stimmen. Wesentlich, und Gegenstand dieser Untersuchung, sind der 2.- 6., 8.- 10. und 12. Naturton.
Bei der B-Trompete sind das die klingenden Töne : $b, f_1, b_1, d_2, f_2, b_2, c_3, d_3, f_3$

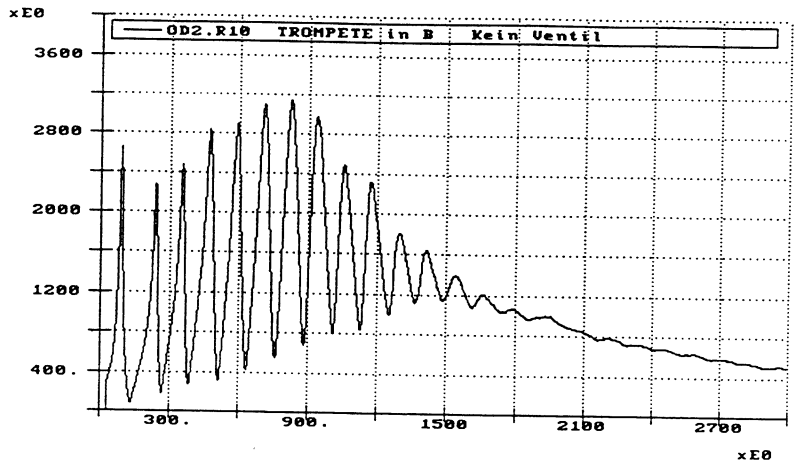
Den gewünschten Naturton erreicht der Trompeter, indem er die Lippenspannung so einstellt, daß sich die Lippen mit der beabsichtigten Frequenz öffnen und schließen.
Die Lage der Resonanzfrequenzen und ihre jeweilige Stärke und Güte bestimmen die Qualität des Instruments. Die Frequenz der Naturtöne bestimmt die innere Stimmung der Trompete, die Stärke und die Güte der Resonanz bestimmen über gute oder schlechte Ansprache. Letzteres entscheidet, wie gut ein Ton auf dem Instrument hervorzubringen ist.

---

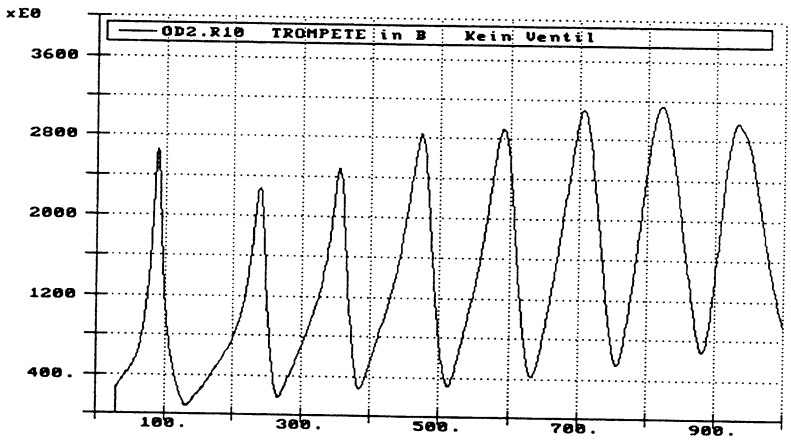
[5] Da Trompeten im Zeitalter des Barock starke Unebenheiten am Innenrohr aufwiesen, war der Ziehbereich der Instrumente wesentlich größer als bei heutigen Instrumenten. Diese Tatsache ermöglichte andere Spieltechniken.

[6] Dies unterscheidet auch die Trompete von Instrumenten mit mehr konischen Rohranteilen wie etwa den Flügelhörnern (Benade 1976: 411). Bei der Trompete ist die harmonische Reihe ab dem zweiten Teilton nur möglich, wenn die tiefste Eigenresonanz "geopfert" wird. Er liegt viel zu tief. Bei stärker konischen Instrumenten liegt die tiefste Eigenresonanz sehr nahe bei der gewünschten Frequenz und ist deshalb einfacher hervorzubringen.

Auskunft über diese Werte geben uns die Eingangsimpedanzmessungen, die im ersten Kapitel dieser Arbeit erläutert wurden. Da im Spektrum der Lippenschwingung auch die Obertöne enthalten sind, ist nicht nur die Stärke und Lage der gespielten Resonanzfrequenz für die Qualität der Ansprache zu berücksichtigen, sondern auch das Verhältnis der Obertöne des gespielten Tones zu den höheren Resonanzfrequenzen des Instrumentes. Damit Töne besser ansprechen, bzw. klingen, braucht man harmonische Eigenfrequenzen, die sich gegenseitig unterstützen. Mehrere Impedanzspitzen der Luftsäule wirken mit dem Ventilmechanismus der Lippen zusammen und bilden eine "stationäre" Schwingung. Die Gesamtenergie verteilt sich auf mehrere harmonische Frequenzkomponenten (Benade 1988: 51). Der erklingende Ton wird durch die Schwingung der Luftsäule so ausgewählt, daß die Gesamtenergie der Schallschwingung maximal wird. Dies ermöglicht, den fehlenden Grundton der harmonischen Obertonreihe, den sogenannten Pedalton, mit Hilfe der Obertöne zu spielen, wenngleich die Klangfarbe eine andere Qualität besitzt.



Die Abbildung 3 zeigt den typischen Impedanzverlauf für eine Trompete (mit Mundstück) ohne Dämpfer. Die Messung verläuft von 10 Hz bis 3000 Hz. Die Spitzen entsprechen der Naturtonreihe der Trompete. Ihre Lagen und Stärken entscheiden über Ansprache, Intonation und Klang und somit über die Qualität der Trompete. Der erste Teilton weicht von der harmonischen Reihe der höheren Teiltöne ab. Er ist viel zu tief. Die Umhüllende der Spitzen hat ihr Maximum bei ca. 850 Hz, was dem ersten Resonanzbereich des Mundstücks entspricht. Ab ca. 1200 Hz werden die Resonanzspitzen wesentlich niedriger und verschwinden bald zur Gänze, da der Schallbecher höhere Frequenzen abstrahlt und kaum Schallenergie zurückreflektiert, um stehende Wellen zu unterstützen.



Die Abb. 4 ist ein Ausschnitt aus der Impedanzkurve und zeigt die ersten 8 Teiltöne. Die Abweichung des Grundtones fällt verstärkt auf. Die Impedanzspitzen verlieren ihre absolute Schärfe. Der Verlauf der Spitze entscheidet über den Ziehbereich und Ansprache. Einfluß darauf hat die Dämpfung des Instruments, die unter anderem von der Wandstärke und der Beschaffenheit der Rohrinnenwand abhängt.

Im Piano prägt die Resonanzfrequenz des gespielten Tones die Intonation. Mit steigender Dynamik nehmen die Anzahl und Amplituden der Obertöne zu und verändern häufig die Intonation und sogar das Spielgefühl. Auch hohe Töne über dem *g2* werden nur durch ihre alleinige Impedanzspitze erzeugt. Sie finden kaum Unterstützung in den höheren Impedanzen, da hohe Frequenzen fast zur Gänze abgestrahlt und nicht mehr reflektiert werden. Darin liegt eine Schwierigkeit, hohe Töne auf dem Instrument zu spielen.

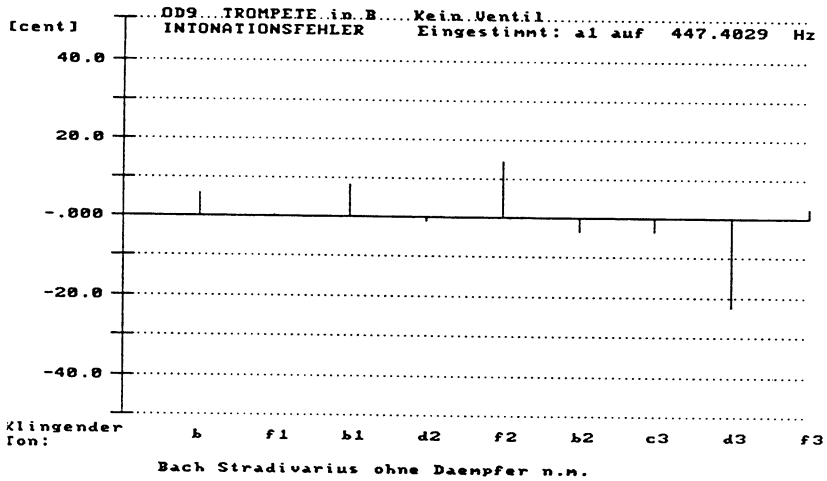


Abb. 5: Die bei dieser Arbeit verwendete B-Trompete hat eine relativ gute Intonation. Eingestimmt wurde in diesem Fall auf *a 1* = 447 Hz (Der Stimmzug war nur wenig ausgezogen). Problematisch wird eine Abweichung um etwas mehr als 20 Cent, da sie den Ziehbereich des Spielers überschreitet. Bei dieser Trompete ist dies lediglich in der selten verwendeten 3. Oktave der Fall. Die Naturtöne 2 - 6 sind ein klein wenig zu hoch.

2.4. Klangfarbe

Die Klangfarbe wird durch das abgestrahlte Spektrum , d.h. die Anzahl, Lage und Amplitude der Partialtöne im quasistationären Klanganteil, sowie durch den Einschwingvorgang und Modulationen im Zeit- und Frequenzbereich bestimmt.

Der Trompetenklang baut sich relativ schnell auf. Der quasistationäre Zustand wird nach ca. 20 - 180 ms erreicht. Dies variiert nach Ansatzart, Lage, Artikulation und dem verwendeten Instrument. Bei weichem Ansatz kann sich der Einschwingvorgang sehr langsam entwickeln.

Die Untersuchungen zur Klangfarbe von Trompetendämpfern in der vorliegenden Arbeit beschränken sich auf das Spektrum des quasistationären Klanges, sind aber in die Beschreibungen bei der Umfrage miteinbezogen.

Die Trompete gehört zu den obertonreichsten Instrumenten. Die Anzahl und ihre Stärke variiert jedoch stark je nach gespielter Dynamik. Im Pianissimo und Piano erklingen z.T. nur wenige Teiltöne. Daher ist es auch möglich, der Trompete sehr weiche Töne zu entlocken, die für einen "sanften, singenden Spielstil" notwendig sind. In tiefer und mittlerer Lage reicht ihr Teiltonspektrum bereits im Mezzoforte bis über 5000 Hz. Im Fortissimo sind auf den Spektrogrammen teilweise mehr als 50 Teiltöne erkennbar. Der Klang enthält also sehr hohe Komponenten - z.T. mit starken Amplituden, die bis über 10 kHz reichen können - die die Ursache des strahlenden, brillanten und hellen metallischen Trompetentones sind. Im Fortissimo sind Klanganteile bis zur Hörgrenze vorhanden.

Den Zusammenhang zwischen dem inneren und dem äußeren Spektrum deutet Benade in seinem Standardwerk "Fundamentals of Musical Acoustics" aus dem Jahre 1970 an (S. 418ff). Das abgestrahlte Spektrum entspricht dem Produkt aus dem Quellenspektrum der Lippen, der Impedanzverteilung im Instrument und der Transformationsfunktion des Schallbechers. Diese hat in etwa die Eigenschaft eines Hochpassfilters.

Tiefe Töne haben mehr Obertöne als hohe Töne. Da die Anzahl und Stärke der Obertöne aber mit steigender Dynamik zunimmt, meint man auf Spektrogrammen häufig, daß hohe Töne mehr Obertöne enthalten, als tiefe. Dies trügt jedoch, da höhere Töne meist mit mehr Druck und daher lauter geblasen werden. Ansteigende Tonleitern werden selbst unbeabsichtigt mit einem leichten crescendo gespielt.

Formanten sind Frequenzbereiche, die unabhängig von der gespielten Tonhöhe und Dynamik im Spektrum auffallend hohe Amplituden gegenüber den benachbarten Bereichen haben. Bei der heute üblicherweise und auch bei dieser Arbeit verwendeten B-Trompete, deren Spielbereich bei *e* (165 Hz) beginnt, befindet sich der Hauptformant zwischen 1150 und 1500 Hz. Für den größten Teil des Tonumfangs kann man eine Betonung der Vokalfarbe "a" zuordnen (Meyer 1980: 42). In den höheren Lagen verstärken sich die nasalen Komponenten, ohne jedoch den Glanz des Klanges abzuschwächen. Für die Aufhellung sind die Frequenzbereiche prägend, die den Vokalfarben "e" und "i" zugeordnet werden können (um 2000 Hz und 3000 Hz). Außer in der sehr hohen Lage überwiegt der Grundton im Spektrum des Trompetenklanges nicht. Der Ton klingt im ganzen Spielbereich hell und brillant. Die Geräuschanteile sind sehr schwach und beeinflussen den Höreindruck kaum.

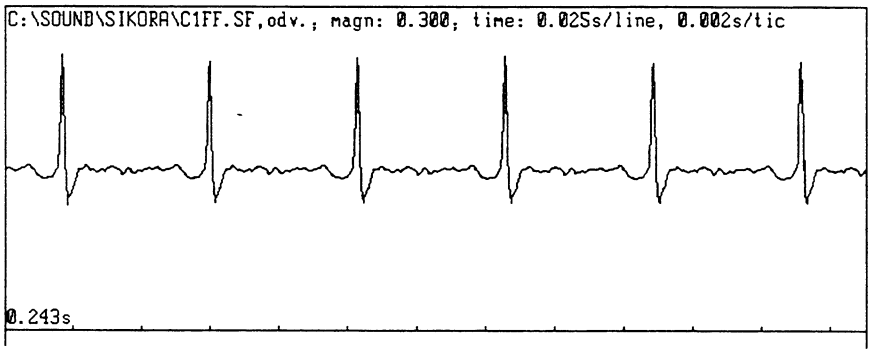


Abb. 6: Die Zeitfunktion eines Trompetentones im Fortissimo zeigt sehr scharfe pulsartige Spitzen, da in tiefer Lage und bei großer Lautstärke sehr viele Obertöne enthalten sind (bis zur Hörgrenze). Die Periode beträgt 2 ms. Dies entspricht dem klingenden kleinen *b*.

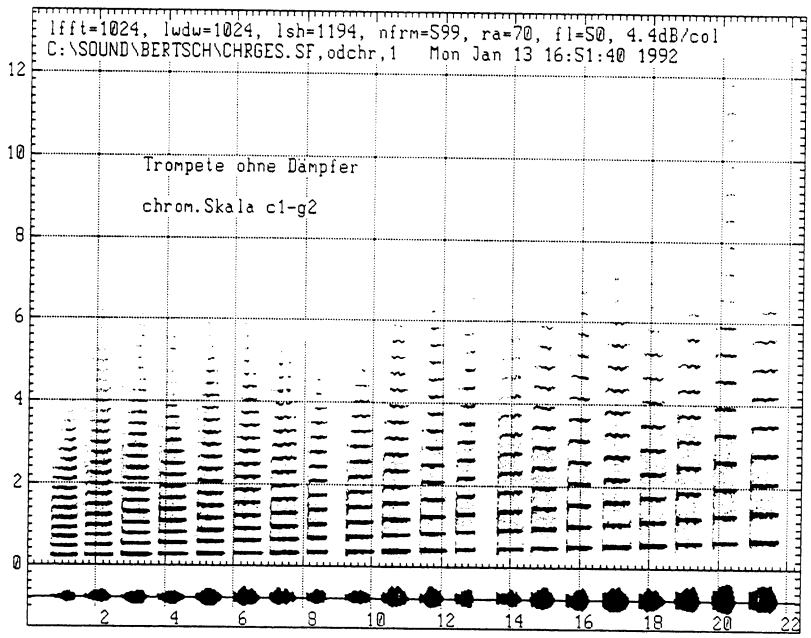


Abb. 7: Die Anzahl, Lage und Stärke sowie den zeitlichen Verlauf der Obertöne erkennt man sehr gut auf den Spektrogrammen. Auf dieser Abbildung einer chromatischen Tonleiter (klingend *b - f2)* sieht man deutlich den ansteigenden Grundton und 15-20 Obertöne, deren Amplituden oberhalb des Formantbereichs von 1120- 1500 Hz allmählich abnehmen. Die Gesamtdauer beträgt ca. 22 Sekunden. Bei Sekunde 9 und 13 sind etwas längere Pausen, bei denen der Spieler atmete. Die Enveloppe der Zeitfunktion unterhalb des Spektrogramms erklärt die Unregelmäßigkeit bei der Anzahl und Stärke der Obertöne: die Amplituden sind unterschiedlich und insgesamt eher zunehmend. Der Höreindruck bestätigt das leichte crescendo im mittleren Dynamikbereich.

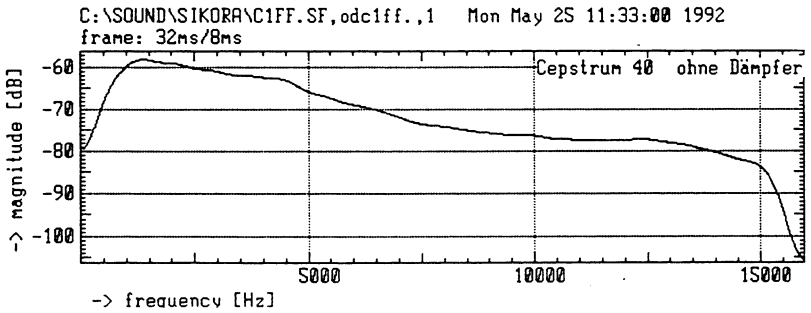


Abb. 8: Das geglättete Mittwertspektrum eines *c 1* (klingend *b*) - im fortissimo geblasen - zeigt, wie stark die hohen Frequenzen abgestrahlt werden, bzw. im Klang enthalten sind. Sie prägen den hellen scharfen Klang. Deutlich ist der Formantbereich zwischen 1120 und 1500 Hz, der um fast 20 dB stärker ist als die Grundtonhöhe. Die Amplituden der Frequenzen oberhalb des Formantbereiches nehmen relativ langsam bis ca. 15 kHz ab. Der langsame Abfall ist durch die hohe Lautstärke bedingt.

2.5. Dynamik

Wie im Absatz über die Klangfarbe bereits beschrieben wurde, ist die Auswirkung der Dynamik auf das Teiltonspektrum sehr stark. Besonders deutlich wird dies bei einem großen crescendo.

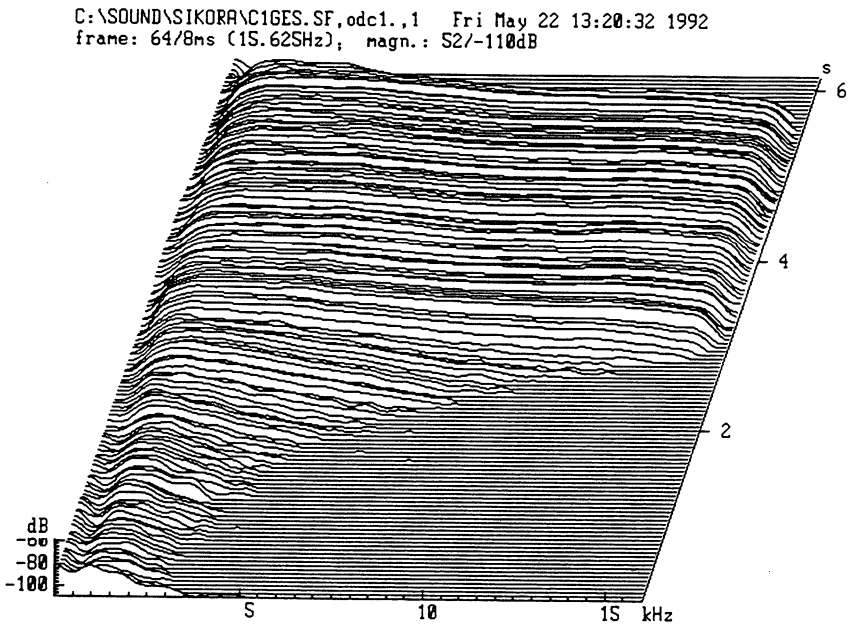


Abb. 9: Das dreidimensionale Cepstrum eines *c 1* (klingend *b*) im Verlauf eines Crescendos vom Pianissimo zum Fortissimo verdeutlicht die Verstärkung der Amplituden der höherfrequenten Teiltöne. Der Formantbereich zwischen 1120 und 1500 Hz dominiert unabhängig von der gespielten Lautstärke.

Lautstärkemessungen von Meyer (1980: 43) im Studio ergaben in einer Entfernung von 14 m für das Pianissimo einen mittleren Pegel von 64 - 69 dB (A). Somit ist die Trompete eines der lautesten Instrumente im unteren Dynamikbereich. Im Fortissimo erreicht sie Werte um 90 dB (C) und kann von anderen Instrumenten noch übertroffen werden.

Ihr Dynamikumfang ist nicht sehr groß und frequenzabhängig. Darin mag eine Ursache für die Einführung von Trompetendämpfern liegen. Der Dynamikumfang beträgt in der tiefen Lage ca. 30 Phon [53 dB (A) - 83 dB (C)] und verengt sich in der hohen Lage auf ca. 13 Phon [80 dB (A) - 93 dB (C)]. Die höchsten Töne haben demnach nur einen sehr geringen Spielraum in Bezug auf die Lautstärke.

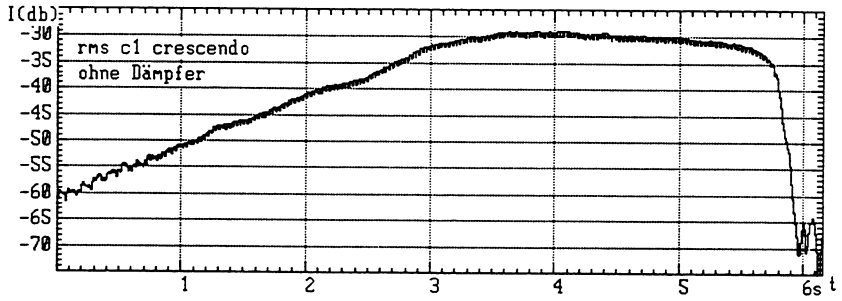


Abb. 10: Die abgestrahlte Schallenergie beim *c1* (klingend *b*) im Verlauf eines Crescendo vom Pianissimo zum Fortissimo. Bei der Aufnahme für diese Arbeit wurde mit relativer Pegelunterschied von ca. 30 dB gemessen. Dies entspricht in etwa den Angaben von Jürgen Meyer für die tiefe Lage.

2.6 Richtcharakteristik

Die Richtwirkung der Schallabstrahlung ist bei allen offen geblasenen Blechblasinstrumenten nur durch die Form und Größe des Schalltrichters und des anschließenden konischen Teiles des Rohres bestimmt. (Meyer 1980: 78) Die Verwendung von Dämpfern hat zweifelsfrei einen Einfluß auf die Abstrahlungsverteilung. In der vorliegenden Arbeit wurde auf diesen Aspekt aus technischen Schwierigkeiten nicht eingegangen. Die Auswirkungen wurden bereits von Kurka untersucht.
Die Richtcharakteristik der Trompete ist im wesentlichen rotationssymetrisch um die Trichterachse und ist für verschiedene Frequenzen verschieden[7] . Frequenzen bis ca. 500 Hz werden allseitig gleichmäßig abgestrahlt. Hohe Frequenzen über 1000 Hz werden wesentlich schärfer gerichtet als tiefe.[8] Über 4000 Hz ist der Abstrahlungswinkel noch kleiner. In den hohen Frequenzbereichen liegen die stärksten Klanganteile der Trompete, die selbst im Piano das Timbre prägen. Dies bewirkt, daß Trompeten selbst bei geringer Lautstärke den Schall stark gebündelt abstrahlen.

[7] Ausschlaggebend ist das Verhältnis der Wellenlänge zu den Abmessungen des Trichters. Genauere Angaben zur Richtcharakteristik liefert Meyer in: Akustik und musikalische Aufführungspraxis (1980: 78f; siehe auch Meyer; Wogram 1970 sowie Benade 1976: 419).

[8] Diese Tatsache birgt folgendes Problem : Nimmt man eine Trompete mit dem Mikrophon in der Achse der Stürze im schalltoten Raum auf (wie dies bei den Experimenten in der vorliegenden Arbeit geschah), so werden wegen der Abstrahlungscharakteristik die hohen Frequenzen (ca. über 1000 Hz) überbewertet.

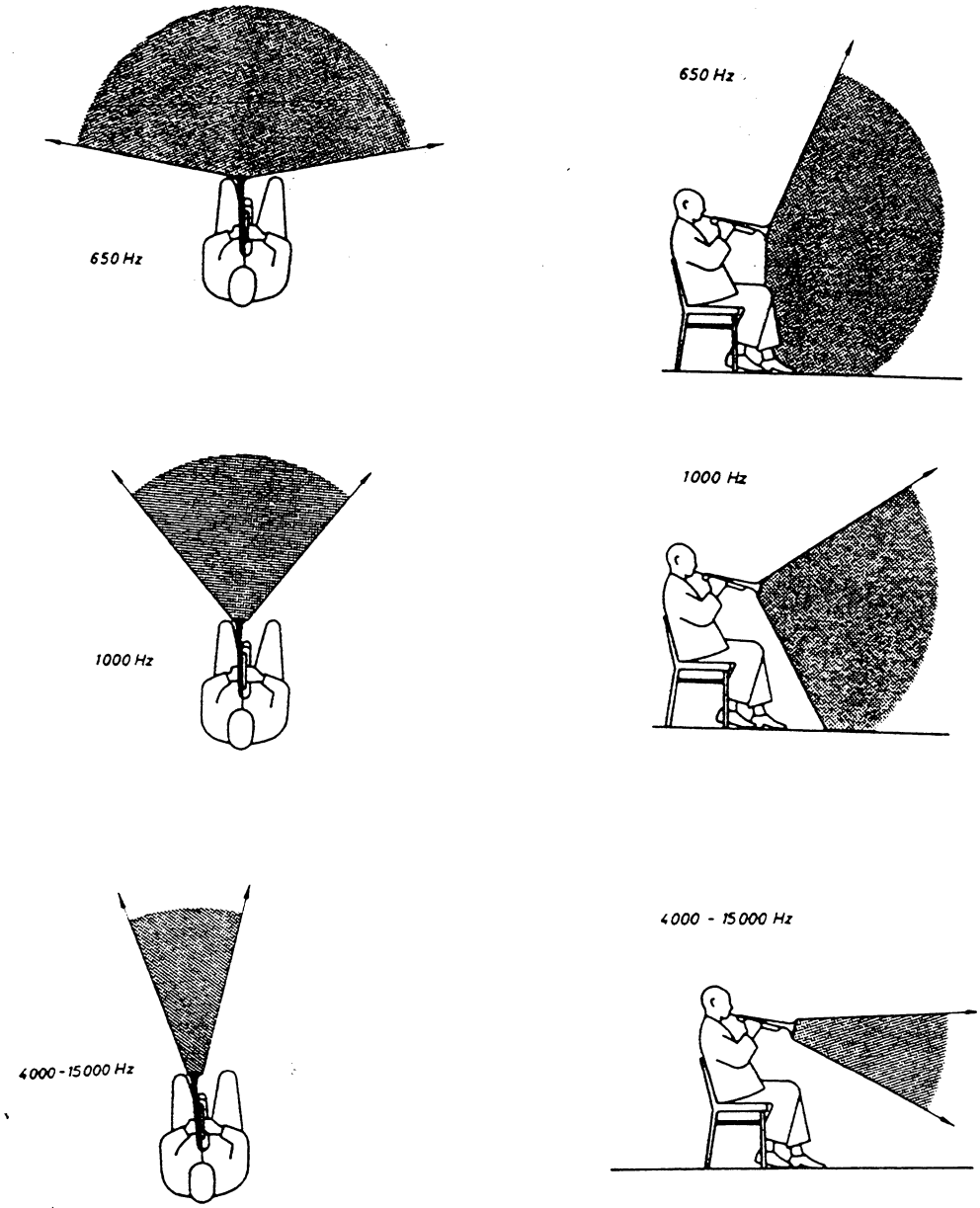


Abb. 11: Die Hauptabstrahlungsrichtungen (0... -3 dB) der Trompete nach Jürgen Meyer 1980 (S. 165 und 166).

a. in der Vertikalebene bei 650, 1000 Hz und bei über 4000 Hz
b. in der Horizontalebene bei 650 1000 Hz und bei über 4000 Hz

3. Der Trompetendämpfer

3.1. Dämpfer allgemein

Bei Trompeten und anderen Blechblasinstrumenten werden Dämpfer am Schallbecher des Instrumentes angebracht um die Klangfarbe zu verändern, sowie, um den Ton dynamisch abzuschwächen. Der früheste bekannte Dämpfer für die Trompete ist bei Mersenne in der "Harmonie universelle" von 1637 abgebildet (Bevan 1984: 729f). Dieser und viele historische Dämpfer waren zumeist transponierende Dämpfer: Sie erhöhten den Ton um einen Halb- oder Ganzton. Die heute hauptsächlich in Verwendung stehenden Dämpfer sind nicht-transponierend. Im Gegenteil sind Verstimmungen bei den in dieser Arbeit untersuchten Dämpfer unerwünscht. Frequenzmodulationen werden bei den " wah-wah " Effekten beim Harmon Dämpfer und "Doo-wah" Effekten beim Plunger ausgenützt. Die akustischen Auswirkungen von Dämpfern sind Gegenstand dieser Arbeit und werden eingehend in den späteren Kapiteln erläutert.

Der Dämpfer ist ein Teil des gekoppelten Systems Trompete-Spieler. Er wirkt auf den Generierungsvorgang ein, da er das akustische Verhalten der Stürze verändert. Der Dämpfer verhält sich außerdem wie ein Helmholtz Resonator. Er verändert die Klangfarbe, indem er Obertonbereiche abschwächt oder verstärkt bzw. weniger abschwächt. Zumeist sind es Frequenzbereiche, die unabhängig von der gespielten Tonhöhe modifiziert werden. Diese Frequenzbereiche, die sogenannten Antiformanten und Formanten, sind je nach Dämpfer verschieden, und prägen sein typisches Klangbild. Da der Dämpfer ein Teil des gekoppelten Systems ist, kann er nicht als einfacher postlinearer Filter betrachtet werden. Seine Auswirkung ist auch von der Frequenz und der Amplitude abhängig. Bei der Untersuchung der Klangfarbe kann diese Tatsache aber vernachlässigt werden. Besonders deutlich können sich die Unterschiede in verschiedenen Lagen und Dynamikstufen jedoch beim Spielgefühl des Bläsers bemerkbar machen. Z.B. sind mit dem geschlossenen Plunger hohe Töne fast nicht hervorzubringen. Die Auswirkungen des Dämpfers beschränken sich nicht nur auf das äußere Spektrum, die Klangfarbe. Auch im inneren Spektrum treten gegenüber dem Instrument ohne Dämpfer Veränderungen auf.

Dämpfer können dasselbe bewirken, wie die Stopftechnik beim Waldhorn. Akustisch gesehen ist der Dämpfer ein Teil des Schallbechers. Durch die Erhöhung der reflektierten Schallenergie - vor allem bei höheren Frequenzen - kann er die hochfrequenten Impedanzspitzen wesentlich verstärken, und unter Umständen sogar neue hinzufügen. Die Auswirkung des Dämpfers auf die abgestrahlte Intensität beträgt laut Kurka (1961) ein bis zwei Dynamikstufen und ist vom Typ abhängig. Er gibt als Erfahrungswert für eine Dynamikstufe ca. -6 dB an.
(f=0 dB; mf=-6 dB; mp=-13 dB; p=-19 dB)

3.2. Konstruktion und Herstellung

Die Effektivität des Dämpfers hängt von seiner Art, Konstruktion und Anwendung ab. Die Entwicklung und Herstellung von Dämpfern erfolgt meistens nicht theoretisch, sondern basiert auf empirischen Experimenten und unterliegt Schwankungen.
Tom Crown, einer der marktführenden amerikanischen Dämpferhersteller, erklärt[9] :

" My first mute was not designed scientifically but by trial and error. [..] I believe that all of the commercially produced mutes now being sold were developed by copying other mutes by trial and error. Designing a mute starting with the measured acoustic response rather than by the response of brass players does not seem to work."

[9] Das Zitat enstammt einem Brief von Tom Crown vom 27.2.92. an den Verfasser.

Außer Abweichungen in den Dimensionen ist vor allem das verwendete Material eine Variable. Erfindungen haben selten Schranken. Als Plunger-Ersatz dienen sehr häufig Gummistößel zur Abflußreinigung, Plastikbecher oder einfach die hohle Hand des Spielers. Als zweckdienlich wird sogar eine halbe Kokosschale gesehen. Selbst einige professionelle klassische Trompeter bauen sich ihren Spitzdämpfer selbst und verwenden nicht einfach einen der mehr als 15 verschiedenen, am Markt erhältlichen. In Fachzeitschriften sind auch heute noch immer wieder neue Patente zu bewundern.Einige davon wurden dem Anhang beigefügt.

Bei den meisten Dämpfertypen gibt es heute aber Standards und marktführende Firmen, so daß Neuheiten eine Außenseiterrolle spielen.

Die Herstellung der Dämpfer der Marke "EMO" beschreibt Ingeborg Riedl aus Deutschland[10] . Sie erzeugt und vertreibt die von Ernst Modl (daher EMO) nach dem 2. Weltkrieg entwickelten Typen, die im Laufe der Zeit auch verändert wurden:

" Das Material aus dem die Dämpfer gefertigt sind, ist Aluminium, Plastik und sogenannter Preßspan, lackiert. Bei den Dämpfern aus Plastik handelt es sich zum Teil um Polysirol und zum Teil um Polyethylen. Die Maße ergeben sich aus den Werkzeugformen, die bei jedem einzelnen Dämpfer erforderlich sind.

Die Teile für die Aluminiumdämpfer werden tiefgezogen oder gedrückt und dann zusammen gesprengt, anschließend poliert. Die Dämpfer aus Plastik werden entweder gespritzt oder geblasen. Die aus Preßspan werden ausgeschnitten, auf Formen gewickelt und verleimt, die einzelnen Teile verleimt und dann lackiert."

3.3. Verwendungszweck

Selten ist die vordergründige Tatsache der Lautstärkenverminderung Anlaß zum Gebrauch des Dämpfers. In den meisten Fällen ist er nicht nur ein dynamisches Mittel. Dennoch wird der dynamische Effekt ausgenutzt, um den relativ engen Dynamikumfang der Trompete zu erweitern. Manche Dämpfer verringern die abgestrahlte Schallenergie derart, daß sie fast nur mit technischer Verstärkung gespielt werden können. Die Hauptursache ihrer Verwendung ist das Streben nach Effekten und Klangfarben-Variationen. Aus diesem Grund empfehlen unter anderen Kurka (1961) und Bate (1978), daß Komponisten unbedingt in den Partituren angeben sollten, welchen Dämpfertypus sie möchten, bzw. welchen Effekt sie anstreben.

Ein häufiges Problem in der Praxis, vor allem bei der älteren Spielliteratur, ist, daß der gewünschte Dämpfertypus überhaupt nicht angeführt wird. Falls der Typ unbekannt oder ein für die Gattung unüblicher Dämpfer ist, übernimmt der Dirigent bzw. der Bandleader, oder auch der Musiker selbst die Entscheidung. Die Klangvorstellung des Trompeters entscheidet auch, welchen Dämpfer er für freie Improvisationen verwendet.

Obwohl es schon seit einigen Jahrhunderten Dämpfer gibt, wurden sie erst in den 20er Jahren unseres Jahrhunderts durch die Tanz- und Showbands populär (Bate 1978: 35).
Sehr häufig werden mit den einzelnen Dämpfertypen Vorbilder assoziiert, die diesen Typus als Erste oder neu charakterisierend oder besonders oft verwenden. Beispielsweise wird von vielen der Harmon Dämpfer mit Miles Davis oder der Plunger mit der Glenn Miller Big Band verbunden.

[10] In einem Brief vom 10.3.92. an den Verfasser.

Heute werden Dämpfer meist aus anderen Gründen verwendet, als aus denen von Altenburg im Jahre 1795 genannten (nach Bevan 1984: 729):

- geheimer militärischer Rückzug
- der Gebrauch bei Beerdigungen
- Vermeidung des Kreischens
- Verbesserung der Intonation

Welchen Zweck der einzelne Komponist oder Spieler mit einem Dämpfer beabsichtigt, ist sehr unterschiedlich und umfangreich. Eine Aufzählung würde den Umfang dieser Arbeit bei weitem sprengen. Im Prinzip sind es vor allem Stimmungen und bestimmte Effekte, die erzielt werden sollen. Zumeist ist eine genaue Verbalisierung überhaupt nicht möglich. Dies ist nur dann möglich, wenn der Musik eine programmatische Bedeutung zugrunde liegt, wie z.B. in Opern oder programmatischen Symphonien, oder wenn die Stimmung eines ganzen Stückes durch den Dämpfer geprägt wird, und diese aus dem Titel des Werkes hervorgeht. Der Einsatz eines Dämpfers bewirkt jedoch stets eine Bereicherung der Klangfarben- und Ausdruckspalette und bedarf eigentlich keiner weiteren Existenzbegründung.

Musik, Stimmungen und Klangfarben mit Worten zu beschreiben, ist meist nur ein ärmliches, aber leider oft das einzige Hilfsmittel zur Verständigung. Den Versuch, die Wirkung von Dämpfern zu beschreiben, wurde bereits öfters unternommen. Diese Arbeit legt den Schwerpunkt auf die meßbaren, objektiven akustischen Auswirkungen des Dämpfers. Dennoch einige Kostproben.

Aus der Instrumentationslehre von Hans Kunitz (1958: 540):

> *"Im pp ist der Klang sehr zart, gläsern und für die Ausführung subtiler Klangeffekte geeignet. Er ist dem Pianoton der Oboe sehr Verwandt. [der Spitzdämpfer ?] In mittlerer Tonstärke ergibt sich ein eigenartiger, sozusagen >hintergründiger< bisweilen geradezu gespenstischer Klangreiz (Beispiele aus Salomé von R. Strauss) während das ff von durchdringender Schärfe ist, vor allem bei der Verwendung eines Metalldämpfers."*

In der Instrumentationslehre von Berlioz-Strauss aus dem Jahre 1905 ist im Kapitel über Trompeten ein Absatz über Dämpfer beigefügt. Er schreibt :

> *"Die Trompeten mit Sordinen sind oft von zauberhaften Wirkungen. Im Forte eignen sie sich [Spitzdämpfer], und sind auch reichlich verwendet worden, zur Karikatur und zur Darstellung phantastischer Spukgebilde. Das Piano der gedämpften Trompete ist von zauberhaftem, silberhellen Klange. Ich erlaube mir hier auf meine Oper Feuersnot zu erinnern."*

In dem Aufsatz "Trombe sordine " beschreibt Wolfgang Osthoff (1956) historische Aspekte des Dämpfers. Er notiert:

> *"Die früheste bekannte Verwendung gedämpfter Trompeten erwähnt aber Giorgio Vassari in der Lebensbeschreibung des Pioro di Cosimo [Le vite de' piu eccellenti pittori, scultori e architetti..Vol VII ; Firenze 1851: 116] Dieser Bericht beweist, daß die Verwendung gedämpfter Trompeten im Zusammenhang mit der Todesvorstellung einen mindestens bis ins frühe 16. Jahrhundert zurückreichenden Brauch entspricht."*

3.4. bisherige akustische Untersuchungen

Martin J. Kurka

Die erste objektive Untersuchung zu diesem Thema stammt von Martin J. Kurka aus den '50er Jahren. Die Schlußfolgerungen seiner Untersuchungen (1961: 60) lauten frei übersetzt :

1. Dämpfer beinflussen die Intensität des Tones, die Tonhöhe, die Abstrahlungscharakteristik, sowie den Formanten des Instrumentes.
2. Dämpfer können in Typen gegliedert werden, da jeder Dämpfer eines Typus' sich ähnlich auswirkt, obwohl Abweichungen bestehen.
3. Die Klassifikation der Dämpfer nach ihrer Form oder Konstruktion muß nicht abgeändert werden, da die Dämpfer nach ihrer Form oder Konstruktion die Effekte erzeugen, die hier untersucht wurden.
4. Es bestehen beträchtliche Unterschiede beim gleichen Dämpfertypus, die von der unterschiedlichen Herstellung und Größe herrühren.

Kurka's spezielle Folgerungen aus seinen Untersuchungen

1. Beim Gebrauch vom Straight-, Cup-, Mega- und Velvet Dämpfern sollte man eine Dynamikstufe lauter spielen, wenn der Gebrauch des Dämpfers vom Komponisten oder Arrangeur nicht berücksichtigt wurde.
2. Beim Gebrauch vom Wow-Wow (Harmon) Dämpfer sollte man zwei Dynamikstufen lauter spielen, wenn der Gebrauch des Dämpfers vom Komponisten oder Arrangeur nicht berücksichtigt wurde.
3. Alle Dämpfer tendieren dazu, den Ton in der tiefen Lage zu erniedrigen.
4. Straight- und Cup Dämpfer tendieren dazu, den Ton in der mittleren Lage (in unterschiedlichem Ausmaß) zu erniedrigen. In der hohen Lage ist die Auswirkung unterschiedlich.
5. Der Spieler muß deshalb jeden Ton sorgfältig mit dem Ansatz korrigieren, wenn er einen Dämpfer benützt.
6. Ein Tonhöhenunterschied von zwei Cents sollte vom Spieler ausgeglichen werden, obgleich das musikalisch trainierte Gehör eine Tonhöhendifferenz von bis zu 8 Cents toleriert.
7. Die Auswirkung des Dämpfers auf die Abstrahlungscharakteristik nimmt mit ansteigender Frequenz zu.
8. Der Dämpfer wirkt sich wie eine akustische Linse aus (Bündelung). Die Abstrahlung erfolgt in einem engeren Strahl entlang der Achse des Schalltrichters, als bei einer ungedämpften Trompete.
9. Aufgrund 8. sollte der Spieler mit der Stürze gegenüber des Publikums sitzten, damit dies den ganzen Klang des Instrumentes hört.
10. Der Dirigent sollte experimentieren, um das beste Resultat zu erhalten, da sehr viele unbekannte Faktoren eine Rolle spielen.
11. Dämpfer wirken sich in beträchtlichem Ausmaß auf den Formanten des Instrumentes aus, je nachdem, welcher Dämpfertypus verwendet wird.
12. Der Straight Dämpfer neigt dazu, die Klangfarbe aufzuhellen und gibt dem Instrument einen dünneren Klang.
13. Der Cup Dämpfer hat eine scharfen und schneidenden Klang, obwohl der Ton nicht hell oder schrill ist.
14. Der Mega Dämpfer erzeugt einen hellen Klang mit einer durchdringenden und schneidenden Klangfarbe.
15. Der Wow-Wow (Harmon) Dämpfer hat einen weicheren, sanfteren Klang als der Mega Dämpfer, aber die Klangfarbe der beiden ist ähnlich. Beide haben eine charakteristische Klangfülle, die besonders in Solo-Passagen gut klingen sollten.
16. Der Velvet Dämpfer ist der einzige Dämpfer, der einen tiefen oder dunklen Ton erzeugt. Er hat einen weichen Klang, da die höheren Teiltöne abgeschwächt werden.

....

Der Einsatz einer gedämpften Trompete als Substitut von Oboe oder Englischhorn ist problematisch... Bei einem Vergleich der Formanten konnten jedoch Ähnlichkeiten zwischen den Formanten der Oboe und einer Trompete mit Cup Dämpfer, sowie zwischen den Formanten des Englisch-Horns und einer Trompete mit Mega Dämpfer festgestellt werden. ...

..Bei den Vorbereitungen zu den Experimenten mit dem künstlichen Bläser wurde festgestellt, daß sich die Ansprache des Instrumentes mit Dämpfer ändert. Wenn ein Dämper benutzt wurde, war ein höherer Luftdruck notwendig...

Backus

1976 erschien im Journal of Acoustical Society of America (Vol 60, No 2. S .470-80) der Aufsatz "Input impedance curves for the brass instruments". In diesem zehnseitigen Artikel geht Backus auch auf den Einfluß des Dämpfers auf den Impedanzverlauf ein. Es waren die ersten Messungen dieser Art. Er untersuchte nur die drei häufigsten Typen, nämlich den Straight-, den Cup-, und den Wah-Wah Dämpfer. Die Auswirkungen der Dämpfer auf die Schallabstrahlung eines Schallbechers und die elektrischen Ersatzschaltbilder sind in den einzelnen Kapiteln angeführt. Rückschlüsse auf die Stimmung, die Intonation, oder eine Untersuchung der Klangfarben sind in dem relativ kurzen Artikel nicht enthalten.

3.5. Überblick über Dämpfertypen

Die ältesten Dämpfer waren nicht mehr, als ein konischer Holzstopfer mit einem Loch in der Mitte. Sie dienten meist als transponierendes Hilfsmittel. Später und bis zum 20. Jahrhundert war der einzig regelmäßig gebrauchte Dämpfer in den Symphonie-Orchestern der Spitzdämpfer oder in der englischen Bezeichnung der Straight Mute. Im Laufe dieses Jahrhunderts hat sich, vorwiegend durch den Einfluß des Jazz, eine breite Palette von verschiedenen Dämpfern entwickelt. Auch heute noch ist bei klassischen Trompetern der Spitzdämpfer am häufigsten in Gebrauch. Durch die Auswirkungen des Jazz auf die klassische Musik zu Beginn dieses Jahrhunderts, sowie durch das Anwachsen der Bedeutung der Klangfarbe bei den Spät-Romantikern, begannen jedoch auch Komponisten klassischer Musik, sowie viele zeitgenössische Komponisten, mit Dämpfern zu experimentieren.

Laut Bevan´s [11] Artikel im "New Grove" bilden der Straight-, Cup- und Harmon Dämpfer den Standard der Typen, die heute in Gebrauch sind. Diesen von Bevan angeführten Standard bestätigte auch die Umfrage. (Siehe Anhang)

100 % der Befragten besitzen zumindest einen Straight Dämpfer, über 85 % einen Harmon - und 76 % einen Cup Dämpfer.

60 % der Befragten haben einen Plunger oder Plunger-Ersatz und immerhin noch jeder zweite besitzt einen Velvet Dämpfer.
Mehr als diese 5 Dämpfertypen haben nur die Wenigsten der Befragten, zumeist professionelle Trompeter aus dem Jazzbereich. In der Literatur für Trompete sind auch nur selten andere Typen vorgeschrieben.

[11] Der Überblick über die verschiedenen Typen basiert vor allem auf der von Bevan 1984 (730f) im "New Gove Dictionary of Musical Instruments" veröffentlichten Auflistung.

Liste der am Markt erhältlichen Dämpfer[12] :

I.) Der **STRAIGHT** mute (dt. **Spitzdämpfer**) hat eine konische Form. Er ist heute meistens aus Metall und manchmal leicht birnenförmig. Das breitere Ende ist geschlossen. Er hat drei längliche Korkstreifen an der Seite zur Positionierung in der Stürze. Sie ermöglichen , daß einige Luft zwischen Dämpfer und Wand der Stürze entweichen kann. Verwendete Materialien sind Aluminium, Kupfer, Fiber, Pappmaché oder Plastik.

II.) **CUP** mute: Er entspricht im wesentlichen einem Straight mute, der am weiten Ende eine Schale (Cup) hat, die mehr oder weniger die Stürze bedeckt. Die Schale ist oft justierbar, um mehr oder weniger Effekt zu erzielen. Sie enthält meistens ein Filzfutter. Wie beim Straight mute kann zwischen den drei Filzstreifen und der Wand der Stürze Luft passieren.Verwendete Materialien sind Aluminium und andere Metalle, Fiber, Holz, Pappmaché oder Plastik.

III.) Der **VELVET** mute, vielfach auch **Bucket** mute oder **Velvetone** genannt, ist ein flachwandiger Kübel ("Bucket" dt."Eimer"), der mit einem absorbierenden Material gefüllt ist. Mit Hilfe von Metallzungen ist er in einem bestimmten Abstand an der Stürze fix montiert. Sein Name beschreibt seinen Klang als samtartig, weich. (Velvet dt. Samt)

IV.) Der **HARMON** mute ist ein Wah-Wah Dämpfer ohne Tubus (Innenrohr mit trichterförmiger Ausweitung). Mit Tubus wird er aufgrund seiner Klangwirkungen **Wah-wah** oder **WOW WOW** mute genannt. Beide haben dasselbe äußere Gehäuse, welches einen geschlossenen Resonator darstellt. Er besteht aus Metall und ist durch eine Korkmanschette in der Stürze luftdicht befestigt. Der ganze Luftstrom muß durch den Dämpfer. Das ausziehbare Innenrohr, der Tubus, erlaubt, daß unterschiedliche Mengen an Luft in die Dämpferkammer gelangen. Die Stellung des Innenrohres ermöglicht Variationen der Klangfarbe. Die Bezeichnung als Harmon Dämpfer, wenn der Tubus entfernt ist, ist in der Praxis üblich. Ein Wah-Wah Effekt kann erzeugt werden, indem man während des Spiels die Öffnung vorne mit der Handfläche zu- bzw. aufdeckt.

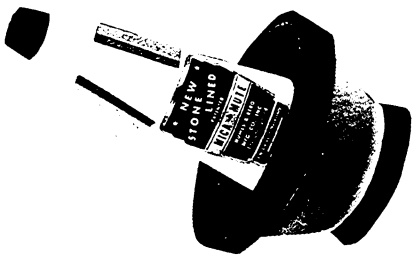
V.) Der **PLUNGER** ist eine Schale, die man während des Spiels mit einer Hand vor den Schallbecher hält. Er ist in seiner Art und in seinem Material sehr unterschiedlich. Als Plunger-Ersatz dienen sehr häufig der Gummistößel zur Abflußreinigung, Plastikbecher oder einfach die hohle Hand des Spielers. Industriell gefertigte Plunger sind zumeist aus Kunststoff, Metall oder ausgespritzer Pappe gefertigt. Der Spalt zwischen Stürze und Plunger ist variabel. Geschlossen ist der Spalt gerade so groß, daß noch etwas Luft entweichen kann. Offen kann fast alle Luft ungehindert entströmen. Bei gekonnter Verwendung kann der natürliche Klang so verändert werden, daß es nach Singen oder Sprechen klingt. Typisch ist der Klang **Doo-wah**, der bei Glenn Miller als stilprägender Effekt im Bläsersatz verwendet wurde. Daher wird dieser Dämpfertyp manchmal auch als **Glenn Miller** Dämpfer bezeichnet.

Dämpfer I-V sind Gegenstand dieser Arbeit. Weitere Daten und Bilder befinden sich im Kapitel 1.2. Versuchsaufbau, sowie im Hauptteil der Arbeit.

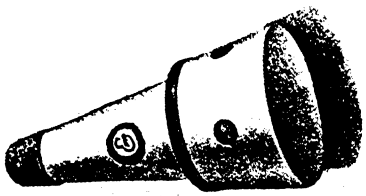
[12] nach Bevan (1984: 730f) und Informationen aus Prospekten der am Markt befindlichen Trompetendämpfer.

VI.) Der **PRACTICE** mute (dt. Übe-Dämpfer) ist ein Straight -Dämpfer mit einer starken Korkmanschette, die den Schallaustritt drastisch mindert. Wie der Name es besagt, dient er ausschließlich zum Üben, da er relativ leise klingt. Er ändert wie alle Dämpfer die Klangfarbe, Intonation und Ansprache und ist daher nur ein beschränktes Hilfsmittel.

VII.) Der **MIC-A mute** ist eine Variante des Cup Mute mit einem Gummi um die Schale herum. Der Klang ist ähnlich, aber ruhiger und etwas schärfer. Er wird meist sehr nahe am Mikrophon gespielt oder dient als Background-Instrument zur Begleitung von Sängern oder Solisten.

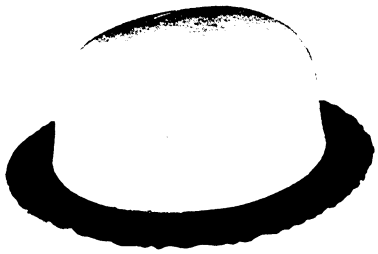


VIII.) Für den **WHISPER** mute ist ein Mikrophon notwendig, da sein Ton sonst unhörbar wäre. Die ganze schwingende Luftsäule wird in eine Kammer mit absorbierendem Material geführt und kann nur durch kleine Löcher entweichen.

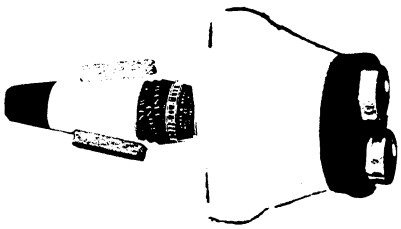


IX.) Der **SOLO TONE** mute heißt auch **Mega-**, **Double-** oder **Clear Tone** mute. Er ist ein Doppel-Straight-Dämpfer mit einem nasalen Klang. Er wird sehr selten in der Literatur verlangt. (Z.B. in dem Violinkonzert von Bartole aus dem Jahre 1937, wo die Anweisung "doppio sordino" steht.)

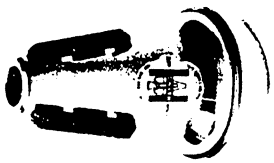
X.) Der **HAT** oder **Derby** ist eine Melone aus Metall, die mit der linken Hand vor die Stürze gehalten wird. In den '20er und '30er Jahren war er oft fest am Pult installiert, so daß die Spieler schnell hinein oder daneben spielen konnten. In den Hut geblasen bleibt der Hauptklang erhalten, verliert aber an Intensität. Verlangt wurde der Hat z.B. von Gershwin (1928) in " An American in Paris" oder von Stravinsky (1945) im "Ebony Concerto".



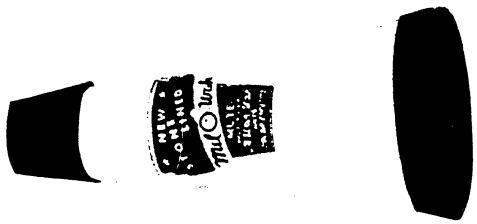
XI.) Beim **BUZZ WOW**, der vom Cup Dämpfer abgeleitet ist, sind kleine Folien-Membrane (Mirlitons) an die Endseite eingearbeitet. Diese schwingen beim Spiel mit und verzerren den natürlichen Klang.



XII.) Der **PIXIE** oder **SNUBTONE** mute ist ein Straight Dämpfer, der im Schallstück verbleibt, während gleichzeitig mit dem Plunger weitere Klangveränderungen vorgenommem werden können.



XIII.) **Der MEL-O-WAH** mute erzeuge laut Herstellerangabe einen melodiösen Ton, der mit der Möglichkeit zum Wah-Effekt bestens geeignet für Soloarbeiten sei.



Die oben angeführten Dämpfer I-V sind sicherlich die am häufigsten verwendeten Trompetendämpfer. Die Dämpfer VI-XIII sind eher die Exoten unter den Dämpfern. Dennoch trifft man immer wieder auf neue Modelle, oder auf andere Bezeichnungen für einen der oben beschriebenen Typen. Einige der neuesten Erfindungen, deren Patentbeschreibungen im " Journal of Acoustical Society of America " veröffentlicht wurden, sind im Anhang angeführt.

<u>Die nächsten Punkte zeigen noch andere Möglichkeiten des Dämpfens auf:</u>

XIV.) Das **HANDKERCHIEF** ist eine veränderte Version von "Hat over bell" und kann durch den Gebrauch eines Tuches oder Taschentuches erreicht werden. Diese Technik wird für Trompeten z.B. in Ives's " The unanswered Question" (1906) verlangt.

XV.) **HAND OVER BELL** ist ein Effekt, der den Klang leicht abschwächt und für die Glenn Miller Band in den '30er und '40er Jahren charakteristisch war. Der Blechsatz spielte damit rhythmische Wah-Effekte.

XVI.) **HAND IN BELL** wird bei den Trompeten sehr selten verlangt. Der gedämpfte Klang wird umso tiefer, je weiter die Hand in die Stürze gelangt.

XVII.) Die Bezeichnung **IN STAND** verlangt, mit der Trompete in den Notenständer zu spielen (Abstand ca. 10 cm). Es kann als Gegenteil von "Schalltrichter in die Höhe" gesehen werden, was besonders bei Gustav Mahler Anwendung fand. Seitdem Orchestermusiker ohnehin dazu tendieren, in die Noten zu blasen, bleibt die Wirkung eher gering.

3.3. Die untersuchten Dämpfer

3.3.1. Der Straight Dämpfer

3.3.1.1. Allgemein

Der Straight Dämpfer (dt. Spitzdämpfer) hat eine konische Form. Er ist heute meistens aus Metall (Kupfer oder Aluminium), manchmal leicht birnenförmig. Das breitere Ende ist geschlossen. Drei längliche Korkstreifen dienen der Positionierung in der Stürze. Sie ermöglichen, daß Luft zwischen dem Dämpfer und der Wand der Stürze entweichen kann. Dieser Dämpfer ist sowohl der älteste als der am meisten verwendete Typus. Da er in der klassischen Musik wie in der Jazz-Musik am häufigsten in Verwendung steht, existieren trotz der relativ einfachen Konstruktion sehr viele Varianten. Vor allem mit dem Material und der Dicke und Plazierung der Filzstreifen wird experimentiert. Außer Kupfer und Aluminium wird auch Fiber, Pappmaché oder Plastik verwendet. Der bei dieser Arbeitet verwendete Straight Dämpfer der Firma Wick ist aus Aluminium und leicht birnenförmig. (siehe Kapitel 1.2.) Die drei Filzstreifen sind ca. 5 mm stark. An der Spitze hat er einen schmalen roten Filzring. Die Maße: Höhe ca.15 cm; Durchmesser vorne 20 mm und hinten ca. 90 mm, sein Volumen beträgt ca. 360 ml.

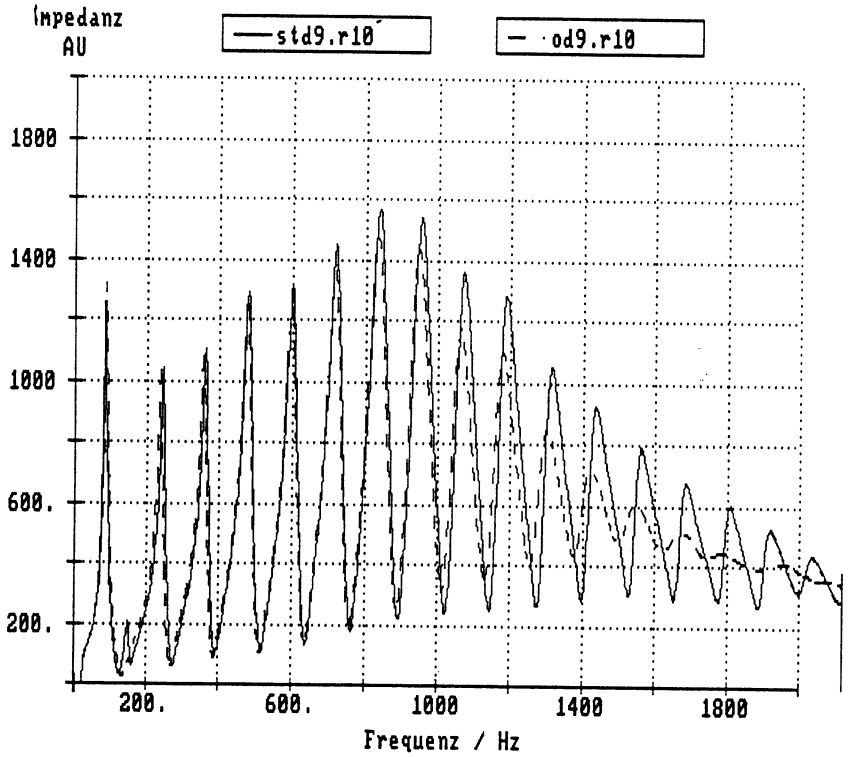


Abb. 12: Die durchgezogene Linie zeigt die gemessene Eingangsimpedanz des Straight Dämpfers im Vergleich zur Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie). Beim inneren Spektrum der Trompete mit Straight Dämpfer ist bei ca. 138 Hz eine zusätzliche Resonanzspitze zu erkennen, die durch die Resonanz des Hohlraumes im Dämpfer - eine Art Helmholtz Resonator - verursacht wird. Der Einfluß ist durch seine tiefe Lage außerhalb des Spielbereiches gering. Man erkennt jedoch, daß der Grundton etwas tiefer, und die Spitzen zwei, drei und vier (klingend *b*, *f1* und *b1*) etwas höher verschoben werden.
Das zweite und besonders auffallende Merkmal sind die wesentlich höheren Spitzen ab dem 7. Maximum. Durch die drastische Verkleinerung der Schallaustrittsfläche wird wesentlich mehr Schallenergie in das Instrument reflektiert. Diese Reflexionen unterstützen die stehenden Wellen bis über 2000 Hz. Bei dieser Frequenz wird bei der Trompete ohne Dämpfer bereits fast alle Energie abgestrahlt.

Durch seinen Hohlraum ist der Dämpfer selbst ein zusätzlicher Helmholtzresonator. Als solcher fügt er der Resonanzkurve (dem inneren Spektrum) eine weitere Spitze hinzu. Wie bereits Backus (1976: 475) festgestellt hat, ist es vor allem ausschlaggebend, wo die zusätzliche Spitze liegt. Um die gesamte Intonation nicht vollkommen durcheinanderzubringen, muß sie außerhalb des Spielbereichs liegen.

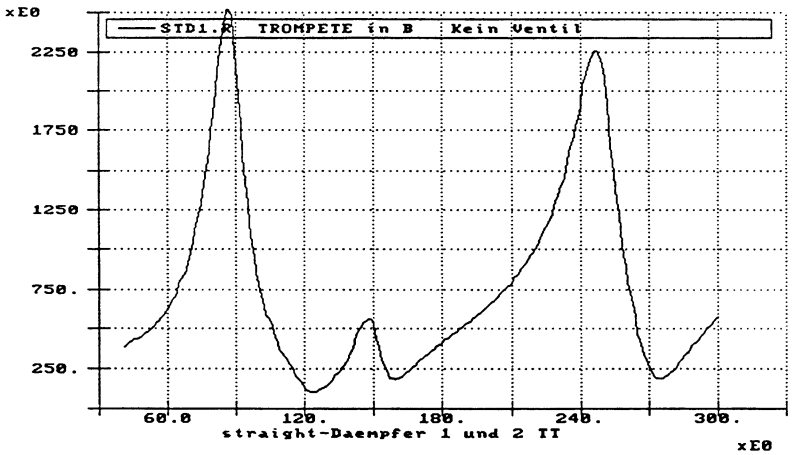


Abb. 13: Ein Ausschnitt (bis 320 Hz) der Impedanzmessung von der Trompete mit Straight Dämpfer verdeutlicht die zusätzliche Resonanzspitze bei ca. 138 Hz.

Durch die verkleinerte Schallaustrittsfläche wird wesentlich mehr Schallenergie in das Instrument zurückreflektiert. StehendeWellen bis über 2000 Hz werden durch diese Reflexionen ermöglicht. Bei dieser Frequenz wird bei der Trompete ohne Dämpfer bereits fast alle Energie abgestrahlt.

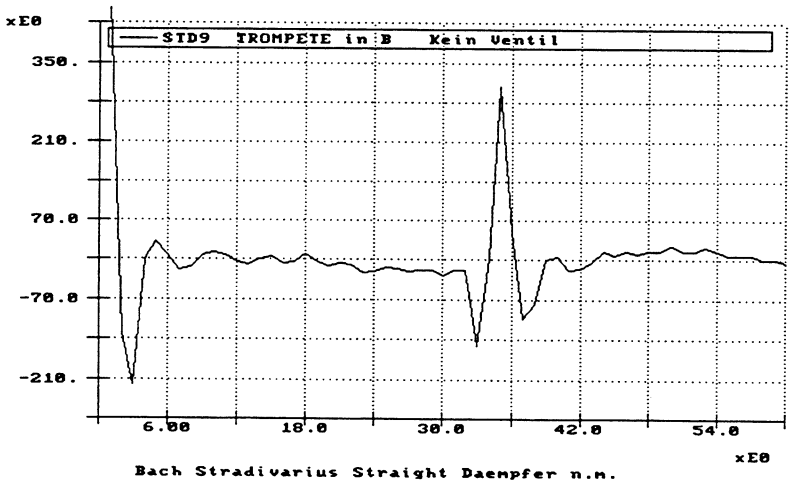


Abb. 14: Die Pulsantwort beim Straight Dämpfer zeigt eine stärkere Reflexion am Ende des Schallbechers. Der Dämpfer bildet durch den hohen Impedanzunterschied eine Reflexionsfläche. Die Wellenlängen müssen sehr klein sein, um durch den kleinen Spalt zwischen den Korkstreifen abgestrahlt zu werden. Die Reflexion fällt auf einen Punkt zusammen. Ohne Dämpfer ist der Reflexionspunkt stärker von der Frequenz abhängig. (Tiefe Frequenzen werden früher ins Instrument zurückreflektiert als höhere.)

Die Untersuchung des Straight Mutes von John Backus (1976: 474ff) ergab eine gemessene Eigenresonanz des Hohlraumes von 240 Hz.[13] (Die zweite von 1515 Hz sei nicht mehr relevant, da sie über der höchsten Eigenfrequenz der Trompete liegt.) Bei der Helmholtz Resonanz von 240 Hz bis 1000 Hz sei die Impedanz des Dämpfers gering. (Eine hohe Impedanz am geschlossenen Ende des Dämpfers entspreche einer niederen Impedanz am offenen Ende.) Über 1000 Hz bewirke die konische Form eine höhere Impedanz am offenen Ende. Der Dämpfer habe daher einen geringen Einfluß auf die Resonanzkurve zwischen 240 - 1000 Hz.
Es ist wichtig, daß die Helmholtz Resonanz unter dem Spielbereich der Trompete liegt, da sonst die zusätzliche Resonanzspitze die Intonation negativ beeinflußt.

Backus hat die veränderte Schallabstrahlung eines Schallbechers mit und ohne Dämpfer gemessen. Der Straight Dämpfer wirke wie ein Hoch-Pass-Filter. Frequenzen über ca. 1800 Hz werden durch den Spalt zwischen Trompete und Dämpfer bevorzugt abgestrahlt.

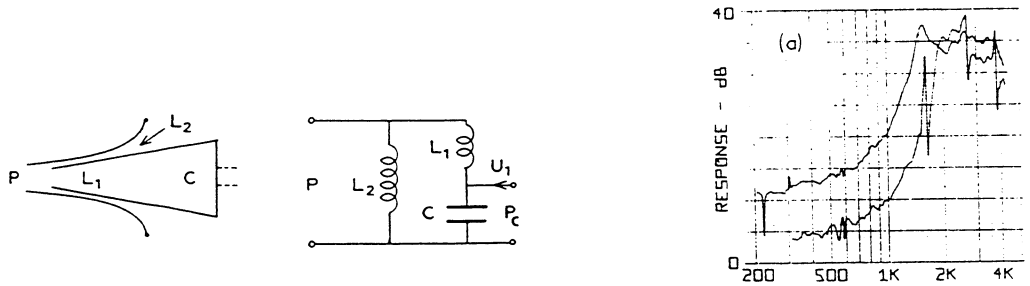


Abb. 15: Der Straight Dämpfer und der äquivalente elektrische Schaltkreis, sowie sein Einfluß auf die Abstrahlungscharakteristik eines Schallbechers (ohne Instrument) nach Backus (1974: 474ff).

3.3.1.2. Ansprache

Da der Dämpfer bis zum 5. Oberton *(f2)* gleich hohe Impedanzmaxima hat, wie die Trompete ohne Dämpfer, ist auch seine Ansprache gleich gut. Die Güte, das heißt der mögliche Ziehbereich für den Spieler, bleibt unverändert. In der Höhe, ab dem *fis2*, spricht das Instrument leichter an, weil der Spieler nicht die gesamte Energie zuführen muß, wie es ohne Dämpfer der Fall ist. Wesentlich für eine gute Ansprache ist die Übereinstimmung der Impedanzmaxima mit der Intonation.

3.3.1.3. Intonation

Eine Beeinflussung der Intonation durch den Dämpfer ist kaum zu vermeiden. Die Qualität des Dämpfers bestimmt den Grad der Auswirkung. Ein relativ gutes Ergebnis zeigt der untersuchte Dämpfer. Die durch die zusätzliche Resonanz leicht in der Frequenzachse verschobenen Spitzen 1, 2, 3 und 4 sind für eine leichte Intonationsverschiebung in der eingestrichenen Oktave verantwortlich.

[13] Der Vergleich zwischen der Arbeit von Backus und dieser Untersuchung muß sich auf prinzipielle Gemeinsamkeiten eines Dämpfertypes beschränken, da nicht identische Dämpfer verwendet wurden. Absolute Frequenzangaben sollten daher durch Frequenzbereiche ersetzt werden.

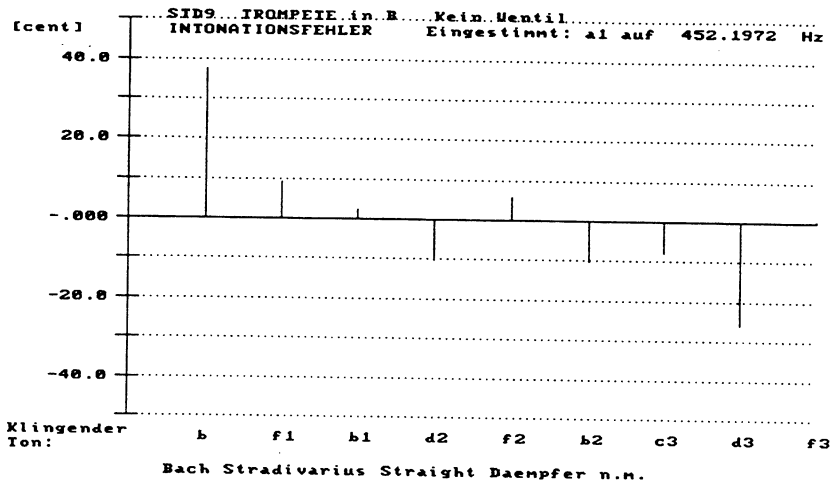


Abb. 16: Die Intonationsberechnung bestätigt das Ergebnis der Impedanzmessung. Insgesamt ist die Null-Lage um 5 Hz höher als bei der Grafik ohne Dämpfer. Die ersten beiden Naturtöne liegen höher. Besonders der erste Naturton - das *b* - liegt um spürbare 38 Cent zu hoch. Ein Ausgleich durch den Ansatz ist nicht möglich. Ursache der Verstimmung sind die zusätzlichen Resonanzen, die durch den Dämpfer gebildet werden. Die erste bei 170 Hz liegt sehr nahe beim kleinen *b* und verschiebt diese Resonanz in der Frequenzachse nach oben. Die tiefe Lage vom klingenden kleinen *b* abwärts ist daher kritisch. Ansonsten liegen die Abweichungen unter 12 Cent. Abweichungen dieser Größenordnungen können meist durch den Bläser ausgeglichen werden.

3.3.1.4. Klangfarbe

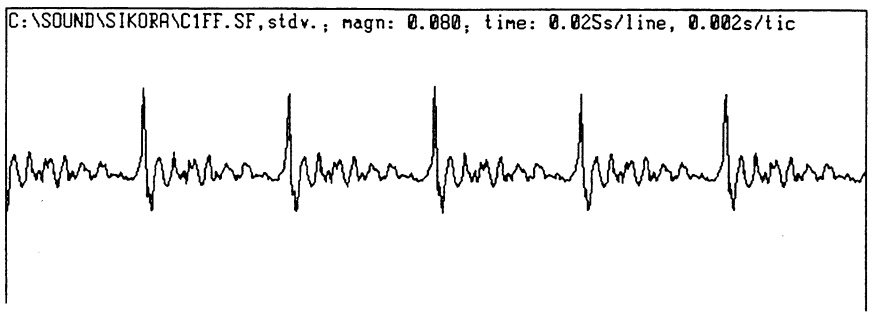


Abb. 17: Beim Vergleich der Zeitfunktion eines klingenden *b* im Fortissimo ohne und mit Straight Dämpfer fällt auf, daß die Spitzen nicht so hoch sind, und dazwischen etliche kleine Zwischenmaxima liegen. Der Klang ist nicht so obertonreich wie bei der Trompete ohne Dämpfer.

Für die Klangfarbe wesentlich ist das abgestrahlte Spektrum, dh. die Intensität der Obertöne.
Im Gegensatz zur Trompete ohne Dämpfer ist bei der Trompete mit Dämpfer der Austrittsspalt an der Stürze wesentlich kleiner, wodurch die Intensität der tiefen Frequenzen im abgestrahlten Spektrum verringert werden. Bei höheren Frequenzen wirken sich die Dämpfer unterschiedlich aus.

Mit Hilfe eines geglätteten Mittelwertspektrums, dem Cepstrum, konnten folgende Formanten und Antiformanten ermittelt werden:

Formanten beim Straight Dämpfer (Hz)

1080	1800-2500	3430	4350	5270	6890

Antiformanten (Hz)

580	1300	3020	3950	4920	6520	7470

Der Hauptformant liegt beim Straight Dämpfer zwischen 1800 - 2500 Hz. Dies entspricht der Aussage von Backus (1976: 474f), wonach der Spalt zwischen Dämpfer und Stürze in diesem Bereich die starke Abstrahlung ermöglicht. Der stärkste Antiformant liegt um 3950 Hz. Die Anzahl der erkennbaren Formanten ist von der Dynamik abhängig.

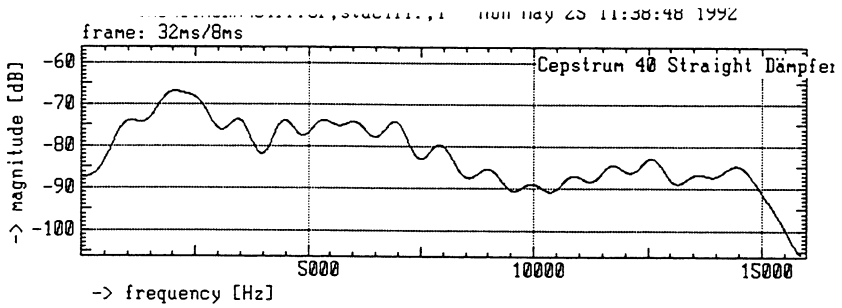


Abb. 18: Der gleichmäßige Abfall der Amplituden bei ansteigender Frequenz, der im Cepstrum ohne Dämpfer zu beobachten war, ist in dieser Abbildung durch Formanten und Antiformanten zerklüftet. Der Hauptformant liegt zwischen 1800 - 2500 Hz, der stärkste Antiformant um 3950 Hz.

Der Unterschied zwischen zwei abgestrahlten Spektren wird deutlich, wenn die Mittelwertspektren voneinander subtrahiert werden. Sind zwei Klänge gleich, verläuft das Differenzspektrum entlang der Nullinie. Das abgebildete Differenzspektrum stammt von zwei Cepstren mit 40 Koeffizienten zweier Klänge eines b im Fortissimo. Das Cepstrum " Trompete ohne Dämpfer " wurde vom Cepstrum " Trompete mit Straight Dämpfer " subtrahiert. Die Bereiche der Verstärkung und Abschwächung sind bei verschiedenen gespielten Tonhöhen und Dynamikstufen weitgehend gleich. Insgesamt werden die tiefen Frequenzen mehr abgeschwächt als die hohen. Die Klangfarbe des Dämpfers unterscheidet sich vor allem durch die starke Abschwächung (-16 dB) im Bereich um 500 - 1500 Hz, also im Bereich des Hauptformanten der "Trompete ohne Dämpfer".

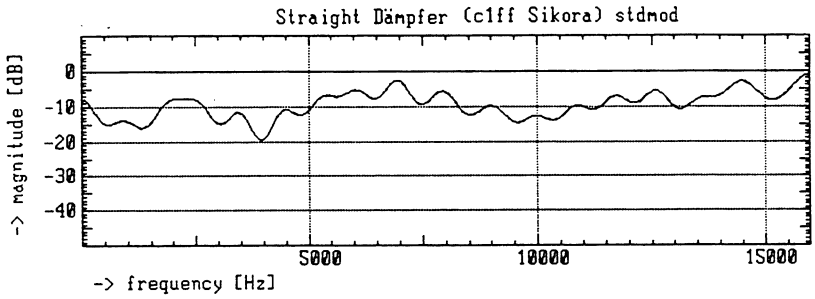


Abb. 19: Das Differenzspektrum zeigt die Abschwächung des Formantbereiches der "Trompete ohne Dämpfer" um 1300 Hz und beim Antiformanten des Dämpfers bei ca. 3950 Hz. Kaum abgeschwächt werden die Frequenzbereiche um 1800-2500 Hz und um 6890 Hz, die als Formanten im abgestrahlten Spektrum des Straight Dämpfers dominieren.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage vor allem mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

eng-näselnd, stumpf, trocken, schreiend, im pp weich, mild,im ff blechern, spitz, scharf, schneidend, durchdringend, prägnant, metallisch, penetrant;

3.3.1.5. Dynamik

Die oben angeführten Formanten und Antiformanten gelten für den gesamten Dynamikumfang. Dies zeigt das dreidimensionale Wasserfall- Cepstrum (40 Koeffizienten). Die Stärke der Obertöne nimmt mit gleichbleibender Relation zu. Im Pianissimo - in der Abbildung vorne - sind nur die Teiltöne des Hauptformanten zu sehen. Die erklingende Tonhöhe, das *b*, liegt bei ca. 240 Hz und ist selbst im Fortissimo sehr schwach.

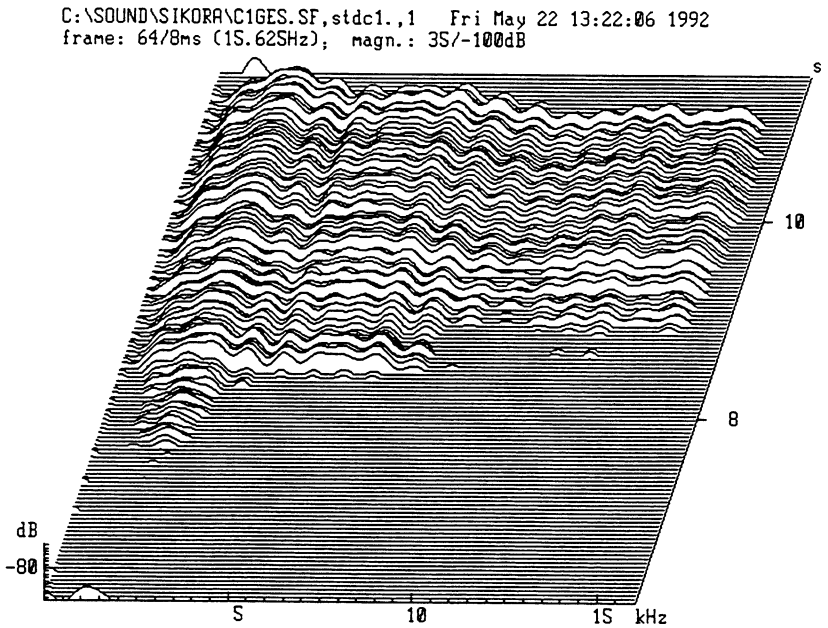


Abb. 20: Beim dreidimensionalen Wasserfall- Cepstrum sieht man die Zunahme der Anzahl und Amplituden der Obertöne bei steigender Lautstärke. Die Berge und Täler - die Formanten und Antiformanten - verschieben sich trotz ansteigender Dynamik nicht.

Der Dynamikumfang in der tiefen Lage umfasst ca. 23 dB. Dies ist ca. 7 dB weniger Dynamikumfang als bei der Trompete ohne Dämpfer. Im Vergleich eines *b* im fortissimo mit und ohne Dämpfer ist die Trompete ohne Dämpfer um ca. 13 dB lauter. Im anderen Extremfall, beim Pianissimo, vermag man mit dem Straight Dämpfer ca. 6 dB leiser zu spielen.

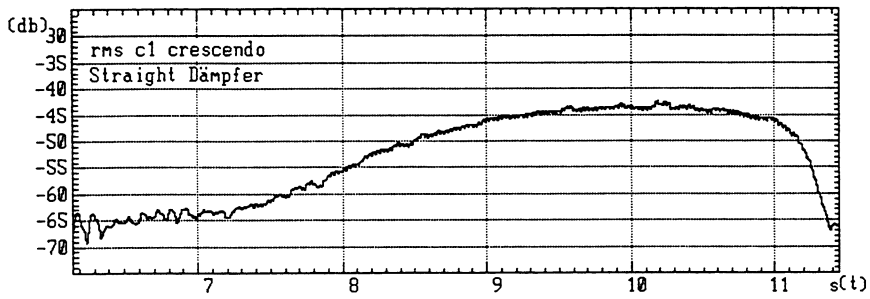


Abb. 21: Der Straight Dämpfer hat in der tiefen Lage einen Dynamikumfang von ca. 23 deziBel. Er klingt im Schnitt eine, (-6 dB), im Fortissimo sogar zwei, (-13 dB) Dynamikstufen leiser als ohne Dämpfer.

3.3.1.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Beim Straight Dämpfer ist die exakte Anpassung der Korkstreifen besonders wichtig. Sie bestimmen den Abstand zwischen Instrument und Dämpfer. Bei Problemen mit der Intonation kann häufig durch Änderung der Korkdicke - speziell in der tiefen Lage - eine Verbesserung erzielt werden[14]. (Im symphonischen Orchester ist der Kork oft 4-5 mm dick, um wenig Lautstärke zu verlieren.) Je dicker der Kork, bzw. je größer der Abstand und damit die Schallaustrittsfläche, desto mehr Energie wird abgestrahlt. Bei größerem Spalt werden auch die tieffrequenten Klanganteile etwas besser abgestrahlt.

Die Anwendungsgebiete des Dämpfers sind sehr unterschiedlich. Er ist der meistverwendete und meistverbreitete Dämpfer. Sowohl in der klassischen Musik als auch im Jazz hat er eine lange Geschichte. In der klassischen Musik wird er vor allem seit der Romantik verstärkt eingesetzt. Von den zeitgenössischen Komponisten wird er in viele Werke eingearbeitet. Die Absichten der Komponisten lassen sich nur schwer nachvollziehen. Der Reiz des Dämpfers liegt aber vor allem in der Klangfarbenvariation. Von Gustav Mahler wurde er z.B. eingesetzt, um eine Fernwirkung zu erzielen. Einen ganz anderen Zweck erfüllt er manchmal in der Blasmusik, bei der er gelegentlich als Oboenersatz dient. Seine Popularität gewann der Dämpfer aber vor allem durch den Jazz.

[14] Dies war ein Hinweis von Johann Gansch (Wiener Philharmoniker) bei der Umfrage.

In der Big Band wird er unter anderem häufig für scharfe rhythmische Akzente vom gesamten Blechsatz verwendet. Er dient als klangliches Kontrastmittel (siehe Escher 1991: 69). Charakteristisch ist der durchdringende Klang z.B. auch bei Latein-amerikanischen Musikstücken.

In dem Stück "A String of Pearls" von Jerry Gray, das durch das Glenn Miller Orchestra populär wurde, erklingen gegen Ende typische rhythmische Einwürfe mit dem Straight mute.

Beinahe karikierend wirkt die Verwendung das Straight in dem Song "Big Spender" von Cy Coleman und Dorothy Fields aus dem Film "Sweet Charity", bei dem außerdem der Effekt "Deep in Hat" und der Harmon Dämpfer eingesetzt werden.

Ein anderes bekanntes Beispiel für den Straight Dämpfer ist z.B. Benny Goodman`s "Let`s dance".

Als Beispiele aus der klassischen Literatur, in denen der Straight (bzw. Spitz-) Dämpfer vorkommt, wurden in der Umfrage folgende angeführt:

Richard Strauss: "Don Juan"
Bartok: Orchesterkonzert 2.Satz
Mahler: 3.Symphonie
Mussorksky: "Bilder einer Ausstellung" (Spitz Dämpfer für Hoch - B-Trompete)
Honegger: "Totentanz"

sowie in Werken von:

Tomasi, Puccini, Schostakowitsch, Stravinsky, Berg und vielen modernen Komponisten.

3.3.2. Der Cup Dämpfer

3.3.2.1. Allgemein

Der Cup Dämpfer entspricht im wesentlichen einem Straight mute, der am weiten Ende eine Schale (Cup) hat, die mehr oder weniger die Stürze bedeckt. Die Schale ist oft justierbar um mehr oder weniger Effekt zu erzielen und enthält meistens ein Filzfutter. Wie beim Straight mute kann zwischen den drei Filzstreifen und der Wand der Stürze Luft passieren.

Der bei dieser Arbeit verwendete Cup Dämpfer der Firma Humes & Berg ist aus gehärteter Pappe. Die drei Korkstreifen sind ca. 6 mm stark. Die Schale ist nicht justierbar und hat einen geschwungenen Rand. Daher ist der Abstand der Schale von der Stürze unterschiedlich. Er liegt zwischen 5 und 10 mm. Die Gesamthöhe beträgt ca.18 cm. Die Außendurchmesser sind 63 mm am breiten Ende und 11 mm am vorderen dünnen Ende.

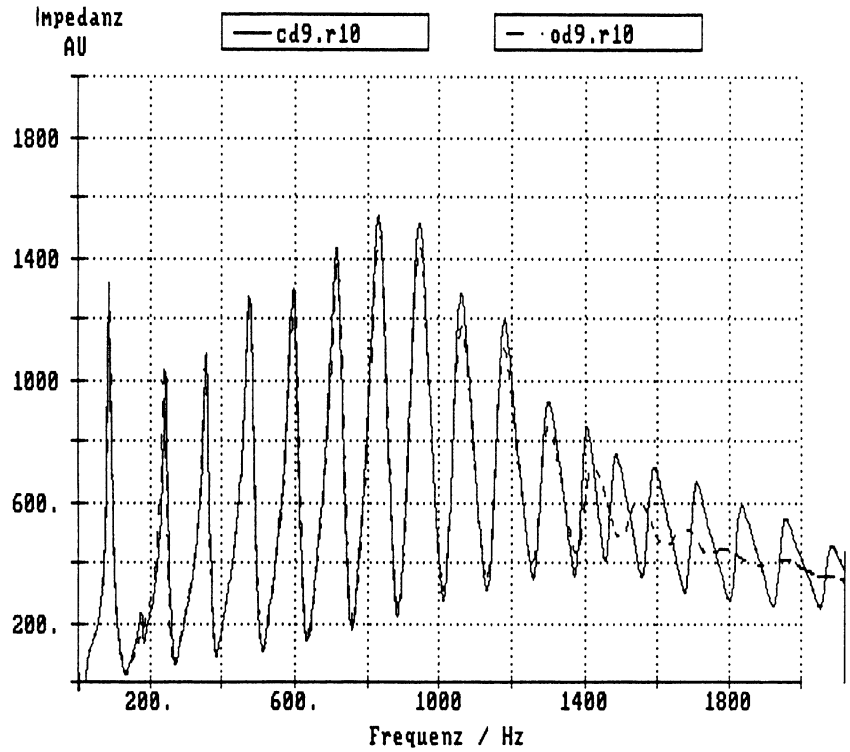


Abb. 22: Der Vergleich der Eingangsimpedanz zwischen dem Cup Dämpfer (durchgezogene Linie) und der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) zeigt beim Cup Dämpfer eine zusätzliche Resonanz bei ca. 170 Hz, die durch die Resonanz des Hohlraumes im Dämpfer entsteht. Die Spitze liegt etwa 30 Hz höher als beim Straight und sehr nahe an der ersten gespielten Resonanzspitze - dem kleinen *b* - aber noch außerhalb des Spielbereiches. Dies bewirkt eine leichte aber bemerkbare Verschiebung der ersten sechs Spitzen im Frequenzbereich nach oben. (Der Grundton wird in Gegenrichtung leicht nach unten verschoben.) Ebenso wie beim Straight Dämpfer sind die Resonanzspitzen über 800 Hz stärker, d.h. ihre Impedanz ist höher. Die Ursache liegt wieder in der drastischen Verkleinerung der Schallaustrittsfläche, durch die wesentlich mehr Schallenergie in das Instrument zurückreflektiert wird. Diese Reflexionen unterstützen die stehenden Wellen bis über 2000 Hz. Bei dieser Frequenz wird bei der Trompete ohne Dämpfer bereits fast alle Energie abgestrahlt. Durch die "Schale" findet sich bei ca 1500 Hz noch eine zusätzliche Resonanzfrequenz, die jedoch deutlich über dem Spielbereich liegt. Sie beeinflußt die ersten 10 Resonanzen nicht, verschiebt aber ihre "Nachbarn" im Frequenzbereich etwas zur Seite.

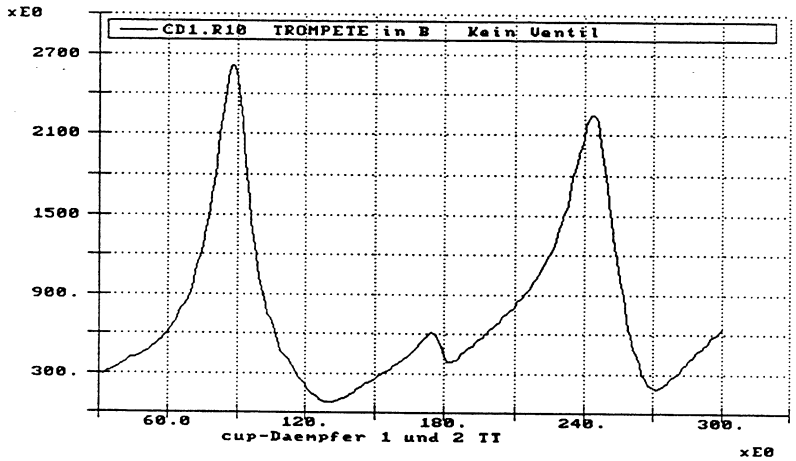


Abb. 23: Ein Ausschnitt der Impedanzmessung (bis 320 Hz) von der Trompete mit Cup Dämpfer hebt die zusätzliche Resonanzspitze bei ca 170 Hz deutlich hervor.

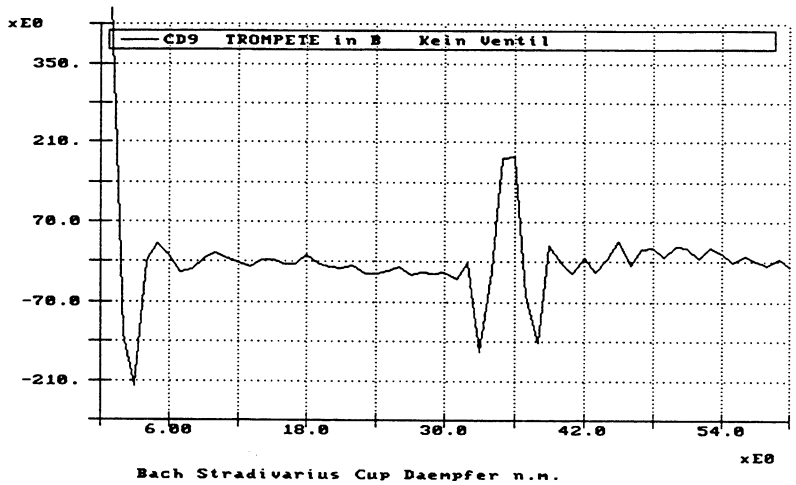


Abb. 24: Die Pulsantwort beim Cup Dämpfer zeigt am Ende des Schallbechers keine so spitze Reflexion wie beim Straight Dämpfer. Durch die "Schale" existiert eine zusätzliche Reflexionsfläche, die andere Wellenlängen reflektiert als der eingeführte Konus.

Die Ergebnisse der Untersuchung des Cup Mutes von John Backus (1976: 475f) ergaben ähnliche Werte wie beim Straight Dämpfer. Seine Auswirkungen sind vor allem über 1000 Hz an den höheren Impedanzen erkennbar. Die erste Eigenfrequenz des Hohlraumes lag bei seinem Dämpfer bei ca. 240 Hz. Durch das geschlossene Ende ist die Impedanz bei dieser Frequenz sehr niedrig. Für den eigentlichen Cup, die Schale, hat er eine Eigenresonanz von um 1000 Hz gemessen. Zwischen 240 und 1000 Hz ist die Auswirkung des Dämpfers relativ gering.

Für das abgestrahlte Spektrum eines Trompeten- Schallbechers wirke sich die zweite Resonanz um 1000 Hz wie ein Band-Pass-Filter, mit einem Durchlaßbereich zwischen 800 und 1200 Hz aus.

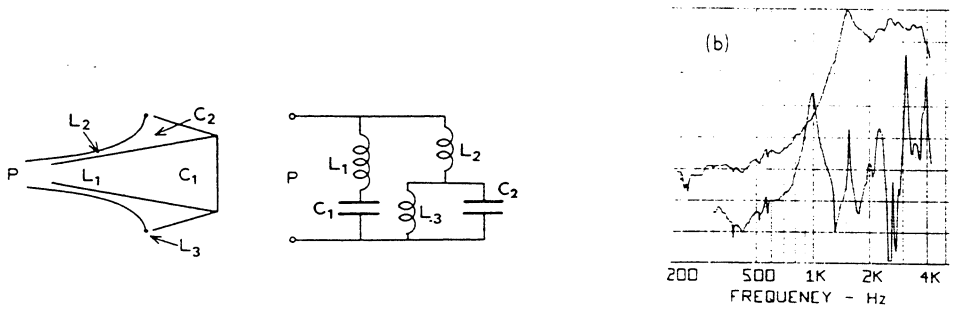
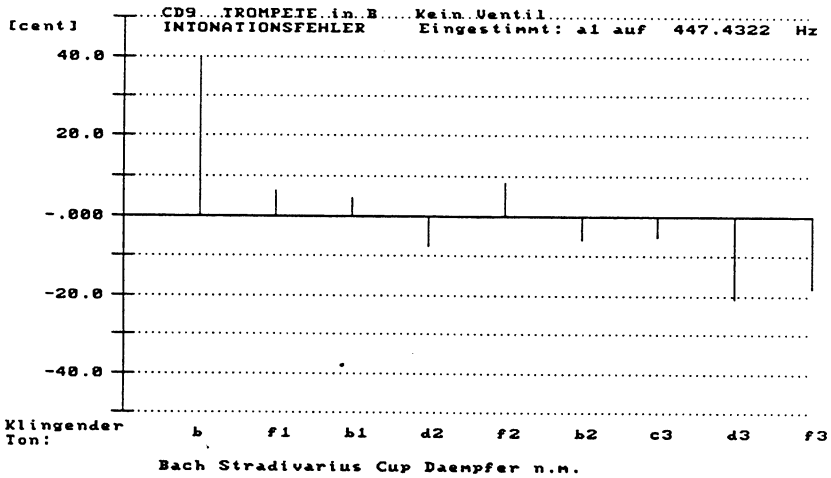


Abb. 25: Der Cup Dämpfer und der äquivalente elektrische Schaltkreis, sowie sein Einfluß auf die Abstrahlungscharakteristik eines Schallbechers (ohne Instrument) nach Backus (1974: 474ff).

3.3.2.2. Ansprache

Die Höhen der Impedanzmaxima sind beim Cup Dämpfer bis zum 5. Oberton (f2) beinahe gleich wie bei der Trompete ohne Dämpfer. Daher ist auch die Ansprache gleich gut. Die Güte, das heißt der mögliche Ziehbereich für den Spieler, bleibt in etwa gleich. In der Höhe, ab dem *fis2* spricht das Instrument leichter an, weil der Spieler nicht die gesamte Energie zuführen muß, wie es ohne Dämpfer der Fall ist. Der Ziehbereich in der höheren Lage ist jedoch prinzipiell geringer. Die zusätzliche Resonanzspitze um 1500 Hz erschwert das Spielen oberhalb des *f3*. Für eine gute Ansprache ist vor allem die Übereinstimmung der Impedanzmaxima mit der Intonation von Bedeutung.

3.3.2.3. Intonation



Die Abb. 26 zeigt die Intonation der Trompete mit Cup Dämpfer. Die Grundstimmung des Instruments bleibt unverändert gegenüber dem Instrument ohne Dämpfer bei *a1* = 447 Hz. Im mittleren und hohen Spielbereich (*h - c3*) stimmt der Dämpfer gut. Die Abweichungen liegen unter 10 Cent und daher im Toleranzbereich. Besonders auffallend ist die Verstimmung des kleinen *b*, das um 40 Cents zu hoch liegt. Dies entspricht fast einem halben Halbton und ist deutlich spürbar und hörbar, da es den Ziehbereich des Spielers überschreitet, d.h. der Trompeter kann den Ton nicht genügend korrigieren. Das Problem liegt bei diesem Dämpfer also vor allem in der tiefen Lage vom klingenden kleinen *b* abwärts.
Kritisch ist auch die extreme Höhe. Ursache der Verstimmung sind die zusätzlichen Resonanzen, die durch den Dämpfer gebildet werden. Die erste bei 170 Hz liegt sehr nahe beim kleinen b und verschiebt diese Resonanz in der Frequenzachse nach oben.

3.3.2.4. Klangfarbe

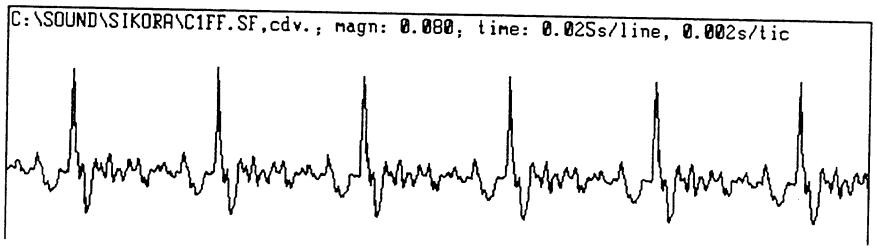


Abb. 27: Die Zeitfunktion eines klingenden *b* im Fortissimo mit Cup Dämpfer zeigt weniger scharfe Spitzen und etliche Zwischenmaxima im Verlauf. Der Klang enthält nicht so viele Teiltöne wie der der Trompete ohne Dämpfer.

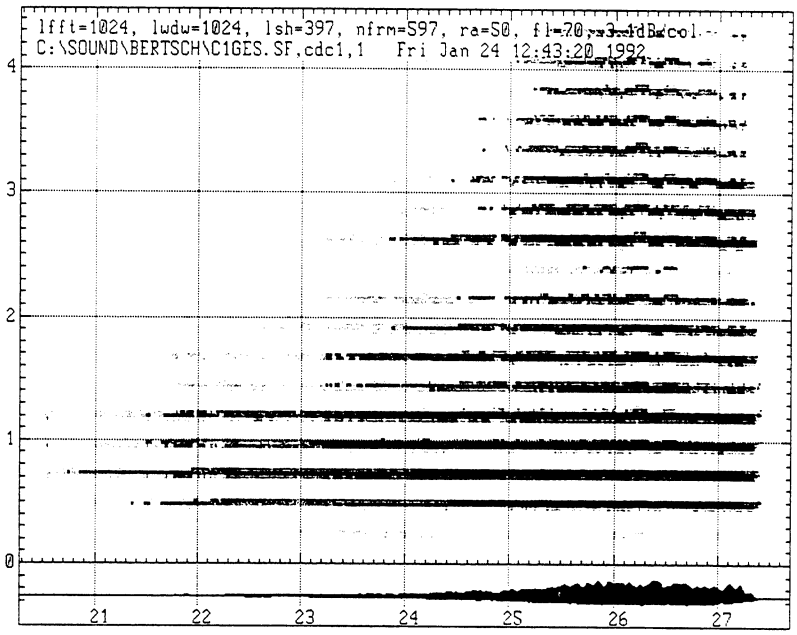


Abb. 28: Ein Spektrogramm bis 4500 Hz des gleichen Tones mit einem Crescendo zeigt den schwachen Grundton, sowie den abgeschwächten Frequenzbereich um 2400 Hz.

Die Intensität der Obertöne wird beim untersuchten Cup- Dämpfer durch folgende Formanten und Antiformanten bestimmt:

Formanten beim Cup Dämpfer (Hz)

um 1200	2870	um 3700	4600	5600-6200

Antiformanten beim Cup Dämpfer (Hz)

2330	3340	4300	5100-5250

Die Anzahl der erkennbaren Formanten ist von der Dynamik abhängig.

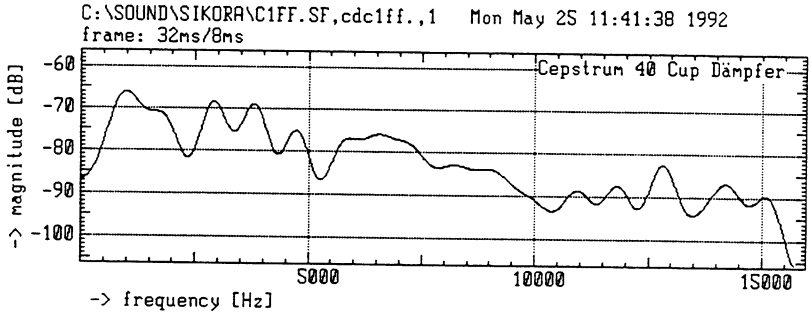


Abb. 29: Die Hauptformanten bei der Trompete mit Cup Dämpfer liegen um 1200 Hz, 2870 Hz, und 3700 Hz. Die schwächsten Frequenzbereiche sind die um 2330 Hz und 5100 - 5250 Hz. Dies zeigt das im Vergleich mit dem Cepstrum der Trompete ohne Dämpfer stark zerklüftete Cepstrum dieser Abbildung.

Das Differenzspektrum zeigt den Unterschied zwischen dem Mittelwertspektrum der Trompete ohne Dämpfer und der Trompete mit Cup Dämpfer.

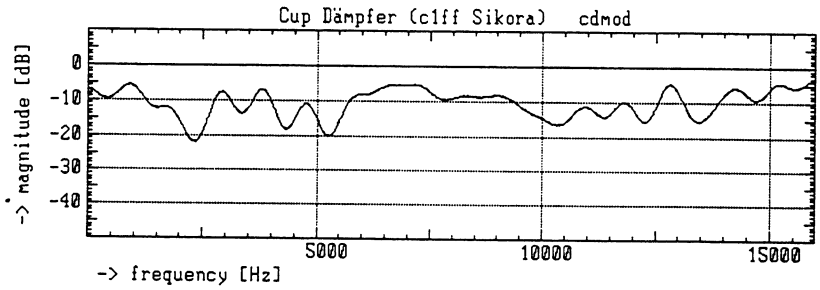


Abb. 30: Das Differenzspektrum zeigt eine besonders starke Abschwächung bei den Antiformanten des Cup Dämpfers. Bei 2300 Hz um mehr als 22 dB.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage vor allem mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

weich, verhalten, mulmig, sanft, gedeckt, hohl, eng, warm,
dumpf, stumpf, mollig, dunkel, mild, näselnd, quäkend, zart,
introvertiert, durchdringend und scheppernd im ff;

3.3.2.5. Dynamik

Die oben angeführten Formanten und Antiformanten gelten für den gesamten Dynamikumfang. Dies zeigt das dreidimensionale Wasserfall- Cepstrum. Die Stärke der Obertöne nimmt mit gleichbleibender Relation zu. Im Pianissimo - in der Abbildung vorne - sind nur die Teiltöne des ersten Formanten um 1200 Hz zu sehen. Die erklingende Tonhöhe, das kleine *b*, liegt bei ca. 240 Hz und ist selbst im Fortissimo sehr schwach.

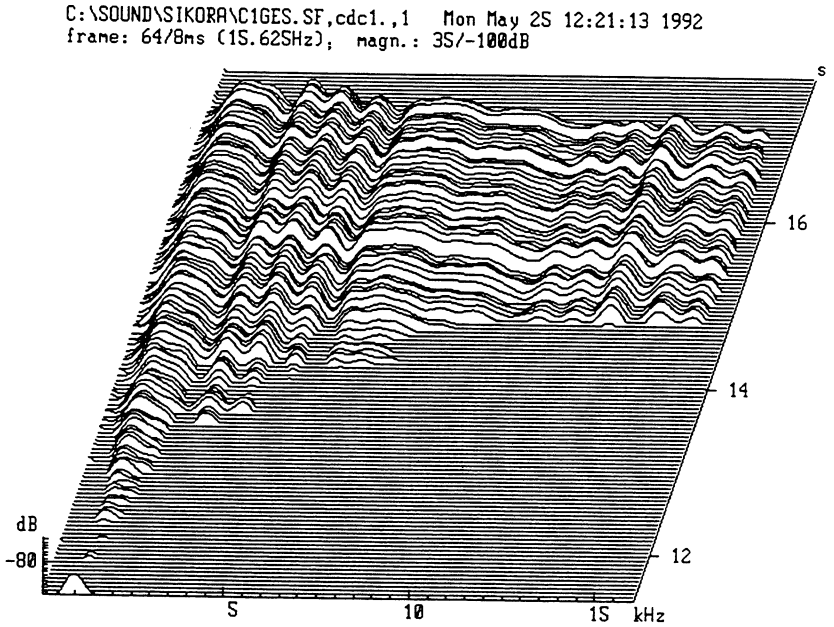


Abb. 31: Das dreidimensionale Wasserfall - Cepstrum verdeutlicht die Zunahme der Obertöne bei steigender Lautstärke. Die Berge und Täler, die Formanten und Antiformanten, verschieben sich trotz ansteigender Dynamik nicht.

Der Dynamikumfang in der tiefen Lage umfasst ca. 23 dB. Dies ist ca. 7 dB weniger Dynamikumfang als bei der Trompete ohne Dämpfer. Vergleicht man ein *b* im Fortissimo mit und ohne Dämpfer, ist die Trompete ohne Dämpfer um ca. 13 dB lauter. Im anderen Extremfall, beim Pianissimo, vermag man mit dem Cup Dämpfer ca. 6 dB leiser zu spielen.

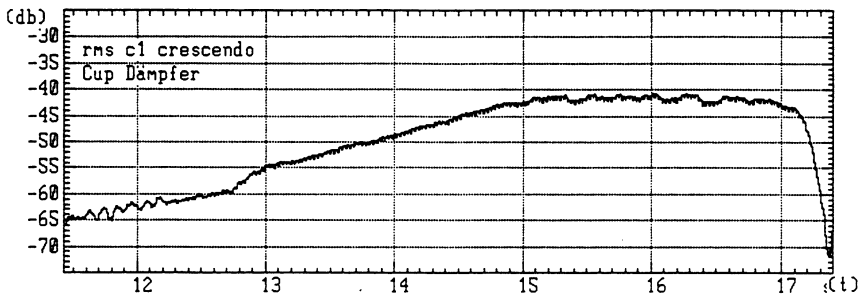


Abb. 32: Die abgestrahlte Energie beim Cup Dämpfer in der tiefen Lage wächst bei einem crescendo um ca. 23 deziBel an. Er klingt im Pianissimo eine, (-6 dB), im Fortissimo sogar zwei (-13 dB) Dynamikstufen leiser als die Trompete ohne Dämpfer.

3.3.2.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Wie beim Straight Dämpfer ist auch beim Cup Dämpfer die exakte Anpassung der drei Korkstreifen besonders wichtig. Sie bestimmen den Abstand zwischen Instrument und Dämpfer. Bei Problemen mit der Intonation kann häufig durch Änderung der Korkdicke speziell in der tiefen Lage Verbesserung erzielt werden. Je dicker der Kork, bzw. je größer der Abstand und damit die Schallaustrittsfläche, umso mehr Energie wird abgestrahlt. Bei einem größeren Spalt werden auch tieffrequente Klanganteile etwas besser abgestrahlt.

Der Cup Dämpfer findet vor allem im Jazz und in der Unterhaltungsmusik seine Anwendung. Öfters erklingt er in einigen Musicals und Operetten, seltener in klassischen Werken, bzw. erst in Werken des 20. Jahrhunderts wie z.B. bei Gershwin und Bernstein, die durch den Jazz beeinflußt waren. Häufig verwendet wird er in Big Band Werken (z.B. in "Shiny stockings" oder "On the sunny side of the Street"). Seit der Swing- Ära bis zum Bebop wird er oft für Soli verwendet. Auch bei Soli mit Streicherbegleitung oder zur Begleitung von anderen Solisten (z.B. Saxophon - Soli) wird dieser Typus eingesetzt.

Bei der Umfrage wurden u.a. folgende Werke genannt:

Duke Ellington: Suiten
Dizzy Gillespie/Charly Parker Quintett: "A Night in Tunesia"
Glenn Miller: "Moonlight Serenade"

E. Bozza: "Dialog für zwei Trompeten"
Arruttuntan: Trompetenkonzert (zweites Thema)
S. Kurz: Trompetenkonzert (zweiter Satz)
H.Tomasi: Trompetenkonzert (zweiter Satz)
Jolivet: Trompetenkonzert (zweiter Satz)

3.3.3. Der Velvet Dämpfer

3.6.2.1. Allgemein

Der Velvet Dämpfer wird vielfach auch Bucket mute oder Velvetone genannt. Er ist ein flachwandiger Kübel (Bucket: dt.Eimer), der mit einem absorbierenden Material gefüllt ist. Mit Hilfe von Metallzungen wird er in einem bestimmten Abstand an der Stürze fix montiert. Sein Name beschreibt seinen Klang als samtartig, weich. (Velvet: dt. Samt)

Der bei dieser Arbeit verwendete Velvet Dämpfer der Firma Humes & Berg New Stone Lined ist aus gehärteter Pappe. Aufgrund des geschwungenen Randes ist der Abstand von der Stürze unterschiedlich. Er liegt zwischen 8 und 16 mm. Das absorbierende Material innen ist Watte. Er ist 10,5 cm hoch und hat einen Durchmesser von 10 cm.

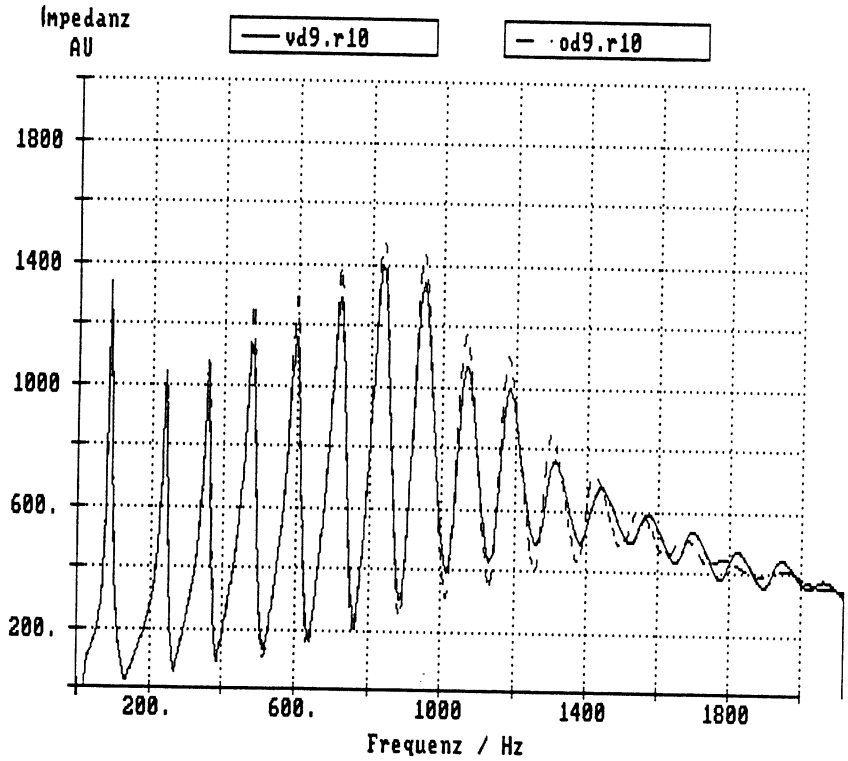


Abb. 33: Der Vergleich der Eingangsimpedanz zwischen dem Velvet Dämpfer (durchgezogene Linie) und der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) zeigt beim Velvet Dämpfer etwas niederere Impedanzspitzen ab der vierten Resonanz. Die Resonanzen höherer Ordnungszahl liegen auf der Frequenzachse eine Spur höher.

Der Velvet erzeugt keine zusätzlichen Resonanzen, d.h. er wirkt kaum auf das gekoppelte System Spieler - Instrument ein. Kurze Schallwellen, d.h. hohe Frequenzen, werden vom Velvet, bzw. Bucket (Eimer) absorbiert. Die leicht höheren Resonanzfrequenzen wirken sich auf die Intonation der Trompete aus.

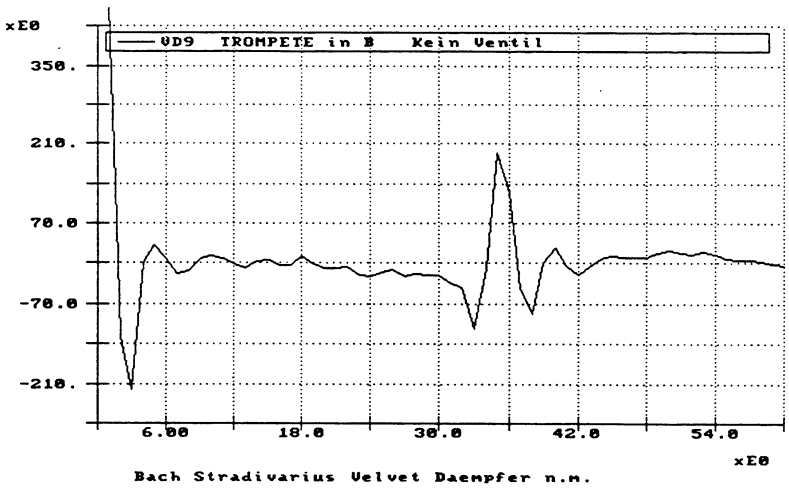
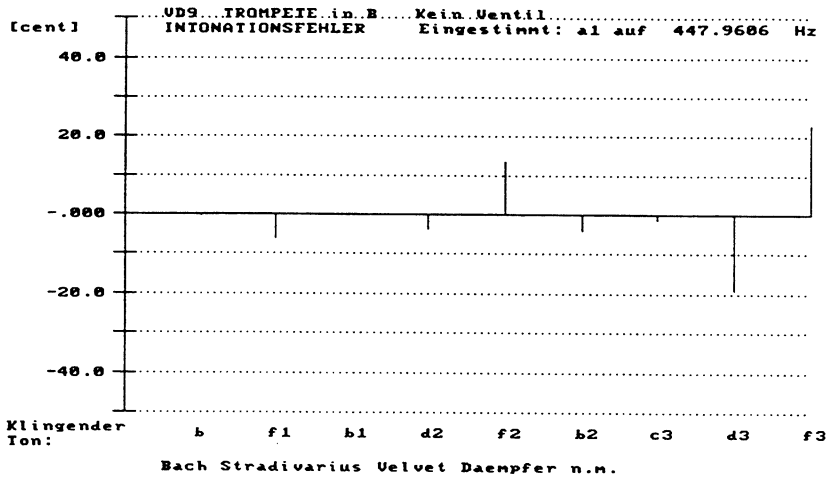


Abb. 34 : Die Pulsantwort beim Velvet Dämpfer zeigt am Ende des Schallbechers keine erkennbaren Veränderungen gegenüber der Trompete ohne Dämpfer.

3.6.2.2. Ansprache

Die Ansprache des Instruments verändert sich kaum mit dem Velvet Dämpfer. Ab der zweiten Oktave muß allerdings mehr Energie zugeführt werden, da weniger Energie im Instrument erhalten bleibt.

3.6.2.3. Intonation



Die Abb. 35 zeigt die Intonation der Trompete mit Velvet Dämpfer. Die Grundstimmung ist um ca. 3 Hz höher bei *a1* = 347 Hz. Die leichte Verschiebung der Resonanzfrequenzen wirkt sich positiv auf die Stimmung dieses Instrumentes aus. Die erste und zweite Oktave stimmen sehr gut. (Das um 13 Cent erhöhte *f2* kann vom Spieler ausgeglichen werden.) Etwas kritisch ist eventuell die extreme Höhe in der dritten Oktave, die mit diesem Dämpfertyp aber kaum verwendet wird.

3.6.2.4. Klangfarbe

Der Velvet Dämpfer absorbiert die höheren Teiltöne des Klanges und verschiebt den einzigen Hauptformanten der Trompete ohne Dämpfer etwas weiter nach unten auf der Frequenzachse. Der verstärkte Frequenzbereich liegt beim Velvet zwischen **850-1400 Hz**. (Ohne Dämpfer liegt der Formant bei 1120-1500 Hz). Dies erklärt die dunklere Klangfarbe des Instrumentes.

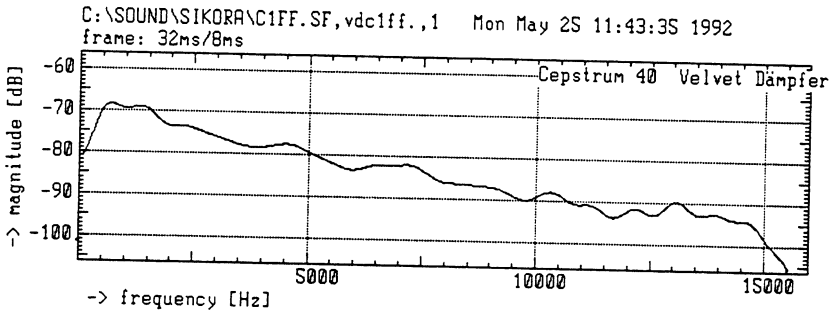


Abb. 36: Der Hauptformant bei der Trompete mit Velvet liegt zwischen 850 - 1400 Hz. Der Abfall der Amplituden bei ansteigender Frequenz erfolgt wesentlich rascher als beim Instrument ohne Dämpfer.

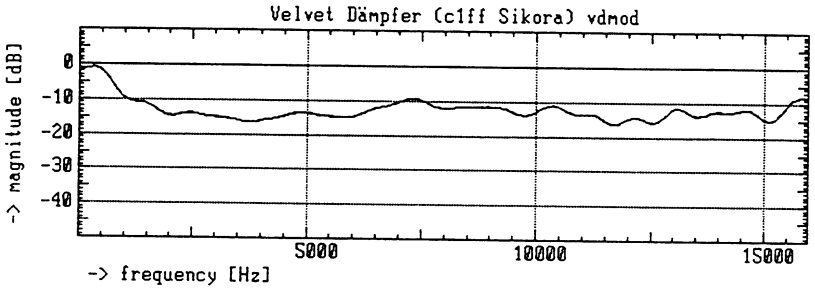


Abb. 37: Das Differenzspektrum zeigt den Unterschied zwischen dem Mittelwertspektrum der Trompete ohne Dämpfer und der Trompete mit Velvet Dämpfer bei einem klingenden kleinen *b* im Fortissimo. Bei ca. 600 Hz beginnt die Abschwächung des Klanges[15] Bei 1000 Hz sind die Teiltöne bereits um 10 dB schwächer, über 2000 Hz sogar um bis zu 15 dB.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

sanft, warm, weich, dumpf, zart, samtig, dunkel, stumpf,
unpersönlich, verwaschen, trocken, verhalten;

[15] Die 1/4 Wellenlänge von 600 Hz entspricht etwa 14 cm und liegt bereits in der Dimension des Dämpfers. Bei 2000 Hz beträgt $\lambda/4 = 4{,}25$ cm.

3.6.2.5. Dynamik

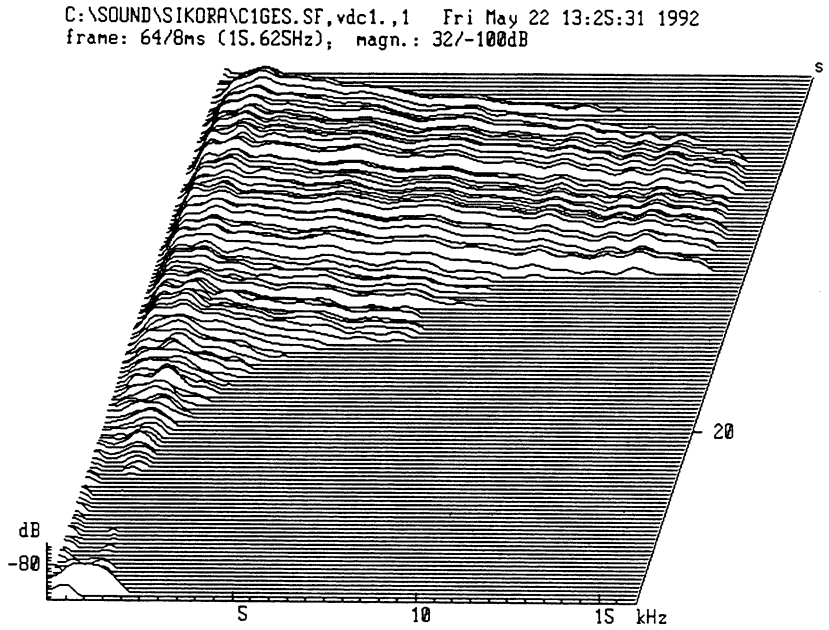


Abb. 38: Der oben angeführte Hauptformant dominiert im gesamten Dynamikumfang. Die Stärke der Obertöne nimmt mit gleichbleibender Relation zu. Im Pianissimo - in der Abbildung vorne - sind nur die Teiltöne um 850 - 1400 Hz zu sehen.

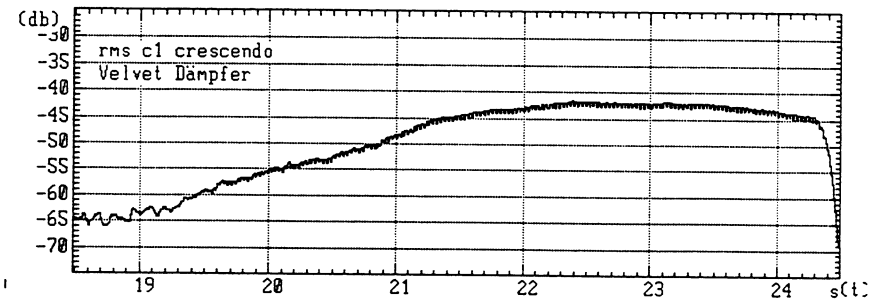


Abb. 39: Die abgestrahlte Energie beim Velvet wächst bei einem Crescendo in der tiefen Lage um ca. 23 dB an. Er klingt im Pianissimo eine, (- 6 dB), im Fortissimo sogar zwei, (- 13 dB) Dynamikstufen leiser als die Trompete ohne Dämpfer.

3.6.2.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Der Velvet ist der "jüngste" der in dieser Arbeit untersuchten Dämpfer. Da er erst in diesem Jahrhundert entwickelt wurde, kommt er in der älteren klassischen Musik nicht vor. Auch in der modernen klassischen Musik wird er wenig gespielt. Er wird fast ausschließlich im Jazz und in der Unterhaltungsmusik verwendet.

Im Jazz wird der dunkle weiche Klang des Velvet Dämpfers häufig bei Soli als Flügelhornersatz eingesetzt. Nicht immer ist dies jedoch unproblematisch. Seit dem Eintritt des Flügelhorns in den Jazz wird der Velvet eher seltener gebraucht. Er wird auch für leise Akkordbegleitungen von den Bläsern verwendet, um eine "Klangteppich"-Wirkung zu erreichen. Typisch sind ruhige Stellen, bei denen Streicher imitiert werden. Durch den Velvet Dämpfer verliert die Trompete zum Teil ihre charakteristische Schärfe.

Im "St. Louis Blues" von W.C. Handy wird die Klangfarbe als Kontrastmittel zu den Trompeten ohne Dämpfer eingsetzt. Beim langsameren Blues-Teil zu Beginn steht die Anweisung "All trumpets play flugelhorns ore use trumpets with bucket mute". Ab dem schnelleren Teil spielen die Trompeten offen und mit schärferen Phrasierungen.

Auch im Stück "Star Dust" von Hoagy Carmich wird der Velvet für langgezogene, weiche, melodische Passagen verwendet.

Bei der Umfrage wurden des weiteren Thad Jones und Count Basie erwähnt, die den Velvet in ihre Arrangements einbanden.

Beim Spielen mit dem Velvet ist das Gewicht an der Stürze ungewohnt. Die Montage, das Einklemmen der Metallzungen, dauert etwas länger als bei den anderen Dämpfern, die nur in die Stürze gesteckt werden. Das Wechseln während eines Werkes benötigt daher eine entsprechende Zeit.

3.6.4. Der Harmon Dämpfer (ohne Tubus)

3.6.4.1. Allgemein

Der Harmon Dämpfer ist ein Wah-Wah Dämpfer ohne Tubus. Eine Definition dieser Art existiert in der bisherigen Literatur jedoch nicht. Diese Begriffsbestimmung wurde bei dieser Arbeit gewählt, da sie in der Praxis meistens üblich ist. Häufig entstehen Verwechslungen mit dem "Wah - Wah" Dämpfer (mit Tubus), da beide Typen dasselbe äußere Gehäuse haben. Die Innenkammer des Dämpfers stellt einen geschlossenen Resonator dar. Der ganze Luftstrom muß durch diese Kammer, da eine Korkmanschette den Dämpfer luftdicht in der Stürze befestigt. Die Materialien aus denen er produziert wird, sind meistens Metalle wie Aluminium oder Kupfer.

Aufgrund des charakteristischen "gläsernen" Klanges wird dieser Dämpfertyp häufig auch als Glasdämpfer bezeichnet. Ebenfalls durch den Klang bestimmt ist der von manchen verwendete Spitzname "Biene".

Bei dieser Arbeit wurde ein Harmon vom amerikanischen Hersteller Tom Crown verwendet. Er ist aus Aluminium. Die Korkmanschette, die ihn in der Stürze fixiert, ist 3,5 cm breit. Seine Gesamthöhe (ohne Tubus) beträgt 12 cm, der Durchmesser ca. 9 cm.

Bei den Vorarbeiten wurde auch ein anderer Dämpfer verwendet, der sich als sehr schlecht herausstellte. Der Hersteller dieses schlechten Dämpfers ist unbekannt. Im folgenden Kapitel wird dieser als Harmon xy bezeichnet. Er ist um einiges kleiner als der von Tom Crown. Seine Gesamthöhe ohne Tubus beträgt 10,6 cm, der Durchmesser ca. 7,5 cm und die Korkmanschette ist 2 cm breit.

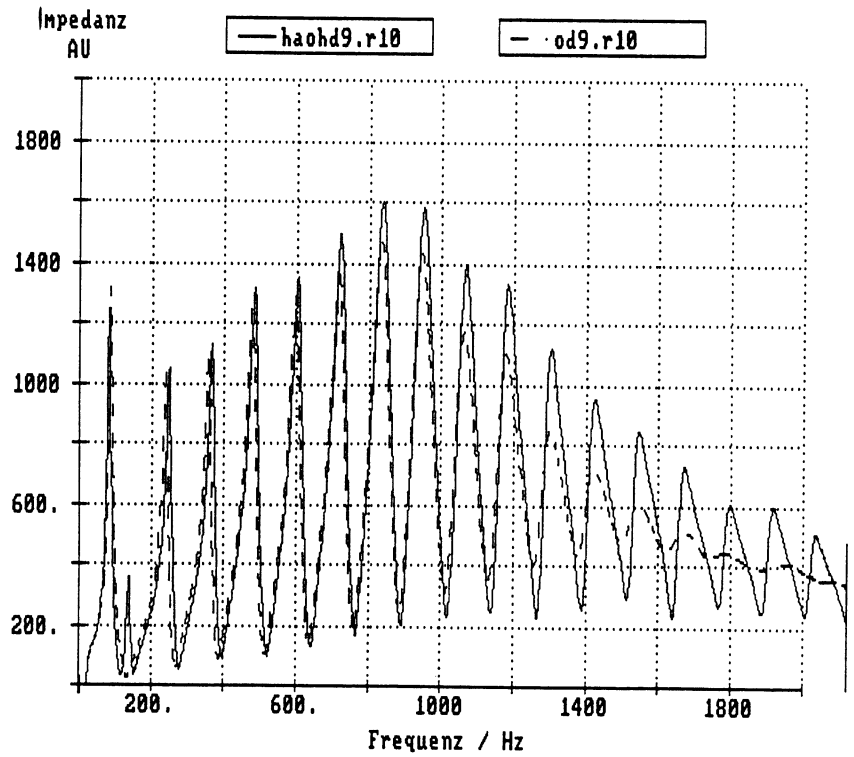


Abb. 40: Der Vergleich der Eingangsimpedanz zwischen dem Harmon Dämpfer (durchgezogene Linie) und der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) zeigt deutliche Unterschiede. Der Harmon hat eine zusätzliche Resonanz bei ca. 160 Hz, die sich auf alle anderen Spitzen auswirkt. Die zweite bis siebente Resonanz werden nach rechts zu höheren Frequenzen verschoben. (Die tiefste Resonanz, die nicht gespielt wird, wird in Gegenrichtung verschoben.) Ab der 5. Resonanz sind die Impedanzspitzen höher. Es bleibt mehr Energie im Instrument.

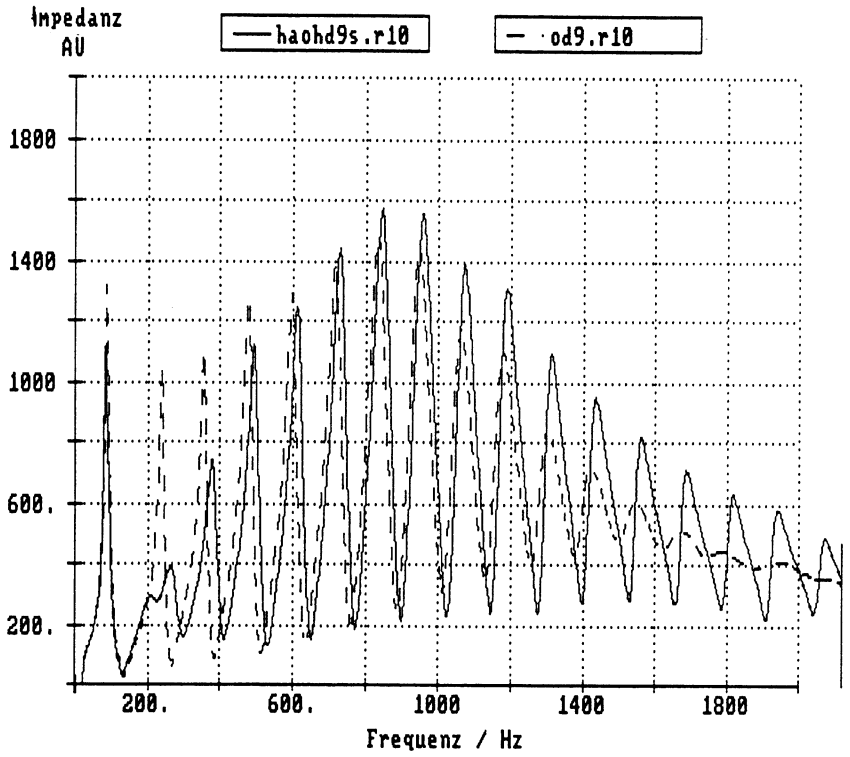


Abb. 41: Diese Abbildung zeigt die Impedanzverteilung beim schlechten, zu kleinen Harmon Dämpfer xy (durchgezogene Linie) und der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie). Die Resonanz der Innenkammer ist durch die kleinere Dimensionen höher. Sie liegt mit 200 Hz sehr knapp bei der ersten gespielten Resonanz des kleinen *b* und unterdrückt diese fast völlig. Die nächsten Resonanzen sind ebenfalls stark beeinflußt. Sie sind nicht so hoch, und wesentlich weiter nach rechts zu höheren Frequenzen verschoben als beim besseren Harmon.

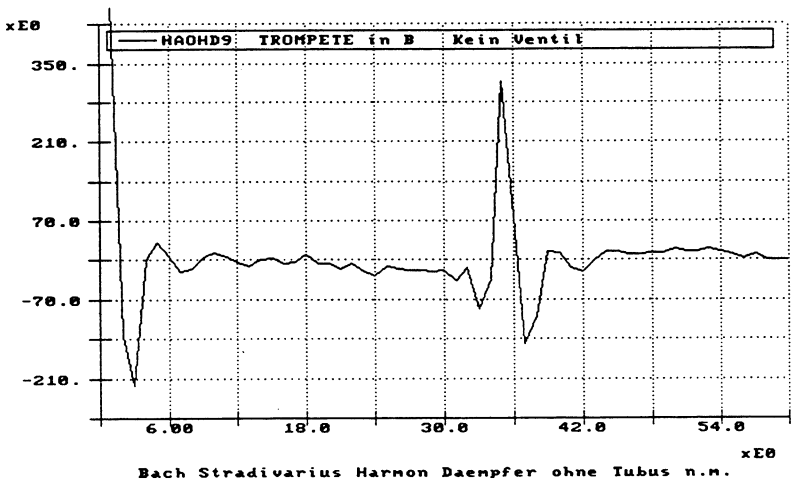


Abb. 42: Die Pulsantwort beim Harmon zeigt eine deutlich stärkere Reflexion als die Trompete ohne Dämpfer. Am Schallbecher wird mehr Energie ins Instrument zurückreflektiert. Dies entspricht den höheren Impedanzspitzen beim Harmon.

3.6.4.2. Ansprache

Die Ansprache ist beim Harmon sehr von der Konstruktion beeinflußt. Der zu kleine Harmon xy spricht in der tiefen Lage nur sehr schlecht an. Die Impedanzen sind wesentlich kleiner. Erwähnt sei, daß beim xy auch die Resonanz des Dämpfers anspricht. Der größere Harmon spricht gut an. In der hohen Lage sind die Impedanzen höher, was der Ansprache entgegenkommt. Wichtig ist jedoch die Intonation, d.h. die Lage der Resonanzen, da der Ziehbereich des Spielers beschränkt ist.

3.6.4.3. Intonation

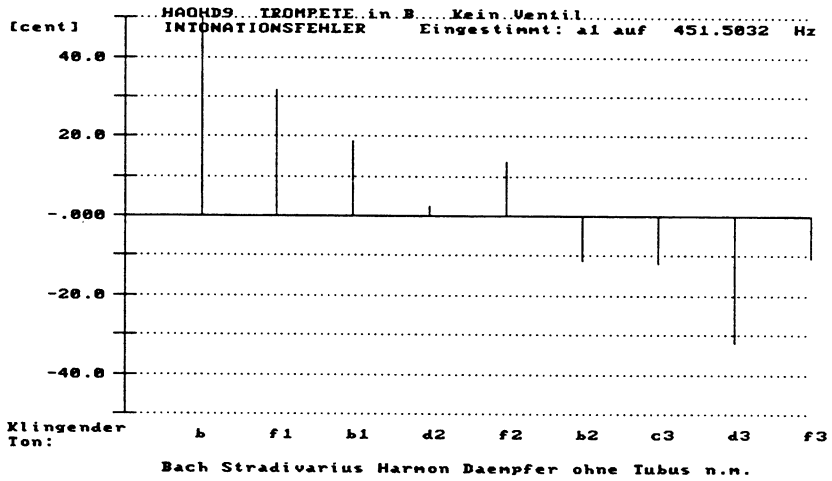
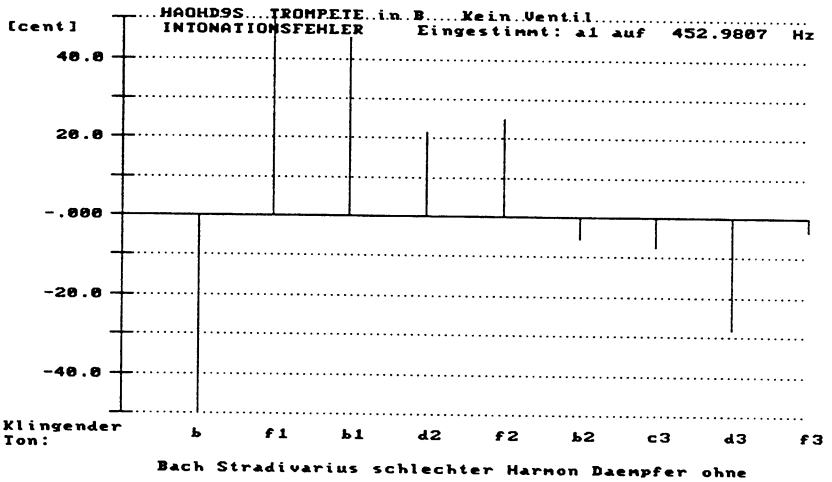


Abb. 43 : Die Intonation mit dem Harmon Dämpfer ist problematisch. Die gesamte Stimmung des Instruments ist höher (*a* = 451 Hz) als ohne Dämpfer. Dies kann mit Hilfe des Stimmzuges ausgeglichen werden. Der kritische Bereich ist unterhalb des eingestrichenen klingenden *b* , der deutlich zu hoch ist. Ein Ausgleich der Stimmung durch den Spieler ist kaum möglich. Die Abweichung beim *g1* entspricht einem drittel Halbton (33 Cents) , beim *c1* mehr als einem halben Halbton (50 Cents). In der zweigestrichenen Oktave ist die Stimmung gut, d.h. innerhalb des Ziehbereichs, in dem der Spieler die Tonhöhe korrigieren kann.



Die Abb. 44: Die Intonation mit dem kleinen Harmon xy ist "katastrophal " . Die Verschiebung der Resonanzfrequenzen wirkt sich stark auf den gesamten Spielbereich aus. Die Abweichungen bis zur mittleren Lagen sind wesentlich größer als 50 Cent, was einem Viertelton entspricht. Derartige Verstimmungen machen die Intonation für Trompeter unkontrollierbar.

3.6.4.4. Klangfarbe

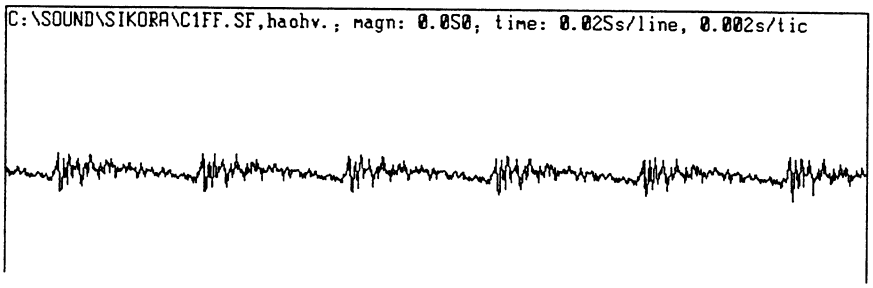


Abb. 45: Die Zeitfunktion eines klingenden *b* im Fortissimo mit dem Harmon zeigt eine völlig andere Charakteristik als bei der Trompete ohne Dämpfer. Die Periode hat mehrere kleine, anstatt einer hohen Spitze.

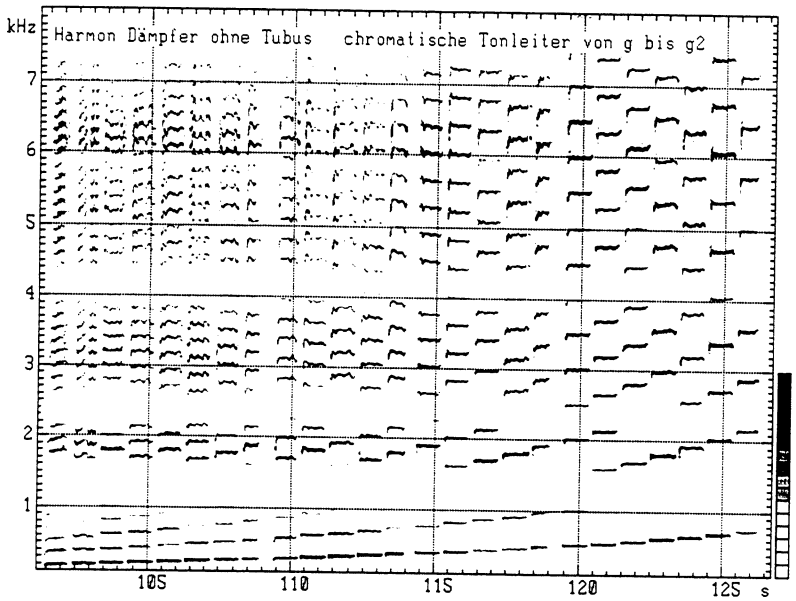


Abb. 46: Ein Spektrogramm einer chromatisch gespielten Tonleiter vom klingenden kleinen *f* zum *f2* weist hellere und dünklere Teiltonbereiche auf. Wesentlich für Formanten ist es, daß diese Bereiche, vom gespielten Grundton unabhängig, gleich sind.

Die Intensität der Obertöne wird beim untersuchten Harmon- Dämpfer durch folgende Formanten und Antiformanten bestimmt:

Formanten beim Harmon Dämpfer (Hz)

bis 1000	1830	3000-3500	4650	6280	8700	9700

Antiformanten beim Harmon Dämpfer (Hz)

1250	2380	4100	7700	10300

Beim Abhören der aufgenommenen Klangbeispiele fiel eine Ähnlichkeit der Klangfarbe des Harmon Dämpfers mit dem Vokal "i" auf. Dieser Dämpfertypus wird von manchen auch "Biene" genannt, was sich onomatopoetisch auf diesen "i"-Laut zurückführen läßt.

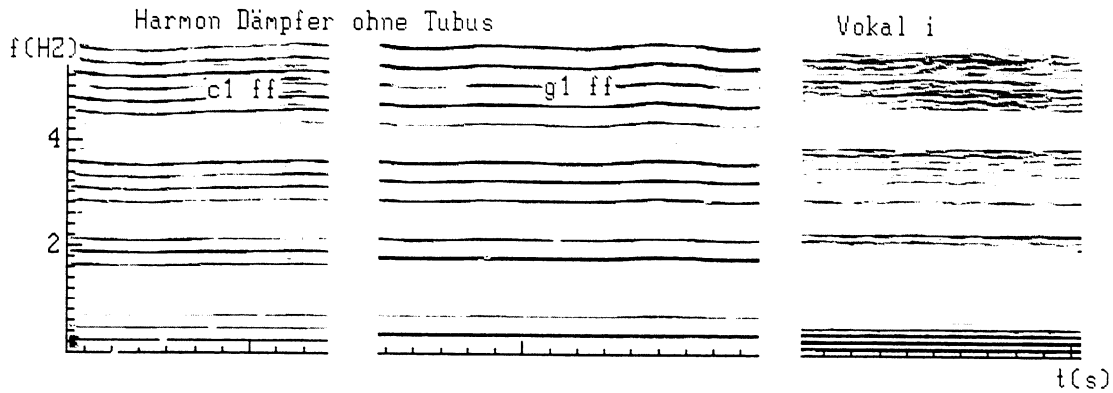


Abb. 47: In diesem Spektrogramm wurden die Klänge des Harmon Dämpfers (bei zwei verschiedenen Tonhöhen, klingend *b* und *f1*,) mit dem gesprochenen Vokal "i" verglichen. Auffallend ist die Übereinstimmung der ersten vier Formantbereiche. Dies erklärt die Klangverwandtschaft des Harmon mit diesem Vokal.

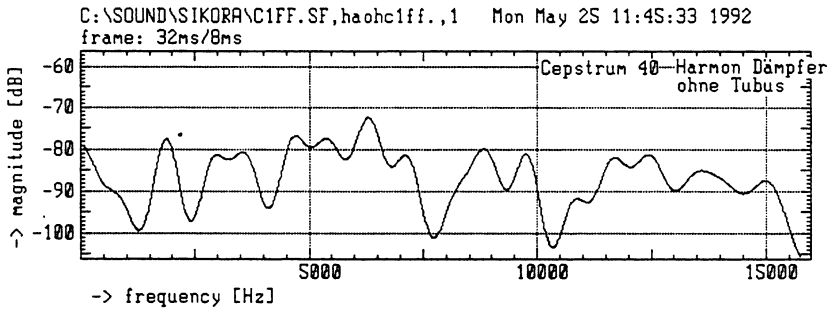


Abb. 48: Besonders deutlich sieht man die starken und schwachen Frequenzbereiche beim geglätteten Mittelwertspektrum, dem Cepstrum. Teiltöne, die im Bereich eines Antiformanten liegen, klingen bis 10 mal so schwach (-20 dB) wie die Teiltöne in den Formantbereichen.

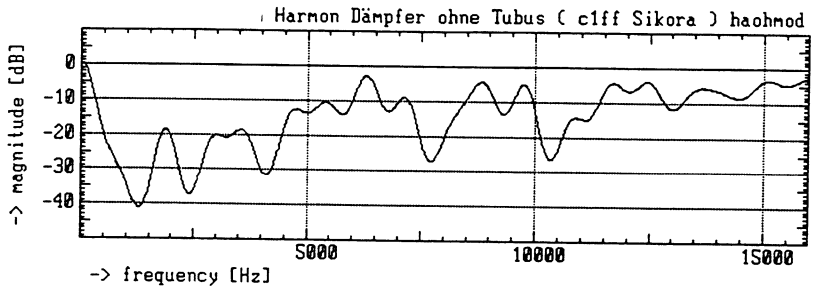


Abb. 49: Den Klangunterschied zwischen der Trompete ohne Dämpfer und dem Harmon Dämpfer zeigt das Differenzspektrum. Besonders stark sind die Unterschiede im Bereich der Antiformanten. Beim ersten Antiformanten, um 1280 Hz, sind die Teiltöne um 40 dB leiser (100 mal so schwach !), beim zweiten um 2380 Hz, und beim dritten um 4100 über 30 dB . Beim vierten um 7700 Hz und fünften Antiformanten um 10300 Hz sind die Teiltöne noch um 25 dB schwächer. Insgesamt fehlt dem Klang sehr viel Energie, insbesondere im Bereich zwischen 1000 und 5000 Hz.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage vor allem mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

gläsern, schneidend, metallisch, summend, hohl, verhalten,
glasig, penetrant, näselnd, verwaschen,
mysteriös, rauschend, geheimnisvoll, leise, intim,
im Forte scharf, gequetscht, schneidend in den höheren Registern,
im Piano dumpf, weich, sanft, dunkel, warm in der tiefen Lage;

3.6.4.5. Dynamik

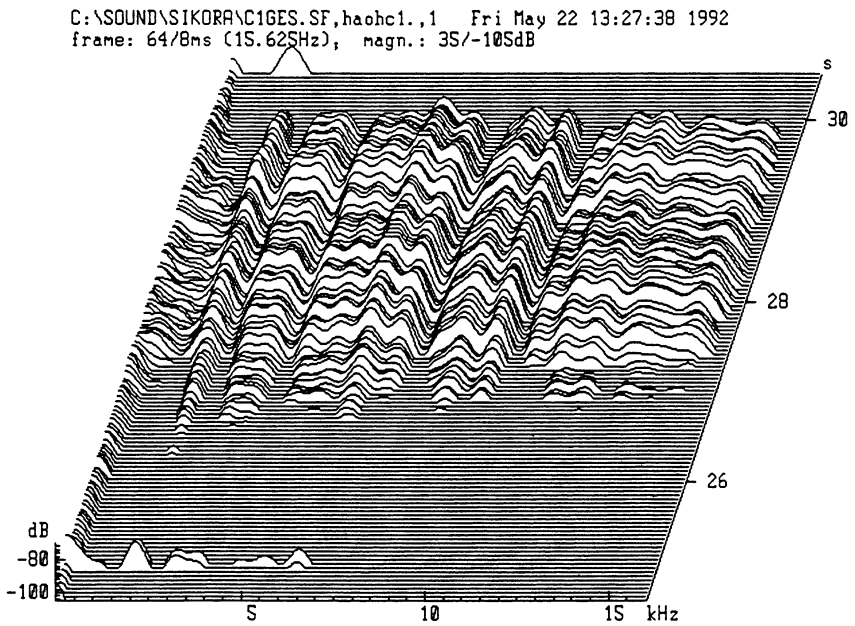


Abb. 50: Die Formanten sind von der gespielten Dynamik unabhängig. Sie dominieren das Spektrum bei jeder Dynamikstufe. Beim Crescendo steigt jedoch die Anzahl der Obertöne. Wie auch beim Instrument ohne Dämpfer sind im Fortissimo Klanganteile bis zur Hörgrenze vorhanden.

Von allen in dieser Arbeit untersuchten Dämpfertypen ist der Harmon Dämpfer (ohne Tubus) der Dämpfer, der am meisten "dämpft". Er klingt relativ leise und hat den geringsten Dynamikumfang. In der tiefen Lage erreicht man maximal einen Dynamikunterschied von 18 dB zwischen pianissimo und fortissimo. Im Pianissimo klingt er um 8 dB leiser als die Trompete ohne Dämpfer und im Fortissimo ist er 10 mal so schwach (-21 dB).

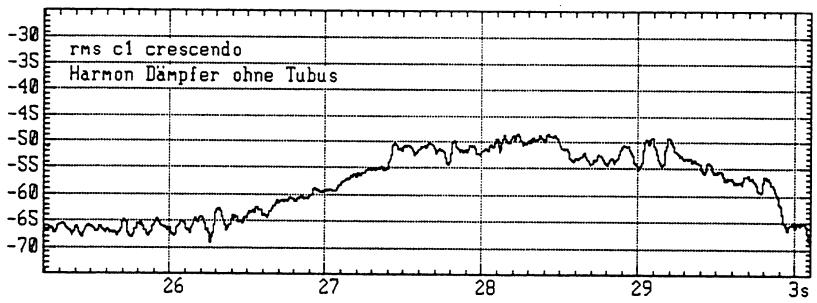


Abb. 51: Mit dem Harmon Dämpfer ist ein großes crescendo kaum möglich. Der Dynamikumfang ist (sogar in der tiefen Lage), auf 18 dB beschränkt.

3.6.4.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Wie in den vorangegangenen Abschnitten bereits deutlich wurde, ist der Umgang mit dem Harmon Dämpfer nicht immer unproblematisch. Da von diesem Dämpfertypus verschiedene Varianten existieren, sind die Urteile der Musiker unterschiedlich. Relativ häufig erwähnten die Musiker bei der Umfrage, daß die Stimmung in der tiefen Lage schlecht sei. Wie groß diese Unterschiede jedoch sein können, war bei den beiden in dieser Arbeit untersuchten Harmons bereits feststellbar. Allen gemein ist jedoch die Tatsache, daß dieser Typus den Ton sehr stark dämpft, und ein forte sehr "stressig" ist, wie sich ein Trompeter ausdrückte. Der Ton ist leiser als beim Wah Wah (mit Tubus) und klingt gläsern.

Eingesetzt wird der Harmon fast ausschließlich im Jazz und der Unterhaltungsmusik, selten in zeitgenössischer Musik. In der Big Band wird dieser Typus häufiger verwendet als der Wah Wah Dämpfer. Aufgrund seiner Dynamik ist er für ppp Stellen geeignet. Trotz seines leisen Klanges kann der Harmon durch seinen klirrenden, gläsernen Charakter im Ensemble durchdringen. Les Brown zum Beispiel hat den Harmon Dämpfer im Trompetensatz in seinen Big Band Werken eingesetzt. Dies ermöglichte ihm, ein Thema in den Posaunen durch den kontrastierenden Klang der Trompeten mit Motiven zu bereichern.

Durch Les Brown und seine Band of Renown wurde u.a. das Bossa Nova Stück "Quiet Nights of Quiet Stars" von Carlos Jobim bekannt. Hier setzen die Trompeten den Harmon für melodische Motive ein.

Das Klangbild dieses Dämpfers wird oft als typischer "Miles Davis Sound" bezeichnet. Davis hat diesen Typus häufig verwendet, beispielweise in den Stücken "Bye Bye Blackbird" oder "Amandla". Da der leise Harmon oft für solistische Passagen und Improvisationen eingesetzt wird, wird der Klang vielmals über Mikrophone verstärkt.

3.6.5. Der "Wah-Wah" Dämpfer
(oder Harmon Dämpfer mit Tubus)

3.6.5.1. Allgemein

Der Wah-Wah Dämpfer ist ein Harmon Dämpfer mit Tubus (Innenrohr mit trichterförmiger Ausweitung). Wie beim Harmon gibt es in der bisherigen Literatur keine derartige Begriffsbestimmung. Diese Definition wurde bei dieser Arbeit gewählt, da sie in der Praxis meistens üblich ist. Der Name beschreibt eine Klangwirkung, die häufig mit diesem Dämpfer erzeugt wird. Der Effekt entsteht, indem man während des Spiels die Öffnung vorne mit der Handfläche zu- bzw. aufdeckt.

Der Wah- Wah hat dasselbe äußere Gehäuse wie der Harmon. Die Innenkammer des Dämpfers stellt einen geschlossenen Resonator dar. Der ganze Luftstrom muß durch den Dämpfer, da dieser durch eine Korkmanschette luftdicht in der Stürze befestigt ist. Das ausziehbare Innenrohr, der Tubus, erlaubt, daß unterschiedliche Mengen an Luft in die Dämpferkammer gelangen. Die Stellung des Innenrohres ermöglicht Variationen der Klangfarbe. Die Materialien, aus denen er produziert wird, sind meistens Metalle wie Aluminium oder Kupfer.

Bei dieser Arbeit wurde ein Wah-Wah vom amerikanischen Hersteller Tom Crown verwendet. Er ist aus Aluminium. Die Korkmanschette, die ihn in der Stürze fixiert, ist 35 mm breit. Seine Gesamthöhe (mit Tubus) beträgt 15 cm, der Durchmesser ca. 9 cm. Der Tubus hat mit der trichterförmigen Erweiterung eine Länge von 13,3 cm. Der zylindrische Teil, mit einem Durchmesser von etwa 14 mm, der in das Gehäuse eingeführt wird, ist insgesamt 9 cm lang.

Bei den Vorarbeiten wurde auch ein anderer Wah-Wah Dämpfer verwendet, der sich als sehr schlecht herausstellte. Es handelt sich um das gleiche Gehäuse wie beim Harmon Dämpfer. Auch hier ist über den Hersteller nichts bekannt. Im folgenden Kapitel wird dieser kleinere als Wah-Wah xy bezeichnet. Seine Gesamthöhe mit dem Tubus beträgt 11,6 cm, der Durchmesser ca. 7,5 cm und die Korkmanschette ist 2 cm breit. Der Tubus hat mit der trichterförmigen Erweiterung eine Länge von 9,8 cm. Der zylindrische Teil, mit einem Durchmesser von etwa 13 mm, der in das Gehäuse eingeführt wird, ist insgesamt 7,4 cm lang.

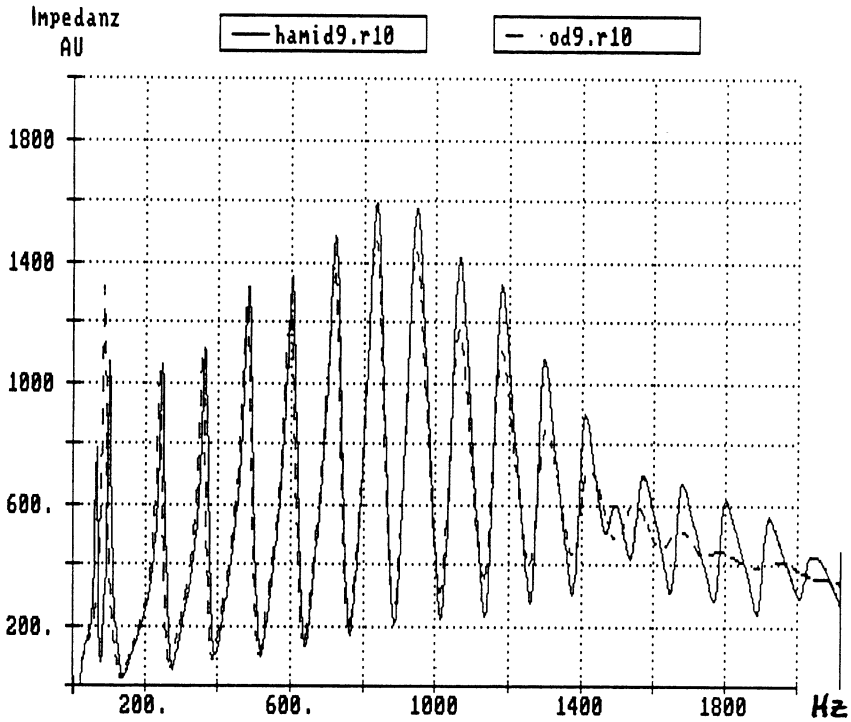


Abb. 52: Die Eingangsimpedanzmessung zeigt beim Wah-Wah Dämpfer (durchgezogene Linie) zwei zusätzliche Resonanzstellen, die bei der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) nicht vorhanden sind. Die hinzugefügten Resonanzen liegen bei ca. 90 Hz und 1500 Hz. Beide wirken sich auf ihre "Nachbar-Resonanzen"aus. Die Spitzen zwischen 200-400 Hz sind zu den höhereren Frequenzen hin nach rechts verschoben, die Spitzen zwischen 700 - 1400 Hz liegen weiter links auf der Frequenzachse. Bei den Resonanzen über 700 Hz sind die Impedanzspitzen höher, was bedeutet, daß mehr Energie im Instrument erhalten bleibt.

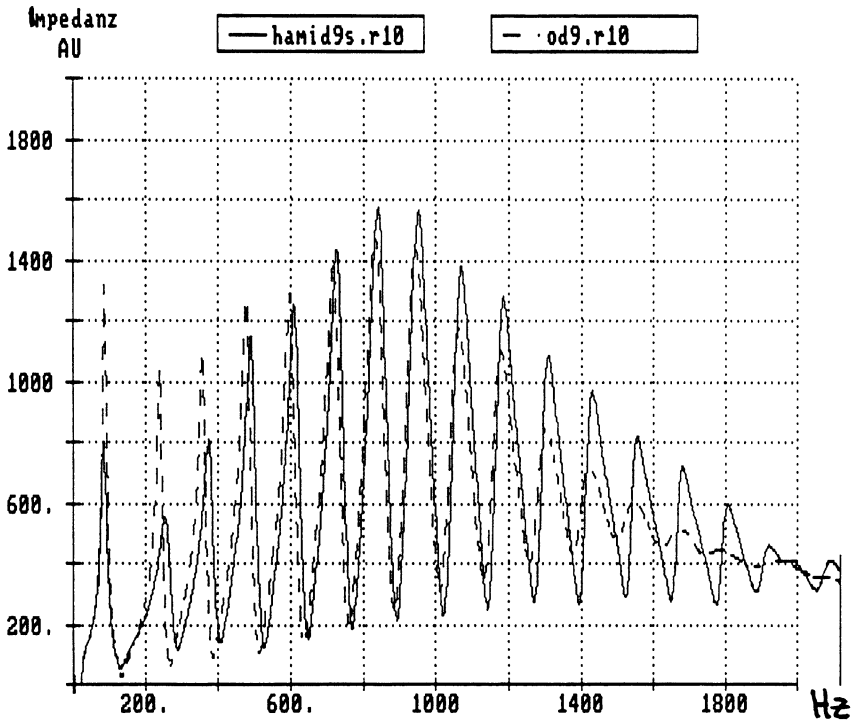


Abb. 53: Die Impedanzverteilung beim kleineren Wah-Wah xy (durchgezogene Linie) im Vergleich mit der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie). Die erste zusätzliche Resonanz des Dämpfers - nicht als Spitze in der Abbildung erkennbar - liegt etwas unter 200 Hz, knapp unter der Impedanzfrequenz des klingenden *b*. Letztere wird nach rechts auf der Frequenzachse verschoben und ist wesentlich niedriger. Die nächsten Resonanzen sind ebenfalls stark beeinflußt. Sie sind nicht so hoch, und wesentlich weiter nach rechts zu höheren Frequenzen verschoben. Die Spitzen über 800 Hz sind höher als bei der Trompete ohne Dämpfer.

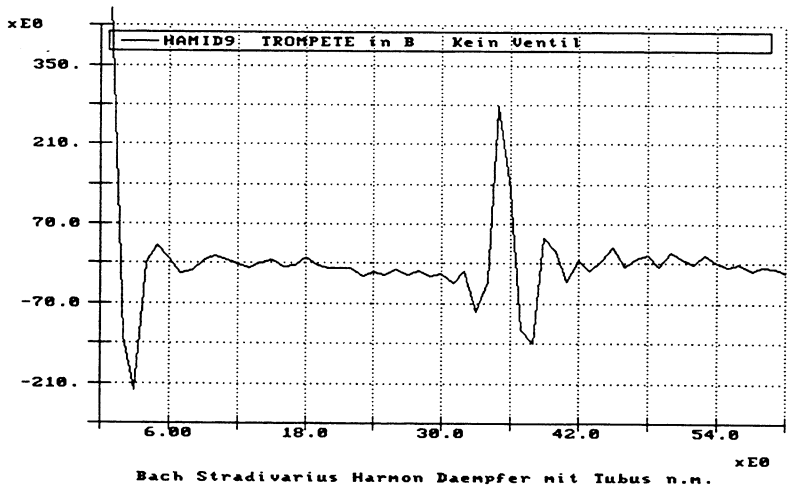


Abb. 54: Die Pulsantwort beim Wah-Wah zeigt eine höhere Spitze am Ende des Instruments als die Trompete ohne Dämpfer, d.h. es wird mehr ins Instrument zurückreflektiert. Die Spitze ist aber nicht so hoch wie beim Harmon Dämpfer. Der Tubus erhöht den abgestrahlten Energieanteil.

Die Untersuchung von John Backus (1976: 474ff) ergab für den von ihm vermessenen Wah-Wah Dämpfer[16] eine Eigenresonanz bei 100 Hz. Diese bleibe als zusätzliche Resonanzspitze (zwischen der ersten und zweiten) in der Impedanzmessung bei der Trompete mit Dämpfer erhalten. Der Dämpfer reduziere die abgestrahlte Schallenergie und erhöhe im höheren Frequenzbereich den Energieanteil, der im Instrument erhalten bleibt. Die Abstrahlungscharakteristik eines Schallbechers mit Wah - Wah entspricht laut Backus einem Band-Pass-Filter mit einem Durchlaßbereich von 1500 bis 2000 Hz. Bei der oberen Frequenz entspreche die Länge des Rohreinsatzes (Tubus) einer halben Wellenlänge. Der Dämpfer verändere die Klangfarbe, indem er ausgeprägte Formanten hinzufügt.

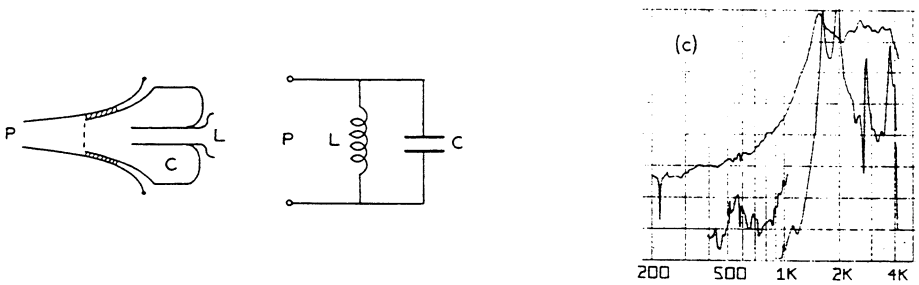


Abb. 55: Der Cup Dämpfer und der äquivalente elektrische Schaltkreis, sowie sein Einfluß auf die Abstrahlungscharakteristik eines Schallbechers (ohne Instrument) nach Backus (1974 :474 - 76). Zwischen 400 Hz und 1000 Hz wurde die Meßempfindlichkeit um 10 dB erhöht.

[16] Backus nennt diesen Dämpfer mit Tubus "Harmon or Wah - Wah mute". In dieser Arbeit wird der Dämpfer mit Tubus "Wah - Wah", ohne Tubus mit "Harmon" Dämpfer bezeichnet.

3.6.5.2. Ansprache

Die Ansprache ist beim Wah-Wah von der Konstruktion stark beeinflußt. Durch die kleinere Dimension des Wah-Wah xy liegt Eigenresonanz im Spielbereich des Bläsers. Dies bewirkt, daß die Impedanzen wesentlich kleiner sind. Er spricht daher - vor allem in der tiefen Lage - nur schlecht an.
Der größere Wah-Wah von Tom Crown spricht gut an. In der hohen Lage sind die Impedanzen höher, was der Ansprache entgegenkommt. Wichtig ist jedoch die Intonation, d.h. die Lage der Resonanzen, da der Ziehbereich des Spielers beschränkt ist.

3.6.5.3. Intonation

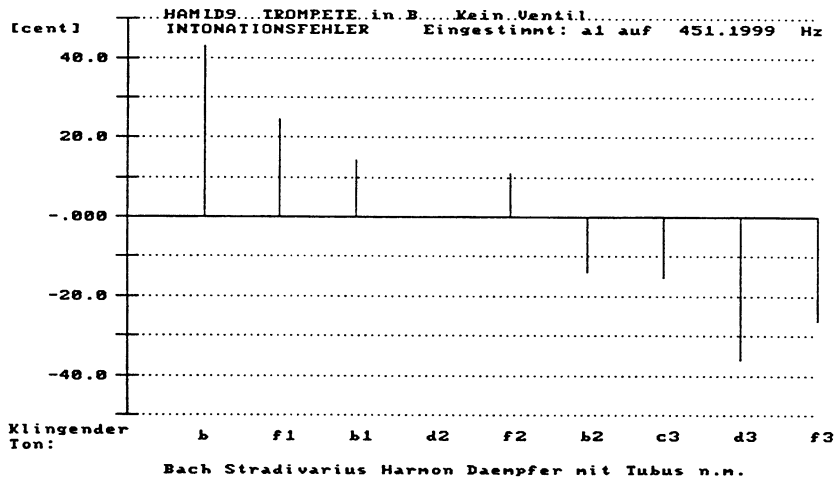
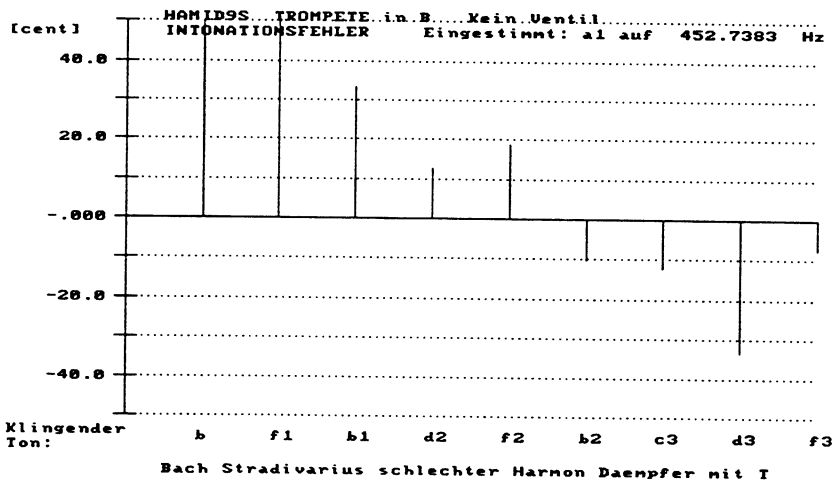


Abb. 56: Die Intonation mit dem Wah-Wah Dämpfer ist nicht unproblematisch. Die gesamte Stimmung des Instruments ist höher (*a* = 451 Hz) als ohne Dämpfer. Dies kann mit Hilfe des Stimmzuges ausgeglichen werden. Der kritische Bereich ist unterhalb des *f1*, in dem der Wah-Wah Dämpfer deutlich zu hoch ist. Ein Ausgleich der Stimmung durch den Spieler ist kaum möglich. Die Abweichung beim kleinen *b* entspricht fast einem Viertelton (45 Cents). In der mittleren Lage ist die Stimmung gut, d.h., innerhalb des Ziehbereichs, in dem der Spieler die Tonhöhe korrigieren kann.



Die Abb. 57: Die Intonation des kleinen Wah-Wah xy macht einen Gebrauch dieses Dämpfers unmöglich. Die Verschiebung der Resonanzfrequenzen wirkt sich verheerend auf den unteren Spielbereich bis zum *c2* aus. Die Abweichungen betragen weit mehr als 30 Cents. Derartige Verstimmungen machen die Intonation für Trompeter unkontrollierbar.

3.6.5.4. Klangfarbe

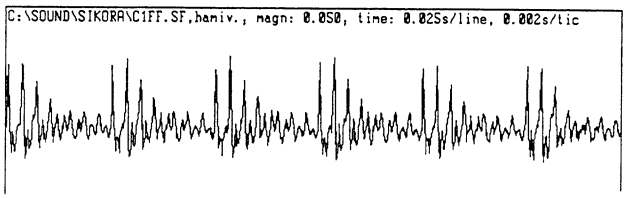


Abb. 58: Die Zeitfunktion eines klingenden *b* im Fortissimo mit dem Wah-Wah zeigt eine völlig andere Charakteristik als bei der Trompete ohne Dämpfer. Die Periode hat mehrere kleine Spitzen, anstatt einer hohen.

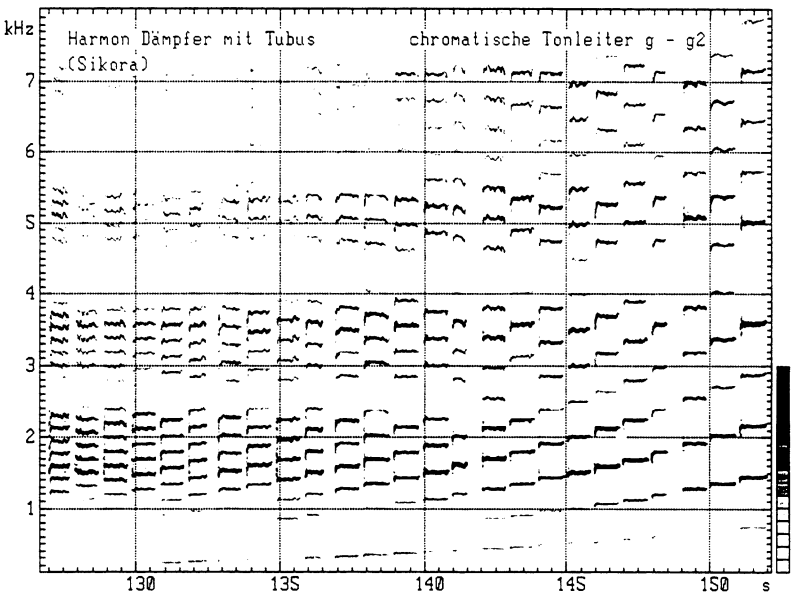


Abb. 59: Ein Spektrogramm einer chromatisch gespielten Tonleiter vom klingenden kleinen *f* zum *f2* weist hellere und dünklere Teiltonbereiche auf. Wesentlich für Formanten ist es, daß diese Bereiche vom gespielten Grundton unabhängig gleich sind. Dominierend sind die Formanten um 1800, 3500 und 5180 Hz. Die schwächsten Teiltöne liegen in den Bereichen um 650-750, 2700 und 4200 Hz.

Die Intensität der Obertöne wird beim untersuchten Cup- Dämpfer durch folgende Formanten und Antiformanten bestimmt:

Formanten beim Wah - Wah (Hz)

1780-1840	3500	5180	6960	8550	12150

Antiformanten beim Wah - Wah Dämpfer (Hz)

650-750	2600-2800	4200	5860	7600

Die Anzahl der erkennbaren Formanten ist von der Dynamik abhängig.

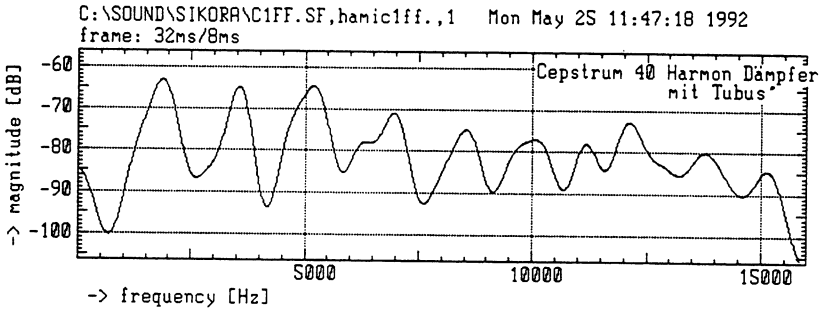


Abb. 60: Im Cepstrum eines *c 1* im Fortissimo sind die Formanten und Antiformanten besonders deutlich erkennbar. Die Formanten um 1800, 3500 und 5180 Hz bilden die "höchsten Berge" und die Antiformanten um 700, 2700 und 4200 Hz sind als die "tiefsten Täler" in der Kurve erkenntlich.

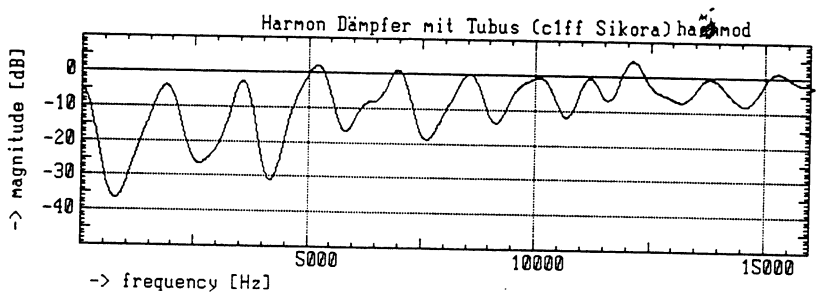


Abb. 61: Der Klang der Trompete mit Wah-Wah Dämpfer unterscheidet sich vor allem durch die starken Antiformanten vom Klang der Trompete ohne Dämpfer. Die Teiltöne um 700 Hz sind bis 35 dB schwächer , die um 2700 Hz bis 25 dB, und die um 4200 Hz bis 30 dB.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage vor allem mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

blechern, klirrend, metallisch, gequetscht, quäkend, schrill, summend, hohl, klein, hell, eng, näselnd, quäkend, etwas dumpf, im pp sanft, im ff schrill, klingt wie "Donald Duck";

3.6.5.5. Dynamik

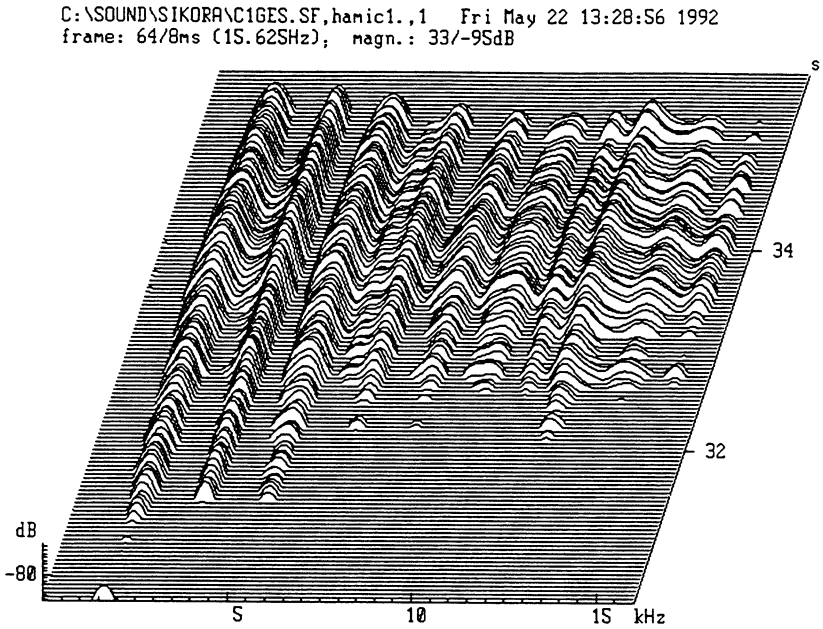


Abb. 62: In der dreidimensionalen Darstellung eines Crescendos zeigt sich, daß die "Berge" (die Formanten um 1800, 3500 und 5180 Hz) und die "Täler" (die Antiformanten um 700, 2700 und 4200 Hz) unabhängig von der Dynamik das Spektrum prägen.

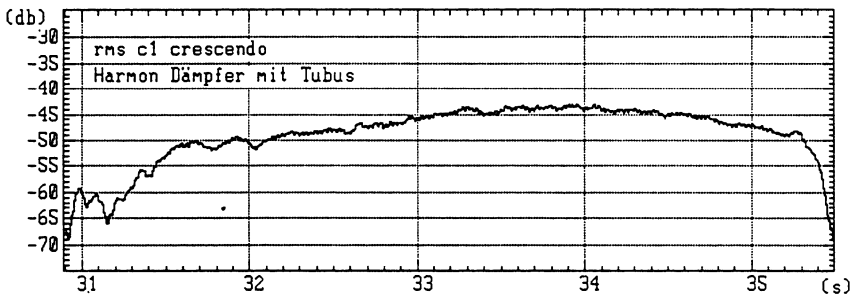


Abb. 63: Ein Crescendo in der tiefen Lage mit dem Wah - Wah erstreckt sich maximal über einen Dynamikumfang von ca. 23 dB. Der Umfang ist etwa 7 dB geringer als mit der Trompete ohne Dämpfer. Im Pianissimo ist der Klang um 6 dB (ca. eine Dynamikstufe), im Fortissimo um ca. 13 dB schwächer. Der Dynamikumfang ist größer mit dem Harmon Dämpfer, d.h. der Tubus erhöht die abgestrahlte Schallenergie.

3.6.5.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Der Wah - Wah Dämpfer wird verhältnismäßig selten eingesetzt. Er erklingt fast vorwiegend im Jazz und in der Film- und Unterhaltungsmusik, selten in klassischer Musik des 20 Jahrhunderts. Meistens wird er verwendet, um den leicht komisch wirkenden Wah - Wah Effekt zu erzeugen, von dem sein Name abgeleitet wurde. Eine bekannte Orchesterstelle, in der dieser Effekt vorkommt, ist bei Gershwin in "Rhapsodie in Blue". Auch Stravinsky verwendet diesen Typus im "Ebony Concerto".

Solistisch erklingt der Wah Wah in den Trompetenkonzerten von Jolivet und Tomasi. In Jazzkreisen sehr berühmt ist die Interpretation des "Sugar Blues" von Clyde McCoy.

Wie beim Harmon Dämpfer existieren starke Unterschiede zwischen den verschieden Varianten dieses Dämpfertypus'. Den wichtigsten Einfluß auf das akustische Verhalten hat die Hohlraumresonanz des Gehäuses, weshalb dessen Volumen von großer Bedeutung ist. Liegt die Resonanz im Spielbereich des Instruments, wird die Intonation negativ beeinflußt. Besonders in der tiefe Lage ist die Stimmung häufig schlecht. Dies notierten auch viele Trompeter in der Umfrage.

3.6.6. Der Plunger

3.6.6.1. Allgemein

Der Plunger (dt.: Taucher, Tauchkolben) ist eine Art Schale, die man während des Spiels mit einer Hand vor den Schallbecher hält. Er ist in seiner Art und in seinem Material sehr unterschiedlich. Als Plunger-Ersatz dienen sehr häufig der Gummistößel zur Abflußreinigung, Plastikbecher oder einfach die hohle Hand des Spielers. Industriell gefertigte Plunger sind zumeist aus Kunststoff, Metall oder ausgespritzter Pappe gefertigt. Der Spalt zwischen Stürze und Plunger ist variabel. Geschlossen ist der Spalt gerade so groß, daß noch etwas Luft entweichen kann. Offen kann fast alle Luft ungehindert entströmen.

Typisch ist der Klang "Doo-wah", der bei Glenn Miller als stilprägender Effekt im Bläsersatz verwendet wurde. Daher wird dieser Dämpfertyp manchmal auch als Glenn Miller- oder Doo - Wah Dämpfer bezeichnet.

In der Notenschrift wird für den geschlossenen Dämpfer das Symbol (+) und für die offene Haltung das Symbol (o) verwendet. Der Bewegungsablauf des Öffnens konnte bei den vorgenommenen Messungen nicht miteinbezogen werden. Untersucht wurde der Klang und das akustische Verhalten nur in der (fast) geschlossenen Haltung (+), bei der ca. 1 cm Spalt zwischen einer Seite der Stürze und dem Plunger als Schallaustrittsöffnung vorhanden ist, und in der (fast) offenen Stellung (o), bei der der Spalt ca. 8 cm groß ist.

Die Bezeichnung der zwei Haltungen wechselt in der nachfolgenden Behandlung zwischen:

(o) = offen = 8 cm Spalt
(+) = geschlossen = 1 cm Spalt

Der bei dieser Arbeit verwendete Plunger der Firma EMO ist aus Kunststoff gefertigt. Er hat einen Metallgriff und ist innen mit Filz gefüttert. Die Gesamthöhe beträgt 5,5 cm und der Durchmesser ist 11 cm.

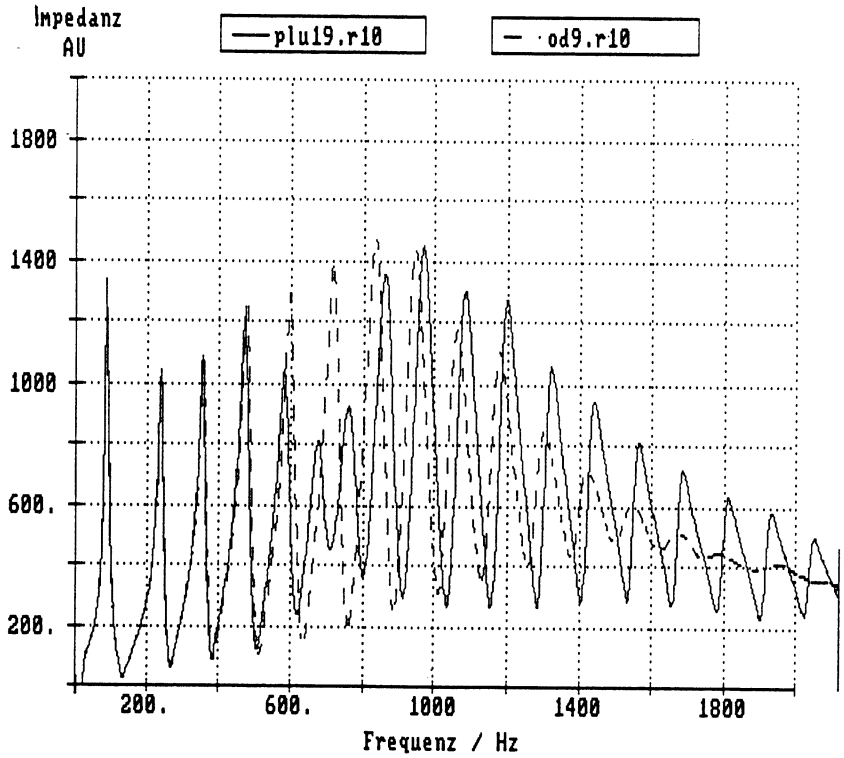


Abb. 64: Die Impedanzkurve der Trompete mit geschlossenem Plunger (+) zeigt eine zusätzliche Resonanz bei ca. 700 Hz, die sich deutlich auf die Nachbarresonanzen auswirkt. Das 3. und das 4. Maximum ist im Vergleich mit der Trompete ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) zu tieferen Frequenzen verschoben. Neben der ursprünglich sechsten Spitze, die dem gespielten *f2* entspricht, liegen zwei Maxima beim geschlossenen Plunger, die nicht in die Harmonische Reihe passen. Die Resonzen über 800 Hz sind nach rechts auf der Frequenzachse verschoben. Die Impedanzen der höherfrequenten Naturtöne sind höher als bei der Trompete ohne Dämpfer, da hohe Frequenzen am Plunger verstärkt in das Instrument zurückreflektiert werden.

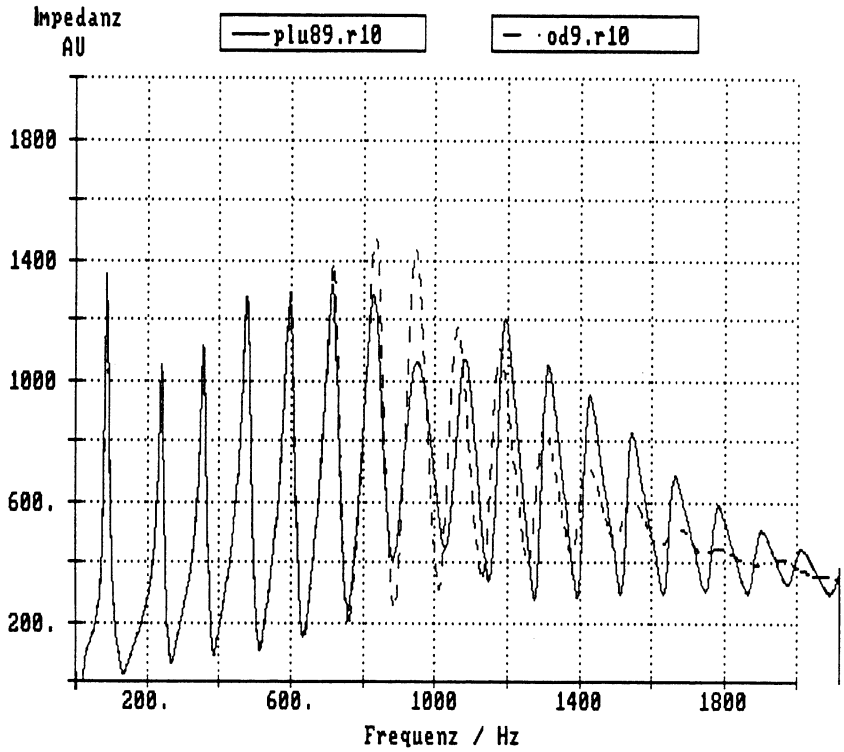


Abb. 65: Der Unterschied zwischen der Trompete mit Plunger (o), der 8 cm weit geöffnet ist, und dem Instrument ohne Dämpfer (unterbrochene Linie) liegt vor allem bei den Resonanzen über 800 Hz. Im unteren Spielbereich ist fast kein Unterschied zu erkennen.

Das durch den Plunger beeinflußte Resonanzgebiet verschiebt sich beim Vergrößern des Spaltes nach oben. Beim geschlossenen Plunger ist die Einwirkung auf die Impedanzmaxima weitaus stärker. Sie beginnt bei ca. 500 Hz, d.h. im Spielbereich der zweigestrichenen Oktave. Beim weit geöffneten Plunger sind erst die Resonanzen über 800 Hz negativ beeinträchtigt.

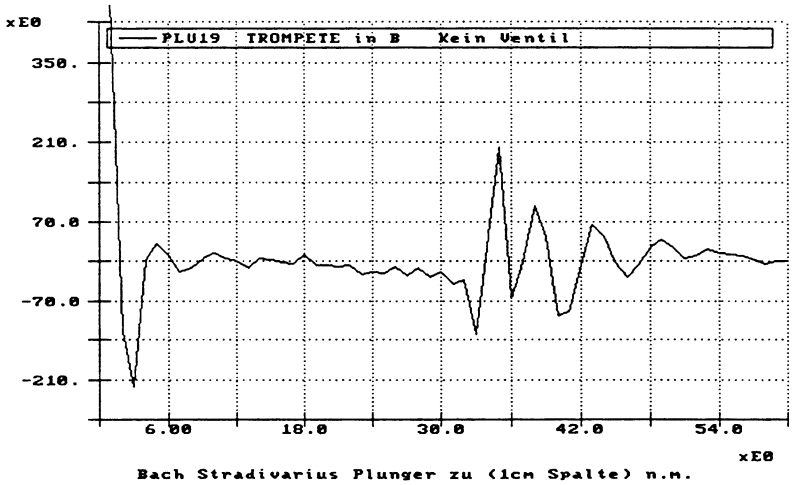


Abb. 66: Die Pulsantwort beim geschlossenen Plunger zeigt im Reflexionsbereich der Stürze deutlich zwei Spitzen. Die erste entspricht der Reflexion am Ende des Schallbechers, die, wie bei dem Instrument ohne Dämpfer, durch den Impedanzunterschied zur Umgebung hervorgerufen wird. Die zweite entsteht durch die Reflexion an der Innenwand des Plungers.

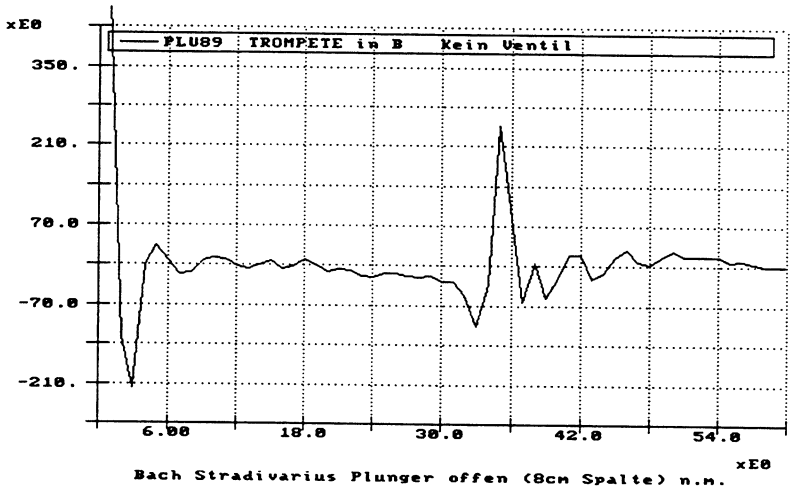


Abb. 67: Die Pulsantwort beim geöffneten Plunger unterscheidet sich nur durch eine kleine zweite Spitze von der Impulsantwort der Trompete ohne Dämpfer. Die Reflexionswirkung des Plungers ist beim großen Spalt deutlich geringer.

3.6.6.2. Ansprache

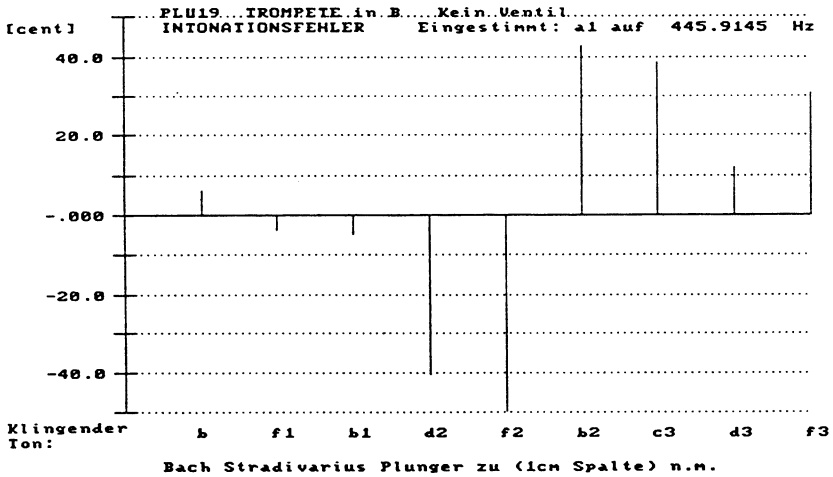
Die Ansprache des Plungers ist in der tiefen Lage nicht wesentlich verändert gegenüber der Trompete ohne Dämpfer. Problematisch ist das Spielen oberhalb des klingenden *b1*, vor allem mit einem kleinen Spalt.

Versucht der Trompeter mit dem geschlossenen Plunger das *f2* zu spielen, findet er mit der gewohnten Lippenspannung keine entsprechende Resonanz am Instrument. Durch die zusätzliche Resonanz liegen etwas höher und tiefer zwei andere Spitzen, die beide nicht in das temperierte System passen. Spielt er die auf der Impedanzkurve rechts danebenliegende Resonanz, wird der der Ton zu hoch sein, spielt er das linke Maximum, ist der Ton zu tief.

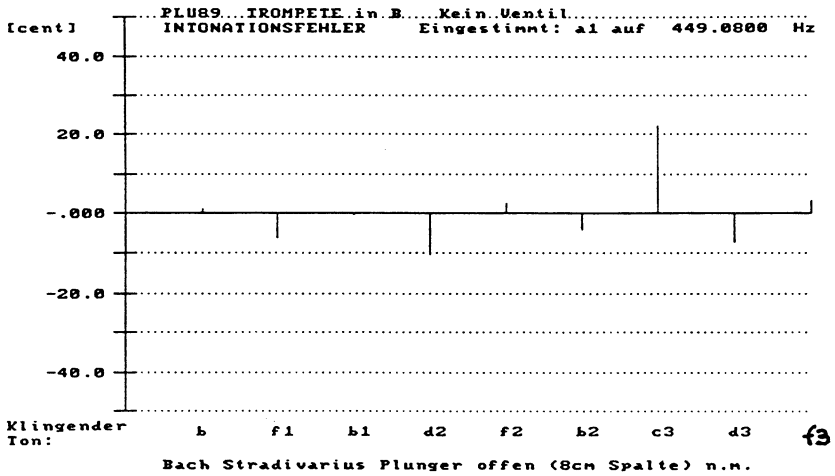
In der Praxis ist es üblich, die Spaltgröße derart zu variieren, daß der Ton ungefähr spielbar ist.

3.6.6.3. Intonation

Eine exakte Stimmung wird von den meisten Spielern gar nicht angestrebt, da dieser Dämpfertypus "dirty" klingen soll. Die Tonhöhen werden in der Praxis stark moduliert. Glisssandi, "ziehen", "schmieren", "fallen lassen", etc. sind Spieltechniken, die mit dem Gebrauch des Plungers verbunden werden. Dennoch wurde in dieser Arbeit die Auswirkung des Plungers auf die Intonation untersucht, um die objektiven Möglichkeiten darzustellen.



Die Abb. 68: Die zusätzliche Resonanz bei der Trompete mit geschlossenem Plunger wirkt sich drastisch auf die Intonation aus. Die zweigestrichene Oktave ist mit exakter Stimmung nicht spielbar. Die Töne *d2* und *f2* sind über 40 Cent zu tief, das *b2* und *c3* liegen um 40 Cent zu hoch.



Die Abb. 69: Die Intonation der Trompete mit geöffnetem Plunger ist wesentlich besser als beim geschlossenen. Die Gesamtstimmung liegt etwas höher (*a1* = 449 Hz). Dies ist etwas problematisch, da ein Ausgleich mit dem Stimmzug aufgrund des Bewegungsablaufes nicht sinnvoll ist. Die zusätzliche Resonanz beim geöffneten Plunger liegt relativ hoch und beeinflußt nur die Frequenzen über 800 Hz. Kaum richtig intonierbar ist nach dieser Messung nur das klingende *c3*.

Wie bereits erwähnt, ist die richtige Intonation kein wichtiges Kriterium für das Spiel mit dem Plunger. Das Vergrößern des Spaltes bewirkt in den meisten Fällen eine verbesserte Stimmung. Das völlige Entfernen des Plungers ist oftmals nicht zu unterscheiden vom Spielen mit sehr großem Spalt, da dieser Dämpfer selten in einer statischen Position verharrt.

3.6.6.4. Klangfarbe

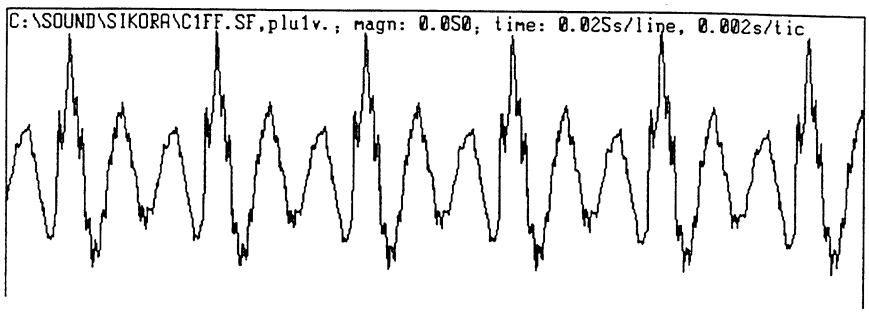


Abb. 70: In der Zeitfunktion eines klingenden b im Fortissimo mit geschlossenem Plunger erkennt man bereits den starken dritten Teilton in diesem Klang. Die Periode gliedert sich in jeweils drei Maxima. (Die Charakteristik der Zeitfunktion ist sehr Amplituden- und Frequenzabhängig. Allgemeine Aussagen sind daher kaum möglich.)

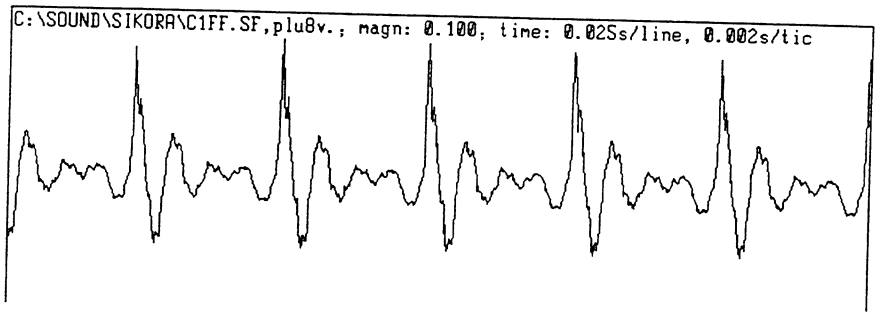


Abb. 71: Im Vergleich mit der Zeitfunktion des klingenden *b* im Fortissimo beim geschlossenen Plunger, ist beim geöffneten Plunger das Hauptmaximum wesentlich spitzer. Eine Pulscharakteristik deutet auf einen hohen Teiltongehalt hin.

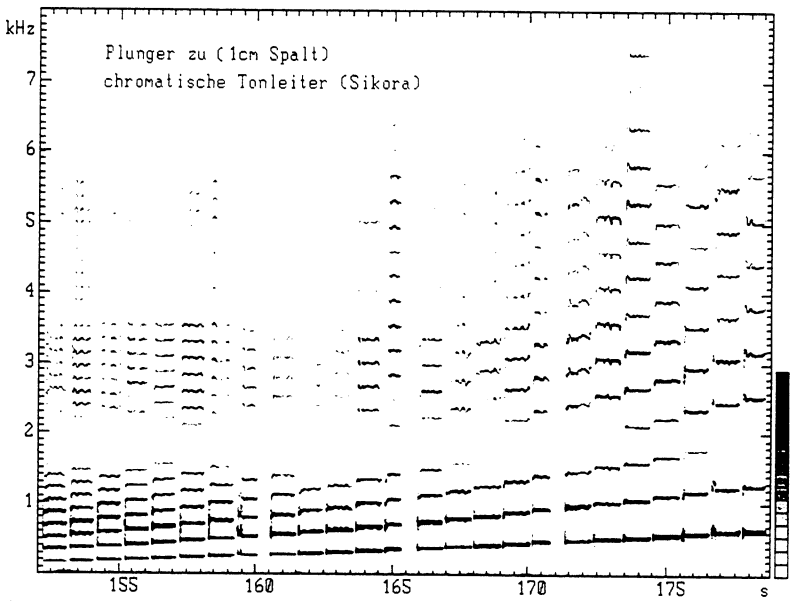


Abb. 72: Die Abbildung zeigt ein Spektrogramm (bis 8 kHz) einer chromatischen Tonleiter, mit dem geschlossenen Plunger gespielt. Besonders auffallend sind die schwachen und daher hellen oder unsichtbaren Teiltöne um 1700 Hz, sowie die relativ starken und daher dunklen Teiltöne um 650 Hz. Da diese schwach- bzw. bevorzugt abgestrahlten Frequenzgebiete unabhängig von der gespielten Grundtonhöhe sind, ist es möglich, von Antiformanten und Formanten zu sprechen.

Die Intensität der Obertöne wird beim untersuchten Plunger durch folgende Formanten und Antiformanten bestimmt:

Formanten (Hz) beim geschlossen Plunger (1cm Spalt)

600-700	2200-3200	5300

Antiformanten

1630-1830	4900	6100

Formanten (Hz) beim offenen Plunger (8 cm Spalt)

850-920	2100	3200-3400	6300

Antiformanten

1500-1600	2750	5100	9200-9400

Die Anzahl der erkennbaren Formanten ist von der Dynamik abhängig.

Die tiefe dunkle Klangfarbe beim geschlossenen Plunger ist durch den tiefen Hauptformanten um 650 Hz geprägt. Der Klangunterschied zwischen geschlossem und offenem Plunger gab dem Plunger den lautnachahmenden Namen "Doo - Wah" - Dämpfer. Die onomatopoetische Klangverwandtschaft mit dem Vokal "o" ist beim geschlossenen Dämpfer hörbar und wurde untersucht. Die Klangverwandtschaft mit dem Vokal "o" ist auch optisch darstellbar:

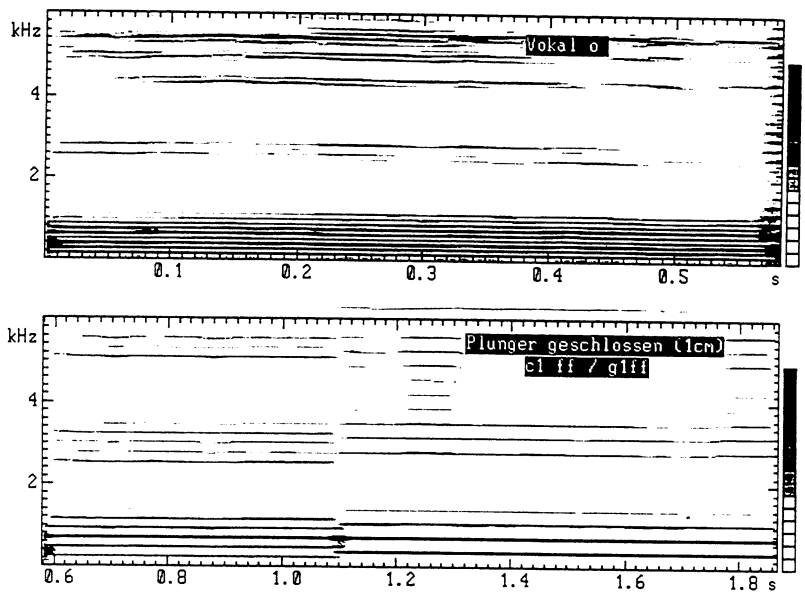


Abb. 73: Der Vergleich der Spektrogramme (bis 6 kHz) vom Klang der Trompete mit geschlossenem Plunger und dem Vokal "o" zeigt eine starke Ähnlichkeit in der Lage der Formanten. Besonders stark sind die Teiltöne unter 1000 Hz. Weitere gemeinsame Formanten liegen um 3000 Hz und um 5000 Hz.

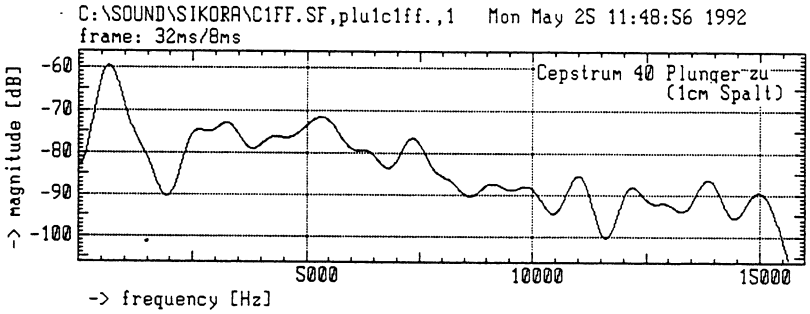


Abb. 74: Der Hauptformant der Trompete mit geschlossenem Plunger liegt um 600 Hz. Der dominierende Antiformant liegt um 1700 Hz. Die weiteren Intensitätsunterschiede sind nicht so stark.

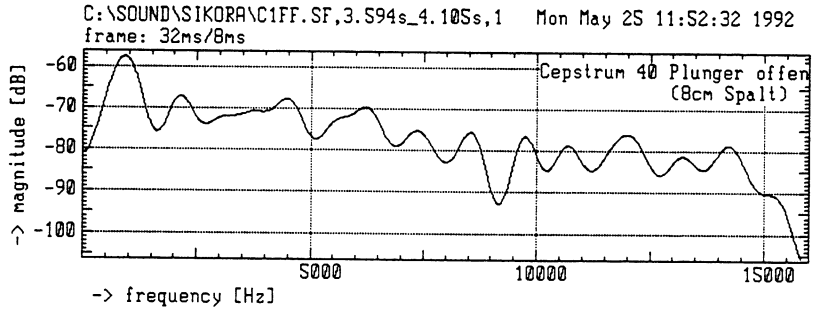


Abb. 75: Der Hauptformant bei der Trompete mit geöffnetem Plunger liegt (um 200 Hz) höher als beim geschlossenen Plunger. Die stärksten Teiltöne sind die um 880 Hz und liegen näher beim Formantgebiet der Trompete ohne Dämpfer (1120-1500 Hz). Der Antiformant (um ca. 1550 Hz) liegt beim kleinen Spalt etwas tiefer als beim großen Spalt.

Das Differenzspektrum zeigt den Unterschied zwischen dem Mittelwertspektrum der Trompete ohne Dämpfer und der Trompete mit Plunger.

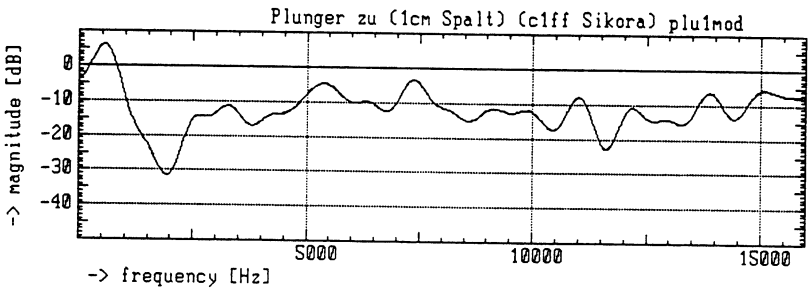


Abb. 76: (Plunger zu) Das Differenzspektrum zeigt, daß beim geschlossenen Plunger die tiefen Frequenzen gegenüber der Trompete ohne Dämpfer nicht abgeschwächt sind , sondern im Gegenteil noch stärker im Klang enthalten sind. Bis zu 30 dB schwächer sind die Teiltöne beim Antiformant um 1700 Hz.

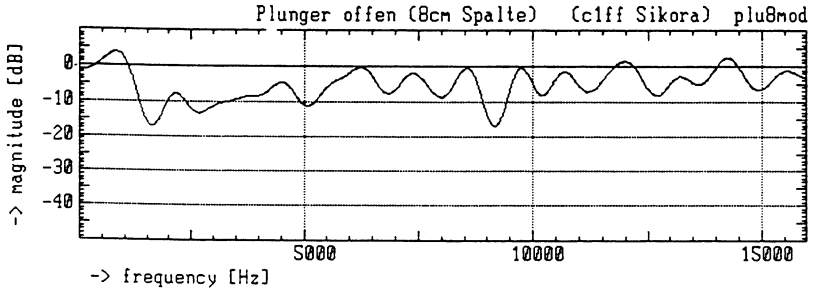


Abb. 77: (Plunger offen) Die Differenz zwischen dem Spektrum ohne Dämpfer und dem geöffneten Plunger ist wesentlich geringer. Die größten Unterschiede liegen bei den Antiformanten um 1550 Hz und 9300 Hz.

Die Klangfarbe wurde von den Trompetern in der Umfrage vor allem mit den folgenden Adjektiven beschrieben:

geschlossen (+):

dumpf, introvertiert, verhalten, verwaschen, gequetscht, leise, sprechend, quäkend, dunkel, hohl;

offen (o):

weniger dumpf, fast normal, heller und klarer als geschlossen, düster, mild, warm;

3.6.6.5. Dynamik

Die oben angeführten Formanten und Antiformanten gelten für den gesamten Dynamikumfang. Dies zeigen die dreidimensionalen Spektren:

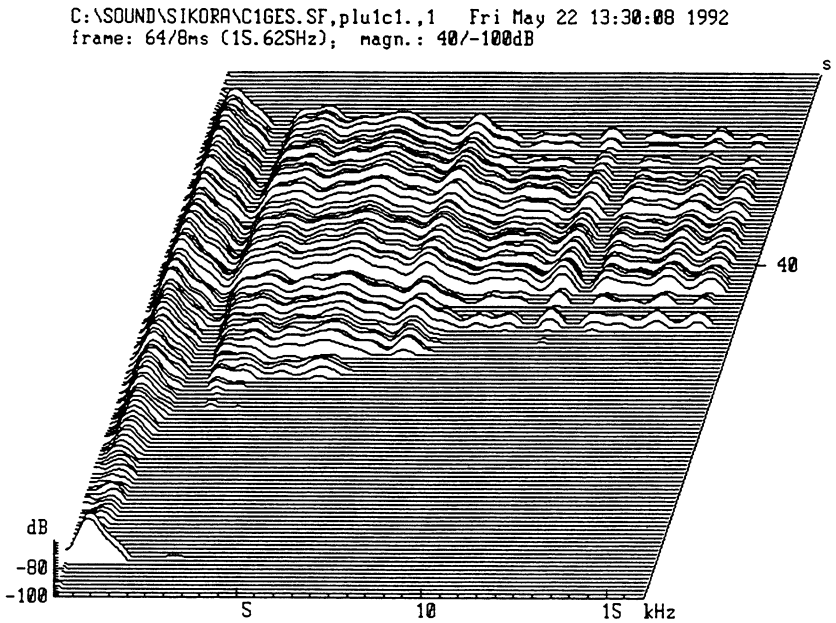


Abb. 78: Die Abbildung zeigt ein Crescendo des klingenden *b* vom Pianissimo zum Fortissimo mit dem geschlossenen Plunger. Die Maxima und Minima, die Formanten und Antiformanten verschieben sich trotz ansteigender Dynamik nicht. Im Piano ist nur der Hauptformant um 600 Hz erkennbar, der auch bei der ansteigenden Lautstärke dominiert.

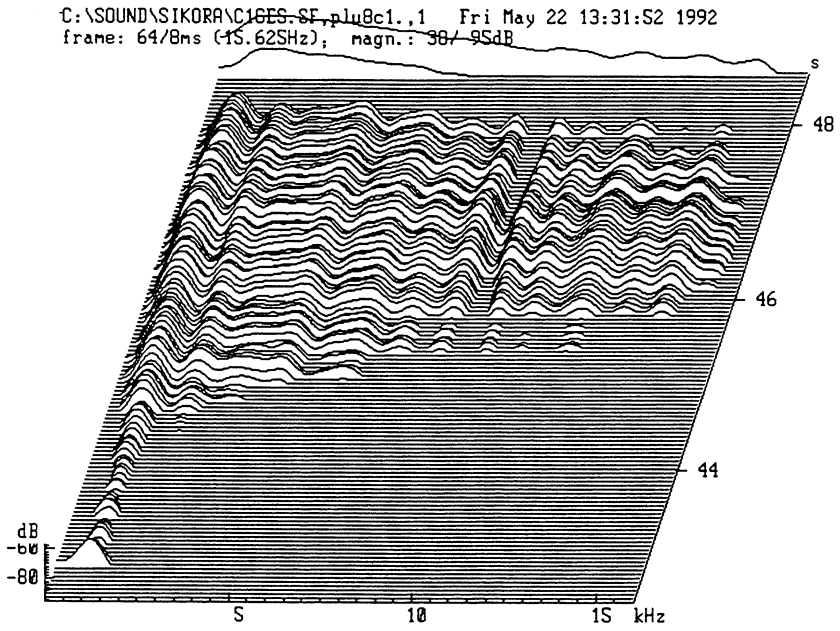


Abb. 79: Beim offenen Plunger dominiert im gesamten Dynamikbereich der Formant um 880 Hz.

Die Messung der abgestrahlten Energie bei einem Crescendo ermöglicht die Beurteilung des Dynamikumfangs in der tiefen Lage.

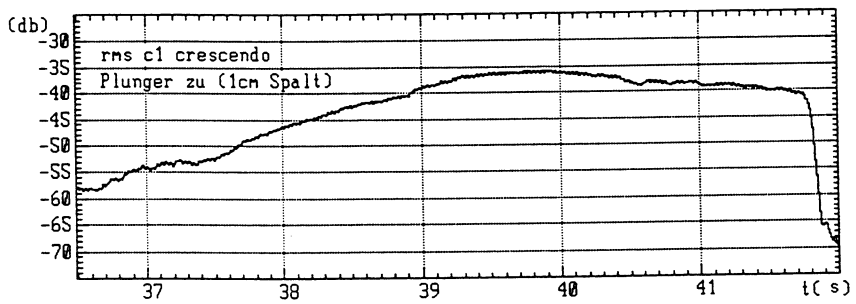


Abb. 80: Die abgestrahlte Energie beim geschlossenen Plunger wächst bei dem Crescendo um ca. 22 dB an. Der Dynamikumfang ist geringer als bei der Trompete ohne Dämpfer. Im Pianissimo ist der Klang durch die etwas schwierigere Ansprache sogar etwas lauter (2dB). Beim Fortissimo klingt der Ton um etwa 6 dB leiser. Dies entspricht ca. einer Dynamikstufe. (Physikalisch ist die Intensität halb so stark.)

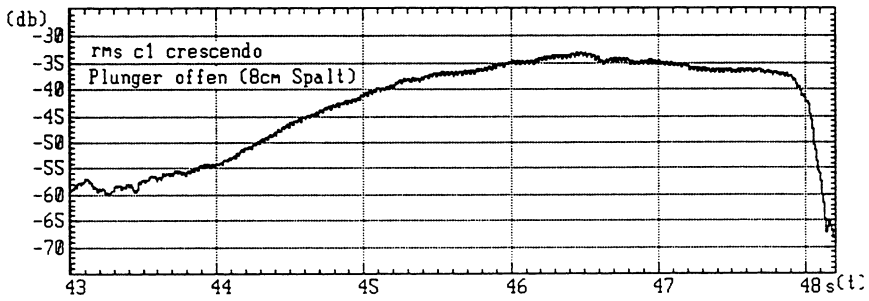


Abb. 81: Der Dynamikumfang unterscheidet sich beim geöffneten Plunger nur kaum von dem der Trompete ohne Dämpfer. Er beträgt ca. 27 dB. Lediglich im Fortissimo ist die abgestrahlte Energie um 3 dB geringer.

3.6.6.6. Besonderheiten und Anwendungsgebiete

Der Plunger wird fast ausschließlich im Jazz und in der Unterhaltungsmusik eingesetzt. Meistens beim eher "sinnlichen Jazz" wie z.B.beim Blues, der introvertiert gespielt wird. Er erklingt aber auch in der "Barmusik", Tanzmusik und bei Boogies. Solistisch verwendet wurde er von fast allen großen Jazztrompetern von Louis Armstrong bis Miles Davis. Auch im Big Band-Spiel kommt der Plunger zum Einsatz. Als ein Beispiel wurde in der Umfrage das Stück "Apple Honey" der Woody Herman Big Band erwähnt.

Der Plunger dient vorwiegend dazu, bestimmte Effekte zu erzeugen. Bei gekonnter Verwendung kann der Klang so verändert werden, daß es nach Singen oder Sprechen klingt. Von manchen wird diese spezielle Spielweise als"Growl-Technik" oder "Dschungel - Stil" bezeichnet.
Die Wirkung der Effekte wird häufig durch die Dynamik unterstützt. Geschlossen (+) wird der Ton leiser, offen (o) wird er lauter gespielt. Außerdem werden oft verschiedenste Spieltechniken, wie z.B. die Flatterzunge, und unterschiedlichste Artikulationsweisen mit dem Gebrauch des Plungers kombiniert.

Typisch ist der "Doo-wah" Klang, der beim Öffnen des Spaltes entsteht. Dieser wurde bei Glenn Miller als stilprägender Effekt im Bläsersatz verwendet.

Betrachtet man das akustische Verhalten des Plungers, so birgt das für den Spieler sehr viele Probleme. Eine richtige Intonation ist mit dem geschlossenen Plunger ab der mittleren Lage kaum möglich. Die Ansprache ist ebenfalls bei einigen Tönen schlecht, bzw. die Töne können zwischen zwei benachbarten Resonanzen umschnappen.

Durch den vorwiegenden Einsatz als Effektmittel stellt die schlechte Intonation für die meisten Trompeter kein Problem dar.

4. Zusammenfassung

Nach eingehender Beschäftigung mit den verschiedenen Dämpfertypen gelangt man zur Gewißheit, daß beträchtliche Unterschiede zwischen den untersuchten Arten bestehen. Die Unterschiede sind nicht nur in der für den Hörer wahrnehmbaren Klangfarbe vorhanden, sondern auch in den für die Spieler wichtigen Kriterien. Die Intonation und Ansprache werden auf verschiedene Weise beeinflußt. Dies zeigen die Intonationsgrafiken und Impedanzkurven in den jeweiligen Kapiteln.

Mit Außnahme des Velvet Dämpfers entstehen durch (alle anderen untersuchten) Dämpfer zusätzliche Resonanzen im gekoppelten System "Spieler - Instrument", die als Hauptursache für das veränderte akustische Verhalten zu sehen sind. Dies konnte anhand der Eingangsimpedanzmessungen eindeutig gezeigt werden.

Die Klangcharakteristiken der untersuchten Dämpfer werden vorwiegend durch ihre Formanten und Antiformanten bestimmt. Sie dominieren den spektralen Aufbau des Klanges, unabhängig von der gespielten Tonhöhe. Die Frequenzgebiete (bzw. die Mittelfrequenzen) sind auf Seite 83 tabellarisch angeführt.

In den folgenden drei Abbildungen stehen die Klänge der verschiedenen Typen nebeneinander in einem Spektrogramm. Man erkennt die stärkeren Teiltöne an der dunkleren Schattierung, die schwächeren an der hellen oder gar fehlenden Graustufe. Zur exemplarischen Darstellung wurden Klänge im Fortissimo gewählt. Beim Fortissimo sind auch die hohen Teiltöne stark ausgeprägt:

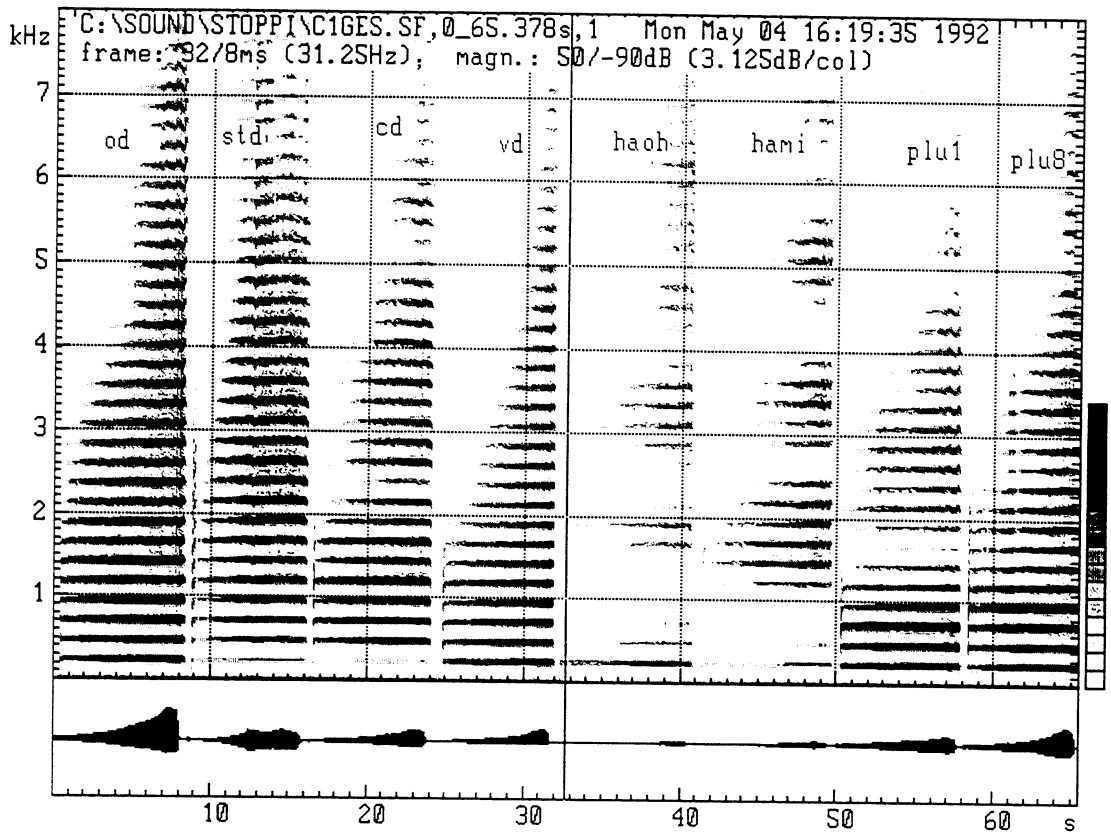


Abb. 82: der Klang eines klingenden kleinen *b* (jeweils mit einem Crescendo gespielt).

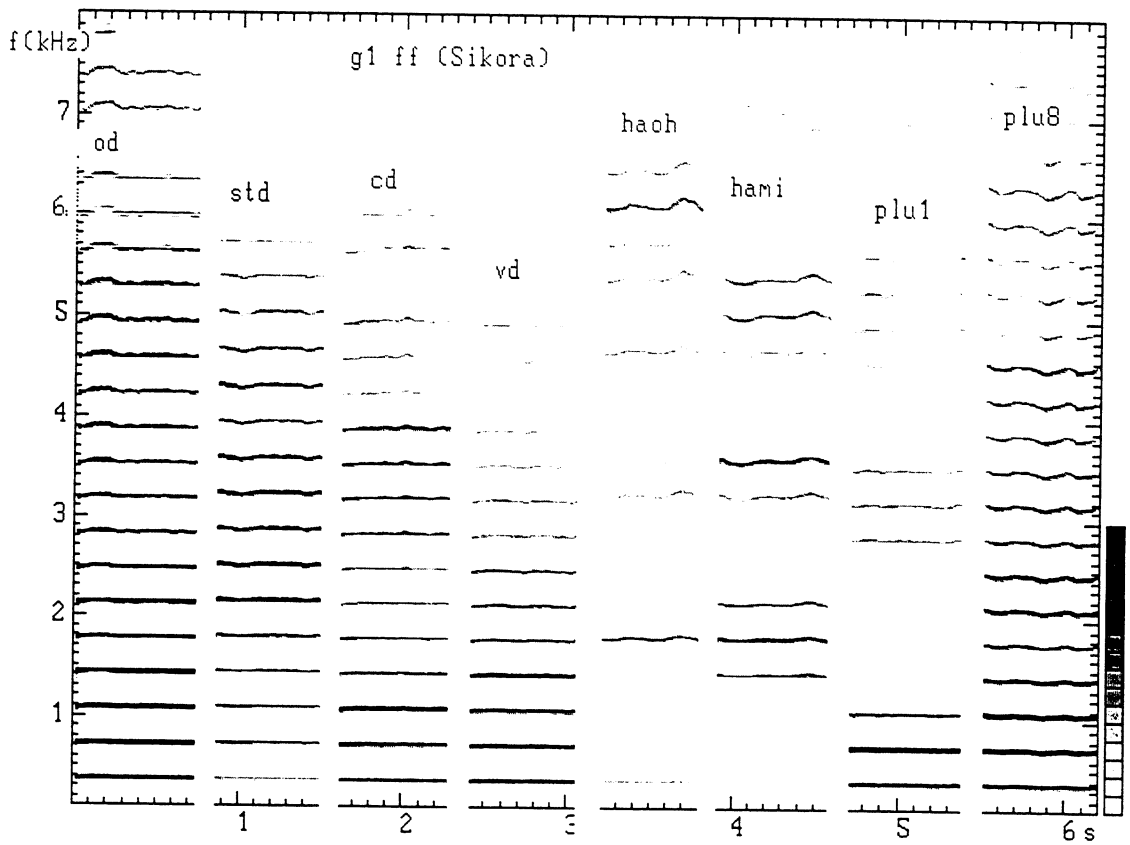


Abb. 83: das *g1* (klingend *f1*).

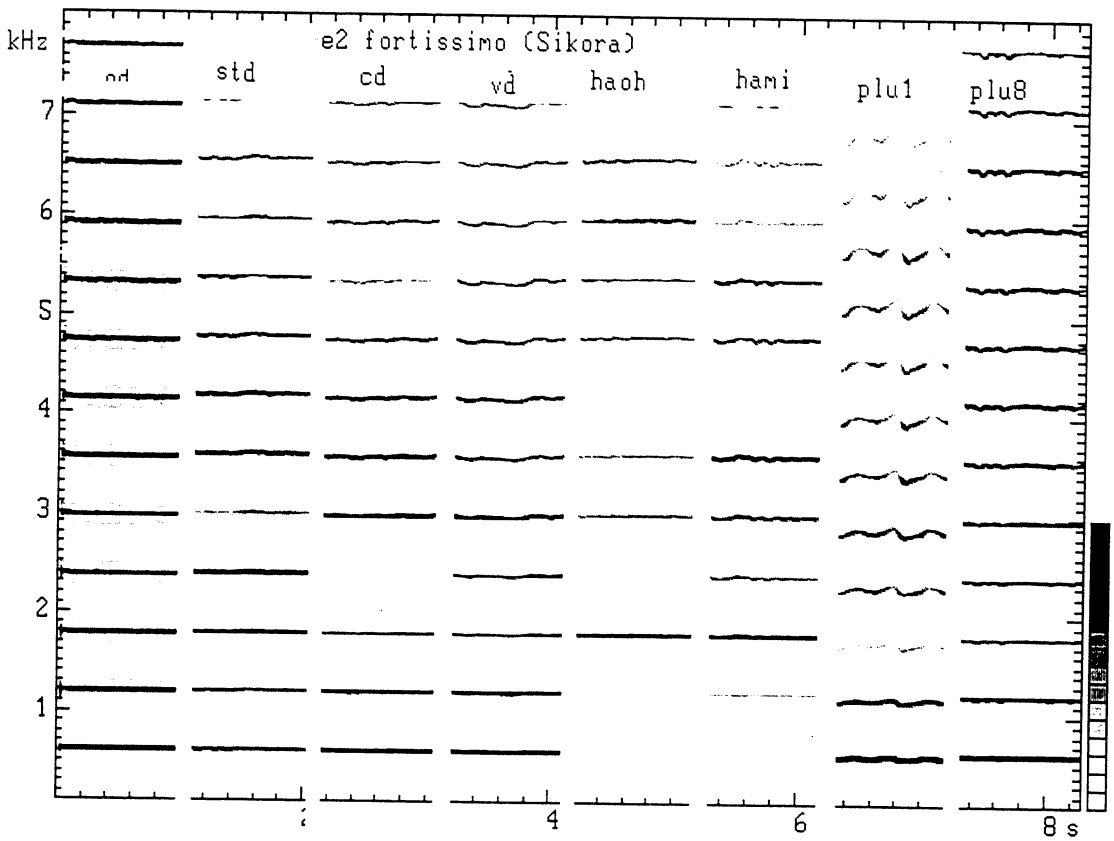


Abb. 84: das *e2* (klingend *d2*).

Formanten und Antiformanten

ohne Dämpfer

Formant (Hz)	1120-1500

Straight Dämpfer

Formanten (Hz)	1080	1800-2500	3430	4350	5270	6890	
Antiformanten (Hz)	580	1300	3020	3950	4920	6520	7470

Cup Dämpfer

Formanten (Hz)	um 1200	2870	um 3700	4600	5600-6200
Antiformanten (Hz)	2330	3340	4300	5100-5250	

Velvet Dämpfer

Formant (Hz)	850-1400

Harmon Dämpfer ohne Tubus

Formanten (Hz)	(f0)	1830	3000-3500	4650	6280	8700	9700
Antiformanten (Hz)		1250	2380	4100	7700		10300

Wah - Wah (Harmon Dämpfer mit Tubus)

Formanten (Hz)	1780-1840	3500	5180	6960	8550	12150
Antiformanten (Hz)	650-750	2600-2800	4200	5860	7600	

Plunger geschlossen (1 cm)

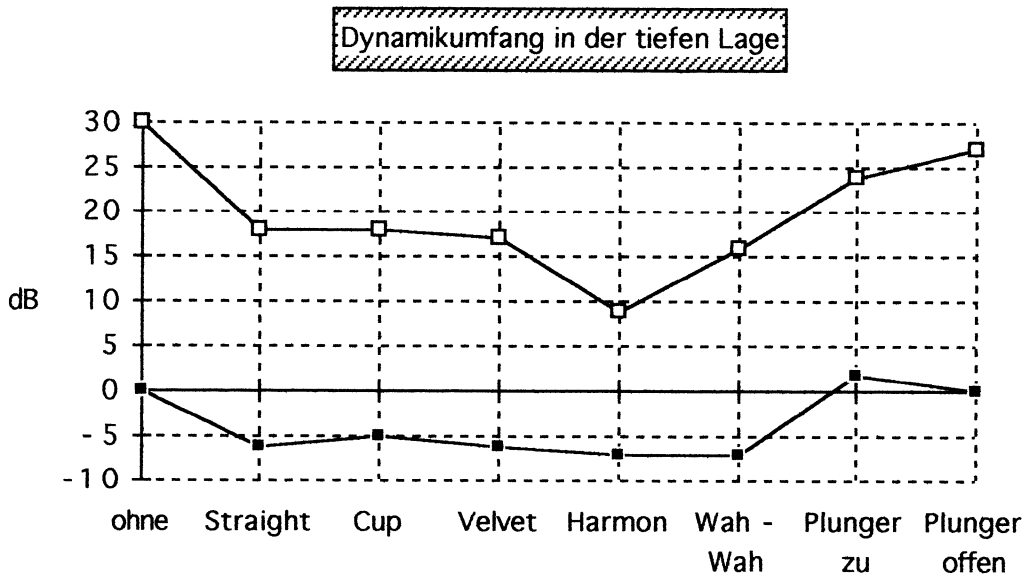
Formanten (Hz)	600-700	2200-3200	5300
Antiformanten (Hz)	1630-1830	4900	6100

Plunger offen (8 cm)

Formanten (Hz)	850-920	2100	3200-3400	6300
Antiformanten (Hz)	1500-1600	2750	5100	9200-9400

Dynamik

Die naheliegendste Auswirkung des Dämpfer, die Reduktion der abgestrahlten Lautstärke, wurde anhand eines Crescendos des klingenden kleinen *b* untersucht. (Der Dynamikumfang ist bei der Trompete ohne Dämpfer in der tiefen Lage am größten.) Von allen vermessenen Typen vermindert der Harmon Dämpfer die abgestrahlte Schallenergie am meisten. Das Forte-Spiel wird für den Bläser kaum möglich. Aufgrund bestimmter Formantbereiche, bei denen das menschliche Gehör besonders empfindlich ist, können die gedämpften Klänge im Fortissimo jedoch als sehr scharf und durchdringend empfunden werden.
Mit dem Straight, Cup und Velvet Dämpfer ist es möglich, ca. halb so laut zu spielen (-6 dB) wie ohne Dämpfer. Der Harmon und der Wah-Wah Dämpfer klingen noch etwas leiser. Der Plunger hat die geringste Auswirkung auf die abgestrahlte Lautstärke. Die Ergebnisse der Untersuchung wurden im nachfolgenden Diagramm zusammengefaßt.



Das Diagramm ermöglicht den Vergleich des Dynamikumfangs der Trompete ohne Dämpfer mit dem der untersuchten Typen. Die untere Linie zeigt die relativen Amplituden beim Pianissimo und die obere beim Fortissimo. Der Abstand entspricht dem Dynamikumfang zwischen den beiden Extremen.

5. Literaturverzeichnis

Aebi, Willi

1969 Das Waldhorn und seine innere Akustik, in: Schweizerische Bauzeitung Jg. 87 Nr. 38 (Zürich)

Altenburg, J. E.

1795 Trompeter und Paukerkunst. (Halle)

Berlioz,V. / Strauss, R.

1905 Instrumentationslehre. (Leipzig)

Backus, John

1976 Input impedance curves for the brass instruments, in: Journal of Acoustical Society of America, Vol 60, No 2. S. 470-80

1977 The acoustical Foundation of music. (New York, London)

Bate, Philip

1978 The Trumpet and Trombone. (London) Benn

Benade, Arthur H.

1976 Fundamentals of musical acoustics. Reprint 1990 Dover Publications (New York)

1988 Blechblasinstrumente. in: Die Physik der Musikinstrumente. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung (Heidelberg) S. 44-55

Berner, Alfred

1966 Geschichte der Trompeteninstrumente, in: Die Musik in Geschichte und Gegenwart 13, (Kassel) S. 771-793

Bevan, Clifford

1984 Mute. 2. Wind, in: The New Grove Dictionary of Musical Instruments, Stanley Sadie (ed.) (London, New York) Macmillan Press

Bogner, Matthias

1992 Akustische Meßverfahren für Trompeten, in: Das Orchester 3 (Mainz) Schott Verlag

Bouasse, H.

1929 Instruments à vents. (Paris) Librairie Delagrave

Burghauser, Jarmil; Spelda, Antonin

1971 Akustische Grundlagen des Orchestrierens. Handbuch für Komponisten, Dirigenten und Tonmeister. (Regensburg) Bosse Verlag

Deutsch, Werner A.

1989 Sound Tools: Konzept und Entwicklung einer Arbeitsstation zur digitalen Analyse und Bearbeitung von Musik, in: Das Instrumentalspiel (Wien) S. 309-323

Deutsch, Werner A.; Noll,Anton

1991 S_Tools - Integrierte Arbeitsstation für Musik, Sprache und digitale Signalverarbeitung. Benutzerhandbuch (Wien)

Escher, Wolf

1991 Die Trompete im Jazz. Reihe Jazz Bd 13. (Wien) Universal Edition

Födermayr, Franz
1971 Zur gesanglichen Stimmgebung in der außereuropäischen Musik, in: Musicologica et Linguistica (Nr. 24, 2 Bde) (Wien)

Graf, Walter
1967 Zur sonagraphischen Untersuchung von Sprache und Musik, in: Beitr. z. Kenntn. SO-Europas u. d. Nahen Orients 2, (München) S. 40-55
1969 Die musikalische Klangforschung. Wege zur Erfassung der musikalischen Bedeutung der Klangfarbe. Musik und Gesellschaft 6 (Karlsruhe)

Helmholtz, H.
1977 Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik (Braunschweig)

Herkner, Werner A.
1969 Der Ausdruck der Klangfarben von Musikinstrumenten. (Wien)

Heyde Herbert
1980 Trompeten, Posaunen, Tuben. (Leipzig)

Kunitz, Hans
1961 Die Instrumentation Bd. 7 Die Trompete. (Leipzig) Breitkopf & Härtel

Kurka, Martin J.
1961 (?) A study of the acoustical effects of mutes on wind instruments. (Chicago)

Martin, D.W.
1942 Lip Vibrations in a Cornet Mouthpiece in: Journal of Acoustical Society of America, Vol 13 S. 305

Mersenne, M.
1636-7 Harmonie universelle. (Paris)

Mertens, H.
1975 Die Schumannschen Klangfarbengesetze und ihre Bedeutung für die Übertragung von Sprache und Musik. (Frankfurt)

Meyer, Jürgen
1980 Akustik und musikalische Aufführungspraxis. Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten, in: Fachbuchreihe Das Musikinstrument 24 (Frankfurt am Main)

Meyer, Jürgen; Wogram, Klaus
1970 Die Richtcharakteristiken von Trompete, Posaune und Tuba. in: Das Musikinstrument 19 (Frankfurt am Main) S. 171-192

Müller, Ulrich
1971 Untersuchungen zu den Strukturen von Klängen der Clarin- und Ventiltrompete, in: Kölner Beiträge zur Musikforschung. (Regensburg)

Ossman, T.; Pichler, H.; Widholm, G.
1989 BIAS - A Computer Aided Test System for Brass Instruments. Preprint 2834 (K-6) für "the 87th Convention" der AES (New York)

Osthoff, Wolfgang
1956 Trombe Sordine, in: Archiv für Musikwissenschaft 13. (Trossingen)

Schröder, M.

1954 Die statistischen Parameter der Frequenzkurven von großen Räumen, in: Acoustica 4, 594-600

Smithers, Don; Wogram, Klaus; Bowsher, John

1988 Das Spiel auf der Barocktrompete, in: Die Physik der Musikinstrumente. Spektrum der Wissenschaft: Verständliche Forschung (Heidelberg) S. 56-63

Stauder, Wilhelm

1966 Akustik der Trompeteninstrumente, in: Die Musik in Geschichte und Gegenwart 13, (Kassel) S. 763-770

Steinkopf, Otto

1983 Zur Akustik der Blasinstrumente. (Celle)

Tarr, Edward

1977 Die Trompete. Ihre Geschichte von der Antike bis zur Gegenwart. (Bern, Stuttgart) Hallwag Verlag

Weber, Michael; Jena,Stefan; Hubek, Johannes; Noll, Anton

1992 Zur Frage des Trompetendämpfers bei W. A. Mozart (Wien)

Widholm, Gregor

1990 Einführung in die Musikinstrumenten- und Psychoakustik. Skriptum zum internen Gebrauch an der Hochschule für Musik in Wien (Wien)

1992 BIAS - Ein Computer hilft dem Musiker : in Österreichische Hochschulzeitung Wien Nr. 11 Jg. 1992 S. 14-16.

Widholm, Gregor; Sonneck, Gerald

1987 Wiener Horn versus Doppelhorn (Wien) Verlag WWV

Winckel, Fritz

1958 Klangwelt unter der Lupe. Ästhetisch-Naturwissenschaftliche Betrachtungen. (Berlin und Wunsiedel) Max Hesses Verlag

1960 Phänomene des musikalischen Hörens. (Berlin) Max Hesses Verlag

1967 Music, Sound and Sensation. (New York) Dover Publications, Inc.

Winkler, Werner; Widholm, Gregor; Pichler, Heinrich

1992a Computer Aided Measurement and Theoretical Models of Interaction of Musicians and Brass Instruments. Preprint 2834 für "the 92th Convention in Vienna" der AES (New York)

1992b Simulation von Musikinstrumenten (und Musikern) in: Proceedings FASE - Congress 1992 Zürich, Switzerland S. 237-240

1992c Rechnergestützte Messung der Parameter von Blechblasinstrumenten in: Proceedings FASE - Congress 1992 Zürich, Switzerland S. 241-244

Winkler, Werner; Widholm, Gregor;

1992d Anwendungen rechnergestützter Methoden in der Musizierpraxis in: Proceedings FASE - Congress 1992 Zürich, Switzerland S. 245-248

Wogram, Klaus

1989 Akustische Auswahlkriterien bei Blechblasinstrumenten, in: Das Instrumentalspiel (Wien) Verlag Doblinger, S. 119-136

Der Fragebogen

Titel: Umfrage über den Versuch einer Klangfarbenbeschreibung von Trompetendämpfern

I) - Fragen zur Person :

Name, Vorname, Orchester / Band, Jahre an Spielerfahrung,
Status (Professioneller-, Semi-professioneller Trompeter oder Amateurtrompeter)

II) - Welche Dämpfertypen besitzt der Befragte :

1. Spitz-, bzw Straight Dämpfer (Firma ?- Material ?)
2. Cup Dämpfer (Firma ?- Material ?)
3. Harmon,-bzw. Wah-Wah Dämpfer (Firma ?- Material ?)
4. Velvet-Tone , bzw. Bucket Dämpfer (Firma ?- Material ?)
5. Plunger bzw. Doo-Wah Dämpfer (Firma ?- Material ?)
6. andere (wie z.B.: Mel-O-Wah; Mic-A-Mute; Mega-Mute Wee-Zee; Clear-Tone; Buzz Wow; Derby; Bubble) :

III) - Erläuterung der nachfolgenden Fragen:

a) Klangfarbenbeurteilung: Bitte nennen Sie einige Adjektive, die die Klangfarbe im Mezzoforte in der mittleren Lage beschreiben. Nachstehend können Sie Abweichungen in hoher oder tiefer Lage, bzw im pp oder ff notieren. (Beispiele für Adjektive siehe unten)
b) Für welche Klangvorstellung setzen Sie den Dämpfer ein, bzw. wofür wird der Dämpfer Ihrer Meinung nach von Komponisten eingesetzt ?
c) Wie ist Ihr subjektiver Eindruck über die Intonationsänderung und Ansprache bei diesem Dämpfer (z.B.In welcher Lage sprechen die Töne schlechter an ? Müssen Sie die Stimmung mit dem Ansatz korrigieren ? .....)
d) Typische Musikbeispiele aus der Literatur für Trompete aus Klassik oder Jazz .

IV) - Oben angeführte Fragen zu den einzelnen Dämpfertypen

1.) Der Spitz-, bzw. Straight Dämpfer
2.) Der Cup Dämpfer
3.) Der Harmon,- bzw. Wah-Wah Dämpfer
   a.) Klangfarbe mit Rohreinsatz (with tube)
   b.) ohne Rohreinsatz (without tube)
4.) Der Velvet-Tone , bzw. Bucket Dämpfer
5.) Der Plunger bzw. Doo-Wah Dämpfer
   a.) Klangfarbe bei 1.cm Spalt (zu):
   b.) Klangfarbe bei 8.cm Spalt (offen):

V) - Freiraum für sonstige Anmerkungen

VI.) - Beispiele von Adjektiven zur Klangfarbenbeschreibung:

blechern, dick, dumpf, dunkel, dünn, durchdringend, eng, gequetscht, gläsern, grell, groß, hell, hohl, kalt, klein, klirrend, metallisch, mild, näselnd, prägnant, quäkend, rauh, rauschend, sanft,scharf, schneidend, schreiend, schrill, spitz, strahlend, stumpf, summend, trocken, verhalten, verwaschen, warm, weich, zart;

Angaben zur Umfrage

Teilgenommen haben die folgenden 25 Trompeter.

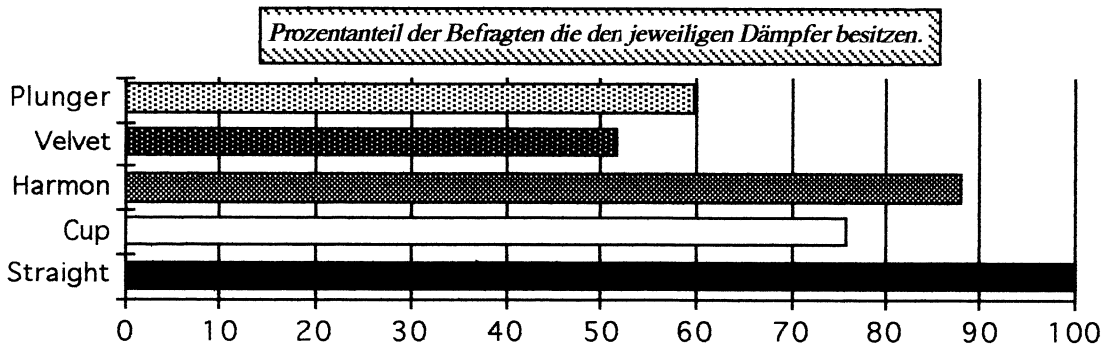
Name	*Orchester / Band*	*Land*
Bammer, Josef	---	A
Blecher, Tobias	---	D
Bodenröder, R.	Südwestfunk Sinfonieorchester	D
Cernek, Gerhard	Andy Lee Lang	A
Gaebelein, Erich	Teddy Ehrenreich Big Band	A
Gansch, Johann	Wiener Philharmoniker	A
Gläser, Alexandra	Uni Big Band Wien	A
Guttanecht, Karin	Big Band Kirchzarten	D
Hof, Manfred	Sinfonie Orchester Köln	D
Hofmann, Robert	Rheinische Philharmonie Koblenz	D
Huber, Peter	HORNS TOBE WILD	A
Kolar, Markus	---	A
Lamprecht, Ernst	ORF BigBand	A
Maisch, Michael	Big Band Karlsruhe	D
Pachinger, Gerald	Pent-A-Ton Ensemble	A
Ottlakan, Györky	---	D
Politzer, Robert	R. Österreicher Big Band	A
Preisl, Gerald	Klangforum Wien	A
Reinhart, Carole Dawn	---	A
Sikora, Christoph	---	A
Stoppacher, Manfred	Vereinigte Bühnen Wien	A
Vetter Isabella	TU - Orchester Wien	A
Vetter, Gert	Swing Time Big Bamd	A
---	Wiener Symphoniker	A
---	Symphoniker Trier	D

Statistik

Nach Angabe der Befragten sind 13 Trompeter Profis und 12 Semi-Profis oder Studenten.
Die Summe der Spielerfahrung: 542 Jahre !
Die durchschnittliche Spielerfahrung beträgt 22,5 Jahre.
Insgesamt gaben 17 österreichische und 8 deutsche Trompeter den Fragebogen ausgefüllt zurück.
(Verteilt wurden mehr als 120 Fragebögen.)
10 Spieler spielen vorwiegend Jazz, 10 Spieler sind "klassische" Trompeter und 5 konnten keiner Spielrichtung zugeordnet werden.

Von 25 Befragten hatten

- alle **25** zumindest einen **Straight** Dämpfer,
- **19** zumindest einen **Cup** Dämpfer,
- **13** wenigstens einen **Velvet** Dämpfer,
- **22** zumindest einen **Harmon** bzw. **Wah-Wah** Dämpfer und
- **15** wenigstens einen **Plunger**.



Die Befragten verwenden nach eigenen Angaben folgende Dämpfer:

Straight

	Firma	Material
1	Denis Wick	Alu
1	Denis Wick	Alu
1	Denis Wick	Alu
1	Emo	Alu
1	Humes & Berg	Pappe
1	Leblanc	Metall
1	Pöltl	Holz
1	Stone Lined	Glasfiber
1	Tom Crown	Messing
1	Tom Crown	Kupfer
1	Tom Crown	Kupfer
1	Tom Crown	Metall
1	Tom Crown	Kupfer
1	Tom Crown	Metall
1	Tom Crown	Metall
1	Tom Crown	Alu
1	Tom Crown / Vacciano	Alu / Kupfer
1	Tom Crown / Vacciano	Alu
1	Tom Crown/ Yo-Ral	Kupfer / Alu
1	-	-
1	Crown und andere	Alu / Messing
1	Vacciano	Alu
1	Wick / Crown / Humes & Berg / Adagi /	Alu/Messing/Leder/Papp-Maché
1	Yo-Ral	-

Cup

	Firma	Material
1	-	-
1	Bach	Plastik
1	Denis Wick	Alu
1	Denis Wick	Plastik
1	Denis Wick	Plastik
1	Denis Wick	Pappe
1	Humes & Berg	Plastik / Alu
1	Humes & Berg	Pappe
1	Humes & Berg	Metall / Plastik
1	Humes & Berg	Holz / Pappe
1	Humes & Berg	Plastik
1	Humes & Berg / Alessi	Alu- Pappe / Messing
1	Robinson und andere	Pappe und andere
1	Stone Lined	Holz/Stoff
1	Stone Lined	Glasfiber
1	Stone Lined	Metall
1	Tom Crown	Alu
1	Yamaha	Nickel

Harmon

	Firma	Material
1	-	-
1	-	Kupfer
1	-	Alu
1	Denis Wick	Alu
1	Denis Wick	-
1	Emo	Alu
1	Gewa	Alu
1	Harmon	Kupfer
1	Harmon	Metall
1	Humes & Berg	Metall
1	Humes & Berg	Alu
1	Humes & Berg / -	Alu
1	Jo-Ral	Alu
1	Korri	Blech
1	Le Blanc	Alu
1	Robinson und andere	Pappe
1	Tom Crown	Metall
1	Tom Crown	Alu / Kupfer
1	Tom Crown	Alu
1	Tom Crown	Alu
1	True Tone	Kupfer
1	Yamaha	Plastik - Nickel

Velvet

	Firma	Material
1	(englisch)	Pappe
1	Denis Wick	Alu
1	Denis Wick	Pappe / Stoff
1	Humes & Berg	Alu / Gaze
1	Humes & Berg	Metall
1	Humes & Berg	Plastik
1	Humes & Berg	Holz / Pappe
1	Humes & Berg	Plastik
1	Humes & Berg	-
1	Humes & Berg / Stone Line	Plastik
1	Stone Lined	Glasfiber
1	Stone Lined	Metall
1	Tom Crown	Plastik

Plunger

	Firma	Material
1	Abflußreiniger	Gummi
1	-	1/2 Kokosschale
1	Abflußreiniger	Gummi
1	-	-
1	Abflußreiniger	Gummi
1	Abflußreiniger	Gummi
1	Abflußreiniger	Gummi
1	Abflußreiniger	Gummi
1	Abflußreiniger	Gummi
1	amerikan.)	Pappe ausgespritzt
1	Humes & Berg	Metall
1	Humes & Berg	Gummi
1	Humes & Berg	Plastik
1	Stone Lined	Metall

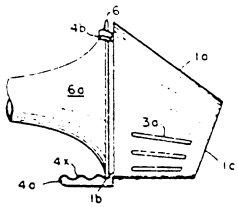
Patentschriften

3,429,215

6.3 EXTERIOR SHELL MUTE FOR BRASS MUSICAL INSTRUMENTS

Gerald H. Finch, Las Vegas, Nevada 89105
25 February 1969 (Class 84-400); filed 3 April 1967

This is an asymmetrical cup-type mute for the bell of brass instruments. It has lengthwise slots along the periphery, and is attached to the instrument bell by spring clips of hairpin



shape to provide several detent positions for varying the space between the mute and the bell.—DWM

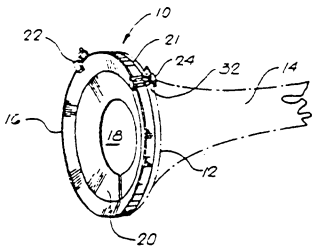
aus: JASA 48 (2) S. 481

4,998,959

43.75.Fg MUTE FOR HORN-TYPE INSTRUMENTS

Thomas Purdie, Miami Beach, FL
12 March 1991 (Class 84/400); filed 19 July 1990

This mute for brass wind instruments comprises a ring **10** secured to the rim of the bell **14** by clamps **22**, **24**, the ring containing a dish-shaped "resonating body" **16** with a central aperture **18** and a radial slit **20**. Aperture **18** is intended to permit the free flow of air and to attenuate the tonal



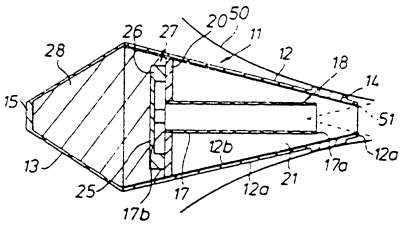
output of the instrument as little as possible while changing the tonal spectrum. Graphs included are intended to compare the tonal spectrum of a normal instrument with the spectra for various types of mutes including the present one. The unidentified ordinates are assumed to be on a decibel scale of some type.—DWM

aus: JASA 90 (3) S. 1712

4,273,021
43.75.Fq MUTES FOR WIND INSTRUMENTS

Robert D. Mackie, Nottingham, England
16 June 1981 (Class 84/400); filed 8 November 1979

This brass-instrument mute is usually called a practice mute. It is intended to reduce the loudness of an instrument without appreciably altering its tone quality, thereby enabling the player to practice in situations where other people would be annoyed by customary brass-instrument playing levels. A cork collar **14** completely plugs the bore of the instrument, forcing the air (and virtually all of the sound) to pass through the mute, rather than past it (as with the usual straight mute). The patent states that the interior of the



first cone **12** functions as an anechoic chamber by virtue of flocking applied to the inner surface **12b**. To this reviewer a more plausible explanation is that the first chamber functions as a reactive low-pass filter (shunt compliance, series mass), and that most of the absorption takes place in the second chamber **28** which is stuffed with cotton wool. The low-pass filter is presumably needed to preserve the tone quality, since the size of the radiating aperture **15** has been greatly reduced from that of the unmuted instrument.—RWP

aus: JASA 73 (2) S. 718

2,690,092
6.3 MUTE FOR WIND INSTRUMENTS

Walter C. Martin, Niles, Ohio
September 28, 1954 (Cl. 84–400); filed March 15, 1948

In the solid outer end of a conventional conical mute for brass wind instruments, a bushing is provided, within which slides a support rod for a hemispherical cup of diameter equal to that of the horn bell. The musician can vary the amount of opening between the edge of the cup and the bell of the instrument to get a range of muted tonal effects. A helical spring around the support rod tends to keep the cup away from the bell by a maximum amount determined by a stop on the inner end of the rod.—DWM

aus: JASA 27 (3)

Patented July 14, 1925. 1,546,258

UNITED STATES PATENT OFFICE.

GEORGE SCHLUESSELBURG, OF CHICAGO, ILLINOIS, ASSIGNOR OF ONE-HALF TO P. T. HARMON, OF CHICAGO, ILLINOIS.

MUTE FOR WIND INSTRUMENTS.

Application filed March 24, 1924. Serial No. 701,428.

To all whom it may concern:

Be it known that I, GEORGE SCHLUESSELBURG, a citizen of the German Republic, residing at Chicago, in the county of Cook and State of Illinois, have invented certain new and useful Improvements in Mutes for Wind Instruments, of which the following is a specification.

This invention has to do with improvements in mutes for wind instruments such as cornets, horns, etc. One object of the invention is to provide a mute of self-contained construction which can be readily set into or removed from the wind instrument; and which mute when in place will in it self provide the muting effect without depending upon the walls of the horn.

Another object of the invention is to provide a construction of mute such that the back pressure in the wind instrument will not be appreciably increased. This is a very important feature from the standpoint of reducing the strain on the player.

A further object of the invention is to so construct the mute that a very beautiful and soft tone will be produced in the operation of the wind instrument with the mute in place. In this connection, it is a further object to so construct the mute that undesirable metallic tones will be greatly eliminated.

A further object is to provide a mute having an outer shell of fixed dimension, together with an inwardly and rearwardly curved neck which is very much shorter and smaller than the shell; together with an adjustable tube within said neck which can be adjusted longitudinally thereof according to the muting action which it is desired to produce.

A further object is to so arrange the parts of the shell as to aviod trapping the air therein in a manner which will materially interfere with the free and easy delivery of the air and also in a manner which will give the desired quality of tone.

Other objects and uses of the invention will appear from a detailed description of the same, which consists in the features of construction and combinations of parts hereinafter described and claimed.

In the drawing:

Figure 1 shows a longitudinal section through a mute embodying the features of the present invention, and shows an adjustable tube in place therein, together with a funnel on the end of said tube, the tube and funnel being shown in one position by means of full lines and in another position by means of dotted lines;

Fig. 2 shows a cross section on the line 2—2 of Fig. 1 looking in the direction of the arrows;

Fig. 3 shows on small scale the manner in which the mute of Fig. 1 can be applied to the horn of a wind instrument;

Fig. 4 shows a view similar to that of Fig. 1, but illustrates a modified construction of mute; and

Fig. 5 shows still another modified construction of the device. In Fig. 5, I have also illustrated the tube without any funnel, showing the fact that the funnel itself can be used or not as desired.

Referring first to the construction shown in Figs. 1 and 2, the mute includes a circular shell 6 the body portion of which is of cylindrical form. At the outer end 7 this body portion is curved over commencing with an easy curve which extends for approximately 90°, or until the curve directly approaches the axis of the cylinder. Thereafter the curvature is greatly increased so that in the portion 8 the curvature is extremely gradual and finally terminates in a backwardly reaching neck portion 9 of substantially uniform diameter for some distance.

To the rear end of the member 6 there is rigidly secured an outwardly flared section 10, the curve of which is very easy and corresponds somewhat to the general curve of the end portion 11 of the wind instrument with which the mute is to be used.

The sections 6 and 10 may be rigidly joined together in any convenient manner; and in the construction illustrated, this is by means of interlocking flanges 12 and 13.

It is noted that the rear edge 14 of the tubular section 9 is well in advance of the rear edge 15 of the section 10, so that a very large and ample space is allowed between the rear edge 14 of the tubular section 9 and the inside face of the member 10.

The mute can be used in the form thus far described and without any supplemental attachments. It is preferred that the rear portion of the member 10 be lined with a relatively thin layer of cork or similar material 16, so that when the mute is set into

the wind instrument, it will be held securely therein in a substantially air-tight manner and rattle and other noises due to metallic contact will be eliminated.

When using the mute, it will be found that due to easy curvature at the front end of the air box the blast of air will travel down along the outer side of the annular space 17 and will be deflected rearwardly to the edge 14 of the member 9. As a consequence a partial vacuum is established within the space 17.

If desired, a supplemental attachment may be used in the form of a tube 18 which is slipped into the neck 9 and can be shifted back and forth therein as shown by the full and dotted lines in Fig. 1. In this way the rear edge 19 thereof can be adjusted with respect to the position of the rear edge 15 of the mute proper.

Preferably, the outer end of the tubular member 18 is carried well beyond the position of the neck 9, as shown for example in Fig. 5, so that the air is delivered at a point quite clear of the curved portion 3 of the mute itself.

If desired, also a funnel member 20 can be used in conjunction with the outer end of the tubular member 18, although the use thereof is optional.

In the modified construction of Fig. 4, the body portion 21 is cylindrical throughout its major portion, and its front end 22 curves inwardly towards the axis on an easy curve. This curvature continues substantially to the point of direct approach to the axis of the mute, whereby the curvature is considerably increased in the section 23. The extreme inner portion is then turned back on a rather sharp curve 24 and is continued rearwardly by a cylindrical neck 25. The member 26 is preferably longer and formed on an easier curve than the member 10 of Fig. 1, as clearly evident from Fig. 4.

Preferably the neck 25 terminates at a point in advance of the line of joinder 27 between the members 21 and 26. If desired also the supplemental tubular member 28 can be used.

In the modified construction shown in Fig. 5, the cylindrical member 29 has its forward end curved on the easy curve 30 through an amount slightly less than 180°, and then continued rearwardly in a tapering cylindrical portion 31. The rear end of this portion 31 is then curved inwardly towards the axis on the curve 32 and terminates in a rearwardly extending cylindrical neck portion 33. The rear member 34 is provided as previously, and the members 29 and 34 are joined together within a plane which approximately passes through the rear end of the neck portion 33. The supplemental member 35 may also be provided as previously. I wish to point out the fact that the annular space 17 in the several figures is not a chamber in the proper sense of the word, since the rear end of the neck member in each case terminates so far in advance of the point of entry of air into the mute that this neck constitutes merely a flange terminating the curvature of the front portion of the body of the device. In like manner the supplemental members 18, 28 and 35 respectively are not partitions in the proper sense of the word, but are simply adjustable tone varying devices which can be set into different positions according to the amount of muting action desired and according to the volume of tone which it is sought to produce.

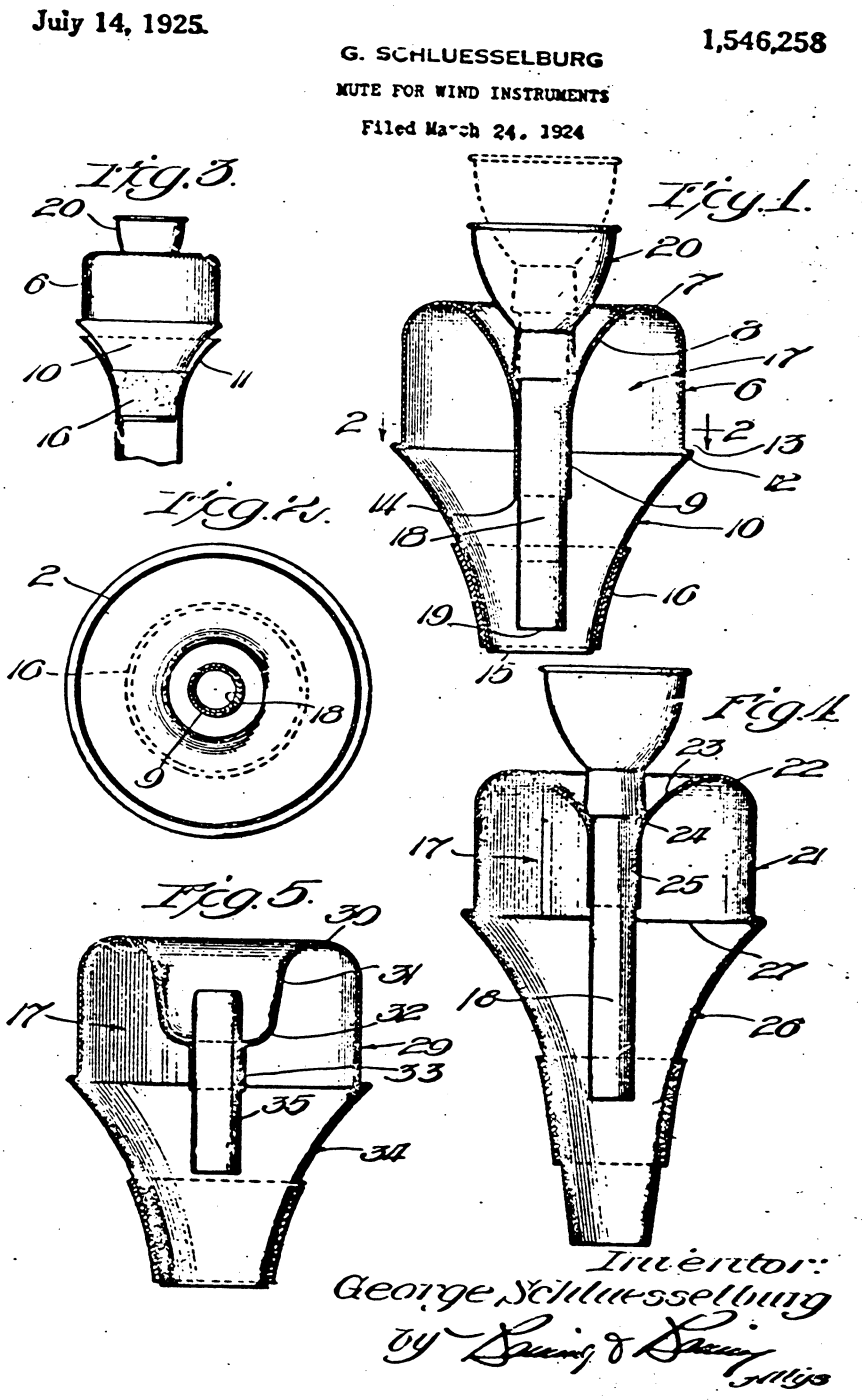
While I have herein shown and described only certain embodiments of the features of my present invention, still I do not intend to limit myself to the same, except as I may do so in the claims.

I claim:

1. As a new article of manufacture a mute for a wind instrument comprising a cylindrical body member of substantially uniform diameter having its front portion inturned towards the axis of the device on a relatively easy curve, the radius of which curve increases as the curvature approaches the axis of the device, and terminates in a relatively short rearwardly-extending cylindrical flange parallel to the axis of the device, together with a rear section secured to the rear edge of said cylindrical portion and curving inwardly and rearwardly on an easy curve of size and curvature generally corresponding to the terminal portion of a wind instrument with which the mute is to be used, and a separate tubular member of substantially uniform diameter slidably mounted within the axially extending neck portion aforesaid and terminating forwardly of the rear edge of the rear section, and adjustable therein to bring its rear end into adjusted position with respect to the interior of the mute, substantially as described.

2. As a new article of manufacture a mute for a wind instrument comprising a cylindrical body member of substantially uniform diameter having its front portion inturned towards the axis of the device on a relatively easy curve, the radius of which curve increases as the curvature approaches the axis of the device, and terminates in a relatively short rearwardly extending cylindrical flange parallel to the axis of the device, together with a rear section secured to the rear edge of the cylindrical portion and curving inwardly and rearwardly on an easy curve of size and curvature generally corresponding to the terminal portion of a wind instrument with which the mute is to be used, substantially as described.

GEORGE SCHLUESSELBURG.



US Patent von George Schluesselburg aus dem Jahr 1925