

BEURTEILUNG VON METALLBLASINSTRUMENTEN AUF DER BASIS MESSTECHNISCH GEWONNENER MERKMALE

Gunter Ziegenhals

*IfM – Institut für Musikinstrumentenbau e.V. an der Technischen Universität Dresden
post@ifm-zwota.de*

Kurzfassung: Es wird ein bereits in einer früheren Arbeit eingeführtes Verfahren zur Beurteilung von Musikinstrumenten auf verschiedene Metallblasinstrumente angewandt. Das Verfahren beruht auf messtechnisch gestützten und als normalverteilt angenommenen Merkmalen. Die Merkmale werden aus Eingangsimpedanzkurven gewonnen. Die Bewertung der Merkmale erfolgt anhand einer fünfstufigen Skala. Im Gegensatz zur Anwendung auf andere Instrumentengruppen ließen sich im Falle der Metallblasinstrumente nur für wenige konkrete Instrumententypen hinreichend viele normalverteilte Merkmale finden, die zudem eine ausreichende Korrelation zu den Urteilen von Musikern aufweisen.

1 Einleitung

Die messtechnisch gestützte oder auch objektive Beurteilung von Musikinstrumenten stellt eine Aufgabe dar, die praktisch Bestandteil aller Untersuchungen an und zu Musikinstrumenten ist. Ob man Instrumente vergleichend betrachtet, Veränderungen an der Konstruktion vornimmt, neue Materialien oder Technologien einsetzt, stets steht die Frage nach der vorhandenen bzw. sich nun ergebenden Qualität der Instrumente. So ist ein rein messtechnisches Verfahren, das auf die klassische Beurteilung von Musikern verzichten kann, sehr hilfreich für die zügige und sichere Bearbeitung der aufgezählten Problemstellungen. Es sei an dieser Stelle aber ausdrücklich darauf verwiesen, dass auf eine parallele Beurteilung durch Musiker (über die Lernphase des Verfahrens hinaus) nicht verzichtet werden kann, da die für den Hersteller wesentliche finale Qualitätsbeurteilung, die Kaufentscheidung, in jedem Falle eine subjektive Handlung des Musikers bleibt.

Das hier verwendete Beurteilungsverfahren, es wird in ZIEGENHALS 2010 ausführlich erläutert und auf verschiedene Streich-, Zupf- und Holzblasinstrumente angewandt, geht davon aus, dass man für jedes Instrument messtechnisch gestützte Merkmale kreieren kann, die normalverteilt sind und deren Merkmalswerten man in einer Lernphase unter Einbeziehung von Musikern eindeutige Gut-Trends zuordnen kann. Sei MWM der Mittelwert eines Merkmals M für die betrachtete Instrumentenstichprobe, SAM die Standardabweichung, F der bei Reproduzierbarkeitsmessungen ermittelte Fehler für das Merkmal und M_j der konkrete Merkmalswert für das Instrument j , so gilt bei einem Gut-Trend zu hohen Werten:

- $MWM + SAM + F < M_j$ – Bewertung = 5 Punkte
- $MWM + SAM/3 + F \leq M_j \leq MWM + SAM + F$ – Bewertung = 4 Punkte
- $MWM - SAM/3 - F < M_j < MWM + SAM/3 + F$ – Bewertung = 3 Punkte
- $MWM - SAM - F \leq M_j \leq MWM - SAM/3 - F$ – Bewertung = 2 Punkte
- $M_j < MWM - SAM - F$ – Bewertung = 1 Punkt.

Auf der ESSV 2009 wurde bereits über die Anwendung des noch nicht vollständigen Verfahrens auf Klaviere berichtet (ZIEGENHALS 2009). Mit der vorliegenden Veröffentlichung soll nun die offensichtliche Lücke in Bezug auf die Metallblasinstrumente geschlossen werden.

2 Eingangsimpedanz

2.1 Messverfahren

Das Grundprinzip der Eingangsimpedanzmessung bei Blasinstrumenten geht auf zwei Arbeiten von BACKUS 1974 (Holzblasinstrumente) und 1976 (Metallblasinstrumente) zurück.

In das Blasinstrument wird mundstückseitig ein Signal eingespeist. Das Instrument setzt dieser Einspeisung einen akustischen Eingangswiderstand entgegen. Dieser hängt von der Frequenz des eingespeisten Signals ab. Im Falle der Resonanzfrequenzen bilden sich mundstückseitig, weil geschlossenes Ende, Druckmaxima aus. Deshalb wird der Eingangswiderstand bei diesen Werten maximal sein. Die Beobachtung des Verlaufes der Eingangsimpedanz über der Frequenz kann also Aufschlüsse über das Resonanzverhalten, die Eigenfrequenzen des Instrumentes geben. Da der Eingangswiderstand frequenzabhängig ist, bezeichnet man ihn als Eingangsimpedanz. Das wesentliche Element der Messanordnung ist ein hoher, frequenzunabhängiger akustischer Widerstand, der den Erreger (In der Regel wird ein hochwertiges Kopfhörersystem eingesetzt.) vom Instrument entkoppelt. Die Theorie der Eingangsimpedanzmessung ist in ZIEGENHALS 2010 ausführlich erläutert. Entsprechende Messsysteme für die Eingangsimpedanz werden kommerziell angeboten. Abbildung 1 stellt einen Messkopf, der in Zusammenhang mit verschiedenen Adaptern für alle Blasinstrumente mit Ausnahme der Flöten einsetzbar ist, samt verschiedener Instrumentenadapter dar.



Abbildung 1: Messkopf für Eingangsimpedanzmessung Blasinstrumente (Variante IfM)

Abbildung 2 zeigt Beispiele der Ergebnisse von Eingangsimpedanzmessungen an zwei Posaunen. In den Bildbeschriftungen erkennt man Hinweise auf die jeweils konkreten Griffe. Für Beurteilungen der Instrumente anhand der Eingangsimpedanz muss diese für jeden Griff aufgenommen werden. Im Ergebnis hat man für Metallblasinstrumente mindestens sieben, für Holzblasinstrumente mindestens 25 Kurven vorliegen. Jede Kurve besteht aus vielen Wertepaaren Frequenz – Impedanzwert. Je nach Analysator und gewählter Auf-

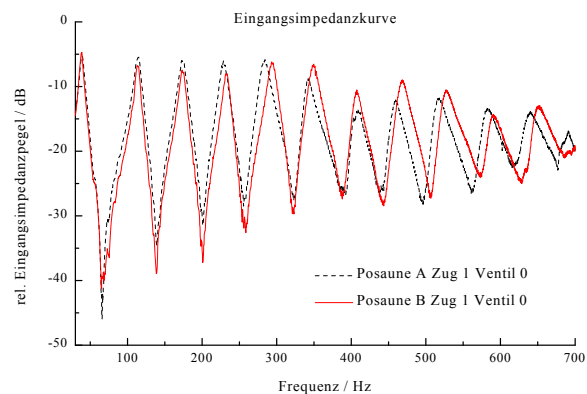
lösung verwendet man in der Regel zwischen 400 und 1600 Wertepaare. Es können aber auch deutlich mehr sein.

Abbildung 2: Eingangsimpedanzkurve zweier Quartventilposaunen

Aus den Kurven gewinnt man zunächst folgende Werte:

- $f_{m,n}$ Frequenz der n-ten Resonanz
- $A_{m,n}$ Amplitude der n-ten Resonanz
- $b_{m,n}$ Bandbreite der n-ten Resonanz

Nach verschiedenen, instrumentenspezifischen Algorithmen können aus diesen Werten Stimmung und Ansprache der Instrumente berechnet werden.



Neben der Eingangsimpedanz ist die Impulsantwort (oft auch als Impulsechogram bezeichnet) der Instrumente eine häufig genutzte Messgröße. Dabei wird am Mundstück ein Impuls eingebracht und mit einem ebenfalls im Mundstück befindlichen Mikrophon die Antwort des

Instrumentes aufgezeichnet. Für diese Messungen kann man die Messköpfe zur Aufnahme der Eingangsimpedanz nutzen. Abbildung 1 stellt eine auf zwei Arten aufgenommene Impulsantwort dar. Die schwarze (gestrichelte) Kurve „Impulsantwort“ resultiert aus der klassischen Messung mit eingespeistem Impuls und Beobachtung des Schalldruckverlaufes im Mundstück. Der aus der Reflexion am Schallstück resultierende, zurückkommende Impuls ist aufgrund der Reflexion am offenen Ende um 180° phasenverschoben. Die gemessene Laufzeit für den zweimaligen Weg durch das Instrument beträgt $0,0079$ s. Die Länge der b-Trompete beträgt $1,3$ m. Infolge des typischen Stimmbogenauszuges und der Verlängerung durch das Mundstück kommt man auf eine effektive Länge von ca. 1350 mm. Bei 20° C Labor-temperatur benötigt ein Impuls für die Wegstrecke von $2,7$ m theoretisch $0,00787$ s. Eine gute Übereinstimmung mit dem Messwert. Als Messwerte dienen die Amplituden des Eingangs- und des reflektierten Impulses I_E und I_R . Die Messung erfolgt für alle Einzelventilschaltungen.

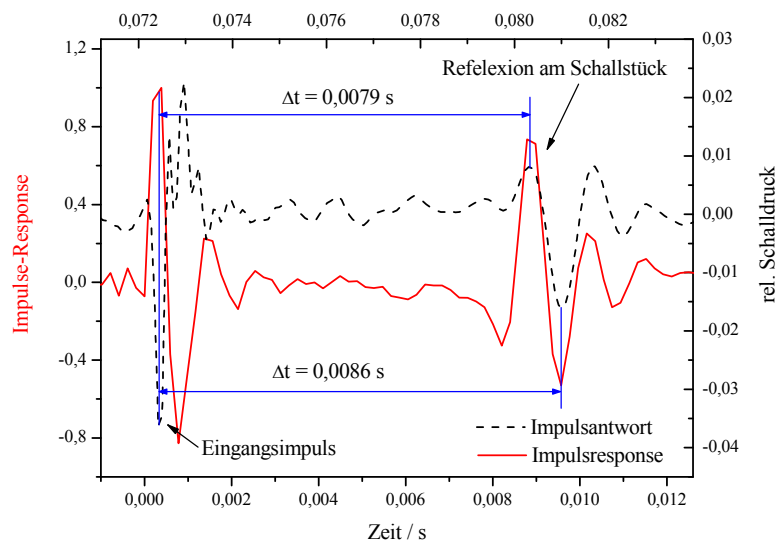


Abbildung 3: Impulsantwort einer b-Trompete, V0

Die rote Kurve stellt die aus der Übertragungskurve der Eingangsimpedanzmessung gewonnene Impulsresponse dar. Man berechnet diese als Invers-Fouriertransformierte der Übertragungskurve. Aus dem recht gut übereinstimmenden Kurvenverlauf kann man anschaulich ablesen, dass aus der Messung der Impulsantwort neben der Eingangsimpedanz keine wesentlichen Zusatzinformationen zu erwarten sind. Allerdings weist aufgrund der typischen (sinnvollen) Einstellung der Messparameter die Impulsantwort eine höhere Zeitauflösung auf. Man erkennt dies am etwas „eckigen“ Verlauf der Impulsresponse.

2.2 Merkmale

Es werden die Resonanzen 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10 und 12 der Eingangsimpedanzkurve für jede verwendete Ventilkombination m betrachtet. Für tiefe Instrumente gehen wir nur bis zur 10. Resonanz. Es fällt auf, dass die Resonanzen 1, 7 und 11 ausgenommen sind. Warum? Die in der Bohrung der Instrumente eingeschlossene Luftsäule, für die die Randbedingungen fest-frei gelten, weist in Abhängigkeit von der konkreten Mensur (Bohrungsform, Durchmesser-Verlauf der Bohrung) Eigenfrequenzen mit näherungsweise harmonischen (ganzzahligen) Verhältnissen auf. Die beiden ersten Resonanzen weichen typischerweise deutlich von der harmonischen Reihe ab. Bei der ersten Resonanz ist die Abweichung so groß, dass auch unter Berücksichtigung von Effekten höherer Resonanzen eine Betrachtung nicht sinnvoll ist. Wird die erste Resonanz beim Spielen tiefer Instrumente verwendet (Man spricht

dann vom „Pedalton“.) muss der Musiker den Ton ohne Unterstützung der Resonanz auf die richtige Tonhöhe bringen. Die Resonanzen 7 und 11 einer harmonischen Reihe entsprechen keinen musikalischen Tönen. Sie liegen mehr oder weniger jeweils genau dazwischen. Nehmen wir als Grundton der Reihe ein c^1 an, so entspricht die siebenfache Frequenz einem $b^2 - 31$ cent und die elffache Frequenz einem $f^3 + 50$ cent (100 cent entsprechen einem Halbton). Obwohl versierte Musiker auch den siebenten Naturton nutzen, wird dieser in der messtechnischen Betrachtung meist weggelassen. Vor Beginn der jeweiligen Messung wird das Instrument unter Verwendung der entsprechenden Züge auf die korrekte Frequenzlage der vierten Resonanz (f_4) über eingestimmt.

Als Merkmale der Eingangsimpedanz werden nun Mittelwerte und Standardabweichungen verschiedener Größen verwendet, die Anhand der Frequenzlage der Resonanzen, ihrer Peakhöhe und ihrer Güte berechnet werden.

- Standardabweichung der Beträge der cent-Abweichungen der Peakfrequenzen von den Solltönen (Kurzbezeichnung SAC). Für die zweite Resonanz berechnen wir alternativ die cent-Abweichung Δa nach KRÜGER (1994) anhand Frequenzen und Peakhöhen der Resonanzen 2, 4, 6 und 8.

Der Mittelwert der Beträge der Stimmungen der einzelnen Resonanzen (MWC) selbst stellt meist kein relevantes Merkmal dar. Die Grundstimmung wird mittels der Stimmbögen vom Musiker bzw. im Falle der Messung vom Experimentator eingestellt. Ein derartiges Merkmal würde also weniger das Instrument als vielmehr den Experimentator beurteilen.

Die Abweichung Δa nach KRÜGER wird wie folgt berechnet:

$$\Delta a = A^{-1} \sum_n g_n A_n \Delta a_n$$

- mit
- g_n - Gewichtsfunktion der n-ten Resonanz
 - A_n - Resonanzamplitude der n-ten Resonanz
 - Δa_n - Frequenzabweichung der n-ten Resonanz gegenüber der gleichschwebend, temperierten Skala in cent
 - $A = \sum g_n A_n$ ist ein Normierungsfaktor.
($n=2, 4, 6, 8$)

- Mittelwert und Standardabweichung der Peakhöhen der Resonanzen. Betrachtet werden die linearen Werte, nicht die Pegel (Kurzbezeichnungen MWP und SAP).
- Die Standardabweichung der Güten der Peaks SA(Güte). Die Güte Q einer Resonanz berechnet sich nach der Formel

$$Q = f_R / \Delta f$$

mit

- f_R - Resonanzfrequenz
- $\Delta f = f_o - f_u$
- $f_{o/u}$ - obere/untere Grenzfrequenz.

- Mittelwert und Standardabweichung des Ansprachefehlers nach WOGRAM (Kurzbezeichnungen MWA und SAA). Der Ansprachefehler $\Lambda_{n,r}$ zwischen den beteiligten Moden n und r wurde von WOGRAM (1988) eingeführt. Dieser ergibt sich aus

$$\Lambda_{n,r} = |\Delta a_{n,r}| Q_{MW}$$

mit

$\Delta a_{n,r}$ - Modenabstimmung der Resonanz n und r

Q_{MW} - mittlere Güte der beteiligten Moden.

Der Ansprachefehler wurde von WOGRAM als dimensionslose Größe eingeführt, obwohl die Berechnung auch auf die Einheit cent führen würde.

- Mittelwert und Standardabweichung der Modenabweichung nach KRÜGER (Kurzbezeichnungen MWM und SAM). Bei der Modenabweichung handelt es sich um eine abgespeckte Variante des Ansprachefehlers, bei dem die Güte nicht berücksichtigt wird. Die Modenabstimmung $\Delta a_{n,2n}$ wird wie folgt bestimmt:

$$\Delta a_{n,2n} = \frac{1200}{\ln 2} \ln \frac{f_{2n}}{2f_n}$$

$\Delta a_{n,2n}$ - Modenabstimmung der Resonanzen n und 2n in cent. Betrachtet wurden die Resonanzen $n = 2, 3, 4$.

- Aus der Messung der Impulsantwort wird als Merkmal die relative Amplitude der reflektierten Impulse IA_r gewonnen:

$$IA_r = I_R/I_E$$

Diese Merkmale werden für die einzelnen Ventile, V0 – kein Ventil betätigt, V2 – zweites Ventil betätigt usw. bestimmt. Ventilkombinationen werden nicht berücksichtigt. Das Zusammenschalten von Ventilen stellt eine Addition von Rohrlängen dar, wohingegen die den musikalischen Tönen entsprechenden Rohrlängen aus Multiplikationen mit einem entsprechenden Faktor hervorgehen. Aus diesem Grund sind die sich bei Ventilkombinationen ergebenden Rohrlängen stets zu kurz, die Töne entsprechend zu hoch. Diese Fehler werden vom Spieler entweder durch Vermitteln der Fehler über das Einstellen der Ventilzüge oder, wenn vorhanden, mittels eines über einen Hebel verstellbaren Zugs (so genannter Trigger) korrigiert. Die Resultate beider Vorgänge weisen wiederum auf das Können des Operators, nicht aber auf das Instrument selbst hin. Da die Gesamtsituation von der konkreten Länge der einzelnen Rohrabschnitte abhängt, ist trotzdem ein Einstimmen der einzelnen Ventile notwendig, für V0 mit dem Hauptstimmzug, für die anderen mit den einzelnen Ventilzügen soweit jeweils möglich. Dies erfolgt anhand der Frequenz der vierten Resonanz der jeweiligen Eingangsimpedanzkurve. Bei einer b-Trompete und V0 wäre das ein b^1 (entspricht 466 Hz). Kleine Fehleinstellungen beeinflussen die gewählten Merkmale nicht!

Wir wollen nun das beschriebene Verfahren auf verschiedene Metallblasinstrumente anwenden. Da die Untersuchungen zu verschiedenen Zeitpunkten erfolgten, sich zwischen den Zeitpunkten die Meinungen hinsichtlich der Bedeutung einzelner Merkmale änderte, die Untersuchungsobjekte stets nur zeitweise zur Verfügung standen und somit Nachmessungen nicht möglich waren, wurden die beschriebenen Merkmale nicht einheitlich, vollständig für alle Instrumententypen angewandt.

3 Anwendung des Beurteilungsverfahrens auf verschiedene Metallblasinstrumente

3.1 Untersuchungen an 16 b-Trompeten

Zunächst wollen wir die Anwendung anhand einer Stichprobe von 16 b-Trompeten beschreiben. Entsprechenden Messungen fanden 2009 statt. Aus verschiedenen Gründen kamen nicht alle eingeführten Merkmale für jeden der untersuchten Instrumententypen zur Anwendung. Tabelle 1 zeigt die Verteilung der verwendeten Merkmale für die Trompetenstichprobe.

Merkmale V0	MWcent	SAcent	MWPeak	SAPeak	MWMA
MW	22	15	1,412	0,561	23
SA	8	4	0,106	0,095	10
Max.	39	23	1,591	0,729	43
Min.	10	9	1,155	0,391	7
Fehler	3,5	0,5	0,0145	0,0135	1,5
Brauchbarkeit	ja	ja	ja	ja	ja
Korr. Musiker	ja	ja	ja	nein	ja

Merkmale V1	MWcent	SAcent	MWPeak	SAPeak	MWMA
MW	27	15	1,366	0,414	19
SA	10	5	0,098	0,081	8
Max.	43	22	1,535	0,528	34
Min.	12	8	1,094	0,257	5
Fehler	5	0,5	0,0285	0,004	2,5
Brauchbarkeit	ja	ja	ja	ja	ja
Korr. Musiker	nein	ja	ja	nein	nein

Merkmale V2	MWcent	SAcent	MWPeak	SAPeak	MWMA
MW	23	14	1,382	0,472	18
SA	6	3	0,115	0,082	8
Max.	35	19	1,551	0,613	36
Min.	12	9	1,044	0,334	9
Fehler	3	1	0,016	0,003	3,5
Brauchbarkeit	ja	ja	ja	ja	ja
Korr. Musiker	ja	ja	ja	nein	ja

Merkmale V3	MWcent	SAcent	MWPeak	SAPeak	MWMA
MW	31	20	1,357	0,357	23
SA	9	5	0,079	0,087	9
Max.	50	29	1,52	0,587	37
Min.	17	10	1,169	0,229	8
Fehler	2,5	1	0,022	0,007	3
Brauchbarkeit	ja	ja	ja	ja	ja
Korr. Musiker	ja	ja	ja	nein	nein

Tabelle 1: Bereiche, Brauchbarkeit und Korrelation der Merkmalswerte b-Trompete

Die verwendeten messtechnisch gestützten Merkmale sind hinreichend normalverteilt. Das Brauchbarkeitskriterium erfüllen alle verwendeten Merkmale. Es ergeben sich gute Korrelationen zwischen den verwendeten messtechnisch gestützten Merkmalen und den mittleren bzw. summierten Musikerurteilen. Lediglich das Merkmal Standardabweichung der Peakamplituden (SAPeak) ergibt keine Korrelation zu den Musikerurteilen. Insgesamt korrelieren 13 der 20 messtechnisch gestützten Merkmale (65 %). Die Merkmale MWcent und SAcent korrelieren innerhalb jedes Ventils miteinander. Der Verzicht auf das Merkmal Mittelwert der Stimmung erscheint aus dieser Sicht richtig. Allerdings sollte der Sachverhalt aufgrund der guten Korrelation zu den Musikerurteilen andererseits überdacht werden. Die Urteile der fünf Testmusiker, die die Instrumente ebenfalls bewerteten, stimmen untereinander sehr gut überein. Tabelle 2 zeigt die sich aus der messtechnischen und der Musikerbewertung ergebenden Rangfolgen. Wie man sieht, ist die Übereinstimmung sehr gut. Eine eindeutige Korrelation liegt vor. Zwischen mittlerer Musikermeinung und Akustik ergeben sich lediglich

für die Instrumente 11 und 15 deutliche Diskrepanzen: Für Instrument 11 fällt die akustische Bewertung im Vergleich zu den Musikern sehr schlecht aus (Rang 10 und 3). Bei Instrument 15 zeigt sich der umgekehrte Fall (Rang 1 und 12). Spezielle Repromessungen an beiden Instrumenten bestätigten das Ergebnis. Folgende Merkmalsausprägung war zu beobachten: Instrument 11 zeigt sehr ausgeprägte Resonanzen, jedoch eine sehr schlechte Abstimmung der Moden innerhalb der Ventile, bei Instrument 15 ist es genau entgegengesetzt! Wir bewerten die Modenabstimmung höher als die Ausprägung der Moden, da die Modenausprägung nur in 4 der 16 Merkmale, die Modenabstimmung jedoch in 8 Merkmale einght. Die Musiker weisen also der Modenausprägung offensichtlich eine höhere Priorität zu.

Instrument	Messung	Musiker	Instrument	Messung	Musiker
Trompete 1	2	4	Trompete 9	8	6
Trompete 2	9	13	Trompete 10	3	1
Trompete 3	13	7	Trompete 11	10	2
Trompete 4	10	12	Trompete 12	15	16
Trompete 5	12	14	Trompete 13	15	15
Trompete 6	7	3	Trompete 14	4	5
Trompete 7	5	9	Trompete 15	1	11
Trompete 8	14	10	Trompete 16	5	8

Tabelle 2: Mittels Messung und über Musikertest bestimmte Rangfolge der 16 Trompeten

3.2 Diskussion der Gesamtstichprobe

Tabelle 3 stellt die untersuchte Gesamtstichprobe Metallblasinstrumente in der Übersicht dar. Neben dem konkreten Typ sind das Jahr der Untersuchungen und die jeweilige Anzahl der Testinstrumente angegeben.

Typ	Jahr	Anzahl	Typ	Jahr	Anzahl
Bariton	1999	10	Bassposaune	2006	8
Quartposaune	2000	8	F-Tuba	2008	6
Trompete hoch b	2002	14	b-Trompete	2009	16
Doppelhorn	2004	5	C-Basstrompete	2010	8

Tabelle 3: Gesamtstichprobe Metallblasinstrumente

Leider sprengt die Darstellung aller Ergebnisse im Detail den verfügbaren Rahmen. Deshalb präsentieren wir eine Ergebnisübersicht für alle Instrumente. Welche Merkmale jeweils genutzt wurden kann man Tabelle 4 entnehmen. Zunächst ist festzustellen, dass 94 % der Merkmale das gesetzte Brauchbarkeitskriterium (2/3 Standardabweichung des Merkmals soll größer sein als der größte auftretende Fehler in der Merkmalsermittlung) erfüllen. Die Nichterfüllung in einzelnen Fällen resultiert in der Regel daher, dass es sich um sehr hochwertige Instrumente handelt, die in den Merkmalen im Verhältnis zum Messfehler zu wenig streuen. Tabelle 4 zeigt weiterhin die Anzahl der jeweils vorgefundenen Korrelationen der messtechnisch gestützten Merkmale zu den Musikerurteilen. Eine Korrelation wird dann als vorliegend angesehen, wenn der Korrelationskoeffizient den Grenzwert des Signifikanztests bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5 % überschreitet. Das Vorzeichen in der Klammer verweist auf den vorgefundenen Gut-Trend des Merkmals (+ bedeutet, hohe Merkmalswerte werden positiv bewertet). Die Zeile Gut-Hypothese gibt die vorherrschende Meinung der Musikalischen Akustik hinsichtlich der Gut-Trends an. In der Spalte MAX kann man die Anzahl der maximal möglichen Korrelationen ablesen. Diese ergibt sich aus dem Produkt der

vier per Fragebogen durch die Musiker bewerteten Merkmale, Stimmung, Klang, Volumen sowie Ansprache und der Anzahl der betrachteten Ventilschaltungen. So wird z.B. bei einer b-Trompete mit drei Ventilen jedes Merkmal für vier Ventilstellungen gebildet. Es können also bis zu 16 Korrelationen auftreten. Bei Posaunen werden jeweils ausgewählte Kombinationen von Zugstellungen und Ventilen untersucht, beim Horn nur mittlere Merkmale über die beiden Grundschaltungen B und F.

Merkmal	MAX	MWc	SAC	MWP	SAP	SAQ	MWA	SAA	MWM	SAM	IAr
Gut-Hypoth.		-	-	+	-	-	-	-	-	-	+
Bariton	20	1(-)	0	0	4(-)	2(+)	0	0			0
Q.-Posaune	24	3(-)	0	0	3(-)	2(-)	0	0			0
Tp hoch b	20	0	3(-)	0	3(-)	2(-)	0	0			3(+)
Horn	2	0	0	0	0	0	0	0			0
Bassposaune	20	0	0	0	0				0	0	0
F-Tuba	20	0	0	0	0				0		
b-Trompete	16	9(-)	16(-)	12(+)	0				8(-)		
Basstrompete	20	3(-)	4(-)	5(-)	0				5(-)		

Tabelle 4: Korrelationen zwischen den messtechnisch gestützten Merkmalen und den Musikerurteilen

Die Angaben in Tabelle 4 deuten an, dass eine zufrieden stellende Korrelation zwischen messtechnisch ermittelten Merkmalen und Musikerbewertungen nur im Falle der b-Trompete, mit Abstrichen noch im Falle der Basstrompete gegeben ist. In allen anderen Fällen treten, wenn überhaupt, Korrelationen nur sporadisch auf. Andererseits findet man nur bei der Basstrompete eine Gut-Tendenz, die der Lehrmeinung der Musikalischen Akustik widerspricht. Hierfür kann man durchaus eine Erklärung angeben: Die Basstrompete befindet sich aufgrund der geringen Nachfrage und den daraus resultierenden verhältnismäßig kleinen Stückzahlen in einem noch nicht optimalem Entwicklungsstadium. Dies ist offensichtlich der Grund des etwas untypischen akustischen Verhaltens, dass aber z. T. über Spielhilfen korrigiert wird.

Literatur

- Backus, J.: Input impedance curves for the reed woodwind instruments. In: J. Acoust. Soc. Am. 56(1974), S. 1266-1279
- Backus, J.: Input impedance curves for the brass instruments. In: J. Acoust. Soc. Am. 60(1976), S. 470-480
- Krüger, W.; Ziegenhals, G.: Entwicklung eines Messaufbaus für die qualitätsbestimmenden akustischen Eigenschaften von Holzblasinstrumenten. Forschungsbericht IfM März 1994
- Wogram, K.: Akustische Auswahlkriterien bei Blechblasinstrumenten. In: Das Instrumentalspiel, Wien 1988 S.119-136
- Ziegenhals, G.: Subjektive und objektive Beurteilung von Musikinstrumenten. Eine Untersuchung anhand von Fallstudien. Dissertation TU Dresden 2010, Studentexte zur Sprachkommunikation Band 51 TUDpress 2010.
- Ziegenhals, G.: Beurteilung von Klavieren anhand messtechnisch gewonnener Merkmale. ESSV 2009, Studentexte zur Sprachkommunikation Band 53, TUDpress 2009.

Autorenverzeichnis

<i>Adel, H.</i>	50	<i>Lorenz, R.</i>	286
<i>Antons, J.-N.</i>	81	<i>Lütze, L.</i>	196
<i>Arndt, S.</i>	81	<i>Malisz, Z.</i>	179
<i>Berton, A.</i>	188	<i>Mixdorff, H.</i>	347
<i>Beschorner, A.</i>	65	<i>Möller, S.</i>	81, 112, 188
<i>Birhanu, Y.</i>	262	<i>Naumann, A.</i>	188
<i>Birkholz, P.</i>	89	<i>Neuschaefer-Rube, C.</i>	89
<i>Böck, R.</i>	58, 220, 228	<i>Norrenbrock, C.</i>	112
<i>Claus, F.</i>	212	<i>Odriozola, I.</i>	323
<i>Ding, H.</i>	153	<i>Petrick, R.</i>	212
<i>Duckhorn, F.</i>	73, 104	<i>Philippou-Hübner, D.</i>	58, 228
<i>Eckers, C.</i>	244	<i>Porbadnigk, A.</i>	81
<i>Ehrlich, U.</i>	188	<i>Reichel, U.</i>	137
<i>Engelbrecht, K.-P.</i>	34	<i>Reutner-Hammelmeir, R.</i>	298
<i>Fehér, T.</i>	129	<i>Richter, C.</i>	275
<i>Feldes, S.</i>	331	<i>Rogge, S.</i>	306, 314
<i>Fellbaum, K.</i>	285	<i>Römer, R.</i>	159, 252, 306, 314
<i>Geiger, N.</i>	298	<i>Schleicher, R.</i>	81
<i>Glüge, S.</i>	220	<i>Schmidt, S.</i>	339
<i>Graupe, E.</i>	283	<i>Schoenenberg, K.</i>	267
<i>Hain, H.-U.</i>	212	<i>Siegert, I.</i>	58, 220
<i>Hentschel, C.</i>	314	<i>Silberstein, A.</i>	188
<i>Hernández, I.</i>	323	<i>Strecha, G.</i>	262
<i>Hilberg, W.</i>	11	<i>Stüker, S.</i>	50
<i>Hinterleitner, F.</i>	112	<i>Tschöpe, C.</i>	120
<i>Hirsch, H.-G.</i>	204	<i>Ulbrich, C.</i>	145
<i>Hock, J.</i>	331	<i>Ulbrich, H.</i>	145
<i>Hoffmann, R.</i>	73, 104, 129, 159, 262, 323, 347	<i>Wachsmuth, I.</i>	179
<i>Hofmann, H.</i>	188	<i>Wagner, P.</i>	179
<i>Höge, H.</i>	42	<i>Walter, S.</i>	220
<i>Holfeld, T.</i>	275	<i>Waibel, A.</i>	50
<i>Huber, M.</i>	286, 298	<i>Weiss, B.</i>	267
<i>Hussein, H.</i>	347	<i>Wendemuth, A.</i>	58, 220, 228
<i>Inden, B.</i>	179	<i>Werner, S.</i>	196
<i>Jäckel, R.</i>	283	<i>Wirsching, G.</i>	26
<i>Jokisch, O.</i>	153, 323	<i>Wolff, M.</i>	73, 120, 159
<i>Karnagel, K.</i>	306	<i>Yildiz, B.</i>	96
<i>Kiebel, S.</i>	96	<i>Ziegenhals, G.</i>	355
<i>Kilgour, K.</i>	50	<i>Ziegler, F.</i>	298
<i>Kitzig, A.</i>	204		
<i>Klakow, D.</i>	65		
<i>Kölbl, C.</i>	298		
<i>Kraljevski, I.</i>	73		
<i>Kröger, B.</i>	244		
<i>Laudahn, M. B.</i>	298		
<i>Liao, Y.-F.</i>	347		
<i>Limbrecht, K.</i>	220		
<i>Lindemann, J.</i>	236, 306		