

Einfluß von Material und Oberflächen auf den Klang von Blechblasinstrumenten

Von K. Wogram, Braunschweig

Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

Die Blechblasinstrumente nehmen in der Gruppe der Musikinstrumente eine Sonderstellung ein, da die Töne und Klänge durch Elemente zustande kommen, die nicht zum Instrument, sondern zum Musiker gehören. Dadurch war man bis vor einigen Jahren gezwungen, Qualitätsvergleiche ausschließlich mit Hilfe von Bläsern durchzuführen, deren Blastechnik und musikalische Grundauffassung das Ergebnis beeinflussten. Aus diesem Mangel an Objektivität bei den Meßmethoden entstanden Vorurteile und Meinungen, die sich stets einer sachlichen Untersuchung entzogen.

Erst die Entwicklung von objektiven Meßverfahren für die Untersuchung der akustischen Eigenschaften von Blechblasinstrumenten¹ ermöglichte die reproduzierbare Ermittlung von Qualitätsparametern, die nicht mehr durch persönliche Einflüsse verfälscht wurden. Eine der vielen Fragen, die in Musikkreisen, und nicht nur hier, heftig diskutiert werden, ist neben Mensur und Mundstückwahl der Einfluß des Materials und der Oberflächenbeschaffenheit des Schallstückes auf Klang, Ansprache und Stimmung. In umfangreichen Testreihen ist im Laboratorium für Musikalische Akustik der PTB versucht worden, eine Antwort auf diese Frage zu geben.

Aus der Familie der Blechblasinstrumente wurde eine B-Tenorposaune ausgewählt, die wegen ihres einfachen und übersichtlichen Aufbaus für die Untersuchungen besonders geeignet ist. Auf einer speziell für diesen Zweck angefertigten Druckform wurde eine Reihe von acht Schallstücken hergestellt, die sich hinsichtlich des Materials oder der Oberfläche voneinander unterschieden, jedoch alle die gleiche Mensur aufweisen.

Es handelt sich dabei um folgende acht Ausführungen: 1. Ms 72, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, poliert. 2. Ms 85, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, poliert. 3. Ms 72, Wandstärke extra dünn, Ausgangsmaterial 0,3 mm, poliert. 4. Ms 72, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, farblos lackiert. 5. Neusilber, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, poliert. 6. Ms 82, Wandstärke extra dünn, Ausgangsmaterial 0,3 mm, poliert. 7. Ms 72, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, verchromt. 8. Ms 72, Wandstärke normal, Ausgangsmaterial 0,7 mm, versilbert.

Diese Schallstücke konnten beim Test mit dem Zugteil verschraubt werden, das ebenso wie das Mundstück nicht verändert wurde.

Vergleichsmessungen mit Musikern

Bei den subjektiven Tests bestand die Gefahr, daß die hierzu herangezogenen Berufsmusiker aufgrund ihrer Vorurteile zu einer Urteilsbildung vor dem eigentlichen Anblasversuch kamen, wenn sie sich über die Unterschiedlichkeit des Materials bewußt waren. Es war deshalb erforderlich, das Ziel der Untersuchungen nicht bekannt werden zu lassen und stattdessen Messurveränderungen vorzutauschen, deren Einfluß ermittelt werden sollte. Ebenso durfte den Musikern immer nur ein einziges Instrument ausgehändigt werden, damit sie die Materialien und Oberflächenbeschaffenheiten nicht durch die unterschiedliche Farbgebung der Lichtreflexe erkannten. Zur weiteren Verunsicherung diente eine schwach gelbliche Raumbeleuchtung, bei der auch versilberte oder verchromte Instrumente denen aus Messing ähnlich sahen. Als Meßräume dienten der große eckfreie Raum der PTB sowie ein größerer Laborraum mit normalen Nachhalleigenschaften. Die Musiker hatten für Bandaufzeichnungen jeweils zwei Teststücke zu spielen, die dem „Tuba mirum“ von Mozart sowie dem Ballett „Pulcinella“

von Strawinsky entnommen waren (Abb. 1). Diese Passagen wurden ausgewählt, da sie sowohl hinsichtlich Dynamik als auch Tonumfang dem gebräuchlichen Spielbereich einer Tenorposaune gerecht werden.

Im Anschluß an diese Aufnahmen wurden die Musiker um eine Beurteilung der Stimmung, des Klanges und der Ansprache des Instrumentes gebeten, das sie zur Festigung ihrer Bewertung auch während der Befragung spielen konnten. Dies war vor allem wichtig, um eine eindeutige Aussage zu erlangen, die durch den momentanen Anblasversuch und nicht durch das Erinnerungsvermögen geprägt wurde.

Die Ergebnisse dieser subjektiven Testreihen sind in Abb. 2 dargestellt. Jedem Instrument wurde aufgrund der subjektiven Bewertung eine Punktzahl zugeordnet, die nach der Fragestellung in die Bereiche „Klang“, „Stimmung“ und „Ansprache“ aufgeteilt wird. Hieraus ergibt sich eine Rangordnung mit einer Dreifachbelegung des zweiten Platzes infolge der Punktegleichheit der Instrumente Nr. 2, 3 und 7. Betrachtet man die Punktverteilung der oberen Tabelle, so kann gesagt werden, daß die Unterschiede der Instrumente mit Ausnahme von Nr. 1 und vielleicht Nr. 6 recht gering sind und daraus

II. Solo
mf
Solo
mf

Testauszug „Tuba mirum“ (W.A. Mozart)

Vivo $\frac{2}{4}$: 132-138
Solo
ff *gliss.* *fff* *ff marcattissimo*
f *gliss.*
2. 1. 4

Testauszug „Pulcinella“ (I. Strawinsky)

Abb. 1 Teststücke für Klangvergleiche

¹ K. Wogram, „Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten“. Diss. Braunschweig 1972 und Verlag „Das Musikinstrument“.

Subjektive Bewertungen

1. Punktverteilung

	Instrument							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Klang:	7	12	12	10,66	14	8	10	8
Stimmung:	12	12	14	14,66	10,66	16	16	18
Ansprache:	7	14	12	11	12	9	12	10
Summe:	26	38	38	36,3	38,66	33	38	36

2. Rangordnung

	Rang						
	1	2	3	4	5	6	
Klang:	5	2/3	4	7	6/8	1	
Stimmung:	8	6/7	4	3	1/2	5	
Ansprache:	2	3/5/7	4	8	6	1	
Summe:	5	2/3/7	4	8	6	1	

Code: 1 MS 72 normal – 2 MS 85 normal – 3 MS 72 dünn – 4 MS 72 normal lackiert – 5 Neusilber normal – 6 MS 85 dünn – 7 MS 72 normal verchromt – 8 MS 72 normal versilbert.

Abb. 2 Ergebnisse der Vergleichsmessungen mit Berufsmusikern

kaum eine Qualitätsabstufung vorgenommen werden kann. Unter diesem Aspekt mag auch die Rangordnung der unteren Tabelle zu verstehen sein, die aussagt, welches Instrument ein Bläser wohl aus dem Angebot von acht Instrumenten bevorzugen würde, wenngleich er von allen begeistert ist.

Nun nimmt das Posaunespiel in einem Raum mit nahezu total absorbierenden Wänden eine extreme Sonderstellung ein. Es erfordert vom Bläser eine höhere Anstrengung zur Erzeugung „normallauter“ Klänge und bringt letztendlich doch nicht den erhofften Erfolg in Form eines befriedigenden Klanges. In einem solchen Raum wird der Bläser durch die geringen Schallrückwürfe gezwungen, den Rückkopplungsweg über das Ohr auszuklamern und stattdessen das Anblasgefühl in der Lippenpartie stärker zu bewerten. Aus diesem Grunde wird das Erkennungsvermögen für geringste Unterschiede geschärft und die Beurteilung vor allem von Stimmung und Ansprache realistischer.

Die im echofreien Raum gewonnenen subjektiven Ergebnisse waren im zweiten Meßraum, einem Laborraum, nicht mehr zu halten; trotz mehrfacher Versuche war es den Musikern nicht möglich, sich eindeutig zu einer Qualitätsabstufung der Testinstrumente zu bekennen. Je länger die Versuche andauerten, umso stärker wuchs die Unsicherheit der Beurteilung und erst nach Preisgabe des Untersuchungszieles kamen die alten Vorurteile zum Tragen, so daß ein Spitzeninstrument nominiert wurde. In ähnlicher Form scheiterte der spätere Versuch einiger Personen, eine Zuordnung zwischen Klang und Instrument aus den auf Tonband aufgezeichneten Teststücken zu finden. Dies war trotz höchster Anstrengungen nicht möglich.

Objektive Messungen

Durch eine Reihe von objektiven Messungen wurde versucht, die subjektiven Beurteilungen durch physikalisch bestimmbare Eigenschaften zu erklären. Hierzu gehören neben der Stimmung auch Klangvergleiche und Gegenüberstellun-

gen der Resonanzamplitude sowie des Absorptionsgrades im vorderen Schallstückbereich, der sich aus der für alle Instrumente gleich großen Abstrahlungsdämpfung sowie etwaiger Verluste durch die Blechwandung ergibt. Als Anregungs-

elemente dienten die in der PTB entwickelte künstliche Anblasvorrichtung und ein Impedanzmeßkopf der Firma Tesla. Auf diese Weise konnte der gesamte Dynamikbereich der Instrumente erfaßt werden.

Stimmung: Abb. 3 zeigt die Meßanordnung zur Aufnahme der Stimmungsfehler einer Posaune mit Hilfe der künstlichen Anblasvorrichtung in einem älteren reflexionsarmen Raum der PTB. Die Abweichungen der Naturtonfrequenzen von der temperierten Stimmung mit $a^1 = 440$ Hz sind für die Vergleichsinstrumente in Abb. 4 aufgetragen. Für den Einfluß des Materials auf die Stimmung ist es ausreichend, lediglich die Stimmungskurven der 1. Lage zu betrachten, da die korrespondierenden Lagen 2 bis 7 gegebenenfalls in gleicher Weise verändert werden. Der Vollständigkeit halber sind auch die Stimmungsabweichungen des 7. Naturtones aufgetragen, obwohl dieser Ton normalerweise nicht auf der 1. Lage, sondern als 8. Naturton auf der 3. Lage geblasen wird.

Mit Ausnahme der Parallelverschiebung der Einzelkurven um ca. 10 cent ist keine eindeutige Tendenzveränderung durch Material oder Oberfläche festzustellen.

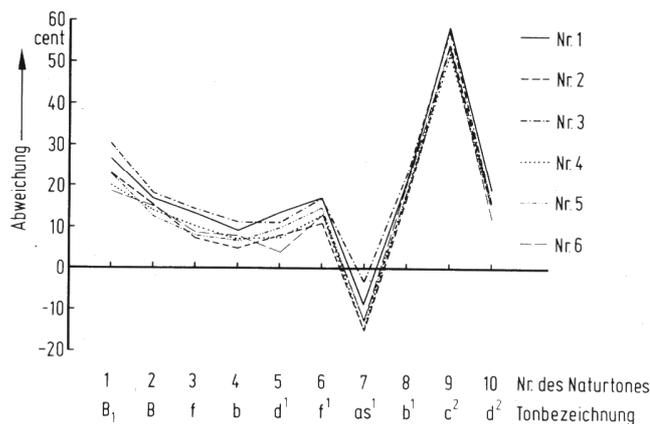


Abb. 4 Stimmungskurven von sechs Vergleichsinstrumenten

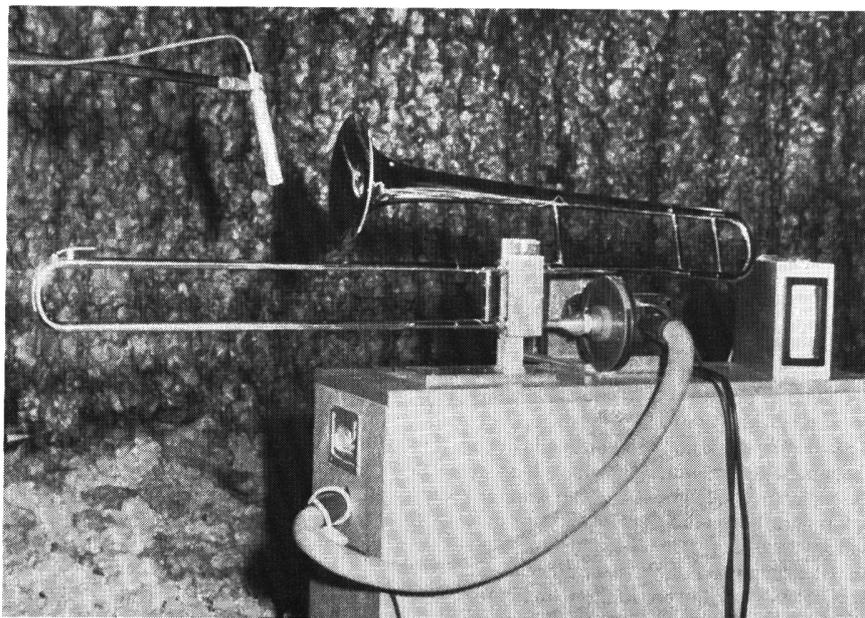


Abb. 3 Künstliche Anblasvorrichtung mit Posaune als Testobjekt

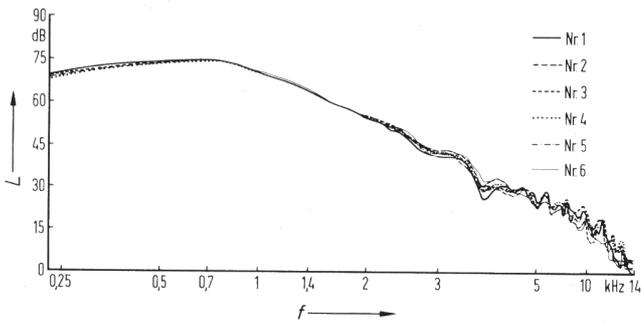


Abb. 5
Hüllkurven der Klänge
von sechs Vergleichs-
instrumenten

Die vorhandenen geringen Stimmungsunterschiede sind auf die Schwankungen in der manuellen Fertigung der Instrumente zurückzuführen. Auf die Darstellung der Stimmungskurven der Instrumente Nr. 7 und 8 wurde verzichtet, da sie sich der allgemeinen Tendenz anpassen und nur die Übersichtlichkeit beeinträchtigen würden.

Klang: Die Vergleichsinstrumente wurden mit der Anblasvorrichtung auf verschiedene Naturtöne eingestimmt und die Spektren der abgestrahlten Klänge mit Hilfe eines Schmalbandanalysators ermittelt. Diese Untersuchung erstreckte sich über einen großen Dynamikbereich bis zu Schallpegeln, die von einem Bläser nicht mehr erreicht werden können. Die Ergebnisse einer Messung im dreifachen forte (fff) sind für einen hohen Klang b mit ca. 240 Hz Grundtonfrequenz wieder für die Instrumente Nr. 1 bis 6 in Abb. 5 dargestellt. Die einheitliche Tendenz der Hüllkurven wird ausschließlich durch die Bauform der Instrumente, des Mundstückes sowie durch den Anblasmechanismus geprägt. Die geringen Unterschiede von weniger als 3 dB in den Bereichen 3–5 kHz und um 10 kHz sind jedoch zum Teil auf die Materialzusammensetzung der Instrumente zurückzuführen, während sich die Materialstärke oder die Oberflächenbeschaffenheit überhaupt nicht auswirkt. Dieser Zusammenhang ist am einfachsten durch die Gleichheit der Hüllkurven der Instrumente Nr. 2 und 6 aus Goldmessing zu erkennen, deren Wandstärken sich wie 2 zu 1 verhalten. Ihre fast völlig identischen Hüllkurven weisen im mittleren Spektrumsbereich um 4 kHz eine Anhebung und um 8 kHz eine geringe Absenkung gegenüber allen anderen Instrumenten auf.

Resonanzamplitude: Im Gegensatz zur Anblasvorrichtung, die Naturtonfrequenzen der Instrumente anregt, werden die Resonanzkurven bei Ankopplung eines Schnellekonstanz-Generators in Form eines Impedanzmeßkopfes ermittelt. Er stellt ein elektromagnetisches Anregungssystem dar, das an das Mundstück angekoppelt wird und ein sinusförmiges Schallsignal mit konstanter Schnelle in der Lippebene erzeugt. Mit Hilfe eines an der gleichen Stelle angebrachten Kondensatormikrofones wird der Schalldruck aufgenommen, der der Eingangsimpedanz des Instrumentes direkt proportional ist. Der Verlauf der so ermittelten Impedanz stellt in Abhängigkeit von der Frequenz die Resonanzkurve dar.

Bei festgehaltener Anregungsenergie können die einzeln gemessenen Resonanzamplituden direkt miteinander verglichen werden. Sie geben Auskunft über den Wirkungsgrad des Instrumentes und beeinflussen die Ansprache, sofern die Stimmung der entsprechenden Lage ausgewogen ist. Dieses Einschränkung resultiert aus der Diskrepanz zwischen Resonanz- und Naturtonfrequenz², zumal sich die letztere aus einem Mittelwert einer ganzen Resonanzfrequenzreihe ergibt. Bei Instrumenten mit stark verstimmt Resonanzfrequenzen wirkt sich deshalb eine hohe Resonanzamplitude ungünstig auf die Ansprache aus.

Bei den hier untersuchten und in sich gut gestimmten Vergleichsinstrumenten kann die Erhöhung der Resonanzamplitude als Qualitätsverbesserung angesehen werden, so daß sich folgende Rangordnung ergibt: Instrument Nr. 7 8 4 5 2 3 1 6.

Pegel der stehenden Welle und Absorptionsgrad: Bei den Blechblasinstrumenten wird die im Instrument eingeschlossene Luftsäule zu Schwingungen angeregt, so daß zwischen Mundstück und Schallstücksrand eine stehende Welle entsprechend Abb. 6 entsteht, die in erster Näherung durch einen Druckbauch am Mundstück und einen Druckknoten am Schallstücksrand gekennzeichnet ist. Diese Randbedingungen gelten für alle

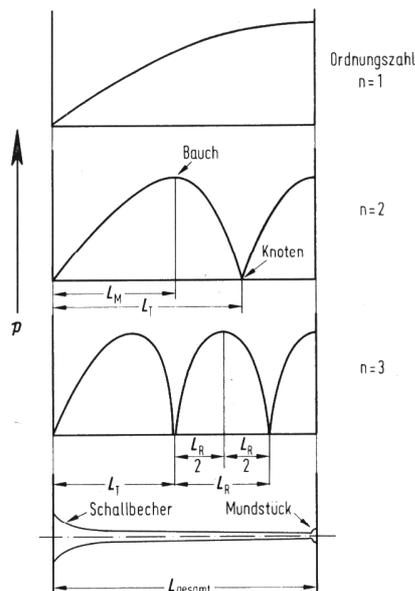


Abb. 6 Stehende Wellen in einem Blechblasinstrument

Naturtöne in gleicher Weise und lediglich die Anzahl der Knoten oder Bäuche zwischen den Instrumentenenden ist durch die Ordnungszahl des Naturtones bestimmt.

Bei den Vergleichsinstrumenten wurden die stehenden Wellen für sämtliche Naturtöne im vorderen Teil der Schallstücke (0–50 cm), wo die Materialveränderung durchgeführt war, ermittelt und ihre Amplituden cm für cm miteinander verglichen. Nimmt man an, daß eine mittlere Pegelüberhöhung als Qualitätsverbesserung gewertet werden kann, so ergibt sich eine Rangordnung: Instrument Nr. 4 5 6 1 3 2 7, während die Berücksichtigung nur der höchsten Naturtöne b^1 , c^2 und d^2 zu einer völlig verschiedenen Rangordnung führt: Instrument Nr. 1 2 5 6 4 7 3.

Zur Bestimmung der Bedämpfung der stehenden Welle im vorderen Schallstücksbereich wurde der Absorptionsgrad aus den Amplituden des ersten Maximums (Bauch) und des ersten Minimums (Knoten) ermittelt. Da auch hier nur der Einfluß im vorderen Schallstücksbereich von Interesse ist, wurden nur diejenigen Naturtöne ausgewählt, bei denen der Abstand LT des ersten Knotens vom Schallstücksrand nicht größer ist als die Länge des Schallstückes selbst. Dieses trifft bei der Schallstücklänge von 55 cm für die Naturtöne b^1 , c^2 und d^2 zu, deren Werte sich zwischen 35 cm und 50 cm bewegen. Ordnet man einen geringen Absorptionsgrad einer hohen Qualität zu, so ergibt sich die Rangordnung: Instrument Nr. 7 8 3 5 2 3/1 6.

Korrelation zwischen subjektiven und objektiven Meßergebnissen

Die Beantwortung der Fragen, ob und in welchem Maße die subjektiv empfundene Beeinflussung der Blasinstrumente durch Material- und Oberflächenveränderungen mit physikalisch meßbaren Parametern erklärt werden kann, läßt sich am übersichtlichsten an Hand einer Korrelationsanalyse zeigen. In Abb. 7 sind die Ergebnisse der vier objektiven Meßmethoden in Verbindung mit der bei den Musikern gewonnenen Rangordnung der Instrumente zusammengestellt. Die Punkte stellen jeweils ein Instrument in seiner Beurteilung dar. Das Instrument Nr. 8 wurde hierbei nicht berücksichtigt, da es nicht für sämtliche Meßverfahren zur Verfügung stand. Neben jeder Punktvolke ist der entsprechende Korrelationskoeffizient eingezeichnet. Ein Wert von $r = +1$ bedeutet die völlige Entsprechung der Meßmethoden, ein Wert von $r = -1$ kennzeichnet die umgekehrte Entsprechung, d. h. was bei der einen Methode als qualitativ gut bezeichnet wird, wird durch die zweite Methode als qualitativ schlecht dargestellt. Bei $r = 0$ ist überhaupt kein sachlicher Zusammenhang der beiden Methoden gegeben.

Betrachtet man die Auswertung der Amplitude der stehenden Welle aller

² K. Wogram, „Die Diskrepanz zwischen Resonanz- und Naturtonfrequenz bei Blechblasinstrumenten“. DAGA-Tagungsbericht 1972.

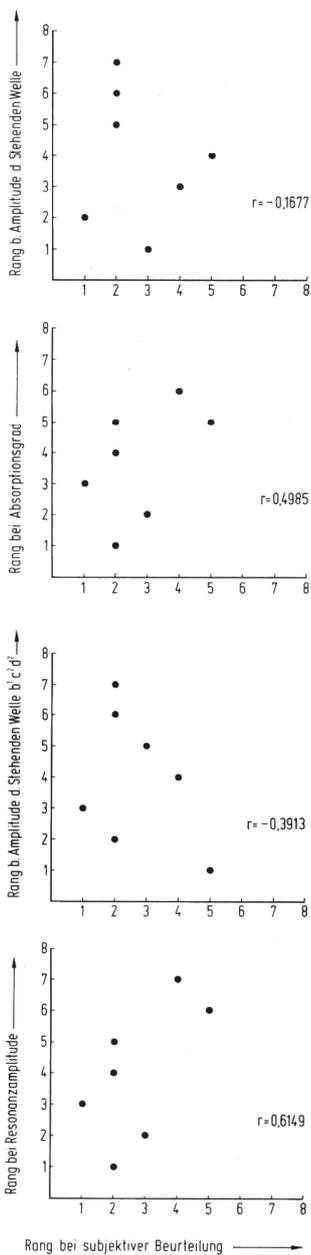


Abb. 7 Korrelationsfelder verschiedener Meßergebnisse

Frequenzen im vorderen Bereich, so zeigt das negative Vorzeichen des Korrelationskoeffizienten an, daß einer subjektiven Qualitätssteigerung eine Verminderung der Schalldruckamplitude entspricht, wengleich der Wert von $r = -0,1677$ eine Entsprechung nur ahnen läßt. Anders sieht es schon aus, wenn lediglich die drei höchsten Naturtöne berücksichtigt werden, bei denen das erste Schalldruckmaximum der stehenden Welle in den Bereich des veränderten Schallstückes fällt. Bei gleicher Tendenz erhöht sich die Korrelation hier auf den Wert $r = -0,3913$. Eine weitere Steigerung der Entsprechung finden wir bei der Rangordnung aufgrund des Absorptionsgrades. Hier erreicht der Korrelationskoeffizient den Wert $r = 0,4985$, wenn wieder nur die drei höchsten Naturtöne b^1 , c^2 und d^2 berücksichtigt werden. Die Auswertung der Resonanzamplitude schließlich liefert den

höchsten Korrelationskoeffizienten mit $r = 0,6149$, der bei den Untersuchungen gefunden werden konnte. Dieses Ergebnis, das nahezu dem der Absorptionsgradmessung entspricht, ist kaum überraschend, zeigt es doch den direkten Zusammenhang zwischen Ansprache und Resonanzschärfe bei gut gestimmten Instrumenten.

Schlußbetrachtungen

Eine Beeinflussung der akustischen Eigenschaften von Blechblasinstrumenten kann bei nüchterner Betrachtung nur durch eine Veränderung des inneren Schallfeldes erfolgen. Diese Veränderung ist wiederum nur durch das Mitschwingen der Instrumentenwandung und die damit verbundene Bedämpfung der stehenden Welle erklärbar. Da die Lage der Resonanzfrequenzen und somit auch der Naturtonfrequenzen aber ausschließlich von der Mensur des Instrumentes bestimmt wird, ist eine Beeinflussung der Stimmung durch das Material oder die äußere Oberflächenbeschaffenheit nicht möglich. Dieser Sachverhalt konnte durch die Messungen bestätigt werden. Bei den Klangvergleichen wurden geringfügige Unterschiede festgestellt, die jedoch nur in Räumen extrem kurzer Nachhallzeit

bemerkbar sind. Die Unterschiede sind ausschließlich auf die Materialzusammensetzung zurückzuführen und können weder durch Veränderung der Wandstärke noch durch Oberflächenbearbeitung beeinflusst werden.

Die Ansprache schließlich ist die einzige Eigenschaft, die durch die Materialstärke geringfügig beeinflusst werden kann. Hier spielen jedoch die Materialzusammensetzung und die Beschaffenheit der äußeren Oberfläche keine Rolle, der Einfluß wird ausschließlich durch die Wandstärke ausgeübt. Die Verbindung der Ansprache mit dem Klang sowie den akustischen Eigenschaften des Musizerraumes durch den Regelkreis Lippen – Instrument – Raum – Gehör – Lippen lassen diesen Einfluß unter recht verschiedenem Licht erscheinen. Vor einer Überbewertung der Einflüsse muß deshalb gewarnt werden, zumal auch die Zuverlässigkeit der subjektiven Qualitätsbeurteilungen recht gering ist.

Der Verfasser möchte Herrn Diplomtonmeister Gerd Pohl herzlich für seine Mitarbeit bei der Durchführung der Messungen danken.

Erweitertes Manuskript eines Vortrages auf der 10. Tonmeistertagung in Köln.