

# Objektive Beurteilung von Archtop-Gitarren – DMIP 2011

Gunter Ziegenhals

Institut für Musikinstrumentenbau an der TU Dresden, post@ifm-zwota.de (veröffentlicht Januar 2018)

## Allgemeines

Für das Jahr 2011 stand zum 21. Mal die Verleihung des vom Bundesminister für Wirtschaft gestifteten Deutschen Musikinstrumentenpreises an. Für den Wettbewerb werden jeweils zwei Instrumententypen aus zwei Instrumentengruppen ausgewählt. Zuständig für die Auswahl ist das Kuratorium des Preises. Dieses entschied im Wettbewerb 2011 erstmals ein modernes Instrument, ausgestattet mit einem Tonabnahmesystem, die Archtop-Gitarre aufzurufen. Das Tonabnahmesystem wurde dabei auf einen elektromagnetischen Tonabnehmer begrenzt. Die Wahl fiel vor allem deshalb auf die Archtop-Gitarre, da dieses Instrument in besonderer Weise traditionelle Instrumentenmacherkunst mit modernen Tonabnahmesystemen verbindet. Boden und Decke der Archtop-Gitarre werden klassisch analog zum Streichinstrumentenbau aus jeweils zwei zusammengefügte Kanten ausgearbeitet.

Die Beurteilung der zum Wettbewerb eingereichten Instrumente erfolgte gemäß Erlass zum DMIP in einem dreigeteilten Verfahren:

- Messung und Bewertung ausgewählter akustischer Eigenschaften der Instrumente (objektiver Test).
- Bewertung der Instrumente durch fünf namhafte Instrumentalsolisten (-solistinnen) in einem Spieltest in Form von Einzelsitzungen. In diesem Test werden den Juroren mittels eines abgedunkelten Testraumes sowie der Abdeckung der Label Informationen zum Hersteller vorenthalten (subjektiver Test).
- Konstruktion, Gestaltung und Verarbeitung der Instrumente werden in einem dritten Bewertungsschritt durch einen Sachverständigen beurteilt (handwerklicher Test).

Die entsprechenden Tests erfolgen im Institut für Musikinstrumentenbau. Im Folgenden wird das Messregime des objektiven Tests beschrieben.

Für die meisten Musiker stellt die Archtop-Gitarre ein akustisches Instrument dar, das auch über Verstärker gespielt werden kann. Im Studio wird häufig sowohl mit dem eingebauten Tonabnehmer als auch mit einem externen Mikrofon gearbeitet. In bestimmten Situationen wird im Live-Betrieb rein akustisch gespielt, aber natürlich sind Konzerte mit Verstärkernutzung die häufigste Auftrittform. Das Instrument muss deshalb sowohl wie eine akustische Gitarre als auch eine E-Gitarre messtechnisch behandelt werden.

## Aufnahme der Frequenzkurve und Extraktion von Merkmalen

Die objektive, auf akustischen Messungen beruhende Beurteilung von akustischen Gitarren beruht traditionell auf der Bewertung, Begutachtung oder Diskussion der Frequenzkurve. Die Messung wird im IfM wie folgt vorgenommen:

Messraum: reflexionsarmer Raum des IfM, Volumen  $125 \text{ m}^3$   
 $f_u = 125 \text{ Hz}$

Einspannung: Instrument manuell in Spielhaltung gehalten, Saiten manuell bedämpft

- Anregung: manueller Anschlag, Impulshammer PCB 086 B 01, steel-Tip, mit tuning-mass, Anschlagort Mitte Stegeinschub, Anschlag senkrecht zur Decke
- Mikrofon: Verwendung von drei Mikrofonen in folgenden Positionen:  
Mikrofon 1: 1 m Entfernung, senkrecht zur Deckenmitte  
Mikrofon 2: gegenüber Mik 1 je  $45^\circ$  nach links in Richtung Hals und nach oben gedreht  
Mikrofon 3: gegenüber Mik 1 nur  $45^\circ$  in Richtung Hals gedreht
- Messung: Mittelung über 10 Anschläge unter Beobachtung der Kohärenz
- Kalibrierung: erfolgt absolut in Pa/N, Ausgabe der Werte linear oder in dB mit  $0 \text{ dB} \pm 1 \text{ Pa/N}$
- Messbereich: 0 ... 5000 Hz
- Auflösung: 1600 Linien, d.h. Frequenzauflösung 3,125 Hz.



Abbildung 1: Manuelle Anregung mittels Impulshammer

Im Ergebnis der Messung erhalten wir drei Frequenzkurven. In die weitere Auswertung geht die entstandene mittlere Frequenzkurve (Betragsmittelung) ein.



Abbildung 2: Durchgehender Steg oben, unterbrochener Steg unten

Klassische Gitarren weisen in der Regel einen durchgehenden Stegeinschub auf. Verschiebbare Einzelreiter sind sehr selten. Bei Archtop-Gitarren treten derartige Stegvarianten häufiger auf. Die Unterbrechung des Steges kann zu Unzulänglichkeiten bei der Messung führen, da bei der angewandten typischen Messmethodik nur Anschläge in der Stegmitte erfolgen. Abbildung 2 stellt einen durchgehenden und einen, wie beschrieben, unterbrochenen Steg zum Vergleich dar. Messungen an klassischen Konzertgitarren, bei denen jeweils an allen fünf Saitenzwischenräumen des Steges angeschlagen wurde, zeigten, dass die so gewonnene Frequenzkurve keinen Informationszuwachs gegenüber der nur mit Mittenanschlag aufgenommenen Kurve er-

gibt (ZIEGENHALS 2010). Analoge Versuche mit der Archtop-Gitarre ergaben die gleichen Ergebnisse. Es wurde also nach der bewährten Methode für Konzertgitarre verfahren. Abbildung 3 stellt die Frequenzkurven der sechs Wettbewerbsinstrumente im Vergleich dar. Abbildung 4 zeigt uns die Messung des gleichen Instrumentes mit mehreren Tagen Zwischenraum, also die Reproduzierbarkeit der Messung. Man erkennt, dass die Variation der Instrumente sehr deutlich über die Messunsicherheit hinausgeht!

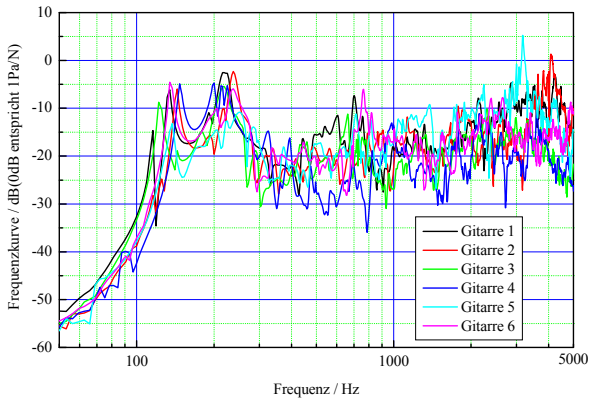


Abbildung 3: Die Frequenzkurven von sechs Archtop-Gitarren im Vergleich

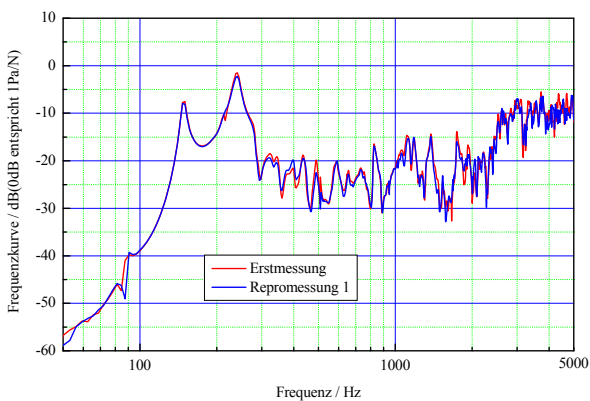


Abbildung 4: Reproduzierbarkeit der Frequenzkurvenmessung

Aus der gewonnenen Frequenzkurve werden im Falle der Archtop-Gitarre folgende Merkmale gewonnen:

- $L_2$  Pegel der zweiten Resonanz. Positiv werden kleine Pegel bewertet.
- $f_3$  Frequenz des absoluten Maximums im Bereich 300 Hz ... 1000 Hz. Positiv werden niedrige Frequenzen bewertet.
- $L_3$  Pegel des absoluten Maximums im Bereich 300 Hz ... 1000 Hz. Positiv werden hohe Pegel bewertet.
- $f_4$  Frequenz des absoluten Maximums im Bereich 1000 Hz ... 5000 Hz. Positiv werden niedrige Frequenzen bewertet.
- $SC(0,3..1k)$  Spektraler Centroid (Frequenzschwerpunkt) im Bereich 300 Hz ... 1000 Hz. Positiv bewertet werden hohe Werte.
- $SC(0,05..5k)$  Spektraler Centroid (Frequenzschwerpunkt) im Bereich 50 Hz ... 5000 Hz. Positiv bewertet werden niedrige Werte.

## Schaltungstechnische Betrachtung

Für die messtechnische Analyse betrachten wir nicht nur den Tonabnehmer des Instrumentes als solchen, sondern das gesamte Tonabnahmesystem. Dieses besteht aus dem Tonabnehmer selbst, der gesamten Verdrahtung innerhalb der Gitarre, den ggf. vorhandenen Reglern und endet mit der Anschlussbuchse für das Kabel zum Verstärker bzw. zu verwendeten Effektgeräten. Für unsere Untersuchungen sahen wir dieses Gesamtsystem als Blackbox bzw. als Zweipol hinter der Anschlussbuchse an.

Das Tonabnahmesystem (TA) einer Gitarre wird in der praktischen Verwendung durch die Kapazität des Anschlusskabels, die Eingangskapazität des angeschlossenen Gerätes (Verstärker oder Effektgerät) sowie den Eingangswiderstand des Gerätes belastet. Während unserer Messungen wird praktisch der Verstärker durch ein Spannungsmessgerät, bzw. einen Signalanalysator ersetzt. Diese weisen natürlich selbst ebenfalls eine Eingangskapazität und einen Eingangswiderstand auf, die den Tonabnehmer, wie ein angeschlossener Verstärker, ebenfalls belasten. Um die Messsituation an die realen Verhältnisse anzupassen, wird zwischen Anschlusskabel und Analysator eine Messbox geschaltet, mittels derer verschiedene Kapazitäten und Widerstände in den Signalweg geschaltet werden können. Die zusätzliche Kapazität der Laborkabel wird dabei berücksichtigt. Da mit vertretbarem Aufwand diese Box nicht beliebige Werte realisieren kann und sich nicht alle schaltungsbedingten Änderungen der Belastung vollständig kompensieren lassen, ergeben sich für verschiedene Messanordnungen unterschiedliche Belastungen. Die sich aus den Gerätekenngößen und den gewählten Lastgrößen ergebenden Belastungen der Tonabnehmer sind im Folgenden für die einzelnen Messungen jeweils angegeben. Die für die meisten Untersuchungen verwendete Geräteanordnung stellt Abbildung 5 dar.



Abbildung 5: Verwendete Geräteanordnung für Messungen mit Tonabnehmer

## Mikrofonie

Es wird die Spannung gemessen, die das Tonabnahmesystem bei frontaler Beschallung und abgedämpften Saiten abgibt. Dazu wird die Gitarre im reflexionsarmen Raum aufgestellt und mit einem Verstärker beschallt. Verwendet wurde ein Fender Hot Rod Deluxe. Als Testsignal diente ein Chirp im Frequenzbereich 0 ... 10 kHz. Der Schalldruck am Aufstellort der Gitarre betrug ca. 115 dB. Um Differenzen beim Einstellen des Verstärkers auszugleichen, wird jeweils das Schalldruckspektrum am Ort der Gitarre unter Freifeldbedingungen gemessen. Die Messanordnung zeigt Abbildung 11.

Für die Vergleichsmessung wird die Gitarre entfernt und an ihrem Ort ein Messmikrofon platziert.



Abbildung 6: Messanordnung zur Bestimmung der Mikrofonie

Für die Berechnung des Mikrofoniemerkmals wird zunächst das Spannungsspektrum durch das Schallspektrum geteilt und anschließend der Gesamtpegel bestimmt. Dieser Gesamtpegel stellt das Merkmal dar. Seine Einheit ist der Pegel, bezogen auf 1 V/Pa. Positiv bewertet wird ein geringer Mikrofoniepegel. Unter folgenden Bedingungen wurde gemessen:

- Volumenregler am Instrument voll auf, Klangregler, soweit vorhanden, voll auf,
- Kapazitive Last 1 nF,
- Ohmsche Last 1 M $\Omega$ .

### Änderung des TA-Ausgangsspektrums bei verschiedenen Lasten

Der Klang des Instrumentes soll sich unter verschiedenen Belastungen des TA-Systems möglichst nicht verändern. Verschiedene Lasten sind hier unterschiedliche Verstärker und unterschiedliche Einstellungen des Volumenreglers am Instrument. Unter folgenden Bedingungen wird gemessen:

- Volumenregler am Instrument voll auf und halb auf, Klangregler soweit vorhanden voll auf,
- Kapazitive Last 585 pF,
- Ohmsche Last 130 k $\Omega$  und 1 M $\Omega$ .

Die Messung des Ausgangsspektrums erfolgt bei manuellem Anspiel. Dazu wird der Barré-F-Griff in den Bündlen 0 ... 12 je dreimal  $f$  angeschlagen und das mittlere Spektrum über die 39 Anschläge gebildet. Als Klangmaß dient der Spektrale Centroid (Frequenzschwerpunkt) der Spektren. Das Merkmal für die Veränderung des Klanges bildet die Standardabweichung des Spektralen Centroid für die vier Lastzustände. Die Einheit des Merkmals ist die Frequenz in Hz. Positiv bewertet werden kleine Werte.

### Impedanzüberhöhung der Tonabnehmer

Bei der Impedanzmessung kommt die stromrichtige Schaltung zur Anwendung. Gemessen wird der Impedanzpegel der Resonanz bei folgenden zwei Lastzuständen:

- Volumenregler am Instrument voll auf, Klangregler soweit vorhanden voll auf,

- Kapazitive Last 585 pF,
- Ohmsche Last 130 k $\Omega$  und 1 M $\Omega$ .

Als Merkmal dient der mittlere Summenpegel der beiden Lastzustände. Seine Einheit ist der Pegel, bezogen auf 0 dB  $\cong$  270  $\Omega$ . Der Bezug auf 270  $\Omega$  resultiert aus der Wahl dieses Widerstandswertes für den Shunt der Strommessung. Positiv bewertet werden große Pegel.

### Brummempfindlichkeit des Tonabnehmersystems

Gemessen wird die Brummspannung bei Einstrahlung eines bekannten Magnetfeldes. Als Feldquelle dient ein Netztrafo. Die Feldstärke am Ort der Tonabnehmer betrug  $H = 5783,61$  A/m. Folgender Lastzustand lag vor:

- Volumenregler am Instrument voll auf, Klangregler, soweit vorhanden, voll auf,
- Kapazitive Last 300 pF,
- Ohmsche Last 1 M $\Omega$ .

Als Merkmal dient der Effektivwert der gemessenen Brummspannung. Positiv bewertet werden kleine Werte.

### Halskonduktanz

Die Messung der Halskonduktanz bzw. Halsadmittanz ist eine Untersuchungsmethodik, die zunächst nur bei Solid-Body-Instrumenten angewandt wurde, nunmehr aber auch für Instrumente mit Resonanzkörper Verwendung findet. Wesentliche Arbeiten hierzu kommen von FLEISCHER. Es sei stellvertretend auf seine Arbeit von 2001 verwiesen.

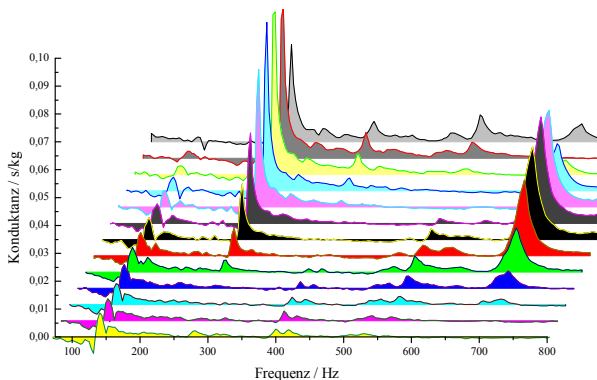
Die Admittanz, eine komplexe Größe, ist der Kehrwert der Impedanz und kann als Nachgiebigkeit eines mechanischen Systems verstanden werden. Für die Beurteilung der Halseigenschaften wird der Realteil der Admittanz, die Konduktanz eingesetzt. Sie stellt eine Art mechanische Leitfähigkeit dar. Je größer die Konduktanz, desto mehr mechanische Energie wird am Messpunkt aufgenommen, in unserem Falle, desto mehr Energie fließt unerwünscht in Halsschwingungen ab. Für die Tests bestimmen wir den Konduktanzverlauf jeweils in der Mitte der Bundstäbe 0 bis 12. Abbildung 7 zeigt den Messaufbau, Abbildung 8 die sich aus der Messung zunächst ergebende Kurvenschar.



Abbildung 7: Messaufbau zur Aufnahme der Halskonduktanz

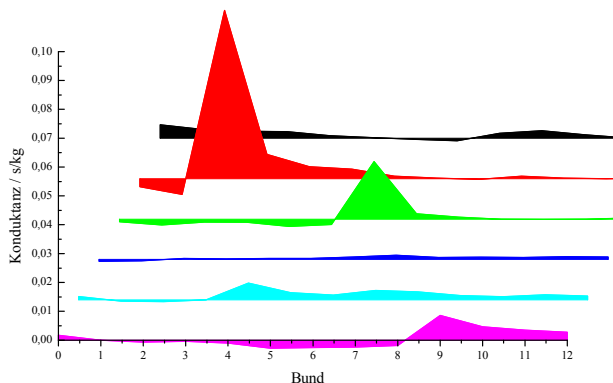
Die Aufnahme des Konduktanzverlaufes erfolgt durch das gleichzeitige Messen von Kraft und Geschwindigkeit am Erregungspunkt

und Bilden des Quotienten Geschwindigkeit/Kraft. Jede Kurve in Abbildung 8 stellt den Verlauf der Konduktanz über der Frequenz für den Ort eines Bundstages dar. Die hinterste Kurve steht für Bund 0, die vorderste für Bund 12.



**Abbildung 8: Ergebnis der Konduktanzmessung an den 13 Bünden**

Nun sind aber nur die Konduktanzwerte für bestimmte Frequenzen von Interesse, die Frequenzen der zu den einzelnen Bünden gehörenden musikalischen Töne. Abbildung 9 stellt die Werte für diese Frequenzen aus der gleichen Messung wie Abbildung 8 zusammen. Jede Linie steht nunmehr für die Töne einer Saite in den verschiedenen Bünden. An verschiedenen Orten des Halses finden wir gleiche Töne und damit gleiche zu betrachtende Frequenzen. Sie gehören jedoch zu verschiedenen Messorten und liefern damit jeweils mehrere Konduktanzwerte.



**Abbildung 9: Konduktanzwerte für die musikalischen Töne an den jeweiligen Bünden**

Diese Konduktanzwerte sind maßgeblich für den unerwünschten Abfluss von Energie. Als Merkmale verwenden wir die Summe der Konduktanzwerte über alle betrachteten 78 Töne und das auftretende absolute Maximum.

## Beurteilung der messtechnisch gewonnenen Merkmale

Für die objektive Bewertung Archtop-Gitarre werden insgesamt 12 Merkmale herangezogen. Die Merkmale werden mittels des in ZIEGENHALS 2010 beschriebenen Verfahrens beurteilt. Dazu bilden wir für jedes Merkmal Mittelwert und Standardabweichung über jeweils alle untersuchten Instrumente. Den in die Bewertung eingehenden Fehler für jedes Merkmal gewinnen wir über Reproduzierbarkeitsmessungen mit Instrumenten der aktuellen Stichprobe. Der Fehler ist jeweils die dabei auftretende halbe maximale Merkmalsdifferenz.

Die Beurteilung liefert für jedes Instrument und jedes Merkmal einen ganzzahligen Punktwert zwischen 1 und 5. Die Punktwerte werden pro Instrument addiert und ggf. auf einen Maximalwert normiert.

## Eine kurze Bemerkung zum Spieltest

Beim Musikertest Archtop-Gitarre kam ein weiterer Einflussfaktor hinzu: die verwendeten Verstärkertypen. Im Vorfeld führten wir Gespräche hierzu mit den beteiligten Musikern. Wir einigten uns einen typischen Transistorverstärker und mindestens einen typischen Röhrenverstärker bereitzustellen. Die Wahl fiel letztendlich auf folgende Typen:

- Fender Hot Rod Deluxe (Röhre, Eingang: 136 k $\Omega$ ; 1 M $\Omega$ )
- AER acoustiCube 3 (Transistor, Eingang: 2,2 M $\Omega$ ; 75 pF)
- HDB electronic Haller MV 2 (Röhre, Eingang: 1 M $\Omega$ ; 1,6 pF).

Darüber hinaus wurde jedem Musiker die Möglichkeit eingeräumt, seinen eigenen Verstärker mitzubringen. Das Wechseln der Verstärker erfolgte wahlweise über eine Umschaltbox bzw. durch Umstecken. Die Abdunkelung des Raumes für den größten Teil der jeweiligen Spieltest brachte ein kleines Problem hinsichtlich der Bedienung der Verstärker mit sich. Schließlich beleuchteten wir die Bedienfelder der Verstärker mit kleinen Pultleuchten, was genügend Licht für die Bedienung brachte, jedoch nur zu einer minimalen Beleuchtung der Testobjekte führte. Abbildung 10 veranschaulicht diese Testsituation.



**Abbildung 10: Testsituation Archtop-Gitarre**

## Literatur:

Fleischer, H.: Schwingungsuntersuchungen an elektrischen Gitarren. Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik Heft 2/2001 ISSN 1430-936X

Ziegenhals, G.: Beurteilung objektiver Merkmale von Musikinstrumenten. Fortschritte der Akustik – DAGA 2000 Oldenburg, März 2000

Ziegenhals, G.: Subjektive und objektive Beurteilung von Musikinstrumenten. Eine Untersuchung anhand von Fallstudien Dissertation TU Dresden 2010, Studientexte zur Sprachkommunikation Band 51 TUDpress 2010 (ISBN 978-3-941298-71-2)