

Zur objektiven Beurteilung von Instrumenten (Teil 2)

M. Baltrusch

Institut für Musikinstrumentenbau Zwota

Einführung

Einen Schwerpunkt der Untersuchungen im Bereich der Musikinstrumente bildet die objektive Bewertung der akustischen Eigenschaften von Instrumenten. Dazu bedient man sich der Systemanalyse und ermittelt das Übertragungsverhalten der Instrumente. Gleichzeitig ist die objektive Bewertung eng mit der subjektiven Wahrnehmung von Klängen verbunden, die in geeigneter Weise in den Bewertungsmaßstab zu integrieren ist. In diesem Beitrag wird ein Überblick gegeben, wie sich objektive Bewertungen mit psychoakustischen Untersuchungsmethoden verbinden lassen und anhand von Beispielen werden Möglichkeiten und Grenzen diskutiert.

Systemanalyse kontra Signalanalyse

Will man von den Fortschritten der aktuellen Psychoakustik profitieren, reicht es nicht mehr, Kenntnisse zu dem Übertragungsverhalten von Instrumenten zu haben. Man benötigt als Ausgangsbasis geeignete Daten des vom Instrument abgestrahlten Schalls. Es gibt mehrere Wege, sie zu erhalten:

- a) Das Instrument wird von einem Musiker angespielt. Diese Ansätze sind zumeist kurze Musikstücke, da diese für Hörtests am besten geeignet sind und es dem Musiker dabei am leichtesten fällt, Intonation und Tempi konstant zu halten. Für psychoakustische Untersuchung stellen komplexe Klänge noch ein Problem dar. Werden Einzeltöne oder Tonleitern gespielt, wird zwar eine weitere Untersuchung der Töne vereinfacht. Die exakte Reproduzierbarkeit von Lautstärke und Ansatz insbesondere beim Spiel von Einzeltönen bereiten den Musikern jedoch vielfach Probleme.
- b) Will man den Störfaktor „Mensch“ ausschließen, so ist der nächste Schritt, die Instrumente mit Hilfe einer geeigneten Vorrichtung anzuspielen. Prinzipbedingt kommt dieser Ansatz nicht für alle Instrumente in Frage. Besondere Probleme bereiten hier Streich- und verschiedene Blasinstrumente, da der komplexe Anregungsmechanismus eine ständige unbewusste Nachregulierung von Bogendruck bzw. Lippendruck verlangt, die sich kaum nachbilden lassen. Das Anspielen mit einer Vorrichtung hat sich bei verschiedenen eigenen Untersuchungen, beispielsweise an Klavieren (vgl. [1]) und Bandonion, bereits als geeignet erwiesen.
- c) Kennt man die Übertragungseigenschaft, d.h. die Impulsantwort, eines Instrumentes, dann läßt sich durch ein geeignetes, normiertes Eingangssignal ein adäquates Signal des abgestrahlten Schalls berechnen, das für eine psychoakustische Untersuchung weiterverwendet werden kann. Ein ähnliches Verfahren wird bereits bei Untersuchung an Geigen verwendet, wobei als Anregungssignal eine Sägezahl-Welle dient.
- d) Aus den Systemeigenschaften wird ein eigenständiges physikalisches Modell entwickelt und der abgestrahlte Schall bei einer synthetischen Anregung bestimmt. Dies stellt die aufwendigste Methode systematischer Untersuchungen unter

dem betrachteten Aspekt dar. Während schon länger physikalische Modelle für Schwingungs- und auch Schallberechnungen relativ einfacher Systeme genutzt werden, sind Modelle für Instrumente mit komplizierteren Randbedingungen selten. Derartige Untersuchungen sind beispielsweise in [2] für die Gitarre und in [3], [4] und [5] für Blasinstrumente beschrieben.

Möglichkeiten psychoakustischer Untersuchungen

Die derzeitigen Auswertungsverfahren der Psychoakustik erlauben eine Vielzahl von Klanganalysen, die aber meist an bestimmte Voraussetzungen gebunden sind. Wir möchten uns hier nur auf die gehörgerechte Darstellung von Klängen beschränken. Weitere psychoakustische Parameter, wie Rauigkeit, Tonhöhenempfinden etc. sollen hier keine Berücksichtigung finden. Die Lautheitsberechnung nach Zwicker [6] und insbesondere die adaptierten Formen in der heutigen Analysetechnik erlauben eine objektive Betrachtung hinsichtlich der spektralen Wahrnehmung. D. h. Frequenzbereiche in denen deutliche Unterschiede hörbar sind, werden objektiv sichtbar. Die Lautheitsberechnung ist jedoch nur für stationäre Geräusche vorgesehen. Musik ist nun aber eindeutig nichtstationär, so dass dieser Ansatz genau genommen nur für die quasistationären Geräusche, z.B. bei Streichinstrumenten, anwendbar ist.

Einen neueren Ansatz stellen gehörangepasste Spektrogramme dar, die nicht mehr allein auf die kausale Fourier-Transformation zurückgreifen. Zur gehörgerechten Darstellung instationärer Geräusche hat sich die Fourier-Time-Transformation bewährt. Die Fourier-t-Transformation, abgekürzt FTT, ist eine zeitvariante Fourier-Transformation mit einer exponentiellen Gewichtsfunktion. [7]

Psycho-akustische Untersuchungen in der Praxis

Beispiel 1: Klanganalysen von Tonzungen

Für das erste Beispiel wollen wir uns der Gruppe der Handzuginstrumente widmen. Für diese Instrumentengruppe existiert keine geeignete Systemanalyse, da es sich bei den Tonzungen um ein System mit Selbsterregung handelt. Für praktische Lösungen ist daher immer ein Musiker oder ein entsprechende Vorrichtung erforderlich, der bzw. die das Anspielen der Töne übernimmt. Bei den Klanguntersuchungen wurde von quasistationären Klängen ausgegangen und eine Lautheitsberechnung, unter Verwendung der Cortex-Akustik-Workstation durchgeführt. Anhand dieser Lautheitsspektren wurden der Einfluss von konstruktiven und Materialänderungen bewertet. Zur Verifizierung wurden die Ansätze subjektiv bewertet. Dabei wurden im wesentlichen gute Übereinstimmungen zwischen subjektiver klanglicher Beschreibung und den Darstellungen der Lautheit erzielt. Folgende Punkte markieren die Besonderheiten:

- Die Verwendung der Lautheit geht von quasistationären Geräuschen aus und ist daher nicht universell einsetzbar.
- Die Lautheit lässt sich gut zur spektralen Analyse der Klangfarbe nutzen, solange die Töne hinreichend ähnlich

sind, wie sich bei eigenen Untersuchungsreihen an Bandonionstimmplatten gezeigt hat.

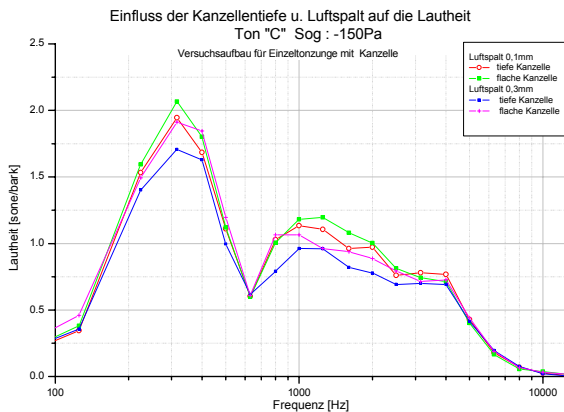


Abb. 1: Untersuchung der Klangunterschiede einer Bandonionstimmplatte bei Änderungen an Kanzelle und Luftspalt anhand von Lautheits-Spektren

- Ändert sich die zeitliche Struktur der Töne, so dass Modulationseffekte auftreten, erreicht man mit der gemittelten Lautheitsbetrachtung keine sinnvollen Aussagen
- Das Empfinden von Residualtönen wird durch die Lautheitsberechnung nicht berücksichtigt. Die tonale Wahrnehmung führt bei diesen Klängen zu starken Differenzen. Der wahrgenommene Klang und das entsprechende Lautheitsspektrum stimmen nicht mehr überein. (vgl. Abb. 2)
- Inwieweit der Einschwingvorgang durch die Modifikationen am Instrument geändert wurde und ob dieser sich dann klanglich signifikant auswirkt, kann mit dieser Untersuchungsmethode nicht gesagt werden.

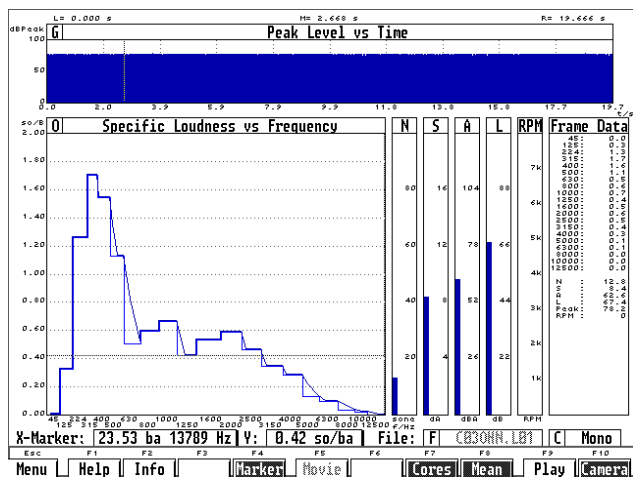


Abb. 2: Lautheitsberechnung einer Bandoniontonzunge, Ton C (f=65,4 Hz). Der Grundton fehlt im Lautheitsspektrum, wird aber deutlich wahrgenommen.

Beispiel 2: Geigenklanganalyse

Die Kenntnis der Übertragungseigenschaften von Geigen wird vielfach genutzt, um eine Prognose der Schallabstrahlung über den Tonumfang des Instrumentes zu erhalten. Üblicherweise wird als Anregung eine Sägezahn-Welle angenommen, die in erster Näherung der Saitenanregung beim Streichen der Saite mit einem Bogen entspricht. [8] In unseren ersten Voruntersuchungen wurden 4 Geigen ausgewählt von denen jeweils die subjektive Bewertung bekannt ist. Zwei dieser Instrumente wurden als klanglich gut, die anderen beiden als

klanglich unausgewogen beurteilt. Ein Signal einer gestrichenen Saite wurde auf der Grundlage eines physikalischen Modells [9] generiert. Das entsprechende Wave-Guide-Modell ist in dem Programm Csound integriert, welches zur Generation der Eingangssignale verwendet wurde. Dieses Eingangssignal, eine Tonfolge von g bis c3 in Halbtonschritten, wurde mit der Impulsantwort verschiedener Geigen gefaltet. Das Ergebnis ist ein Klang, der die Charakteristik des Instrumentes beinhaltet. Warum bei einigen Geigen das Ergebnis überzeugend ist, bei anderen Geigen jedoch eine scheinbar übertriebene Filterung stattfand, muss in weiteren Versuchen untersucht, für die optimale Impulsantworten gesucht werden sollen. Weitergehende Untersuchungen sollten überprüfen, ob die Vereinfachung zulässig ist, ein systemunabhängiges Eingangssignal zu verwenden. Wahrscheinlich ist jedoch, dass das Eingangssignal an das Instrument anzupassen ist und nicht für alle Instrumente gleich sein darf bzw. dass die Eingangsimpedanz des Instrumentes das Anregungssignal bestimmt. Weiterhin sind Optimierungen des Anregungssignals notwendig. Das betrifft insbesondere auch den Klang von gezupften Saiten.

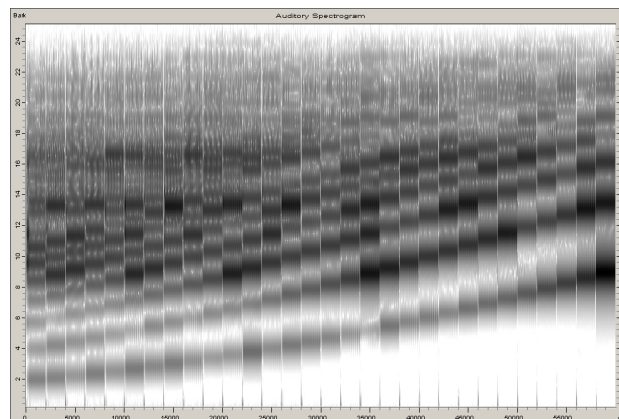


Abb. 3: Gehörbezogenes Spektrogramm einer Geige, die subjektiv als klanglich schlecht bewertet wurde. Auffallend ist die Unausgewogenheit von den Grundtönen und die Wirkung der Formanten.

Die von uns genutzte Software zur gehörrichtigen Darstellung von Klängen ist NCI Viper PerceptualExplorer, die auf Terhardts Ansatz zur Klangwahrnehmung basiert [7]. Bei der Gegenüberstellung der gehörbezogenen Spektrogramme sind je zwei Instrumente auffallend ähnlich. Die schlechter bewerteten Instrumente weisen auffällige Einbrüche im Grundtonbereich auf, wie in Abb. 3 dargestellt wurde.

- [1] Ziegenhals, G., "Zur objektiven Beurteilung von Klavieren," *Fortschritte der Akustik-Daga '02*, 2002, 406-407.
- [2] Wright, H. A. K. and Richardson, B. E., "Psychoacoustical Evaluation of Synthesised Guitar Tones: Linking Ton Quality to Construction," *Proceedings of the international symposium on Musical acoustics 1995, Le Normant Frankreich*, 1995, 603-608.
- [3] Msallam, R., Dequidt, S., Caussé, R. and Tassart, S., "Physical Model of the Trombone Including Nonlinear Effects. Application to the Sound Synthesis of Loud Tones," *Acta Acustica*, 2000, 725-736.
- [4] Gazengel, G., Gilbert, J. and Amir N., "Time Domain Simulation of Single Reed Wind Instrument. From the Measured Input Impedance to the Synthesis Signal. Where are the Traps?," *Acta Acustica*, 1995, 445-472.
- [5] Vergez, C. and Rodet X., "Dynamical Systems and Physical Models of Trumpet-like Instruments. Analytical Study and Asymptotical Properties," *Acta Acustica*, 2000, 147-162.
- [6] Zwicker, E., *Das Ohr als Nachrichtenempfänger*, Stuttgart: Hirzel-Verlag, 1967.
- [7] Terhardt, E., *Akustische Kommunikation*, Berlin Heidelberg New York: Springer, 1998.
- [8] Dünnwald, H., "Ein erweitertes Verfahren zur objektiven Bestimmung der Klangqualität von Violinen," *Acta Acustica*, 1990, 269 - 276.
- [9] Smith, J. O., "Physical Modeling Using Digital Waveguides," *Computer Music Journal*, 1992, 74-91.