

Vergleich der Wirkung adaptronischer Wolfötter

Johannes Tschesche¹, Christian Thyges¹, Joachim Bös¹ und Tobias Melz^{1,2}

¹ Fachgebiet SzM, TU Darmstadt, 64289 Darmstadt, E-Mail: tschesche@szm.tu-darmstadt.de

² Fraunhofer LBF, 64289 Darmstadt

Einleitung

Bei Streichinstrumenten, insbesondere bei Celli, treten häufig akustische Phänomene auf, die den Klang des Instruments negativ beeinflussen. Eines dieser Phänomene äußert sich beispielsweise durch starke Schwebungen des Klangs oder quietschende Töne und wird Wolfston genannt. Seine Entstehung wird ausführlich in [15] beschrieben. Darin werden auch Lösungen auf Basis mechanischer Tilger, sogenannte Wolfötter, aufgezeigt. Diese Tilger als passive Lösungsansätze können allerdings das gesamte Klangbild beeinträchtigen.

Alternativ dazu existieren erste adaptronische Konzepte [6] zur Unterdrückung des Wolfstons. Um diese Konzepte zu erproben wurde ein numerisches Modell entwickelt, mit dem ein Wolfston simulativ erzeugt werden kann. Das Modell bildet eine Platte ab, die über einen Steg mit einer einzelnen Saite gekoppelt ist. Dieser in [6] vorgestellte Demonstrator lässt sich so abstimmen, dass die für einen Wolfston typischen Effekte auftreten. Mit ihm kann die Wirkung adaptronischer Unterdrückungssysteme, die den Wolfston eliminieren sollen, untersucht werden. Exemplarisch wird die Wirkung zweier adaptronischer Systeme gegenübergestellt und mit der Wirkung herkömmlicher Wolfötter am realen Instrument verglichen.

Wirkung konventioneller Wolfötter

Um neuartige Konzepte bewerten zu können, muss zunächst die Wirkung gängiger Wolfötter bekannt sein. Zur Bewertung der wird in Anlehnung an [3] die Stegadmittanz herangezogen.

Untersucht wurden die drei gängigsten Wolfötter, die am Markt erhältlich sind. Sie sind in Abbildung 1 dargestellt.



Abbildung 1: Handelsübliche Wolfötter und Anregungsstelle am Cello (rot markiert)

Die Stegadmittanz wird mit Hilfe eines Impedanzhammers bestimmt, mit dem das Cello auf der Bassseite des Stegs (rote Markierung in Abbildung 1) angeregt wird. Zusätzlich befindet sich ein Beschleunigungssensor am Stegfuß auf der Bassseite. Die Schlagrichtung, mit welcher der Impedanzhammer auf den Steg trifft, ist Abbildung 2 zu entnehmen.

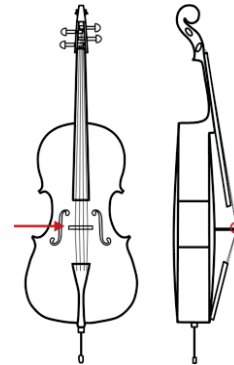


Abbildung 2: Anregungspositionen und Schlagrichtung des Impedanzhammers am Cello

Die Wolfötter wurden alle so eingestellt, dass der am Cello auftretende Wolf bestmöglich eliminiert wurde. Dazu wurden die Tilger exakt auf die Wolf Frequenz von ca. 155 Hz des Instruments eingestellt. Abbildung 3 zeigt die Stegadmittanz des Cellos ohne Wolfötter und mit applizierten Wolföttern. Die typischen Doppelpeaks des Wolfstons sind deutlich zu erkennen. Ebenfalls erkennbar ist, dass die Stegadmittanz durch die Wolfötter im Frequenzbereich des Wolfstons (rote Markierung, Wolf Frequenz ist durch vertikale Linie gekennzeichnet) erheblich vermindert wird.

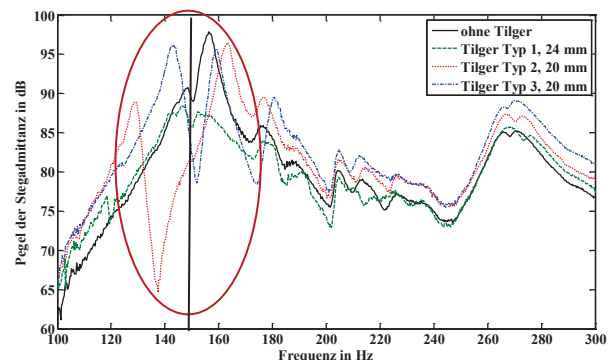


Abbildung 3: Experimentell bestimmte Stegadmittanz des Versuchscellos mit und ohne Wolfötter ($r_e=1/414 \text{ m}^3/\text{Ns}$)

Im Frequenzbereich der 1. Korpusmode des Cellos (2. Spitze des Doppelpeaks bei ca. 155 Hz) wird die Stegadmittanz um über 10 dB reduziert. Eine Dämpfung dieser Größe ist damit eine geeignete Größenordnung zur effektiven Unterdrückung des Wolfstons und wird auch mit adaptronischen Lösungen angestrebt. Es ist auch erkennbar, dass die Wolfötter die Stegadmittanz auch in anderen Frequenzbereichen beeinflussen.

Adaptronische Lösungsansätze

Ein mögliches Lösungskonzept ist das sogenannte Shunt Damping. Dabei wird ein piezokeramischer Flächenwandler auf eine flächige Struktur appliziert und mit einem elektrischen Widerstand R sowie einer Kapazität L verbunden, wie in Abbildung 4 dargestellt. Die Piezokeramik wirkt dabei als elektrische Kapazität und das Gesamtsystem als elektrischer Schwingkreis, der wie ein elektromechanischer Tilger wirkt.

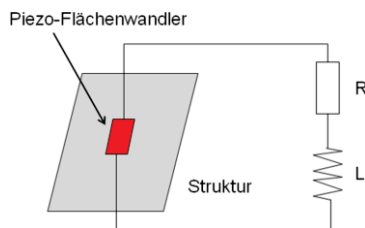


Abbildung 4: Prinzip des Shunt Damping

Ein derartiges Shunt Damping wurde am numerischen Demonstrator implementiert. Die Stegadmittanz mit und ohne elektromechanischen Tilger ist in Abbildung 5 dargestellt. Erkennbar ist auch das numerische Modell mit Anregungsstelle und Richtung der anregenden Kraft.

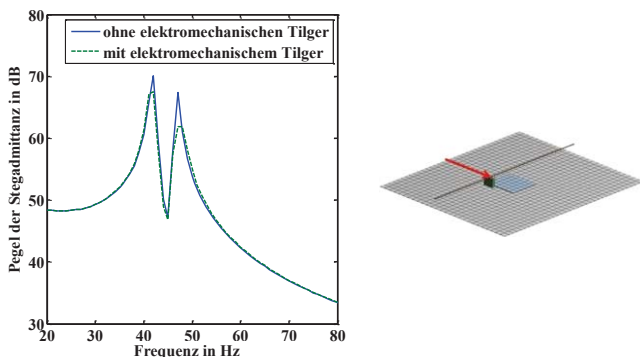


Abbildung 5: Simulierte Stegadmittanz am Prüfstand mit und ohne elektromechanischen Tilger ($r_e=1/414 \text{ m}^3/\text{Ns}$)

Wie in Abbildung 5 erkennbar ist, wird die Stegadmittanz nur um ca. 5 dB reduziert. Das System ist damit den herkömmlichen Wolföttern unterlegen.

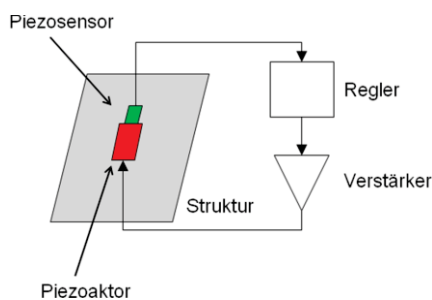


Abbildung 6: Prinzip eines aktiven geregelten Wolfötters

Ein weiterer Lösungsansatz ist die Verwendung eines aktiven Reglers. Dabei wird die Strukturschwingung mit einem Sensor erfasst, in einem Regler verarbeitet und das Reglerausgangssignal verstärkt auf einen piezokeramischen Flächenwandler geleitet. Abbildung 6 zeigt das Prinzip eines derartigen Systems, welches in [7] ausgelegt wurde.

Simulationsergebnisse des gleichen Systems sind in Abbildung 7 dargestellt. Einzelne Spitzen des charakteristischen Doppelpeaks können nahezu vollständig wegeregelt werden, was beispielhaft am zweiten Peak gezeigt ist. Um die Wirkung des Systems zu verdeutlichen, ist anstelle der Stegadmittanz die Plattenauslenkung am Mittelpunkt der Platte infolge einer harmonischen Erregung der Saite abgebildet.

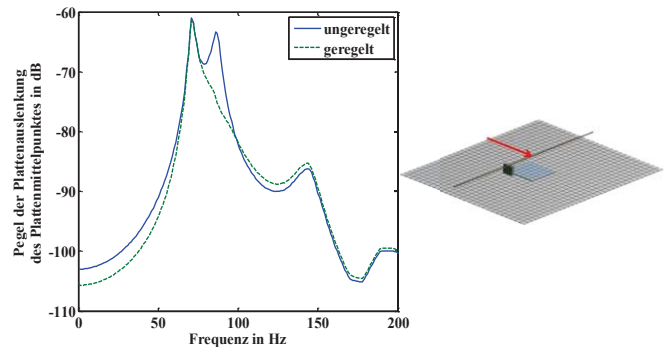


Abbildung 7: Plattenauslenkung des Wolfondemonstrators mit und ohne Regler am Plattenmittelpunkt ($r_e=1 \text{ m}$)

Das aktive System erreicht damit simulativ eine Reduzierung der Stegadmittanz, die im Bereich der gemessenen Reduzierung herkömmlicher Wolfötter am realen Cello.

Eine Erprobung des aktiven adaptronischen Systems am realen Cello steht aus.

Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeitsergebnisse wurden teilweise durch LOEWE-Mittel des Landes Hessen ermöglicht. Dafür bedanken sich die Autoren.

Literatur

- [1] Güth, W.: Physik der Streichinstrumente. S. Hirzel Verlag, Stuttgart, 1995
- [2] White, G.W.: Proceedings of the Cambridge Philosophical Society 18, 85-87, 1915
- [3] Fleischer, H.: Schall, Schwingung und Stegkonduktanz des Cellos. Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik, 2/10, 2010
- [4] Güth, W., Danckwerth, F.: Die Streichinstrumente: Physik, Musik, Mystik. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 1997
- [5] McIntyre, M.E.; Woodhouse, J.: The Acoustics of Stringed Musical Instruments. Dept. of App. Math. And Theo. Phys. Interdiscip. Science Reviews 3, 157-173, 1978
- [6] Tschesche, J., Thyges, C., Bös, J., Hanselka, H.: Simulation of smart wolf note eliminators, AIA-DAGA 2013, Conference on Acoustics, 18-21 March, Merano
- [7] Nguyen-Hoang, M.: Modellierung eines aktiven adaptronischen Wolfötters. Bachelor-Thesis, TU Darmstadt, 2014