

# ‘Active Sound Design’- Konzepte und Umsetzungen an einem Doppelrohrblatt-Holzblasinstrument

F. B. Konkel<sup>1</sup>, A. Jakob<sup>1</sup>, F. Heintze<sup>2</sup>, M. Möser<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, TU Berlin, E-Mail: frederic.konkel@tu-berlin.de*

<sup>2</sup> *Staatsoper Unter den Linden, Berlin*

## Einleitung

In der vorliegenden Arbeit wird am Beispiel eines Fagotts untersucht, ob sich durch zusätzlich über einen elektronisch gesteuerten Lautsprecher in das Musikinstrument eingeleiteten Schall der Klang verändern lässt und ob sich damit eventuell völlig neue Klangmöglichkeiten erzielen lassen (s. Abb. 1). Durch die Auslöschung oder Verstärkung bestimmter Obertöne des gespielten Tones wird geklärt, inwiefern es möglich ist, neue Klänge zu erzeugen, die mit rein passiven - das Instrument bauartlich verändernden - Maßnahmen nicht zu erzielen sind. Eine weitere Fragestellung der Arbeit ist, ob sich prinzipiell gezielte Klangspektren, ähnlich dem ‘Active Sound Design’ (ASD) in Pkws, vorgeben und einstellen lassen. Betrachtet werden in dieser Untersuchung zur Veränderung lediglich eingeschwingende Zustände.

## Vermessung

Eine genaue Aussage über die Klangeigenschaften des Fagotts ist für eine mögliche aktive Beeinflussung von großer Bedeutung. Vermessen werden Töne zwischen Bb1 (58Hz) und E5 (660Hz) in forte und piano. Damit wird das gesamte spielbare Spektrum betrachtet. Für diesen Versuch werden zwei Druckmikrophone und zwei Beschleunigungsaufnehmer als Messinstrumente genutzt. Mit einem Mikrophon wird der vom Instrument abgestrahlte Schall im Raum aufgezeichnet. Dieses befindet sich dabei auf der linken Seite des Instrumentenspielers mit einem Abstand von 1m zum Instrument und auf Höhe der Instrumentenmitte. Durch diese Positionierung ist ein möglichst unverfälschter Klang gegeben [1]. Mit einem zweiten Mikrophon wird der Schalldruck im Inneren des Instrumentes ermittelt. Der Messpunkt liegt innerhalb des Instrumentenkonus in einem Abstand von 10 cm vom Schallstück. Am S-Bogen des Instrumentes und am Metallbogen des Stiefels werden die Oberflächenbeschleunigungen mit Hilfe von Beschleunigungsaufnehmern ermittelt. So wird deutlich, dass sich das S-Bogen-Signal als stabiles Referenzsignal eignet. [2]

## Versuchsreihe mit analoger Beeinflussung

In einem Versuchsaufbau wird überprüft, ob eine aktive Beeinflussung von F3 ( $f_g = 174,6$  Hz) möglich ist. Die Einbringung des Gegenschalls wird in diesem Versuch an unterschiedlichen Positionen untersucht. So wird der Schall in einer konstruktiven Lösung am Stiefelende, durch ein offenes Schallloch sowie durch Einbringen in das Schallstück eingeleitet. Hierbei wird deutlich, dass

die Einleitung an der konstruktiven Lösung am Stiefelende sich durch ihre Stabilität, die frühe Position im Instrumentenverlauf (Konus) und den baulichen Raum eignet (s. Abb. 1).

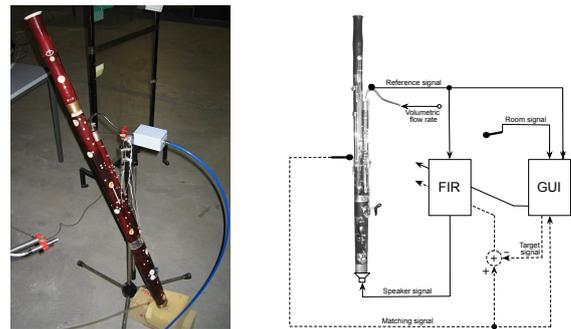


Abbildung 1: links: Versuch, rechts: ASD-Systems [3]

Durch die Versuche zeigt sich, dass eine Verstärkung der Amplituden gut zu realisieren ist. Eine direkte Abschwächung von einzelnen Moden ist hingegen schwieriger umzusetzen. Mit der verwendeten Verstärkertechnik kann die stehende Welle im Instrument mit ihren hohen Schallpegeln (120 dB) beeinflusst werden. Es ergibt sich eine starke Nicht-Linearität des Systems (‘regime of oscillation’ [1]). D.h. bei der Reduktion der Grundwelle und niedrigen Obertönen wird das gesamte Energiesystem geschwächt. Dies wirkt sich auf die höheren Moden aus. Hingegen wird bei einer Verstärkung in Phasenlage die Energie im gesamten System vergrößert. Zudem ist es möglich, die niedrigen Obertöne bei einer verschobenen Phase zu verstärken. Dadurch werden die hohen Obertöne in ihren Amplituden reduziert. Eine Reduktion der Grundfrequenz hat zur Folge, dass das gesamte System instabil wird.

Es wird deutlich, dass das erzeugte Signal im Versuchsaufbau (künstliches Anblasen), gegenüber dem menschlichen Spielen des Instrumentes, sehr gleichmäßig ist. Die Phase variiert beim menschlichen Spielen deutlicher und die Phasen Anpassung des analogen Systems erreicht bereits für die Verstärkung von Wellen seine Grenzen. Daher ist im Folgenden eine Umsetzung auf einem Digitalen Signal Prozessor (DSP) notwendig.

## Tonerkennung auf dem DSP

Für eine Umsetzung einer aktiven Beeinflussung ist in einem ersten Schritt der gespielte Ton zu ermitteln. Dazu wird ein Algorithmus [3, 4] zur Ordnungsanaly-

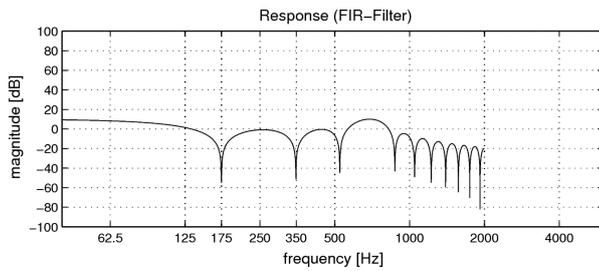


Abbildung 2: Amplitudengang des FIR-Filters

se eingeführt, welcher auf das Beschleunigungssignal des S-Bogens angewendet wird. Durch die Ordnungsanalyse besteht die Möglichkeit, ein beliebiges Signal allein durch seine Peakverteilung innerhalb einer Ordnungsmatrix wiederzuerkennen. Dies ist eine wichtige Bedingung, da das Referenzeingangssignal für tiefe Noten kaum Grundtoninformationen enthält.

Auf das Eingangssignal wird im DSP, bei einer Abtastrate von 24 kHz, eine FFT mit 1024 Werten angewendet. Anschließend wird das Spektrum von 50 Hz bis 1 kHz in 19 Frequenzabschnitte, je 50 Hz breit, unterteilt. Für jeden Ton ergibt sich so ein Array aus 19 Elementen, in welchem die Anzahl der Peaks der jeweiligen Frequenzabschnitte gespeichert sind. Um einen Ton erkennen zu können, muss nun ein Vergleich mit den jeweiligen Noten zugeordneten Arrays erfolgen. Ebenfalls ist eine direkte Unterscheidung von forte und piano Tönen möglich. Die Tonerkennung erfolgt ca. 23 mal pro Sekunde. Es zeigt sich, dass eine Detektierung von Sechzehntelläufen in einer Kadenz trotz Einschwingvorgängen des Instruments fehlerfrei umgesetzt wird. Die Ordnungsanalyse ist somit eine effektive Möglichkeit, um gleichzeitig die Tonhöhe und Dynamik anhand des S-Bogen-Beschleunigungssignals zu ermitteln [3].

## FIR-Filter zur Klangbeeinflussung

Die komplexe Verstärkung  $H(e^{j\Omega_k})$  eines FIR-Filters mit den Koeffizienten  $b_i$  bei der Frequenz  $z = e^{j\Omega_k}$  lässt sich schreiben als

$$H(e^{j\Omega_k}) = \sum_{i=0}^{N_b-1} b_i (\cos(\Omega_k i) - j \sin(\Omega_k i)). \quad (1)$$

Dabei ist  $\Omega_k = 2\pi \frac{f_k}{f_s}$ ,  $f_s$  ist die Abtastfrequenz des digitalen Systems. Es wird aus Gleichung (1) ersichtlich, dass ein hohes  $f_s$  in der Kombination mit einem niedrigen  $f_k$  und den trigonometrischen Funktionen zu Rechengenauigkeiten führt. Dies zeigt sich auch innerhalb der ersten Umsetzungen des Filters.

In Abb. 2 ist beispielhaft der Amplitudenverlauf eines FIR-Filters gegeben. Hierbei wird der vierte Oberton des Referenzsignals (ca. 700 Hz) um +10 dB angehoben. Die restlichen Harmonischen sollen nicht beeinflusst werden und daher muss das FIR-Filter diese Frequenzen sperren (hier z.B. 174 Hz, 348 Hz, etc.). Das DSP Eingangs- und

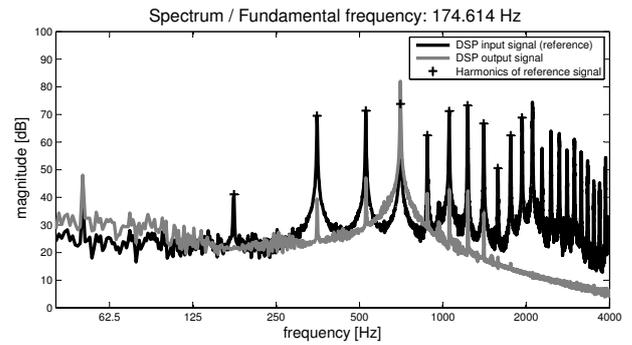


Abbildung 3: Betragsspektrum des Eingangs- und Ausgangssignals des DSPs

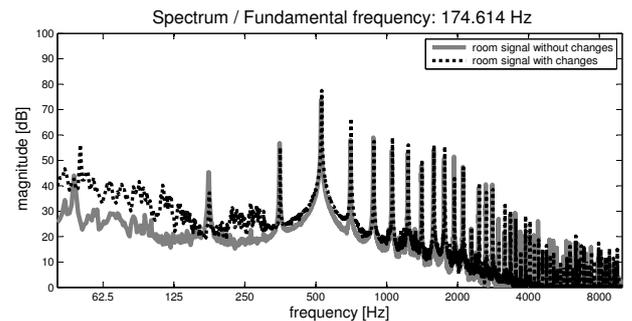


Abbildung 4: Raumspektrum vor und nach der FIR-Filterung für eine Erhöhung der 4. Harmonischen um +10 dB

Ausgangssignal ist in Abb. 3 gegeben. Die Erhöhung der vierten Harmonischen und die Reduktionen der restlichen harmonischen Frequenzen im Ausgangssignal des DSPs werden deutlich sichtbar.

In Abb. 4 ist das Raumspektrum ohne Veränderung und mit FIR gefiltertem Zusatzschall dargestellt. Es zeigt sich auch hier, wie in der Versuchsreihe mit analoger Beeinflussung, dass die Grundfrequenz und weitere Oberwellen durch die alleinige Beeinflussung der 2. Harmonischen verändert werden.

## Schlussbetrachtung

Mit der vorgestellten Tonerkennung und der Implementierung der FIR-Filterung sind weitere Elemente für ein ASD-System umgesetzt worden (s. Abb.1). In dem vorgestellten System kann der Musiker Vorgaben an die Filterung am PC eingeben, worauf die FIR-Filterkoeffizienten berechnet werden, die die Harmonischen des Referenzeingangssignals in Betrag und Phase verändern. Das Ausgangssignal des gesamten Filters, welcher auf dem DSP ausgeführt wird, beeinflusst durch eine Rückführung in das Fagott die Klangfarbe des Tones.

## Literatur

- [1] Arthur H. Benade. *Fundamentals of Musical Acoustics*. Dover edition, 2nd edition, 1990.
- [2] Frederic Konkel, André Jakob, Frank Heintze, and Michael Möser. *Active Sound Design of a Bassoon. Acoustics 08, Paris*, 2008.
- [3] Dirk Jahn. Diplomarbeit. *TU Berlin, ISTA*, July 2009.
- [4] F. B. Konkel. Diplomarbeit. *TU Berlin, ISTA*, August 2007.