

## Active Sound Design an einem Holzblasinstrument

Frederic Konkel<sup>1</sup>, André Jakob<sup>1</sup>, Frank Heintze<sup>2</sup>, Michael Möser<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> TU Berlin, Institut für Strömungsmechanik und Technische Akustik, 10587 Berlin, andre.jakob@tu-berlin.de

<sup>2</sup> Staatskapelle Berlin, Staatsoper unter den Linden, 10117 Berlin

### Einleitung

An einem Doppelrohrblattinstrument wurden Untersuchungen zur Beeinflussbarkeit des Klangs von Holzblasinstrumenten mit Methoden des „active noise control“ (ANC) durchgeführt. Als Versuchsinstrument diente ein Fagott (Abbildung 1). Im Vorfeld wurden Klangabstrahlung und Klangspektren des Musikinstrumentes gemessen.

Das zur Verfügung stehende Fagott bestand aus dem kompletten Holzkorpus aus Ahorn sowie Mundstück, S-Bogen und 180°-Umlenkung am Stiefel des Instrumentes. Lediglich der Klappenmechanismus wurde durch Abkleben und Füllen der Tonlöcher mit Wachs ersetzt. Für die hier vorgestellten Versuche war ein gehaltener Ton notwendig. Das Instrument wurde auf einen konstanten Ton, das „f“ mit seiner Grundfrequenz bei 174 Hz, gestimmt. Für die Reproduzierbarkeit war es weiterhin notwendig, ein konstantes Anströmen des Mundstücks zu gewährleisten. Dazu wurde ein einfacher künstlicher Anbläser für das Doppelrohrblatt des Fagotts entwickelt (Abbildung 2).

Um eine ausreichende Befeuchtung des Doppelrohrblattes zu gewährleisten, wurde die aus einer Druckluftquelle stammende Anblasluft durch einen Wasserbehälter geleitet.



Abbildung 1: Fagottaufbau.

### Versuchsaufbau

In den Versuchen wurde die generelle Beeinflussbarkeit des Klangs untersucht und geeignete Schalleinleitorte in das Instrument ermittelt. Als Referenzsignal für die Einleitung des Sekundärschalls in das Fagott diente ein Beschleunigungssensor am S-Bogen des Instrumentes (Ab-

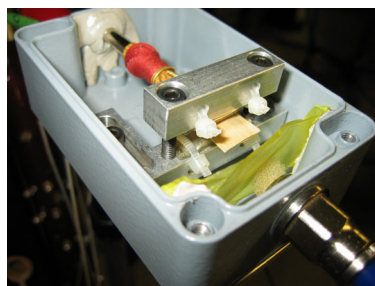


Abbildung 2: Künstlicher Anbläser.

bildung 3), da mit einem Mikrofon als Referenzsensor das aktive System eher zu Instabilität neigte. Mit einem Mikrofon im Raum wurde der Erfolg der Maßnahme beurteilt. Aus der Eingangsgröße „Beschleunigungssignal“ wurde die Grundfrequenz von 174 Hz gefiltert. Diese diente als Eingangsgröße des analogen Reglers für die Erzeugung von bis zu 16 Oberwellen, die in ihren Phasen und Amplituden manuell einstellbar waren.

Das erzeugte Signal wurde über einen Lautsprecher abgestrahlt. Die Zuleitung des Schalls zum Instrument erfolgte über eine geschlossene Lautsprecherkonstruktion mit einem Konus und einer Schlauchleitung. Dieser Aufbau gewährleistete einen möglichst weiten Abstand zwischen Erzeugerquelle und Einleitpunkt in das Musikinstrument und verringerte so Störgeräusche, die sonst durch die Lautsprecherbox verursacht würden. In den Versuchsreihen wurde die Beeinflussung von verschiedenen Obertönen untersucht. Hierzu wurde lediglich der Grundton in den Obertongenerator eingespeist und dessen Obertöne manuell in Amplitude und Phase hinzugegemischt. Dabei wurden verschiedene Einleitpunkte für den Schall betrachtet.



Abbildung 3: Beschleunigungssensor am S-Bogen.

## Schalleinleitorte

Untersucht wurden verschiedene Einleitungspunkte für die Einbringung des erzeugten Luftschalls. Als drei untersuchte Einleitungspunkte dienten ein ungenutztes Schallloch, das Schallstück des Fagotts und der 180°-Knick am unteren Ende des Stiefels des Instrumentes.

Die Einleitung über das offene Schallloch erfolgte am Stiefel des Instrumentes. Dazu wurde die normalerweise halboffene Klappe entfernt und der Schallschlauch durch das Schallloch geführt.

Für die Einleitung über das Schallstück wurde der Schallschlauch 10 cm mittig über eine entsprechende Halterung in das Schallstück geführt.

Für die Einleitung am 180°-Knick wurde ein neues 180°-Stiefelrohr mit einem Flansch zum direkten Anschluss des Schallschlauches angefertigt. Der Schall wurde direkt in die 19 mm Bohrung der Umlenkung eingeleitet (Abbildung 4). Die Klangabstrahlung wurde über ein Raummikrofon und ein Mikrofon im Instrument aufgezeichnet und die Signale als Schmalbandspektren (FFT) in Matlab ausgewertet und beurteilt. Als bester Schalleinleitort mit der größten Klangvariationsmöglichkeit wurde das 180°-Stiefelrohr ermittelt.

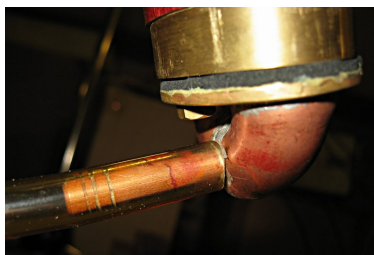


Abbildung 4: Schalleinleitung am Stiefelrohr.

## Ergebnisse

In den Abbildungen 5 und 6 sind die Spektren des 174 Hz Tons ohne Beeinflussung (schwarzer Verlauf) gegenüber Spektren mit analoger aktiver Beeinflussung (roter Verlauf) dargestellt. Alle dargestellten Spektren sind A-bewertet.

Für die Spektren in Abbildung 5 wurde nur der Grundton aktiv beeinflusst. Es ist aber zu erkennen, dass gleichzeitig auch die Obertöne beeinflusst werden. Dies lässt sich durch die vorhandene nichtlineare Kopplung der Schallfeldmoden im Instrument erklären („regime of oscillation“ [1]). Dabei ist der Einfluss von tiefen beeinflussten Moden auf höhere Moden deutlicher als der Einfluss von höheren Moden auf tiefere. Die Beeinflussung hängt nicht nur vom Betrag der Amplitude des Sekundärschalls ab sondern auch von dessen Phase. Der Unterschied zwischen den Ergebnissen aus Abbildung 5 besteht hauptsächlich in einem großen Phasenunterschied zwischen den eingeleiteten Schallsignalen.

In Abbildung 5 (links) ist die Grundfrequenz um ca. 15 dB angehoben. Gleichzeitig ist die 2. Mode um 2 dB verstärkt und die 3. Mode um 10 dB reduziert. Bei den

höheren Moden dominiert die Reduktion der Amplituden. Der Klang erscheint „dumpfer“ bzw. „grundtonhaltiger“ als der Ton ohne aktive Beeinflussung.

In Abbildung 5 (rechts) werden bei einer anderen Einstellung des Obertongenerators Moden sowohl reduziert als auch verstärkt. Es dominiert wieder der Grundtonklang, der jedoch gegenüber dem linken Spektrum „strahlender“ klingt.

Die Abbildung 6 zeigt, dass auch komplexere Klanggestaltungsmöglichkeiten bestehen, wenn mehrere Moden gleichzeitig beeinflusst werden. Für den Klang im linken Spektrum wurden die Moden 1 bis 5 sowie 12 bis 14 beeinflusst. Zu erkennen ist die hohe Verstärkung der Grundfrequenz und die geringere Verstärkung der 2. Mode. Die 3. Mode und einige folgende sind abgeschwächt. Der Bereich 1 bis 6 kHz ist kaum verändert. Die Klangcharakteristik dieses Tons weist eine Grundtonkomponente auf und wirkt „strahlend“. Im Gegensatz dazu weist das rechte Spektrum in Abbildung 6 deutliche Pegelreduzierungen der höheren Harmonischen auf. Hier wurden die ersten 10 Moden beeinflusst. Das Ergebnis dieses Versuchs ist ein sehr „grundtonig“ und leise wirkender Klang.

Generell zeigt sich, dass eine aktive Verstärkung deutlich leichter fällt als eine aktive Auslöschung, da für letztere wesentlich höhere Anforderungen an die Genauigkeit der einzustellenden komplexen Amplitude – vor allem der Phase – gestellt werden müssen. Dies ist insofern wichtig, da die Beeinflussung einer Mode stets gleichzeitig andere Moden mit beeinflusst werden.

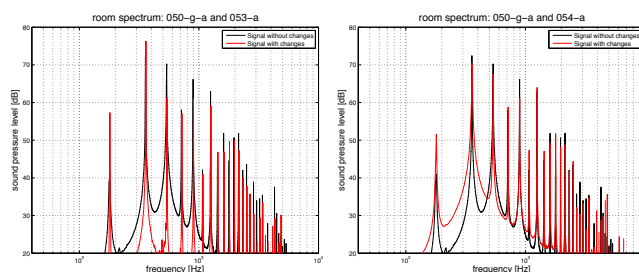


Abbildung 5: Beispiele für die Änderung des Spektrums bei Beeinflussung des Grundtons.

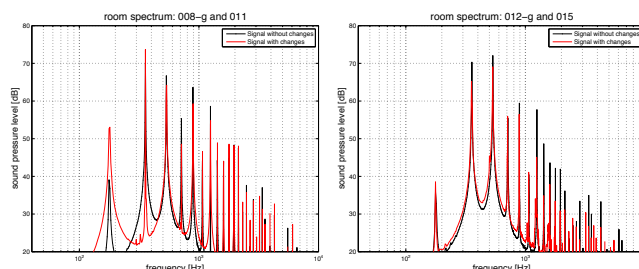


Abbildung 6: Beispiele für die Änderung des Spektrums bei Beeinflussung mehrerer Obertöne.

## Literatur

- [1] Benade, Arthur H.: Die Akustik der Musikinstrumente, 1960