

# Der Einfluß der Becherlänge bei Orgelpfeifen mit Durchschlagzungen

Jonas Braasch, Institut für Kommunikationsakustik, Ruhr-Universität Bochum

Christian Ahrens, Musikwissenschaftliches Institut, Ruhr-Universität Bochum

James P. Cottingham, Coe College, Cedar Rapids, USA

Thomas D. Rossing, Department of Physics, Northern Illinois University, DeKalb, USA

## Kurzfassung

An zwei Orgelpfeifen mit durchschlagender Zunge und verstellbarem Schallbecher (konisch und zylindrisch) wurden die Frequenz, Geschwindigkeit der Zunge, Klangspektren sowie Einschwingvorgänge in Abhängigkeit der Becherlänge und des Winddruckes bestimmt. Anschließend wurden die Meßergebnisse mit den historischen Beobachtungen von Töpfer/Allihn und Ellerhorst verglichen.

## 1. Einleitung

Orgelregister mit Durchschlagzungen wurden erstmals Ende des 18. Jhs. entwickelt. Als Vorbild dienten mit hoher Wahrscheinlichkeit ostasiatische Mundorgeln, die thailändisch-laotische khaen und die chinesische sheng. Im allgemeinen wird der Grundton bei diesen Registern durch die Abmessungen der Zunge bestimmt und so ist es möglich, Durchschlagzungen ohne Becher als Physharmonika-Register in die Orgel zu integrieren. Wie groß der Einfluß des Bechers auf die Grundfrequenz der Durchschlagzunge letztendlich wirklich ist, untersuchten Töpfer oder Allihn, so genau ist das bis heute nicht geklärt worden, bereits 1888 [1]. In dieser Studie wurde der Einfluß der Becherlänge anhand von zwei Orgelpfeifen mit durchschlagenden Zungen *Oboe d'* und *Klarinette d'* auf die Grundfrequenz der Pfeifen ermittelt. Außerdem findet sich in der Untersuchung eine verbale Beschreibung der Klangveränderung. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, daß die Grundfrequenz der Pfeife wesentlich schwächer durch die Becherlänge beeinflusst wird, als dies bei der aufschlagenden Zunge der Fall ist. Bei zunehmender Becherlänge wird die Schwingung der Zunge jedoch durch den Becher gedämpft und kann sich bei entsprechender Länge nicht mehr ausbreiten. Nach Überwindung dieses toten Punktes entwickelt die Pfeife wieder einen vollen Klang. Diese Ergebnisse wurden 1936 von Ellerhorst bestätigt [2].

Mit dem Wiederaufkommen von Orgelregistern mit durchschlagender Zunge — nach der Verbannung im Rahmen der Orgelbewegung seit den 1920er Jahren — bietet es sich nun an, das Thema wieder aufzugreifen und die Untersuchung auf den Einfluß des Bechers auf die mittlere Geschwindigkeit der Zunge, den spektralen Obertonbau und die Einschwingvorgänge auszudehnen.

## 2. Methoden

Die Untersuchungen wurden an zwei Pfeifen des Registers *Klarinette 8'* (Klais, neueren Datums) durchgeführt. Eine der Pfeifen hat einen zylindrischen Schallbecher mit einer Becherlänge von 38,5 cm (hier und im folgenden wird die Becherlänge als Abstand zwischen Stimmkrücke bei bestimmter Pfeife und der Schallbecheröffnung definiert). Durch einen weiteren verschiebbaren Aufsatz kann die Becherlänge zudem stufenlos zwischen einer Länge von 46 cm und 65 cm variiert werden. Der Schallbecher der zweiten Pfeife (c') ist konisch (Becherlänge 40 cm) und kann durch vier steckbare Aufsätze um jeweils 5 cm verlängert werden.

Die mittlere spektrale Geschwindigkeit der Zungenschwingung wurde mittels der Laserinferometrie (Laser-Vibrometer: Polytec OFV302 sensor head, OFV 3000 controller; Ono Sokki CF-360 Portable Dual Channel FFT Analyzer) im Department of Physics der Northern Illinois University, nach der von Rossing, Angster und Miklós auf dem 136. ASA-Kongreß vorgestellten Methode, gemessen [3].

Die Messung des relativen Schalldruckpegels erfolgte auf der Into-

niertlade (Schleiflade) der Firma Klais (Bonn) bei einem Luftdruck von (70 mm/H<sub>2</sub>O Wassersäule). Das Aufnahmemikrophon (AKG, C-414) wurde in einem Abstand von etwa 0.5 m oberhalb der Becheröffnung aufgestellt. Der Klang wurde verstärkt (Mackie, 1202-VLZ) und digital aufgezeichnet (Sony, TCD-D7). Hieraus wurden die Klangspektren mittels der diskreten Fouriertransformation ermittelt.

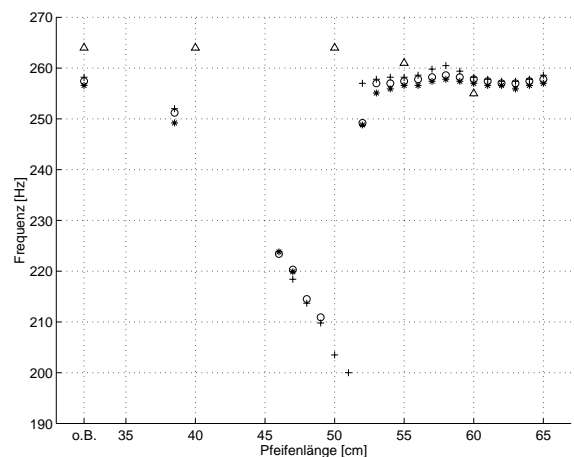


Abbildung 1: Grundfrequenzverlauf der Pfeifen in Abhängigkeit der Becherlänge: '\*' : 50 mm/H<sub>2</sub>O, 'o' : 70 mm/H<sub>2</sub>O, '+' : 90 mm/H<sub>2</sub>O (alle mit zylindrischem Becher); '△' : 70 mm/H<sub>2</sub>O, konischer Becher. Die Meßwerte für den zylindrischen Becher wurden mit dem Laser-Vibrometer, die für den konischen Becher mit dem Mikrophon gemessen.

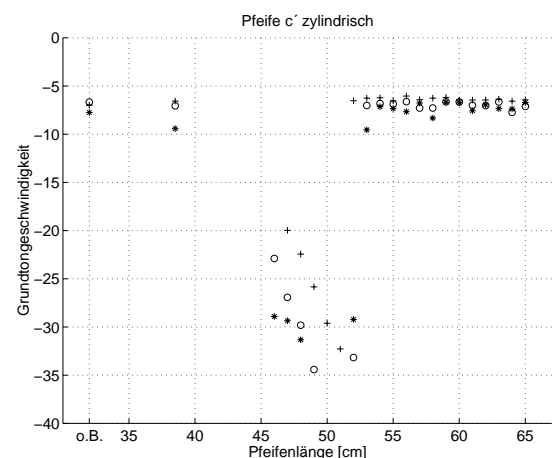


Abbildung 2: Gemittelte Geschwindigkeit aus Schwingung 1. Ordnung der Zunge in Abhängigkeit der Becherlänge in dB (0 dB entsprechen 1000 mm/s, gemessen wurde 1.5 cm von der Stimmkrücke entfernt): '\*' : 50 mm/H<sub>2</sub>O, 'o' : 70 mm/H<sub>2</sub>O, '+' : 90 mm/H<sub>2</sub>O (alle mit zylindrischem Becher)

## 3. Ergebnisse

Abb. 1 zeigt den Grundfrequenzverlauf der durchschlagenden Zunge in Abhängigkeit der Becherlänge. Wie bereits Töpfer/Allihn und Ellerhorst bemerkten, sinkt die Grundfrequenz der durchschlagenden Zunge mit zylindrischem Becher bei zunehmender Becherlänge zunächst ab,

bevor der Ton ganz absterbt. Die Grundfrequenz springt wieder auf den ursprünglichen Wert (d.h. Grundfrequenz der Zunge ohne Becher) zurück, wenn die Becherlänge weiter zunimmt. Der Einfluß des Winddrucks hat in Hinblick auf die Grundfrequenz eine eher untergeordnete Bedeutung. Er hat jedoch Einfluß auf die konkrete Becherlänge, bei der der Ton ganz erstickt. Bei einem Winddruck von 50 mm/H<sub>2</sub>O ist das zwischen 49 cm und 51 cm Becherlänge der Fall, bei einem Winddruck von 70 mm/H<sub>2</sub>O liegt der tote Bereich zwischen 50 cm und 51 cm Becherlänge, während bei 90 mm/H<sub>2</sub>O der Winddruck ausreicht, den toten Bereich ganz zu überwinden.

Der Frequenzverlauf der Pfeife mit konischem Becher ist anderer Natur, als es bei der Pfeife mit zylindrischem Becher der Fall war. Zwar sinkt auch hier die Grundfrequenz bei zunehmender Becherlänge, der Effekt ist jedoch nicht so ausgeprägt und findet bei etwas größeren Becherlängen statt. Der Ton erlischt erst bei einer Becherlänge von 65 cm, während dies bei dem zylindrischen Becher und einem Winddruck von 70 mm/H<sub>2</sub>O bereits bei 50 cm der Fall ist.

Neben der Grundfrequenzerniedrigung durch den Einfluß des Schallbeckers, ist bei zunehmender Becherlänge auch eine Abnahme der Geschwindigkeit der Zunge und damit der Zungenamplitude zu beobachten (Abb. 2). Wie in Abb. 2 ersichtlich, ist der Einfluß des Winddruckes auf die Zungengeschwindigkeit im Dämpfungsbereich wesentlich größer als der auf die Grundfrequenz. Vor allem zwischen 70 mm/H<sub>2</sub>O und 90 mm/H<sub>2</sub>O liegt die Zungengeschwindigkeit im Bereich zwischen 44 cm und 49 cm Becherlänge etwa 10 dB auseinander. Dadurch ist zu erklären, warum die Pfeife bei 90 mm/H<sub>2</sub>O nicht in den Bereich kommt, in dem sie nicht mehr anspricht. Aus den Meßergebnissen geht hervor, daß der Grenzwert, bei dem die Zunge noch anspricht, bei etwa -35 dB liegt.

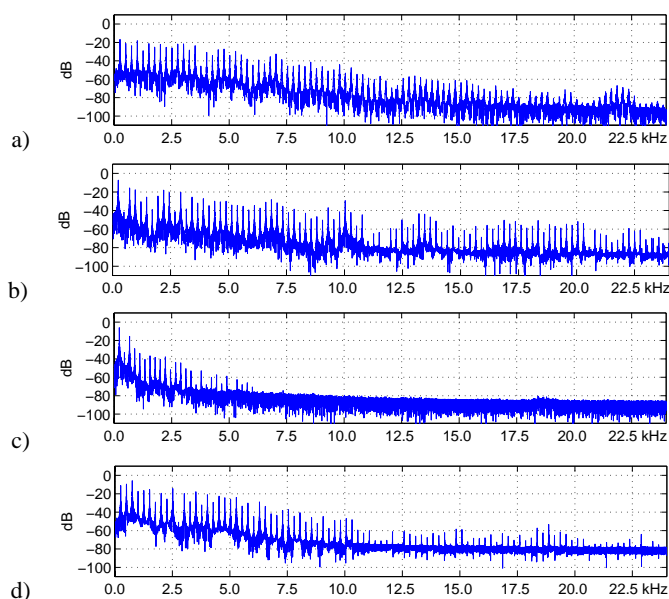


Abbildung 3: Klangspektren für verschiedene Becherlängen, a: ohne Becher, b: 38,5 cm, c: 46 cm, d: 63 cm

Aus den für verschiedene Becherlängen gemessenen Klangspektren wird ersichtlich, daß im starken Dämpfungsbereich nicht nur die Amplitude der Grundschwingung, sondern auch die der Obertöne im besonderen abnimmt (Abb. 3). Abb. 3a zeigt das Obertonspektrum, wenn die Zunge ohne Becher betrieben wird. Der Klang ist relativ obertonreich. Bei einer Becherlänge von 38,5 cm (Abb. 3b) werden die Obertöne im oberen Frequenzbereich verstärkt angeregt. Außerdem wird das Spektrum dem der Orchesterklarinetten ähnlicher, insofern die geraden Teiltöne im unteren Frequenzbereich durch den Becher stärker gedämpft werden und kaum noch ausgeprägt sind. Der Anteil der Obertöne nimmt drastisch ab, wenn die Becherlänge auf 46 cm verlängert wird (Abb. 3c). Die stärkere Dämpfung der ungeraden Teiltöne bleibt dabei jedoch erhalten. Bei Verlängerung des Bechers nimmt bis zum Erreichen des toten Punktes der Obertonanteil stetig ab. Nach Überwindung dessen ist der Obertonanteil allmählich wieder ausgeprägter, so wie das

in Abb. 3d deutlich zu sehen ist (Becherlänge 63 cm). Auffällig ist außerdem, daß nun der zweite oder wie in diesem Fall der dritte Teilton die stärkste Komponente bildet.

Auch auf die Dauer des Einschwingvorgangs hat die Becherlänge einen immensen Einfluß, wie in Abb. 4 erkennbar ist. Bei einer Becherlänge von 46 cm (Abb. 4b) wird das Einschwingen der Zunge gegenüber dem becherlosen Fall (Abb. 4a) begünstigt. Je nach Becherlänge kann der Einschwingvorgang aber auch stark verzögert werden. Dies ist in dem stark gedämpften Bereich, aber auch bei sehr großen Becherlängen, so wie in Abb. 4c bei einer Becherlänge von 56 cm, zu beobachten.

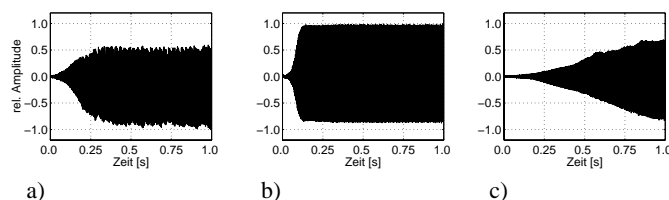


Abbildung 4: Einschwingvorgänge für verschiedene Becherlängen, a: ohne Becher, b: 46 cm, c: 56 cm

## 4. Diskussion und Zusammenfassung

Die in der Untersuchung ermittelten Ergebnisse stimmen weitestgehend mit den von Töpfer/Allihn bzw. Ellerhorst gemachten Beobachtungen überein. Die Becherlänge hat bei zylindrischer Becherform einen entscheidenden Einfluß auf das Schwingungsverhalten der Zunge, der Ton wird bei zunehmender Becherlänge stark gedämpft, wobei die Grundfrequenz abnimmt, um dann bei einer charakteristischen Becherlänge ganz zu erlöschen. Diese charakteristische Becherlänge hängt stark von der Becherform ab: so ist die Becherlänge, bei der der Ton ganz erlischt, bei der konischen Pfeife länger als bei der vermessenen zylindrischen Pfeife. Die gemessenen Werte von Töpfer/Allihn bzw. Ellerhorst stimmen mit den hier vorliegenden nicht ganz überein, allerdings bleibt die genaue Definition der Becherlänge bei Töpfer/Allihn wie auch bei Ellerhorst im unklaren. In der vorliegenden Untersuchung konnte darüber hinaus gezeigt werden, daß bei ausreichendem Winddruck der tote Punkt überwunden werden kann. Bei der Pfeife mit konischem Becher hat sich für die gemessenen Becherlängen gezeigt, daß der Einfluß des Bechers weitaus geringer ist, als das bei der zylindrischen Becherform der Fall war.

Die verbalen Äußerungen von Töpfer/Allihn konnten durch Messungen der Zungengeschwindigkeit, der Obertonspektren sowie der Einschwingvorgänge konkretisiert werden. Den Toncharakter im stark gedämpften Bereich bei Becherlängen vor dem toten Bereich beschreiben sie folgendermaßen: "Der Ton spricht schwer an", "gedeckter Klang", "schwach und zischend" und "leise". Dies steht im Einklang mit den von uns vermessenen langen Einschwingzeiten sowie dem stark gedämpften Obertonspektrum. Für große Becherlängen, etwas über den toten Punkt hinaus, beschreiben sie den Ton als "hellen Klang", was damit zusammenhängen könnte, daß der stärkste Teilton nicht mehr der Grundton, sondern der erste oder zweite Oberton ist.

*Wir danken der Firma Klais, insbesondere Hans-Gerd Klais, Philipp Klais, Horst Sandner und Diemar Schmitz für die Anfertigung der Pfeifen und die kooperative Hilfe während der Messungen sowie Jens Blauert (Institut für Kommunikationsakustik) für die umfassende Unterstützung.*

## Literatur

- [1] J.G. Töpfer (1888): *Die Theorie und Praxis des Orgelbaus*, Max Allihn (Hrsg.), Nachdruck der zweiten Auflage, Niederlande 1972.
- [2] W. Ellerhorst (1936): *Handbuch der Orgelkunde*, Einsiedeln.
- [3] T.D. Rossing, J. Angster, A. Miklós (1998): *Reed vibration and sound generation in lingual organ pipes*, J. Acoust. Soc. Am. 104, S. 1767-1768.