

Klang und Tonhöhe von Pauken

Gunter Ziegenhals

Institut für Musikinstrumentenbau an der TU Dresden, post@ifm-zwota.de
(Poster 28. Akustische Konferenz Strbske Pleso Okt. 1989)

Zielstellung und Vorgehensweise

Über die akustischen Eigenschaften und qualitativen Merkmale der Pauke, der Königin unter den Schlaginstrumenten, ist bisher nur wenig bekannt und veröffentlicht. Da diese Eigenschaften jedoch von großem Interesse für den Musikinstrumentenbau sind, wurden im Institut für Musikinstrumentenbau Zwota entsprechende Untersuchungen mit dem Ziel durchgeführt, Grundsätzliches über die Struktur von Paukenklängen zu erfahren, subjektiv empfundene Klang- und Qualitätsunterschiede zwischen den Instrumenten nachzuweisen und Rückschlüsse über deren Ursache zu ziehen.

Als Untersuchungsmethode wurde die Analyse des von der Pauke im Ergebnis von Einzel-Handanschlägen abgestrahlten Klanges gewählt. In einem ersten Schritt erfolgte die Aufnahme der Paukenklänge auf Magnetband. Die Aufzeichnungen wurden im Abhör-raum des Gewandhauses Leipzig und im Orchesterproberaum der Semperoper Dresden (Abbildung 1) unter Verwendung der dort vorhandenen Studioteknik vorgenommen.



Abbildung 1: Im Probensaal der Semperoper

Für die Untersuchungen standen zwei Sätze Dresdener Pauken alter Bauart (DPA), je ein Satz Premier-Pauken und Dresdner Pauken neuer Bauart (DPN) sowie Natur- und Kunststoffelle verschiedener Hersteller zur Verfügung. Das Anschlagen der Instrumente erfolgte durch profilierte Musiker. Insgesamt wurden ca. 330 Einzelanschläge verschiedener Pauke-Fell-Kombinationen, unterschiedlicher Dynamikstufen sowie in für die jeweiligen Instrumente repräsentativen Tonhöhenstufen aufgezeichnet und später im Institut analysiert.

Es kamen folgende Analysemethoden zum Einsatz:

- Messung der linearen Maximalpegel
- Aufzeichnung der Schalldruck - Zeit - Funktion
- Aufzeichnung des Pegelverlaufes
- Aufnahme von mittleren Terz- und Schmalbandspektren über verschiedene Zeitbereiche nach dem Anschlag

Dynamik und Pegelverläufe

Die Auswertung der linearen Maximalpegel der Klänge ergab, dass die Musiker während eines Aufnahmetages jeweils sehr gleichmäßig anschlugen und die Unterschiede zwischen den Dynamikstufen *piano* und *forte* ($\gg 20$ dB) sehr exakt reproduzierten. Die Standardabweichungen betragen 0,9 dB für *forte*-Anschläge und 2 dB für *piano*-Anschläge. Dieser Trend konnte bei der Aufnahme von Terzspektren bestätigt werden. Die Klänge der *forte*-Anschläge liefern eine deutlich bessere Reproduzierbarkeit. Die im folgenden diskutierten Ergebnisse beruhen deshalb ausschließlich der Auswertung von *forte*-Klängen.

Die Schalldruck-Zeit-Funktionen zeigen deutliche Unterschiede in bezug auf Abklingverhalten und Struktur zwischen Instrumenten, die auch subjektiv deutlich unterscheidbar sind. Instrumente bzw. Instrument-Fell-Kombinationen, die subjektiv nur geringe bzw. bei Aussagen verschiedener Personen keine eindeutigen Unterschiede im Urteil hervorrufen, weisen auch keine eindeutig reproduzierbaren Unterschiede in der Schalldruck-Zeit-Funktion auf.

Analoge Resultate liefert die Aufzeichnung der Pegelverläufe. Alle etwa gleichwertig mit gut bewerteten Pauken weisen Linearpegel - Verläufe auf, die sich auf einen relativ engen Bereich begrenzen lassen. Instrumente mit höherer Dämpfung werden in der Regel als schlecht eingeschätzt. Die Ausnahme bestätigt wie immer die Regel. Ein als sehr gut eingeschätztes Instrument wies von allen untersuchten Instrumenten die größte Dämpfung auf (Abbildung 2). Insgesamt ist jedoch eindeutig große Klangdauer bzw. geringe Dämpfung bei Pauken anzustreben.

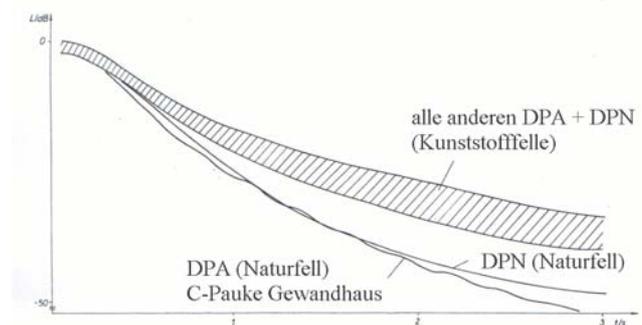


Abbildung 2: Pegelverläufe für verschiedene Felltypen

Terzspektren

Die Aufnahme von Terzspektren erfolgte in Form von Maximalwertspektren und mittleren Spektren über verschiedene Zeitfenster nach dem Anschlag. Es zeigte sich, dass Maximalwertspektren keine reproduzierbaren Ergebnisse liefern. Zeitfenster um 1 s nach dem Anschlag und darüber hinaus liefern nur noch in wenigen Terzbereichen verwertbare Signalanteile. Mittlere Terzspektren über Zeitfenster im Bereich 0,1 ... 0,8 s nach dem Anschlag lassen reproduzierbare Unterscheidungen zwischen den Instrumenten zu. Der Anschlag selbst (ca. die ersten 100 ms des Klanges) ist

unbedingt auszublenden. Abbildung 3 stellt die Varianzbreite im mittleren Terzspektrum über alle untersuchten G-Pauken für den Zeitbereich 480 ... 600 ms nach dem dar. Allgemein kann ausgesagt werden, dass von Musikern bevorzugte Instrumente im Bereich 500 Hz bis 1,6 kHz deutlich höhere Pegelanteile aufweisen.

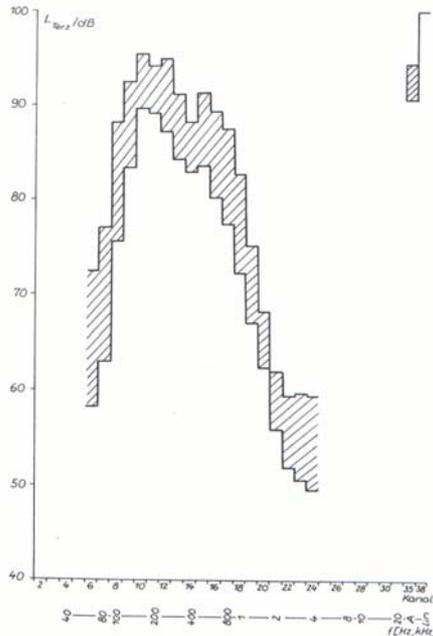


Abbildung 3: Varianzbreite der Terzspektren für G-Pauken, 480-600 ms nach Anschlag

Teiltonfrequenzen

Betrachtet man die vom Musiker angegebene Tonhöhe als Grundfrequenz f_1 des Klanges, so können ca. 80 % der festgestellten Teiltöne in folgenden mittleren Spektrenaufbau eingeordnet werden:

Teilton	1	2	3	4	5
f_n/f_1	1	1,5	2	3	4
L_n/dB	-3	0	-5	-10	-13

Tabelle 1: Teiltonverhältnisse bei *forte*-Anschlag

Teilton	1	2	3
f_n/f_1	1	1,5	2
L_n/dB	0	-3	-5

Tabelle 2: Teiltonverhältnisse bei *piano*-Anschlag

Die gemessenen Frequenzen der ersten Teiltöne f_1 stimmen sehr genau mit den Zieltonhöhen überein. Die Tonhöhenwahrnehmung beim Stimmen geschieht demnach durch selektives Hören des ersten Teiltönen. Das Stimmen des Instrumentes geschieht im *piano*- oder *pianissimo*-Anschlag und unter konzentriertem Hören des Musikers. Während des Spielens wird die Tonhöhe durch optisch (!) kontrollierte Veränderung der Fellspannung (Stimmungsanzeiger, Kurbelstellung) eingestellt. Der selektiven Tonhöhenwahrnehmung kommt offensichtlich auch hier die dominierende Rolle zu, wobei die Orientierung des Gehörs durch Töne anderer Instrumente stimuliert werden könnte.

Als weiteres interessantes Phänomen wurden im Zeitbereich unmittelbar nach dem Anschlag (bis 100 ms nach Anschlag) zwei breite Maxima (123 Hz und 198 Hz) als signifikante Anteile in allen Klangspektren gefunden (Abbildung 4). Das Verhältnis dieser

beiden stark bedämpften Teiltöne entspricht dem Verhältnis der Moden (12) und (11) der idealen Membran. Es wird deshalb die Vermutung geäußert, dass beim Anschlagen der Pauken zunächst die Eigenmoden des unbelasteten Felles angeregt werden, und sich die bekannten, dem oben beschriebenen Spektrenaufbau entsprechenden Moden des durch die Luft (Umgebung ± Kessel) beeinflussten Felles erst im Verlauf der ersten 100 ms des Klanges herausbilden, die Modenfrequenzen sich in dieser Zeit also verschieben. Der Effekt wird mit höherer Frequenz geringer bzw. die "Einstellzeit" wird mit wachsender Frequenz kleiner.

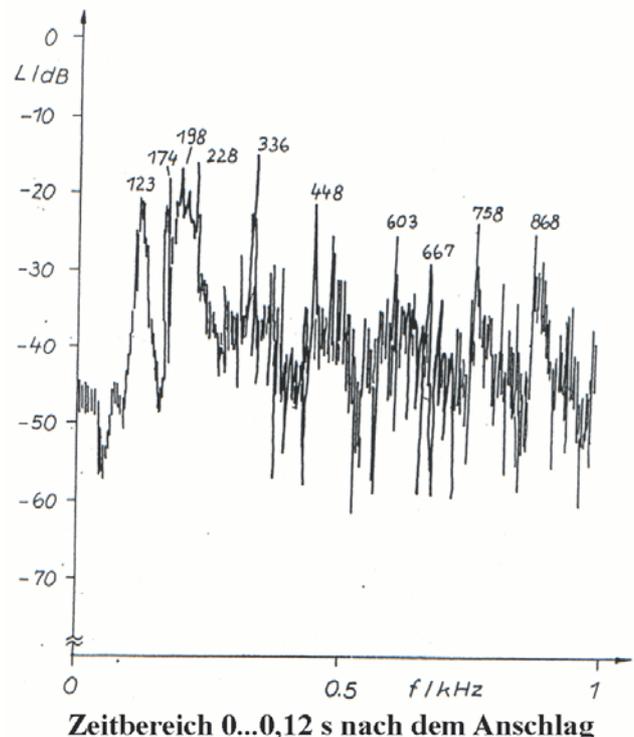


Abbildung 4: Schmalbandspektrum Paukenklang

Für die freundliche Unterstützung bei der Auswahl der Instrumente und der Herstellung der Klangaufnahmen möchte ich mich bei den Musikern und Technikern des Gewandhauses Leipzig der Semper - Oper Dresden, der Staatskapelle Dresden sowie den Kollegen des VEB Tacton BT Dresden an dieser Stelle recht herzlich bedanken; insbesondere bei Herrn Mehlig, Herrn Becker und Herrn Käppler.

Literatur

- Bork, I.: **Zur Abstimmung und Kopplung von schwingenden Stäben und Hohlraumresonatoren**, Dissertation Techn Univ. Braunschweig, Fak. f. Maschinenbau u. Elektrotechnik 1983
- Fletcher, N. H.; Rossing, Th. D.: **The Physics of Musical Instruments**, Springer-Verlag New York, Berlin, Heidelberg 1991
- Müller, U.: **FEM – Ein Rechenverfahren zur Optimierung von Tonzungenprofilen**, Instrumentenbau-Zeitschrift 44(1990)9 S.34-38
- Rossing, Th. D.: **The science of sound**, Addison-Wesley Publishing Company Reading, Menlo Park, New York 1990
- Trendelenburg, F.: **Einführung in die Akustik**, Springer-Verlag Berlin, Göttingen, Heidelberg 1961