

Untersuchungen an Konzertpauken

HELMUT FLEISCHER und HUGO FASTL*

Institut für Mechanik, UniBw München, *Institut für Elektroakustik, TU München

1. Einleitung

Moderne Orchesterpauken sind mit Vorrichtungen ausgestattet, die es erlauben, die Tonhöhe des Paukenklanges innerhalb eines Bereiches von mehr als einer Oktave zu verändern. Pauker betrachten jedoch nur einen mittleren, etwa halb so großen Bereich als optimal. Bei den im folgenden behandelten A-Pauken sind dies Töne zwischen F (87 Hz) und H (123 Hz). Höhere als diese Töne klingen nach Aussagen von Paukern "schwerfällig, träge und kurz". Tiefere Töne "haben mehr den Charakter eines Geräusches und weniger den eines Klanges".

Eine Pauke kann mit unterschiedlichen Fellen bespannt werden. Felle aus Kunststoff haben stabilere Eigenschaften; sie sind nicht feuchteempfindlich und kaum temperaturempfindlich. Trotzdem ziehen viele Pauker Felle aus Kalbshaut vor. Ihren Aussagen zufolge sind Naturfelle "auch in Extrembereichen einsetzbar" und klingen in den tiefen Lagen nicht so "blechern" wie künstliche Felle.

Das Funktionsprinzip der Kesselpauke kann aus mechanischer Sicht als weitgehend bekannt angesehen werden /1,2/. In der vorliegenden Arbeit werden die akustischen Signale untersucht, die Pauken in den unterschiedlichen Lagen und mit unterschiedlichen Bespannungen erzeugen. Fig.1 zeigt als Beispiel das sog. Wasserfalldiagramm eines solchen Schallsignales, das im reflexionsarmen Raum aufgenommen, auf DAT gespeichert und einer FFT-Analyse unterworfen wurde.

Im folgenden wird versucht, physikalische und gehörbezogene Merkmale von Paukenklängen aufzufinden, die sich mit dem Urteil des Musikers verknüpfen lassen.

Als Objekte standen mehrere A-Pauken

mit ca. 73 cm Kesseldurchmesser

zur Verfügung. Beispielhaft

werden hier typische Meß-

ergebnisse dargestellt,

die mit zwei unter-

schiedlichen Fellen

(künstlich bzw. na-

türlich) auf ein

und derselben Pau-

ke ermittelt wurden.

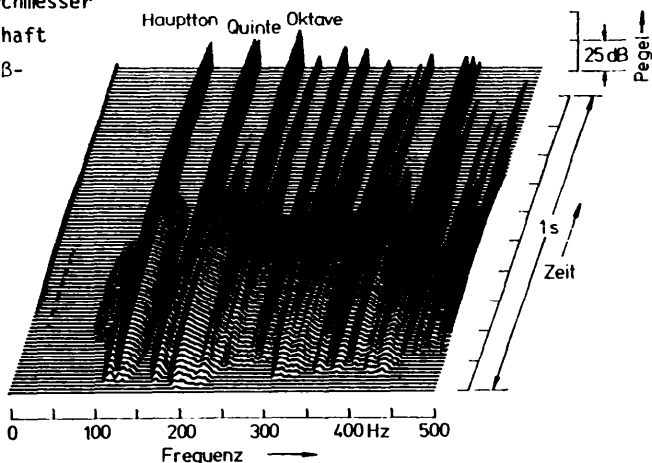


Fig.1: Spektren des Paukenklanges A über der Zeit

2. Messung physikalischer Kennwerte

2.1. Frequenzen der wichtigsten Teiltöne

Die Pauke wird auf den Hauptton gestimmt, der von der 11-Mode des Felles mit 1 Knotendurchmesser und 1 Knotenkreis am Rand herrührt. Aussagen von Paukern zufolge können daneben vor allem auch die Quinte (21-Mode) und die Oktave (31-Mode) von Bedeutung sein; siehe Fig.1. Die Frequenzen dieser Teiltöne sind mit derjenigen des 01-Tones, der von der ersten rotationssymmetrischen Mode herrührt, in Fig.2 als Funktion der Frequenz des Haupttones aufgetragen. Bei der untersuchten Pauke haben die musikalisch bedeutsamen Obertöne ziemlich genau die eineinhalbfache (Quinte) bzw. die doppelte (Oktave) Frequenz des Haupttones. Der musikalisch unerwünschte 01-Ton, der rasch abklingt, hat in den tiefen

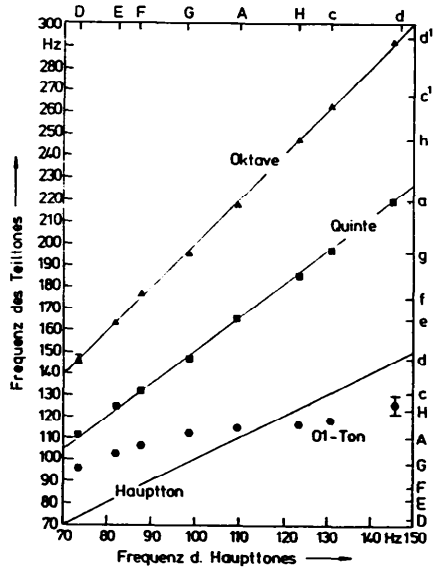


Fig.2: Frequenzen der wichtigsten Teiltöne von Klängen einer Pauke mit Naturfell

2.2. Nachhallzeiten der wichtigsten Teiltöne

Zur Kennzeichnung der Dauer des Abklingvorganges sind in Fig.3 Nachhallzeiten (Pegelabfall um 60 dB) zusammengestellt, wie sie aus den Wasserfalldiagrammen zu entnehmen sind. Die leeren Symbole gelten für das Kunstfell, die ausgefüllten für das Naturfell.

Die kürzesten Nachhallzeiten ergeben sich stets für den Hauptton; die Quinte und die Oktave klingen bis zu dreimal so lang nach. Die Nachhallzeiten sind in den hohen Lagen am kürzesten. Sie sind beim Kunstfell i.allg. größer als beim Naturfell. Dagegen zeigen beim Naturfell die Nachhallzeiten der einzelnen Teiltöne eines Klanges keine so großen Unterschiede wie beim Kunstfell.

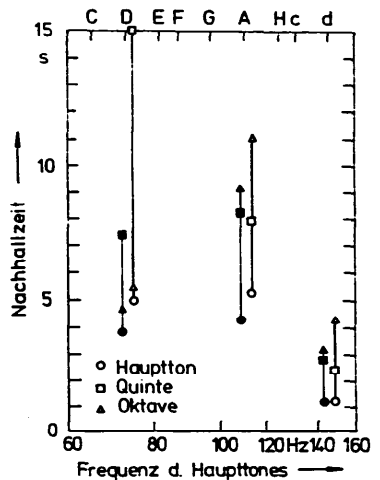


Fig.3: Nachhallzeiten der wichtigsten Teiltöne von Klängen einer Pauke mit Kunstfell (leer) bzw. mit Naturfell (ausgefüllt)

3. Messung gehörbezogener Kennwerte

3.1. Musikalische Tonhöhe

Die Musikalische Tonhöhe wurde mit einem Basic-Programm bestimmt, das auf Arbeiten von Terhardt /3/ basiert. Die Klänge wurden unmittelbar nach dem Anschlag in einem Zeitfenster der Länge 250 ms analysiert, die Spektren über IEC-Bus in den Rechner übernommen und der Tonhöhenberechnung unterzogen.

Typische Ergebnisse sind Fig.4 zu entnehmen. In aller Regel bestimmt die Spektraltonhöhe des Haupttones die Musikalische Tonhöhe des Paukenklanges. Deren Gewicht wächst mit steigender Frequenz. In den hohen Lagen erweist sich die Musikalische Tonhöhe als instabil: Bereits eine geringfügige Änderung des Anschlagortes kann dazu führen, daß die Tonhöhe nicht mehr ausschließlich durch den Hauptton mit einem Gewicht >30% bestimmt wird. Vielmehr kann der Fall eintreten, daß dem Hauptton und der Quinte Spektraltonhöhen zugeordnet werden, woraus in aller Regel eine Virtuelle Tonhöhe bei der Unteroktave des Haupttones resultiert. Diese Mehrdeutigkeit der Tonhöhe wurde bei Kunstfellen häufiger beobachtet als bei Naturfellen.

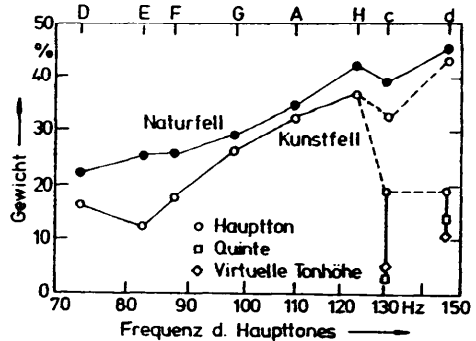


Fig.4: Berechnete Musikalische Tonhöhen und deren Gewichte in Abhängigkeit von der Frequenz des Haupttones

3.2. Lautheit

Im reflexionsarmen Raum wurden die Pauken mittels einer Vorrichtung gleichmäßig mit einem Schlegel angeschlagen. Von den auf DAT gespeicherten Klängen wurde dann mit einem Lautheitsmesser nach Zwicker /4,5/ die Lautheit bestimmt.

Wie Fig.5 exemplarisch zeigt, erweist sich auf ein und derselben Pauke das Kunstfell als "lauter". Die zugehörige Lautheit beträgt in den tiefen Lagen etwa 10 sone und steigt dann in den hohen Lagen auf etwas mehr als das Eineinhalbfache an. Beim Naturfell liegt die Lautheit zwischen 9 sone und 14 sone. Damit ist das Naturfell zwar etwas "leiser" als das Kunstfell, es antwortet aber im Bereich einer musikalischen Sexte (D bis H) mit gleichmäßig lauten Klängen auf einen gleichmäßig starken Anschlag.

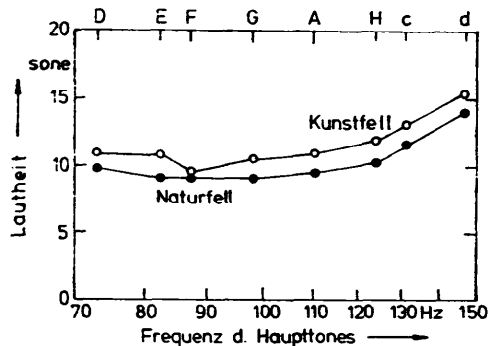


Fig.5: Lautheit von Paukenklängen als Funktion der Frequenz des Haupttones

4. Abschließende Diskussion

Der Vergleich zwischen den Ergebnissen der Messungen und dem Urteil des Musikers zeigt unter anderem die folgenden Zusammenhänge auf:

- Fig.3 läßt erkennen, daß die Nachhallzeiten in den tiefen und mittleren Lagen deutlich größer sind als in den hohen Lagen. In den hohen Lagen strahlt das Paukenfell den Schall effizienter und demnach auch schneller ab. Deshalb wird der Klang einer Pauke als zu kurz empfunden, wenn sie sehr hoch gestimmt ist.
- Fig.3 zeigt zudem, daß sich beim Kunstfell die Nachhallzeiten der Teiltöne eines Klanges teilweise stark unterscheiden. Beim Naturfell klingen dagegen die einzelnen Teiltöne eines Klanges und auch die Gesamtklänge gleichmäßiger ab. Dies könnte ein Grund dafür sein, daß sich Naturfelle in einem weiteren Bereich der Stimmung verwenden lassen als Kunstfelle.
- Fig.4 ist zu entnehmen, daß die Musikalische Tonhöhe in aller Regel von der Spektraltonhöhe des Haupttones bestimmt wird. In den tiefen Lagen prägt sie sich nur schwach aus. In den hohen Lagen kann sie stärker ausgeprägt, unter Umständen aber auch von der Quinte beeinflusst sein. In aller Regel tritt dann zusätzlich noch eine Virtuelle Tonhöhe auf. Beim Naturfell wurde diese vom Anschlagort abhängige Mehrdeutigkeit wesentlich seltener festgestellt als beim Kunstfell. Dies könnte einen weiteren Grund für die Bevorzugung des Naturfelles darstellen.
- Wie Fig.5 erkennen läßt, ist die Lautheit beim Naturfell zwar insgesamt etwas geringer als beim Kunstfell, über den nutzbaren Bereich der Stimmung jedoch etwas ausgeglichener. Mit einem Naturfell spricht eine Pauke im Bereich einer Sexte demzufolge gleichmäßiger an als mit einem Fell aus Plastik.

Offenbar sind die hier anhand einiger Beispiele illustrierten Messungen dazu geeignet, Zusammenhänge herzustellen zwischen gewissen Aspekten der subjektiven Beurteilung von Paukenklängen durch Musiker und Hörer einerseits und objektiv meßbaren Daten andererseits. Sie können demnach auch Hinweise für vergleichende Untersuchungen von Pauken liefern.

Literatur

- /1/ Rossing, T.D., *Die Physik der Pauke. Spektrum d. Wissenschaft, Jan.1983, 56-65*
- /2/ Fleischer, H., *Die Pauke. Forschungsbericht 01/88 aus dem Inst. f. Mechanik, Fak. LRT, UniBw München, Neubiberg 1988*
- /3/ Terhardt, E., *Calculating Virtual Pitch. Hearing Res. 1 (1979), 155-182*
- /4/ Zwicker, E., Deuter, K. und Peisl, N., *Loudness Meter Based on ISO 532 with Large Dynamic Range. In: Internoise 85 vol. II, 1119-1122*
- /5/ Fastl, H., *Gehörbezogene Lautstärke-Meßverfahren in der Musik. Das Orchester 38 (1990), 1-6*