

ÜBER DIE AUSGEPRÄGTHEIT DER TONHÖHE VON PAUKENKLÄNGEN

Hugo Fastl und Helmut Fleischer*

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

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Kesselpauken unterscheiden sich von anderen Mitgliedern der Instrumentenfamilie der Membranophone dadurch, daß sie Schallsignale erzeugen, die nicht nur perkussiven Charakter besitzen, sondern auch eine Tonhöhenempfindung hervorrufen. Die Tonhöhe ist im wesentlichen durch die Frequenz des Haupttones bestimmt, der von der ersten antimetrischen Schwingungsform des Paukenfelles herrührt [1,2]. Weitere musikalisch wichtige Teiltöne sind die Quinte mit der etwa eineinhalbfachen Frequenz des Haupttones sowie die Oktave mit der etwa doppelten Frequenz des Haupttones. Daneben tritt noch eine Vielzahl weiterer Spektralanteile auf, die unterschiedlich schnell abklingen.

Für die Beurteilung der musikalischen Qualität von Paukenklängen könnte ein mögliches Kriterium darstellen, wie deutlich sich ihre Tonhöhe ausprägt. Um das Empfindungsattribut Ausgeprägtheit der Tonhöhe zu skalieren, hat sich die psychometrische Methode der Größenschätzung bewährt [3]. Sie ermöglicht es, ein Ensemble von Testschallen danach zu ordnen, in welcher Deutlichkeit ihre Tonhöhe empfunden wird und auf einer Skale die Ausgeprägtheit zu quantifizieren. Diese Vorgehensweise wurde darauf angewandt, eventuell vorhandene Empfindungsunterschiede zwischen Paukenklängen zu bestimmen.

2. Untersuchte Paukenklänge

Für die Untersuchungen stand eine hochwertige Orchesterpauke - die zweite im Vierversatz - zur Verfügung. Sie konnte mit drei unterschiedlichen Kupferkesseln, die mit den Ziffern 1 bis 3 bezeichnet sind, sowie mit zwei unterschiedlichen Fellen (K für Kunstfell und N für Naturfell) versehen werden. Somit waren $3 \cdot 2 = 6$ unterschiedliche Quellen vorhanden, mit denen natürliche Testschalle erzeugt werden konnten.

Moderne Orchesterpauken lassen sich mit Hilfe einer ausgeklügelten Mechanik über einen Bereich stimmen, der mehr als eine Oktave umfassen kann. Für die hier beschriebenen Untersuchungen wurden als repräsentativ für die Pauke Nr. 2 die musikalischen Töne E (tiefe Tonlage; Frequenz des Haupttones 82 Hz), A (mittlere Lage; Haupttonfrequenz 110 Hz) und d (hohe Lage; Haupttonfrequenz 147 Hz) ausgewählt. Die Pauke wurde mit einem Schlegel relativ weich und möglichst gleichmäßig angeschlagen und die Klänge zur späteren Wiedergabe auf DAT aufgenommen. Das untersuchte Ensemble umfaßt demnach $6 \cdot 3 = 18$ unterschiedliche Paukenklänge. Fig. 1 zeigt als typische Beispiele Schallpegel-Frequenzspektren über der Zeit für Klang A, gespielt mit unterschiedlichen Fellen und Kesseln.

3. Psychoakustische Experimente

An den psychoakustischen Experimenten zur Größenschätzung ohne Ankerschall nahmen 14 normalhörende Versuchspersonen teil. Für die endgültige Auswertung wurden davon diejenigen acht ausgesucht, deren Aussagen die geringsten intra-individuellen Unterschiede zeigten. Diese schwankten bei den acht Versuchspersonen zwischen 5% und 12%. Im Mittel aller acht Versuchspersonen war die intra-individuelle Abweichung 8%.

Jede Versuchsreihe bestand aus vier Durchläufen. Die Paukenklänge wurden bei einem mittleren Abhörpegel von 85 dB diotisch über Kopfhörer Beyer DT 48 mit Freifeldentzerrer ([4], S. 7) dargeboten. Die Versuchspersonen ordneten jedem Schall auf einer selbstgewählten Skale einen Zahlenwert zu, den sie als Maß für die Ausgeprägtheit der Tonhöhe erachteten. Die einzelnen Ergebnisse wurden nach geeigneter Normierung zusammengefaßt. Als Endresultat werden die Zentralwerte mit den zugehörigen Interquartilen dargestellt, die sich für jeweils $8 \cdot 4 = 32$ Größenschätzungen ergaben. Die inter-individuellen Abweichungen der Urteile der einzelnen Versuchspersonen vom Zentralwert betragen zwischen 9% und 32%; im Mittel

weicht das Urteil einzelner Versuchspersonen um etwa 12% vom angegebenen Gesamt-Urteil ab.

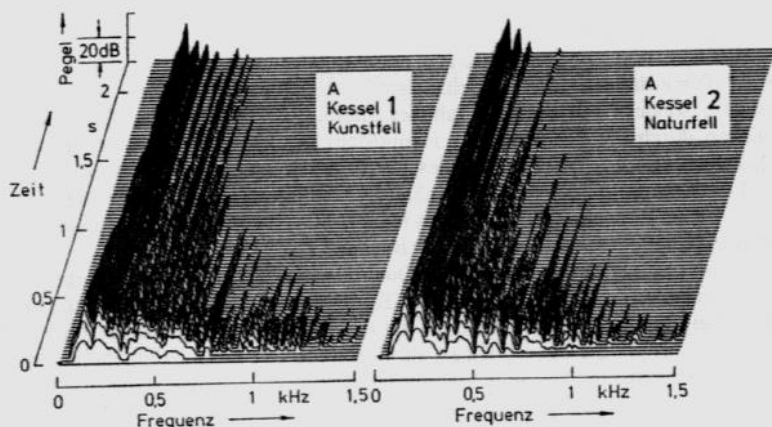


Fig. 1. Schallpegel-Wasserfalldiagramme von Paukenklängen.

4. Ergebnisse

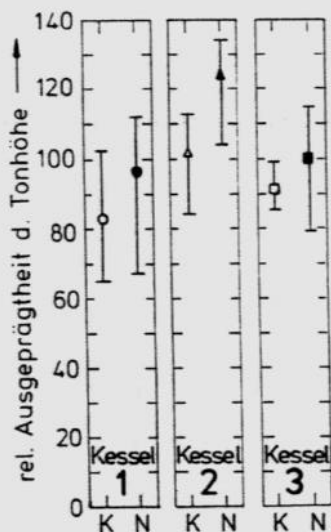


Fig. 2. Relative Ausprägtheit der Tonhöhe des Paukenklanges A für unterschiedliche Kessel und Felle.

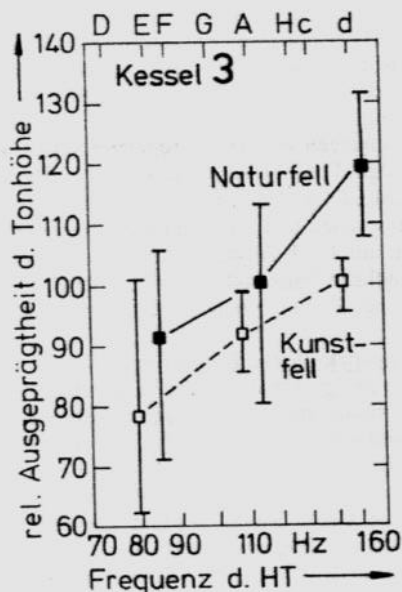


Fig. 3. Relative Ausprägtheit der Tonhöhe von Paukenklängen unterschiedlicher Stimmung des Kessels 3 mit verschiedenen Fellen.

In Fig. 2 sind Resultate für die Stimmung A (Frequenz des Haupttones 110 Hz) und drei unterschiedliche Kessel zusammengestellt. Dabei steht K (leere Symbole) für Kunstfell, N (ausgefüllt) für Naturfell. Man erkennt, daß sich die Zentralwerte der relativen Ausgeprägtheit der Tonhöhe auf der gewählten Skale zwischen den Werten 83 und 124 bewegen. Das bedeutet, daß die Tonhöhe des Klanges A beispielsweise beim Kessel 2 mit Naturfell um etwa 50% deutlicher ausgeprägt ist als beim Kessel 1 mit Kunstfell.

Fig. 3 zeigt, wie die Ausgeprägtheit der Tonhöhe von der Tonlage abhängt. Es wurde der Kessel 3 mit Kunstfell (leere Symbole) bzw. Naturfell (ausgefüllt) verwendet. Bespannt man den Kessel mit einem Naturfell, dann prägt sich die Tonhöhe systematisch deutlicher aus als bei Verwendung eines Kunstfelles; siehe auch Fig. 2. Beispielsweise beim Klang d (Frequenz des Haupttones 147 Hz) differieren die Zentralwerte um etwa 20%. Für beide Felle gilt, daß die Ausgeprägtheit der Tonhöhe mit der Frequenz ansteigt. Während sie beim Kunstfell für die tiefe Tonlage nur den relativen Wert 78 hat, erreicht sie in der hohen Lage den Wert 100; im Intervall E bis d nimmt sie damit um etwa 30% zu. Beim Naturfell ist die Tonhöhe ebenfalls in der hohen Lage um etwa ein Drittel ausgeprägter als in der tiefen Lage.

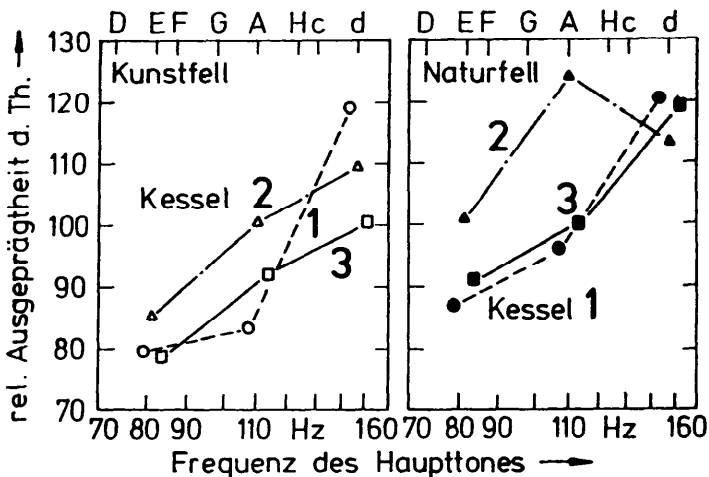


Fig. 4. Relative Ausgeprägtheit der Tonhöhe von Paukenklängen unterschiedlicher Stimmung für verschiedene Kessel mit Kunstfell (links) bzw. Naturfell (rechts).

Fig. 4 bietet eine Zusammenstellung von Zentralwerten, die einen direkten Vergleich aller Einzelresultate ermöglicht. Die relative Ausgeprägtheit der Tonhöhe ist im linken Teildiagramm für das Kunstfell, im rechten Teildiagramm für das Naturfell angegeben. Die Kreise repräsentieren die Zentralwerte für den Kessel 1, die Dreiecke diejenigen für den Kessel 2 und die Quadrate diejenigen für den Kessel 3.

Die Unterschiede zwischen den verschiedenen Kesseln und Bespannungen sind bei mittlerer Tonlage am größten. Wie bereits Fig. 2 gezeigt hat, prägt sich beispielsweise für Kessel 2 mit Naturfell die Tonhöhe um nahezu die Hälfte deutlicher aus als für Kessel 1 mit Kunstfell. Bei tiefen und hohen Tonlagen sind die Spannen zwischen größtem und kleinstem Meßwert

mit nicht ganz 30% bzw. 20% etwas geringer. Auffällig ist die Abhängigkeit von der Stimmung des Felles: Mit einer einzigen Ausnahme spiegeln alle sechs Meßkurven die Tendenz wider, daß sich die Tonhöhe um so deutlicher ausprägt, je höher die Tonlage ist.

5. Abschließende Diskussion

Die Untersuchungen haben aus psychoakustischer Sicht folgende Erkenntnisse gebracht:

- * *Mit dem Empfindungsattribut Ausgeprägtheit der Tonhöhe (pitch strength nach [3,4]) lassen sich nicht nur synthetische, sondern auch natürliche Schallsignale kennzeichnen.*
- * *Die psychometrische Methode der Größenschätzung ohne Ankerschall liefert hierbei verläßliche und reproduzierbare Ergebnisse.*
- * *Bei praktisch allen Paukenklängen nimmt die Ausgeprägtheit der Tonhöhe mit steigender Frequenzlage zu. Diese Abhängigkeit war bis Frequenzen von etwa 1 kHz bereits für Sinustöne bekannt [3]; für natürliche Schallsignale war sie bisher noch nicht nachgewiesen worden.*

Im Hinblick auf die Beurteilung der Qualität von Pauken sind folgende Resultate von Bedeutung:

- * *Die Ausgeprägtheit der Tonhöhe stellt ein psychoakustisches Attribut von Paukenklängen dar. Diesbezügliche Unterschiede lassen sich psychometrisch quantifizieren.*
- * *Offenbar gibt es eine Tonlage, bei der sich Paukenklänge besonders gut hinsichtlich der Ausgeprägtheit ihrer Tonhöhe unterscheiden lassen. Beim hier untersuchten Ensemble ist dies die mittlere Lage A.*
- * *Bei Bespannung mit einem Naturfell prägt sich die Tonhöhe der Paukenklänge in aller Regel deutlicher aus, als wenn ein Kunstfell verwendet wird.*
- * *Für ein und denselben Kessel ergeben sich für verschiedenartige Bespannung Unterschiede von 2% (d, Kessel 1) bis 24% (A, Kessel 2), im Mittel von 13%.*
- * *Bei gleicher Bespannung ergeben sich zwischen den verwendeten Kesseln Unterschiede von 7% (d, Naturfell) bis 29% (A, Naturfell), im Mittel von 17%.*
- * *Demnach haben die Unterschiede in der Ausgeprägtheit der Tonhöhe, die von den unterschiedlichen Kesseln herrühren, dieselbe Größenordnung wie diejenigen, die aus einer unterschiedlichen Bespannung resultieren. Versieht man die Pauke wechselweise mit den drei - offenbar ähnlich gut gestalteten - Kesseln, so ändert sich die Ausgeprägtheit der Tonhöhe im Mittel etwa im selben Maße, wie wenn man anstelle eines Kunstfelles ein Naturfell oder umgekehrt verwendet.*
- * *Bei keinem der untersuchten Kessel weist die Ausgeprägtheit der Tonhöhe in allen Tonlagen Höchstwerte auf. Die Tonhöhe ist in den tiefen und mittleren Tonlagen bei Verwendung des Kessels 2, in der hohen Lage bei Verwendung des Kessels 1 am deutlichsten ausgeprägt.*

Einige physikalische Daten der verwendeten Kessel und Felle sind in [1] zusammengestellt. Die Korrelation dieser und gegebenenfalls weiterer physikalischer Kennwerte mit dem hier behandelten Empfindungsattribut wird derzeit untersucht.

Die Autoren danken den Herren Dipl.-Ing. S. Goossens und M. Prüfer für Unterstützung bei der Durchführung der Experimente. Herrn Bernhard Kolberg von der Firma Kolberg Percussion in Uhingen gilt herzlicher Dank dafür, daß er für die Untersuchungen einige seiner Instrumente zur Verfügung gestellt hat.

Literatur

- [1] Fleischer, H. und Fastl, H., Untersuchungen an Konzertpauken. DAGA '91, pp. 885-888.
- [2] Fleischer, H., Akustische Untersuchungen an Orchesterpauken. Forschungsbericht 02/91 aus dem Institut für Mechanik, UniBw München, Neubiberg 1991.
- [3] Fastl, H., Pitch strength of pure tones. 13. ICA, Vol. 3, pp. 11-14, Belgrad 1989.
- [4] Zwicker, E. und Fastl, H., Psychoacoustics - Facts and Models. Springer, Berlin 1990.