

WOHLKLANGSBEURTEILUNG VON KIRCHENGLOCKEN

W. Aures

Institut für Elektroakustik, Technische Universität München

1. EINLEITUNG

Untersuchungen über den Wohlklang von Umweltschallen [1], [2] haben gezeigt, daß der Wohlklang dieser Schalle im wesentlichen durch deren Schärfe, Rauigkeit und Tonalität bestimmt wird. Der Wohlklang eines Schalles kann demnach auf seine physikalischen Eigenschaften und die damit verbundenen psychoakustischen Hörempfindungen zurückgeführt werden. Durch eine genügend große Anzahl von Versuchspersonen kann der Einfluß individueller Abneigungen gegen bestimmte Schalle auf das Ergebnis solcher Untersuchungen vermieden werden.

Hier wird nun über eine Untersuchung des Wohlklangs von Kirchenglocken berichtet. Die vorliegenden 17 Glockenklänge sind eine repräsentative Auswahl aus einer größeren Anzahl von Tonbandaufnahmen historischer Kirchenglocken Unterfrankens. Im letzten Berichtsband der DAGA wurden die Ergebnisse von Messungen der wahrgenommenen Tonhöhen der gleichen 17 Glocken veröffentlicht [3]. (Die dort verwendete Numerierung der Glocken stimmt mit der hier verwendeten überein.)

2. WOHLKLANGSBEURTEILUNG IM A/B-VERGLEICH

Die Messungen bestanden aus 2 Teilversuchen, an denen 16 Versuchspersonen teilnahmen. Innerhalb eines jeden Teilversuchs wurden die aus den 17 Glockenklängen gebildeten 136 Klangpaare je einmal dargeboten. Im zweiten Teilversuch wurde die Reihenfolge innerhalb der Klangpaare gegenüber dem ersten Teilversuch umgekehrt. Beide Teilversuche wurden je zweimal durchgeführt, so daß sich pro Versuchsperson 4 Entscheidungen für jedes Glockenpaar ergaben. Die Glockenklänge wurden einohrig über einen Kopfhörer (Beyer DT 48 mit Frequenzgangentzerrung) dargeboten. Die Darbietungslautstärke wurde mit einem Lautheitsanalysator auf 70 phon (8 sone Lautheit) eingestellt. Die Darbietungszeit betrug vom Anschlag an 1 s. Die beiden Glockenklänge eines Paares waren durch eine Pause von 0,8 s getrennt. Zwischen aufeinanderfolgenden Paaren war eine Pause von 4 s, in der sich die Versuchspersonen entscheiden mußten, welchen der beiden Klänge sie als wohlklingender empfanden.

Die relative Häufigkeit (Mittelwert der beiden Teilversuche), mit der jeder der 17 Glockenklänge gegenüber allen anderen als wohlklingender bezeichnet wurde, ist in Fig. 1 an der Ordinate aufgetragen. Die 17 Glockenklänge sind längs der Abszisse nach abnehmendem Wohlklang angeordnet. Bei den gegebenen Versuchsbedingungen, das heißt mit der Methode des A/B-Vergleichs, ist keine Aussage über die Größenverhältnisse des Wohlklangs zwischen den verschiedenen Glockenklängen möglich. Diese Versuchsmethode liefert eine Rangfolge des Wohlklangs. Dennoch ist mit Hilfe der relativen Häufigkeiten der Entscheidungen "wohlklingender" eine Aussage darüber möglich, wie stark sich zwei Glockenklänge im Wohlklang unterscheiden. Die Glocken 1, 9, 12 erwiesen sich als die wohlklingendsten. Die Unterschiede zwischen ihnen sind nur sehr gering, während sie sich aber deutlich von den restlichen 14 Glockenklängen abheben. Glocke 4 ist die am wenigsten wohlklingende Glocke.

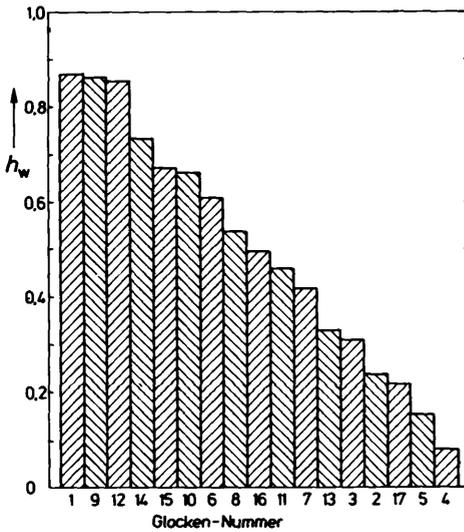


Fig. 1. Relative Häufigkeit (h_w) der Aussage, der angegebene Glockenklang sei der wohlklingendere.

le er besitzt. Der Verlauf der spezifischen Lautheit längs der Tonheitsskala wurde mit Hilfe des Lautheitsmessers HP 8051 A ermittelt. In Fig. 2 sind zwei solche Verläufe aufgetragen und zwar von dem wohlklingendsten Glockenklang (Glocke 1) und von dem am wenigsten wohlklingenden (Glocke 4). Bei dem Glockenklang 4 liegt der Schwerpunkt der spezifischen Lautheit um etwa 10 Bark höher als bei dem Glockenklang 1. Der Glockenklang 4 wird deshalb als schärfer empfunden werden.

3. ABSCHÄTZUNG DER SCHÄRFE

Aus den schon erwähnten Untersuchungen über den Wohlklang von Umweltschallen [1], [2] ging hervor, daß die Schärfe den Wohlklang wesentlich beeinflusst. Nach v. Bismarck [4] kann man die Schärfe aus der Lautheits-Tonheitsverteilung eines Schalles mit folgender Beziehung ermitteln:

$$\frac{S}{S_0} = c \cdot \frac{\int_{z=0}^{24} N'(z) \cdot g(z) dz}{N} \quad (1).$$

Dabei ist S/S_0 die relative Schärfe, $N'(z)$ die spezifische Lautheit, abhängig von der Tonheit z und $g(z)$ eine Gewichtsfunktion, welche spezifische Lautheiten höherer Tonheiten bevorzugt. N ist die Gesamtlautheit des Schalles; c ist eine Konstante. Ein Schall wird demnach als umso schärfer empfunden, je mehr hochfrequente Anteile

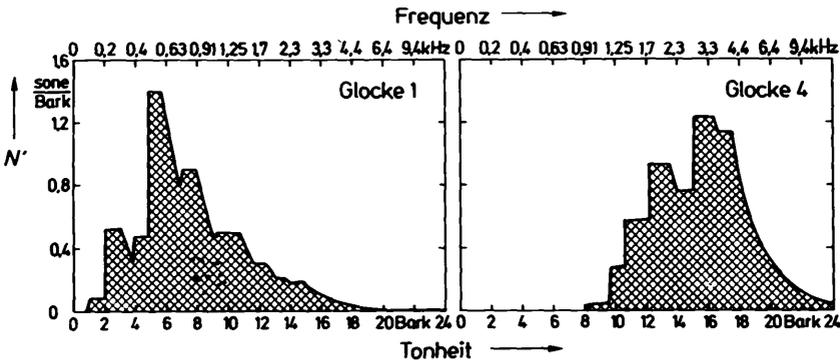


Fig. 2. Verteilung der spezifischen Lautheit N' längs der Tonheitsskala für die wohlklingendste Glocke 1 und die am wenigsten wohlklingende Glocke 4.

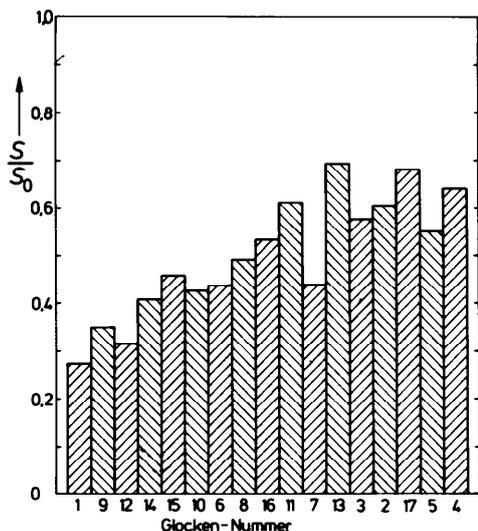


Fig. 3. Relative Schärfe S/S_0 nach v. Bismarck, die Glocken sind nach der Rangfolge des Wohlklanges geordnet.

In Fig. 3 ist die mit Hilfe der Beziehung (1) berechnete relative Schärfe für die 17 Glockenklänge aufgetragen. Die Konstante c wurde so gewählt, daß sich der Mittelwert der relativen Schärfe aller 17 Glocken zu 0,5 ergab. An der Abszisse ist die Reihenfolge der Glocken, geordnet nach ihrem Wohlklang, wie in Fig. 1, beibehalten. Vergleicht man Fig. 1 mit Fig. 3, so erkennt man, daß mit abnehmendem Wohlklang der Glockenklänge die Schärfe bis auf wenige Ausnahmen anwächst. Die Korrelation zwischen der relativen Häufigkeit des Wohlklanges aus Fig. 1 und der berechneten Schärfe ist - 88,3 %. Der Wohlklang der Glockenklänge ist also mit der Schärfe negativ korreliert.

4. SCHÄRFEBEURTEILUNG IM A/B-VERGLEICH

Um die Ergebnisse der Schärfe-Abschätzung auch experimentell zu stützen, wurde

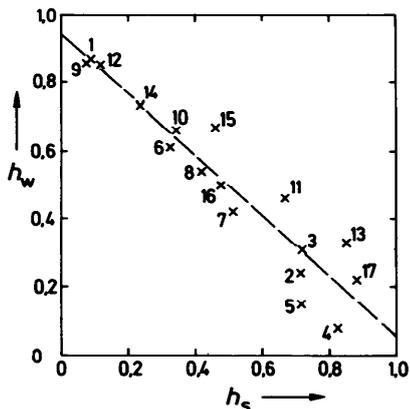


Fig. 4. Relative Häufigkeit der Aussagen "schärfer" (h_s , Abszisse) verglichen mit der relativen Häufigkeit der Aussagen "wohlklingender" (h_w , Ordinate) für die angegebenen Glockenklänge. Die gestrichelte Gerade ist die Regressionsgerade für alle

zusätzlich eine psychoakustische Messung der Schärfe der Glockenklänge im A/B-Vergleich durchgeführt. Die Versuchsbedingungen waren die gleichen wie die im Abschnitt 2 geschilderten. Diese Meßreihe wurde mit 10 Versuchspersonen durchgeführt, von denen nur eine einzige auch an dem vorherigen Versuch zur Wohlklangsbewertung teilgenommen hatte. In diesem Fall war zu entscheiden, welcher der beiden Glockenklänge des Klangpaares eine größere Schärfe besaß.

In Fig. 4 ist das Ergebnis dieser psychoakustischen Messung der Schärfe (Abszisse) mit dem des Wohlklanges (Ordinate) verglichen. An den beiden Achsen sind die relativen Häufigkeiten der Entscheidungen für "schärfer" bzw. "wohlklingender" aufgetragen. Die Ziffern neben jedem Datenpunkt bezeichnen den jeweiligen Glockenklang. Die gestrichelt eingezeichnete Gerade ist die Regressionsgerade für alle

Datenpunkte. Die Korrelation zwischen den Ergebnissen der Wohlklangsbeurteilung und der Schärfebeurteilung beträgt - 94,8 % , was bedeutet, daß der Wohlklang dieser Glocken fast ausschließlich durch ihre Schärfe erklärt werden kann. Die psychoakustische Messung der Schärfe bestätigt auch die zuvor beschriebene Abschätzung. Die Korrelation zwischen berechneten und psychoakustisch gemessenen Werten beträgt 96,5 %.

5. RAUHIGKEIT DER GLOCKENKLÄNGE

Rauhigkeit, eine weitere Komponente, die den Wohlklang eines Schalles beeinflusst, konnte nur bei wenigen der 17 Glockenklänge beobachtet werden. Ein einfacher Schätzversuch ergab, daß nur die Glockenklänge 4 und 5 eine gewisse Rauhigkeit besitzen. Gerade diese beiden liegen in Fig. 4 am weitesten unterhalb der Regressionsgeraden, sie sind also weniger wohlklingend als durch die Schärfe allein erklärbar wäre. Die Ursache dafür ist ihre Rauhigkeit.

6. DISKUSSION

Die geschilderten Untersuchungen über den Wohlklang von Glockenklängen zeigen, daß im wesentlichen die Schärfe ihren Wohlklang bestimmt. Ein Glockenklang ist umso wohlklingender, je geringer seine Schärfe ist.

Eine deutliche Rauhigkeit konnte nur bei 2 der 17 Glockenklänge gefunden werden. Ist bei einem Glockenklang zusätzlich Rauhigkeit vorhanden, so ist er weniger wohlklingend, als durch die Schärfe allein erklärbar wäre.

Da es sich bei den untersuchten Glockenklängen um eine repräsentative Auswahl aus einer größeren Anzahl handelt, kann man davon ausgehen, daß die gefundenen Ergebnisse auch für die meisten anderen Glockenklänge gültig sind.

Die Resultate dieser Untersuchung sind im Einklang mit den aus früheren Untersuchungen über den Wohlklang von Umweltschallen [1], [2] gezogenen Schlußfolgerungen.

LITERATUR

- [1] Terhardt, E. und Stoll, G., Bewertung des Wohlklanges verschiedener Schalle. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '80, VDE-Verlag, Berlin, 583 (1978).
- [2] Terhardt, E. und Stoll, G., Skalierung des Wohlklanges (der Sensorischen Konsonanz) von 17 Umweltschallen und Untersuchung der beteiligten Hörparameter. Acustica, im Druck (1981).
- [3] Seewann, M. und Terhardt, E., Messung der wahrgenommenen Tonhöhe von Glocken. In: Fortschritte der Akustik, DAGA '80, VDE-Verlag, Berlin, 635 (1980).
- [4] Bismarck, G. von, Sharpness as an attribute of the timbre for steady sounds. Acustica 28, 159 (1974).

Herrn Dr. M. Nitz (Bayer. Landesamt für Denkmalpflege) sei für die Tonbandaufnahmen gedankt. Die Untersuchung wurde im Sonderforschungsbereich "Kybernetik", gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, durchgeführt.