



Glocken

Rätsel um phänomenalen Missklang gelöst

Im Frühjahr 2003 meldeten verschiedene Medien, dass bei der Klangprobe der neuen Glocken der Frauenkirche Dresden ein „phänomenaler Missklang“ festgestellt worden sei. Dieser Missklang mache sich vor allem im Bereich des Prinzipaltons Prime bemerkbar. Es käme hier zu einem unangenehmen Doppelton. Als Ursache nannten Experten die aufwändigen Verzierungen, die auf der Außenhaut der Glocke aufgebracht waren. Allerdings bestand keine Einigkeit darüber, in welcher Weise sich die Verzierung auf den Klang der Glocken auswirkte.

Im Rahmen von Forschungsarbeiten in unserem Hause konnten wir die genaue Ursache für den Missklang feststellen. Mit Hilfe von akustischen Messungen an den Glocken und Computersimulationen an Glockenmodellen gelang es uns, ein wichtiges Phänomen bei Glocken zu klären.



Abb. 1: Die Glocken Johannes und Josua (2.Guss) der Dresdener Frauenkirche, aufgenommen in der Glockengießerei Bachert in Karlsruhe

Die Innenharmonie einer Glocke setzt sich aus einer Reihe von Teiltönen zusammen. Durch die Berechnung der Glocke bereits vor dem Guss werden die Abstände zwischen den Teiltönen festgelegt. Diese Berechnungen führen seit über 500 Jahren zu dem uns heute bekannten charakteristischen Klang einer Glocke. Physikalisch wird zu jedem Teilton genau eine Frequenz erwartet.

Eine Glocke ist ein rundsymmetrischer Körper. Das heißt, dass ihre Masse um eine Achse herum gleichmäßig verteilt ist. Kommt es zu Störungen dieser Symmetrie, treten an Stelle der erwarteten Einzeltöne sog. Doppeltöne auf. Das menschliche Ohr ist jedoch nicht in der Lage, die Doppeltöne voneinander zu trennen. Zu hören ist in diesen Fällen ein auf- und abschwellender Ton, eine sog. Schwebung. Schwebungen sind wesentlicher Bestandteil des charakteristischen Glockenklanges. Bis zu einem bestimmten, subjektiven Maß werden sie vom Glockengießer sogar gewünscht und vom

Prüfer toleriert. Wechselt die Schwebung jedoch vom langsamen An- und Abschwellen zu einem unangenehm rauhen und klirrenden Ton, dann ist dieses Maß überschritten. Die Glocken halten dann - wie im Fall des Geläutes der Frauenkirche - der Klangprobe nicht stand.

Bei den Simulationen des Schwingverhaltens der Glocken wurden die exakten Maße einer Glocke sowie Angaben über ihre Materialbeschaffenheit einem Computermodell zugeordnet. Ergebnisse sind die Zahlenwerte der Teiltonfrequenzen und deren Schwingformen, die sog. Eigenformen (Abb. 2).

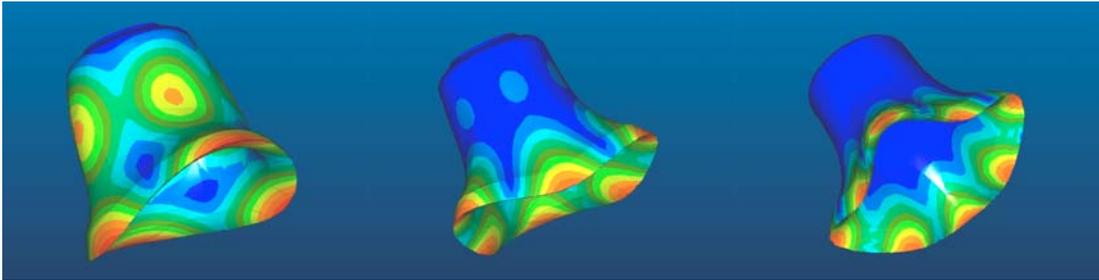


Abb. 2: Eigenformen der Teiltöne Prime, Terz und Oktave (v.l.n.r.)

In den Abbildungen der Eigenformen fallen die grün bis rot gefärbten Bereiche auf. Hier sind die Orte markiert, an denen beim jeweiligen Teilton die größten Schwingungsbewegungen auftreten. Diese Schwingungsbewegungen treten für viele Teiltöne besonders im Bereich des Schlagringes und am unteren Rand auf. Beim Teilton Prime (in Abb. 2 links) gibt es jedoch auch eine ausgeprägte Bewegung im Bereich der Glockenflanke. Und genau dort ist die Glockenzier aufgetragen.

Die Untersuchungen haben nun ergeben, dass die massiven Auflagen zu einer erhöhten Steifigkeit in diesem Bereich führen und die Schwingungsbewegung sich hier nicht so frei entfalten kann wie an einer Glocke ohne Zier. Die Symmetrie wird gestört und ein Doppelton entsteht. Das bedeutet jedoch nicht, dass Glocken in Zukunft nur noch ohne aufwändige Verzierungen gegossen werden dürfen. Wenn die Auflagen nicht zu dick und vor allem nicht zu kompakt gestaltet werden, gibt es keine negativen Beeinträchtigungen.

Die gewonnenen Erkenntnisse werden inzwischen mit Erfolg an neuen Glocken angewendet. Das Geläute der Glocken des zweiten Gusses der Frauenkirche Dresden ist seit Pfingsten 2003 zu bewundern.

Über die Ergebnisse unserer Analysen und Simulationen wurde von 3SAT im Wissenschaftsmagazin NANO berichtet (19.12.2003).

Eine CD mit dem Fernsehbeitrag erhalten Sie bei uns gegen eine geringe Bearbeitungsgebühr. Bitte fordern Sie sie mit dem angehängten Faxformular an.

Simulation von Glockenrippen bei der Entwicklung neuer Glocken

Der erste Guss einer neu entwickelten Glockenrippe birgt immer die Gefahr eines Fehlgusses. Wie die Glocken der Dresdner Frauenkirche gezeigt haben, können aufwändige Verzierungen zu Missklängen führen. Das wirtschaftliche Risiko ist erheblich. Die Zeitplanung kann bei einem Fehlguss durcheinandergeraten.

Mitteilungen 01 - 2004

Durch rechnergestützte Simulation und Variation von Glockenrippen werden heute neue Glocken ohne Probeguss optimiert. Varianten der Glockenziere können vor dem Guss in kurzer Zeit untersucht und die Auswirkung berechnet werden. Das Risiko eines Fehlgusses wird reduziert.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

Mobiler Messkoffer für Glockenmessungen

Wie klingt die Glocke? Haben innere Spannungen oder gar Risse den Klang der Glocke verändert? Für die Überwachung der Glocken haben wir einen mobilen Messkoffer zusammengestellt, mit dem Sie jederzeit an jedem Ort Messungen in hoher Qualität durchführen können. Die enthaltenen Messgeräte sind batteriebetrieben (auch NiMh-Akku) und ermöglichen Stereo-Aufzeichnungen in CD-Qualität von bis zu 90 Minuten (Mono bis 180 Minuten). Die Messdaten können über die USB-Schnittstelle direkt im WAV-Format auf einen PC oder Laptop übernommen werden.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

Musikalischer Fingerabdruck

Wie verändert sich eine Glocke im Laufe der Zeit? Lassen Klangveränderungen auf Spannungen oder Risse schließen? Durch umfangreiche und präzise akustische Analysen der Messdaten (z.B. mit dem mobilen Messkoffer aufgenommen) und Beobachtung der Klangentwicklung über längere Zeit kann man Aussagen bezüglich der Materialveränderungen treffen. Für jeden einzelnen Teilton einer Glocke werden Frequenz, Lautstärke, Schwebung und Klangdauer bzw. Dämpfungsverhalten ermittelt. Diese Werte werden als Musikalischer Fingerabdruck angegeben und in der Lebenslaufakte dokumentiert.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

Glockensymposium in Karlsruhe

Im Rahmen des Glockensymposiums in Karlsruhe diskutieren wir aktuelle Anforderungen und Ziele der Glockenprüfung und Glockenüberwachung. Am Beispiel der Glocken der Dresdener Frauenkirche werden wir Nutzen der Simulation, Glockenmessung und den Weg zur Lebenslaufakte aufzeigen. Die Teilnehmerzahl ist auf 15 Teilnehmer begrenzt.

Ausführliches Informationsmaterial können Sie bei uns mit dem angehängten Faxformular anfordern.

Vortrag bei der DAGA 2004

Anlässlich der DAGA 2004 in Straßburg berichten wir im Rahmen der Vortragsreihe „Musical Acoustics“ über die Simulation und den musikalischen Fingerabdruck der Glocken. Nähere Informationen finden Sie unter: www.mdpro.de/depot/literatur/.