

Einfluss der Glockenzier auf den Klang von Kirchenglocken

Jochen Bauer¹, Lothar Schmidt²

¹ md-pro GmbH, Scheffelstraße 53, D-76135 Karlsruhe, E-Mail: jochen.bauer@md-pro.de

² md-pro GmbH, Scheffelstraße 53, D-76135 Karlsruhe, E-Mail: lothar.schmidt@md-pro.de

Motivation

Im Frühjahr 2003 meldeten die Medien, dass bei der Prüfung 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 wurden die aufwändigen Verzierungen genannt, die auf die Außenhaut der Glocke aufgebracht worden waren [1].

Gespräche mit dem Glockengießer ergaben, dass die Ursachen des Missklangs ganz sicher in den Verzierungen lägen. Man sei sich unter Experten jedoch nicht einig, welche Zierkomponente das Klangphänomen auslöst. Gemeinsam begannen Glockengießer A. Bachert und die md-pro GmbH, den akustischen Effekt und seine Ursachen detailliert zu untersuchen[2].

Mit Hilfe von Schwingungssimulationen an einem CAD-Modell wurde herausgefunden, worin die Ursachen liegen.

Simulation ohne Glockenzier

Zunächst werden die Eigenformen und -frequenzen für ein unverziertes Modell ermittelt und anschließend als Vergleichsnormale benutzt.



Abbildung 1: CAD-Modell einer Glocke

Eigenformen

Die folgenden Abbildungen zeigen drei der simulierten Eigenformen aus jeweils zwei Perspektiven. Die Amplituden der Auslenkung sind stark übertrieben dargestellt. Jede der dargestellten Eigenformen tritt paarweise auf.

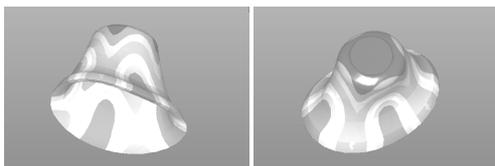


Abbildung 2: Eigenform der Suboktave, 2 Knotenmeridiane, 0 Knotenkreise (2,0) [3]

Die Eigenform der Suboktave besitzt keinen Knotenkreis. Die vier Schwingungsbäuche bzw. -knoten breiten sich von der Schärfe bis zum Glockenhals aus.

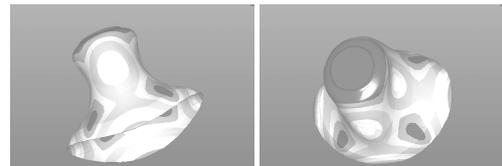


Abbildung 3: Eigenform der Prime (2,1⁺)

Der Knotenkreis der Prime liegt etwas oberhalb des Schlagringes. Deutlich erkennbar sind die Schwingungsbäuche im Bereich des Halses.

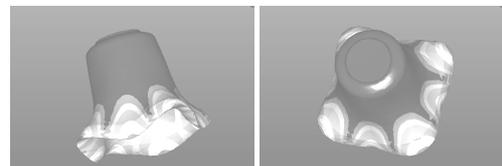


Abbildung 4: Eigenform der Oktave (4,1)

Die Schwingungsbäuche der Oktave bilden sich im Bereich des Schlagringes aus.

Eigenfrequenzen

Zu den Eigenformen werden die Werte der Eigenfrequenzen berechnet. Die simulierten Resonanzfrequenzen des CAD-Modells stimmen gut mit Teiltonfrequenzen und Innenharmonie einer realen (e^1 -) Glocke überein (Tabelle 1).

| Kennwerte | Suboktave | Prime | Terz | Oktave |
|---------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Sollton | e^0 | e^1 | g^1 | e^2 |
| Sollfrequenz (Hz) | 162,9 | 325,9 | 387,5 | 651,8 |
| Modellfrequenz (Hz) | 158,1 | 318,6 | 377,0 | 627,1 |
| Modellton -1/16 HT | e^0 -8,4 | e^1 -6,2 | g^1 -7,6 | e^2 -10,7 |

Tabelle 1: Sollton und Modellton im Vergleich

Das Schwingungsverhalten des Modells ist somit auf das Schwingungsverhalten einer realen Glocke übertragbar!

Simulation mit Glockenzier

Hauptbestandteile der Glockenzier der Glocken der Frauenkirche Dresden sind zwei gegenüberliegende Zierplatten im Bereich der Flanke und ein Zierring direkt oberhalb des Schlagringes.

Auf dem Modell wird eine abstrakte Zier aufgetragen, die sich systematisch variieren und untersuchen lässt. Variiert wird die Dicke der Zierelemente sowie die wirksame Fläche.

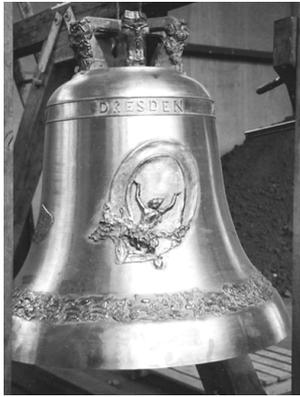


Abbildung 5: Die Glocke Josua (a¹)

Variation des Zierrings

Der Zierring wirkt sich auf die Teiltöne aus, deren Schwingungsformen sich im Bereich des Schlagringes ausprägen. Dazu zählen die kleine Terz, die Oktave, die Duodezime und die Doppeloktave. Gegenüber dem unverzierten Modell verursachte Frequenzabweichungen der Teiltöne korrelieren mit dem Maß der Ringdicke.

Ist der Zierring unterbrochen, können je nach Ort und Zahl der Unterbrechungen unterschiedliche Teiltöne beeinflusst werden. Es entstehen Schwebungen. Auf die Prime hat der Zierring keinen signifikanten Einfluss.

Variation der Zierplatten

Auf die Frequenzlagen der Teiltöne haben die Zierplatten keinen wesentlichen Einfluss. Allerdings kann durch sie wie im Fall der Glocken für die Frauenkirche Dresden eine deutliche Aufspreizung des Prime-Paares verursacht werden. Suboktave, Terz, Oktave und Duodezime sind davon kaum betroffen.

Die Untersuchung ergab, dass die Aufspreizung der Prime unmittelbar mit der Dicke und der wirksamen Fläche der Zierplatten zusammenhängt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Teiltonfrequenz ist abhängig von der wirksamen Fläche und der Dicke der Glockenzier.
- Die Teiltonschwebung ist abhängig von der wirksamen Fläche und Dicke der Glockenzier.
- Der Einfluss der Glockenzier wurde mit Hilfe der Simulation geklärt!

Fazit

Für den zweiten Guss wurde die Glockenzier deutlich dünner als für den ersten gestaltet. Lagen die Halbreleifiguren der Zierplatten beim ersten Guss noch auf einer ca. 1 cm dicken Grundplatte, so waren sie beim zweiten Guss direkt auf die Glockenrippe aufgetragen. In den Zierring wurden zusätzlich Spalten von ca. 5 mm Breite eingebracht, die ihn bis zur Glockenrippe trennen.



Abbildung 6: Wirksame Fläche im Vergleich: Glocke Hanna (f²) des ersten (links) und des zweiten Gusses (rechts)

Ausblick

Mit Hilfe der Simulation wurden die Ursachen für den Missklang ermittelt. Die Übertragbarkeit der Simulationsergebnisse auf das Schwingungsverhalten einer realen Glocke konnte durch den Vergleich der Glocken des ersten und zweiten Gusses nachgewiesen werden.

In Zukunft muss nicht auf aufwändige Glockenzier verzichtet werden. Allerdings ist die Art der Umsetzung sorgfältig zu prüfen.

Der Nutzen der Simulation bei der Produktentwicklung ist bei Glocken offensichtlich. Missklang durch "riskante" Verzierungen kann in Zukunft verhindert werden.

Die Innenharmonie einer Glocke lässt sich durch Simulation vorhersagen. Durch Variation des Modells wird die aufwändige Herstellung von „Test-Glocken“ vermieden. Weiter- oder Neuentwicklungen von Glockenrippen werden somit beschleunigt und optimiert. Der Einsatz moderner Simulationswerkzeuge kann helfen, im Traditionshandwerk Fehlgüsse zu vermeiden.

Die Erkenntnisse der Forschung an den Glocken lassen sich auf industrielle Produkte übertragen. Eigenfrequenzen und Ausprägung der Eigenformen lassen sich an Modellen ermitteln und untersuchen. Mit Hilfe der Simulation werden Mess- und Prüfkonzepte zielgerichtet und schnell entwickelt.

Das gewünschte Schwingungsverhalten wird bereits in der Konstruktionsphase eines Produkts gestaltet.

Literaturnachweis

[1] Mitteldeutsche Zeitung: Phänomenaler Missklang. Halle, 25.02.2003, URL: <http://www.mz-web.de/-artikel?id=1046178894782>

[2] J. Bauer: Ursachen des Missklangs von Glocken. Diplomarbeit, Fachhochschule Heidelberg, Fachbereich Informatik, Studiengang Elektrotechnik und md-pro GmbH Karlsruhe, Heidelberg 2003

[3] C.-R. Schad, G. Frik: Klangfiguren einer Glocke. *Acustica* 78 (February 1993)