

Numerische Analysen zum Einfluss von Dekor und Reliefs auf das Schwingungsverhalten von Kirchenglocken

Diplomarbeit Alexander Siebert

Motivation

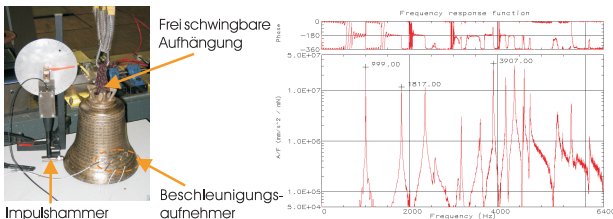
- Fehlguss von sechs Glocken für die Dresdener Frauenkirche; sie bestanden, vermutlich aufgrund aufwendiger Verzierungen, die Klangprüfung nicht
- Zwei Drittel aller Glocken müssen durch Abschleifen korrigiert oder sogar neu gegossen werden

Vorgehen

- Zur Überprüfung, ob die numerischen Ergebnisse auf reale Strukturen übertragbar sind, werden experimentelle Untersuchungen an einer Glocke durchgeführt und mit den numerischen Ergebnissen dieser Struktur verglichen
- Numerische Untersuchungen des Einflusses verschiedener Verzierungsvarianten eines rotations-symmetrischen Grundmodells auf den Klang
- Numerische Untersuchung des Einflusses einer "ovalen" Glockenform auf den Klang

Experimentelle Modalanalyse

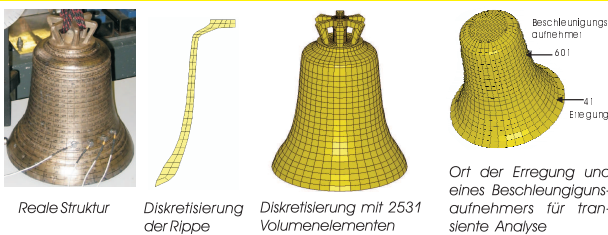
- Bestimmung der Eigenfrequenzen, Eigenschwingungsformen und Dämpfungen aufgrund des Übertragungsverhaltens der Struktur



Versuchsaufbau experimentelle Modalanalyse

Übertragungsfunktion. Die Resonanzfrequenzen sind Teilöne (Diagramm aus I-DEAS 11)

Numerische Untersuchung



- Numerische Untersuchungen mit FEM-Code LS-DYNA
- Berechnung der Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen
- Transiente Analyse bei Impulserregung

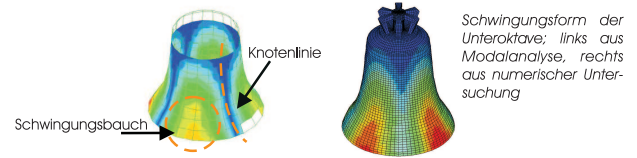
Vergleich der experimentellen mit numerischen Ergebnissen

- Eigenfrequenzen

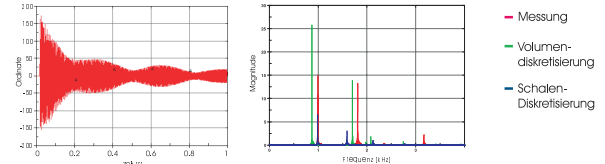
Teilton	Experimentelle Modalanalyse Frequenz [Hz]	Berechnung mit Volumenelementen Frequenz [Hz]	Abweichung zum Experiment [%]	Berechnung mit Schälenelementen Frequenz [Hz]	Abweichung zum Experiment [%]
Unterktave	999	968 / 972	3,1 / 2,7	996 / 999	0,3 / 0,0
Prime	1814 / 1817	1818 / 1825	0,2 / 0,4	1781 / 1787	1,8 / 1,7
Terz	2351	2303 / 2306	2,0 / 1,9	2371 / 2374	0,9 / 1,0
Quinte	3176	3089 / 3097	2,7 / 2,5	3128 / 3134	1,5 / 1,3
Oberoktave	3907	3820 / 3823	2,2 / 2,1	4005 / 4009	2,5 / 2,6

Berechnete und gemessene Eigenfrequenzen der ersten fünf Teilöne

- Eigenschwingungsformen qualitativ



- Transiente Analyse

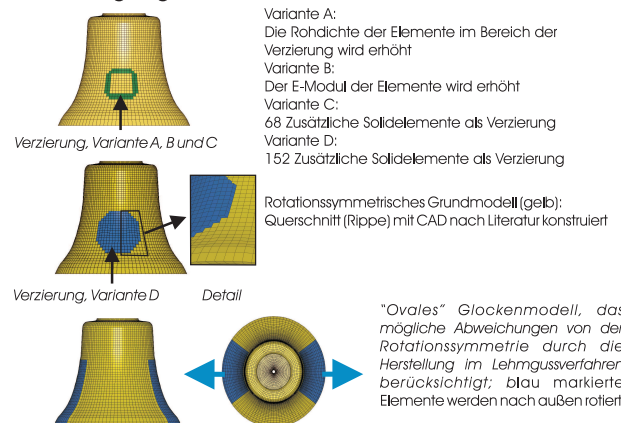


Gemessenes Beschleunigungs-Zeitdiagramm, Knoten 601

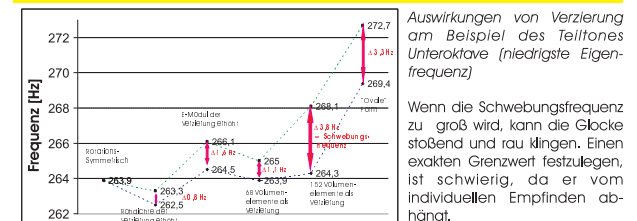
Vergleich Frequenzspektren an Knoten 601 (Spektren aus Beschleunigungs-Zeitverlauf mittels Fast-Fourier-Transformation)

Numerische Untersuchung zum Einfluss von Verzierungen

- Berechnet werden die Eigenfrequenzen und Eigenschwingungsformen



Ergebnisse



- Eigenfrequenzen
 - max. Abweichung zwischen Berechnung und Experiment 3,1 %
- Eigenschwingungsformen
 - qualitativ gute Übereinstimmung
- Transiente Analyse
 - annähernde Übereinstimmung der ersten beiden Eigenfrequenzen
- ➔ **Berechnungsergebnisse auf reale Strukturen übertragbar**
- "Ovale" Form
 - Einfluss auf Frequenzverhältnisse (Innenharmonie)
 - Einfluss auf Größe der Schwebungsfrequenz
- Verzierung
 - Beeinflusst Schwebungsfrequenz durch Größe ihrer Fläche und Dicke; erhöhte Steifigkeit durch Verzierung wirkt sich stärker aus als zusätzliche Masse