

Dipl.-Ing. Jörg Böcking, Darmstadt

Schwingungsminderung an Glockentürmen unter beson- derer Berücksichtigung des Glockenklangs

Reihe **11**: Schwingungstechnik

Nr. **243**

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Problemstellung	1
1.2	Ziel und Aufbau der Arbeit	2
2	Grundlagen und Stand der Forschung	4
2.1	Glocken	4
2.1.1	Geschichte	4
2.1.2	Bauteile und Armaturen	4
2.1.3	Glockenbewegung und Lagerkräfte	5
2.2	Berechnung von Turmschwingungen	12
2.2.1	Entkoppelte Berechnung	12
2.2.2	Andere Berechnungsmodelle	13
2.3	Messungen von Turmschwingungen	15
2.3.1	Ziele und Bedeutung	15
2.3.2	Erregungsmechanismen	15
2.3.3	Meßdatenerfassung und Auswertung	16
2.4	Schwingungsmindernde Maßnahmen	17
2.4.1	Verstimmen	17
2.4.2	Veränderung der Erregerfrequenz	18
2.4.2.1	Änderung des Lätewinkels	18
2.4.2.2	Jochkröpfung	18
2.4.2.3	Gegengewichte	19
2.4.3	Reduktion der Erregerkräfte	20
2.4.3.1	Änderung des Lätewinkels	21
2.4.3.2	Jochkröpfung	21
2.4.3.3	Gegengewichte	22
2.4.3.4	Gegenpendelanlagen	22
2.4.4	Passive Zusatzsysteme	23
2.4.5	Sonstige Maßnahmen	25
2.4.5.1	Drehen des Geläutes	25
2.4.5.2	Austausch des Geläutes	25
2.4.5.3	Feststehende Glocke	26
2.4.5.4	Schwingfederlager	26
2.5	Klöppelanschlag	27
3	Modellabbildung und Berechnung	30
3.1	Glocke	30

3.2	Glocke mit Antrieb	31
3.3	Klöppelanschlag	36
3.3.1	Gekoppeltes Modell mit Antrieb	36
3.3.2	Entkoppeltes Modell	40
3.3.3	Einfluß der Kopplung	41
3.3.4	Einfluß des Dämpfungsmodells	42
3.4	Glockenturm	43
3.4.1	Belastungen	43
3.4.2	Einfluß höherer Eigenformen	46
3.4.3	Einfluß des Baugrundes	47
3.4.4	Gekoppeltes Modell mit Antrieb	49
3.4.5	Näherungslösungen	51
3.4.6	Vergleich der Verfahren	55
3.5	Schwingfederlager	57
3.6	Tilgerdämpfer	59
4	Ausgewählte schwingungsmindernde Maßnahmen	62
4.1	Schwingfederlager	62
4.1.1	Parameter	62
4.1.2	Eigenfrequenzen des linearen Systems	63
4.1.3	Lastfall Glockenläuten	64
4.1.4	Bewertung	67
4.2	Tilger und Tilgerdämpfer	68
4.2.1	Parameter und Besonderheiten	68
4.2.2	Stationäres Läuten	69
4.2.3	Einschwingvorgang	72
4.3	Geregelter Läuteantrieb	76
4.3.1	Ansatz und Berechnung der Lagerkräfte	76
4.3.2	Reduktion der Horizontalkraft	80
4.3.3	Reduktion der Vertikalkraft	84
4.3.4	Reduktion zweier Lagerkraftkomponenten	87
4.3.5	Realisierbarkeit	89
4.3.5.1	Regelungsprinzip	89
4.3.5.2	Simulation des elektromechanischen Systems	90
4.3.5.3	Antriebsmoment	97
4.3.5.4	Bemerkungen	98

5 Klöppelanschlag	101
5.1 Bewertungskriterien	101
5.2 Einfluß von Glocken- und Klöppelparametern	104
5.2.1 Reduzierte Klöppelpendellänge	104
5.2.2 Drehachsenabstand	107
5.2.3 Klöppeldämpfung	109
5.2.4 Unsymmetrie in der Glockenbewegung	109
5.3 Einfluß schwingungsmindernder Maßnahmen	111
5.3.1 Änderung des Lätewinkels	111
5.3.2 Jochkröpfung	112
5.3.3 Gegengewicht	114
5.3.4 Geregelter Läuteantrieb	115
6 Experimentelle Untersuchungen	118
6.1 Labormodell	118
6.1.1 Aufbau	118
6.1.1.1 Mechanische Konstruktion	118
6.1.1.2 Motorregelung	122
6.1.1.3 Meßdatenerfassung	123
6.1.2 Modellturm ohne schwingungsmindernde Maßnahmen	123
6.1.3 Tilgerversuche	125
6.1.3.1 Stationäre Tilgerversuche	125
6.1.3.2 Instationäre Tilgerversuche	127
6.1.4 Geregelter Läuteantrieb	131
6.1.4.1 Reduktion der Horizontalkraft	132
6.1.4.2 Reduktion der Vertikalkraft	135
6.2 Videoauswertung	136
6.2.1 Meßaufbau und Auswertung	136
6.2.2 Ergebnisse	136
7 Bewertung	139
8 Zusammenfassung und Ausblick	145
Literatur	149