Beiträge zur Glockendynamik

Hans H. Müller-Slany
Institut für Mechatronik und Systemdynamik
Gerhard-Mercator-Universität Duisburg
email: mueller-slany@uni-duisburg.de

Übersicht

Im Beitrag wird die Dynamik der schwingenden Glocke aus der Sicht der Erfordernisse eines Praktikers im Bereich Wartung und Instandhaltung von Glockensystemen analysiert. Der Zustand von Glockentürmen macht es aus Gründen der Bauwerkserhaltung häufig erforderlich, dass Glockenläutefrequenzen verändert werden müssen. Hierbei tritt das besondere Problem der Festlegung von notwendigen Veränderungen am Glockenklöppel auf, um auch nach Änderung der Läutefrequenz einen optimalen Klöppelanschlag zu gewährleisten. Im Beitrag wird über eine analytische Näherungslösung der Bewegungsgleichungen eine dimensionslose Ähnlichkeitsziffer für die Glockendynamik abgeleitet, die für den Instandhaltungs-Praktiker eine sichere Grundlage für die Festlegung der Klöppelparameter bietet.

1 Einführung

Die schwingende Glocke mit Klöppel ist das exemplarische Anwendungsbeispiel für ein Doppelpendel und sie wird in der Lehre der Technischen Mechanik häufig als Basis-System für Mehrkörpersysteme eingeführt. Computergestützte Gleichungsgenerierung und ihre numerische Simulation sind hierfür seit langem Standard. Inzwischen existiert für diesen Aufgabenbereich eine große Zahl leistungsfähiger Anwenderprogramme [8]. Es erscheint damit unzeitgemäß, für dieses Problem noch analytische Näherungslösungen zu suchen.

Magnus hat mit seinem sicheren Gespür für zukünftige wissenschaftliche Trends und gleichzeitig für die notwendige analytische Durchdringungstiefe praxisrelevanter Forschung beide methodischen Konzepte gewiesen: Er hat Studierende immer wieder ermahnt, nicht das „Produzieren von Zahlen, sondern das Erkennen von Zusammenhängen in Form analytischer Ausdrücke ist das Ziel wissenschaftlicher Arbeit“ (Vorlesungsmitschrift „Schwingungen“, WS 1965/66, TH Stuttgart). Gleichzeitig sah er die wissenschaftlichen Entwicklungstrends: 1977 hat Magnus in München das erste IUTAM-Syposium über Multibody Dynamics initiiert [4].

Die tägliche Praxis des Wartungstechnikers macht die Problematik eines ausschließlich auf Simulationsstudien gestützten Engineerings deutlich. Die Simulationsstudie kann eine gute Lösung für einen vorgegebenen Datensatz liefern, sie liefert aber keine analytischen Parameterabhängigkeiten und auch keine direkten Bestimmungsmöglichkeiten für gesuchte Parameter. Dies wird über Simulationsrechnungen nur möglich in einem rückgekoppelten

numerischen Prozeß, in dem die Simulationsverfahren mit parameterverändernden Optimierungsalgorithmen verbunden ablaufen. Methodisch wird dies sicher die Zukunft computergestützter Arbeitsmittel für den Ingenieur sein. Dennoch haben analytische Näherungslösungen mit korrekter Darstellung der Parameterabhängigkeiten, wie z. B. bei Anwendung des Verfahrens der „harmonischen Balance“ [3], den großen Vorteil einer globalen Beurteilungsmöglichkeit aller beteiligten Parameter.

Die Bestimmung der Klöppelparameter ist eine bekannte Problematik. Die DIN 4178 [1] enthält tabellarisch die wichtigsten Glockenkennwerte für Glocken vom Ton F° bis c‴. Klöppeldaten werden nicht aufgeführt. Die Klöppelmasse beträgt in der Regel für eine Glocke mit mittelschwerer Rippe um ca. 5% der Glockenmasse. Auch erfahrenen Glockengießern können bei extremen Anforderungen, wobei sie aus ihrem bisherigen Arbeitsbereich heraus extrapolieren müssen, Fehler unterlaufen. Das bekannteste Beispiel hierfür entnimmt man der Chronik zur Geschichte des Kölner Doms [2]. Zur Ergänzung des Dom-Geläutes wurde 1874 die Kaiserglocke mit dem Grundton C° in Auftrag gegeben, mit einer Masse von 27.075 kg die größte freischwingende Glocke der Welt. Erst der dritte Guß war technisch einwandfrei, hatte aber nicht den geforderten Ton. Nach vorangegangenen misslungenen Läuteversuchen im unteren Turmstockwerk wurde die Kaiserglocke am 7. August 1878 auf den Südturm des Kölner Doms hinaufgezogen. Sie ließ sich nicht läuten, da die Klöppelparameter zufällig so gewählt waren, dass sich das Doppelpendel „Glocke“ auch im Läutezustand immer als quasi-starrer Körper bewegte [5]. Über 30 Jahre war sie „die Stumme von Köln“. Erst 1909 konnte sie nach mehreren Änderungsmaßnahmen im Vollgeläut der 8 Glocken des Kölner Doms miterklingen. 1918 wurde die ungeliebte Kaiserglocke zur Verwendung in kriegswichtiger Produktion wieder eingeschmolzen. Die aus 22 erbeuteten französischen Kanonen gegossene Kaiserglocke war im 19. Jhd. ein Symbol für die Kritik am deutschen Militarismus: „Sie will nicht erklingen, weil sie den Sieg über Frankreich nicht besingen will“ („Die Kaiserglocke“ [6], s. Anhang).

Man kann an Hand analytischer Ableitungen zeigen, dass ein optimaler Anschlag des Klöppels nur möglich ist, wenn die Glocken- und Klöppelparameter in einem bestimmten, vom Läutewinkel abhängigen Verhältnis zueinander stehen. Abb. 1 zeigt einen heute

Abb. 1: Glockenklöppel

üblichen Klöppel mit schwach elliptisch geformtem Ballen. Die analytischen Lösungen im Abschnitt 3 sind Näherungslösungen auf der Basis der Grundharmonischen der Glocken- und Klöppelbewegungen. Deshalb ist die zu entwickelnde dimensionslose Ähnlichkeitsziffer (Glockenvergleichsziffer) für die Glockendynamik mit Hilfe von Simulationsstudien mit einem Korrekturfaktor zu versehen. Hierfür sind die Kriterien für einen

„optimalen Schlag“ zwischen Glocke und Klöppel vorzugeben. Angestrebt wird vom Glockengießer ein Schlag, wobei der Klöppel kurz vor dem oberen Totpunkt der Glockenschwingung den Schlagring berührt. Der ausgetauschte Impuls sollte dabei nicht zu groß sein. Auf jeden Fall muß ein sogen. Prellschlag vermieden werden. Dieser liegt vor, wenn der Schlag erst nach dem oberen Totpunkt der Glocke erfolgt. Noch ungünstiger und schadensverursachend ist ein Klöppel, der in einer Gegenschwingung in die emporschwingende Glocke hineinfällt.

2 Bewegungsgleichungen und Simulationen

Die zur Beschreibung der Glockendynamik notwendigen Parameter sind in Abb. 2 dargestellt. Für nachfolgende analytische Ansätze ist es zweckmäßig, für die Lagewinkel von Glockenkörper und Klöppel (α,β) absolute Lagegrößen zu wählen. Für die Bewegungsgleichungen der Glocke zwischen zwei Glockenschlägen erhält man das DGL-System (1), mit dem Antriebsmoment $M_O(t)$ der Läutemaschine:

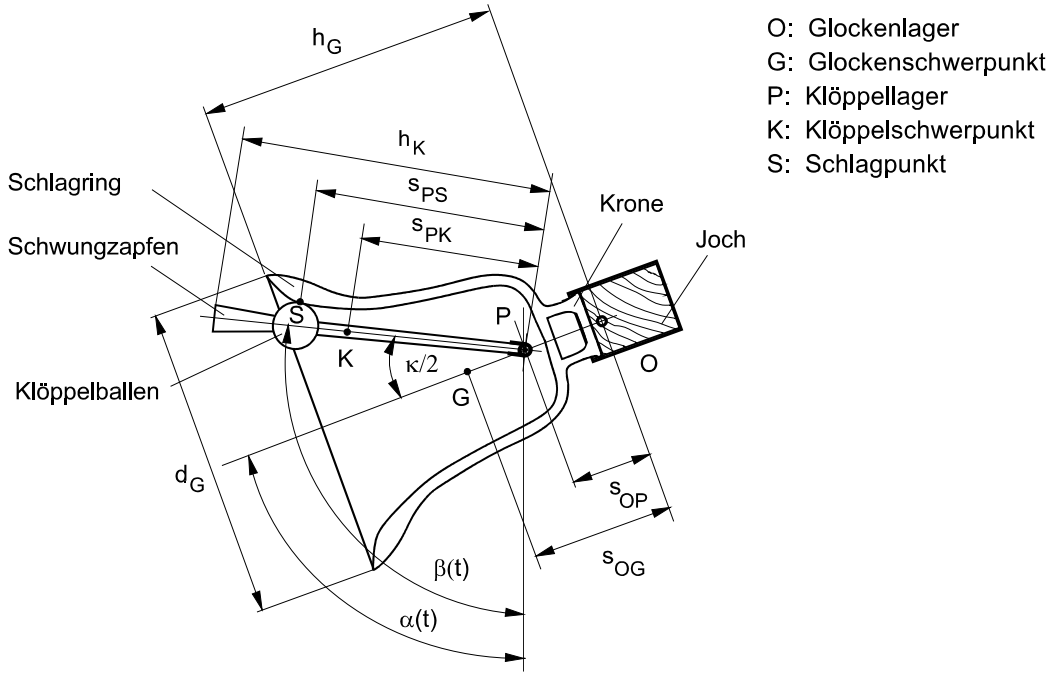


Abb. 2: Glockenparameter zur Beschreibung der Glockendynamik

$$
\begin{aligned}
&(I_G^G + m_G s_{OG}^2 + m_K s_{OP}{}^2)\,\ddot{\alpha} + m_K s_{OP} s_{PK} \cos(\alpha-\beta)\,\ddot{\beta} + \\
&\qquad m_K s_{OP} s_{PK} \sin(\alpha-\beta)\,\dot{\beta}^2 + g\,(m_G s_{OG} + m_K s_{OP}) \sin\alpha = M_O(t), \\
&(I_K^K + m_K s_{PK}^2)\,\ddot{\beta} + m_K s_{OP} s_{PK} \cos(\alpha-\beta)\,\ddot{\alpha} + \\
&\qquad m_K s_{OP} s_{PK} \sin(\beta-\alpha)\,\dot{\alpha}^2 + g\, m_K s_{PK} \sin\beta = 0\,.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

Zur Überprüfung der analytischen Ableitungen, wurde eine Glocke, Ton c'', mit mittlerer bis mittelschwerer Rippe (Glockengiesser: Fa. Petit & Edelbrock, Gescher) vermessen. Die Parameterwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

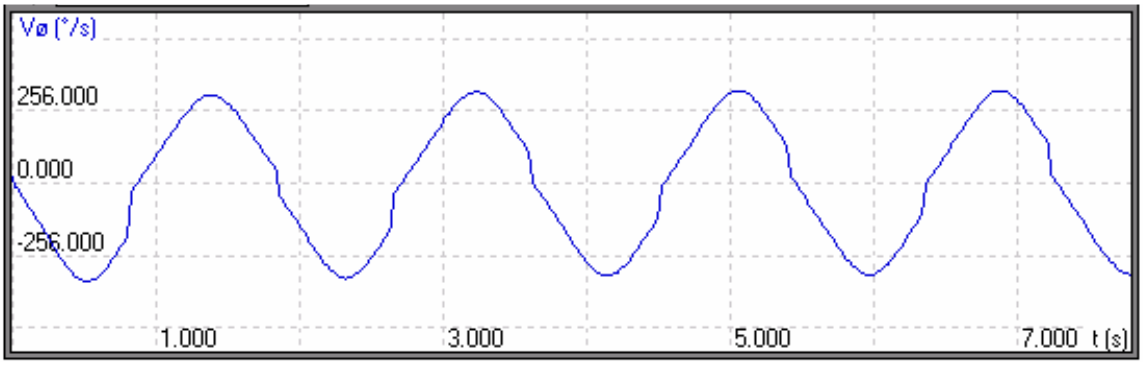
Tabelle 1: Parameterwerte der vermessenen Referenzglocke
(Glockengießer: Fa. Petit & Edelbrock, Gescher. Glockenton c'')

Glockenparameter		
Geometrische Daten	*Symbol*	*Parameterwert*
Läutewinkel	α	70°
Klöppelwinkel (relativ. Maximalwinkel)	κ	53°
Glockendurchmesser	d_G	0,720 m
Glockenlager-Glockenfuß	h_G	0,745 m
Glockenlager-Klöppellager	s_{OP}	0,217 m
Glockenlager-Glockenschwerpunkt	s_{OG}	0,349 m
Klöppellänge	h_K	0,750 m
Klöppellager-Klöppelschwerpunkt	s_{PK}	0,457 m
Klöppellager-Klöppelschlagpunkt	s_{PS}	0,563 m
Massen-Daten		
Gesamtmasse: Glocke, Klöppel, Joch	m_{gesamt}	287,5 kg
Glockenmasse (incl. Joch)	m_G	270,9 kg
Klöppelmasse	m_K	16,6 kg
Trägheitsmomente		
Glockenperiode (kleine Schwingungen)	T_{G0}	1,62 s
Klöppelperiode (kleine Schwingungen)	T_{K0}	1,48 s
Glockenträgheitsmom. um Glockenlager	$I^G{}_O$	63,222 kgm²
Klöppelträgheitsmom. um Klöppellager	$I^K{}_P$	4,1291 kgm²

Analytische Lösungen sind für das hochgradig nichtlineare System der Bewegungsgleichungen (1) nicht möglich. Mit Hilfe des MKS-Simulationsprogramms Workingmodel [7] werden die Glchn (1) mit Berücksichtigung der Glockenschläge simuliert. Als Parameter werden die Glockendaten der vermessenen Referenzglocke nach Tabelle 1 gewählt. Die stationären Lösungen von (1) werden mit digitalen Videoaufzeichungen des Läutevorgangs der Referenzglocke verglichen. Die Ergebnisse der Simulation stimmen sehr genau mit dem realen physikalischen Vorgang überein, bei Annahme einer Stoßziffer zwischen Klöppel und Glocken-Schlagring von $\varepsilon \approx 0{,}35$. In Abb. 3 wird eine Simulationsstudie auf der Basis der Referenzglockenparameter gezeigt. In der oberen Diagrammhälfte ist die Zeitfunktion der Klöppelwinkelgeschwindigkeit, in der unteren Hälfte die Zeitfunktion des Glockenwinkels bei stationärem Läuten dargestellt. Für die Klöppelbeschreibung wurde seine Winkelgeschwindigkeit gewählt, weil sich darin am deutlichsten die Glockenschläge

nachweisen lassen: Während des Schlags ändert sich die Klöppelgeschwindigkeit nahezu sprunghaft. Dies ist in der Simulation leicht zu erkennen.

Klöppel-
Winkelgeschwindigkeit $\dot{\beta}(t)$



Glockenwinkel $\alpha(t)$

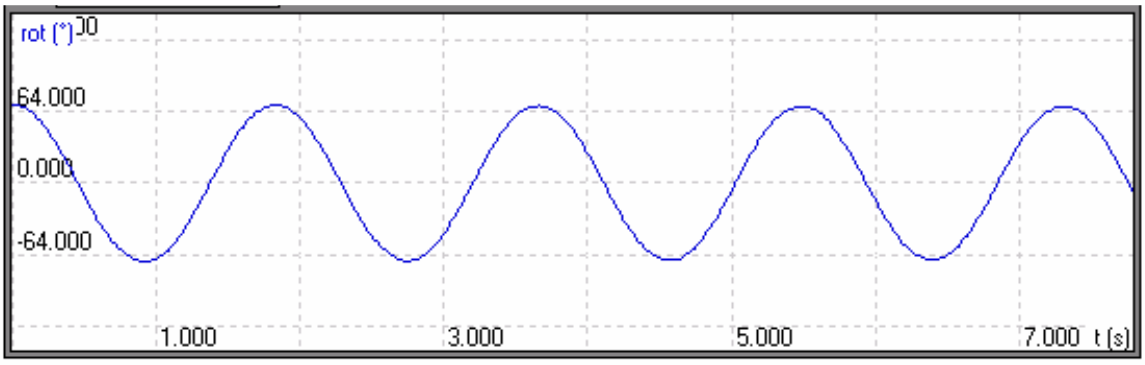


Abb. 3: Simulationsstudie für stationäres Läuten (Parameter der Referenzglocke nach Tabelle 1. Unten: Glockenwinkel $\alpha(t)$, oben: Klöppelwinkelgeschwindigkeit $\dot{\beta}(t)$, stationärer Läutewinkel: $\alpha_o = 70°$)

3 Die Glockenvergleichsziffer GVZ

Ziel der nachfolgenden Betrachtungen ist die Vorgabe einer Berechnungsmöglichkeit für Änderungen der Klöppelparameter falls die Schlagzahl (doppelte Läutefrequenz) einer Glocke aus Bauwerkserhaltungsgründen verändert werden muß. Die Schlagzahl einer Glocke kann reduziert werden, indem man oberhalb des Joches Zusatzgewichte anbringt und damit das Glockenträgheitsmoment vergrößert. Man greift dabei erheblich in das dynamische Verhalten des Gesamtsystems Glocke ein. Zur Gewährleistung eines einwandfreien Glockenläutens ist in derartigen Fällen notwendigerweise auch der Klöppel zu verändern. Im folgenden wird auf der Basis von Näherungslösungen ein dimensionsloser analytischer Ausdruck abgeleitet, der als eine gemeinsame Ähnlichkeitsziffer für Glocken unterschiedlicher Größe betrachtet werden kann, die aber mit gleichen Läutewinkel α_o schwingen.

3.1 Analytische Näherungslösung für die Klöppelbewegung

Im Zustand des stationären Läutens, gleicht die Antriebswirkung der Läutemaschine sämtliche Reibungs- und Stoßverluste aus. Näherungsweise können in diesem Zustand auch die dynamischen Rückwirkungen des Klöppels auf die Glockenbewegung unberücksichtigt bleiben. Für den Glockenwinkel $\alpha(t)$ gilt damit nach (1)

$$\ddot{\alpha} = -\frac{g(m_G s_{OG} + m_K s_{OP})}{I_G^G + m_G s_{OG}^2 + m_K s_{OP}^2} \sin\alpha \,. \tag{2}$$

Berücksichtigt man in der Näherung für $\alpha(t)$ nur die Grundharmonische, dann kann

$$\alpha(t) \approx \alpha_o \cos\Omega t\,,\;\; \ddot{\alpha}(t) \approx -\alpha_o \Omega^2 \cos\Omega t \tag{3}$$

gesetzt werden. Bei einem Läutewinkel von $\alpha_o = 70°$ macht man hierbei einen Fehler von 10 % in der Schwingungsperiode. Ziel der Betrachtung ist die Beschreibung der Klöppelanregung durch die Schwingungsbewegung des Klöppelbolzens im Glockenkörper. Zur Erklärung dieses Anregungsphänomens soll von der Klöppel-Anfangsbedingung $(\beta_o, \dot{\beta}_o) = 0$ ausgegangen werden. Mit $\beta \ll 1$ folgt aus (1), (2) und (3) für die Klöppelbewegung:

$$\begin{aligned} \ddot{\beta} + \frac{m_K s_{PK} g}{I_P^K}\left[1 + \frac{s_{OP}\,\Omega^2 \alpha_o}{g}(\alpha_o \cos\alpha \,\sin^2\Omega t - \sin\alpha \,\cos\Omega t)\right]\beta \;= \\ \frac{m_K s_{OP} s_{PK} \Omega^2 \alpha_o}{I_P^K}(\cos\alpha \cos\Omega t + \alpha_o \sin\alpha \sin^2\Omega t). \end{aligned} \tag{4}$$

Zur näherungsweisen Beurteilung der einzelnen Terme wird vom Beginn des Läutevorgangs ausgegangen. Mit $(\alpha, \alpha_o) \ll 1$ folgt aus (4) mit Berücksichtigung von (3):

$$\begin{aligned} \ddot{\beta} + \frac{m_K s_{PK} g}{I_P^K}\left[1 - \frac{s_{OP}\Omega^2 \alpha_o^2}{g}\cos(2\Omega t)\right]\beta = \\ \frac{m_K s_{OP} s_{PK} \Omega^2 \alpha_o}{I_P^K}\cos\Omega t\left[1 + \frac{\alpha_o^2}{2}(1 - \cos(2\Omega t))\right]. \end{aligned} \tag{5}$$

Die lineare DGL (5) für die Klöppelanregung zu Beginn des Läutevorgangs enthält eine Parameteranregung und eine harmonische Zwangserregung. Parameterstudien zeigen, dass die Parametererregung gegenüber der Zwangserregung vernachlässigt werden kann. Berücksichtigt man nur den überwiegenden ersten Term der Zwangserregung, dann folgt mit der Anfangsbedingung $(\beta_o, \dot{\beta}_o) = 0$ als analytische Lösung für die Klöppelbewegung:

$$\beta(t) = \frac{\omega_K^2 s_{OP} \alpha_o}{g\left[\left(\omega_K / \Omega\right)^2 - 1\right]}\left(\cos\Omega t - \cos\omega_K t\right), \tag{6}$$

mit der Eigenkreisfrequenz ω_K des Klöppels für kleine Schwingungen um das ruhende Klöppellager:

$$\omega_K = \sqrt{\frac{g\, m_K s_{PK}}{I_P^K}} \tag{7}$$

und der Glockenkreisfrequenz Ω für kleine Schwingungen um das Glockenlager:

$$\Omega = \sqrt{\frac{g\,(m_G s_{OG} + m_K s_{OP})}{I_O^G + m_K s_{OP}^2}}\ . \tag{8}$$

Mit dem Amplitudenquotienten in (6)

$$\frac{\beta(t)\big|_{\max}}{\alpha_o} = \frac{\omega_K^2 s_{OP}}{g\left[\left(\omega_K/\Omega\right)^2 - 1\right]} = \frac{\dfrac{m_K\, s_{PK}\, s_{OP}}{I_P^K}}{\dfrac{m_K\, s_{PK}\,(I_O^G + m_K\, s_{OP}^2)}{(m_G\, s_{OG} + m_K\, s_{OP})\, I_P^K} - 1} \tag{9}$$

ist ein dimensionsloser Ausdruck gegeben, der die Klöppelanregung im Verhältnis zur stationären Glockenamplitude beschreibt, wobei für einen optimalen Schlag immer gelten muß: $\omega_K > \Omega$. Der Ausdruck (9) ist die Grundlage für eine Glockenvergleichsziffer (GVZ), die im Sinne einer Ähnlichkeitsbetrachtung das dynamische Verhalten von unterschiedlichen Glocken auf einen analytischen Ausdruck reduziert.

3.2 Eine dimensionslose Ähnlichkeitsziffer der Glockendynamik

Aus der analytischen Näherungslösung der Klöppelbewegung (6) erhält man mit dem Amplitudenquotienten (9) einen dimensionslosen Ausdruck, der die Anregung des Klöppels durch die harmonische Glockenbewegung beschreibt. Durch diesen Ausdruck werden dynamisch ähnliche Glocken beschrieben.

Unabhängig von den aktuellen Größenwerten der Parameter einer Glocke kommt es für einen korrekten Läutevorgang nur darauf an, dass im stationären Bewegungszustand die Winkelverhältnisse von Klöppel und Glocke das optimale Maß erreichen und der Klöppel kurz vor dem oberen Totpunkt der Glockenschwingung mit richtigem Impuls den Schlagring berührt. Da die gezeigten analytischen Ableitungen von Näherungen ausgehen, müssen die aktuellen Werte der GVZ für dynamisch vergleichbare Glocken an Hand numerischer Simulationen aus optimalen Glockenbewegungen ermittelt werden. Als noch nicht berücksichtigte Variablen müssen weiterhin der aktuelle Wert des Läutewinkels α_o, der vorliegende maximale relative Klöppelwinkel κ und die Stoßziffer ε zwischen Klöppel und Schlagring berücksichtigt werden. Offensichtlich muß die Vergleichsziffer für kleine Läutewinkel größer sein als für große, weil der Klöppel jeweils den halben Wert des Klöppelrelativwinkels κ zusätzlich schwingen muß. Für Glocken mit $\kappa = 53°$ und $\varepsilon = 0{,}35$ ergeben sich aus Simulationsrechnungen für Glocken mit unterschiedlichen System-

parametern und unterschiedlichen Läutewinkeln α_o = 40°...80° die jeweils zutreffenden GVZ-Werte (10) nach Abb. 4.

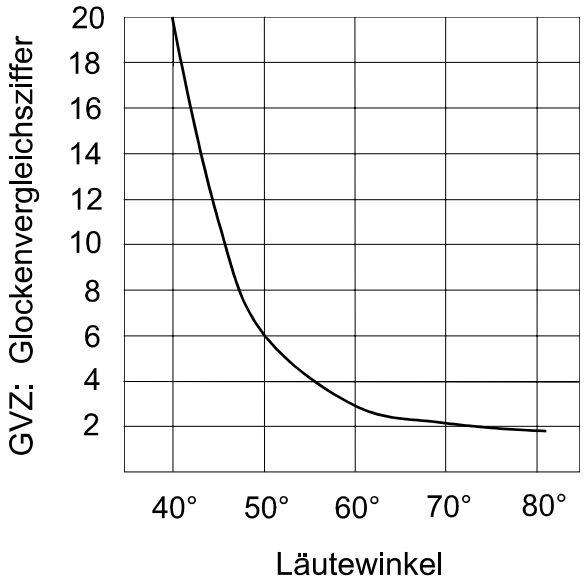


Abb. 4: Glockenvergleichsziffer GVZ als Funktion des Läutewinkels
(für Glocken mit max. relativen Klöppelwinkel: $\kappa = 53°$ und Stoßziffer $\varepsilon \approx 0{,}35$)

Alle Glocken mit übereinstimmendem GVZ-Wert sind in ihrem dynamischen Verhalten bezogen auf den Glocken- und Klöppelwinkel ähnlich, d.h. die Phasenlage des Klöppelanschlags zum Glockenwinkel stimmen bei allen miteinander verglichenen Glocken überein.

Besonders effektiv kann die Glockenvergleichsziffer bei Änderung der Läutefrequenz einer bestehenden Glocke eingesetzt werden. Führt man in (9) die Schwingungszeiten für kleine Pendelschwingungen der Glocke T_{G0} und für den Klöppel T_{K0} ein, dann folgt ein sehr einfacher Ausdruck zur Berechnung des vorliegenden GVZ-Wertes:

$$GVZ = \frac{\omega_K^2 s_{OP}}{g\left[\left(\omega_K/\Omega\right)^2 - 1\right]} = \frac{\dfrac{m_K\, s_{PK}\, s_{OP}}{I_P^K}}{\dfrac{m_K\, s_{PK}\,(I_O^G + m_K\, s_{OP}^2)}{(m_G\, s_{OG} + m_K\, s_{OP})\, I_P^K} - 1} = \frac{4\pi^2 s_{OP}}{g\,(T_{GO}^2 - T_{KO}^2)}\,. \qquad (10)$$

Für die untersuchte Referenzglocke ergibt sich: $GVZ = 2{,}01$. Nach einer Änderung der Läutefrequenz bei beibehaltenem Läutewinkel müssen die Klöppelparameter so angepasst werden, dass der GVZ-Wert erhalten bleibt.

Löst man (10) nach der Schwingungszeit für kleine Klöppelschwingungen T_{K0} auf und berücksichtigt die Eigenkreisfrequenz (7) des Klöppels für kleine Schwingungen, dann erhält man einen Ausdruck, in dem alle relevanten Klöppelparameter auf der linken Seite zusammengefasst sind:

$$\frac{I_P^K}{m_K s_{PK}} = \frac{(GVZ)\, g T_{GO}^2 - 4\pi^2 s_{OP}}{4\pi^2 (GVZ)} \; . \tag{11}$$

Nach (11) hat man die Wahl, unterschiedliche Klöppelparameter zu verändern. Entscheidend für das Verhalten der Glocke ist aber nur die gezeigte Kombination der Parameter. Durch Vernachlässigung der Klöppelmassenänderung im Ausdruck für die Glockenperiode wird bei dieser Ableitung ein Fehler gemacht, der aber vernachlässigbar ist.

Für die Qualität des Klöppelschlags ist auch von Bedeutung, dass die Schlagstelle im Stoßmittelpunkt des Klöppels liegt. Andernfalls kommt es zu zusätzlichen Belastungen des Klöppellagers und infolge des Prellschlages zu unsauberer Tonbildung. Die Klöppelparameterkombination in (11) liegt in gleicher Form auch im Ausdruck für die Prellschlagziffer vor, so dass es keine Optimierungsmöglichkeit bei der Wahl der Klöppelparameter hinsichtlich Prellschlagreduktion gibt. Prellschlagfreiheit liegt vor, wenn die Prellschlagziffer

$$p_Z = \left(\frac{m_K s_{PK}}{I_P^K} \right) s_{PS} = 1 \tag{12}$$

ist. Jede notwendige Änderung am Klöppel verändert nach (11) und (12) damit auch zwangsläufig sein Prellschlagverhalten.

4 Zusammenfassung

Die schwingende Glocke ist als Doppelpendel ein sehr einfaches Mehrkörpersystem, dessen dynamisches Verhalten durch numerische Simulation leicht beschrieben werden kann. Analytische Lösungen existieren nicht. Aus diesem Grunde ist es nicht möglich, gezielte Auslegungsrechnungen durchzuführen, z. B. bei Änderungen an bestehenden Glockensystemen. An Hand analytischer Näherungslösungen wird eine dimensionslose Ähnlichkeitsziffer - eine Glockenvergleichsziffer GVZ - hergeleitet, mit deren Hilfe das dynamische Verhalten unterschiedlicher Glocken miteinander verglichen werden kann. Die GVZ kann zum gezielten Auslegen der dynamisch relevanten Systemparameter eingesetzt werden.

Schrifttum

[1] DIN 4178: Glockentürme. Berechnung und Ausführung. Normenausschuß Bauwesen Deutsches Institut für Normung, August 1978.

[2] http://www.zdv.de: Geschichte des Kölner Doms. Zentral-Dombau-Verein zu Köln von 1842.

[3] Magnus, K.: Über ein Verfahren zur Untersuchung nichtlinearer Schwingungs- und Regelungs-Systeme, VDI-Forschungsheft 451, Düsseldorf, 1955.

[4] Magnus, K. (ed.): Dynamics of Multibody Systems. Proc.: IUTAM Symposium, München, 1977, Springer-Verlag, 1978.

[5] Müller, H.H./K. Magnus: Übungen zur Technischen Mechanik. Teubner Studienbücher, Teubner Verlag, Stuttgart, 292 S., 3. Auflage 1988, S. 286 ff.

[6] N.N.: Die Kaiserglocke. Neuer Social-Demokrat. Organ der Socialistischen Arbeiterpartei Deutschlands, 5. Jahrgang, Nr. 106 v. 8. September 1875.
[7] N.N.: Working Model, V. 2, Knowledge Revolution, San Mateo/CA, 1994.
[8] Schiehlen, W. (ed.): Multibody Systems Handbook. Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1990.

Anhang

Textauszug aus:
Neuer Social-Demokrat, 5. Jahrgang, Nr. 106 vom 8. September 1875

Die Kaiserglocke

Zu Köln, da hängt seit Wochen schon
In des Domes unterstem Stocke
Zum stillen Ärger der Denkernation
Die eigensinnigste Glocke.

Wohl goß sie der Meister mit kundiger Hand
Aus hundert wälschen Geschützen;
An ihrer Wiege ein Kaiser stand:
Doch kann dies Alles nichts nützen.

Trotz aller Gebete der Clerisei
Im altkatholischen Rocke,
Trotz aller mühseligen Frillerei
Bleibt stumm die gewaltige Glocke.

„Und willst Du nicht feiern die blutige Zeit
Auf Frankreichs erobertem Boden?
Den Brand der Städte, das Herzeleid,
Die Krüppel, so neiden die Todten?“

„O läute von Deutschlands mächtigstem Mann,
Von seinen gewaltigen Thaten,
Von Königgrätz, Düppel, Paris und Sedan
Und auch ein klein Wenig von – Baden!“

„Laß erklingen die Botschaft allerorts,
Daß bei uns nur die Freiheit zu finden,
Daß in Deutschland der Stätte des freien Worts,
liegt Plötzensee, Klapperfeld, Minden.“

Du willst nicht?! Gut, so brauch’ ich Gewalt,
Gieb Acht, wie ich Klang dir entlocke!“
- -
Es zogen wohl dreißig – doch blieb sie ganz kalt
und stumm, die gewaltige Glocke.