

DIN 4178



ICS 91.040.10

Ersatz für
DIN 4178:1978-08

Glockentürme

Belltowers

Clochers

Gesamtumfang 32 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	5
4 Einwirkungen, Lastannahmen	7
4.1 Geläutetechnische Daten.....	7
4.2 Eigenlasten, Verkehrslasten, Windlasten.....	8
4.3 Lasten aus Glockenläuten.....	8
4.3.1 Erregerkräfte.....	8
4.3.2 Lagerkräfte.....	10
4.3.3 Zusammenwirken mehrerer Glocken.....	11
5 Berechnungen	11
5.1 Baustoffe und Baustoffkennwerte.....	11
5.1.1 Baustoffe.....	11
5.1.2 Elastizitätsmodul.....	12
5.1.3 Dämpfungsgrade.....	12
5.2 Gründung.....	13
5.2.1 Allgemeines.....	13
5.2.2 Gründungsmodell.....	13
5.2.3 Dynamische Bodenparameter.....	14
5.3 Berechnungsverfahren.....	14
5.3.1 Grundsätzliches.....	14
5.3.2 Modellbildung.....	15
5.3.3 Ermittlung der Eigenschwingungen.....	15
5.3.4 Beanspruchungen aus Glockenläuten.....	15
6 Auslegung von Neubauten	17
6.1 Allgemeines.....	17
6.2 Lastkombination.....	17
6.3 Bemessung.....	17
6.3.1 Lastspielzahl.....	17
6.3.2 Stahlbeton.....	17
6.3.3 Mauerwerk.....	17
6.3.4 Holz.....	17
6.3.5 Stahl.....	18
6.3.6 Gründung.....	18
7 Messungen	18
7.1 Ziele und Grundanforderungen.....	18
7.1.1 Ziele.....	18
7.1.2 Allgemeine Anforderungen.....	18
7.1.3 Nachmessungen.....	18
7.1.4 Eigenschwingungen, Resonanzkurve.....	18
7.1.5 Schwingungen beim Glockenläuten.....	20
7.1.6 Anregung.....	20
7.2 Schwingungsmessung.....	20
7.2.1 Messanordnung.....	20
7.2.2 Aufstellung der Aufnehmer.....	21
7.2.3 Durchführung.....	21
7.3 Messeinrichtung.....	21

	Seite
8	Beurteilung und Sanierung von bestehenden Bauten..... 22
8.1	Allgemeines..... 22
8.2	Bewertung des Bauwerks auf der Grundlage der Messergebnisse..... 22
8.2.1	Bewertung auf Basis der Eigenschwingungen..... 22
8.2.2	Bewertung auf Basis der Größtwerte der Schwingungen..... 23
8.2.3	Bewertung auf Basis einer Nachbemessung..... 23
8.3	Beurteilung von historischem Mauerwerk..... 24
8.3.1	Allgemeines..... 24
8.3.2	Ingenieurmäßige Untersuchungen..... 24
8.3.3	Beurteilung der Beanspruchbarkeit von historischem Mauerwerk..... 24
8.4	Minderungs- und Verbesserungsmaßnahmen..... 25
8.4.1	Grundsätze und Ziele..... 25
8.4.2	Maßnahmen am Geläut..... 25
8.4.3	Maßnahmen an Bauwerk und Gründung..... 26
9	Glockentragwerk..... 26
9.1	Konstruktion..... 26
9.2	Läutebetrieb..... 27
Anhang A (informativ) Glockenkennwerte..... 28	
Anhang B (informativ) Bautechnik..... 31	
Literaturhinweise..... 32	
Bilder	
Bild 1	— Benennungen..... 7
Bild 2	— Bezogene Amplituden der horizontalen Erregerkräfte..... 9
Bild 3	— Bezogene Amplituden der vertikalen Erregerkräfte..... 9
Bild 4	— Größtwerte der bezogenen horizontalen und vertikalen Glockenlagerkräfte..... 10
Bild 5	— Resonanzkurve und Ausschwingkurve bei künstlicher Schwingungsanregung eines Turms..... 19
Bild A.1	— Prinzipskizze Jochausführung..... 28
Tabellen	
Tabelle 1	— Dynamische Elastizitätsmoduln von Mauerwerk..... 12
Tabelle 2	— Dynamische Bodenkennwerte für Glockentürme..... 14
Tabelle 3	— Orientierungswerte der Schwinggeschwindigkeit bei Glockentürmen..... 23
Tabelle A.1	— Glockenkennwerte..... 29

DIN 4178:2005-04**Vorwort**

Diese Norm wurde vom Normenausschuss Bauwesen im DIN e.V. im Ausschuss 11.13.07 „Schwingungsfragen im Bauwesen; Glockentürme“ erarbeitet.

Änderungen

Gegenüber DIN 4178:1978-08 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) In der Norm wurde die Beurteilung von bestehenden Glockentürmen stärker hervorgehoben.
- b) In die Norm wurden detaillierte Angaben zu Schwingungsmessungen aufgenommen.
- c) Die Norm wurde dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten angepasst.
- d) Die Norm wurde redaktionell völlig überarbeitet.

Frühere Ausgaben

DIN 4178: 1978-08

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für den Neubau von Glockentürmen und für Umbauten sowie Sanierungen von bestehenden, insbesondere historischen Glockentürmen und für Bauwerke, bei denen das Geläute erneuert, verändert oder ergänzt werden soll.

Diese Norm enthält Berechnungsgrundlagen für Standsicherheitsnachweise und Gebrauchstauglichkeitsnachweise, Anforderungen an Glockentragwerke und an die Durchführung von Schwingungsmessungen sowie konstruktive Hinweise zur Ausbildung von Glockentürmen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

DIN 1045-1, *Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton — Teil 1: Bemessung und Konstruktion*

DIN 1052, *Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken — Allgemeine Bemessungsregeln und Bemessungsregeln für den Hochbau*

DIN 1053-1:1996-11, *Mauerwerk — Teil 1: Berechnung und Ausführung*

DIN 1054, *Baugrund — Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau*

DIN 1055-1, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 1: Wichten und Flächenlasten von Baustoffen, Bauteilen und Lagerstoffen*

DIN 1055-3, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 3: Eigen- und Nutzlasten für Hochbauten*

DIN 1055-4, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 4: Windlasten*

- DIN 1055-5, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 5: Schnee- und Eislasten*
- DIN 1055-100, *Einwirkungen auf Tragwerke — Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung — Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln*
- DIN 1074, *Holzbrücken*
- DIN 1311-1, *Schwingungen und schwingungsfähige Systeme — Teil 1: Grundbegriffe, Einteilung*
- DIN 4020, *Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke*
- DIN 4074-1, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit — Teil 1: Nadelschnittholz*
- DIN 4074-5, *Sortierung von Holz nach der Tragfähigkeit — Teil 5: Laubschnittholz*
- DIN 18800, *Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion*
- DIN 18800-1:1990-11, *Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion*
- DIN 18801:1983-09, *Stahlhochbau; Bemessung, Konstruktion, Herstellung*
- DIN 45669-1, *Messung von Schwingungsimmissionen — Teil 1: Schwingungsmesser; Anforderungen, Prüfung*
- DIN 68800-1, *Holzschutz im Hochbau — Allgemeines*
- DIN EN 10025, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus unlegierten Baustählen; Technische Lieferbedingungen (enthält Änderung A1:1993); Deutsche Fassung EN 10025:1990*
- DIN V ENV 1993-1-1, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten; Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln, Bemessungsregeln für den Hochbau; Deutsche Fassung ENV 1993-1-1:1992*
- DIN EN ISO 12944-1, *Beschichtungsstoffe — Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Teil 1: Allgemeine Einleitung (ISO 12944-1:1998); Deutsche Fassung EN ISO 12944-1:1998*
- DAST 009:1998-09, *Empfehlungen zur Wahl der Stahlsorte für geschweißte Stahlbauten*
- Bauregelliste A und B, Teil 1 und Teil 2¹⁾*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe:

3.1

Glockenturm

Bauwerk, das durch schwingende Glocken beansprucht wird

1) zu beziehen bei "Deutsches Informationszentrum für technische Regeln (DITR)"

DIN 4178:2005-04**3.2****Nominal**

der aus dem Gesamtklang heraus hörbare Hauptton der Glocke

3.3**Klöppelanschlagszahl** A

die Anzahl der Klöppelschläge je Minute im eingeschwungenen Zustand der Glocke

3.4**Glockenschwingfrequenz** f

es besteht zwischen Glockenschwingfrequenz f und der Klöppelanschlagszahl A die Beziehung

$$f = \frac{A}{120} \text{ [Hz]} \quad (1)$$

3.5**Anregungskreisfrequenz** Ω

ergibt sich aus

$$\Omega = 2\pi \cdot f = \frac{\pi \cdot A}{60} \text{ [1/s]} \quad (2)$$

3.6**Frequenz der harmonischen Glockenteilschwingung** f_i

die Anzahl der Schwingungen je Sekunde der i -ten Teilschwingung, die sich bei der harmonischen Analyse der periodischen, nicht harmonischen Glockenschwingung ergibt:

$$f_i = i \cdot f \text{ [Hz]} \quad (3)$$

mit den Teilschwingzahlen $i = 1, 2, 3, \dots$; nach DIN 1311-1 heißen die Teilschwingungen auch Harmonische

3.7**Bauwerkseigenfrequenz** f_e

die Anzahl der Bauwerkseigenschwingungen je Sekunde; entspricht bei geringer Dämpfung in guter Näherung der Frequenz f_0 der ungedämpften Eigenschwingung

ANMERKUNG Die Bauwerkseigenfrequenz wird in Hz angegeben.

3.8**Läutewinkel** α

der maximale Wert des Ausschlagwinkels $\varphi(t)$ der Glocke im eingeschwungenen Zustand (siehe Bild 1)

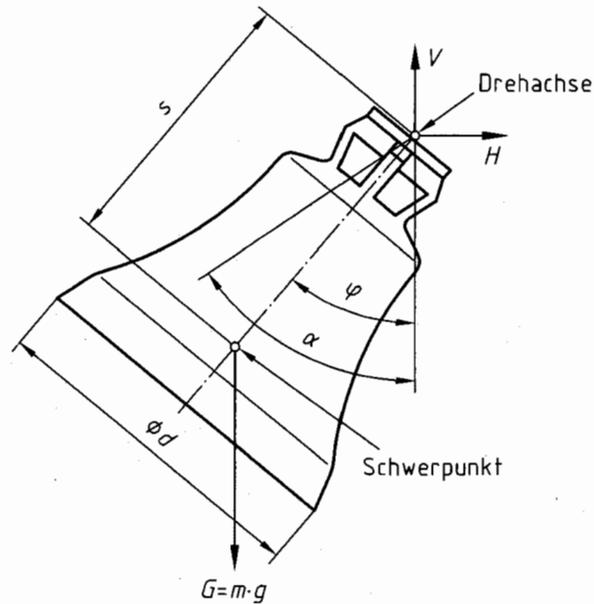


Bild 1 — Benennungen

3.9**Glockendurchmesser***d*

maximaler Durchmesser der Glocke an der Schärfe

3.10**Formbeiwert***c*

$$c = \frac{m \cdot s^2}{J_s + m \cdot s^2}$$

(4)

Dabei ist

- s* der Abstand des Schwerpunktes der Glocke einschließlich Joch von der Drehachse;
- m* die Masse der Glocke einschließlich Joch;
- J_s* das Massenträgheitsmoment der Glocke einschließlich Joch, bezogen auf die Schwerachse parallel zur Drehachse (siehe Bild 1).

3.11**Glockenerregerkräfte**

die aus harmonischen Anteilen in den Teilschwingfrequenzen zusammengesetzten, zeitlich veränderlichen Glockenlagerkräfte

4 Einwirkungen, Lastannahmen**4.1 Geläutetechnische Daten**

Von der Lieferfirma der Läuteanlage (Glockengießer) sind folgende technische Daten für jede Glocke anzugeben:

- Glockendaten: Nominal, Durchmesser, Gewicht und Ausführungsart (siehe Tabelle A.1);

DIN 4178:2005-04

- vorgesehene Jochausführung;
- Läuteparameter: vorgesehene Klöppelanschlagszahl A und Lätewinkel α ;
- Gewicht der Glocken-Ausrüstung (Joche, Klöppel, Motoren, Antriebe).

Bei vorhandenen Läuteanlagen sind die vorgenannten Daten vor Ort zu messen bzw. zu erheben. Für die Ermittlung der Glockendaten und Läuteparameter darf, wenn keine genaueren Angaben verfügbar sind, näherungsweise Tabelle A.1 verwendet werden. Bei der Nummerierung der Glocken ist stets mit der Glocke mit dem tiefsten Nominal zu beginnen ($n = 1$) und in aufsteigender Nominalfolge zu zählen.

4.2 Eigenlasten, Verkehrslasten, Windlasten

Die spezifischen Berechnungsgewichte zur Ermittlung der Eigenlasten sind DIN 1055-1 zu entnehmen, bei historischen Bauwerken durch Einzeluntersuchungen zu ermitteln. Die Eigenlasten von Glocken, Glockenausrüstung und Glockentragwerk sind nach Angabe der Lieferfirma (Glockengießerei, siehe 4.1) bzw. des planenden Ingenieurs anzusetzen.

Verkehrslasten sind nach DIN 1055-3 zu berücksichtigen. Für den Glockenstubenboden und alle Podeste, auf denen Glocken abgesetzt werden können, ist bei neuen Türmen mindestens mit einer gleichmäßig verteilten Verkehrslast von $p = 5 \text{ kN/m}^2$ zu rechnen. Montagelasten aus Glockentransport sind zu berücksichtigen. Windlasten sind nach DIN 1055-4 anzusetzen, Schneelasten nach DIN 1055-5.

4.3 Lasten aus Glockenläuten**4.3.1 Erregerkräfte**

Glocken sind Körperpendel, die zusammen mit Glockenturm und mechanischer sowie elektrischer Ausrüstung ein gekoppeltes Schwingungssystem darstellen. Für die Belange der Baudynamik dürfen die Glocken näherungsweise entkoppelt vom Turm betrachtet werden. Die zeitlich veränderlichen Glockenlagerkräfte wirken dann als Erregerkräfte auf den Glockenturm. Diese sind periodische Funktionen der Zeit, die aufgrund der großen Lätewinkel neben der Grundschwingung auch Teilschwingungen höherer Ordnung enthalten.

Die aus der Schwingung der n -ten Glocke ($n = 1, 2 \dots N$) auf das Bauwerk einwirkende horizontale Erregerkraft $H_n(t)$ und vertikale Erregerkraft $V_n(t)$ lassen sich wie folgt darstellen [1]:

$$H_n(t) = \sum_i H_{ni}(t) = c_n \cdot G_n \cdot \sum_i \beta_{ni}^h \cdot \sin(\Omega_{ni} \cdot t), \quad i = 1, 3, 5 \dots \quad (5)$$

$$V_n(t) = \sum_i V_{ni}(t) = c_n \cdot G_n \cdot \sum_i \beta_{ni}^v \cdot \cos(\Omega_{ni} \cdot t), \quad i = 2, 4, 6 \dots \quad (6)$$

Dabei ist

G_n das Gewicht der n -ten Glocke einschließlich Joch;

c_n der Formbeiwert der n -ten Glocke einschließlich Joch nach Gleichung (4), siehe Tabelle A.1;

β_{ni}^h die vom Lätewinkel α abhängige, bezogene Amplitude der horizontalen Erregerkraft (siehe Bild 2) der n -ten Glocke in der i -ten Teilschwingung;

β_{ni}^v die vom Lätewinkel α abhängige, bezogene Amplitude der vertikalen Erregerkraft (siehe Bild 3) der n -ten Glocke in der i -ten Teilschwingung;

Ω_{ni} die Erreger-Kreisfrequenz der n -ten Glocke in der i -ten Teilschwingung ($= i \cdot \pi \cdot A_n / 60$).

Die Erregerkräfte wirken an den Glockenlagern auf das Glockentragwerk und über dieses auf das Bauwerk.

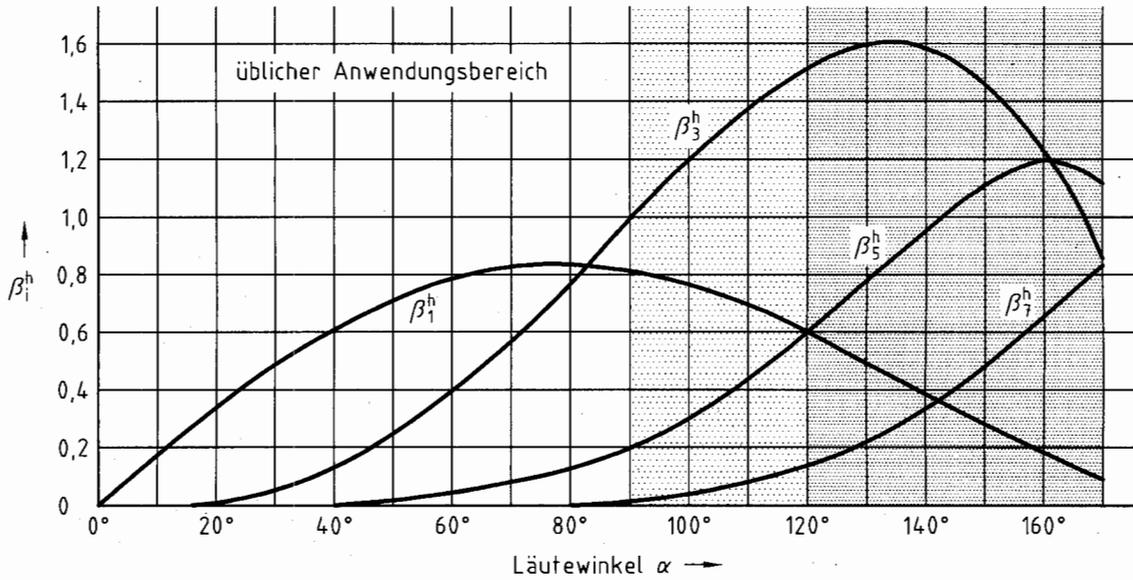


Bild 2 — Bezogene Amplituden der horizontalen Erregerkräfte

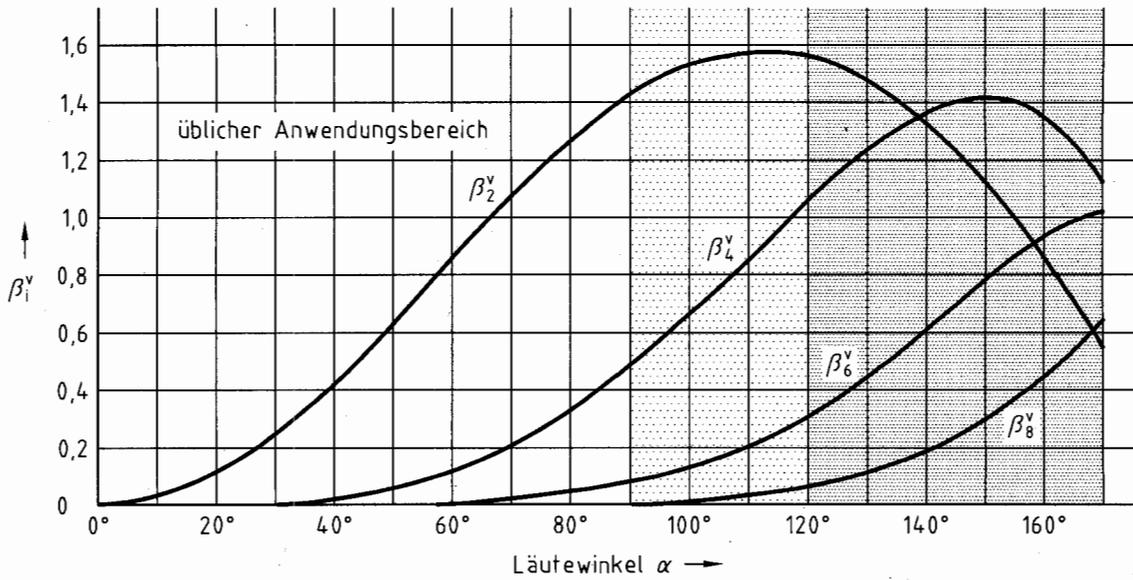


Bild 3 — Bezogene Amplituden der vertikalen Erregerkräfte

DIN 4178:2005-04

4.3.2 Lagerkräfte

Für Nachweise, bei denen der dynamische Einfluss der Glockenschwingungen vernachlässigbar ist, darf von den zeitlichen Maximalwerten der einzelnen Glockenlagerkräfte ausgegangen werden:

$$\max H_n = c_n \cdot G_n \cdot \lambda_{\max h}(\alpha_n) \quad (7)$$

$$\max V_n = c_n \cdot G_n \cdot \lambda_{\max v}(\alpha_n) + G_n \quad (8)$$

$$\text{zug } V_n = c_n \cdot G_n \cdot \lambda_{\text{zugv}}(\alpha_n) + G_n \quad (9)$$

Die vom Lätewinkel α abhängigen Größtwerte der bezogenen Lagerkräfte λ können Bild 4 entnommen werden. Da die maximalen Lagerkräfte in horizontaler und vertikaler Richtung nicht gleichzeitig auftreten, sind zwei Fälle zu unterscheiden: $\max H$ mit $\text{zug } V$ und $\max V$ (zug $H = 0$).

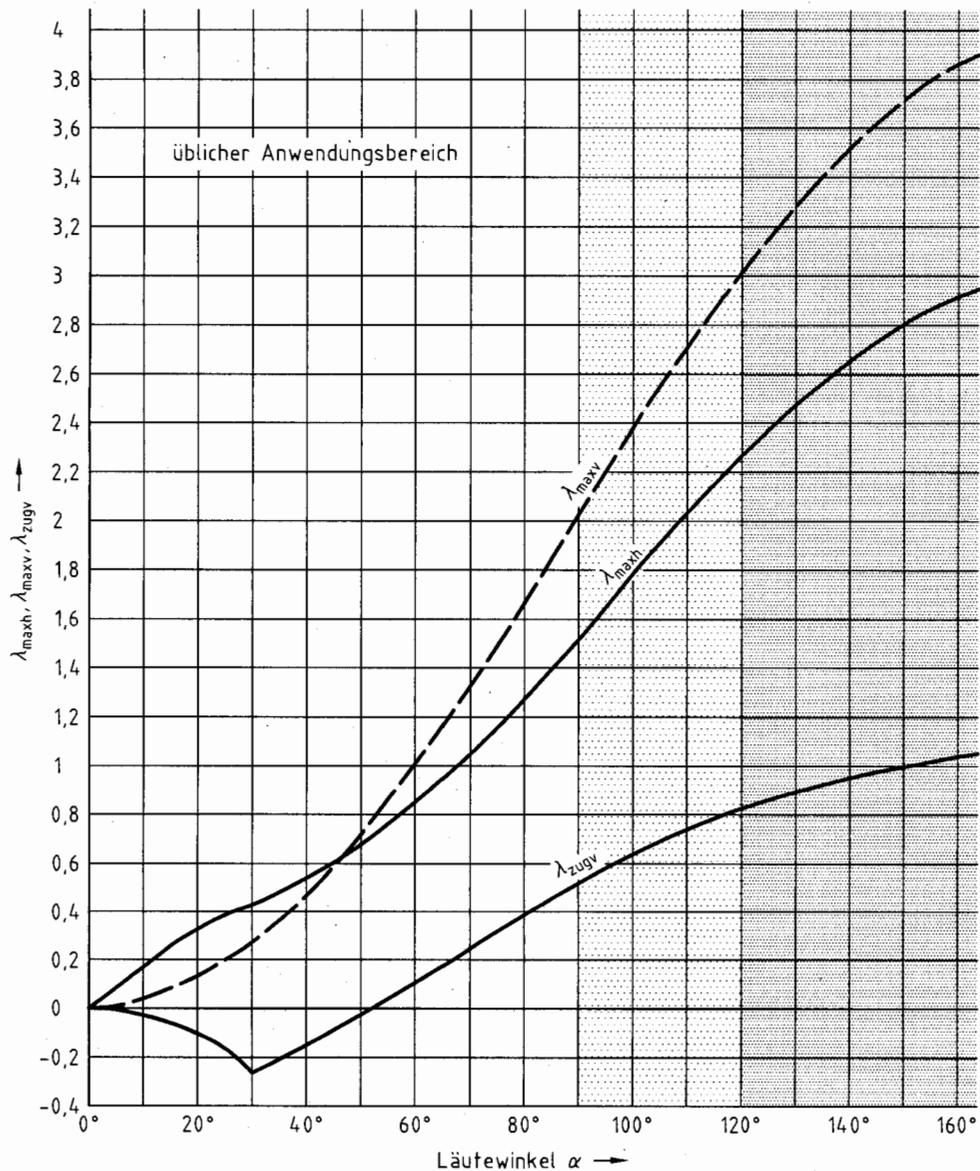


Bild 4 — Größtwerte der bezogenen horizontalen und vertikalen Glockenlagerkräfte

4.3.3 Zusammenwirken mehrerer Glocken

Besteht das Geläute aus N Glocken, so sind bei den Nachweisen (siehe Abschnitt 6) deren Auswirkungen zu überlagern. Ist R_n eine beliebige Auswirkung (Schnittkraft, Spannung, Verformung) der n -ten Glocke, so gilt

— für den Standsicherheitsnachweis und den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit:

$$R_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^N |R_n| \quad (10)$$

— für den Ermüdungsnachweis:

$$R_{\text{ges}} = \sum_{n=1}^2 |R_n| + \left(\sum_{n=3}^N R_n^2 \right)^{1/2} \quad (11)$$

R_{ges} ist dabei die resultierende Auswirkung des Gesamtgeläutes (Plenum). Gleichung (11) berücksichtigt, dass bei vielen Glocken die absolute Summe der Auswirkungen nur selten erreicht und damit nicht ermüdungsrelevant wird. Der Beitrag der 4. und aller weiteren Glocken wird daher nur als Erwartungswert addiert.

5 Berechnungen

5.1 Baustoffe und Baustoffkennwerte

5.1.1 Baustoffe

5.1.1.1 Allgemeines

Es dürfen nur Baustoffe verwendet werden, die den technischen Baubestimmungen entsprechen und in der Bauregelliste A, Teil 1 und Teil 2 enthalten sind. Für andere Baustoffe ist nach den bauaufsichtlichen Vorschriften die Brauchbarkeit unter Berücksichtigung der Dauerfestigkeit durch eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung, ein Prüfzeichen oder eine Zustimmung im Einzelfall nachzuweisen. Bei Bauwerken und Bauteilen aus Stahlbeton, Mauerwerk, Holz und Stahl dürfen folgende Baustoffe mit den angegebenen Mindestgütern verwendet werden.

5.1.1.2 Stahlbeton

Stahlbeton muss mindestens der Festigkeitsklasse C 25/30 nach DIN 1045-1 entsprechen.

5.1.1.3 Mauerwerk

Künstliche Steine müssen mindestens der Steinfestigkeitsklasse 8 MN/m² und Mörtel mindestens der Mörtelgruppe IIa nach DIN 1053-1 entsprechen. Bei Mauerwerk aus natürlichen Steinen sind Mauerwerksart, Mörtelgruppe und Gesteinsart so zu wählen, dass sich nach DIN 1053-1:1996-11, Tabelle 14, mindestens eine zulässige Druckspannung von 0,90 MN/m² ergibt.

5.1.1.4 Holz

Nadelholz muss mindestens der Sortierklasse S 10 bzw. bei maschineller Sortierung der Festigkeitsklasse C 24 nach DIN 4074-1 und Laubholz mindestens der Sortierklasse LS 10 bzw. bei maschineller Sortierung der Festigkeitsklasse D 35 nach DIN 4074-5 entsprechen.

DIN 4178:2005-04**5.1.1.5 Stahl**

Baustähle müssen S 235 oder S 355 nach DIN EN 10025 entsprechen. Die DAST-Richtlinie 009 ist zu beachten.

5.1.2 Elastizitätsmoduln**5.1.2.1 Stahlbeton**

Da es sich bei Glockenturmschwingungen um relativ niederfrequente Schwingungen handelt, dürfen, sofern keine genaueren Untersuchungen vorliegen, zur Ermittlung der Bauwerkseigenfrequenzen und der Schwingungsbiegelinien die statischen E -Moduln nach DIN 1045-1 verwendet werden.

5.1.2.2 Mauerwerk

Da die Elastizitätsmoduln von Mauerwerk stark streuen, ist, falls keine genaueren Untersuchungen vorliegen, die Ermittlung der Bauwerkseigenfrequenzen und der Schwingungsbiegelinien für die in Tabelle 1 angegebenen Grenzwerte der dynamischen E -Moduln durchzuführen.

Tabelle 1 — Dynamische Elastizitätsmoduln von Mauerwerk

Steinfestigkeitsklassen MN/m ²	Mörtelgruppe	E_{dyn} MN/m ²
8	IIa	3 000 bis 7 000
	III	4 000 bis 8 000
12	IIa	4 000 bis 8 000
	III	5 000 bis 10 000
20	IIa	7 000 bis 11 000
	III	8 000 bis 12 000

Für Verformungsberechnungen infolge statischer Belastung sind die Rechenwerte nach DIN 1053-1 zu verwenden. Bei bestehenden Türmen sind die E -Moduln erforderlichenfalls durch Versuche nachzuweisen.

5.1.2.3 Holz

Für Holz dürfen, sofern keine genauen Untersuchungen vorliegen, zur Ermittlung der Bauwerkseigenfrequenzen und der Schwingungsbiegelinien die statischen E -Moduln nach DIN 1052 verwendet werden.

5.1.2.4 Stahl

Der dynamische E -Modul von Baustahl entspricht dem statischen E -Modul nach DIN 18800.

5.1.3 Dämpfungsgrade

Sofern keine genaueren Werte bekannt sind, dürfen folgende Mindestwerte für die modalen Dämpfungsgrade ϱ des Bauwerks verwendet werden:

Stahlbeton $\varrho = 0,010$

Mauerwerk $\varrho = 0,015$

Holz	$\vartheta = 0,020$
Stahl (geschraubt)	$\vartheta = 0,010$
Stahl (geschweißt oder HV-geschraubt)	$\vartheta = 0,005$.

5.2 Gründung

5.2.1 Allgemeines

Die durch das Läuten der Glocken hervorgerufenen Turmschwingungen werden wesentlich durch die Nachgiebigkeit des Baugrundes unter dem Fundament beeinflusst. Die horizontale Auslenkung der Turmspitze geht bei frei stehenden Türmen üblicherweise zu 20 % bis 40 % auf die Kippbewegung des Fundamentes zurück. Durch die elastische Einspannung des Turms im Untergrund entsteht eine Kipp-/Biegeschwingung mit niedrigerer Eigenfrequenz. Die Ausbildung des Fundamentes beeinflusst somit nicht nur die Größe der Kippbewegung, sondern auch die Eigenfrequenz (siehe 8.4.3).

5.2.2 Gründungsmodell

Bei flach gegründeten Türmen darf der Gründungskörper als eine in sich starre (monolithische) Platte, die vollständig kraftschlüssig auf dem Boden aufliegt, betrachtet werden. Die elastische Reaktion des Bodens auf Bewegungen dieser Platte wird dann durch Einzelfedern in dem jeweiligen Freiheitsgrad dargestellt. Die seitliche Einbettung kann dabei in der Regel vernachlässigt werden.

Im Allgemeinen sind nur die Kippschwingungen des Fundamentkörpers um horizontale Achsen in der Gründungsebene, parallel zu den Bauwerksseiten, von Bedeutung. Die frequenzunabhängigen Drehfederkonstanten K_φ können nach der Halbraumtheorie wie folgt berechnet werden [2], [3]:

$$K_\varphi = \frac{8 G r_0^3}{3(1-\nu)} \quad (12)$$

$$r_0 = \sqrt[4]{a^3 b / 3\pi} \quad (13)$$

Dabei ist

- K_φ die Drehfederkonstante (MNm);
- a die Seitenlänge des Gründungskörpers rechtwinklig zur Kippachse (m);
- b die Seitenlänge des Gründungskörpers parallel zur Kippachse (m);
- G der dynamische Schubmodul des Bodens (MN/m²);
- ν die Querdehnzahl des Bodens.

Die vorstehende Beziehung gilt für einen homogenen Untergrund, kann aber auch für schwach geschichteten Untergrund verwendet werden. Ein Grundwasserspiegel gilt in diesem Zusammenhang als schwache Schichtgrenze.

Bei ausgeprägter Schichtung oder aufgelöstem Gründungskörper sind weitergehende Überlegungen erforderlich. Federkonstanten für andere Schwingungsformen (Translation, Torsion) finden sich in [2].

Für den Dämpfungsgrad der Kippbewegung ϑ_φ darf als Mindestwert 0,02 angesetzt werden. Hiermit sind Abstrahlungsdämpfung und Materialdämpfung des Bodens erfasst. Der Dämpfungsgrad der Gesamtschwingung kann aus dem Dämpfungsgrad der Kippbewegung und dem Dämpfungsgrad der Turmverformung (siehe

DIN 4178:2005-04

5.1.3) näherungsweise durch Wichtung entsprechend deren Anteilen an der Gesamtverformung ermittelt werden.

5.2.3 Dynamische Bodenparameter

Wird der dynamische Schubmodul nicht durch Feld- oder Laborversuche im Einzelfall bestimmt, so darf angenähert mit den Werten nach Tabelle 2 gerechnet werden. Bei der Ermittlung der Eigenfrequenz und der Schwingungsbiegelinie ist in diesem Fall eine angemessene Parametervariation innerhalb der in der Tabelle angegebenen Bandbreite vorzunehmen.

Wird der dynamische Schubmodul experimentell bestimmt, ist bei der Wahl der Versuchsverfahren zu berücksichtigen, dass die Beanspruchung sehr tieffrequent, d. h. quasi-statisch ist. Dies gilt besonders für bindigen Boden.

Tabelle 2 — Dynamische Bodenkenwerte für Glockentürme

Bodenart	Schubmodul MN/m ²	Querdehnzahl
Sand, mitteldicht	20 bis 60	0,30
Sand, dicht	50 bis 110	
Kiessand, ungleichförmig	70 bis 150	
Kies, dicht	100 bis 170	
Geröll, Steine, Schotter	100 bis 200	0,35
Ton, steif	10 bis 25	0,45
Ton, halbfest	20 bis 50	
Ton fest	40 bis 90	
Sandiger Ton, steif (Geschiebelehm, Lösslehm)	10 bis 30	0,40
Sandiger Ton, halbfest (Lehm, Geschiebemergel, Löss)	20 bis 50	
weicher Fels (Sandstein, Tonstein)	400 bis 1000	0,3 - 0,4

5.3 Berechnungsverfahren**5.3.1 Grundsätzliches**

Dynamische Berechnungen sind in der Regel notwendig für den Neubau von Glockentürmen. Bestehende Bauwerke können durch eine Berechnung allein im Allgemeinen nicht zutreffend beurteilt werden, weil Materialkennwerte und Konstruktionsrandbedingungen stark streuen und nicht ausreichend genau ermittelt werden können. Hier ist die Schwingungsmessung in der Regel der einzige erfolgversprechende Zugang. Eine dynamische Berechnung — z. B. zur Auslegung von Ertüchtigungsmaßnahmen — erfordert zuvor eine Kalibrierung des Schwingungsmodells mittels geeigneter Messungen.

5.3.2 Modellbildung

Für die Schwingungsberechnung ist der Glockenturm durch ein mechanisches Modell abzubilden. Die Feinheit des Modells hinsichtlich Erfassung der Massen und Steifigkeiten ist dabei so zu wählen, dass alle räumlichen Eigenschwingungen des Turms bis zur 5. Teilschwingfrequenz der Glocke mit der höchsten Klöppelanschlagszahl dargestellt werden können.

ANMERKUNG In vielen Fällen ist es vorteilhaft, ein konsistentes Modell für die dynamischen Berechnungen und die Verfolgung der Gebrauchslasten zu entwickeln. Bei aufgelösten Tragwerken kommen in der Regel Stabwerksmodelle in Frage, bei scheibenartig ausgesteiften Konstruktionen Ersatzbalken oder direkt Schalen-/Faltwerksmodelle mittels des Verfahrens der finiten Elemente. Schalen-/Faltwerksmodelle oder räumliche Balkensysteme sind vorteilhaft vor allem bei unregelmäßigen Konstruktionen, bei denen räumlich gekoppelte Schwingungen auftreten.

Die Nachgiebigkeit der Gründungskonstruktion (z. B. Bodenplatte, Pfähle) und des Baugrunds ist stets zu berücksichtigen. Angaben dazu enthält 5.2.

Die dynamischen Kennwerte der Baustoffe sind nach 5.1 anzusetzen.

Soweit Modellparameter nur in Grenzen bekannt sind, ist die Berechnung innerhalb der Bandbreite der Parameter so durchzuführen, dass die ungünstigsten Ergebnisse erzielt werden. Dies gilt vor allem für die Steifigkeiten von Mauerwerk und Baugrund, vergleiche Tabellen 1 und 2.

Die Massenverteilung in Grundriss und Höhe ist wirklichkeitsnah zu erfassen. Verteilte Massen dürfen in angemessener Weise zu Punktmassen zusammengefasst werden. Nichtständige Verkehrslasten und Montage-lasten sind bei der Massenermittlung für die dynamische Berechnung zu vernachlässigen.

Der Glockenstuhl bzw. das Glockentragwerk (siehe 9.1) braucht für die Untersuchung des Turms in der Regel nicht mit abgebildet zu werden, es sind jedoch die tatsächlichen Angriffshöhen der Horizontalkräfte aus Glockenläuten zu modellieren. Das Glockentragwerk selbst kann dann an einem entkoppelten Modell untersucht werden.

5.3.3 Ermittlung der Eigenschwingungen

Anhand des Modells nach 5.3.2 sind alle Eigenschwingungen bis zur 1,2fachen 5. Teilschwingfrequenz der Glocke mit der höchsten Klöppelanschlagszahl zu ermitteln und graphisch darzustellen. Die Schwingungshauptachsen in Höhe des Glockenpodestes sind anzugeben. Soweit bei einzelnen Parametern in Grenzen zu rechnen ist, ist zu kennzeichnen, welcher Grenzfall den Ergebnissen zugrunde liegt.

ANMERKUNG Bei gedungenen Türmen lässt sich häufig bereits mit einfachen Überschlagsformeln der Baudynamik zeigen, dass die tiefste Eigenfrequenz hoch genug (siehe 6.1) liegt. Genauere dynamische Berechnungen können dann entfallen, die Beanspruchungen aus Glockenläuten ergeben sich aus dem Ersatzlastverfahren (siehe 5.3.4.3).

5.3.4 Beanspruchungen aus Glockenläuten

5.3.4.1 Berechnungsverfahren

Für die nach 6.3 durchzuführende Bemessung werden die aus Glockenläuten resultierenden dynamischen Beanspruchungen (Schnittkräfte, Spannungen, Verformungen) benötigt. Sie folgen im allgemeinen Fall aus einer dynamischen Berechnung (siehe 5.3.4.2). Unter bestimmten Voraussetzungen darf an deren Stelle ein Ersatzlastverfahren (siehe 5.3.4.3) treten [4].

5.3.4.2 Dynamische Berechnung

Ausgehend von den durch die Gleichungen (5) und (6) definierten dynamischen Belastungen kann für das in 5.3.2 definierte und zur Ermittlung der Eigenschwingungen (5.3.3) bereits verwendete Modell eine dynamische Berechnung durchgeführt werden. Diese kann z. B. mittels der modalen Analyse im Zeitbereich oder — da periodische Erregung — im Frequenzbereich erfolgen. Dabei genügt es in der Regel, sich erregungsseitig

DIN 4178:2005-04

auf die ersten 5 Teilschwingfrequenzen aller Glocken zu beschränken. Die Dämpfung der einzelnen Eigenschwingungen darf — sofern keine abweichenden Werte begründet werden — mit den in 5.1.3 und 5.2.2 angegebenen Werten angesetzt werden. Die Zeit- bzw. Frequenzschrittweite ist so zu wählen, dass die Maxima der Antwortgrößen erfasst werden.

5.3.4.3 Ersatzlastverfahren

An Stelle der dynamischen Berechnung darf zur Ermittlung der Beanspruchungen aus horizontalen Glockenerregerkräften das Ersatzlastverfahren treten, wenn folgende Voraussetzungen erfüllt sind:

- Die Glocken sind im oberen Drittel des Turms aufgehängt, weil dann die statische Schnittkraftverteilung der dynamischen hinreichend ähnlich ist. Maßgebend für diese Bedingung ist hierbei die Höhe der Einleitung der Horizontalkraft in den Turm, nicht die der Drehachse der Glocken. Der (im Allgemeinen leichte) Turmhelm zählt hierbei nicht mit.
- Die Schwingungshauptachsen sind bekannt, so dass die Erregerkräfte in die Hauptachsen-Richtungen zerlegt werden können.
- Das Schwingungsverhalten in beiden horizontalen Hauptachsen-Richtungen ist hinreichend durch jeweils nur eine Eigenschwingung, die Grundschiwingung, bestimmt, deren Eigenfrequenz f_{e1} und Dämpfungsgrad \mathcal{D}_1 bekannt sind.

Nach dem Ersatzlastverfahren ist für die n -te Glocke die Ersatzlast H_n^{ers} wie folgt zu ermitteln:

$$H_n^{\text{ers}} = 1,1 \cdot c_n \cdot G_n \cdot \max \left| \sum_{i=1}^5 \beta_{ni}^h \cdot DLF_{ni} \cdot \text{sign} \left(1 - \frac{\Omega_{ni}}{\omega_{01}} \right) \cdot \sin (\Omega_{ni} \cdot t) \right| \quad (14)$$

Darin gelten die Definitionen von 4.3.1 sowie der dynamische Lastfaktor

$$DLF_{ni} = \left[\left(1 - \left(\frac{\Omega_{ni}}{\omega_{01}} \right)^2 \right)^2 + \left(2 \mathcal{D}_1 \cdot \frac{\Omega_{ni}}{\omega_{01}} \right)^2 \right]^{-1/2} \quad (15)$$

Dabei ist $i = 1, 3, 5$ und

$$\omega_{01} = 2\pi \cdot f_{01} \quad (16)$$

die Kreisfrequenz der für die betrachtete Schwingungsrichtung maßgebenden, ungedämpften Eigenschwingung des Turms. Der Faktor 1,1 dient zur Abdeckung von Unschärfen des Ersatzlastverfahrens gegenüber der genauen Berechnung. Mit der sign-Funktion wird berücksichtigt, dass die Antwortschwingungen des Turms gleich- bzw. gegenphasig verlaufen, je nachdem, ob die Anregungsfrequenz unterhalb oder oberhalb seiner Eigenfrequenz liegt.

Die Ersatzlasten je Glocke nach Gleichung (14) sind in Höhe der Glockendrehachse anzusetzen, die Beanspruchungen statisch zu ermitteln. Die Summation über die Beiträge mehrerer Glocken (Plenum) erfolgt nach 4.3.3.

6 Auslegung von Neubauten

6.1 Allgemeines

Als Grundlage für die dynamische Abstimmung sind die Turmeigenfrequenzen im Rahmen der bautechnischen Nachweise rechnerisch zu ermitteln (siehe 5.3).

Für neue Türme ist Hochabstimmung gegenüber der höchsten 3. Glockenteilschwingfrequenz anzustreben. Dabei ist zur Berücksichtigung von Unschärfen bei der Modellbildung ein rechnerischer Resonanzabstand $\geq 20\%$ einzuhalten.

Bei Glockentürmen, die mit angrenzender Bausubstanz kraftschlüssig verbunden sind, ist in der Regel eine Kontrollmessung wegen der unvermeidlichen Ungenauigkeit bei der Modellbildung erforderlich. Gegenüber den messtechnisch ermittelten Eigenfrequenzen ist in der Regel ein Resonanzabstand $\geq 10\%$ einzuhalten, siehe aber 8.2.1.

6.2 Lastkombination

Die dynamischen Kräfte aus Glockenläuten sind als die hauptsächlichen veränderlichen Einwirkungen zu betrachten. Dafür ist ein Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,5$ anzusetzen.

Ständige Einwirkungen und veränderliche Einwirkungen sind in den einzelnen Lastfällen ungünstig zu kombinieren. Im Ermüdungsnachweis müssen Einwirkungen aus Wind und aus Glockenlasten nicht überlagert werden.

6.3 Bemessung

6.3.1 Lastspielzahl

Für den Lastfall Glockenläuten gilt eine Lastspielzahl von $N > 5 \cdot 10^6$.

6.3.2 Stahlbeton

Glockentürme sind nach DIN 1045-1 zu bemessen. Der Ermüdungsnachweis kann nach den dort angegebenen Verfahren geführt werden. Vereinfachend darf die Bemessung für vorwiegend ruhende Belastung durchgeführt werden, wenn die Schnittgrößen aus dem Lastfall Glockenläuten mit einem Ermüdungsbeiwert $\mu = 3,0$ multipliziert werden.

6.3.3 Mauerwerk

Die Bemessung von Glockentürmen in Mauerwerksbauweise ist nach DIN 1053-1 durchzuführen. Solange keine ausreichenden Aussagen über die Ermüdungsfestigkeit von Mauerwerk vorliegen, sind die dynamischen Anteile der Bauteilspannungen aus den Glockenlasten im Ermüdungsnachweis mit einem Ermüdungsbeiwert $\mu = 2,5$ zu multiplizieren.

6.3.4 Holz

Die Bemessung von Glockentürmen in Holzbauweise ist nach DIN 1052 durchzuführen. Es dürfen nur schlupfarme Verbindungsmittel verwendet werden.

Der Ermüdungsnachweis für normalkraftbeanspruchte Bauteile darf nach DIN 1074 geführt werden. Für den Ermüdungsnachweis biege- und schubbeanspruchter Bauteile sind die dynamischen Anteile der Beanspruchungen aus den Glockenlasten mit einem Ermüdungsbeiwert $\mu = 2,5$ zu multiplizieren. Dies gilt auch für alle mechanischen Verbindungsmittel. Vereinfacht dürfen die dynamischen Anteile aller Beanspruchungen aus den Glockenlasten für Holz und für Verbindungsmittel mit einem Ermüdungsbeiwert $\mu = 2,5$ multipliziert werden.

DIN 4178:2005-04**6.3.5 Stahl**

Die Bemessung von Glockentürmen in Stahlbauweise ist nach DIN 18800 durchzuführen. Als Schraubverbindungen sind nur HV-Schrauben oder Passverbindungen zulässig.

Ob ein Betriebsfestigkeitsnachweis geführt werden muss, ist nach DIN 18800-1:1990-11, Element 741, zu entscheiden. Der Betriebsfestigkeitsnachweis ist nach DIN V ENV 1993 durchzuführen.

6.3.6 Gründung

Falls der Baugrund nicht von anderen Baumaßnahmen her hinreichend bekannt ist, sind Erkundungsmaßnahmen nach DIN 1054 und DIN 4020 vorzunehmen. Die Einhaltung der Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1054 ist nachzuweisen. Glockentürme sind in der Regel in die geotechnische Kategorie GK 3 nach DIN 4020 einzuordnen. Die Vertikalkräfte aus Glockenläuten können bei der Dimensionierung der Gründung in der Regel vernachlässigt werden.

7 Messungen**7.1 Ziele und Grundanforderungen****7.1.1 Ziele**

Mit der Schwingungsmessung an Glockentürmen werden — mit zunehmenden Ansprüchen — mehrere Ziele verfolgt:

- Feststellung, ob Maßnahmen zur Schwingungsminderung am Geläute/Turm erforderlich sind;
- Ermittlung der Resonanzabstände; Abschätzung von Art und Umfang der gegebenenfalls erforderlichen Maßnahmen;
- Bereitstellung aller für die Planung von geläutetechnischen und baulichen Maßnahmen sowie für die Änderung und Ergänzung von Geläuten erforderlichen Größen.

7.1.2 Allgemeine Anforderungen

Schwingungsmessungen an bestehenden Glockentürmen sind so durchzuführen, dass alle Größen bestimmt werden können, die zur Beurteilung des Schädigungs- bzw. Gefährdungspotentials der durch das Glockenläuten hervorgerufenen Schwingungen erforderlich sind [4]. Gegebenenfalls ist die Messung zusätzlicher Größen notwendig, um Maßnahmen an der Läuteanlage zur Verminderung der Schwingungen und/oder geeignete Maßnahmen am Bauwerk zu ermöglichen.

ANMERKUNG Bei bestehenden Bauwerken sind bei ungenügender Kenntnis der Konstruktion, insbesondere der Gründung und der Baustoffkennwerte, im Allgemeinen Messungen die einzige Möglichkeit, das Schwingungsverhalten des Turms zutreffend zu ermitteln.

7.1.3 Nachmessungen

Bei neu erstellten Glockentürmen sollte zur Überprüfung der Ergebnisse der Schwingungsberechnung und zur endgültigen Abstimmung des Geläutes eine Nachmessung erfolgen. Diese kann sich auf die Ermittlung einzelner wesentlicher Schwingungsgrößen beschränken. Das Gleiche gilt nach Abschluss größerer Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Bauwerken.

7.1.4 Eigenschwingungen, Resonanzkurve

Die Messung aller relevanten Eigenfrequenzen des Turms ist erforderlich zur Berechnung der Resonanzabstände der Glockenteilschwingfrequenzen f_{ni} . Für die Messung ist der Turm in geeigneter Weise zu Schwingungen anzuregen, siehe 7.1.6.

Die Bestimmung der Eigenschwingungen hat in zwei aufeinander rechtwinklig stehenden, horizontalen Richtungen zu erfolgen, wobei eine mit der Schwingrichtung der für die Turmschwingung maßgebenden Glocken zusammenfällt. Für die Messung ist ein elektronisches Schwingungsmesssystem einzusetzen. Die Resonanzkurve liefert die wesentlichen Informationen über das dynamische Verhalten des Turms. Die auf eine konstante Anregungskraft (z. B. 1 kN) normierte Resonanzkurve dient zur Ermittlung der dynamischen Lasten aus Glockenläuten und lässt die Auswirkung von Veränderungen der Klöppelanschlagszahl auf die Turmschwingung erkennen (siehe. 5.3.4.3).

Bild 5 zeigt ein Beispiel für eine gemessene Resonanzkurve und eine Ausschwingkurve zur Dämpfungsermittlung.

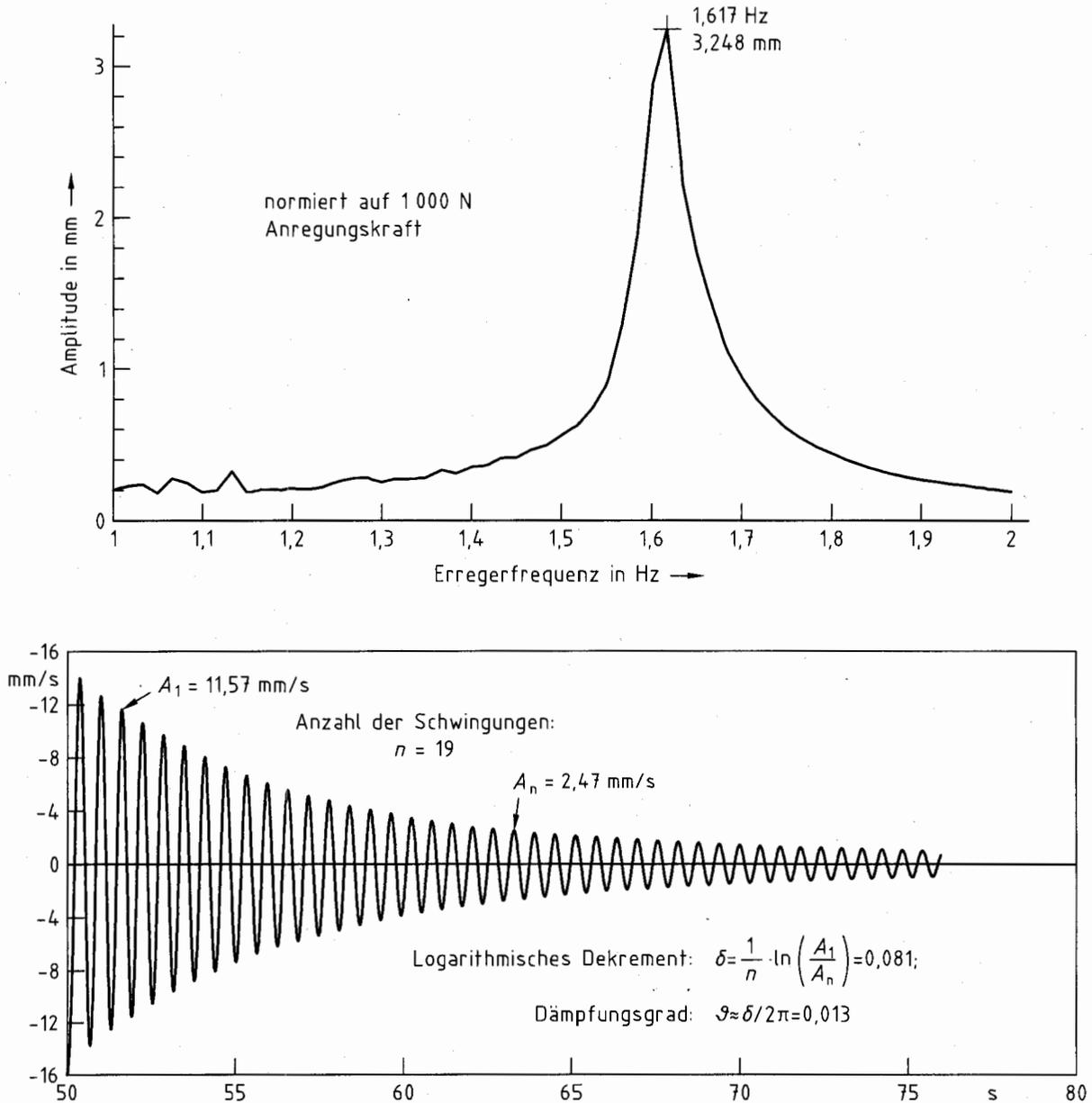


Bild 5 — Resonanzkurve und Ausschwingkurve bei künstlicher Schwingungsanregung eines Turms

DIN 4178:2005-04**7.1.5 Schwingungen beim Glockenläuten**

Bei der Schwingungsmessung mit Anregung des Turms durch Glockenläuten sind je nach Fragestellung zu erfassen:

- Bei vollem Geläut und beim Läuten der Glocken einzeln der maximale horizontale Schwingweg des Turms und die maximale Schwinggeschwindigkeit in der höchsten Ebene der Turmwand in der Glockenschwingrichtung und rechtwinklig dazu sowie die Torsionsschwingung. In Sonderfällen kann es notwendig sein, auch Messungen im Turmaufsatz durchzuführen;
- die Glockenschwingfrequenzen (Klöppelanschlagszahlen);
- die Lätewinkel;
- die Biegeverformung des Turms und die Kippbewegung des Fundaments in der maßgebenden Schwingungsrichtung bei vollem Geläut und beim Läuten der einzelnen Glocken. Hierbei kann es zur Gewinnung von Eingangsgrößen für eine rechnerische Untersuchung erforderlich sein, durch geeignete Filterung der Messsignale den Einfluss der Teilschwingungen 1., 3. und 5. Ordnung getrennt zu betrachten;
- bei Doppelturmanlagen die Schwingungen jeweils auch des Turms, in dem sich nicht die läutende Glocke befindet;
- die dynamische Änderung von Rissbreiten.

7.1.6 Anregung

Bei der Eigenfrequenzmessung können unterschiedlich hohe Anforderungen an die Genauigkeit gestellt werden.

Eine Ermittlung der Eigenschwingungen, welche zur Überprüfung des Resonanzabstandes dient oder mit welcher Eingangswerte für eine Schwingungsberechnung gewonnen werden sollen, hat zur Aufdeckung von eventuell vorhandenen Nichtlinearitäten in der Regel mit mindestens zwei unterschiedlichen Niveaus der künstlich anregenden Kräfte zu erfolgen. Beim höchsten Belastungsniveau sollten die Horizontalantworten in der obersten Messebene bei Resonanz in derselben Größenordnung liegen wie beim Läuten aller Glocken im vorhandenen Zustand bzw. im Zustand nach ggf. erforderlichen Maßnahmen am Geläute oder am Turm. Hierfür eignet sich z. B. ein Unwuchterreger. Ist dieses Anregungsniveau nicht erreichbar, ist die Untersuchung so durchzuführen, dass eine Extrapolation möglich ist.

Bei einer einfachen Orientierungsmessung kann die Anregung auch durch Wind, Stoß, Mikroseismik oder kleine Unwuchterreger erfolgen. Damit wird der obere Grenzwert der Eigenfrequenzen bestimmt. Eine solche Messung ist zur Beurteilung des Schwingungsverhaltens des Turms nur dann ausreichend, wenn dessen Eigenfrequenz entweder deutlich unterhalb der tiefsten der 3. Teilschwingfrequenzen der Glocken liegt oder so weit über der höchsten der 3. Teilschwingfrequenzen, dass eine mögliche Absenkung aufgrund nichtlinearer Effekte bis zu 20 % sich hinsichtlich der Resonanz nicht wesentlich auswirkt.

7.2 Schwingungsmessung**7.2.1 Messanordnung**

Die Zahl und Anordnung der Schwingungsaufnehmer richten sich nach der jeweiligen Fragestellung. Um alle wesentlichen Schwingungsgrößen zu erfassen, sollten Aufnehmer in folgender Weise angeordnet werden:

- In der höchsten zugänglichen Messebene, die repräsentativ für die Schwingungen des Turmbauwerks ist, je zwei Aufnehmer an den Außenwänden mit der Messrichtung horizontal, in Glockenschwingrichtung und rechtwinklig dazu (maximale horizontale Auslenkung, Torsion);

- in möglichst gleichmäßigen Abständen über die Turmhöhe (oberste Messebene) verteilt zwei zusätzliche Aufnehmer mit der Messrichtung horizontal in Glockenschwingrichtung, möglichst mittig (Biegung);
- im Bereich des Turmfundaments in der Ebene der Glockenschwingung auf beiden Seiten des Turms in möglichst großem Abstand voneinander, Messrichtung vertikal (Fundamentkipfung).

Werden nicht alle vorgenannten Aufnehmerpositionen gleichzeitig bestückt, so sind die Schwingungskomponenten in mehreren Messanordnungen bei wiederholter Anregung (künstlich, Glockenläuten) abzufragen, wobei mindestens zwei Referenzaufnehmer in der höchsten Messebene während der gesamten Messung unverändert bleiben.

Rissbreitenänderungen können aus der Differenz der Schwingwegsignale von zwei Aufnehmern, die auf beiden Seiten des Risses befestigt werden, oder durch direkte Wegmessung über den Riss hinweg ermittelt werden.

ANMERKUNG Zweckmäßigerweise werden alle Schwingungsaufnehmer in derselben Messrichtung mit gleicher Orientierung angeordnet, um die Betrachtung der Phasenlage zu erleichtern.

7.2.2 Aufstellung der Aufnehmer

Die Schwingungsaufnehmer sind sorgfältig in der jeweiligen Messrichtung auszurichten. Sie sind an festen Bestandteilen des Turms anzubringen, lockere Steine, Holzbalken der Dachkonstruktion u. Ä. sind zu meiden. Eine kraftschlüssige Befestigung der Aufnehmer ist nur erforderlich, wenn diese zu leicht sind oder keine geeignete feste Aufstandsfläche zur Verfügung steht.

7.2.3 Durchführung

Vor jeder Messung ist vor Ort eine Funktionskontrolle der gesamten Messkette vorzunehmen. Nach Abschluss ist ein Messbericht zu erstellen. Darin sind alle relevanten Daten der Messeinrichtung, der Durchführung der Messung und die Ergebnisse zu dokumentieren. Hinsichtlich der Messdauer gelten folgende Anforderungen:

- Bei der Messung der Turmbewegung aufgrund des Glockenläutens ist der eingeschwungene Zustand abzuwarten;
- die Registrierung und Auswertung jedes hinsichtlich der Frequenz elektronisch auszuwertenden Signals haben über ein ununterbrochenes Zeitintervall von mindestens 100 s zu erfolgen;
- bei künstlicher Anregung mit einem Gleitsinus ist die Frequenzänderung so langsam vorzunehmen, dass er bezüglich der Fragestellung einer quasi-stationären Anregung gleichkommt.

Bei Türmen, die gegenüber der 3. Teilschwingfrequenz einer maßgebenden Glocke tief abgestimmt sind, sind zusätzlich die Ein- und Ausschwingvorgänge zu betrachten.

7.3 Messeinrichtung

Die Messeinrichtung muss in der Lage sein, die Schwingungen ab einer Frequenz von 0,3 Hz mit ausreichender Genauigkeit zu erfassen. Soweit die Phasenlage für ein Ergebnis von Bedeutung ist, müssen bei den hierfür eingesetzten Messkanälen die Aufnehmer- und Filtereigenschaften (Kennwerte) gleich sein.

Die Schwingungssignale sind so auf Datenträger zu registrieren, dass aus der Aufzeichnung alle erforderlichen Größen ermittelt werden können. Zur Erfassung der Signale ist ein mehrkanaliges Registriergerät zu verwenden. Die Auswertemöglichkeiten müssen mindestens die Ermittlung der Maximalwerte der Schwingungsgrößen und die Frequenzanalyse umfassen. Die Registrierung der Signale muss über ein ununterbrochenes Zeitintervall von mindestens 100 s möglich sein.

DIN 4178:2005-04

ANMERKUNG Für bestimmte Aufgaben ist ein Gerät mit elektronischer Speicherfähigkeit der Originalsignale erforderlich.

Für die Ermittlung der Schwingungsgrößen muss die Genauigkeit über die gesamte Messkette besser als 10 % sein. Die Messeinrichtung ist in regelmäßigen Abständen zu kalibrieren.

Die Bestimmung der Frequenz hat mindestens mit einer Auflösung von 0,01 Hz zu erfolgen. Die Horizontalschwingungen des Turms müssen mit einer Auflösung von mindestens drei signifikanten Stellen bestimmbar sein. Die Messkanäle, mit denen die Kippschwingung des Fundaments erfasst werden, müssen eine entsprechend größere Auflösung aufweisen.

Bei der Messung der Turmschwingungen unter Verwendung von Schwinggeschwindigkeitsaufnehmern ist zu beachten, dass der Beitrag der 1. Glockenteilschwingung aufgrund des Amplitudenfrequenzgangs systematisch stark unterbewertet und aufgrund des Phasenfrequenzgangs überbewertet wird. Diese Einflüsse sind im Einzelfall abzuschätzen und die Ergebnisse erforderlichenfalls zu korrigieren.

ANMERKUNG Die Frequenzen der 1. und der 3. Glockenteilschwingung stehen in einem festen ganzzahligen Verhältnis. Schwingungsmesser mit Schwinggeschwindigkeitsaufnehmern zeigen in diesem Frequenzbereich einen frequenzabhängigen Phasengang. Daher werden die Schwingungsanteile der 1. und der 3. Teilschwingung phasenverschoben überlagert. Bei Geräten nach DIN 45669-1 kann dieser Fehler zu einer Überschätzung des Ergebnisses von über 30 % führen. Ähnliches gilt auch für Beschleunigungsaufnehmer mit nicht ausreichend tiefer Grenzfrequenz.

8 Beurteilung und Sanierung von bestehenden Bauten

8.1 Allgemeines

Auf der Basis der Schwingungsmessungen nach Abschnitt 7 kann eine erste Beurteilung der baodynamischen Situation erfolgen (siehe 8.2). In vielen Fällen sind ergänzende statisch/konstruktive oder gründungstechnische Untersuchungen erforderlich, um die Beurteilung abzusichern und zusammen mit den Messergebnissen die Basis für Minderungs- und Verbesserungsmaßnahmen (siehe 8.4) zu legen. Indizien für die Notwendigkeit ergänzender statisch/konstruktiver Untersuchungen sind:

- Ungewöhnlich starkes nichtlineares Schwingungsverhalten und hohe Dämpfung des Turms;
- Auffälligkeiten in der dynamischen Biegelinie (infolge Unwuchterreger oder Glockenläuten) des Turms (Kippanteil, Verformung in sich);
- Risseschäden im Turm und/oder am Übergang des Turms zu angrenzender Bausubstanz.

Auf Besonderheiten bei Bauwerken mit historischem Mauerwerk wird in 8.3 eingegangen.

8.2 Bewertung des Bauwerks auf der Grundlage der Messergebnisse

8.2.1 Bewertung auf Basis der Eigenschwingungen

Eine erste Bewertung der Turm-Beanspruchungen ist möglich durch Vergleich der Turm-Eigenfrequenzen mit den dritten Glockenteilschwingfrequenzen f_{n3} ($n = 1$ bis N) der N Glocken. Bei einem mindestens 10 %igen Resonanzabstand r_{an} , mit

$$r_{an} = \left[\frac{f_{n3}}{f_e} - 1 \right] \cdot 100; \quad |r_{an}| \geq 10 \% \quad (17)$$

bleiben im Allgemeinen die dynamischen Beanspruchungen des Turms unterhalb kritischer Werte. Als Eigenfrequenz f_e sind alle Eigenfrequenzen des Turms bzw. der Türme in Glockenschwingrichtung und rechtwinklig dazu anzusetzen, die im Anregungsbereich der 3. Teilschwingfrequenz einer Glocke liegen.

ANMERKUNG Gleichung (17) stellt kein absolutes Kriterium dar. Abhängig vom Glockengewicht in Relation zur in der Eigenschwingung wirksamen Turmmasse kann ein größerer Resonanzabstand notwendig oder ein kleinerer möglich sein. Dies kann z. B. an Hand der Resonanzkurve beurteilt werden. In Sonderfällen sind auch weitere Teilschwingfrequenzen (z. B. 2., 4. oder 5. Teilschwingfrequenz) zu betrachten. Eine genauere Beurteilung ist nach 8.2.2 und 8.2.3 möglich.

8.2.2 Bewertung auf Basis der Größtwerte der Schwingungen

8.2.2.1 Globale Bewertung

Der Maximalwert der Schwinggeschwindigkeit ist bei resonanznaher Schwingung von balkenartigen Strukturen proportional zu den Beanspruchungen. Tabelle 3 enthält Orientierungswerte der Schwinggeschwindigkeit, gemessen im obersten Turmgeschoss (Mauerkrone), bei deren Einhaltung nach bisheriger Erfahrung keine weiteren dynamischen Untersuchungen rechnerischer oder messtechnischer Art erforderlich sind. Werden die Orientierungswerte nicht eingehalten, so heißt dies nicht, dass Schäden zu erwarten sind. Es ist dann aber die Unbedenklichkeit der Schwingungen hinsichtlich der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit durch Plausibilitätsüberlegungen — auch unter Verwendung weiterer Messergebnisse —, Vergleichsbetrachtungen oder rechnerische Nachweise zu belegen.

Tabelle 3 — Orientierungswerte der Schwinggeschwindigkeit bei Glockentürmen

Zeile	Bauart	Orientierungswert v mm/s
1	Historische Türme, allgemein	3
2	Historische Holztürme	5
3	Türme aus Ingenieurmauerwerk	5
4	Türme aus Ingenieurholzbau	8
5	Türme aus Stahlbeton	8
6	Stahltürme	10

Die Abschätzung nach Tabelle 3 setzt voraus, dass der Turm keine Mängel aufweist, welche die Standsicherheit beeinträchtigen.

8.2.2.2 Lokale Beurteilung

Zur Beurteilung von Fugen (z. B. Turm/Schiff) oder Freiraum (z. B. Stuhl/Turm) können Schwingwege, zur Beurteilung von Rissen Rissweitenänderungen dienen.

8.2.3 Bewertung auf Basis einer Nachbemessung

Wenn über den Turm ausreichende Unterlagen (Statik, Ausführungspläne) mit Angaben zu den Materialkennwerten vorliegen, oder wenn belastbare Bestandsunterlagen erstellt werden können, ist, ausgehend von den Messergebnissen, eine Nachbemessung möglich, die eine gegenüber 8.2.2 weitergehende Beurteilung erlaubt.

Die Nachbemessung ist grundsätzlich wie die Berechnung eines neuen Turms nach Abschnitt 6 und bei historischen Türmen zusätzlich unter Berücksichtigung von 8.3 durchzuführen. Die für ältere Werkstoffe angesetzten Kennwerte sind zu begründen. Die Ergebnisse sind erforderlichenfalls ingenieurmäßig zu bewerten.

DIN 4178:2005-04**8.3 Beurteilung von historischem Mauerwerk****8.3.1 Allgemeines**

Mauerwerk ist ein Zweistoff-System aus Steinen und Mörtel, bei alten Bauwerken meist weichem Kalkmörtel und anderem minderwertigem Fugenfüllmaterial. Verarbeitet wurden alle natürlichen Steine, in der Regel solche aus der näheren Umgebung, sowie gebrannte Ziegel.

Die Wände alter Bauwerke können ein- oder mehrschalig aufgebaut sein. Mängel zeigen sich am Zustand der Steine (z. B. Verwitterung, Ausblühungen, Versalzung) und der Fugen (z. B. Auswaschungen, Entfestigung, chemische Umwandlung) sowie an Verformungen und Rissen.

Mauerwerk kann vor allem Druckkräfte aufnehmen. Die Fähigkeit, Schub und Biegung zu übertragen, ist beschränkt und hängt im Wesentlichen vom Gefüge des Mauerwerks ab.

8.3.2 Ingenieurmäßige Untersuchungen

Grundlage für alle Maßnahmen denkmalgerechter und behutsamer Instandsetzung ist eine Beurteilung der Beanspruchbarkeit des Mauerwerks und der Ursache von Schäden. Dazu sind eingehende Voruntersuchungen einschließlich einer sorgfältigen Dokumentation erforderlich. Sie umfassen im Allgemeinen folgende Schritte der Anamnese und der Diagnose:

- Suche nach Dokumenten zur Geschichte des Bauwerks mit allen Veränderungen;
- Feststellung der Gründungsverhältnisse;
- Aufnahme und Dokumentation von Verformungen und Rissen;
- Feststellung eines eventuellen Schadensfortschritts;
- Feststellung des Mauergefüges und des Kraftschlusses von Wandeinbindungen;
- Feststellung des Steinmaterials und der Art des Fugenmörtels (z. B. Gipsgehalt);
- Erkundung des Wandaufbaus z. B. durch Endoskopie;
- Feststellung des Füllmaterials bei Schalenmauerwerk einschließlich Abschätzung des Hohlraumgehaltes;
- Feststellung des Feuchtigkeitszustandes und einer eventuellen Salzbelastung.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen fließen in die weiteren Berechnungen ein:

- Ermittlung der tatsächlichen Einwirkungen infolge Eigen- und Verkehrslasten einschließlich der mit Hilfe einer baudynamischen Messung bestimmten Glockenkräfte;
- Ermittlung der Schnittkräfte an einem wirklichkeitsnahen Berechnungsmodell unter Berücksichtigung der Einflüsse aus Deformationen und Schäden;
- Ermittlung der tatsächlichen Standsicherheit des Bauwerks und der Beanspruchung der Bauteile.

8.3.3 Beurteilung der Beanspruchbarkeit von historischem Mauerwerk**8.3.3.1 Einschaliges Mauerwerk**

Die Beanspruchbarkeit kann nach DIN 1053-1 nachgewiesen werden. Die Steinfestigkeitsklasse ist dabei an Vergleichswerten abzuschätzen oder aus Festigkeitsprüfungen abzuleiten. Historischer Mörtel ist im Allge-

meinen der Mörtelgruppe I zuzuordnen. Der Grundwert der zulässigen Druckspannung ergibt sich aus DIN 1053-1:1996-11, Tabelle 13, und ist unter Berücksichtigung der Bauteilschlankheit auf die zulässige Spannung zu σ abzumindern. Die Beanspruchbarkeit kann auch auf der Grundlage der Abschätzung des unteren Grenzwertes der Druckfestigkeit anhand von Bruchmodellen ermittelt werden [5].

8.3.3.2 Mehrschaliges Mauerwerk

Bei Schalenmauerwerk fehlen häufig Bindersteine zur Sicherstellung des Verbundes zwischen Außenschalen und Kernfüllung. Beanspruchbar sind oft nur die äußeren Schalen, die wegen ihrer größeren Steifigkeit im wesentlichen die Lasten abtragen. Bei minderwertigen Kernfüllungen muss eine siloartige Beanspruchung der Außenschalen in Betracht gezogen werden. Die Kernfüllung beteiligt sich in solchen Fällen nicht an der Lastaufnahme, sie belastet vielmehr die als Schalen wirkenden Wände zusätzlich. Die zulässige Beanspruchung einer mehrschaligen Mauerwerkswand kann nach [5], [6] untersucht werden.

8.4 Minderungs- und Verbesserungsmaßnahmen

8.4.1 Grundsätze und Ziele

Vordringliches Ziel aller Maßnahmen ist es, dafür zu sorgen, dass das Bauwerk die Beanspruchungen aus dem Läuten der Glocken auf Dauer schadlos aufnehmen kann.

Zur Verminderung der Turmschwingungen und deren Auswirkungen stehen unterschiedliche Maßnahmen zur Verfügung:

- Änderung der Schwingfrequenz einzelner Glocken oder des Gesamtgeläutes zur Vermeidung von Resonanzen mit Turmeigenschwingungen;
- Verminderung der auf den Turm wirkenden Kräfte aus Glockenläuten;
- Ertüchtigung des Turms und seiner Gründung durch bauliche Maßnahmen.

In der Regel haben die verschiedenen Maßnahmen außer den angestrebten auch noch andere Auswirkungen, die bei der Planung zu beachten sind.

Da Eingriffe am Geläute sich immer auch auf den Klang der Glocken auswirken, sind ihnen enge Grenzen gesetzt. Alle Änderungen am Geläute und am Turm müssen nicht nur den Erhalt oder die Ertüchtigung des Bauwerks zum Ziel haben, sondern stets auch die Bewahrung und Verbesserung der musikalischen Qualität des Geläutes. Dazu gehört auch, dass bei den verschiedenen Maßnahmen in der Regel der Klöppel neu berechnet und entsprechend angepasst werden muss [7].

ANMERKUNG Voraussetzung für das Gelingen einer Sanierung ist immer die enge Zusammenarbeit zwischen dem Glockenhersteller, dem Sachverständigen für das Glockenwesen und den Fachleuten aus dem Bauwesen.

8.4.2 Maßnahmen am Geläute

8.4.2.1 Änderung des Lätewinkels

Durch Veränderung des Lätewinkels α wird die Glockenschwingfrequenz beeinflusst. Eine Erhöhung von α bewirkt eine Abminderung der Frequenz. Bei üblichen Lätewinkeln und bei Veränderungen von α , die ohne wesentliche Einbuße an klanglicher Qualität der Glocke möglich sind, ist der Effekt begrenzt [1], [7]. Größere Auswirkung hat die Veränderung von α auf die Kräfte aus Glockenläuten, siehe Bild 2.

8.4.2.2 Gegengewichte

Durch Anbringen von Gegengewichten auf der Oberseite des Jochs wird die Glockenschwingfrequenz herabgesetzt. Gleichzeitig werden damit die Lagerkräfte reduziert. Diese Maßnahme erlaubt die Verminderung der

DIN 4178:2005-04

Glockenschwingfrequenz um bis zu 10 % ohne wesentliche musikalische Einbuße. Sie ist daher wirkungsvoll und auch relativ einfach zu realisieren. Die gleiche Wirkung lässt sich durch schwere, hohe Holzjoche erreichen.

8.4.2.3 Kröpfung des Jochs

Mit der positiven Kröpfung des Jochs (Aufständering) wird der Abstand zwischen der Drehachse und dem Schwerpunkt der Glocke vermindert. Damit nehmen auch die auf den Turm wirkenden Horizontalkräfte relativ stark ab, gleichzeitig wird jedoch die Schwingfrequenz geringfügig heraufgesetzt [1], [7]. Starke Kröpfung (über Kronenhöhe) wirkt sich in der Regel negativ auf die klangliche Qualität der Glocke aus.

8.4.2.4 Gegenpendelanlage

Bei dieser Maßnahme werden zusätzlich Pendel in der Glockenstube angebracht, die in Gegenphase zu einer Glocke schwingen und die durch diese erzeugten Horizontalkräfte aufheben. Die Vertikalkräfte werden verdoppelt. Der Antrieb des Gegenpendels erfolgt mit der Läutemaschine der betreffenden Glocke. Die Maßnahme ist aufwändig und erfordert zusätzliche Wartung. Bei einseitiger Anordnung des Gegenpendels wird ein auf den Turm wirkendes Torsionsmoment erzeugt.

8.4.2.5 Drehung der Läuterichtung

Da in der Mehrzahl der Fälle die Glockentürme in der Glockenschwingrichtung und quer dazu unterschiedliche Eigenfrequenzen aufweisen, kann die Drehung der Glockenschwingrichtung um 90° eine wirksame Maßnahme zur Vermeidung des Resonanzzustandes sein. Voraussetzung dafür ist eine hinreichende Entkopplung der Schwingungsrichtungen.

8.4.3 Maßnahmen an Bauwerk und Gründung

Alle baulichen Maßnahmen sind so weit wie möglich unter Verwendung der messtechnisch gewonnenen Kenntnisse des Bauwerks rechnerisch bezüglich ihrer Auswirkungen auf die Turmschwingungen zu untersuchen und gegebenenfalls mit den Eingriffen am Geläut abzustimmen.

Die Sanierung des Mauerwerks kann auf verschiedene Weise bis hin zum Einziehen von Ankern und Injizieren von Hohl- und Schwachstellen erfolgen. Aussteifungskonstruktionen im Turminneren sowie das Verschließen von großen Wandöffnungen erhöhen die Widerstandsfähigkeit des Bauwerks gegen dynamische Beanspruchung. Alle diese Maßnahmen haben gleichzeitig eine Erhöhung der Turmeigenfrequenz zur Folge. Allerdings ist zu beachten, dass die zusätzlichen Massen dem entgegenwirken.

Ein hinsichtlich der Kippsteifigkeit ungenügendes Fundament kann z. B. durch Verbreiterung, Unterfangung, nachträgliche Herstellung einer Pfahlgründung, Verbesserung der Tragfähigkeit des Bodens durch Nieder- und Hochdruckinjektionen usw. saniert werden; siehe auch 5.2.1.

9 Glockentragwerk**9.1 Konstruktion**

Das Glockentragwerk besteht aus dem Glockenstuhl und dem Glockenjoch, gegebenenfalls auch einer Unterkonstruktion. Es dient der Aufnahme der statischen und dynamischen Einwirkungen der Glocken und leitet diese in das Turmtragwerk ein. Der Glockenstuhl muss in seiner Aufstandsebene kraftschlüssig mit der Tragkonstruktion des Turms verbunden sein. Er sollte mit dieser an keiner anderen Stelle Kontakt haben. Das Glockenjoch ist ein Träger, an dem die einzelne Glocke direkt befestigt ist und der über Lager die vertikalen und horizontalen Komponenten der Einwirkungen in die Stuhlwände des Glockenstuhls einträgt. Form und Massenverteilung der Joche sind für Größe und Frequenzen der einwirkenden Kräfte wesentlich [8].

Der Glockenstuhl mit Stuhlwänden, zwischen denen die Glocken frei schwingen, und einem quer aussteifenden Verband ist als kastenartiges, bockstrebenförmiges oder räumliches Stabtragwerk zu betrachten. Das Glockentragwerk ist auf die 1,3fachen Glockenlagerkräfte nach 4.3.2 zu bemessen. Die queraussteifenden Verbände sind für eine Seitenlast von mindestens einem Zehntel dieser Einwirkungen nachzuweisen. Die horizontalen und vertikalen Einwirkungen sind über Deckenscheiben oder Trägerrostebenen nur in die zur Schwingrichtung parallelen Turmwände einzuleiten. Biegebeanspruchungen von Mauerwerkswänden sind nicht zulässig.

Für Glockentragwerke aus Holz sind ausschließlich resistente Hölzer entsprechend den Gefährdungsklassen nach DIN 68800 zu verwenden. Metallische Bauteile und Verbindungsmittel müssen den aggressiven Beanspruchungen z. B. durch die Gerbsäure der Hölzer widerstehen. Zimmermannsmäßige Verbindungen, wie z. B. Versätze, Blattungen, Hakenblätter, Kämme, sind wegen der erforderlichen geringen Nachgiebigkeit mit exakter Passung auszuführen. Die zu erwartenden Schwindmaße sind zu berücksichtigen. Dass Zugkräfte von den meisten Holzverbindungen nicht dauerhaft bzw. nur begrenzt übertragen werden können, ist in der Gesamtkonstruktion zu beachten. Bei Neukonstruktionen sind Holznägel sichernde Elemente, eine planmäßige dynamische Kraftübertragung ist nur mit Nachweis zulässig.

Bei teilweise frei bewitterten Glockentragwerken ist auf den Korrosionsschutz des Stahls nach DIN 18800, DIN 18801 und DIN EN ISO 12944 zu achten.

ANMERKUNG Zwischen Stahlglockenstühlen und den massiven, die Einwirkungen weiterleitenden Bauteilen sind nach Möglichkeit körperschalldämmende Lager einzubauen. Auch bei Holzglockenstühlen können solche Lagerungen sinnvoll sein.

Neben glockenmusikalischen, gestalterischen, funktionellen und ökonomischen Gründen und wegen der wesentlich höheren Körperschalldämmung von Holz gegenüber Stahl sind bevorzugt Holzjoche (Vollholz) zu verwenden. Dabei sind die Glockenkronen zur Schubsicherung im Holz mit $\frac{1}{4}$ der Kronenbügelstärke, mindestens jedoch 10 mm einzulassen.

Die Lagerung der gedrehten Achszapfen der Joche erfolgt vorzugsweise in Pendelwälzlagern mit Spannhül- sen, eine Seite als Loslager, eine Seite als Festlager ausgebildet. Die Lager sind auf Fußplatten mit Sicherung gegen Horizontalschub zu befestigen.

9.2 Läutebetrieb

Die elektrischen Glockenantriebe sind im Glockenstuhl auf Holzbohlen mit entsprechenden Vorkehrungen für die Reduzierung des Eintrages von Lastspitzen beim Anläuten und von Körperschall zu montieren. Durch Auswahl geeigneter Motoren und entsprechender Steuertechnik ist auf die Erzielung eines Sanftanlaufes des Läutevorganges besonders zu achten.

Für dynamisch hoch belastete Glockentürme und für historische Glockentragwerke ist die präzise Einhaltung vorgegebener Klöppelanschlagszahlen und Lätewinkel von entscheidender Bedeutung. Auch eine harmonische Klangentfaltung des Geläutes ist von der Einhaltung dieser Parameter abhängig. Deshalb ist für jede Glockenanlage eine regelmäßige Wartung, in der Regel 1-mal jährlich, durch geeignetes Fachpersonal erforderlich [9]. Bei neuen Glockentragwerken und nach extremen Trockenperioden sind die Beschläge in engeren Intervallen nachzuspannen, um den Kraftschluss in den Verbindungen sicherzustellen. Beobachtungen zu Bewegungen des Glockenturms und des Glockentragwerks beim Glockenläuten sind in die Wartungsberichte aufzunehmen.

Anhang A (informativ)

Glockenkennwerte

Die Geschichte der Glockengießkunst hat Glocken und Glockenrippen der unterschiedlichsten Provenienz und in einer solchen Vielfalt hervorgebracht, dass eine strenge tabellarische Einordnung nicht möglich ist. Deshalb ist jede Glocke, jedes Geläute als eine Art Unikat zu behandeln. Auch heute hat jede Glockengießerei ihre eigenen Glockenrippen, die sich in ihrer Bezeichnung deutlich voneinander unterscheiden und abgrenzen.

Die nachfolgende Tabelle A.1 kann deshalb nur Richtwerte wiedergeben. Diese Tabelle bezieht sich auf Glocken an üblich dimensionierten, geraden Holzjochen, deren Maßverhältnis Jochbalken / Kopfholz 2:3 beträgt, siehe Bild A.1. Für eine Glockenaufhängung an geraden Jochen ohne nennenswerte Obergewichtswirkung ist der Formbeiwert c "schlanke Joche" ebenfalls in Tabelle A.1 angegeben. Für Glocken mit solchen Jochen gelten gegenüber den Tabellenwerten um ca. 5 % höhere Klöppelanschlagszahlen.

Ist keine gesicherte Gewichtsangabe erhältlich, kann das Glockengewicht mit Hilfe des Verhältnisses von Glockendurchmesser und Schlagringstärke für die Molloktavglocken (Durchmesser = Höhe) näherungsweise ermittelt werden.

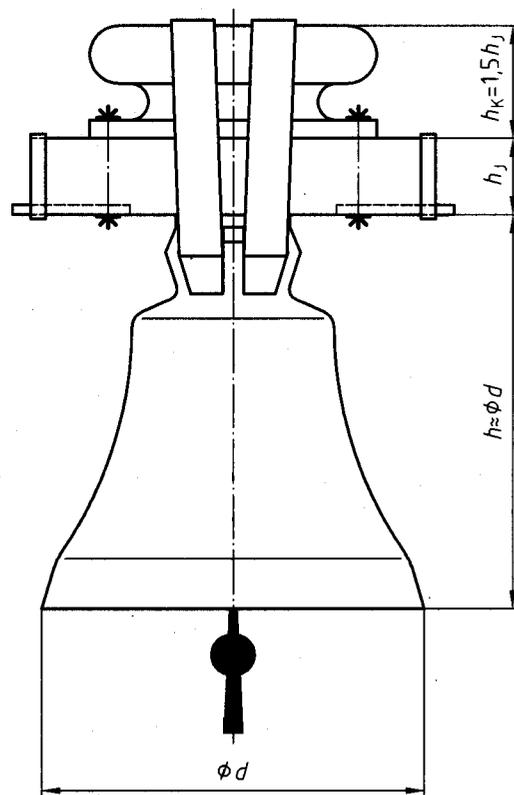


Bild A.1 — Prinzipskizze Jochausführung

Tabelle A.1 — Glockenkennwerte

Zeile	Spalte	1				2				3				4				5			
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
		Glocken in sehr leichter Ausführung				Glocken in leichter Ausführung				Glocken in mittelschwerer Ausführung				Glocken in schwerer Ausführung				Glocken in sehr schwerer Ausführung			
Nominal	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	
1	dis° es°	2450	90	36	49°	2600	110	34	45°	2700	140	33	43°	2900	160	32	43°				
2	e°	2350	75	37	50°	2460	85	36	47°	2500	105	34	45°	2650	120	33	45°				
3	f°	2290	57	39	51°	2300	70	37	48°	2420	80	35	47°	2580	110	34	46°	2900	200	33	44°
4	fis° ges°	2160	48	40	51°	2200	60	38	49°	2290	68	37	48°	2430	90	36	47°	2700	160	34	45°
5	g°	2030	40	42	52°	2100	50	40	50°	2160	56	38	48°	2300	75	37	48°	2500	130	36	46°
6	gis° as°	1910	33	43	53°	2000	40	41	51°	2030	46	39	49°	2160	64	38	48°	2400	110	37	47°
7	a°	1800	28	45	54°	1880	34	43	52°	1920	40	40	50°	2040	54	40	49°	2260	90	39	48°
8	ais° b°	1700	23	46	55°	1760	28	44	53°	1800	33	42	51°	1920	45	42	50°	2100	75	41	48°
9	h°	1600	20	47	56°	1660	24	45	54°	1700	27	43	52°	1800	38	43	51°	2000	62	42	49°
10	c'	1500	17	49	57°	1560	20	47	55°	1600	23	45	53°	1700	32	45	52°	1870	50	44	50°
11	cis' des'	1400	14	51	58°	1460	16,5	49	56°	1500	19	47	54°	1600	26	46	53°	1750	42	45	51°
12	d'	1340	11,5	52	59°	1390	14	51	57°	1420	16	49	55°	1510	22	48	54°	1650	35	47	52°
13	dis' es'	1260	9,5	53	60°	1310	11,5	52	58°	1340	13,5	50	56°	1420	19	50	55°	1540	29	49	53°
14	e'	1190	8	54	61°	1240	10	53	59°	1270	11,5	51	57°	1340	15	51	56°	1450	24	50	54°
15	f	1110	6,5	56	62°	1160	8	55	60°	1190	9,5	52	58°	1260	13	52	57°	1360	20	51	55°
16	fis' ges'	1050	5,5	57	63°	1100	7	56	61°	1120	8	54	59°	1200	11	54	58°	1280	17	53	56°
17	g'	990	4,6	58	64°	1030	6	57	62°	1060	6,6	55	60°	1120	9	55	59°	1200	14	54	57°
18	gis' as'	930	3,9	60	65°	970	5	59	63°	1000	5,5	57	61°	1050	7,5	57	60°	1130	11	56	58°
19	a'	870	3,2	61	66°	910	4	60	64°	940	4,5	58	62°	980	6	58	61°	1060	9	57	59°

Tabelle A.1 — Glockenkennwerte (fortgesetzt)

Zeile	Nominal	1				2				3				4				5			
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d
		Glocken in sehr leichter Ausführung				Glocken in leichter Ausführung				Glocken in mittelschwerer Ausführung				Glocken in schwerer Ausführung				Glocken in sehr schwerer Ausführung			
	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	Glockendurchmesser d , mm	Glockeneigenlast G kN	Klöppelanschlagszahl A , 1/min	Läutewinkel α	
20	ais' b'	820	2,7	63	67°	850	3,4	61	65°	880	4	60	63°	930	5	59	62°	1000	7,5	58	60°
21	h'	770	2,2	65	68°	810	2,9	63	66°	830	3,2	61	64°	870	4,2	60	63°	940	6,5	59	61°
22	c''	730	1,9	66	70°	760	2,4	64	67°	780	2,7	62	65°	820	3,5	62	64°	880	5,5	61	62°
23	cis'' des''	680	1,6	67	71°	720	2	65	67°	740	2,3	64	66°	770	3	63	65°	830	4,5	62	63°
24	d''	640	1,3	68	72°	680	1,6	66	68°	690	1,8	65	67°	730	2,5	64	66°	780	3,8	63	64°
25	dis'' es''	600	1,1	69	73°	630	1,4	67	69°	650	1,6	66	67°	680	2	65	67°	730	3,1	64	65°
26	e''	570	0,9	70	74°	600	1,1	69	70°	610	1,3	67	68°	640	1,7	66	67°	690	2,6	65	66°
27	f''	530	0,75	72	75°	570	0,9	70	71°	580	1,1	68	69°	600	1,4	67	68°	650	2,2	66	67°
28	fis'' ges''	500	0,6	74	76°	530	0,75	71	72°	540	0,9	69	70°	560	1,2	68	69°	610	1,8	67	67°
29	g''	470	0,5	75	77°	490	0,65	73	74°	500	0,75	70	72°	530	1	69	70°	570	1,5	68	68°
30	gis'' as''	440	0,4	77	78°	460	0,5	74	75°	470	0,6	71	73°	500	0,8	70	71°	540	1,3	69	69°
31	a''	410	0,35	79	79°	450	0,4	75	76°	460	0,5	73	74°	470	0,7	72	72°	510	1,1	70	70°
32	ais'' b''	390	0,3	81	80°	420	0,35	78	78°	430	0,4	75	75°	440	0,6	73	73°	480	0,9	72	71°
33	h''	360	0,25	83	81°	390	0,3	80	79°	400	0,35	77	76°	410	0,5	75	74°	450	0,7	73	72°
34	c'''	340	0,2	83	82°	360	0,25	82	81°	370	0,3	79	78°	390	0,4	77	76°	420	0,6	75	74°
35	c hohe Joche 2/3	0,65				0,67				0,68				0,70				0,72			
36	c schlanke Joche	0,75				0,77				0,78				0,80				0,82			

ANMERKUNG Für Glocken mit schlanken Jochen gelten um ca. 5 % höhere Klöppelanschlagszahlen.

Anhang B (informativ)

Bautechnik

Nachfolgend sind einige Hinweise gegeben, die auf das Schwingungsverhalten des Turms zielen. Ansonsten wird auf die einschlägigen bautechnischen Normen und Richtlinien sowie bei Sanierungsaufgaben auf die entsprechende Fachliteratur (z. B. [5], [6]) verwiesen.

Zur Erzielung eines günstigen Schwingungsverhaltens von Neubauten mit Hochabstimmung ist eine hohe Steifigkeit des Turms — besonders im unteren Bereich — und eine geringe Masse — besonders im oberen Bereich — anzustreben. Nachträgliche Einbauten im oberen Bereich bestehender Türme (z. B. Podeste, Mobilfunkanlagen) sollten möglichst leicht ausgeführt werden. Bei bestehenden Bauwerken können sich Versteifungen aber auch dynamisch ungünstig auswirken.

Um den Einfluss der Baugrundfederung auf die Turmauslenkungen gering zu halten und damit eine möglichst hohe Turm-Eigenfrequenz sicherzustellen, sollte die Gründung gegenüber den statischen Erfordernissen überdimensioniert werden. Bevorzugt kommen Flachgründungen mit deutlich auskragender Sohlplatte in Frage. Dabei ist zur Vermeidung einer Sattellage in Fundamentmitte der direkte Kontakt zwischen Sohlplatten und Boden zu vermeiden.

Eine symmetrische Anordnung der Aussteifungselemente und Aussparungen im Grundriss führt zu einer Entkoppelung der Schwingungsrichtungen (Unterbindung der Queranregung) und vereinfacht die Nachweise. Der Verzicht auf große Aussparungen vermeidet signifikante Beanspruchungen aus exzentrischen Glockenlasten (Torsionsschwingungen).

Die Verlegung der Auflagerung des Glockentragwerks in ein tiefer liegendes Turmgeschoss bei entsprechender Erhöhung des Tragwerks ist im Allgemeinen keine geeignete Maßnahme, um das Schwingungsverhalten des Turms beim Glockenläuten wesentlich zu verbessern. Sie kann nur begründet sein durch lokale Tragfähigkeitsprobleme an der bisherigen Auflagerstelle.

Wenn andere Maßnahmen nachweislich nicht zum Ziel führen, kann bei hölzernen Turmtragwerken durch Einsatz vor- und nachspannbarer Verbindungselemente aus Stahl eine erhebliche Steifigkeitserhöhung (z. B. Aktivierung von Holz-Diagonalen auf Zug) und damit ein günstigeres Schwingungsverhalten erreicht werden. Beim nachträglichen Einbau muss sichergestellt sein, dass die zum Vorspannen notwendigen Wege auch möglich sind und dass die Vorspannkraft nicht in andere Tragwerksteile geleitet wird.

Literaturhinweise

- [1] Müller, F. P.: Berechnung und Konstruktion von Glockentürmen. Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin/München 1968.
- [2] Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruddynamik“ der DGEG. Sonderdruck der Schriftenreihe des Grundbauinstituts der Technischen Universität Berlin, Dezember 2002.
- [3] Holzlöhner, U.: Schwingungen von Fundamenten. In: Bodendynamik — Grundlagen und Anwendung, Hrsg. W. Haupt, Vieweg-Verlag, Braunschweig/Wiesbaden 1986.
- [4] Wölfel, H. P., M. Schalk: Schwingungen von Glockentürmen, Bautechnik **73**, Heft 6, 1996.
- [5] SFB 315, Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke. Empfehlungen für die Praxis: Mauerwerk, Dokumentationsstelle des SFB 315, Universität Karlsruhe, 1997.
- [6] Egermann, R.: Untersuchungen zum Tragverhalten mehrschaliger Mauerwerkskonstruktionen. Jahrbuch 1994 SFB 315, Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1996.
- [7] Steiner, J.: Das Zusammenspiel von Glocke, Joch und Klöppel. In: Glocken in Geschichte und Gegenwart, Band 2, Beratungsausschuss für das Deutsche Glockenwesen (Hrsg.), Badenia Verlag, Karlsruhe 1997.
- [8] Ehrlich, K., K. Kramer, J. Steiner: Holzglockenstühle und Holzjoche. In: Glocken in Geschichte und Gegenwart, Band 1, Beratungsausschuss für das Deutsche Glockenwesen (Hrsg.), Badenia Verlag, Karlsruhe 1986.
- [9] Sichere Kirchtürme und Glockenträger. Merkblatt SP 9.6/2, herausgegeben von der Verwaltungs-Berufsgenossenschaft Hamburg; Ausgabe August 2001 (www.vbg.de).