



Dr. Belrow & Partner – Büro für Baudynamik  
Erschütterungsmessungen, Beweissicherung  
Bemessung dynamisch beanspruchter Bauten  
Dauerüberwachung

7  
Telefon: 035601-82336  
Fax: 035601-82335  
e-mail: mail@bp-dynamik.de

Mittelstr. 4 • 03185 Peltz

## **Belrow & Partner**



### *Schwingungsuntersuchungen an der Ev.-Luth. Kirche zu Böhlen*



*Auftraggeber:  
Ev. - Luth. Pfarramt Böhlen – St. Christopherus  
Kirchgasse 12  
04564 Böhlen*

## Inhalt

<b>1. Zielstellung</b>	<b>1</b>
<b>2. Messtechnische Untersuchungen</b>	<b>2</b>
2.1 Allgemeine Angaben zur Messung	2
2.2 Messtechnischer Umfang, Messaufbau und Einstellungen	2
2.3 Messergebnisse	4
2.3.1 Eigenschwingungsuntersuchungen	4
2.3.2 Schwingungsuntersuchungen bei Betrieb des Geläutes	6
<b>3. Berechnungen gemäß DIN 4178</b>	<b>7</b>
3.1 Horizontallasten	7
3.2 Vertikallasten	12
<b>4. Zusammenfassung</b>	<b>13</b>
<b>Anhang A – Messtechnische Ermittlung der Turmeigenfrequenzen</b>	<b>A - 1</b>
A1: Unwucherregung	A - 1
A2: Ambiente Erregung	A - 5
<b>Anhang B – Messtechnisch ermittelte Antwortsignale beim Glockenläuten</b>	<b>B - 1</b>
<b>Anhang C – Fotografische Dokumentation</b>	<b>C - 1</b>
C1: Ansichten des Gesamtbauwerks	C - 1
C2: Messung	C - 2
C3: Glocken und Glockenstuhl	C - 4
C4: Sonstiges	C - 5

---



## **Schwingungsuntersuchungen am Glockenturm der Ev.-Luth. Kirche zu Böhlen**

### **1. Zielstellung**

Im Zuge der Sanierung der Ev.-Luth. Kirche zu Böhlen soll auf Grund aufgetretener Bauwerkschäden, die sich insbesondere in Gestalt von Vertikalrissen an der Außenwand des Nordturms und am Kämpfer des Gewölbebogens oberhalb der Orgelempore äußern, geprüft werden, in wie weit die beobachteten Schäden mit der dynamischen Belastung infolge Glockenläutens in Zusammenhang stehen und ggf. die Stand- bzw. Gebrauchsfähigkeit einschränken. Das Geläut umfasst drei Glocken, die an gekröpften Stahljochen läuten und in einem Stahlglockenstuhl hängen (siehe Fotoanhang C). Die beiden größeren Glocken läuten dabei senkrecht zur Kirchenschiff längsrichtung, Glocke 3 parallel hierzu. Der Verbund zwischen Glockenstuhl und Decke der Glockenstuhlebene ist gelöst, wodurch es beim Glockenläuten zu einer Kippbewegung des Stuhls kommt, aus der schließlich ein Schlagen der Außenstützungen auf die Decke resultiert, so dass neben Horizontalbewegungen des Turms auch erhebliche Vertikalschwingungen der Decke zu erwarten sind. Basis der Herangehensweise sind messtechnische Schwingungsuntersuchungen, die zur Klärung des geschilderten Sachverhalts beitragen sollen. Die Höhe des Mauerwerksturms beträgt 15,34 m.

Im Mittelpunkt der Untersuchungen steht die Ermittlung der maßgeblichen Turmeigenfrequenzen sowie die Erfassung der tatsächlichen Turmschwingungsantwort bei Betrieb des Geläutes, so dass sich eine Vorstellung über das Zusammenspiel von Turm und Geläut im derzeitigen Zustand entwickeln lässt. Hierbei werden die experimentellen Eigenschwingungsuntersuchungen neben Unwuchterregung zusätzlich auf der Basis von ambienter Erregung realisiert. Die Untersuchungen erzwungener Schwingungen erfolgen gezielt für den Betrieb einzelner sowie mehrerer Glocken gleichzeitig. Zusätzlich werden auf der Grundlage der vorliegenden Glockenparameter Berechnungen zu den in das Bauwerk eingeleiteten horizontalen und vertikalen Lasten durchgeführt. Sämtliche Untersuchungen und Bewertungen stehen dabei im Einklang mit der maßgeblichen Richtlinie DIN 4178 (Glockentürme – Berechnung und Ausführung). Auf der Grundlage von Messungen und Berechnungen werden schließlich Konsequenzen für das Zusammenspiel von Turm und Geläut erarbeitet.

## 2. Messtechnische Untersuchungen

### 2.1 Allgemeine Angaben zur Messung

Datum der Messung:	22. November 2003
Messpersonal:	Dr.-Ing. Bernd Beirow Dipl.-Ing. Holger Kunze
Windverhältnisse während der Messung:	Schwache Winde aus südwestlicher Richtung
Temperatur während der Messung:	15° C

### 2.2 Messtechnischer Umfang, Messaufbau und Einstellungen

Die messtechnische Erfassung der Schwingungsantwort wird vollständig auf der Basis von Schwinggeschwindigkeiten realisiert. Die hierfür eingesetzte Geophonmesstechnik (LE-3D-DIN und MS2003, je 2 Sensoren und 1 Sensor LE3D-5s) der Firmen Lennartz Electronic sowie BARTEC gestattet die Messung mechanischer Schwingungsvorgänge von Frequenzen ab 0,2 Hz. Die Messkette (Abbildung 1) wird komplettiert durch eine PC - gestützte Messdatenerfassung (BMC-MC Compact). Somit ist die Möglichkeit gegeben, Messergebnisse online zu visualisieren und darüber hinaus flexibel vor Ort in den Messablauf einzugreifen. Die Messkette genügt den Anforderungen gemäß DIN 45669.

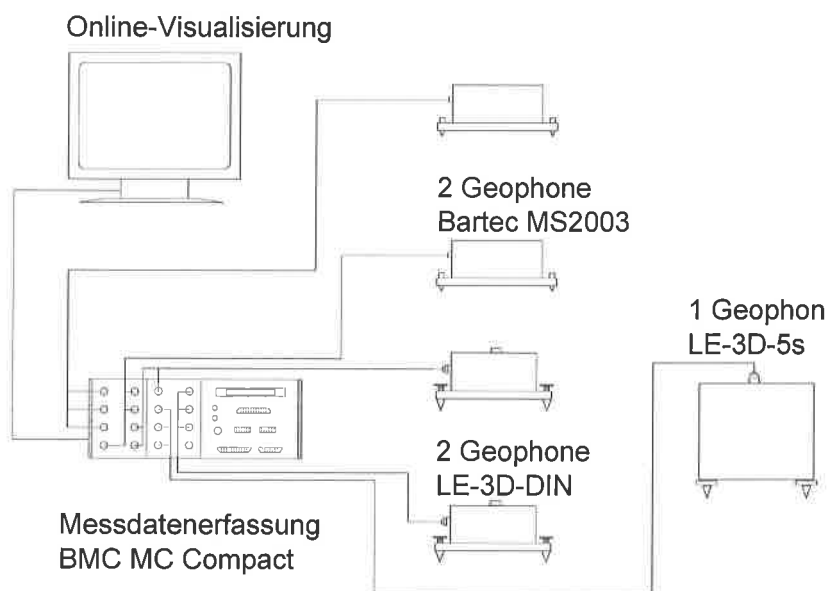


Abbildung 1: Messtechnischer Umfang

Die Abbildungen 2a und b zeigen die Anordnung der Messstellen, für die in der Glockenstuhlebene 3 sowie in einer unterhalb und einer oberhalb liegenden Ebene jeweils ein Standort gewählt wurde. Dieser Messaufbau blieb für alle durchgeführten Untersuchungen unverändert. Die außermittige Platzierung des überwiegenden Teils Sensoren wurde hinsichtlich der Erfassbarkeit möglicher Torsionsschwingungserscheinungen gewählt. Der Standort von Messort 1 ist speziell auf die Erfassung von Deckenschwingungen ausgerichtet. Die messtechnische Erfassung der Turmantworten infolge der Erregung mittels einer Unwuchtmaschine, deren Positionierung der Abbildung 2a zu entnehmen ist, zur Bestimmung von Turmfrequenzgängen erfolgte in der Schwingrichtung der Glocken 1 und 2 (x) als auch senkrecht hierzu (y, Glocke 3).

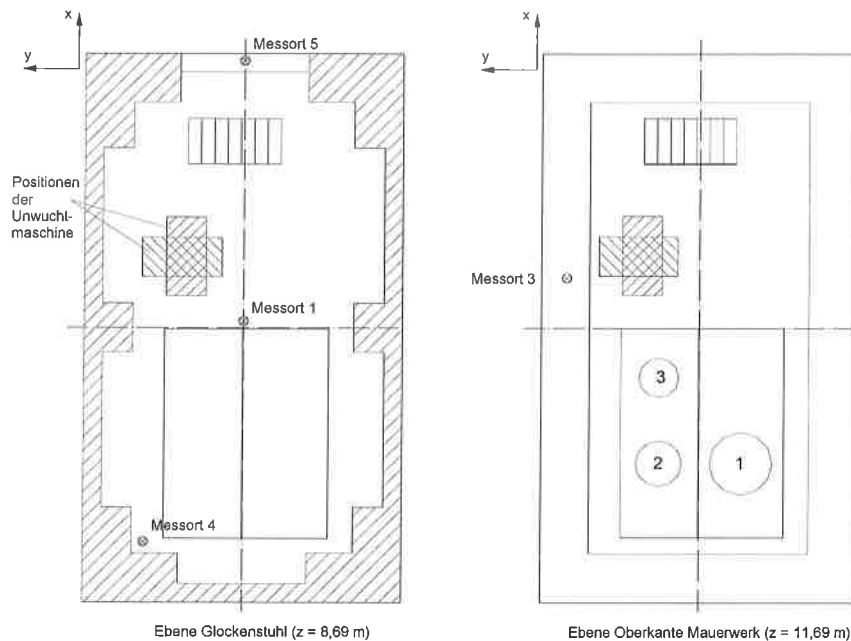


Abbildung 2a: Messorte 1, 3, 4 und 5 sowie Position der Unwuchtmaschine

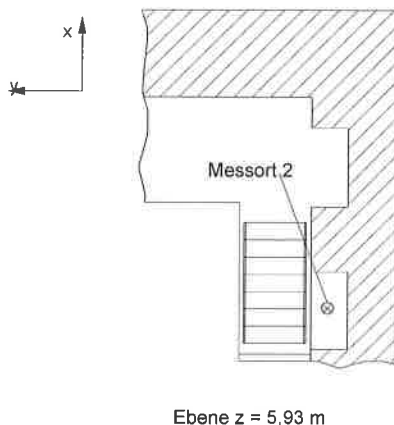


Abbildung 2b: Unterer Geophonstandort (Messort 2)

Des Weiteren wurden Schwingungsantworten infolge des Betriebs des Geläutes unter Variation der eingesetzten Glocken sowie infolge Umgebungsunruhe (ambiente Anregung durch Wind und Bodenbewegungen) erfasst. Generell wurde in jeder Messsituation mehrmals über einen Zeitraum von ca. 83 s gemessen (8320 Ereignisse im Abstand von je 0,01 s). Hieraus resultiert eine Frequenzauflösung von  $\Delta f \approx 0,012$  Hz, welche den Genauigkeitsanforderungen des Bauwesens gerecht wird.

## 2.3 Messergebnisse

### 2.3.1 Eigenschwingungsuntersuchungen

Im Falle der Erregung durch die Unwuchtmaschine wird so vorgegangen, dass durch schrittweise Erhöhung der Erregerfrequenz in dem für die Glockenbewegungen relevanten Frequenzband aus den zugehörigen Turmantworten Frequenzgänge ermittelt werden, in denen sich Turmeigenfrequenzen in Gestalt von Spitzen abbilden (s. Anhang A).

Zu Vergleichszwecken wurde als weitere Methode zur Bestimmung der Eigenschwingzahlen die Nutzung ambierter Erregung angewendet. Hierbei stützt man sich auf die Annahme, dass ab einer Messzeit von ca. 20 Minuten die Gesamtheit der Erregerkräfte einem so genannten weißen Rauschen entspricht, so dass im Turmantwortspektrum die Eigenfrequenzen des Turms dominieren. Im Rahmen der alternativ durchgeführten Messungen wird so vorgegangen, dass zunächst Zeitverläufe der Schwinggeschwindigkeit erfasst werden. Diese werden Fouriertransformationen unterzogen, in denen sich schließlich die Turmeigenfrequenzen wiederum in Gestalt von Spitzen herausbilden. Entsprechende graphische Darstellungen hierzu sind dem Anhang A zu entnehmen.

Einen zusammenfassenden Überblick der wesentlichen Amplitudenspitzen in den Antwortspektren für Frequenzen unterhalb von 3,9 Hz (Unwuchterregung) bzw. 8 Hz (ambient) zeigt Tabelle 1. Hierin sind die Ergebnisse aller Messstellen enthalten.

Erregung	Frequenzspitzen x-Richtung [Hz] (Glockenschwingrichtung Glocken 1 und 2)			Frequenzspitzen y-Richtung [Hz] (Glockenschwingrichtung Glocke 3)		
	Unwucht	3,56			$\geq 3,89$	
ambient	3,98			(3,80)	4,44	(6,90)

Tabelle 1 : Überblick dominierender Frequenzen der Turmantwort

Mittels Unwuchterregung bildet sich in der Schwingrichtung der Glocken 1 und 2 (x) eine charakteristische Spitze von 3,56 Hz aus. Im Rahmen der Untersuchungen bei ambianter Anregung erhöht sich der erstgenannte Wert deutlich um ca. 11,2 % auf 3,98 Hz (20-Minutenmittel) infolge einer Aktivierung nichtlinearer Effekte. In der senkrecht hierzu definierten y-Richtung konnte die entsprechende Eigenfrequenz mittels Unwucht nicht erreicht werden, da der Hochlauf auf Sicherheitsgründen bei 3,89 Hz abgebrochen werden musste. Allerdings dürfte aus Grund der Gestalt entsprechender Frequenzgänge (siehe Anhang A) für die Eigenfrequenz kaum ein höherer Wert als 3,89 Hz zutreffen. Mittels ambianter Erregung konnten 4,44 Hz festgestellt werden. Generell ist das Niveau der Eigenfrequenzen in dieser Richtung so hoch angesiedelt, dass diese für den Glockenbetrieb kaum mehr eine Rolle spielen.

Maßgeblich für dynamische Überhöhungen der Bauwerksantwort ist vornehmlich die Grundeigenfrequenz von 3,56 Hz in Glockenschwingrichtung der größeren Glocken 1 und 2. Allerdings gilt auch hier im Hinblick auf den Resonanzabstand zu dritten harmonischen Teilschwingungen, dass diese Grundeigenfrequenz günstig hoch angesiedelt ist.

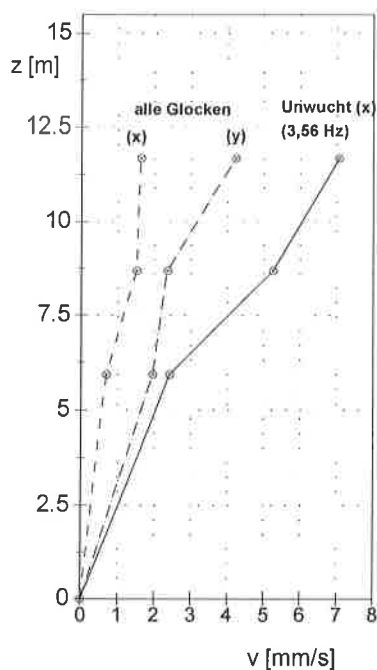


Abbildung 3: Maximal gemessene Schwinggeschwindigkeiten (Glockenläuten und Unwuchterregung)

### 2.3.2 Schwingungsuntersuchungen bei Betrieb des Geläutes

Glocke	Mess- stelle 1	Mess- stelle 2	Mess- stelle 3	Mess- stelle 4	Mess- stelle 5	Bemerk- ungen	Resonanzabstand bei $f_1 = 3,56$ Hz zur	
							3. Harmo- nischen	5. Harmoni- schen
1 (x)	1,15	0,48	1,15	0,87	0,91	3. Harmoni- sche: 1,31 Hz	63,2 %	38,7 %
2 (x)	0,77	0,18	0,41	0,44	0,36	3. H.: 1,43 Hz	59,8 %	33,1 %
3 (y)	1,08	0,95	0,88	0,54	-	3. H. 1,68 Hz	52,8 %	21,3 %
2+3 (x)	1,08	0,27	0,52	0,69	0,48			
2+3 (y)	1,19	1,11	1,93	1,32	-			
Alle (x)	1,58	0,69	1,62	1,88	1,42			
Alle (y)	2,38	1,95	<b>4,22</b>	2,32	-			

**Tabelle 2: Übersicht maximaler Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] beim Glockenläuten (horizontal)**

Glocke	Messstelle 1 (Deckenmitte)	Messstelle 4
1 (z)	4,40	0,96
2 (z)	2,16	0,75
3 (z)	2,57	0,68
2+3 (z)	4,10	1,16
Alle (z)	<b>14,26</b>	2,13

**Tabelle 3: Übersicht maximaler Schwinggeschwindigkeiten [mm/s] beim Glockenläuten (vertikal)**

Die Messungen erzwungener Schwingungen wurden bei Betrieb folgender Glockenkombinationen durchgeführt:

- a) Glocke 1    b) Glocke 2    c) Glocke 3    d) Glocken 2 + 3    e) Glocken 1 + 2 + 3

Einen Überblick entsprechender maximaler horizontaler und vertikaler Schwinggeschwindigkeiten enthalten die Tabellen 2 und 3. Hinsichtlich horizontal noch vertretbarer Schwinggeschwindigkeiten gibt der Neuentwurf zur DIN 4178 für historische Türme einen Orientierungswert von 3 mm/s an. Dieser wird an der Mauerwerksoberkante (Messstelle 3) mit 4,22 mm/s überschritten, allerdings senkrecht (y) zur Läuterichtung der großen Glocken (x) und nur, wenn alle Glocken gleichzeitig läuten. Während des Läutens kommt es zu einer Kippbewegung des Glockenstuhls infolge dessen mangelnder Befestigung. Hieraus resultiert eine schlagende Bewegung auf die Decke, was schließlich zu vertikalen Schwinggeschwindigkeitsantworten von knapp 14,3 mm/s in Deckenebene führt. Dieser Wert ist, wenn als Orientierung für die Be-





wertung der zulässige Anhaltswert für Dauererschütterungen von Decken gemäß DIN 4150 / T.3 von 10 mm/s herangezogen wird, als kritisch einzustufen. Es ist nicht auszuschließen, dass auch der Maximalwert der horizontalen Schwinggeschwindigkeit von 4,22 mm/s, dem eine Schwingfrequenz von ca. 4,2 Hz (entspricht annähernd der Turmeigenfrequenz in dieser Richtung) zugeordnet werden kann, auf das Schlagen zurück zu führen ist, welches letztlich einer breitbandigen Impulserregung entspricht. Von einem Läuten im derzeitigen Zustand, zumindest wenn die große Glocke 1 beteiligt ist, sollte deshalb abgesehen werden, solange die Befestigung des Glockenstuhls nicht gewährleistet ist.

Hinsichtlich der häufig als kritisch einzustufenden 3. harmonischen Teilschwingungen bzgl. Horizontalbewegungen werden die Anforderungen der maßgeblichen Glockenrichtlinie **DIN 4178 erfüllt**: Zum einen fällt der Abstand der Grundturmeigenfrequenz zu den 3. harmonischen Teilschwingungen sämtlicher Glocken mit ungünstigstenfalls 52,8 % erheblich größer aus als der geforderte Mindestabstand von 10 % bei messtechnisch ermittelter Eigenfrequenz. Zum anderen wird die Forderung, dass die Turmeigenfrequenz höher sein soll als die dritte Glockenteilschwingzahl ebenfalls immer eingehalten. Auch im Hinblick auf eine Turmerregung durch 5. harmonische Teilschwingungen ergeben sich keine negative Auswirkungen für den Turm.

### 3. Berechnungen gemäß DIN 4178

#### 3.1 Horizontallasten

Gemäß den Angaben des Ingenieurbüros Pluntke sind für das bestehende Geläut folgende relevante Parameter bekannt:

Glocke	unterer $\varnothing$ [mm]	Masse [kg]
1	1000	550
2	700	210
3	600	120

Die Glocken läuten derzeit an gekröpften Stahljochen. Es handelt sich hierbei um ein historisch wertvolles Geläut, welches erhalten werden soll. Nachfolgend getätigte Berechnungen beziehen sich auf den belastungsmäßig ungünstigeren Fall einer geraden Jochaufhängung, der langfristig mit der Wiederherstellung historischer Gegebenheiten relevant wird und die Planung mit einbezogen werden sollte. Entsprechende Untersuchungen vermitteln auf der Grundlage der gemessenen Turmeigenschwingzahl einen Überblick der aus den Glocken resultierenden Horizontal-lasten. Die in diesem Zusammenhang verwendeten Glockenkennwerte stützen sich ausschließlich auf die Angaben gemäß DIN 4178 bei bekanntem Glockendurchmesser und bekannter Glockeneigenlast. Auf diese Weise kann folgende **Abschätzung** der weiteren für eine Berechnung der horizontalen statischen Ersatzlast maßgeblichen Kennwerte vorgenommen werden:

Glocke	Glockeneigenlast [kN]	Läutewinkel [°]	Klöppelanschlagzahl [min <sup>-1</sup> ]	Formbeiwert [-]
1	5,4	66	57	0,76
2	2,1	70	65	0,77
3	1,2	73	68	0,77

Hieraus resultieren für die einzelnen Glocken folgende Ergebnisse (logarithmisches Dämpfungsdekrement:  $\delta = 0,1$ ):

#### Glocke 1

f [Hz]	max H [kN]	Resonanzabstand				Vergrößerungsfaktor [-]			
		$\Delta\Omega_1$ [%]	$\Delta\Omega_3$ [%]	$\Delta\Omega_5$ [%]	$\Delta\Omega_7$ [%]	$v_1$ [-]	$v_3$ [-]	$v_5$ [-]	$v_7$ [-]
3,50	4,29	-86,4	-59,3	-32,1	-5,0	1,02	1,20	1,85	9,80
3,56	4,29	-86,7	-60,0	-33,3	-6,6	1,02	1,19	1,80	7,63
3,80	4,25	-87,5	-62,5	-37,5	-12,5	1,02	1,16	1,64	4,24
3,89	4,24	-87,8	-63,4	-38,9	-14,5	1,02	1,15	1,59	3,69

#### Glocke 2

f [Hz]	max H [kN]	Resonanzabstand				Vergrößerungsfaktor [-]			
		$\Delta\Omega_1$ [%]	$\Delta\Omega_3$ [%]	$\Delta\Omega_5$ [%]	$\Delta\Omega_7$ [%]	$v_1$ [-]	$v_3$ [-]	$v_5$ [-]	$v_7$ [-]
3,50	1,99	-84,5	-53,6	-22,6	+8,3	1,02	1,27	2,49	5,65
3,56	1,97	-84,8	-54,4	-23,9	+6,5	1,02	1,26	2,37	7,22
3,80	1,89	-85,7	-57,2	-28,7	-0,2	1,02	1,22	2,03	<b>31,19</b>
3,89	1,86	-86,1	-58,2	-30,4	-2,5	1,02	1,21	1,94	17,01

### Glocke 3

f [Hz]	max H [kN]	Resonanzabstand				Vergrößerungsfaktor [-]			
		$\Delta\Omega_1$ [%]	$\Delta\Omega_3$ [%]	$\Delta\Omega_5$ [%]	$\Delta\Omega_7$ [%]	$v_1$ [-]	$v_3$ [-]	$v_5$ [-]	$v_7$ [-]
3,50	1,27	-83,8	-51,4	-19,4	+13,3	1,03	1,31	2,89	3,49
3,56	1,26	-84,1	-52,2	-20,4	+11,4	1,03	1,30	2,72	4,10
3,80	1,20	-85,1	-55,3	-25,4	+4,4	1,02	1,25	2,25	10,46
3,89	1,18	-85,4	-56,3	-27,2	+2,0	1,02	1,24	2,13	19,47

Somit folgt schließlich für die Summe der maximalen statischen horizontalen Ersatzlasten unter Berücksichtigung aller Glocken bei verschiedenen Turmeigenfrequenzen :

	untersuchte Frequenzen			
f [Hz]	3,50	3,56	3,80	3,89
$\Sigma$ max H [kN]	7,55	7,52	7,34	7,28

Tabelle 4: Summe der maximalen statischen horizontalen Ersatzlasten

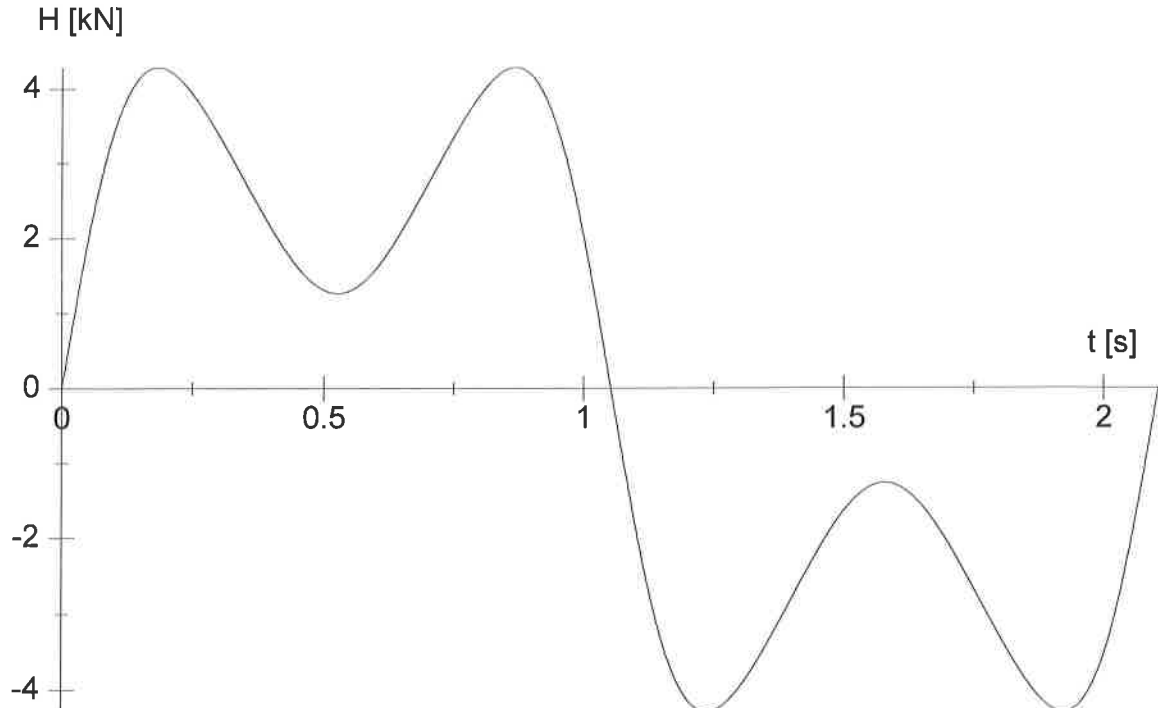


Abbildung 4: Horizontale statische Ersatzlast bei  $f_1 = 3,56$  Hz (Glocke 1, max H = 4,29 kN)

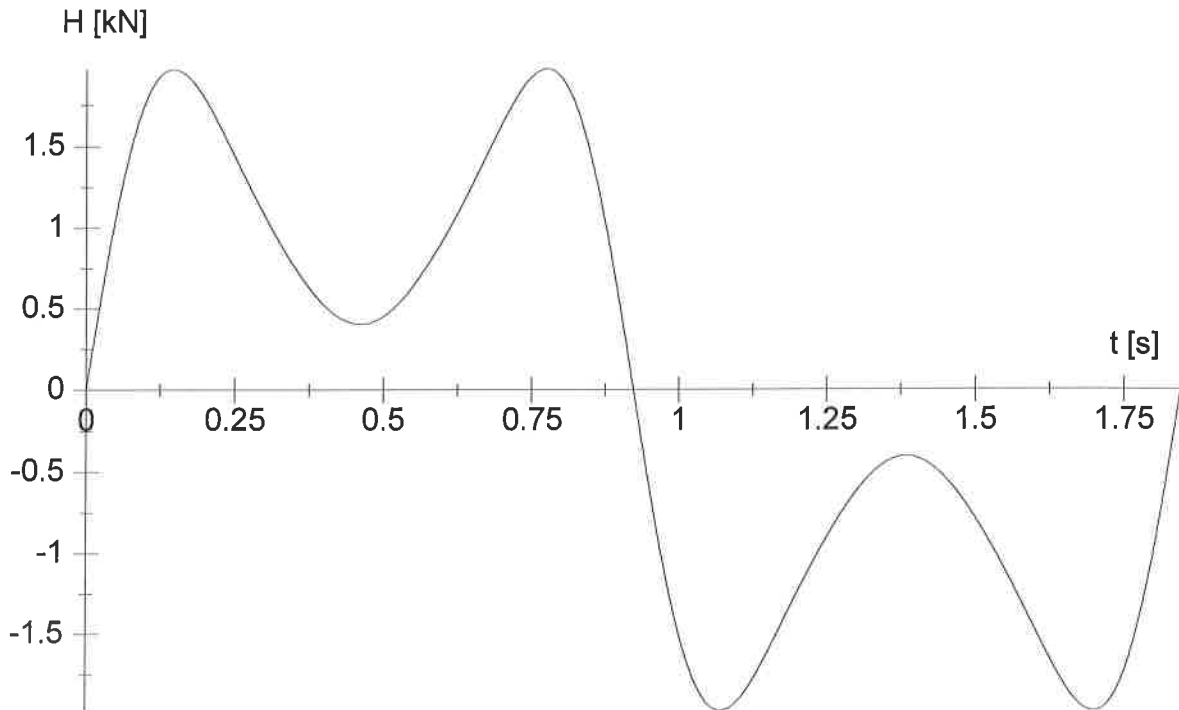


Abbildung 5: Horizontale statische Ersatzlast bei  $f_1 = 3,56$  Hz (Glocke 2, max  $H = 1,97$  kN)

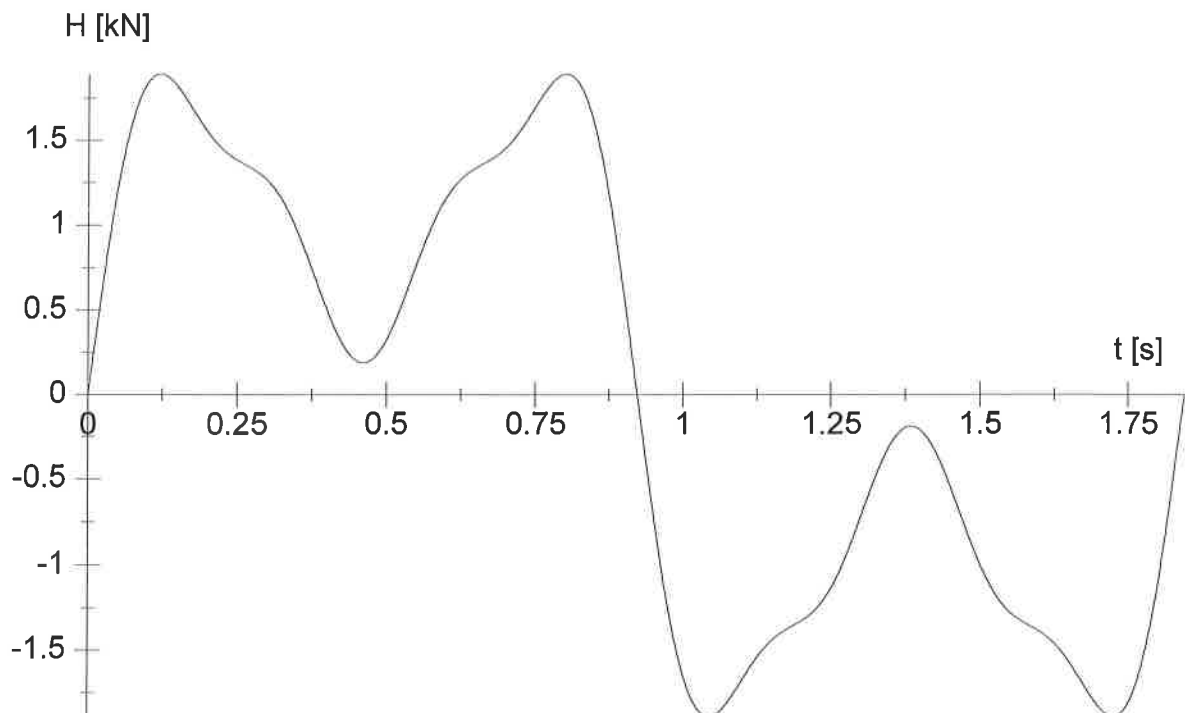


Abbildung 6: Horizontale statische Ersatzlast bei  $f_1 = 3,80$  Hz (Glocke 2, max  $H = 1,89$  kN) mit außergewöhnlich hohem Einfluss der 7. harmonischen Teilschwingung

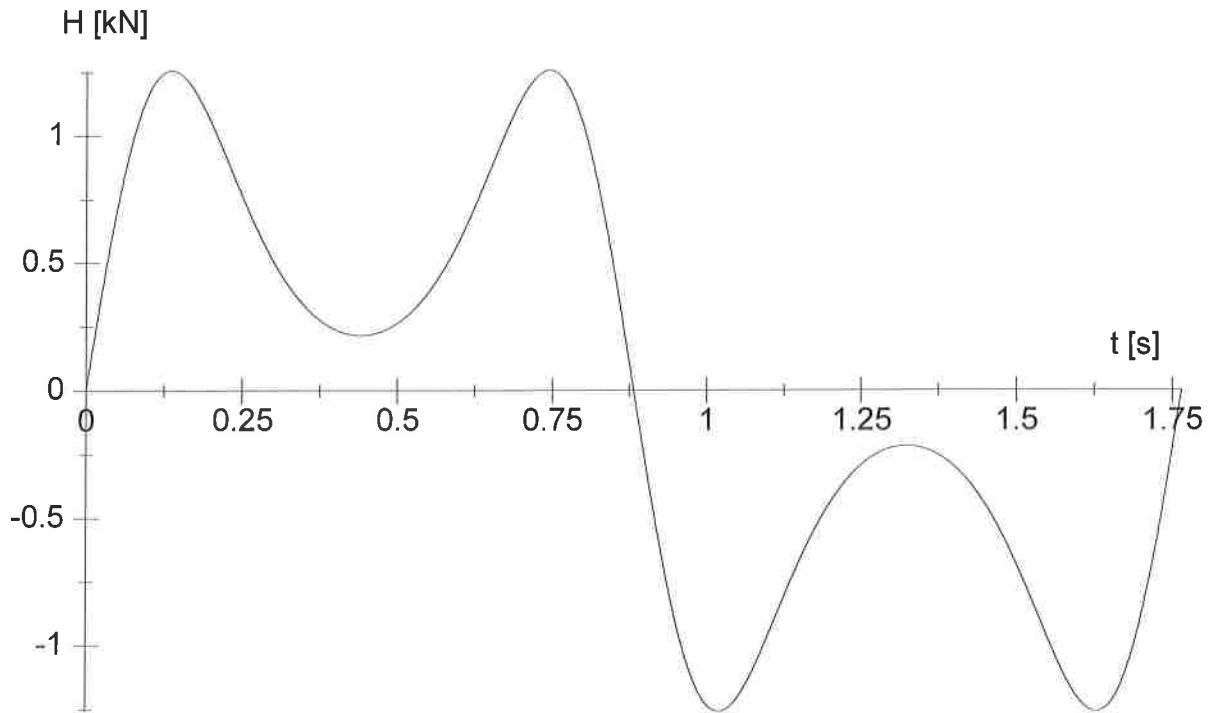


Abbildung 7: Horizontale statische Ersatzlast bei  $f_1 = 3,56$  Hz (Glocke 3, max H = 1,26 kN)

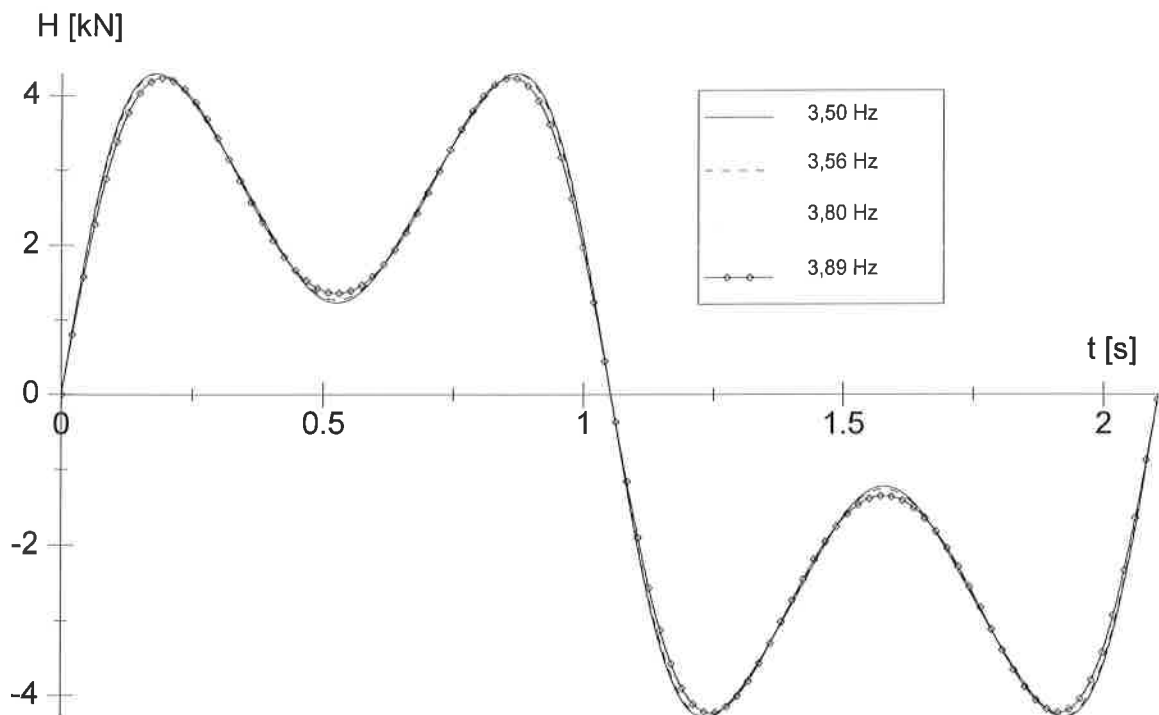


Abbildung 8: Übersicht horizontaler statischer Ersatzlasten unter Variation der Turmeigenfrequenz:  $f_1 = 3,5 / 3,56 / 3,80 / 3,89$  Hz (Glocke 1)

Anteilige Horizontallast [kN] bei $f_1 = 3,56$ N	1. Harmonische	3. Harmonische	5. Harmonische	Summe
Glocke 1	1,79	2,44	0,15	4,25
Glocke 2	0,66	1,18	0,15	1,97
Glocke 3	0,37	0,76	0,14	1,26

Tabelle 5: Anteiliger Horizontallastbeitrag der Teilharmonischen<sup>1</sup>

Die Berechnungen unterstreichen hinsichtlich der Frequenzabstimmung von Turm und Geläut das insgesamt unkritische Verhalten aller Glocken aus Sicht der DIN4178. Im untersuchten Frequenzband für die erste Turmeigenfrequenz von 3,5 – 3,89 Hz wird der von der DIN 4178 geforderte **Resonanzabstand von 10 %** zur jeweils dritten harmonischen Teilschwingung **von jeder Glocke eingehalten**. Dies gilt auch für die geforderte Lage der Grundturmeigenfrequenz oberhalb den dritten harmonischen Teilschwingungen.

Abbildung 8 verdeutlicht auf Grund der nahezu identischen Gestalt der zeitlichen Verläufe horizontaler statischer Ersatzlasten repräsentativ für Glocke 1, dass dynamische Überhöhungen im betrachteten Frequenzband kaum eine Rolle spielen. Dies wird letztlich auch durch die sich kaum unterscheidenden Summen maximaler statischer horizontaler Ersatzlasten in Tabelle 4 gestützt.

### 3.2 Vertikallasten

Gemäß DIN 4178 ergibt sich für die maximalen vertikalen Lasten infolge Glockenläutens:

Glocke	maximale bezogene Vertikallast (max $V/c \cdot G$ )	maximale Vertikallast [kN]
1	1,18	4,84
2	1,31	2,12
3	1,42	1,31

Tabelle 5: Vertikallasten (dynamischer Anteil)

<sup>1</sup> Höhere harmonische Teilschwingungen (7., 9. etc) können geringfügig entlastend wirken bei einer Betrachtung des absoluten Maximums der horizontalen statischen Ersatzlast

#### 4. Zusammenfassung

Auf der Grundlage messtechnischer Schwingungsuntersuchungen am Mauerwerksturm der Kirche zu Böhlen konnte nachgewiesen werden, dass infolge der mangelnden Befestigung des Glockenstuhls und damit verbundenen Kippbewegungen beim Läuten durch Schläge Vertikalschwingungen der Decke hervorgerufen werden, die von **Schwinggeschwindigkeiten** in Deckenmitte von bis zu **14,3 mm/s** begleitet werden. Dieser Wert ist gemäß einer Bewertung nach DIN 4150 / T.3 als kritische einzustufen (Anhaltswert: 10 mm/s), wenn entsprechende Schwingungsvorgänge als Dauererschütterungen interpretiert werden. Die Kippbewegungen rufen letztlich auch vergleichsweise hohe Schwinggeschwindigkeiten in horizontaler Richtung quer zur Schwingrichtung der beiden großen Glocken hervor. In Glockenschwingrichtung dieser Glocken ergeben sich generell unkritische Schwinggeschwindigkeitsantworten. Günstig wirkt sich hierbei die Lage der **Turmeigenfrequenzen** weitab der dritten harmonischen Teilschwingungen der Glocken aus. Mittels Unwuchterregung konnten hierfür Frequenzen von **3,56 Hz** in der derzeitigen Schwingrichtung der großen Glocken **bzw. >3,89 Hz** senkrecht hierzu festgestellt werden. Es handelt sich hierbei jeweils um die Grundbiegefrequenzen des Turms. Infolge nichtlinearer Effekte ist erstgenannter Wert um 11,2 % geringer im Vergleich zum linearen Fall (ambiente Erregung, 3,98 Hz). Der Resonanzabstand zu dritten harmonischen Teilschwingungen beträgt ungünstigstenfalls 52,8% bei 3,56 Hz (Glocke 3).

**Die Anforderungen der DIN 4178** hinsichtlich des Resonanzabstandes bzgl. der 3. Harmonischen werden somit **für beide Läuterrichtungen von allen Glocken erfüllt**. Gleiches gilt für die geforderte Lage der Eigenfrequenz oberhalb den dritten harmonischen Teilschwingungen.

Als äußerst kritisch sind jedoch insbesondere die Vertikalschwingungserscheinungen der Glockenstuhldecke zu bewerten. Dass hierdurch ein wesentlicher Beitrag zum derzeitigen Turmschadensbild beigetragen wurde, ist sehr wahrscheinlich. **Im derzeitigen Zustand sollte deshalb von einem Läuten insbesondere der Glocke 1 abgesehen werden.** Dringend erforderlich ist eine Befestigung des Glockenstuhls an der Decke, welcher mit Hilfe eines Holzrahmengestells als zusätzlich dämpfendes Element realisiert werden könnte. Günstig wäre es darüber hinaus, den



**Dr. Beirow & Partner – Büro für Baudynamik**  
Erschütterungsmessungen, Beweissicherung  
Bemessung dynamisch beanspruchter Bauten  
Dauerüberwachung

Telefon: 035601-82336  
Fax: 035601-82335  
e-mail: mail@bp-dynamik.de

Mittelstr. 4 • 03185 Peitz

Horizontallastabtrag über die 3 Außenwände zu realisieren, um auf diese Weise eine Entlastung des Gewölbebogens zu erreichen.



Peitz, 17.12.2003

Dr.-Ing. Bernd Beirow