

Schriftenreihe, Band 5

Hochschule
Kempten

University of Applied Sciences



Andreas Rupp, Michael Plitzner (Hrsg.)

2. Glockensymposium ECC-ProBell® 21.-22. März 2018

Konferenzbericht



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 5



Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 5

Herausgegeben von

Andreas Rupp

Michael Pitzner

Hochschule
Kempten

University of Applied Sciences



Andreas Rupp, Michael Plitzner (Hrsg.)

2. Glockensymposium ECC-ProBell® 21.-22. März 2018

Konferenzbericht



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2018

Bilder auf den Umschlag:

Links: © ECC-ProBell

Rechts: © Ralf Baumgarten

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2018

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2018

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-9751-6

eISBN 978-3-7369-8751-7



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	7
Andreas Rupp, Michael Plitzner Das Europäische Kompetenzzentrum für Glocken. Verfahren zur Beurteilung von Glocken	9
Rolf-Dieter Blumer Prinzipien der Denkmalpflege bei der Sanierung von Kirchenglocken anhand von Beispielen	21
Andreas Rupp, Michael Plitzner Läuteoptimierung zur Schonung von Glocken	29
Matthias Walter Klangbildung und Klangwirkung – Beobachtungen zum Einfluss des technischen Umfelds auf die Glockenmusik*	45
Johannes Wittekind Sanierung unter baudynamischen, klanglichen und glockenschonenden Aspekten – eine Werkschau*	75
Andreas Rupp, Denis Spiess, Michael Plitzner Simulation des Klöppelanschlags – Einfluss der Klöppelgestaltung auf den Klang	83
Ansgar Hense Glockenläuten als Kultursymbol – aus der Perspektive eines Juristen	101
Axel Bißwurm Die Bedeutung der DIN 4178 bei der Planung und Sanierung von Geläuten und Glockentürmen	111
René Spielmann Läuteoptimierung in der Anwendung – Schwingungsdynamische Türme und Schallreduktion	121



Sören Draack	
Eine zweite Chance für Stahlgeläute – Möglichkeiten zur Klangverbesserung durch Optimierung der Läutebedingungen	137
Michael Plitzner, Andreas Rupp	
Der musikalische Fingerabdruck von Glocken	145
Thomas Winkelbauer	
Schäden an Euphonglocken – Mögliche Sanierungsansätze	161
Konferenzprogramm	176

In den mit * gekennzeichneten Beiträgen wird im Text auf Klangbeispiele verwiesen. Die zugehörigen Audiodateien können auf der Homepage des Europäischen Kompetenzzentrums für Glocken ECC-ProBell® angehört bzw. heruntergeladen werden: www.ecc-probell.de/Tagungsband



Vorwort

Sehr gerne haben wir vom Europäischen Kompetenzzentrum für Kirchenglocken ECC-ProBell[®] zusammen mit dem Beratungsausschuss für das Deutsche Glockenwesen zum 2. Glockensymposium eingeladen, um über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik rund um das Thema Glocken zu berichten und zu diskutieren.

Mit der Frage nach dem Einfluss des Drehens von Glocken auf die Lebensdauer begann im Jahre 1996 die systematische Forschung an Glocken im Hinblick auf ihre Schädigung. Ein erstes Projekt im Auftrag des Verbandes der Deutschen Gießereifachleute VDG am Fraunhofer Institut LBF beantwortete einige Fragen, zeigte aber zugleich eine ganze Anzahl ungeklärter Zusammenhänge und Phänomene auf. Die im Jahre 2005 an der Hochschule Kempten mit Förderung der Europäischen Union aufgenommenen Forschungsarbeiten hatten zum Ziel, den Schutz und die Wartung von Glocken sowie Phänomene rund um das Thema der Schädigung mit modernen Ingenieurswerkzeugen zu untersuchen. Als Ergebnis konnten auf unserem 1. Symposium im Mai 2009 die Methoden und Verfahren vorgestellt werden, mit denen das Schadensrisiko läutender Glocken bestimmt werden kann. Mithilfe der darauf aufbauenden Computer-Modelle kann ein schonendes Läuten bei hoher Klangqualität simuliert und berechnet werden.

Die erarbeiteten Erkenntnisse wurden seither an über 200 Glocken im In- und Ausland zur Anwendung gebracht, darunter bedeutende Glocken und Geläute u.a. des Kölner Doms, der Frauenkirche München, des Freiburger und Berner Münsters, des Petersdoms in Rom und der Weltkulturerbestätten auf der Insel Reichenau.

Zur Ermittlung des Zustands einer Glocke wurde der musikalische Fingerabdruck von Glocken in der 2015 abgeschlossenen Dissertation von Dr. M. Plitzner entwickelt, um anhand von Klangmessungen Risse so frühzeitig zu erkennen, bevor es zu hörbaren Klangveränderungen kommt. Dieses Verfahren eignet sich dazu, insbesondere historisch wertvolle sowie vorgeschädigte und große Glocken kostengünstig überwachen zu können. Laufende Forschungsarbeiten konzentrieren sich auf eine gezielte Einstellung der Klangqualität von Glocken beim Läuten sowie auf die Untersuchung und Optimierung von Glocken aus Ersatzmaterialien.

Die Arbeiten des ECC-ProBell[®] waren stets sehr eng an den praktischen Anforderungen des Glocken-Alltags ausgerichtet. Die angewandten Methoden und die erzielten Arbeitsergebnisse wurden mit einer großen Anzahl von unterschiedlichen Fachleuten diskutiert und verbessert. Das Programm des 2. Glockensymposiums wurde daher um weitere Themen rund um Glocken erweitert. Es freut uns sehr, dass namhafte Experten über Fragen zur Klangbildung und Klangwirkung, über denkmalpflegerische Aspekte, baulastdynamische Anforderungen oder das Glockenläuten als Kultursymbol berichten. Die Vorstellung konkreter Projekte zur Schonung, Klangverbesserung und Lärminderung läutender Glocken, zum Umgang mit Glocken aus Ersatzmaterialien und zur Möglichkeit der Überwachung kulturhistorisch bedeutsamer Glocken mit modernen Medien repräsentieren den aktuellen Stand der Forschungen und sollen zum Austausch und zur Diskussion über den zeitgemäßen Umgang mit Glocken einladen.

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp

Leiter des ECC-ProBell[®]



Das Europäische Kompetenzzentrum für Glocken – Verfahren zur Beurteilung von Glocken

Andreas Rupp, Michael Plitzner

Hochschule Kempten, ECC-ProBell®

Zusammenfassung

Das Beanspruchungsgeschehen und die Schadensentstehung an Glocken wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten in national und europäisch geförderten Forschungsvorhaben umfassend untersucht. So konnten die Ursachen und Zusammenhänge für die Entstehung und Ausbreitung von Ermüdungsschäden und Schlagverschleiß an Glocken umfassend geklärt und einer ingenieurmäßigen Betrachtung zugänglich gemacht werden. Die abgeleiteten Auslegungsverfahren erlauben eine rechnerische Bestimmung des Risikos für Ermüdungsschäden an Glocken und für einen verstärkten Verschleiß an den Klöppelanschlagstellen sowie die gezielte Beeinflussung der klanglichen Eigenschaften der läutenden Glocke. Die Läutebedingungen lassen sich damit für die unterschiedlichen Anforderungen gezielt optimieren – sei es aus denkmalpflegerischer Sicht zur Minimierung des Schadensrisikos, sei es aus musikalischer Sicht die Verbesserung der Klangfaltung oder Lautstärke.

1. Die Glocke aus ingenieurmäßiger Sicht

Das Musikinstrument Glocke besteht aus verschiedenen Komponenten, die in ihrer Gesamtheit das Glockensystem darstellen. Zum Glockensystem gehören im Wesentlichen der Klangkörper Glocke, das Joch, der Klöppel, der Glockenstuhl sowie die Läutemaschine mit ihrer Steuerung.

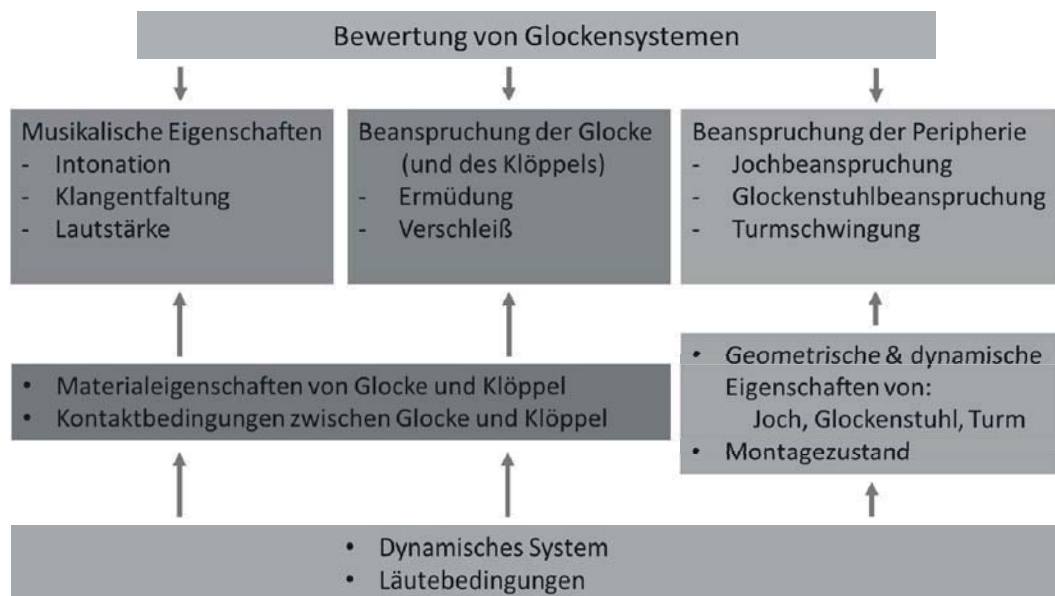


Abbildung 1: Die Bewertung von Glockensystemen



Durch den Klöppelanschlag werden Glocken sehr hart beansprucht, so dass im Laufe der Zeit an Glocken Ermüdungsrisse auftreten können – sowohl historische Glocken wie die Gloriosa in Erfurt (gegossen 1497) oder die Clinsa in Merseburg (gegossen um 1180) als auch moderne Glocken wie die Millenniumsglocke in Hamburg (gegossen 1999) zählen dazu. Die Ursachen dafür sind teilweise auf Gussfehler zurückzuführen, überwiegend jedoch auf die hohen Beanspruchungen beim Läuten der Glocke. Der Klöppelanschlag erzeugt hohe lokale Beanspruchungen, die sich durch das Tönen der Glocke im gesamten Glockenkörper ausbreiten und dort, wo sie auf Materialinhomogenitäten treffen, zu Schäden führen. Neben dem Risiko für Ermüdungsrisse ist häufig ein hoher Schlagverschleiß an den Anschlagstellen der Glocken zu beobachten, der ebenfalls durch den harten Anschlag des Klöppels aber auch durch das Material des Klöppels oder die Anschlagskonditionen des Klöppels bestimmt wird (Abb. 2).



Abbildung 2: Schäden an Glocken: a) Ermüdungsriss; b) Schlagverschleiß; c) Fertigungsfehler

Immer wieder kommt es zu Schäden an Glocken, die mit hohem Aufwand und unter Verlust von wertvollen, kulturhistorischen Details etc. repariert werden, um anschließend die Glocken nur weiter unter den Bedingungen zu läuten wie zuvor, mit dem Ergebnis, dass nach kurzer Zeit erneut Schäden beobachtet werden. Gleichzeitig ist festzuhalten, dass für eine gute Intonation einer Glocke, die ihr volles musikalisches Potenzial erklingen lässt, ein Anschlag mit recht hoher Intensität erforderlich ist. Ein dauerhaftes Läuten der Glocke bei hoher musikalischer Qualität ist daher immer eine Gratwanderung hinsichtlich der Intensität des Anschlags und der Läuteparameter. Ein systematisches Verständnis der Parameter, die die Beanspruchungen einer Glocke bestimmen, und Ingenieurswerkzeuge zu ihrer Beurteilung und Vorhersage sind unbedingt erforderlich, um ein Läuten bei geringem Risiko für Schäden und hoher musikalischer Qualität einzustellen.

Die Arbeiten in den durchgeführten Forschungsprojekten konzentrierten sich daher auf die Erforschung von systematischen Erkenntnissen zu den Ursachen von Schäden sowie auf die Erarbeitung der Berechnungs-, Analyse- und Bewertungsverfahren für eine ingenieurmäßige Einstellung geeigneter Läutebedingungen.



2. Schlagverschleiß an Glocken

Der an den Kontaktflächen zwischen Glocke und Klöppel auftretende Schlagverschleiß ist gekennzeichnet durch die Verschleißmechanismen Adhäsion, Abrasion und Oberflächenzerrüttung. Zusätzlich bewirkt die Kaltverfestigung in den Anschlagstellen lokal eine Versprödung der Oberflächen. Das Ausmaß des Verschleißes an Glocken ist abhängig vom Material des Klöppels (und der Glocke), den geometrischen Kontaktbedingungen, wie der Position der Kontaktflächen am Glockenkörper, der Anschlagrichtung des Klöppels und der Klöppelführung sowie der Intensität des Klöppelanschlags.

Den Einfluss des Klöppelmaterials auf die elasto-plastischen Verformungen an Glocke und Klöppel zeigen FEM-Simulationen, die durch Dauerversuche an Glocken und Materialproben bestätigt wurden. [1] Bei Klöppeln aus niedrigfestem Stahl ($R_{p,0,2} < 350\text{MPa}$) ist die verbleibende plastische Verformung an der Glocke nach dem Anschlag deutlich niedriger als bei höherfestem Stahl ($R_{p,0,2} > 350\text{MPa}$) (Abb. 3). Die Verwendung von Materialien mit sehr niedriger Festigkeit, kann die plastische Verformung an der Glockenoberfläche sogar nahezu vollständig verhindern, führt jedoch dazu, dass sich diese Materialien selbst sehr rasch verformen bzw. verschleifen und die Anschlagflächen am Klöppel in kurzer Zeit sehr groß werden. Dadurch kommt es zu einem klatschenden Geräusch beim Anschlagen des Klöppels, was die Klangqualität der Glocke vermindert und beeinträchtigt.

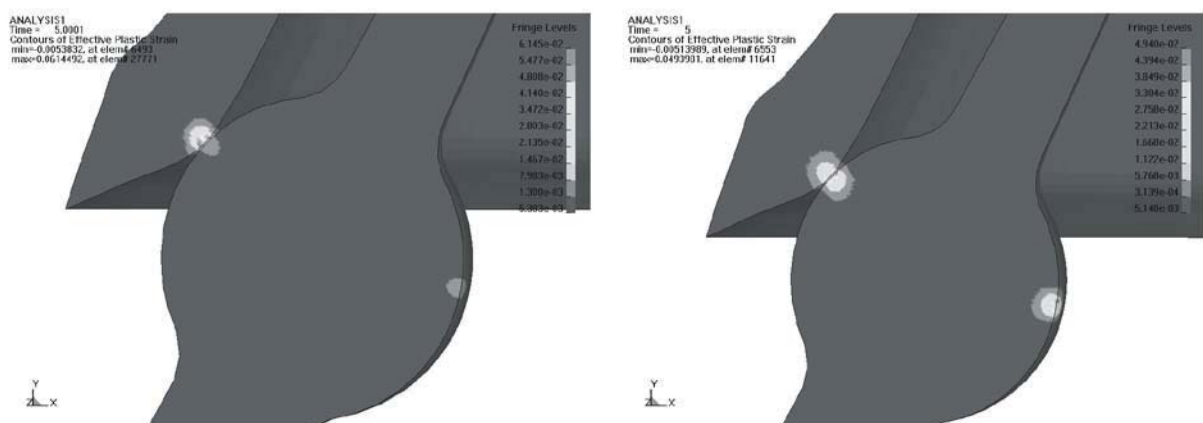


Abbildung 3: Plastische Verformung an den Kontaktflächen nach dem 10. Anschlag, links: höher-festes Material, rechts: niedrig-festes Material

An Glocken mit erhöhtem Verschleiß ist oft zu beobachten, dass einerseits der Klöppel seitlich schlecht geführt wird oder andererseits der Klöppel mit seiner Länge nicht optimal an die Glocke angepasst ist. Die Ursachen für den vermehrten Verschleiß liegen in Reibvorgängen, die während des Anschlags auf der Glockenoberfläche stattfinden. Durch die fehlende seitliche Führung rutscht der Klöppel bei jedem nicht-zentralen Stoß über die Glockenoberfläche, durch einen zu lang ausgeführten Klöppel ist die Stoßrichtung nicht senkrecht auf die Oberfläche, wodurch zusätzliche Reibung beim Kontakt auftritt (Abb. 4). Der wiederholte Anschlag auf ein und dieselbe Stelle bewirkt eine lokale Verfestigung der Bronze, was eine geringere Zerrüttung der Oberfläche nach sich zieht.

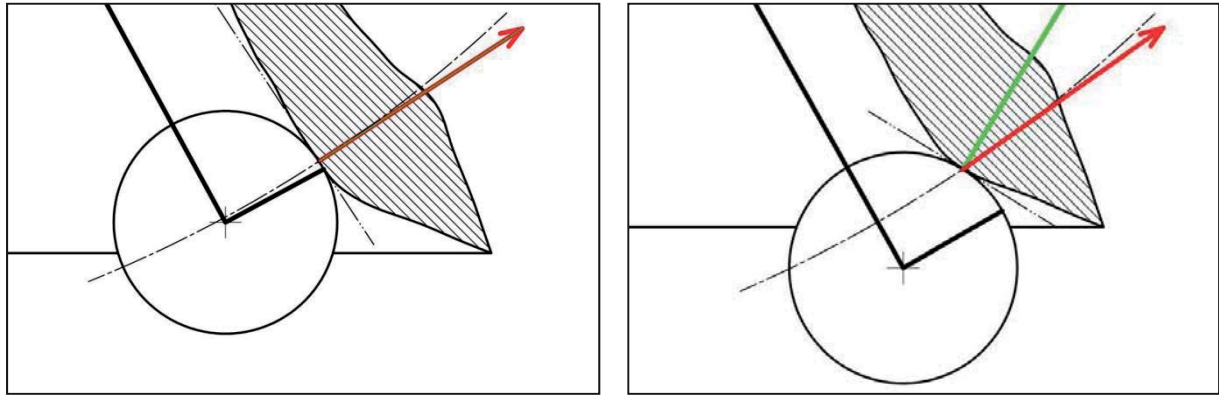


Abbildung 4: Variation der Klöppelanschlagrichtung (Stoßrichtung Pfeil, Flächennormale grau), links: Klöppellänge optimal; rechts: Klöppel zu lang

3. Materialermüdung und Anschlagsintensität als Bewertungsmaßstab für das Schadensrisiko

Glocken werden beim Läuten mit ihrem Joch im vorhandenen Glockenstuhl durch eine Läutemaschine angetrieben, so dass der eingehängte Klöppel anschlägt und sie zum Klingen bringt. Die dynamischen Systeme sind so ausgelegt, dass der Klöppel nach dem Einläuten mit möglichst gleichbleibender Intensität die Glocke so anschlägt, dass ihre Töne ausgewogen angeregt werden, dass aber gleichzeitig das Risiko für Schäden gering ist. Das Maß für Schäden sind die örtlichen Beanspruchungen in den unterschiedlichen Bereichen der Glocke. Diese Beanspruchungen lassen sich mit sogenannten Dehnungsmesstreifen (DMS) örtlich messen und den in Versuchen bestimmbaren Beanspruchbarkeiten von Glockenbronze [2] zur Bewertung gegenüberstellen. Für ein gegebenes Glockensystem lässt sich damit zuverlässig das Risiko für Ermüdungsschäden abschätzen.

Um bei zu hohem Risiko geeignete Gegenmaßnahmen gezielt treffen zu können, ist die Kenntnis der Parameter sowie ihrer Auswirkung erforderlich, die zu den hohen Beanspruchungen führen. Abb. 5 zeigt die Messtechnik zur Erfassung von Glockenbeanspruchung und Belastung.



Abbildung 5: Klöppel mit Beschleunigungssensor (links) und Glocke mit DMS (rechts)

Die Belastungen werden über einen Beschleunigungssensor ermittelt, der am Klöppel befestigt wird und die Intensität des Anschlags erfasst. (Abb. 5 links) Diese Messung liefert Informationen über die Impulskraft, die auf die Glocke wirkt, sowie über die Regelmäßigkeit des beidseitigen Klöppelanschlags, was wiederum Rückschlüsse auf die Klöppelinstallation und die Einstellungen an der Läutemaschine zulässt. Darüber hinaus kann mithilfe der Beschleunigungsmessung auch die Verweildauer des Klöppels an der Glocke ausgewertet werden, die für die Klangentfaltung der Glocke von Bedeutung ist.

Die aus der Kraft des Klöppelanschlags resultierende Beanspruchung der Glocke wird mit Dehnungsmessstreifen (DMS) gemessen, die jeweils gegenüber den Anschlagstellen außen auf der Oberfläche der Glocke appliziert sind. (Abb. 5 rechts) Sie erfassen die tatsächlichen örtlichen Verformungen des Glockenmaterials und stellen damit die Grundlage für die Bewertung des Schadensrisikos dar. In Abb. 6 sind die Zeitverläufe der gemessenen Klöppelbeschleunigung und der örtlichen Dehnung während einer Läutedauer von 100s wiedergegeben. Deutlich wird am oberen Beschleunigungssignal, dass die nach oben ausschlagende Beschleunigung an der Anschlagstelle 1 im Mittel kleiner ist als auf der gegenüberliegenden Seite – die Glocke wurde also hier nicht symmetrisch angeschlagen, vermutlich wegen einer asymmetrischen Ausrichtung des Klöppels. Darüber hinaus ist jeder Anschlag des Klöppels während dieser Läutedauer anders als der vorhergehende, was damit erklärt werden kann, dass der anfliegende Klöppel die Glocke am Schlagring in einer zufälligen Schwingphase mit einer Bewegung gegen oder mit dem Klöppel trifft – der Anschlag fällt daher mal stärker und mal schwächer aus. Demgemäß ergeben sich auch die Beanspruchungen als Folge des jeweiligen Anschlags in unterschiedlicher Höhe. Hieraus resultiert, dass eine Bewertung von Läuteparametern immer nur anhand statistischer Größen erfolgen kann, da ansonsten der zufällige Anschlag eine Aussage verfälschen kann. In Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein 2min-Läuten eine ausreichende Zuverlässigkeit für die Bewertung von Parametern bietet.

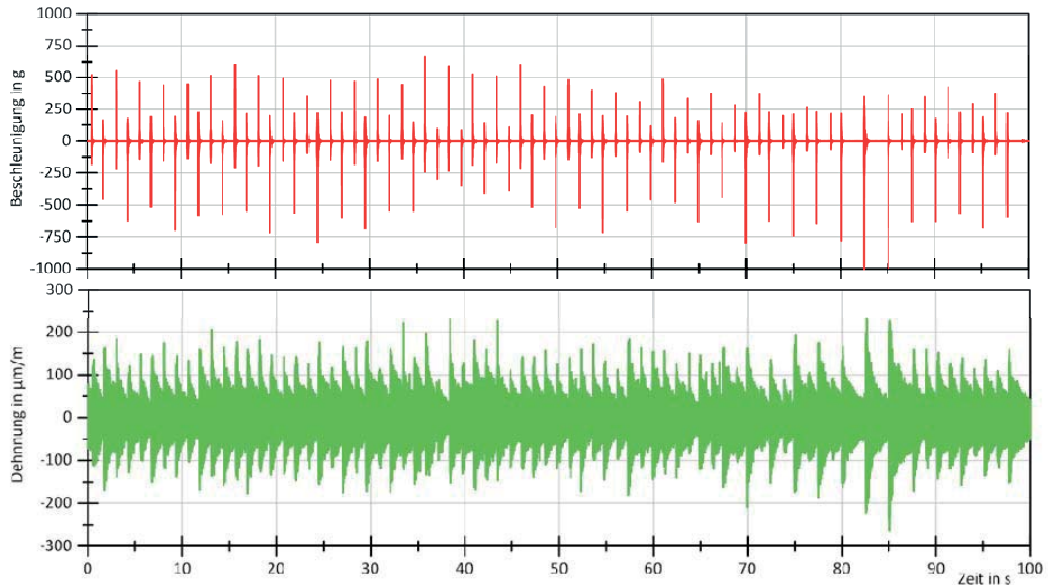


Abbildung 6: Zeitverlauf von Klöppelbeschleunigung und Dehnung am Anschlag

Mit den Forschungsarbeiten des ECC-ProBell, die mit dem EU-Projekt 2005 an der Hochschule Kempten begannen, wurden die Zusammenhänge zwischen den wirkenden Belastungen und den tatsächlich gemessenen Beanspruchungen bei unterschiedlichen Läutebedingungen und variierenden Glockensystemen systematisch untersucht, um die relevanten Läuteparameter zu ermitteln, die das Beanspruchungsgeschehen an der Glocke beeinflussen.



Abbildung 7: Läutemessung an einer Glocke mit verkröpftem Joch im Schalllabor



Als entscheidende Parameter wurden unter anderem das Klöppelmaterial, der Lätewinkel, die Klöppelmasse, die Massenverteilung am Klöppel, die Anschlagposition des Klöppels an der Glocke sowie das dynamische Verhältnis zwischen Glocken- und Klöppelpendel, die Aufhängung des Klöppels, die Zentrierung von Glocke und Klöppel sowie die Lätemaschine identifiziert. Aus diesen Parametern wurde als Bewertungsmaßstab die einheitslose Größe Anschlagintensität J entwickelt, mit der das Schadensrisiko für Glocken beurteilt werden kann, die darüber hinaus aber auch Auskunft über die Klanganregung und die Lautstärke der Glocke gibt. Die Anschlagintensität ergibt sich aus der Kombination der Läteparameter, die gemäß ihres Einflusses auf die Beanspruchung der Glocke unterschiedlich gewichtet zusammengefasst werden. Die daraus entwickelten Computermodelle ermöglichen es nun, dass das Läuteverhalten der Glocke aus der Kombination der Läteparameter simuliert und die theoretische Anschlagintensität J_{sim} berechnet werden kann. Somit lässt sich auch ohne Messung die Anschlagintensität abschätzen, um für vorhandene oder neue Glockensysteme schonende Läutebedingungen festzulegen und eine optimierte KlöppelAuslegung durchführen zu können. Aufgrund der Wechselwirkung zwischen Beanspruchung und abgestrahlter Schallenergie ist auch eine Abschätzung der zukünftigen Klanganregung und Lautstärke möglich. Auf diese Weise können auch Glockengießer und Installationsfirmen, die das entsprechende Knowhow besitzen und zur Anwendung bringen, schonende Läutebedingungen berechnen und die dafür notwendigen Sanierungsmaßnahmen umsetzen.

Eine zuverlässige Bewertung der tatsächlichen Glockenbelastungen kann jedoch nach wie vor nur mithilfe der beschriebenen experimentellen Bestimmung der Anschlagintensität J_{exp} erfolgen, wie sie durch das ECC-ProBell seit 2009 an über 200 Glocken vorgenommen wurde.

Zur Beurteilung der Anschlagintensität wurde ein vierstufiges Bewertungssystem eingeführt, um das Risiko für Ermüdungsschäden und die Klanganregung beurteilen zu können: (Abb. 8)

$J_{exp} < 2$:	sehr niedriges Risiko für Ermüdungsschäden, leise bis sehr leise Klanganregung;
$2 < J_{exp} < 3$:	niedriges Risiko für Ermüdungsschäden, mäßig laute bis laute Klanganregung;
$3 < J_{exp} < 4$:	mittleres Risiko für Ermüdungsschäden, laute bis sehr laute Klanganregung;
$J_{exp} > 4$:	hohes Risiko für Ermüdungsschäden, sehr laute und machtvolle Klanganregung.

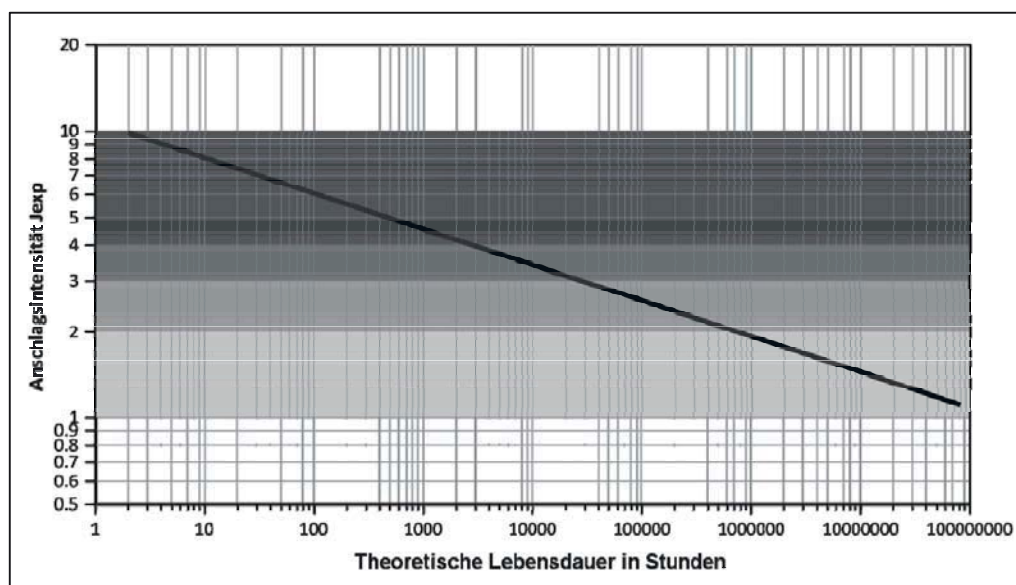


Abbildung 8: Zusammenhang der Anschlagintensität mit der abgeschätzten Lebensdauer einer Glocke als Basis zur Bewertung des Risikos für Ermüdungsschäden

Eine Voraussage, zu welchem Zeitpunkt Ermüdungsrisse konkret entstehen bzw. wie hoch die verbleibende Restläutedauer einer Glocke ist, kann jedoch allein aus der Anschlagintensität nicht unmittelbar abgeleitet werden, da in den meisten Fällen die Zusammensetzung des Materials, der Zustand der Glocke sowie die bereits ertragenen Belastungen nicht bekannt sind. Die Bewertung orientiert sich an Glocken, die in üblicher Gussqualität aus Glockenbronze gegossen wurden. Glocken mit ausgewiesenen Fehlstellen, wie sichtbare Lunker, fortgeschrittener Verschleiß oder Schweißstellen, sind daher konservativer zu bewerten, Glocken mit vermindertem Zinnanteil oder höheren Bleianteilen können hingegen progressiver bewertet werden.

Für die Bewertung der Klanganregung und der Lautstärke der Glocke über die Anschlagintensität ist zu beachten, dass das menschliche Gehör tiefe Frequenzen bei gleichem Schalldruck leiser wahrnimmt als höhere Frequenzen. Große Glocken (etwa ab Schlagton h°) benötigen daher erfahrungsgemäß eine mittlere Anschlagintensität von $J_{exp} \geq 3$, um eine gute Klanganregung auch der tiefen Töne zu erreichen. Bei kleineren Glocken sollten Anschlagintensitäten von $J_{exp} < 2$ vermieden werden, weil dann die Klanganregung nur als leise und schwach wahrgenommen wird und diese Glocken dann im Zusammenklang eines Geläutes nicht oder nur schwach hörbar sind. Ausnahmen stellen jedoch vorgeschädigte und besonders erhaltenswerte Glocken dar, die mit einer sehr niedrigen Anschlagintensität geläutet werden sollten, um eine möglichst lange Restlebensdauer zu gewährleisten.

Bei Glocken, die mit mittlerer Anschlagintensität geläutet werden, um eine entsprechende Klanganregung zu erreichen, sollte das steigende Risiko für Schäden in der Läuteordnung berücksichtigt werden, so dass große Glocken den besonderen Ereignissen vorbehalten bleiben sollten. Hohe Anschlagintensitäten von $J_{exp} > 4$ sollten jedoch immer vermieden werden.



4. Das Drehen von Glocken

Zur Schonung von Glocken und zur Verteilung der Läutebeanspruchungen werden Glocken bereits seit langer Zeit gedreht. Aufgrund der Konstruktion der Glockenkrone historischer Glocken konnten früher meist nur Drehwinkel von 90° realisiert werden, da sonst eine Befestigung am Joch nur mit großem Aufwand möglich war. Erst mit der Veränderung der Glockenkrone im 19. und 20. Jh. zu einer sternförmigen Konstruktion war ein Drehen auch um andere Winkel mit deutlich geringerem Aufwand bei der Jochbefestigung realisierbar.

Bereits durch das Fraunhofer-Institut LBF in Darmstadt wurde die Wirksamkeit des Drehens von Glocken zur Verlängerung der Lebensdauer von Glocken messtechnisch untersucht und die Ergebnisse in einem VDG-Merkblatt zusammengefasst. [2][3] Diese Messungen wurden durch das ECC-ProBell an verschiedenen Glocken wiederholt und die Beanspruchungen über den Glockenumfang beim Läuten ausgewertet. Bei allen untersuchten Glocken konnten die niedrigsten Beanspruchungen im Bereich zwischen 15° und 45° festgestellt werden, während zwischen 60° und 90° das Beanspruchungsniveau wieder deutlich ansteigt. (Abb. 9)

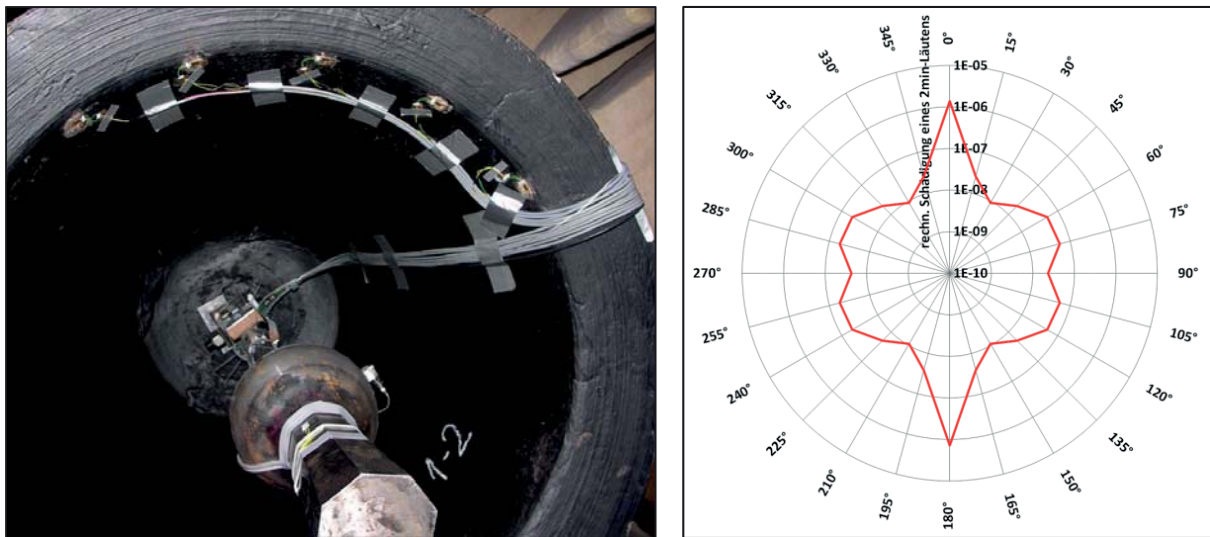


Abbildung 9: DMS-Applikation zur Bestimmung der Umfangsbeanspruchungen (links), rechnerische Schädigung einer läutenden Glocke nach Palmgren-Miner über den Glockenumfang (rechts)

Die Ursache für diese charakteristische Verteilung der Beanspruchungen über den Glockenumfang ist im Schwingverhalten der Glocke begründet. Die aus dem Klöppelanschlag resultierenden Verformungen treten nicht nur an den Anschlagstellen des Klöppels auf, sondern führen aufgrund der mit Schallgeschwindigkeit umlaufenden Schockwelle und der dadurch angeregten Schwingungen der Glocke auch zu Beanspruchungen über den gesamten Glockenumfang. Diese sind jedoch nicht gleichmäßig je nach Entfernung zur Anschlagstelle verteilt, sondern richten sich nach den Schwingformen der Glocke. Den größten Einfluss besitzen dabei die Eigenformen, die keinen Knotenkreis im Bereich des Schlagrings besitzen und gleichzei-



tig eine geringe Anzahl an Knotenmeridianen aufweisen, wie Unterton, Terz, Oktave und Duodezime. Mit zunehmender Anzahl an Knotenmeridianen steigt die frequenzabhängige Materialdämpfung, was zu geringeren Schwingamplituden führt, so dass höherfrequente Teiltöne nur einen geringen Anteil an der Gesamtschädigung der Glocke aufweisen.

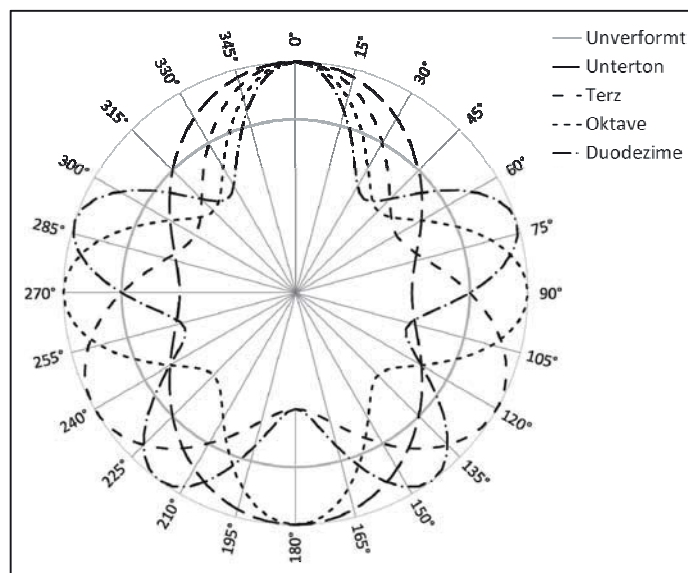


Abbildung 10: Schwingeigenschaften ausgewählter Eigenformen der Glocke in der Draufsicht

Die Eigenformen der tontiefsten und intensitätsmäßig stärksten Teiltöne besitzen ihre Knotenmeridiane bei 45° (Unterton), 30° (Terz), 22,5° (Oktave) und 18° (Duodezime) zur Anschlagstelle (Abb. 10). Da diese Bereiche am geringsten verformt werden, ist dort auch die Schädigung am niedrigsten.

Das Drehen von Glocken zur Verlängerung der Lebensdauer ist daher am effektivsten, wenn die bis dahin am stärksten beanspruchten Bereiche zum neuen Anschlag in einen Winkel zwischen 15° und 45° gedreht werden. Vorgeschädigte Bereiche, wie ausgeschlagene Schlagringe, Schweißstellen und Gussfehler lassen sich so gezielt in Winkellagen der Glocke bringen, die beim nachfolgenden Läuten wenig bis vernachlässigbar gering beansprucht werden. Es ist zu erwarten, dass auf diese Weise auch das Risswachstum von Ermüdungsrissen stark verlangsamt oder sogar gestoppt werden kann.

5. Beanspruchung, Schlagverschleiß und Klang

Beispielhaft sind in Abb. 11 die Einflüsse des Lätewinkels und der Klöppel mit unterschiedlicher Form, Masse und Material wiedergegeben. Für alle Einflussparameter wurden gezielt messtechnische Untersuchungen sowie Läuteversuche über Wochen und Monate zu deren Verifikation durchgeführt. Die Ergebnisse wurden für die Erstellung geeigneter lokaler und globaler Computermodelle herangezogen, die die gefundenen Ergebnisse in Abhängigkeit der maßgebenden Parameter rechnerisch bestimmen lassen.

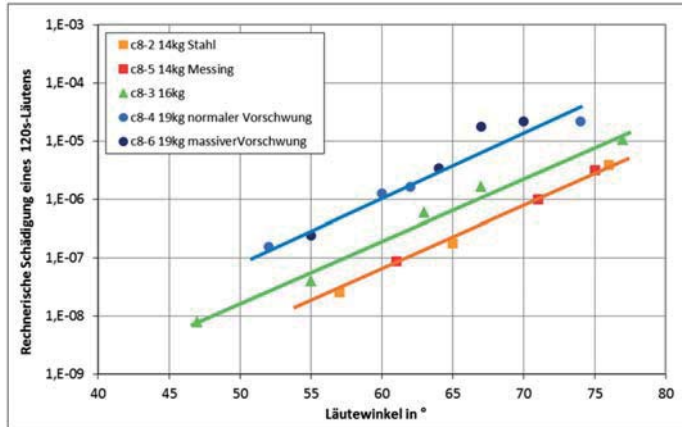


Abbildung 11: Rechnerische Schädigungen als Maß für das Schadensrisiko verschiedenen Klöppeltypen in Abhängigkeit des Läutewinkels

Die entwickelten Computermodelle erlauben die rechnerische Abschätzung des Risikos für Ermüdungsschäden sowie die Beurteilung der Läutebedingungen hinsichtlich des Schlagverschleißes, die Simulation des Läutens und die Bewertung der Beanspruchungen sowie der Belastungen.

Diese Modelle benötigen globale Parameter der Glocke und des Klöppels, die entweder aus den Konstruktionsunterlagen oder messtechnisch vor Ort bestimmt werden können:

- Masse von Glocke, Joch und Klöppel
- Schwerpunkt von Glocke/Joch und von Klöppel
- Durchmesser am Schlagring
- Schlagringdicke
- Abstand der Drehachsen
- Schwingperioden
- Klöppeldrehachse zur Anschlagfläche
- Läutewinkel

Eine eventuell zusätzlich erfolgende Messung von Klöppelbeschleunigung und Dehnung dient zur Verifikation dieser Simulationen.

Auch im Hinblick auf die Bewertung der klanglichen Eigenschaften läutender Glocken konnten die beeinflussenden Parameter und Bewertungsmaßstäbe systematisch erarbeitet werden. Mit diesen Ingenieurwerkzeugen und den dazu gehörigen Daten lassen sich vorhandene Glockensysteme beurteilen und gegebenenfalls durch neue Komponenten oder Läuteparameter optimieren. Häufig lassen sich zu hohe Beanspruchungen, ein erhöhter Schlagverschleiß oder eingeschränkte Klangqualität durch die Entwicklung eines besser angepassten Klöppels ausräumen. Von besonderer Bedeutung ist dabei, dass sich ein geeigneter Klöppel aus der Gewichtung der unterschiedlichen Anforderungen ergibt und keine Standardlösung möglich ist. So wird z.B. ein Klöppel, der für eine vorgeschädigte oder geschweißte Glocke optimal ausgelegt



ist, anders konstruiert sein als für eine neugegossene Glocke. Ebenso führen die Anforderungen an klangliche Eigenschaften oder Denkmalschutz-Aspekte zu unterschiedlichen Klöppelformen und -dimensionen.

Literatur

- [1] A. Rupp, M. Fajdiga, B. Atzori et.al.: Technical reports of the European Research Project COOP-CT-2005: Maintenance and protection of bells, Unveröffentlichte Abschlussberichte, Kempten, 2008.
- [2] A. Rupp und D. Flade: Bestimmung von Einflussgrößen auf die Lebensdauer von Glocken, LBF-Bericht Nr. 8382, Darmstadt, 1999.
- [3] VDG-Merkblatt A600E, Verbesserung der Lebensdauer von Glocken, 2002.



HÖRST DU NICHT DIE GLOCKEN?

KLINGENDE

GLOCKEN-

LANDKARTE

ZUM MITMACHEN

CREATESOUNDSCAPE.DE



EIN BEITRAG ZUM
EUROPÄISCHEN
KULTURERBEJAHRE 2018
SHARING
HERITAGE

GEFÖRDERT DURCH
 Die Beauftragte der Bundesregierung
für Kultur und Medien

 BA
BERATUNGS-
AUSSCHUSS FÜR
DAS DEUTSCHE
GLOCKENWESEN

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.





Prinzipien der Denkmalpflege bei der Sanierung von Kirchenglocken anhand von Beispielen

Rolf-Dieter Blumer

Landesamt für Denkmalpflege am Regierungspräsidium Stuttgart

Zusammenfassung

Der nachfolgende Text befasst sich mit dem denkmalgerechten Umgang mit historischen Glocken und Glockenstühlen in Hinsicht auf Material und Anlage. Dabei wird der Schwerpunkt auf die Denkmalschutzgerechte Bewertung und daraus resultierende Entscheidungen und Empfehlungen für passende Maßnahmen gelegt.

1. Restaurierung von Glocken aus Bronze und Stahl aus Sicht der Denkmalpflege. Was will und kann die Denkmalpflege hier leisten.

Die Aufgabe der Denkmalpflege ist es, Denkmäler in deren derzeitigen Überlieferung zu erhalten und zu pflegen. Glocken und deren Umfeld, Glockenstühle und Läuteanlagen fallen ebenso darunter wie z.B. eine dazugehörige Kirche.

Diese Aufgabe wird in Baden-Württemberg durch die Gebietsreferenten der Staatlichen Denkmalpflege in Baden-Württemberg wahrgenommen. Diese betreuen gemeinsam mit dem Fachreferenten Metallrestaurierung, Glocken und Läuteanlagen und beraten untere Denkmalschutzbehörden sowie kirchliche Einrichtungen (Glockensachverständige der Kirchen). Da Denkmalpflege „Ländersache“ ist, sind diese Regelungen in den übrigen Bundesländern unterschiedlich. Darüber hinaus kümmern sich die Glockensachverständigen der einzelnen Kirchen und der Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen um Glocken. Grundsätzlich sind in Baden-Württemberg, Änderungen an Kulturdenkmälern Melde- und Genehmigungspflichtig. Hierzu zählen die meisten Maßnahmen an Glocken und deren unmittelbarer Umgebung.

Zur Gesamtanlage die der Restaurierung unterliegen kann, gehören neben Glocken, auch Läute-Räder, Getriebemotoren, Glockenstühle, Uhrwerke und Steuerungen. Die Denkmalpflege in Baden-Württemberg ist bestrebt, Glockenstühle aus Metall, sowie Glockenjoche, immer in der überlieferten Form zu erhalten.

Ein Rückbau ist generell, selbst wenn historische Vorlagen vorhanden sind, von Seiten der Denkmalpflege nicht angestrebt (z.B. Ulm Münster, Angestrebter Rückbau erfolgte nicht) (Abb. 1). Dieser Grundsatz gilt ebenso für Holzkonstruktionen. Ein Rückbau von Stahl zu Holzglockenstühlen ist grundsätzlich nicht vorgesehen, jedoch manchmal unumgänglich.

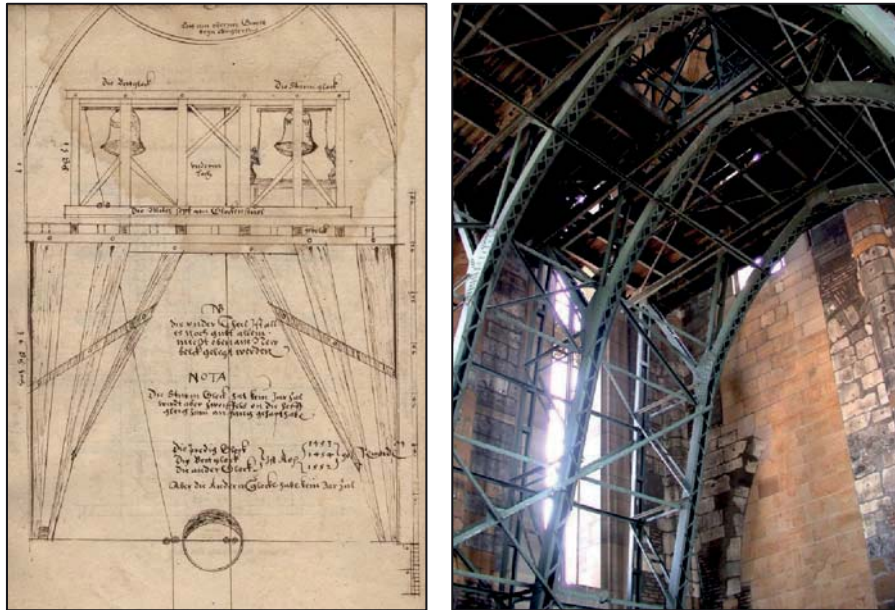


Abbildung 1: Planzeichnung aus dem 16. Jh. Münster Ulm, historischer Glockenstuhl Holzkonstruktion (links), derzeitiger Zustand des Glockenstuhls, Stahlkonstruktion aus dem 19. Jh. (rechts)

Wenn die Gutachten der jeweiligen Glockensachverständigen der Landeskirchen vorliegen, werden daraus gemeinsam mit der Denkmalpflege und der Fachgruppe Restaurierung am Landesamt für Denkmalpflege Konzeptvorschläge erarbeitet und abgestimmt.

Diese Vorgaben münden in der sogenannten denkmalschutzrechtlichen Genehmigung zur Reparatur der denkmalgeschützten Läute-Anlagen und Glocken. Hierbei gilt es abzuwägen, ob der Bestand der Glocke in Gefahr ist oder nicht. Und dieser durch eine schonendere Läutung gewährleistet werden kann. Eine Verbringung der historischen Glocke in eine Sammlung kann ebenso in Betracht gezogen werden. Allerdings sollte diese Sammlung nicht wie in Abb. 2 aussehen da der „Bestand“ hier sehr fragwürdig ist.



Abbildung 2: Stahlglocken, zweckentfremdet als Blumenkübel



Zur Geschichte jeder Glocke gehört neben dem Erscheinungsbild und Ihrem Verbleib, wenn möglich auf dem Turm. Der Akustische Fingerabdruck, der generell vor einer Sanierung von jeder Glocke erstellt werden muss. Es ist also grundsätzlich eine Tonanalyse anzufertigen, diese kann unter anderem Aussagen über Gefahren (mögliche Risse usw.) geben.

Das Landesamt für Denkmalpflege in Esslingen arbeitet eng mit dem Europäischen Kompetenzzentrum ProBell in Kempten zusammen. Die tatsächliche Schwere der vermuteten Schäden zeigt sich meist erst während dieser Untersuchungen.

Sollte etwa eine Schweißung an einer Glocke notwendig werden, so ist grundsätzlich zu berücksichtigen, dass diese Arbeit nur im Einzelfall und dann nur von erfahrenen Fachleuten ausgeführt werden kann.

Ein Schweißen der Glocken sollte nur in äußersten Notfällen vorgenommen werden, da der Schweißvorgang der Glocke schaden kann. Wie wir in Zusammenarbeit mit der Materialprüfanstalt Stuttgart nachweisen konnten.



Abbildung 3: Kloster Maulbronn, Glocke vor der Abnahme mit Aufhängungsschaden und ausgeschlagenem Schlagring. Die Glocke wurde wegen ihres historischen Werts abgehängt und ein Nachguss angefertigt. Die Glocke hängt nun in einem separaten Glockenstuhl im Inneren des Klosters.

Prinzipiell kann eine durch Bruch beschädigte Glocke durch korrekt ausgeführtes Schweißen wieder in Stand gebracht werden. Dabei ist zu beachten in welchem Bereich der Glocke der Schaden vorliegt. Ist der Schaden am Schlagring der Glocke entstanden (Risse durch Beanspruchungsfehler) können diese nach sorgfältiger Prüfung genau wie Schäden an der Aufhängung (Bruch der Krone) geschweißt werden. Vor einer möglichen Reparatur durch Schweißen muss geprüft werden, ob nicht eine schonendere Methode (Klammern, Verschraubungen) möglich ist. Bei jeder Reparatur muss eine vorhergehende Prüfung des Objekts sicherstellen das bei der Reparatur keine historischen Zeugnisse verloren gehen.



Die Glocke muss im Schweißwerk saniert werden, wozu meist eine Runderneuerung des Schlagrings gehört. Wenn das erfolgt, wird meist das Einschweißen eines neuen Klöppelhängeeisens vorgesehen und das Zuschweißen der Bohrlöcher für eine etwaige Reparatur Aufhängung wie am Beispiel Maulbronn gezeigt.



Abbildung 4: Historisches Dokument mit Beschreibung der zeitgenössischen Reparatur (Flickung, der Schaden entstand schon sehr früh) sowie Zustand heute.

Weiter wird dann der Nachguss samt anschließendem Aufschweißen des fehlenden Kronenarmes oder Deckels empfohlen. Was bleibt dann noch von Original übrig? Ist das geschichtliche Zeugnis dann nur noch ein Fragment, das auf Grund der Gefügeunterschiede auch noch Gefahr laufen kann, noch einmal zu brechen?

Nach vollständiger Prüfung des Zustandes wird das Original im Glockenstuhl ersetzt und in passender Umgebung konserviert. So wird sichergestellt, dass keine Zeitdokumente oder schützenswerte Bestände verloren gehen und Denkmäler (wie z.B. Kirchen) nicht durch das Fehlen der Glocken entwertet werden.

1.1. Ersatz gebrochener Klöppelringe

Die Reparatur eines Klöppels ist vor Beginn, während und nach Abschluss der Maßnahme durch Fotos, Pläne und Text, zu dokumentieren. Dabei sind Bauteile und Oberflächen, die verändert werden sollen, jeweils in mindestens einer Aufnahme festzuhalten. Die Veränderungen müssen auf ein Minimum begrenzt werden. Diese Anweisung verbietet Schweißungen für diese Reparatur. Auch muss die Glocke nicht unnötig transportiert werden und aus dem Turm durch Eingriffe in die Bausubstanz z.B. entfernt werden.

Die Erhaltung historischer Substanz muss bei einer Reparatur grundsätzlich den Vorrang haben. In dem Pilotprojekt wurde überprüft wie unter minimalsten Eingriffen eine Reparatur eines gebrochenen Klöppelrings erfolgen kann. Hierfür wurden an der MPA-Stuttgart schwingungsversuche angestellt. Diese ergaben



für relativ geringe Schrauben Querschnitte bereits zufriedenstellende Werte. Ein Langzeitmonitoring soll weitere Klarheit schaffen.

Hierzu wurden Innengewinde (sogen. Sacklöcher) winkeligrecht in den Glockendeckel angebracht. In die passgenauen Löcher wurden passgenaue Gewinde eingeschnitten. In diese wiederum Schrauben eingesetzt und mittels Drehmomentschlüssel ein Klöppelring eingesetzt.



Abbildung 5: gebrochene Klöppelöse, an Glockenboden abgescheuert. Die enormen Querschnitte müssen nicht sein.



Abbildung 6: Eine Prüfung ergab bei 886.196 Lastwechseln in 144 Stunden, bei einer Last von 20kN und einer Auslenkungskraft von 5kN (schwingend) unter einer Frequenz von 154,1Hz (Bruch der Schraube). Die Gewindeanschlüsse in den Sacklöchern wurden nicht geschädigt, der Bruch erfolgte beides Mal im freien Schaftbereich (Schwingungsbereich) der Schraube



Abbildung 7: Die Ergänzung erfolgte mit minimalen Mitteln durch Bohren von Sacklöchern und Verschrauben des Klöppelrings in den Glockenboden. Unter Verwendung von M10 Normgewindeimbusschrauben.

1.2. Materialität, werkstoffkundliche Untersuchungen

Um zu einer stichhaltigen und korrekten Beurteilung des Zustandes der jeweiligen Glocke zu kommen, muss im Vorfeld unter anderem der Zustand und die Beschaffenheit des Materials festgestellt und eingeordnet werden. Diese Kategorisierung ist abhängig von Alter und Metall/Metalllegierung.

Es ist es wichtig zu hinterfragen, was mit dem Metallgefüge geschehen ist (z.B. Messing). Hier kann nur eine detaillierte Untersuchung Klarheit schaffen. Durch die jahrelange Beanspruchung des Metalls der Glocken kommt es zu Materialermüdung. In den meisten Fällen wurden und werden Glocken aus sog. Glockenbronze hergestellt. Glockenbronze ist eine Legierung aus etwa 20-24 % Zinn und 76-80% Kupfer.

Studien über diese Materialermüdung (auch bei Verschrauben, Schweißen und Klammern) wurden an der MPA und der Universität in Stuttgart mit Gutachtermitteln des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Als Hinweis darf hier angefügt werden, dass ein Schweißen mittels zinnreicheren Legierungen, letztlich einer Lötung nahe kommt. Historische Reparaturen an Glocken wurden manchmal mit Zinn ausgeführt. Wurde die Reparatur durch „Einlöten“ (mit Zinn) des Kronendeckels durchgeführt sind die Ergebnisse mindestens fragwürdig zu nennen. Dies nicht nur hinsichtlich der Nachhaltigkeit. Es ist ebenso zu berücksichtigen, dass bei steigendem Kupfergehalt eines Lotes, die Festigkeit des Lotwerkstoffs zunimmt. Einhergehend mit dem steigenden Kupfergehalt ist allerdings auch eine stetige Erhöhung der Löt-/Schweiß-Temperatur notwendig. Hohe Temperaturen verändern jedoch das Gefüge der vorhandenen Glockenschmelze, es kommt im Schweißbad bei unklarer Temperaturführung und unter Sauerstoff zu Gasbildungen und Lunkern.



2. Denkmalschutzgerechtes Vorgehen bei Reparatur / Restaurierung

Als Auflagen für eine Restaurierung bzw. Schweißung einer Glocke sind folgende Punkte zu formulieren:

Zuerst ist zu prüfen, ob die Glocke entsprechend geschont werden kann, um den historischen Bestand nicht weiter zu gefährden oder zu verändern; also einen minimal invasiven Eingriff in die jeweilige Anlage vorzunehmen, um den Bestand zu gewährleisten. Sollte das nicht möglich sein, müssen bei einer Reparatur der Anlage Auflagen der Denkmalpflege berücksichtigt werden.

Die Dokumentation einer Glockenrestaurierung muss folgende Angaben umfassen:

- 1) Grundsätzlich sind die an den Glocken und Läute-Anlagen durchzuführenden Arbeiten schriftlich und photographisch zu dokumentieren.
- 2) Die Aufhängung der Glocke nach der Reparatur ist zu klären, z.B. muss die Glocke zwingend an einem geraden oder gekröpften Joch aufgehängt werden? Wie ist die Anlage konzipiert? Lässt sich das alte Joch reparieren?
- 3) Klanganalyse und Messung z.B. der Nachhalldauer vor Beginn der Restaurierungsarbeiten.
- 4) Photographische Dokumentation der Schadstellen ist mit Maßangaben rekonstruierbar vorzunehmen.
- 5) Photographische Dokumentation der Glocke z.B. nach Öffnen von Rissen und weiteren mechanischen und spanabhebenden Maßnahmen an der Glocke vor dem Schweißen.
- 6) Photographische Dokumentation des Glockenzustandes nach dem Schweißvorgang und vor dem Versäubern.
- 7) Photographische Dokumentation des Glockenzustandes vor der Rückkehr in den Turm.
- 8) Klanganalyse und erneute Messung der Nachhalldauer nach den erfolgten Restaurierungsarbeiten (z.B. Bohren, Schweißen, Drehen usw.)
- 9) Ausfertigungen der Dokumentation sind dem Eigentümer, dem zuständigen Glockensachverständigen und dem zuständigen Konservator zu überlassen.

Hierbei ist die überlieferte Anlage entsprechend ihrer Denkmalwertigkeit entscheidend. Sollte es zum Austausch des Joches kommen, (z.B. ein gekröpftes Holzjoch gegen ein ungekröpftes, ein Stahljoch gegen ein Holzjoch) muss zwingend eine Vor- bzw. Nachdokumentation erstellt werden.

Historische Klöppel müssen nicht zwingend entfernt werden. Nach DSchG gehören Klöppel zu der gesamten Läuteanlage und sind daher geschützt. Historisches Eisen ist in den meisten Fällen reines Weicheisen und dieses erfüllt die Vorgaben, 120 HB. Auch kann in den Klöppel ein Puffer (z.B. Bronzepuffer) eingearbeitet werden.

Zur Glocke als Klanginstrument gehört auch ihr Umfeld, bestehend aus Klöppel, Joch, Bänder, Glockenstuhl bzw. Glockenstube, Seilführungen, Schlagmechanik und Läutemotoren. Auch grundsätzlich das Uhrwerk und die gesamte Läutemechanik. Zur Klärung der Fragen nach der Denkmalrelevanz der einzelnen Teile sind die Stellungnahmen des Glockensachverständigen und der Denkmalpflege vor Beginn der Arbeit



ten einzuholen. Ein denkmalschutzrechtliches Genehmigungsverfahren ist in Baden-Württemberg an allen denkmalgeschützten Objekten zwingend erforderlich. Bei Beachtung dieser Maßnahmen kann ein Verlust einer ganzen Denkmallandschaft vermieden werden.

Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Werkstoffkundlern und verschiedenen Handwerksbereichen sowie Architekten, Denkmalpflegern, Glockengießern, Statikern gewährleistet den denkmalpflegerisch korrekten Erhalt der jeweiligen Anlage.

3. Weitere Materialien und Metalle

Eine weitere „Denkmallandschaft“ die derzeit besonders gefährdet ist, sind z.B. Stahlgussglocken. Diese waren, da schon immer umstritten, ungeliebte Objekte. Der Schwabe, Jakob Mayer (Bochumer Verein) war einer der Pioniere auf dem Gebiet der Stahlglockenherstellung. Mayer war der Durchbruch beim Guss von Stahl bereits 1855 gelungen. So heißt es in einem zeitgenössischen Dokument: „...dass sich die Glocken außer durch ihre vollkommene Ausführung, auch durch einen vollen und klaren Klang und gleichmäßigen Ton auszeichnen, der der besten und gleichmäßigsten Bronzeglocke nicht nachsteht“. Jakob Mayer konnte damit eine mindestens gleichwertige Glocke aus Stahl anbieten. Klang und Ton stehen bei Optimierung der Läutebedingungen (ProBell) in Ihrem typischen Klangbild einer herkömmlichen Glocke in der Wertigkeit nicht nach. Handwerker und Experten der damaligen Zeit hielten dies jedoch für unmöglich.

Bis heute ist dies allerdings ein Streitpunkt geblieben. Daher soll diese Frage hier nicht geklärt werden. Außerdem ist diese Frage in Hinsicht auf die denkmalpflegerische Erhaltungspflicht nicht relevant. Neben weiteren Varianten von Metallen und Legierungen, die für die Herstellung von Glocken verwendet wurden, sind noch zu nennen, z.B. (Liste nicht vollständig) Eisengrauguss- und Euphon-Glocken (letztere aus Messing). Messingglocken sind auf Grund ihrer Materialität als problematisch zu bewerten. Ein Erhaltungskonzept für diese Glocken ist in Arbeit.

Denkmalschutztechnisch und in Hinsicht auf die Vorgehensweise bei der Restaurierung und Erhaltung historischer Glocken muss also bemerkt werden, dass dem jeweiligen Material besondere Aufmerksamkeit geschuldet werden muss. Werkstoffkundliche Gutachten sind zwingend erforderlich. Diese Gutachten wiederum bedürfen einer Bewertung durch einen mit entsprechenden Kenntnissen ausgestatteten Fachmann. Es müssen daher unterschiedliche und spezifisch differenzierte Vorgehensweisen zur Anwendung kommen. Die Überprüfung und Zusammenarbeit durch erfahrene Sachverständige und werkstoffkundlich erfahrene Materialprüfer in Baden-Württemberg ist gewährleistet und kann auf Anfrage tätig werden.

Läuteoptimierung zur Schonung von Glocken

Andreas Rupp, Michael Plitzner

Hochschule Kempten, ECC-ProBell®

Zusammenfassung

Das Kulturgut Glocke wird beim Läuten hohen Belastungen ausgesetzt. Zur Vermeidung von Schäden, insbesondere von Ermüdungsrissen, wurden die Einflussgrößen für einen schonenden Umgang mit läutenden Glocken anhand umfangreicher Messungen und Analysen durch das ECC-ProBell ermittelt und daraus die Anschlagintensität als Bewertungsmaßstab für den Grad der Schonung entwickelt. Die Beanspruchung von Glocken wird jedoch nicht nur durch dynamische Abstimmung und das Massenverhältnis zwischen Glocke und Klöppel bestimmt, vielmehr beeinflussen zahlreiche zusätzliche Randbedingungen das Beanspruchungsgeschehen der läutenden Glocke. Aufgrund der Erfahrung aus zahlreichen Glockenmessungen in Kirchtürmen und auf Basis systematischer Untersuchungen und Tests im Labor werden der Einfluss des Jochs, der Läutemaschine sowie der Befestigung der Glocke am Joch und der Installation des Klöppels in der Glocke erörtert, und Vorschläge zur nachhaltigen Schonung von Glocken erarbeitet und an konkreten Beispielen vorgestellt.

1. Parameter zur Schonung von Glocken

Das Läuten von Glocken ist mit hohen Belastungen für den aus Bronze gegossenen Klangkörper verbunden. Jährlich werden zahlreiche Glocken vom Turm genommen, um Ermüdungsrisse durch Schweißen zu reparieren. Der Aufwand dafür ist enorm und nicht selten werden durch den Schaden und die notwendigen Schweißarbeiten wertvolle Inschriften oder Ornamente historischer Glocken unwiederbringlich zerstört.

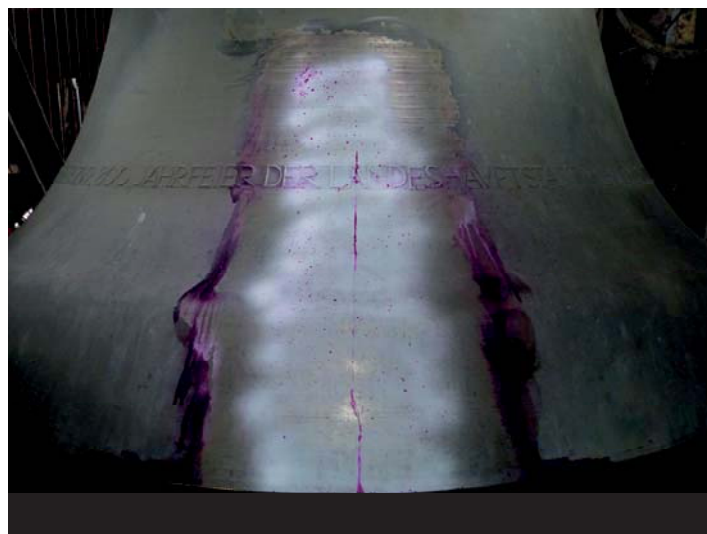


Abbildung 1: Jubiläumsglocke f° der Stadt München mit Riss, erkennbar gemacht durch Farbeindringprüfung



Die häufigsten Schäden an Glocken sind starker Verschleiß an den Anschlagstellen sowie Risse im Klangkörper der Glocke. (Abb. 1) Aufgrund der fehlenden Kenntnis über die Materialermüdung biegewechselbeanspruchter Bauteile galt bis ins 20. Jahrhundert der Verschleiß als wichtigstes Merkmal für die Beanspruchung der Glocke, so dass Glocken zur längeren Haltbarkeit bereits seit mehreren Jahrhunderten gedreht werden, um den Materialabtrag über den gesamten Glockenumfang zu verteilen. Erst mit den Untersuchungen des Fraunhofer-Instituts in Darmstadt (LBF) in den 1990er Jahren wurde begonnen, die Beanspruchungsmechanismen läutender Glocken systematisch zu untersuchen. (Abb. 2) [1]

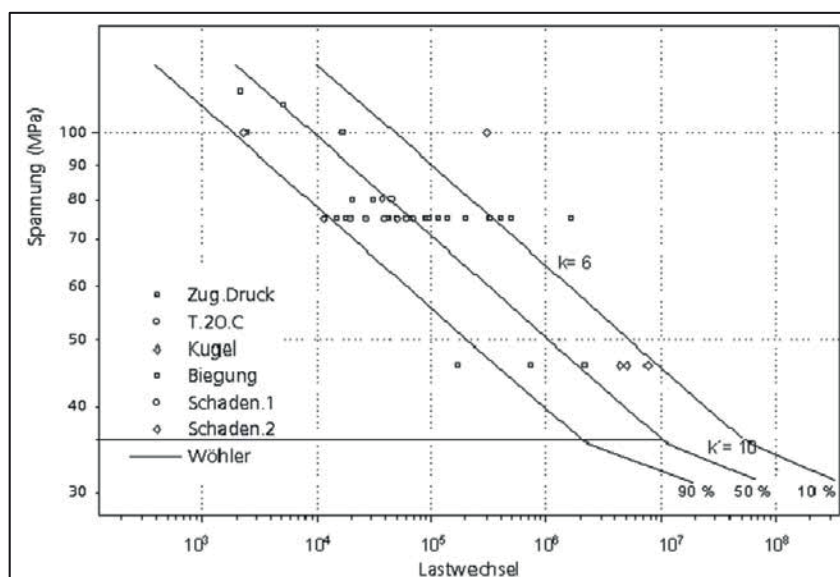


Abbildung 2: Ergebnis von Schwingfestigkeitsversuchen des LBF an Glockenbronze [1]

Demnach ist die zentrale Ursache für Risse im Klangkörper von Glocken die Materialermüdung, die durch den ständig wiederkehrenden Klöppelanschlag hervorgerufen wird. Für eine wirksame Lebensdauerverlängerung von Glocken sind daher die Beanspruchungen, die beim Läuten in der Glocke wirken, durch Optimierung der Läutebedingungen und Anschlagskonditionen möglichst gering zu halten. Um aber nicht, wie so oft bereits in der Vergangenheit geschehen, in einen blinden Aktionismus zu verfallen und pauschal schwere Klöppel und hohe Läutewinkel als Ursache für Schäden festzumachen, bedarf es einer differenzierten Auseinandersetzung mit den für das Beanspruchungsgeschehen läutender Glocken relevanten Mechanismen. Dazu gehören einerseits die präzise dynamische Analyse von Glockensystemen und andererseits die fundierte Beurteilung der für das Läuteverhalten relevanten Randbedingungen wie beispielsweise die verwendeten Materialien, die Anschlagbedingungen sowie die Einstellungen an der Läutesteuerung.

1.1. Dynamik von Glockensystemen

Die läutende Glocke lässt sich durch ein Doppelpendelsystem beschreiben (Abb. 3). Während die Glocke im Allgemeinen durch eine Läutemaschine angetrieben wird und auf einen vorgegebenen Läutewinkel einschwingt, bewegt sich der Klöppel frei aufgrund der Glockenbewegung. Seine Pendelbewegung ist be-



grenzt durch die Glockenwandung. Damit muss der Klöppel individuell an das Glockenpendel bestehend aus Glocke und Joch angepasst sein, damit es zu einer ausgewogenen Klöppelbewegung beim vorgegebenen Lätewinkel des Glockenpendels kommt, die zu einem regelmäßigen Anschlagen mit wohldefinierter Intensität führt.



Abbildung 3: Das Doppelpendelsystem einer Glocke

Die wesentlichen Parameter, die die Dynamik des Systems beschreiben, sind die reduzierten Längen L_{red} und die Massen m beider Pendel sowie der Lätewinkel α . Der Abstand der Drehachsen L_{rot} und der Öffnungswinkel der Glocke β werden meist durch die Glocke selbst vorgegeben und liegen in einem engen Streuband. Für die untersuchten Glockensysteme konnte ein Verhältnis der reduzierten Längen im Bereich von $L_{red,K}/L_{red,G} = 0,7 \dots 1,0$ festgestellt werden (Abb. 4). Dabei gilt: je niedriger das Verhältnis $L_{red,K}/L_{red,G}$ ausfällt, desto höher ist die Glocke zu läuten, damit es zu einem gleichmäßigen Klöppelanschlag kommt.

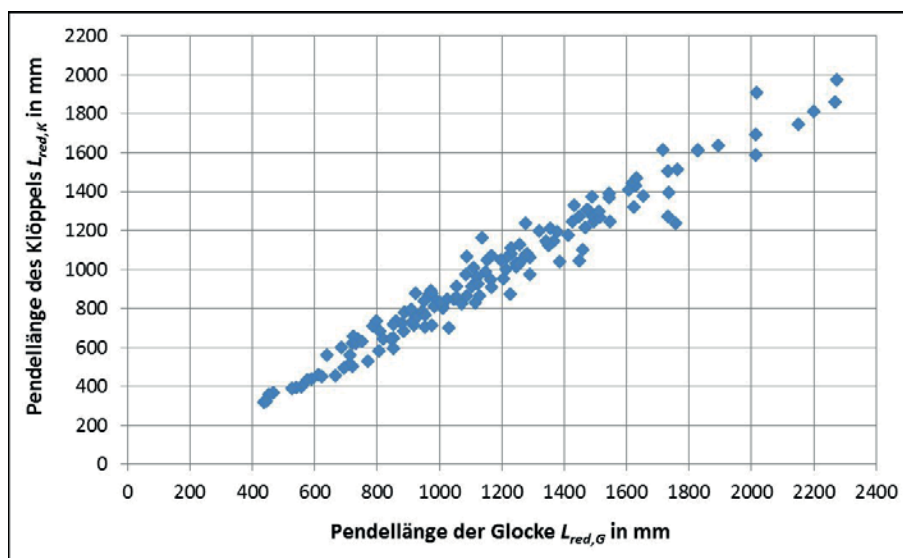


Abbildung 4: Verhältnis der reduzierten Längen von Glocken- und Klöppelpendel von etwa 150 untersuchten Glockensystemen



Um diese schwingungstechnisch erforderlichen Zusammenhänge zu erfüllen, wurden über viele Jahrzehnte Klöppel tendenziell mit einem langen Vorschwung entworfen, die eine verhältnismäßig große Pendellänge besitzen und bereits bei moderaten Lätewinkeln zu einem gleichmäßigen Anschlag führen. Eine gelungene und rasche Intonation der Glocken war mit solchen Klöppeln verhältnismäßig einfach zu erreichen.

1.2. Einfluss des Jochmaterials auf die Dynamik

Der Umbau von Glockensystemen mit Holzjochen auf Joche aus Stahl bringt schwingungstechnisch einen ähnlichen Effekt, wie der Einsatz von Klöppeln mit langem Vorschwung. Stahljoche haben in den meisten Fällen eine geringere Masse und Massenträgheit als Holzjoche und bewirken (in Abhängigkeit der Drehachse) daher eine Verringerung der Pendellänge der Glocke.

Sowohl ein langer Klöppelvorschwung als auch ein leichtes Joch führen dazu, dass das Verhältnis der Pendellängen $L_{\text{red,K}}/L_{\text{red,G}}$ ansteigt, was bei einem konstanten Lätewinkel eine Erhöhung der Anfluggeschwindigkeit des Klöppels bewirkt. Mit zunehmender Anfluggeschwindigkeit steigt jedoch die Anschlagsintensität des Klöppels, was mit erhöhten Beanspruchungen in der Glocke verbunden ist. Darüber hinaus bewirkt eine Erhöhung der Anfluggeschwindigkeit eine kürzere Anschlagdauer, die tendenziell mit einer obertönigen Klangentfaltung der Glocke einhergeht.

Die Frage steht im Raum, ob die Glockenfachfirmen in der Zeit, als viele Holzjoche aus den Türmen entfernt und durch Stahljoche ersetzt wurden, die vorhandenen Klöppeltabellen auf die neuen dynamischen Gegebenheiten angepasst haben. Vielmehr drängt sich die Vermutung auf, dass sich die Veränderungen nur auf geringfügige Anpassungen der Klöppelform beschränkt haben, da systematische Kenntnisse und Auslegungswerkzeuge fehlten.



Abbildung 5: Versuchsglocke c'' mit einem Stahljoch mit veränderbarer Kröpfung



Die häufig anzutreffende Beurteilung, dass folglich Stahljoche zu einer obertönigen Klangentfaltung bei Glocken führen, ist daher eine zu stark vereinfachende Diagnose für eine komplexe Thematik. Die vielfach vorgetragene Begründung, die hörbaren Veränderungen nach einem Umbau einer Glocke oder eines Geläutes auf Befestigung am Holzjoch seien so signifikant, dass selbst Laien von der Sinnhaftigkeit der Maßnahme einfach zu überzeugen sind, kann dabei wenig weiterhelfen, da eine solche Sanierung immer mit Veränderungen am dynamischen System und nahezu ausnahmslos mit einem neu installierten Klöppel einhergehen.

Tatsächlich gibt es echten Bedarf für wissenschaftliche Untersuchungen, wie sich Stahljoche auf den Klang sowie die Betriebssicherheit läutender Glocken auswirken. Das vorhandene Wissen über das Schwing- und Dämpfungsverhalten von Stahljochen ist mehr als dürftig und allgemeine Kriterien für die Überprüfung der Betriebssicherheit liegen nicht vor. In Fällen, in denen historische Stahljoche erhalten werden sollen, weil sie auch aus denkmalpflegerischen Aspekten erhaltenswert sind, wird ihr Zustand mit großem, werkstoffwissenschaftlichem Aufwand untersucht. Die Ergebnisse können jedoch nur selten auf andere Joche übertragen werden, da die Jochbauarten sich zu sehr unterscheiden und immer Einzellösungen vorliegen.

2. Läute- und Anschlagbedingungen

Hohe Glockenbeanspruchungen resultieren jedoch nicht nur aus ungünstigen dynamischen Verhältnissen zwischen Glocken- und Klöppelpendel oder einer zu hohen Klöppelmasse, sondern auch häufig aus ungünstigen Läute- und Anschlagbedingungen. Bei einer Vielzahl der untersuchten Glocken wurden Läutebedingungen mit sehr hohen Glockenbeanspruchungen vorgefunden, obwohl das dynamische System angemessen ausgelegt war. Die Hauptursachen für zu hohe Beanspruchungen waren einerseits ungünstige Einstellungen an der Läutemaschine und andererseits eine unpräzise Installation der Glocke am Joch und des Klöppels in der Glocke.

2.1. Einfluss der Läutemaschine

Die Läutemaschine ist der Energielieferant der Glocke. Sie ist verantwortlich für ein schonendes Einläuten und ein behutsames Abbremsen der Glocke und soll im konstanten Betrieb nur möglichst geringe Winkelvariationen für ein stabiles Läuten zulassen. Insbesondere beim Einläute- und Bremsvorgang können jedoch nicht selten Prellschläge festgestellt werden, bei denen der Klöppel mit hoher Anfluggeschwindigkeit die Glocke anschlägt.

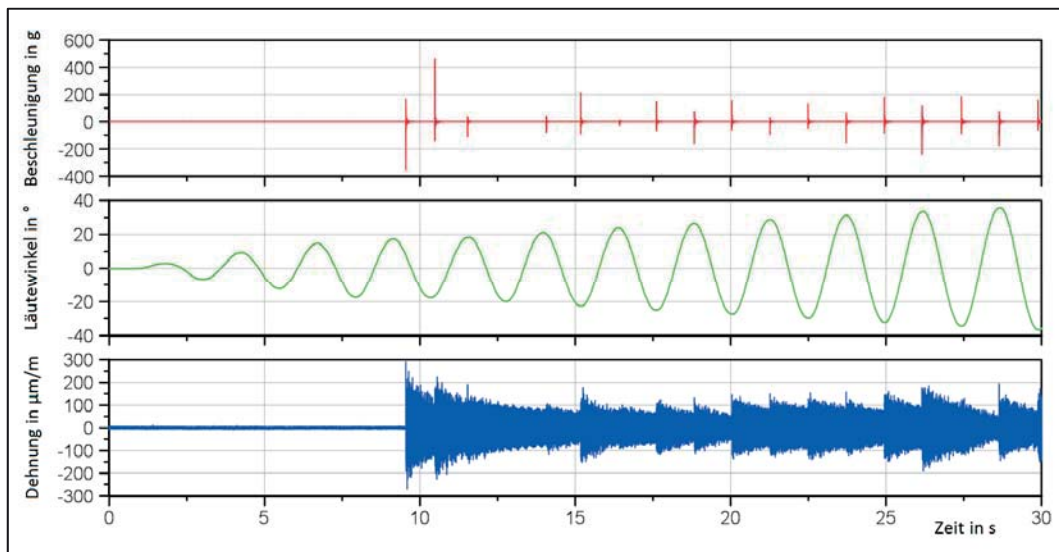


Abbildung 6: Prellschläge beim Einläuten: Anschlagsintensität und Beanspruchung der Glocke

In Abb. 6 sind die bei solchen Prellschlägen aufgezeichneten Messdaten dargestellt. Während sich die Glocke im Einläutevorgang befindet, schlägt der Klöppel in der Abwärtsbewegung der Glocke an, was zu einer sehr hohen Anschlagsintensität des Klöppels führt. Im vorliegenden Fall sind die dabei gemessenen Beanspruchungen der Glocke um ca. 50% höher als beim konstanten Läuten, so dass die schädigende Wirkung von etwa 5 solchen Anschlägen genauso hoch ist wie das eines konstanten Läutens über 2 Minuten, was bei üblicher Läutedauer zu einer stark verkürzten Lebensdauer führen kann.

Nicht nur aus klanglicher Sicht, sondern auch zur Schonung der Glocke ist daher bei der Auswahl, der Installation und der Wartung von Läutemaschinen auf das Vermeiden von Prellschlägen zu achten. Insbesondere das Einhalten eines möglichst konstanten Lätewinkels mit einer Variation von weniger als $\pm 1^\circ$ führt tendenziell zu einem gleichmäßigeren Läuten. Nach den bisherigen Erfahrungen sind dazu winkelgesteuerte Läuteantriebe besser geeignet als zeitgesteuerte.

2.2. Einfluss der Glockeninstallation am Joch

Die Installation von Glocken am Joch ist eine diffizile Aufgabe, die zusätzlich erschwert wird, wenn zur Verlängerung der Lebensdauer von Glocken ein fester Drehwinkel der Glocke vorgegeben wird, wenn ein vorhandenes historisches Holzjoch angepasst werden muss oder wenn die Glockenkronen ungleichmäßig oder vorgeschädigt ist (bspw. ein fehlender Henkel). Dennoch ist eine präzise Ausrichtung von Glocke und Joch unerlässlich, um eine lotrechte Installation des Glockensystems sicherzustellen. Eine Schrägstellung der Glocke erschwert die mittige Installation des Klöppels und bewirkt einen ungleichmäßigen Antrieb durch die Läutemaschine. Moderne Läutesteuerungen ermöglichen zwar eine asymmetrische Lastverteilung beim Läuteantrieb, erfahrungsgemäß kann jedoch eine signifikante Schrägstellung der Glocke von $0,5^\circ$ und mehr durch die Läutemaschine nicht mehr ausgeglichen werden.

Der Einfluss der Schrägstellung einer Glocke auf die Läutebeanspruchung wurde mithilfe von Läutemessungen ermittelt. Dazu wurde an einer Glocke mit präzise mittig installiertem Klöppel ein Hebel-



arm mit verschiebbarem Gewicht angebracht. Im vorliegenden Beispiel (Abb. 7) wurde eine a'-Glocke mit 860mm derart ausgerichtet, dass eine Höhendifferenz zwischen Vorder- und Rückseite der Glocke von 8mm gemessen wurde, was einer Schräglage von $0,5^\circ$ bedeutet.

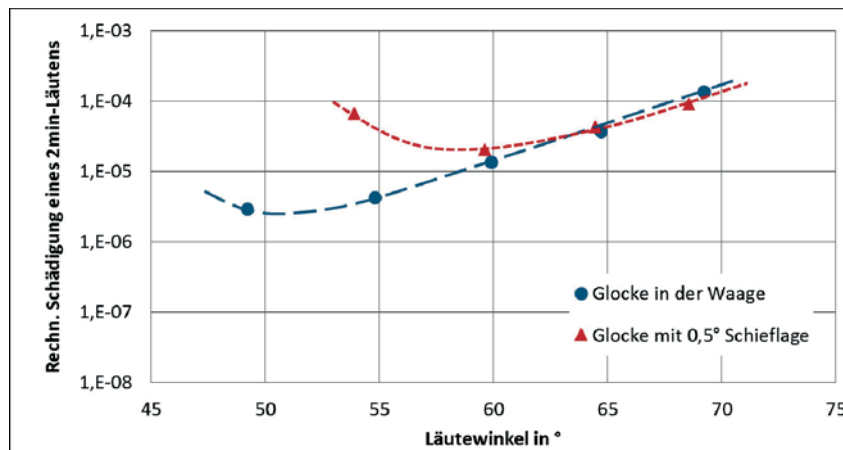


Abbildung 7: Einfluss der Glockeninstallation auf die Schädigung einer Glocke

Die Ergebnisse dieser Messungen (Abb. 7) lassen folgende Rückschlüsse zu:

- Bei einer Schrägstellung der Glocke wird für ein gleichmäßiges Läuten ein höherer Läutewinkel benötigt als bei gerade aufgehängter Glocke. Der höhere Läutewinkel bewirkt bekanntlich eine höhere Läutebeanspruchung und eine ungünstigere Klangentfaltung, da durch die höhere Anfluggeschwindigkeit des Klöppels eine obertönige Klanganregung stattfindet.
- Sobald ein gleichmäßiges Läuten erreicht wird, unterscheiden sich die Beanspruchungen der schrägen zur gerade aufgehängten Glocke nicht mehr.
- Unregelmäßigkeiten im Läutebetrieb bewirken eine erhöhte Beanspruchung der Glocke, so dass insbesondere Aussetzer und Prellschläge beim Läuten unbedingt vermieden werden sollten. Durch eine moderate Erhöhung des Läutewinkels, die dann zu einem regelmäßigen Läutevorgang führt, können die Beanspruchungen an der Glocke verringert werden.

Es ist daher unerlässlich, bei der Installation von Glocken auf eine waagerechte Position des Glockensystems zu achten. Bei der Verwendung historischer Joche oder anderen Situationen, die eine waagerechte Installation erschweren oder unmöglich machen, können Ausgleichgewichte, die über einen Hebelarm am Joch oder am Läuterad befestigt sind, bei der Ausrichtung der Glocke helfen. Eine Justierung mithilfe der Steuerung der Läutemaschine ist nur für die Feintonation geeignet und ersetzt nicht die präzise mechanische Arbeit bei der Ausrichtung der Glocke am Joch.

Bei der Installation neuer Holzjoche ist zudem zu beachten, dass durch den Materialschwund des Joches die Ausrichtung der Glocke nach einiger Zeit überprüft und möglicherweise nachgearbeitet werden muss. Eine reine Erhöhung des Läutewinkels hat eine dauerhafte Läutebeanspruchung und damit einer Verringerung der Lebensdauer der Glocke zur Folge.



2.3. Einfluss der Klöppelinstallation

Ebenso wie die präzise Installation der Glocke ist auch die mittige Ausrichtung des Klöppels von Bedeutung für die Beanspruchung von Glocken beim Läuten. Vielfach kann beobachtet werden, dass Klöppel nicht exakt mittig in der Glocke installiert sind. Die Ursachen dafür sind u.a. Außermittigkeit der Mittelbohrung in der Krone, die beschriebene Schrägstellung der Glocke am Joch, ungenaue Montagearbeit oder fehlende Justierbarkeit. Die Folgen einer außermittigen Klöppelinstallation sind entweder ein unregelmäßiger Klangeindruck oder ein zu hoch eingestellter Läutewinkel, um die Unregelmäßigkeit durch größere Energiezufuhr auszugleichen. Beides führt zu einer Erhöhung der Beanspruchungen der Glocke beim Läuten.

Anhand von Laborversuchen an einer Glocke mit einem Durchmesser von etwa 1000mm wurde der Einfluss der Außermittigkeit des Klöppels auf die Beanspruchung der Glocke beim Läuten ermittelt (Abb. 8). Mit zunehmender Außermittigkeit des Klöppels steigt die Schädigung an, so dass bei dieser Glocke bei einer Außermittigkeit von 9mm eine Verdoppelung und bei 12mm bereits eine Vervierfachung der Schädigungen an der Glocke festgestellt wurde. In Bezug auf die zu erwartende Lebensdauer der Glocke entspricht dies bei 9mm eine Halbierung bzw. bei 12mm eine Viertelung der Lebensdauer.

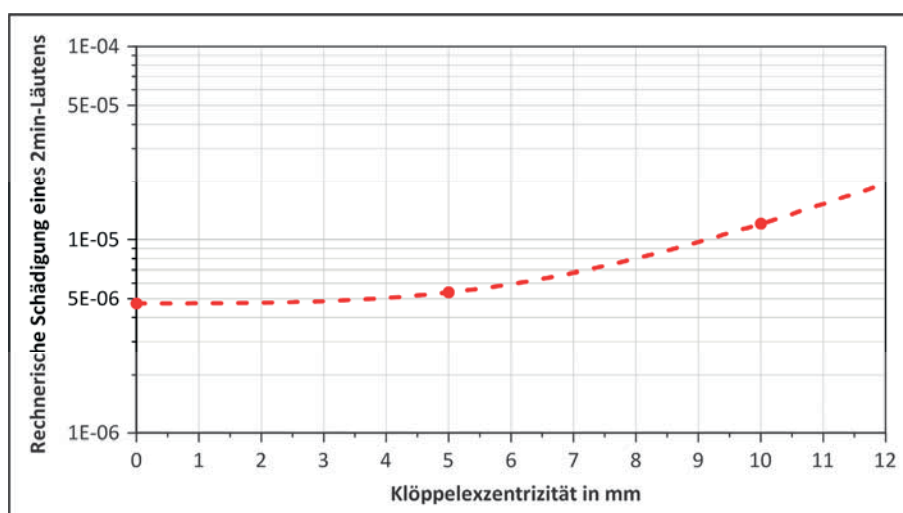


Abbildung 8: Einfluss der Klöppelaußermittigkeit auf die Schädigung einer Glocke ($\varnothing \approx 1000\text{mm}$)

Da bisher in Deutschland moderne Glocken mit Mittelbohrung üblicherweise mit starren, nicht-justierbaren Klöppelaufhängungen ausgestattet wurden, muss davon ausgegangen werden, dass eine Vielzahl dieser Glocken mit nicht exakt ausgerichteten Klöppeln geläutet wird. Auch hier lässt sich mit modernen Läutesteuerungen durch Eingabe einer asymmetrischen Lastverteilung beim Läuteantrieb gegensteuern, allerdings nur bei einer geringen Außermittigkeit des Klöppels und unter Inkaufnahme eines erhöhten Läutewinkels mit erhöhten Läutebeanspruchungen und einer ungünstigeren Klangentfaltung.

Aufgrund dieser Erkenntnisse schließt sich nahezu aus, dass bei historischen Glocken mit eingegossenen Klöppelösen die Klöppel direkt in die Klöppelöse eingebunden werden. Bei dieser Art der Installation ist eine präzise Ausrichtung des Klöppels in der Glocke nicht möglich, so dass in die ohnehin schon über viele



Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte hindurch beanspruchten Glocken unnötig hohe Beanspruchungen eingebracht werden und die Lebensdauer dadurch nachhaltig verkürzt wird.

Die mittige Ausrichtung des Klöppels bezieht sich jedoch nicht nur auf die Läuterichtung, sondern auch die Installation quer zur Läuterichtung und beinhaltet selbstverständliche auch die präzise Ausrichtung der Schwingrichtung des Klöppels auf die Schwingrichtung der Glocke. Diese Parameter bedingen das Beanspruchungsgeschehen der Glocke nur zweitrangig, dafür aber beeinflussen sie die Gleichmäßigkeit des Klöppelanschlags sowie die Klangentfaltung der Glocke beim Läuten und haben direkten Einfluss auf den Verschleiß und Materialabtrag an den Anschlagstellen. Durch eine seitlich außermittige oder hinsichtlich der Schwingrichtung schräge Installation des Klöppels in der Glocke erfährt der Klöppel beim Anschlagen ein Moment, das ihn seitlich über die Anschlagfläche rutschen lässt, was mit einem hohen Materialabtrag verbunden ist. Insbesondere bei historischen Glocken, bei denen der Klöppel in der Vergangenheit in die Klöppelöse eingebunden war, können häufig sehr große Anschlagflächen mit hohem Materialverlust festgestellt werden. (Abb. 9)



Abbildung 9: Breite Anschlagflächen mit hohem Materialabtrag aufgrund sehr schlechter Klöppelführung

Bezüglich der Klöppelinstallation gibt es daher in Deutschland erheblichen Handlungsbedarf. Für historische Glocken mit eingegossener Klöppelöse ist die Verwendung einer sogenannten Doppelgelenksaufhängung nach Schweizer Vorbild empfehlenswert. (Abb. 10-11) Durch Verwendung von Kugel- oder Gleitlager ist der Klöppel sehr leichtgängig, was eine präzise Installation erleichtert und eine bessere Feintonation ermöglicht. Der Einsatz eines Klöppelbügels ermöglicht einen hohen Drehpunkt auf Höhe der eingegossenen Klöppelöse, so dass eine für die Klangentfaltung günstige Anflugrichtung des Klöppels auf den Schlagring der Glocke erreicht wird. Die Einbindung des Klöppels über das Leder erfolgt am unteren Drehgelenk, das im engeren Sinne nicht als freigängiges Gelenk anzusehen ist, sondern ein elastisches Gelenk darstellt, um die starken Vibrationen, die durch den Anschlag auf den Klöppel wirken, nicht auf das Lager und die Glocke zu übertragen. Die Kombination aus kugel- oder gleitgelagerter Aufhängung und verhältnismäßig strammer Ledereinbindung ermöglicht eine sehr gute Seitenführung des Klöppels und schließt ein seitliches Rutschen des Klöppels aus. Dadurch wird eine verhältnismäßig kleine Anschlagstelle des Klöppels erreicht, die nachweislich zu niedrigerem Verschleiß und geringerem Materialabtrag führt. [2]

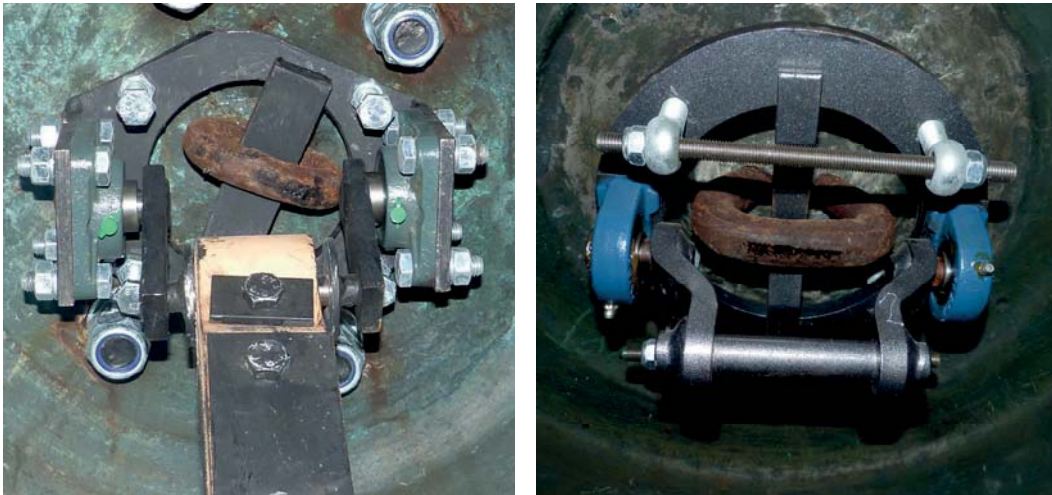


Abbildung 10: Verschiedene Ausführungen von Doppelgelenksaufhängungen in Glocken mit Klöppelöse



Abbildung 11: Verschiedene Ausführungen von justierbaren Doppelgelenksaufhängungen in Glocken mit Mittelbohrung

Zur Schonung der Glocke und als Möglichkeit einer zusätzlichen Justiermöglichkeit bei der Intonation von Glocken sollte daher der Mehraufwand für eine justierbare Klöppelaufhängung nicht gescheut werden, sondern vielmehr als Standard in jedem Leistungsverzeichnis definiert werden. Darüber hinaus kann mithilfe einer simplen Abstandsmessung jeder Glockeninstallateur und Sachverständige problemlos überprüfen, in welcher Position sich der Klöppel in der Glocke befindet und ob Handlungsbedarf für eine Nachjustierung der Anlage besteht. Damit könnten vielerorts mit einfachen Mitteln die Läutebeanspruchungen der Glocken verringert werden.



3. Sanierungskonzepte zur Schonung von Glocken in der Praxis

3.1. Die große Glocke des Stifts St. Florian

Die große Glocke des Stifts St. Florian, die auch als Angst- oder Prälatenglocke bezeichnet wird, wurde 1717 von Mathias Prininger gegossen. (Abb. 12 links) Die Glocke ist mit einem vergleichsweise schweren und hohen Joch ausgestattet. Die Kombination aus schwerem Joch und barocker Glockenrippe, die eine geringere Höhe als eine typische gotische Rippe aufweist, führt zu ungünstigen geometrischen und dynamischen Bedingungen bei der Klöppelauslegung, so dass insbesondere seit der Ausstattung der Glocke mit elektrischen Läutemaschinen kein regelmäßiges Läuten mit einem Klöppel in üblicher Formgebung bei moderatem Lätewinkel möglich war. Daraufhin wurde die Glocke mit einem Gegengewichtsklöppel in Scheibenform ausgestattet, um bei einem niedrigen Lätewinkel ein gleichmäßiges Läuten zu erreichen. (Abb. 12 rechts) Die Klangentfaltung mit diesem Klöppel war aufgrund der Klöppelform und der ungünstigen Anschlagbedingungen sehr eingeschränkt.



Abbildung 12: Die große Glocke von St. Florian (links) mit dem alten Gegengewichtsklöppel in Scheibenform (rechts)

Bei der Untersuchung der Läutebedingungen und des Zustands der Glocke im Mai 2012 wurde zwar ein niedriges Schadensrisiko beim Läuten der Glocke festgestellt, allerdings waren die ungünstigen Anschlagbedingungen des Scheibenklöppels bezüglich Verschleiß und Materialabtrag sowie die eingeschränkte Klangentfaltung der Glocke offensichtlich. Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde im Juli 2015 ein Klöppel ausgelegt und konstruiert, der zur Verbesserung der Anschlagbedingungen und der Klangentfaltung beitragen, dabei jedoch die Belastungen auf den Glockenstuhl und Glockenturm nicht signifikant erhöhen sollte. Zur Verbesserung der Anschlagbedingungen wurde der neue Klöppel mit einer Doppelgelenksaufhängung ausgestattet, um eine gute Klöppelführung und eine hohe Drehachse in der Glocke zu ermögli-



chen. Zur Verbesserung des Klanges wurde die Massenverteilung am Klöppel optimiert, um eine ausgewogene Anregung der tiefen und hohen Teiltöne der Glocke zu erreichen. (Abb. 13)



Abbildung 13: Der neue Klöppel für die große Glocke von St. Florian (links) mit Doppelgelenkaufhängung (rechts)

Mit einer Gesamtmasse von 308kg ist der Klöppel gegenüber dem Gegengewichtsklöppel um ein Drittel leichter, so dass der eingegossene Klöppelzapfen deutlich entlastet werden konnte. Bei einem Lätewinkel von 51° schlägt der neue Klöppel mit einer Anschlagintensität von $J_{\text{exp}} = 2,95$ die Glocke an, der Gegengewichtsklöppel verursachte eine Anschlagintensität von $J_{\text{exp}} = 2,45$ bei einem Lätewinkel von 32° . Mit der wohldosierten Erhöhung der Anschlagintensität konnte eine stark verbesserte Klanganregung der Glocke erreicht werden, die sich vor allem durch einen deutlich ausgewogeneren Glockenklang zwischen den hohen und tiefen Teiltönen erkennbar macht.

3.2. Geläutesanierung von St. Johannis in Lüneburg am Beispiel von Glocke 5

Das fünfstimmige Geläute von St. Johannis in Lüneburg wurde von 2011 bis 2014 grundlegend saniert und um drei weitere Glocken erweitert. An zwei der fünf vorhandenen Glocken war bei Beanspruchungsmessungen durch das ECC-ProBell eine hohe Anschlagintensität von $J_{\text{exp}} \geq 4$ festgestellt wurden. An der Probeglocke (e' mit ca. 1700kg) hatte diese hohe Anschlagintensität bereits zu einem Riss geführt, der 2008 festgestellt worden war. Der Riss befand sich 75° zur Anschlagstelle des Klöppels und erstreckte sich von der Schärfe ausgehend senkrecht bis über den Schlagring der Glocke. (Abb. 14)



Abbildung 14: Die Probeglocke von St. Johannis in Lüneburg vor der Sanierung (links) mit Riss am Schlagring (rechts)

Nach der Schweißung wurde auf Wunsch der Gemeinde die Glocke wieder in ihrer ursprünglichen Läuerrichtung aufgehängt, so dass der geschweißte Riss sich nun ca. 15° von der Anschlagstelle des Klöppels entfernt befindet. Der Klöppel sollte wie bei allen anderen Glocken des Geläutes in achteckiger Ausführung freiformgeschmiedet werden. Um die Glocke vor erneuten Schäden zu schonen ohne dabei auf eine gute Klangentfaltung zu verzichten, wurde die Masse des Klöppels um 30% auf 63kg reduziert, der Klöppel mit einer Doppelgelenksaufhängung ausgestattet und die Massenverteilung am Klöppel verändert. Dazu wurde die Klöppelkugel um 10% auf 180mm verkleinert, der Vorschwung jedoch kompakter und massiver ausgeführt, um die Vorschwungsmasse zur Kugel hin zu konzentrieren. (Abb. 15)



Abbildung 15: Der Klöppel der Probeglocke vor der Sanierung (links) und nach der Sanierung (rechts)



Die Veränderungen am Klöppel sowie die Verringerung des Lätewinkels von 69° auf 61° ermöglichte eine Senkung der Anschlagintensität auf $J_{\text{exp}} = 2,5$ und damit eine deutliche Verringerung des Risikos für einen erneuten Ermüdungsschaden. Der Klöppel schlägt nun zwar auf das aufgeschweißte Material, das häufig aufgrund von Gasporosität eine verminderte Beanspruchbarkeit aufweist, mithilfe einer sehr guten Klöppelführung und einer exakten Klöppeljustierung konnte jedoch eine lokal begrenzte Anschlagstelle realisiert werden, was zu einer lokalen Verdichtung des Schweißgutes führt und übermäßigem Schlagverschleiß vorbeugt.

3.3. Geläutesanierung im Münster von Mittelzell auf der Insel Reichenau am Beispiel von Glocke 1

Das Hauptgeläute des Münsters St. Marien in Mittelzell auf der Insel Reichenau umfasst fünf Glocken, von denen zwei Glocken aus dem Mittelalter, eine Glocke aus dem Spätmittelalter und zwei Glocken, darunter Glocke 1 die „Hosanna“ (c' mit 2350kg), aus dem 20. Jahrhundert stammen. Aufgrund notwendiger Sanierungsarbeiten am Kirchturm sowie zur Verbesserung der Läutebedingungen wurden im Mai 2009 die Glocken messtechnisch untersucht und die tatsächlichen Belastungen der Glocken beim Läuten ermittelt. Dabei wurde an der Hosanna eine sehr hohe Anschlagintensität von $J_{\text{exp}} = 5,8$ ermittelt, die vor allem auf den viel zu groß dimensionierten Klöppelballen (2,3-fache der Schlagringdicke) zurückzuführen war. (Abb. 16 links)

Zur Verminderung der Beanspruchungen an Glocke 1 und zur Verbesserung der Klangentfaltung aller Glocken und des Gesamtgeläutes im Zusammenklang wurden optimierte Läutebedingungen kalkuliert, die den Vorgaben zur dynamischen Entlastung des Turmes genügen und gleichzeitig die Schonung der Glocken gewährleisten. Dazu wurden neue Klöppel ausgelegt, die sich in ihrer Gestaltung an Klöppelformen anlehnen, wie sie zuvor hinsichtlich einer besonders grundtönigen Klangentfaltung bei Projekten in der Schweiz (Kathedrale Solothurn, Stadtkirche Thun) umgesetzt worden waren. (Abb. 16 rechts)



Abbildung 16: Die Hosanna im Münster Mittelzell vor der Sanierung (links) und der neue Klöppel nach der Sanierung (rechts)



Der neue Klöppel wurde mit einer justierbaren Doppelgelenksaufhängung ausgestattet, die eine exakt mittige Ausrichtung des Klöppels in der Glocke und eine gute seitliche Klöppelführung ermöglicht. Der Klöppelballen wurde auf das 1,7-fache der Schlagringdicke verkleinert und der Klöppelvorschwingung sehr kompakt gestaltet, so dass Klöppelballen und Vorschwingung nun als mechanische Einheit betrachtet werden können. Die Anschlagintensität konnte so auf $J_{\text{exp}} = 2,8$ gesenkt werden. Die Klangentfaltung der Glocke passt sich nun harmonisch ins Gesamtgeläute ein und die gewünschte grundtönige Klangentfaltung konnte erreicht werden.

4. Umgang mit dem Kulturgut Glocke

Die Schonung von Glocken für eine möglichst lange Lebensdauer ist aus denkmalpflegerischer Sicht und aus Sicht der Nachhaltigkeit obligat. Die durch das Europäische Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell entwickelten Methoden ermöglichen zum einen eine Abschätzung der Beanspruchung der Glocke beim Läuten, zum anderen können mithilfe messtechnischer Untersuchungen die tatsächlichen Belastungen und Beanspruchungen gemessen und bewertet werden. Bei der Sanierung historischer Bauwerke und Gegenstände hat es sich schon seit langem durchgesetzt, gutachterliche Bewertungen einzuholen, um Erkenntnisse über dessen tatsächlichen Zustand zu erhalten und die optimale Sanierungsmethode auszuwählen. Viele Glocken sind durch den jahrzehnte- oder jahrhundertelangen Betrieb stark in Mitleidenschaft gezogen worden, so dass eine messtechnische Unterstützung bei der Wahl der Sanierungsmethoden eine notwendige Erweiterung des Knowhows der Glockensachverständigen und Denkmalschutzbehörden darstellt. Insbesondere bei beschädigten Glocken können so möglicherweise noch Methoden gewählt werden, die einen thermischen Eingriff, wie er beim Schweißen notwendig ist, verhindern, um das Kulturgut Glocke nicht nachhaltig zu verändern und dennoch die Ausbreitung der vorhandenen Schäden stark zu verlangsamen oder zum Stillstand zu bringen.

Literatur

- [1] A. Rupp und D. Flade: Bestimmung von Einflussgrößen auf die Lebensdauer von Glocken, LBF-Bericht Nr. 8382, Darmstadt, 1999.
- [2] A. Rupp, M. Fajdiga, B. Atzori et.al.: Technical reports of the European Research Project COOP-CT-2005: Maintenance and protection of bells, Unveröffentlichte Abschlussberichte, Kempten, 2008.





RÜETSCHI

So klingt Zukunft. Seit 1367.



Kirchturm- und Geläutetechnik, die Emotionen weckt

Freude für alle Sinne: Rüetschi ist Ihr Partner für die gesamte Kirchturmtechnik. Vom Glockenguss und der Glockenstuhl-Konstruktion über das Uhrwerk bis zur Elektrotechnik des Glockenantriebs und der Elektronik für die Glockengeläute. Alles aus einer Hand – inklusive Restaurierung, Sanierung und Unterhalt bestehender Anlagen.



Kunst- und Industrieguss
Glocken- und Geläuteanlagen
Kirchturmtechnik, Gebäudeautomatationen
Turmuhren und Zeitanzeigen

Glockengiesserei H. Rüetschi AG
Rain 44, 5000 Aarau
Tel. +41 62 824 43 43
www.guk.ch

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.





Klangbildung und Klangwirkung – Beobachtungen zum Einfluss des technischen Umfelds auf die Glockenmusik

Matthias Walter¹

Denkmalpflege des Kantons Bern

In diesem Beitrag wird auf Klangbeispiele verwiesen. Die zugehörigen Audiodateien können auf der Homepage des Europäischen Kompetenzzentrums für Glocken ECC-ProBell[®] angehört bzw. heruntergeladen werden: www.ecc-probell.de/Tagungsband

Zusammenfassung

Viele unserer Geläute könnten durch Sanierungen an musikalischem Wohlklang gewinnen und damit auch an Ausstrahlungskraft und Wertschätzung. Die technischen Maßnahmen einer Sanierung setzen sich allerdings zumeist nur indirekt musikalische Ziele, beispielsweise indem der Einbau von Holzarmaturen den Klang weicher machen soll. Dem klanglich und beanspruchungsmäßig wesentlich entscheidenderen Einfluss des Klöppels wird dagegen noch viel zu wenig Beachtung geschenkt – die stählerne Zunge wird noch allzu häufig ausschließlich unter ihren grobdynamischen Gesichtspunkten betrachtet. Nähere Betrachtungen zeigen indes, dass leicht unterschiedliche Formen und Dimensionen des Klöppels bereits wesentlich auf die Kontaktdauer an der Glocke einwirken, die für die Klangwirkung bedeutsamer ist als bisher angenommen. Auf dieser Basis lassen sich auch bislang verpönte Läutetechniken einsetzen und je nach spezifischer Vorbedingung im Bereich von Akustik, Statik oder Lärmproblematik virtuos nutzen.

1. Einführung

Glockenklang unter musikalischem Gesichtspunkt sollte gefallen und erheben, imponieren oder begeistern. Das war vermutlich schon immer so. Dass zu Zeiten Karls des Großen bereits einzelne Gießer wie der Mönch Tancho besonders gefragt waren² und dass spätestens im 11. Jh. Glocken Namen wie „Cantabona“ trugen³, deutet darauf hin, dass die Ansprüche an den Glockenklang bereits im Mittelalter weit über ein charakteristisches und weitem hörbares Signal hinausgingen. Musikalisch bessere und

¹ Der Aufsatz mit seiner teilweise ideologischen Thematik entstand auf der Basis langjähriger Erkundungen und meinungsbildender Gespräche mit diversen Interessierten und Fachkollegen aus verschiedenen europäischen Ländern. Für ihre besondere Mitwirkung danke ich Jan Hendrik Stens und Matthias Braun vom Deutschen Glockenmuseum e.V., Michael Plitzner danke ich für die Überprüfung technikbezogener Theorien.

² Nicolaus H. Gundling. Allgemeines geistliches Recht der drei Christlichen Haupt-Religionen, Frankfurt am Main und Leipzig 1744, S. 1696.

³ Vom Hildesheimer Bischof Azelin Mitte 11. Jahrhundert so getauft. Vgl. Deutsche Enzyklopädie oder Allgemeines Real-Wörterbuch aller Künste und Wissenschaften, Frankfurt am Main 1778–1804, Band 12, S. 609.



schlechtere Glocken scheinen immerzu unterschieden worden zu sein, die Gießer wetteiferten miteinander,⁴ und die 1951 herausgegebenen Limburger Richtlinien etablierten Referenzwerte für Reinheit und Abklingdauer, die eine „gute Glocke“ auszeichnen.⁵ Die Zeiten, in denen jährlich Dutzende neue Geläute konzipiert und die Neugüsse mit Klanganalysen auf ihre Grundqualität geprüft werden, sind freilich vorbei. Heute beschäftigen die Glockensachverständigen zunehmend Sanierungen im vorhandenen Bestand, die zugleich Gelegenheit geben, die musikästhetische Wirkung der Geläute nicht nur auf die Glocken allein zurückzuführen, sondern auch den Einfluss des technischen Umfelds vermehrt zu berücksichtigen. Die Betrachtung von Glockenstuhl, Joch und Klöppel der Glocke gehörte zwar stets zum Betätigungsfeld der Sachverständigen,⁶ doch in den letzten Jahren hat sie sich vom Nebenschauplatz zu einem Hauptgegenstand der Diskussion entwickelt. Einerseits aus dem erwähnten Grund, dass die Armaturen bei Sanierungen stärker für sich ins Blickfeld gelangen, andererseits auch, weil sich in der Sachverständigenpraxis zu plakative Zustimmung- und Ablehnungsmuster herausgebildet haben, die auf einzelne Komponenten beschränkt blieben und entsprechend erneut kritische Reaktionen hervorgerufen haben.⁷ So lassen sich viele Erkenntnisse oder Anwendungsmuster weiterhin verfeinert untersuchen und ausdifferenzieren. Der folgende Aufsatz betrachtet die Klangästhetik der Glockenmusik deshalb möglichst unabhängig von individuellen Eigenschaften der Glocke und untersucht vornehmlich, inwiefern welche technischen Aspekte das Klangresultat beeinflussen.

2. Der „Wohlklang“ – Versuch einer Definition

2.1. Übersicht

Die Klangwirkung einer Glocke kann in der menschlichen Wahrnehmung je nach Qualität von Klangfarbe, Fülle und Abklingverlauf ganz unterschiedliche Assoziationen und Gefühle auslösen. Musikalische Laien wie Fachleute können dabei Begeisterung, Zufriedenheit, aber auch Gleichgültigkeit oder gar Ablehnung empfinden, ganz vergleichbar etwa zum Eindruck bei der Betrachtung von Architektur oder der Beurteilung von Essen oder Trinken, nur auf jeweils verschiedene Sinne bezogen. Es gibt selbstredend nicht eine klare einzelne Definition von Wohlklang und ebenso wenig den *einzig wahren* Wohlklang. Auch versteht sich von selbst, dass da und dort geschmackliche Unterschiede herrschen. Es ließe sich auch einwenden, dass manche Leute den Glockenklang vor allem mit dem Läutezweck bzw. dem liturgischen Anlass assoziieren und so im Sinne eines „Hauptsache, es läutet“ bereits unabhängig von der Klangqualität in die beabsich-

⁴ Vgl. beispielsweise Matthias Walter. Besser, billiger oder beides? Episoden zur Konkurrenzsituation zwischen Glockengiessereien, in: *Campanae Helveticae* 20 (2016), S. 15–26.

⁵ Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde, bearbeitet von Kurt Kramer, hg. vom Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen. Karlsruhe 1986, S. 263–268.

⁶ Vgl. z.B. Theo Fehn und Volker Müller, Die Bedeutung von Klöppel und Intonation für die Klangwirkung der Glocke. In: *Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde* (hrsg. vom Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen), Bd. 1, Karlsruhe 1986, S. 157/158 sowie diverse Kapitel in: *Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde*, bearbeitet von Kurt Kramer, Bd. 2, Karlsruhe 1997, S. 443–538.

⁷ Jörg Wernisch, *Glockenkunde von Österreich, Lienz i. Osttirol* 2006, S. 56–69. – Matthias Walter, Zu neuen Klöppeln in Fribourg und Bern. Damit verbunden einige kritische Fragen zur Wirkungsästhetik des Glockenklanges, in: *Jahrbuch für Glockenkunde*, Bd. 23/24 (2011/2012), S. 427–435.



tigte Stimmung gewogen werden. Ebenso von selbst versteht sich aber, dass Bestrebungen nach einem wohltuenden Klang gerechtfertigt sind, schon immer angestrengt worden sind und dass gewisse Qualitätsmerkmale doch allgemein und verbreitet geschätzt werden, weil sie im Menschen größtenteils positive Assoziationen wecken, so dass man von einem schönen Klang oder Wohlklang spricht. Dennoch – was zeichnet den Wohlklang aus, wodurch charakterisiert er sich?

Es hat schon verschiedene Versuche gegeben, die Klangwirkung der einzelnen Glocke in Einzelaspekte zu zerlegen.⁸ Diese lassen sich vereinfacht auf zwei physikalische Betrachtungsbereiche reduzieren, nämlich 1.) welche Töne bzw. Frequenzen in welcher Intensität hörbar sind (Klangbild und Klangfarbe) und 2.) wie sich diese zeitlich entwickeln (Abklingdynamik). Die Lagen der tieferen Frequenzen werden dabei vor allem von der Glocke respektive ihrer Rippeneigenschaften gebildet, als „Teiltonaufbau“ oder „Klangbild“ bezeichnet und interessieren hier für einmal nicht. Die zunehmend höheren Frequenzen stecken zwar ebenfalls in der Glocke, ihre Intensität jedoch hängt immer stärker davon ab, auf welche Art und Weise die Glocke in Vibration versetzt worden ist. Diese Hochfrequenzen bestimmen vornehmlich die *Klangfarbe* und das *Timbre* der Glocke, und dazu gehört auch das mehr oder weniger starke Knall- oder Klopfgeräusch des Anschlags. Die *Abklingdynamik* bezeichnet den zeitlichen Verlauf der Töne, wobei hier vorwiegend die ersten Sekunden nach dem Anschlag entscheidend sind und nicht, ob ein Unterton eine oder drei Minuten nachklingt – obgleich solche Werte ein Indiz für die Gussqualität sein können. Beide Aspekte betreffen denn auch in erster Linie die Eigenschaften und das Verhalten des *Schlagtons* der Glocke, dem markanten Hauptton, der im Vergleich zu den tieferen Summ- oder Teiltönen eine spezifische Klangfarbe hat und dessen Abklingverhalten den Eindruck der Klangfülle maßgeblich mitprägt.

Klangfarbe und Abklingdynamik ließen sich zwar in Zahlen umständlich beschreiben, doch aufgrund der Komplexität der mitentscheidenden Faktoren ist es noch nicht gelungen, verbindliche Werte in unmittelbar fassbarer Verständlichkeit zu definieren; auch die Musikforschung beschäftigt sich im Falle der Gesangsstimme mit ähnlichen Problemen, doch auch hier konnte nur wenig im normativen Sinn erfasst werden.⁹

Werden die Klangfarbe und Abklingdynamik charakterisiert, behilft man sich bereits seit Jahrhunderten sowohl in Laien- wie Fachkreisen mit Assoziationen: Vertragliche Forderungen im Glockenwesen, Gutachten und persönliche Äußerungen, die einen positiven Klangeindruck in Worte fassen, nennen wiederholt den weichen, runden, sauberen, sonoren, warmen, feinen, vollen, (weit)tragenden, stabilen, aber auch kräftigen und bauchigen Klang, während die negativen Wertungen vor allem einen grellen oder harten, kurzen Klang geißeln.¹⁰ Zwar können die Glocken diese Eigenschaften durchaus selbst mitbringen, doch

⁸ Vgl. Andreas Weissenböck/Josef Pfundner, *Tönnedes Erz*, Graz 1961, S. 26–33, hier allerdings offensichtlich mit dem primären Ziel, der mit Ersatzmetallen operierenden Konkurrenz minderwertige Qualität zu attestieren. – Wernisch 2006 (a.a.O.), S. 8–11.

⁹ Beispielsweise <https://stimmildung.wordpress.com/vocal-blog/1-2-klangfarben-charakteristiken-timbre/>, aufgerufen im Januar 2018.

¹⁰ Aus einem Vertrag von 1650 in St. Gallen ist beispielsweise überliefert, dass die neue Glocke „sauber, hell und sonor“ klingen solle, also durchaus Eigenschaften besitzen sollte, wie sie auch im 19. Jh. oder heute erstrebt werden. Erwin Poeschel. Die Kunstdenkmäler des Kantons St. Gallen, Bd. 3 (Stift St. Gallen), Basel 1961, S. 282. – Konrad Bund. Hermann Große, der Meister der Frankfurter Domgeläuts von 1877. in: Konrad Bund (Hg.), *Frankfurter Glockenbuch*, Frankfurt am Main 1986, S. 336–354, bes. S. 337. – Auszüge aus den Attesten zu Geläuten von Glockengiesser Jules Robert in dessen Werbeschrift 1906. – Persönliche Äußerungen vgl. u.a. auch im GCCS-Feuilleton (http://www.campanae.ch/de/feuilleton_de).



das technische Umfeld beeinflusst diese zusätzlich – und wesentlich stärker als meist angenommen worden ist.

Extreme *klangfarbliche Unterschiede* lassen sich in elektronischen Frequenzanalysen nachweisen. Jede Glocke enthält eine Vielzahl an Obertönen, die je nach Umständen in der Nahumgebung des Turms mehr oder weniger stark wahrgenommen werden können, wobei offene Türme keine, stark geschlossene dagegen ein hohes Maß an Hochfrequenzen absorbieren. Bei einem grellen, obertönigen Klang lassen sich bei einer Glocke von ca. 1 Tonne Gewicht in einem leicht geöffneten Betonturm z.B. Töne bis zu einer Höhe von ca. 11000 Hz nachweisen (Abb. 1 links; Audio 1). Im Falle eines eher warm und grundtönig wirkenden Klanges schwinden bei einer Glocke derselben Art und Größe die höchsten Frequenzen bereits im Bereich von 3000–5000 Hz (Abb. 1 rechts; Audio 2).

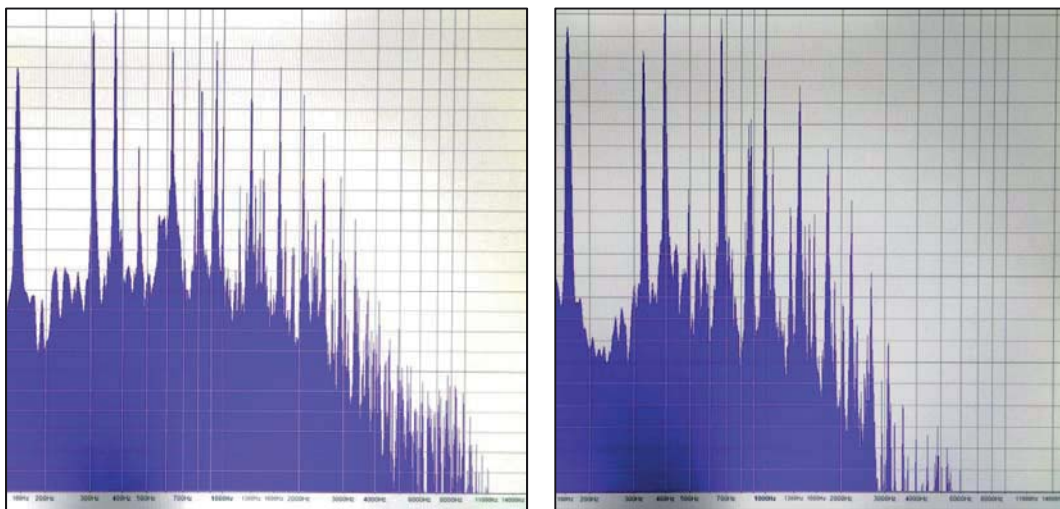


Abbildung 1: Frequenzanalyse einer klanglich besonders obertönig und grell wirkenden Glocke, nach einer Tonaufnahme vom Kirchplatz aus (links); Frequenzanalyse einer sympathischen, rund klingenden Glocke, nach einer Tonaufnahme vom Kirchplatz aus (rechts)

Die Unterschiede in der Abklingdynamik sind komplexer und dementsprechend schwieriger darstellbar. Zum einen summen die unteren Teiltöne (Unterton, Prime, Terz) nach dem Anschlag erst einmal relativ homogen, während der Schlagton bzw. dessen Klangkomplex, der zu Beginn alles markant übertönt, den entscheidenden Eindruck rascher oder lang getragener Verflüchtigung hinterlässt. Die Abklingdynamik ist von der Qualität der Glocke abhängig, aber auch sie kann bei zwei annähernd identischen Glocken sehr verschiedenartig wirken. Wird der Schlagtonverlauf vorwiegend ca. in den ersten 3 Sekunden verfolgt, kann der Verlauf im ungünstigen Fall äußerst kurzatmig abfallen, bestenfalls aber auch „horizontal“ getragen oder gar „anschwellend“ wirken. Das Klangbeispiel (Audio 3) zeigt drei Großglocken etwa gleicher Tonhöhe, die jedoch aufgrund verschiedener Rippenstärken, Gussqualitäten, Läutesysteme und Klöppel allein schon in der Abklingdynamik sehr unterschiedlich wirken. So unbeholfen es mit lautmalerischen Ausdrücken aussieht, so evident erscheint in diesem Zusammenhang die kleine Auflistung, welche die zwei Extrembeispiele und ein Durchschnittsbeispiel im Audiovergleich einander gegenüberstellt:



Beispiel	Eindruck von vokalhafter Klangfarbe und Abklingdynamik	Assoziation für Klangfarbe und Abklingdynamik	Läutetechnik
A	„pääämmm“	Grell / kurzatmig	Gekröpftes Joch, Kontergewichtsklöppel
B	„bäääämmmm“	Obertönig / homogener Verlauf	Gerades Joch, leichter Klöppel mit mittellangem Vorschwing
C	„baaaaaammmmmm“	Rund und warmtönig / anschwellender Verlauf	Gerades Joch, massiger biege-steifer Klöppel mit kurzem Vorschwing

Angesichts der bisherigen Ausführungen und aufgrund übereinstimmender ästhetischer Glockenklang-Ideologien darf wohl recht geschmacksunabhängig in Anspruch genommen werden, dass Beispiel A nicht besonders klangschön wirkt, Beispiel B als Verbesserung betrachtet werden kann und Beispiel C¹¹ als besonders klangschön empfunden wird. Auf dieser Grundlage wird zur Vereinfachung auch im Folgenden von „guter“ oder „besserer“ Klangwirkung gesprochen, ohne dass die Tendenzen wissenschaftlich exakt nachzuweisen oder geschmacklich rechtfertigen sind.

2.2. Historischer Rückblick und aktuelle Problematik

Je nach Anregungsweise kann auch dieselbe Glocke eine überraschend unterschiedliche Klangfarbe oder Abklingdynamik äußern. Der Unterschied zwischen einem obertonlastigen, d.h. grellen dünnen Schlagklang, der an der unbewegten Glocke durch einen rasch bewegten, leichten Hammer erfolgt, ist immens gegenüber der voluminösen grundtönigen Stimme, die sich bei einer schwingenden Glocke bei guter Klöppeltechnik ausbreitet. Dieser klangästhetische Mehrwert dürfte bereits im Mittelalter dafür mitverantwortlich gewesen sein, dass man die Turmglocken zu schwingen begann und dafür den Bau riesiger Glockenstühle, statischer und mechanischer Zusatzeinrichtungen sowie ein Vielfaches an Manneskraft und letztlich auch Gefahren in Kauf genommen hat.

Um dasselbe Prinzip geht es im Grunde auch in der mittlerweile hinlänglich bekannten Unterscheidung von gekröpft geläuteten Glocken gegenüber Glocken an geraden Holzjochen, um ein Beispiel zu nennen, das vor allem die Praxis der deutschen Nachkriegszeit bis heute prägt. Die Ausstattung unzähliger Geläute in der ehemaligen DDR mit gekröpften Stahljochen und Kontergewichtsklöppeln (Abb. 2) führte bedauerlich zu Gehör, dass das schwingende System hier fast ad absurdum geführt wurde, weil dessen klanglichen Vorteile kaum mehr zur Geltung kamen: Hart, kurz und scheppernd wirkte der Klang bester historischer Glocken, und aus musikalischer Sicht wurden diese gekröpften Systeme zurecht heftig abgelehnt.¹²

¹¹ Beispiel C – der 1622 gegossene Bourdon der Kathedrale in Lyon – ist nicht zufällig eine Glocke, die seit Jahrhunderten für ihren Klang gerühmt wurde, bereits 1922 eine Monographie erhielt (Abbé Sachet, *La grosse cloche de St-Jean de Lyon. 1622-1922. La sonnerie lyonnaise*. Lyon, 1922) und deren seltenes Läuten vor Ort zum Anhören empfohlen wird und meist eine kleine Touristenschar anzieht.

¹² Vgl. u.a. am konkretesten Volker Müller, *Wider das gekröpftes Joch*. In: *Jahrbuch für Glockenkunde*, Bd. 11/12 (1999/2000), S. 337–344.



Abbildung 2: Weimar, Schlossturm, Glocke gis° von 1712 am gekröpften Stahljoch aus der Nachkriegszeit

Aber auch Geläute an geraden Jochen wirkten bisweilen grell und seelenlos (Abb. 3 links; Audio 4), so dass Sachverständige und Exponenten des Beratungsausschusses die klanglichen Misere zu orten und verbessernde Maßnahmen anzuordnen begannen. Als solche wurden dann vornehmlich die Verwendung gerader Holzjoche, der Einbau von Holzstühlen oder dicht verbaute Jalousien mit hölzernen Reflexleisten in den Schallfenstern gefördert (Abb. 3 rechts), außerdem sollten schwerere Glockenrippen und größere Klöppelballen bevorzugt werden.



Abbildung 3: Im Zuge diverser Optimierungen wurden seit den 1980er Jahren vermehrt zahlreiche mit Stahlarmaturen versehene Geläute (links) neu ausgerüstet und die Schallfenster durch dichte Holzlamellen und Reflexionsbretter geschlossen, sozusagen das Ganze „warm eingepackt“ (rechts)



Bereits seit den 1960er Jahren wurde auch mit stärker geschlossener Kirchturmarchitektur und mithin verbesserter Turmstubenakustik auf die Misere reagiert.¹³ Alle Bestrebungen zielten in Richtung weicheren und milderem Klang und wurden von Fachleuten ohne größere Kontroversen mitgetragen.¹⁴ Der Einsatz des als natürliches und traditionelles Material sympathischen Holzes hatte für viele auch im optischen Sinne ästhetische Vorteile, sollte aber primär die weichere Klangentfaltung und Klangfarbe fördern und dadurch die Geläute ausgewogener und „schöner“ machen, obwohl dafür mehr Kosten, Platz und im Falle der Entkröpfung auch mehr statische Belastung in Kauf zu nehmen war.

Tatsächlich sind damit bisweilen Verbesserungen erzielt worden. Doch immer wieder enttäuschen entsprechend sanierte Geläute: kleine Glocken muten statisch an, größere wirken nebenschlagentonstark, leer und „müde“, und selbst klangvolle Glocken mit homogenem Abklingverhalten wirken oft grell und knallig, bestenfalls brav und langweilig, weil letztlich die eingebauten Klöppel den Zielsetzungen widersprechen und sämtliche Bemühungen darum herum aufheben können (Audio 5). Man mag sich mit solchen Lösungen „zufrieden“ geben, aber es ist nie der Wohlklang der imponierenden, begeisternden Glockenstimme, die nach dem Anschlag anschwillt, dahinsprudelt und in fülliger Klangfärbung singfreudig und flüssig ausklingt.

Manchmal wird dieser vergleichsweise unbefriedigende Durchschnittsklang mit Bezug auf die Musik- und Orgelgeschichte gerechtfertigt, habe man doch z.B. im Barock den obertönigen Klang besonders geschätzt und deshalb auch die etwas klapprigen Septimrippen und lange Klöppel gepflegt. Dies aber bedeutet noch nicht, dass der allgemeine Geschmack seinerzeit einen obertönig-grellen Klang bevorzugt hat, bei welchem die Glocke eher gepeitscht als zum Singen gebracht zu werden scheint; zudem stammt die bekannteste Laudatio an die nach „mittelalterlichem Geschmack“ gegossene und mit mittelalterlichem Klöppel ausgestattete Erfurter Gloriosa als „omnium campanarum regina“ just aus der Barockzeit, nämlich vom Universalgelehrten Athanasius Kircher (1602–1680). Und während der „allgemeine“ barocke Musikgeschmack vielleicht europaweit einheitlich, jedoch vor allem durch klerikale und höfische Eliten geprägt wurde, gab es in der Glockengeschichte gar keine europaweit einheitliche Barockrippe: Die Erzeugnisse im französischen und flämischen Kulturraum etwa sehen der gotischen Rippe sehr ähnlich und klingen auch entsprechend, nicht zu reden von der damaligen, noch immer zuckerhutartigen italienischen Rippe.

Auch in den 1960er Jahren sollen vor allem laute, obertönige Geläute gewünscht worden sein. Allein schon die publizierten Akten, Diskussionen und Bemühungen aus Theo Fehns Wirkungszeit, die just in diese Jahre fällt, zeichnen dagegen ein ganz anderes Bild, wurden doch gerade der weichere Glockenklang durch geschlossene Turmstuben oder mit entsprechenden Klöppeln besonders gesucht.¹⁵

¹³ Zusammenfassende Betrachtung mit diversen Literaturverweisen bei Matthias Walter, Der Kirchturm als Glockenträger, in: Kunst+Architektur in der Schweiz 2/2007, S. 28–35.

¹⁴ Vgl. diverse Beiträge in: Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde, bearbeitet von Kurt Kramer, hg. vom Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen. Karlsruhe 1986, S. 157–245.

¹⁵ Theo Fehn, Der Glockenexperte. Vom Neuaufbau des deutschen Glockenwesens aus der Sicht von Theo Fehn, hg. von Gertrud Fehn, Karlsruhe 1990, S. 288, 346–358, 376ff., 398–405.



2.3. Der Vorgang für die Wohlklangs Bildung

Um die Ursachen der Klangphänomene zu ergründen, sind die verschiedenen Vorgänge für die eigentliche Klangbildung zu betrachten. Wenn das Holzjoch eine weiche Klangentfaltung fördert und ein tendenziell kurzer Klöppelvorschwingung zu bevorzugen ist, woran liegt dies letztlich? Die jüngsten präzisen Beurteilungen zur Beeinflussung des Klangs durch die Technik, an denen der Verfasser nicht direkt beteiligt ist, hat Jörg Wernisch zusammengefasst.¹⁶ Dabei wird vereinfacht zwischen hochlastigen und tieflastigen Klöppeln unterschieden: Beim hochlastigen Klöppel liegt der Schwingungsmittelpunkt eher im Bereich des Schaftes über dem Anschlagballen, beim tieflastigen Klöppel liegt er eher im Bereich des Ballens, was den Klöppel entsprechend agil macht und sehr niedrige Läutewinkel erfordert. In der Praxis lassen sich die Klöppel je nach Eigenschaften mehr oder weniger der einen oder anderen Tendenz zuordnen.

Zwei Audio-Vergleiche dienen als Grundlage für die Untersuchung der Parameter:¹⁷ Ein Geläut mit 5 Glocken, das im Stahlstuhl an Stahljochen hing, wird saniert und unter gleichbleibenden akustischen Turmbedingungen an neue Holzjoche in einen Holzstuhl gehängt; die ursprünglichen, tieflastigen Klöppel werden durch neue, aber mindestens so tieflastige Klöppel ersetzt, die übrigen Verhältnisse bleiben gleich (Abb. 4, Audio 6). Eine gewisse klangliche Veränderung ist wahrnehmbar, aber das Geläut hat klanglich nichts gewonnen, eher im Gegenteil.

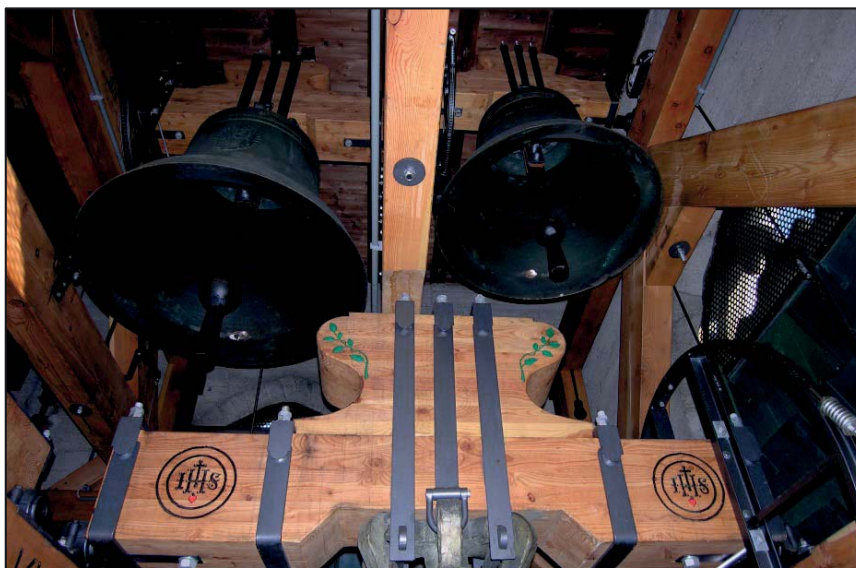


Abbildung 4: Saniertes Geläut, gemäß Lehrbuch nach allen Regeln der Kunst mit Holzarmaturen und Weicheisenklöppel. Wegen deren klanglich unvorteilhaften Dimensionierung fällt der Klang gegenüber vorher jedoch eher ab

¹⁶ Jörg Wernisch, Glockenverzeichnis von Österreich, Lienz i. Ost. 2011, bes. S. 23.

¹⁷ Audio-Aufzeichnungen vor und nach der jeweiligen Sanierungen helfen, die klanglichen Unterschiede zu illustrieren, allerdings sind hier diverse Einschränkungen berücksichtigen: Ein Vergleich macht ausschließlich dann Sinn, wenn die Aufnahmen abgesehen von der veränderten Glockentechnik unter ansonsten gleichen Bedingungen entstanden sind (identischer Aufnahmeort, identische Geräte und Einstellung). In solchen Fällen lässt sich das Wesen des Unterschiedes einigermaßen gut vermitteln. Allerdings ist weiter zu bedenken, dass selbst Aufnahmen im WAV-Format, viel weniger mp3-Aufnahmen, bei suboptimaler Mikrofonqualität und Wiedergabequelle immer die Feinheiten der Wirklichkeit wiedergeben können: Gerade gegenüber den störenden gellenden Obertönen erweist sich die Aufnahmesoftware in der meist obertonärmeren Wiedergabe vergleichsweise gnädig, so dass z.B. stark obertönige Negativ-Beispiele bereits etwas entschärft wirken.



In einem zweiten Beispiel, in dem die Glocken im Holzstuhl an Holzjochen in einem Turm mit offenen Schallfenstern hängen, werden lediglich die Klöppel durch neue hochlastige Exemplare fast ohne Vorschwingung ausgetauscht und die Lätewinkel um jeweils etwa 2° - 3° angehoben (Abb. 5, Audio 7). Der Klangunterschied ist beträchtlich: Obwohl weder hervorragende Glocken noch eine klangfördernde Akustik in der Glockenstube vorliegen, weicht hier der zuvor scheppernde, grelle Ausdruck einem warmtönigen Wohlklang, der auch von den Laien vor Ort sehr begeistert aufgenommen wurde.

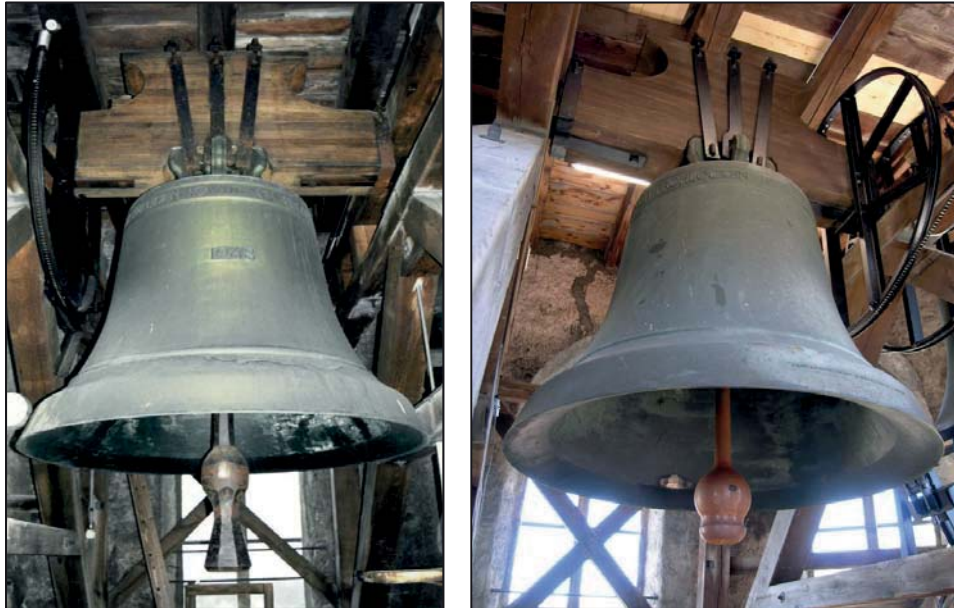


Abbildung 5: Saniertes Geläut, bei dem abgesehen von Verzinkungen lediglich die Klöppel ausgetauscht worden sind. Trotz offener Glockenstube und qualitativ nicht überragender Glocken veränderte sich die Klangwirkung vom abstoßenden Geschepper zu einem warmtönigen Klangfluss

Die Unterschiede im zweiten Beispiel betreffen vornehmlich die Klangfarbe und die Abklingdynamik, werden einzig und allein durch den andersartigen Klöppel ausgelöst und lassen sich auf vier Ebenen erklären: *Mechanisch* betrachtet werden die neuen, kurzen Klöppel vor dem Aufprall weniger stark beschleunigt und zudem wirkt aufgrund des fehlenden Vorschwungs ein verhältnismäßig großer Anteil der Gesamtmasse auch effektiv auf die Glocke, was gemäß Messungen von ECC-ProBell zu einer längeren Kontaktzeit an der Glocke führt (es geht hier um den scheinbar minimalen Bereich zwischen 0,3 und 0,6 Millisekunden). *Klangphysikalisch* sorgt die längere Kontaktdauer dafür, dass die hohen glockeneigenen Frequenzen (d.h. ungefähr jene über 3000Hz, die zunehmend als gellend und störend empfunden werden) nur schwach oder gar nicht angeregt werden. Ein weiterer, noch nicht vollständig bekannter Effekt scheint dafür verantwortlich zu sein, dass der Glockenkörper auch in eine länger anhaltende und homogener abnehmende Vibration versetzt wird. Der relativ hohe Lätewinkel bewirkt seinerseits eine schneller bewegte Schallquelle, mit-hin einen verstärkt wahrzunehmenden Dopplereffekt und Luftturbulenzen. *Musikalisch* gesprochen wirkt der Klang somit schlagtonpräsent, grundtönig und die Abklingdynamik schwellend und singfreudig. *Psychologisch* bzw. in Assoziationen ausgedrückt schließlich empfindet man dadurch einen „warmen, runden,



weichen, vollen und getragenen“ Klang. Es sind dies die Prämissen, die das schwingende Läuten vermutlich schon früh klangästhetisch beliebter machten als die Hammerschläge an fixierten Glocken.

3. Der Zusammenhang von Klöppeldimensionierung und Klangwirkung

Es ist also hauptsächlich der Klöppel, der im Zusammenspiel mit dem Lätewinkel für die Klangwirkung verantwortlich ist – eigentlich nicht weiter verwunderlich, ist er doch am ehesten vergleichbar mit dem von Hand geführten Geigenbogen oder den Fingern auf den Klaviertasten, die letztlich auch andere Musikinstrumente klangästhetisch entscheidend prägen. In den letzten Jahren ermöglichten diverse Dokumentationsreisen in verschiedene Länder sowie Sanierungen von Anlagen eine Vielzahl an Beobachtungen, inwiefern unterschiedliche Klöppeltypen und -formen den Glockenklang beeinflussen. Und sie zeigten, dass für die Klangwirkung hauptsächlich weder die Birnen-, Kugel-, Ellipsoid- noch Scheibenform entscheidend sind, ebenso wenig die feinen Härte-Unterschiede, sondern vielmehr die Masse und vor allem deren Verteilung im Klöppel, welche letztlich die Kontaktdauer beim Aufprall steuert.

3.1. Ältere Beurteilungen der Klöppeleigenschaften

Der Bedacht auf richtige Klöppel ist vermutlich unwesentlich jünger als das verbreitete schwingende Läuten in Türmen überhaupt. Schwerere Sommer- und leichtere Winterklöppel (bei denen man unter Inkaufnahme dünneren Klangs das Risiko minimieren wollte) sind bereits in der frühen Neuzeit nachzuweisen.¹⁸ Die Diskussionen der 1980er Jahre drehten sich vor allem um die Formen des Anschlagballens, ohne zu einem überzeugenden Resultat zu führen.¹⁹ Im gesamten 20. Jh. lassen sich Statements zur Länge der Vorschwünge ausmachen, zumal gerade mit dem Aufkommen automatisierter Antriebe die längeren Vorschwünge oft ein regelmäßigeres Läuten bei geringem Lätewinkel erlaubten. Demgegenüber haben mehrere bekannte Forscher und Sachverständige auf die klanglichen Vorteile möglichst kurzer Vorschwünge hingewiesen, so bereits Karl Walter 1913.²⁰ In den 1960er Jahren waren sich Sachverständige wie Forscher offensichtlich recht einig, dass ein verhältnismäßig großer Klöppelballen eine längere Berührungsdauer bewirkt und einen runderen, grundtönigeren und wärmeren Klang auslöst.²¹ Theo Fehns – zumindest musikalisch wohl gelungenes – Experiment, für das Geläute der Speyrer Protestationsgedächtniskirche die bereits gefertigten Klöppel einzukürzen und eher deren Kugelballen zu einem liegenden Ellipsoid zu vergrößern, hatte damals die Fachwelt begeistert (Abb. 6). Letztlich wirkte die Maßnahme von Speyer vor allem

¹⁸ Exemplifiziert beispielsweise in den Archivunterlagen zu den Glocken der Hofkirche in Luzern; vgl. Loris Fabrizio Mainardis Aufsatz, der in der 2018 folgenden Nummer der Zeitschrift *Campanae Helveticae* erscheinen wird.

¹⁹ Wernisch 2006, S. 66.

²⁰ Karl Walter, *Glockenkunde*, Regensburg 1913, S. 88–91. – Allgemein ausführlicher dazu vgl. Matthias Walter, *Der kurze Klöppelvorschwung – Eine conditio sine qua non für musikalisches Glockenläuten. Empirische Beobachtungen und Diskussionspunkte zur Klöppeldimensionierung. Ein Beitrag zur Theorie der Glockenmusik und deren Ästhetik*, in: *Jahrbuch für Glockenkunde*, Bd. 19/20 (2007/2008), S. 431–450.

²¹ Fehn 1990, S. 252–253, S. 303–304. – M. Grützmaier, W. Kallenbach und F. Nellesen: *Akustische Untersuchungen an Kirchenglocken*. In: *Acustica* 16 (1965/66), S. 34–45. – Jakob Schaeben, *Glockenmusik oder Glockenlärm?* Referat, gehalten auf der Glockentagung in Köln, 11. Oktober 1967. Typoskript in: Nachlass Ernst Schiess, Eidgenössisches Archiv für Denkmalpflege, Bern/Schweiz.



wegen dem großen absoluten und relativen Massenanteil im Klöppelballen, demgegenüber wurde der Vorzug dann mitunter fälschlicherweise in der Formgebung des Ellipsoids gesehen. Später kam auch noch die unverständliche Prämisse auf, Klöppel seien vor allem dann richtig dimensioniert, wenn ihr Schwerpunkt in der Kugelmitte liege, was zwar eine stimmige Vorstellung wäre, jedoch gegenüber den bislang aufgeführten Erkenntnissen ein heftiger Widerspruch bedeutete, weil dies zugleich heißt, dass sehr lange oder schwere Vorschwünge zu bevorzugen wären.²²



Abbildung 6: Klöppeltyp mit großer Kugel und verhältnismäßig leichtem, kleinen Vorschwung, wie ihn die Gießerei Bachert in Karlsruhe im Anschluss an Theo Fehns Experimente in Speyer häufig entwarf

3.2. Palette aktueller Beispiele

Dass verschiedene Klöppelformen unterschiedlichen Klang erzeugen, wurde also immer wieder registriert, doch inwiefern und weshalb Veränderungen bewirkt werden, war wenig bekannt. Der Blick in die guten Beispiele der Geschichte und in Vergleiche jüngster Sanierungen hat eine Konstante; sind auch für musikalisch hervorragend wirkende Klöppel sehr verschiedene Formen denkbar, so haben sie doch, wie im theoretischen Teil bereits erwähnt, eines gemeinsam: Die Berührungsdauer an der relativ hochgeläuteten Glocke ist vergleichsweise lang.

²² Fehn/Müller 1986 (a.a.O.), S. 158. – Jörg Böcking, Schwingungsminderung an Glockentürmen unter besonderer Berücksichtigung des Glockenklangs, Diss. TH Darmstadt, 1997, S. 29. – Kurt Kramer, Die Voraussetzungen für eine gute Klangentfaltung des Geläutes. In: *Glocken in Geschichte und Gegenwart. Beiträge zur Glockenkunde* (herausgegeben vom Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen), Bd. 2, Karlsruhe 1997, S. 174. – Klaus Hammer und Markus Richter, Computergestützte Klanguntersuchungen an Glocken; Teil 1: Glocken mit verschiedenen Klöppeln, Anschlagpunkten und Lätewinkeln. In: *Jahrbuch für Glockenkunde*, Bd. 15/16 (2003/04), S. 399–420.



Abbildung 7: Beispiel für einen per se recht gut geformten, aber viel zu klein dimensionierten Klöppel (Verhältnis \varnothing Glocke – \varnothing Klöppel 10:1) (links); Beispiel für einen per se recht gut geformten, aber viel zu groß dimensionierten Klöppel (Verhältnis \varnothing Glocke – \varnothing Klöppel 5:1) (rechts)

Wie erreicht man das in der Praxis? Grob gesagt, durch einen tendenziell *hochlastigen*, *kurzen* und *biegesteifen* Klöppel, der außerdem weder zu leicht noch zu schwer ist. Ist die Gesamtmasse des Klöppels nämlich sehr gering, kommt selbst beim bestdimensionierten Klöppel keine lange Kontaktdauer zustande (Abb. 7 links, Audio 8). Ist sie zu schwer, wird der Glockenkörper durch den Impuls derart stark in Vibration versetzt, dass auch die Höchsfrequenzen wieder angeregt werden (Abb. 7 rechts, Audio 9), zugleich erfordern proportional riesige Klöppelballen tendenziell niedrige Lätewinkel, was allgemein einen gewissen Peitsch-Effekt verursacht (s. Kap. 4.2).

Für die Formgebung interessieren somit vor allem die Feinheiten, welche die Kürze, Hochlastigkeit und Biegesteifheit definieren. Weshalb aber verursachen die erwähnten drei Eigenschaften eine lange Kontaktdauer? Die Problematik besteht höchstwahrscheinlich darin, dass sich ein Klöppel beim Aufprall je nach Dimensionierungsweise selber mehr oder minder verformt. Denkt man sich den Klöppel in einem etwas weicheren Material, lässt sich einigermäßen nachvollziehen, was mit den einzelnen Klöppelteilen beim Aufprall passiert. Enthält ein Klöppel also einen sehr langen Vorschwung oder einen, der sich nach unten kegelartig verbreitert oder biegeweich unter dem Ballen ansetzt, beschleunigt er sich im Schwingverhalten stärker und wird beim Aufprall sofort ausgelenkt, so dass sich der Klöppel verformt und der „geknickte“ Ballenbereich besonders rasch von der Glocke zurückprallt, mithin durch die kurze Berührungszeit auch höchste Frequenzen anregt und so einen sehr obertönigen, gellenden Klang auslöst (Abb. 8 links). Und je proportional kleiner der Ballen, je schlanker der Schaft, je kleiner der Vorschwungsansatz darunter und je länger der Vorschwung, desto extremer tritt das Phänomen der stärkeren Beschleunigung und Auslenkung in Erscheinung. Hier liegt sehr viel klanglich ineffektive Masse vor (Audio 10).



Nun gibt es ausgehend davon verschiedene Möglichkeiten, solche Klöppel musikalisch zu verbessern. Legt man etwa den Schaft trotz langer Vorschwünge verdickt aus, bedingt der Klöppel einen höheren Lätewinkel und wird versteift (Abb. 8 mitte). Ist der Vorschwung zudem gerade (Abb. 8 rechts) und verbreitert sich nach unten nicht, verringert sich das Beschleunigungsverhalten und verbessert sich das Klangresultat auch bei langem Vorschwung abermals.



Abbildung 8: Klöppel mit überaus langem Vorschwung, der durch die kegelartige Verbreiterung nach unten sowie den schlanken Schaft klanglich ein besonders enttäuschendes Ergebnis zeitigt (links); Klöppel mit sehr langem Kegel-Vorschwung, dessen klangliche Nachteile allerdings durch einen sehr kräftigen Schaft und biegesteife Übergänge entschärft werden (mitte); Klöppel mit recht kurzem und geradem Vorschwung und kräftigem Schaft. Solche Proportionen bewirken klanglich ein sehr grundtöniges Resultat (rechts)

Ein vergleichbares klangliches Resultat lässt sich aber auch – und es dürfte die Glocke generell weniger beanspruchen – mit weniger Masse erreichen, indem der Schaft schlanker und der Vorschwung noch kürzer gehalten wird. Je kürzer der Vorschwung, desto weniger kann er beim Aufprall ‚ausgelenkt‘ werden, und je geringer der Einzug des Vorschwunges unter dem Ballen ist, desto biegesteifer wird der Klöppel (Abb. 9). Es gibt auch Klöppel, bei denen sich selbst der kaum vorhandene Vorschwung noch verjüngt (Abb. 10) – in solchen Fällen dürfte die Verweildauer abermals steigen. Diese Formgebung mit entsprechendem Effekt ist auch bereits mit Erfolg auf moderne Klöppel übertragen worden (Abb. 11). Beispiele wie in Abb. 9-11 kommen alle der hier gemachten Definition des Wohlklangs sehr nahe.



Abbildung 9: Historischer, musikalisch vorzüglicher Klöppel mit sehr effektiver Massenwirkung



Abbildung 10: Historische Klöppel, beide mit dem Extrem des verschwundenen Vorschwungs und zugleich totaler Biegesteifigkeit



Abbildung 11: Moderner Klöppel von 2016, prinzipiell mit denselben formalen und musikalischen Eigenschaften wie die historischen Klöppel der vorangehenden Abbildungen



Abbildung 12: Klöppel mit kurzem Vorschwung, der durch den relativ dicken Schaft hochlastig wird (links); Klöppel mit etwa derselben Vorschwunglänge, der aber durch die starke Ausbreitung bei gleichzeitig geringer Ballenmasse und sehr schlankem Schaft eine Tieflastigkeit mit entsprechend kurzer Berührungszeit und eher durchschnittlichem Klangergebnis generiert (rechts)

Im Falle sehr schlanker Schäfte ist zu bedenken, dass dann selbst verhältnismäßig kurz erscheinende Vorschwünge dennoch in Richtung Tieflastigkeit wirken (Abb. 12). Verdickt man jedoch bei sehr kurzen Vorschwüngen den Schaft zunehmend, erhöht sich der Schwingungsmittelpunkt irgendwann derart, dass der Klöppel nicht mehr imstande ist, die geschwungene Glocke regelmäßig anzuschlagen; einzelne Schläge sind zwar füllig und grundtönig, doch der Klöppel agiert unregelmäßig, weil er für das Schwungsystem zu



schnell wird – ein im Konzept höchst seltener Fall, der aber oft bei abgebrochenen Vorschwüngen zu beobachten ist.

Verjüngt sich ein Vorschwung nach unten, hat das vor allem bei den immer häufiger eingebauten Doppelgelenksaufhängungen den Vorteil, dass die Klöppel vor dem Aufprall weniger beschleunigt werden (Abb. 13). Sollen die Klöppel nicht überdreht werden oder ist ein virtuoses Freiformschmieden nicht denkbar, empfiehlt sich diese Formgebung. Auch für dieses Prinzip bestehen diverse alte und junge Formen, die musikalisch ausgezeichnet wirken. Dazu gehören auch die Klöppel der berühmten alten Utrechter Domglocken und ebenso der ursprüngliche, damals sehr zeittypische Klöppel der Erfurter Gloriosa, welcher der Glocke ihren Ruhm zweifellos mit eingetragen hat (Abb. 14). Hier beobachtet man auch die Außenkante unterhalb des Ballens, die dem Klöppel ebenfalls Biegesteifigkeit verleihen dürfte und so einen klanglich positiven Effekt bringt.



Abbildung 13: Klöppel mit verstärkter Biegesteifigkeit durch nach unten verjüngten Vorschwung. Im Vergleich zum gewohnten, nach unten verbreiteten Vorschwung sparen diese Klöppel bei gleicher Länge Masse ein, wirken in Richtung Hochlastigkeit, beschleunigen weniger und verweilen länger auf der Glocke



Abbildung 14: Ehemalige Klöppel der Erfurter Gloriosa; ganz links der ursprüngliche Klöppel, der durch die unnötige Zutat des hohen Kopfholzes am Glockenjoch Ende 19. Jahrhundert zu hochlastig wurde und (bekanntlich nicht zum Vorteil der Glocke) ersetzt werden musste (links); Die historischen Klöppel des Utrechter Domes, die nicht nur wegen der „Regenschirm“-Form, sondern vor allem wegen der kurzen biegesteifen Vorschwünge hervorragende Voraussetzungen für Grundtönigkeit und Klangfülle bieten (mitte und rechts)

Neuere Klöppel haben mittlerweile zu verschiedenen Annäherungen an solche vorteilhaften Systeme geführt. Dabei gibt es verschiedene mögliche „form follows function“, die fast alle auch in früheren Klöppeln formale Entsprechungen finden (Abb. 15). Demgegenüber steht nirgends festgeschrieben, dass einzig die derzeit verbreitete Form mit kantigem Stängel, kegelförmigem Vorschwung und dazwischenliegender Kugel Anspruch auf Normalität hat. Wem bekannt ist, wie unterschiedlich Klöppel je nach Hersteller in früheren Zeiten ausgesehen haben, wird sich auch mit ungewohnten neuen Formen nicht schwer tun, wenn diese zum besseren Verhältnis zwischen erhebender Klangwirkung und Schonung beitragen – ebenso wie auch bei anderen zylindrischen Gegenständen wie Kelchen, Kannen, Weingläsern, Tassen usw. unzählige verschiedene Formen anzutreffen sind, die je nach Bedarf ihre funktionalen Vorteile haben.



Abbildung 15: Zwei unterschiedliche, aber typische historische Klöppel vorindustrieller Zeit, (oben) die, ohne als konkretes Vorbild genutzt worden zu sein, in ihren Form- (und Klang-) Eigenschaften jüngsten mit ProBell und Experten vervollkommenen Erzeugnissen (zwei Beispiele unten) sehr ähnlich sehen (Foto oben rechts: Ernst Schiess, Bern, um 1940)

4. Wohlklang im Widerstreit mit anderen Interessen

Sachverständige und Hersteller zögern gern, die scheinbar „bewährten“ Pfade zu verlassen. Sie befürchten, dass hochlastige und kurze Klöppel Risiken bergen oder DIN-Normen in die Quere kommen – die übrigens lediglich Empfehlungen, aber keine Weisungen sind und deshalb weder das einzig Verantwortbare bedeuten noch Argumentationen ersetzen sollten. Es sei vorweggenommen, dass solche Befürchtungen weitgehend unberechtigt sind, und man beobachtet außerdem mit gewisser Befriedigung, dass sich immer mehr



Anbieter nach anfänglicher Skepsis allmählich neuen Lösungen zuwenden, wenn auch in manchen Fällen der eingeschlagene Weg auch noch konsequenter beschritten werden könnte.

4.1. Einschränkungen im Schwungsystem

Bisweilen lässt das Läutesystem allzu kurze Vorschwünge nicht zu, etwa bei besonders schweren oder hohen Jochen, die den Läuterhythmus verlangsamen, zum Zweiten im Falle besonders kleiner Glocken, bei denen der Kettenantrieb das Schwungsystem träge macht, zum Dritten im Falle besonders gedrungener Glockenformen, bei denen die zurückzulegende Strecke des Klöppels im Verhältnis zur Klöppellänge zwischen Aufhängung und Ballen grösser ist. Hier ist ein etwas längerer Vorschwung unumgänglich, doch empfiehlt sich dann, um dennoch eine lange Berührungsdauer zu erreichen, ein besonders biegesteifer Übergang vom Ballen zum Vorschwung, etwa durch eine Außenkante oder Vorschwungsverjüngung nach unten.

Umgekehrt gilt zugleich, dass die Klöppel bei großen sowie proportional hohen Glocken und bei Jochen mit wenig Obergewicht noch kürzer und hochlastiger ausgelegt werden können als im Durchschnitt. Der Verzicht auf allzu hohe schwere Holzjoche und der Einbau eines Linearantriebs besonders im Falle kleinerer Glocken würde diesbezüglich jedenfalls vieles vereinfachen. Und weil präzise Vorberechnungen in diesem Bereich recht schwierig sind, wäre bei der Inbetriebnahme zudem eine mobile Säge von Vorteil, mit der sich ein sicherheitshalber genügend lang ausgelegter Vorschwung bei Bedarf immer noch einkürzen ließe. Angesichts des Gewinns im Klang ist dieser Zusatzaufwand geradezu bescheiden.

4.2. Problematik des Lätewinkels

Je höher eine Glocke gezogen wird, desto rascher wird sie als schwingender Körper bewegt. Die bewegte Schallquelle hat einen ähnlichen Effekt wie das Vibrato in der Musik und wirkt klanglich generell fülliger und lebendiger. Übersetzt in die Läutepraxis der Glocken lässt sich feststellen, dass der Effekt des lebendigen Klangs nicht nur bei jeder schwingenden Glocke gegenüber der fixierten Glocke eintritt, sondern noch bei 30° Lätewinkel kaum bemerkbar ist. Demgegenüber wirken große Glocken bereits bei 60° äußerst bewegt, während sich bei kleinen Glocken der wirklich lebendige Effekt etwa ab 70° Lätewinkel einstellt. Die Bevorzugung hohen Lätens scheint Jahrhunderte zurückzugehen: Dass etwa im Alpenraum – und nicht nur in Tirol – und vielen anderen europäischen Regionen (Gegenden Italiens, Südfrankreichs, England und Spanien) immer wieder gar ein extremer Hochschwung als besonders festlich galt und dem ebenfalls gepflegten Niedrigschwung vorgezogen wurde, mag die Wertschätzung eines wirbelnd-fliegenden Klangs aufzeigen. Damit sich der dafür verantwortliche Doppler-Effekt und die Luftturbulenzen einstellen, ist allerdings kein Schwungwinkel von 170° erforderlich, sondern es reicht eine Lätelhöhe, welche den Klang unmittelbar von der starren Glocke unterscheiden lässt, was sich ungefähr ab 50°–60° einstellt. Wahrscheinlich verhält sich auch der Impuls des Klöppels auf eine hoch geläutete Glocke im Detail anders (und klanglich vorteilhafter), als wenn der Klöppel in eine niedrig geschwungene Glocke hineinprallt.

Dem Klangbedürfnis stehen das Interesse an der Schonung von Glocke, Glockenstuhl und Turmstatik durch möglichst niedrige Lätewinkel gegenüber. Hochlastige Klöppel bedingen generell etwas höhere Lätewinkel als tieflastige. Die Praxis hat allerdings wie erwähnt auch gezeigt, dass ein klanglich entschei-



dender Umbau (Abb. 7, 8) bereits mit einer geringfügigen Erhöhung des Lätewinkels möglich ist. Viele Sanierungen setzen sich demgegenüber gerade den niedrigen Lätewinkel schon fast zum Kernziel. Was immer verfügt wird, so muss man sich einfach bewusst sein, dass ein niedrig gehaltener Lätewinkel von lediglich 30°-50° keineswegs allen Bedürfnissen förderlich ist, sondern aus musikalischer Sicht einen hohen Preis hat: Allein schon die Strecke, welche der Klöppel proportional zur schwingenden Glocke zurücklegen muss, ist bei niedrigem Winkel verhältnismäßig grösser und bedingt deshalb tendenziell agile, also tieflastige und entsprechend schwerere Klöppel, fördert somit auch kurze Berührungszeit und trotz der großen (die Glocke generell stärker beanspruchenden) Masse einen grelleren Klang. Dass die Schonung der Glocke nur zu einem Einzelfaktor von der Lätelhöhe abhängig ist und dass sich umgekehrt für jegliche Lätelhöhe auch schonende Klöppel fertigen lassen, hat nicht nur ECC ProBell, sondern auch seit Jahrzehnten das anglikanische Läutesystem des Change Ringing bewiesen. Wenn kleine Glocken 10° höher und große 5° höher läuten als zuvor, bedeutet das für die Ermüdung von Glocken, Stuhl und Turm normalerweise eine vernachlässigbare Risikenerhöhung. Unzählige Türme und Glockenstühle haben demgegenüber selbst einem übertriebenen Hochschwung der Glocken seit Jahrhunderten problemlos standgehalten. Angesichts der Vielzahl solcher Anlagen wirkt es geradezu absurd, die Lätewinkel um der Schonung willen a priori zu drosseln, und der Vorgang mündet in die ketzerische Gegenfrage, weshalb man die Glocken überhaupt noch schwingt und alle Zusatzaufwände des Glockenstuhls und der Automatisierung in Kauf nimmt. Was hat ein solches Ausläuten dem Effekt eines normalen Stundenschlags noch voraus? (Audios 9, 10)

Hinzuzufügen ist, dass kürzere Klöppelvorschwünge bis zu einem gewissen Grad häufig nicht einmal zu einer Erhöhung des Lätewinkels verpflichten. Grundsätzlich gilt zwar die Gleichung, dass zunehmende Hochlastigkeit im Klöppel eine Erhöhung des Lätewinkels bedingt. In der Praxis trifft dies allerdings nur bedingt zu, denn ein besonders langer Vorschwung versetzt den Klöppel nach dem Aufprall auch in eine stärkere Eigenbewegung und kann dessen Ruhe im Flugverhalten stören. So kam es zum einen schon mehrfach vor, dass lange Klöppel selbst bei guter mittiger Aufhängung und ständigen Steigerungsversuchen der Lätewinkel immer wieder einseitig aussetzten; zum andern wurden Klöppel am Vorschwung um mehr als ein Drittel eingekürzt und darauf wiedereingesetzt, ohne dass der zuvor eingestellte Lätewinkel im Geringsten erhöht werden musste (Abb. 16). In diesem Zusammenhang sei noch erwähnt, dass Aussetzer zwar nicht zu fördern sind und bei häufigem Auftreten auch musikalisch auf- und missfallen, jedoch im Falle eines einzelnen Auftretens innerhalb fünfminütigen, ansonsten gleichmäßigen Lätens im mehrstimmigen Geläut gar nicht auffallen und auch beim Einzelläuten gewiss weder stören noch negativ auffallen, sondern schlicht zur lebendigen Rhetorik der schwingenden Glocke gehören, bei der jeder Einzelanschlag wieder minim anders klingt.



Abbildung 16: Links Klöppel mit langem schweren Vorschwung im Original. Rechts derselbe nach einer Einkürzung, die nicht nur die Klangwirkung verschönerte, sondern trotz der Verkürzung noch keine Erhöhung des Läutewinkels erforderte

4.3. Primat der Glockenschonung

Die Frage nach der Ausgewogenheit zwischen Klangeigenschaften und der mechanischen Beanspruchung der Glocke beschäftigt Behörden, Firmen und Sachverständige zunehmend. Seitdem ECC-ProBell hier mit Messmethoden wesentliche Fortschritte gemacht hat, ist nur zu empfehlen, die Erkenntnisse für Neukonzeptionen von Klöppeln zu berücksichtigen. Auch hier ist Maßhalten angezeigt, damit weder das eine noch das andere Bedürfnis überbewertet wird: Bringt ein Klöppel die Glocke zwar wunderschön zum Klingen, beansprucht diese jedoch dergestalt, dass sie bereits nach 5 oder 30 Jahren zerspringt, ist der Klöppel unsinnig konzipiert. Umgekehrt bräuchte die Beanspruchung niemanden zu interessieren, wenn lediglich ein stählerner Besenstiel die Glocke anregen würde – dieses System würde der Glocke während Jahrtausenden keine Materialermüdung bescheren, ihr aber auch nur klägliche Töne entlocken. Es geht also darum, je nach Einzelfall die richtige Balance zu finden.

Erfahrungen in Sanierungsprojekten haben gezeigt, dass hohe Beanspruchung und die Ästhetik der Klangwirkung nicht ganz linear zusammenhängen: Ein obertönig-greller Klang kann sowohl von schonenden als auch von sehr schädlichen Klöppeln ausgelöst werden, ebenso kann ein ausgesprochener Wohlklang sowohl mit viel zu schweren und gefährlichen als auch mit einigermaßen schonenden Klöppeln erzielt werden. Was bislang – nicht verwunderlich – noch nicht gelang, war ein wirklich kräftiger, imponierender Klang bei gleichzeitig minimaler Belastung.



Kompromisse sind deshalb gefragt und auf die jeweilige Situation abzustimmen, wobei ergänzend auch die Dauer des Läuteinsatzes eine Rolle spielt. Unsinnig erschiene, eine besonders zu schonende Glocke innerhalb eines Geläuts als einzige mit einem ausgesprochen leichten, schonenden Klöppel auszustatten, wodurch sie dann im Gesamtgeläut kaum noch heraushörbar ist. Und angesichts des eingangs erwähnten positiven Urteils bzw. dem Bedürfnis eines „kraftvollen“ Klanges ist festzuhalten, dass gerade große Festtags-Glocken, die ein Stück weit unmittelbar beeindruckend und erheben sollten, hierfür auch eine Anschlagtechnik benötigen, die eine kraftvolle Ausstrahlung zulässt: Steht man vor einem ehrwürdigen Dom und die ebenso ehrwürdige Großglocke lässt ihre Stimme jedoch nur mit einem Schonklöppel und bei 35° Lätewinkel ertönen, wirkt nicht nur jeder vorbeifahrende Kleinwagen kräftiger, sondern jede gut geläutete Kleinglocke erhebender.

Wünscht man also einen kraftvollen, flüssigen Glockenklang, kommt man nach bisherigen Erkenntnissen nicht um eine gewisse Beanspruchung der Glocke herum. Allerdings kann diese in gemessenen Fällen durchaus in Bereichen liegen, die sehr zuversichtlich stimmen, dass auch die nächsten Generationen keinen konkreten Anlass haben, ein Zerspringen der Glocke zu befürchten. Gerade bei älteren Glocken, deren Beanspruchungsgeschichte nicht bekannt ist, darf diese Art Zuversicht dem Klangdenkmal Glocke vorerst Genüge tun. Auch in der die konservierenden Anliegen zusammenfassenden *Charta von Venedig* von 1964 gilt die authentische Übergabe der Denkmäler an die kommenden Generationen als Hauptverpflichtung. Vor diesem Hintergrund muss vorerst unerheblich sein, ob eine Glocke theoretisch noch 2000 oder noch 6000 Jahre ohne Sprungrisiko läuten kann, sondern auch die aktuelle Generation darf das Recht beanspruchen, die Glocken mit ihrem ausgeschöpften Klangpotenzial auf sich wirken zu lassen. Eine reduziertere Beanspruchung ließe sich theoretisch immer erreichen und durch Stilllegung gar ad absurdum führen. Dank der Erfahrungen von ECC ProBell ist es möglich geworden, zwischen Läutedauer pro Jahr, Schonung und bestmöglicher Klangwirkung die gewünschte Balance zu finden. Mit den jüngsten, tendenziell leichten, aber sehr kurzen Klöppeln mit biegesteifen Übergängen ist man diesem Ziel aus Verfassers Sicht zudem bereits sehr nahe gekommen (Abb. 15 unten).

4.4. Holz+Holz+Holz

Bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts waren die mitteleuropäischen Geläute generell mit Holzjochen ausgestattet und hingen in Holzglockenstühlen; Schallläden bestanden ebenfalls aus Holz, mitunter mit Abdeckungen aus witterungsbeständigerem Material. Daraufhin wurden alle drei Komponenten auch aus Stahl hergestellt, was allerdings spätestens in den 1980er Jahren zum Gegenstand der Ablehnung wurde. Die ambitionsesten Sanierungsprojekte heutiger Zeit setzen für die besagten Armaturen vorzugsweise wieder Holz ein, oft auch mit der Argumentation, dass der Glockenklang dadurch weicher und sympathischer werde (Abb. 3 rechts). Das freut die Holzlobby und alle beteiligten Firmen und kommt auch bei Kirchenvorständen generell gut an, denn wer mag gefühlsmäßig schon lieber Stahl als Holz?

Ob die Stahlinstallationen jedes Mal kostenträchtig durch Holz hätten ersetzt werden *müssen*, wird hier nicht erörtert. Selbstredend ist gegen Holz als Material für die angesprochenen Armaturen nicht viel einzuwenden, doch erstens ist sein Einfluss auf den Klang nicht zu überschätzen und zweitens geschieht insbesondere im



Bereich der Schallläden und ihrer Reflexionsleisten häufig des Guten zu viel: Was an Türmen wie von St. Stephan in Karlsruhe sinnvoll ist (weil dort die Glocken ohne massive Schallläden sehr direkt und unglücklich aus den verschiedenen Fenstern knallen würden), ist längst nicht in jedem Glockenturm im gleichen Maß erforderlich (Abb. 17). Gerade dort, wo die Glocken ohnehin in einer geschlossenen Stube unterhalb kleiner Öffnungen untergebracht sind, wirkt eine starke Fensterverbauung schallschluckend und reduziert das Geläut zu einem Tonbrei. Solche Installationen verderben jedem Großgeläut seine imponierende Wirkung und sind musikalisch etwa so unsinnig wie eine Starsopranistin, die lediglich hinter dem Vorhang singt.

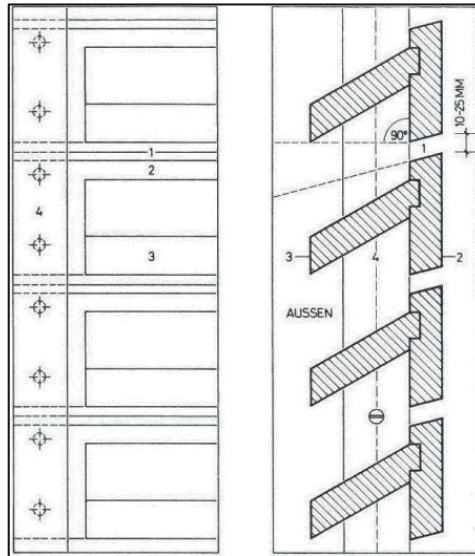


Abbildung 17: Querschnitt für empfohlene Neuanfertigungen von Schall-Läden mit Holzlamellen und Reflexionsbrettern. Aus: Glocken in Geschichte und Gegenwart, Karlsruhe 1986, S. 245.



Abbildung 18: Karlsruhe, St. Stephan. Beispiel eines Turmes, bei dem die Schallfenster zugunsten angenehmer Klangwirkung zu Recht verhältnismäßig dicht durch Holzjalousien geschlossen sind. – Bild: Wikimedia commons.



Fensterverbauungen können bisweilen Hochfrequenzen und Schlaggeräusche etwas abdämpfen, jedoch niemals die Nachteile einer musikalisch ungünstig läutenden Glocke kompensieren. Dasselbe gilt auch für Holzstühle. Die Absorption unerwünscht hoher Frequenzen und der Geräuschanteile während des Läutevorgangs sollte primär nicht durch Dämmung, sondern durch günstige Klöppel erfolgen, und in den meisten Fällen werden witterungsbeständige Läden ausreichen – abgesehen davon, dass ein gewisser Anteil von Direktschall auch den Charakter, die „Kommunikationsfähigkeit“ und die Präsenz des Geläuts steigert, somit auch das Faszinationspotenzial für das Hörpublikum.

Sind noch funktionstüchtige metallene Joche und Stühle von denkmalpflegerischem Interesse vorhanden oder sanierbar, gibt es kaum zwingende Gründe, diese durch Holz zu ersetzen. Es existieren diverse Geläuteanlagen ohne einen Kubikzentimeter Holz rundherum, die jedoch dank vorteilhafter Klöppel klanglich keine Wünsche offen lassen (Audio 11). Das Holzjoch passt wohl besser zu jeder historischen Glocke und kann dank seinem Obergewicht auch bei unvorteilhaften Klöppeln erträglichere Resultate zeitigen, doch aufgrund des Materials hat es keinen Einfluss auf die Klangwirkung.²³ Für die akustischen Belange wären eher noch Material und Oberflächenstruktur des Bodens sowie der Wände und Decken der Glockenstube als Einflussgrößen zu berücksichtigen – und bei der Abwägung musikalischer Vor- und Nachteile wäre dem Stahlstuhl sogar zugute zu halten, dass er aufgrund seiner schlanken Struktur gerade im Falle von Anlagen mit drei und mehr Gefachen die homogene Durchmischung des Geläuts und die Ausgewogenheit der einzelnen Glocken untereinander besser fördert. Im Falle eines vielfährigen Holzstuhls dagegen wird man die weiter hinten im Stuhl hängenden Glocken immer weniger bis gar nicht mehr hören, weil sich diese je nach Hörerstandort hinter derart viel Holzmasse verbergen und sich so auch klanglich kaum noch durchsetzen können (Audio 12). Angesichts der Tatsache, dass ansonsten mit krampfhaften Anpassungsmanövern an vorhandene Glockenrippen immer wieder auf Umwegen die Ausgewogenheit eines Geläuts gefördert werden soll, sei diese Bemerkung gestattet.

Manche Sachverständigen mögen schon begeistert reagiert haben, wenn das frisch sanierte Geläut viel weicher klang – doch lag es am neuen Holzstuhl, an den neuen Holzjochen oder vielleicht doch eher an den neuen Reflexionsleisten der Schallläden und den frischen Klöppeln? Bezüglich Letzterem ist ein wichtiges Moment nicht zu übersehen: Ein neugeschmiedeter Klöppel generiert im Zustand vor der Kaltverfestigung vermutlich ebenfalls eine längere Verweildauer und somit eine weichere Klangwirkung, zunächst unabhängig davon, ob er klanglich vorteilhaft oder unvorteilhaft ausgelegt worden ist. Sogar wenn ein bereits installierter Klöppel nur 1 cm tiefer gehängt wird oder wenn er weichgeglüht und wieder eingesetzt wird, resultiert zunächst ein weicher Klang daraus, weil die Anschlagstellen gegenseitig unverbraucht sind. Während aber bei Klöppeln wie z.B. in Abb. 9-12 oder Abb. 15 unten auch nach mehreren Jahren keinerlei Veränderung zu hören ist, muss ausdrücklich davor gewarnt werden, bei Abnahmen unmittelbar nach einem Neueinbau tieflastiger oder zu leichter Klöppel zu früh zu applaudieren: Mit den Wochen und Monaten scheint sich die Berührungsdauer bei musikalisch unvorteilhaften Klöppeln rasch zu verkürzen, so dass der Klang bald wieder auf das Niveau des grellen Obertonklangs absinkt (Audio 13).

²³ So auch Wernisch 2006, S. 65.



Denselben nachteiligen Effekt brachten – noch verstärkt – Laborversuche mit der Verwendung von Klöppeln mit Messingballen. Auch Bronzepuffer, die zwar nur sehr selten für Bronzeglocken verwendet werden, scheinen zwar das Anschlaggeräusch zu dämpfen, schützen aber – wie ausgerechnet die ehrwürdigen Kölner Domglocken demonstrieren – keineswegs vor Nebenschlagtonlastigkeit, denn auch zwischen Puffer und Ballen entsteht eine Gelenkstelle, die dem Wohlklang vermutlich nicht förderlich ist.

5. Variationsmöglichkeiten der Läutesystem für Lautstärkensenkung und statische Problembehebung

Weitere problematische Vorbedingungen scheinen dem Wohlklang im Wege zu stehen: Mitunter können Glocken aufgrund der Platzverhältnisse im Turm nur gekröpft geläutet werden, ab und an liegt ihr Läuterhythmus in der Eigenschwingung des Turmes oder aber die Glocken wirken in offenen Türmen oder in Betonstuben zu laut. Scheinbar kann hier nur mit Maßnahmen abgeholfen werden, die verschiedentlich ästhetische Nachteile mit sich bringen: gekröpftes Läuten gilt schon per se als unerfreulich. Den Glocken in Eigenschwingungen des Turmes werden normalerweise Obergewichte an den Jochen und Kontergewichtsklöppel verabreicht, was klanglich dem Eindruck einer gewohnten Kröpfung ziemlich gleichkommt (Abb. 19, Audio 14). Für offene Türme und laute Geläute schließlich schien unter Hinnahme des Verlustes der Originalarchitektur zu gewissen Zeiten nur ein kostenträchtiger Umbau abzuhelpen (Abb. 20).

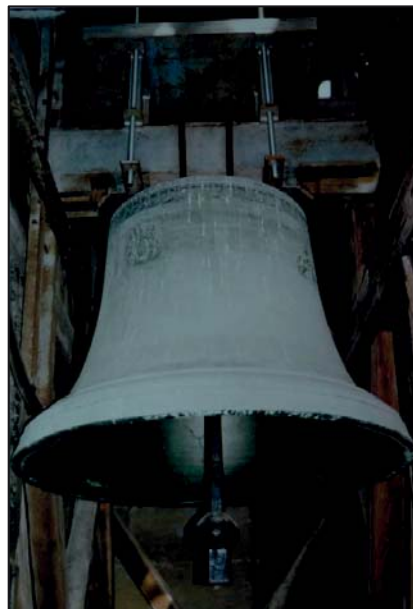


Abbildung 19: Bedeutende historische Domglocke, aufgrund statischer Befürchtungen mit Obergewichten und Kontergewichtsklöppel versehen, der alleine schon wegen seines unvorteilhaften Aufprallwinkels auf die Glocke grobe klangliche Nachteile mit sich bringt

Immer wieder sieht man sich als Sachverständige mit zu laut und grell wirkenden Geläuten konfrontiert. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass der hohe Schalldruck nur *ein* Faktor für die Lärmempfindung



ist. So wie die Temperaturangabe nur *ein* Faktor ist für das Kälteempfinden, das sich durch Wind und erhöhte Luftfeuchtigkeit arg intensivieren kann, so können im Glockenklang nebst dem hohen Schalldruck zumindest auch besonders gellende hohe Obertöne das Gehör belästigen. Eine Umrüstung eines Geläuts und seiner Glockenkammer kann zwar den maximalen Schallpegel z.B. von 105 auf 95 dB (A) senken, doch im Falle kleiner Klöppel und entsprechender Akustik erklingen in Turmnahe dennoch Frequenzen bis zu einer Höhe 9000 Hz, was weder angenehm wirkt noch Gespräche zulässt. Ein anderes Geläut mit kurzen großen Klöppeln mag in einem Turm mit offenen Schallfenstern zwar höhere Spitzen von z.B. 97 dB (A) erreichen, weist dafür maximal nur 6000 Hz als Frequenzspitzen auf und wird somit gegenüber dem erstgenannten Beispiel geradezu als Wohltat empfunden. Es ist demnach nicht ungefährlich, primär durch besonders kleine leichte Klöppel das Klangresultat insgesamt angenehmer zu machen. Auch hier spielen letztlich die Berührungsdauer und die geringere Beschleunigung des Klöppels eine Hauptrolle.



Abbildung 20: Ein offen konzipierter Glockenturm, links im Original, rechts nach einem aufwendigen, primär um der Schallpegelsenkung willen durchgeführten Umbau. – linkes Foto Gemeindearchiv Lyss (Schweiz)

5.1. Fallklöppel und gute Kröpfungen

Bereits seit dem 19. Jahrhundert sind in Europa diverse Läutesysteme anzutreffen, die mit den dynamischen Gesetzen teilweise virtuos operieren und damit teilweise üble, teilweise aber auch überraschend wohlklingende Ergebnisse zeitigen. Dazu gehört auch das Läuten mit Fallklöppeln. Diese Klöppeleigenschaft kommt dann zustande, wenn entweder das Schwungsystem durch Jochbeschwerungen verlangsamt wird oder aber der Drehpunkt der Glocke durch eine Jochkröpfung nach unten verlagert wird und gleichhoch bzw. leicht unter dem Klöppelaufhängungspunkt liegt. Die meisten in Holland, Belgien und Frankreich eingerichteten Systeme dieser Art überzeugen klanglich nur mäßig, meist aufgrund der zu tiefen Kröpfung



oder aber infolge ungenügender Abstimmung der dynamischen Pendel. Wenige, (vielleicht zufällig) besonders glücklich eingestellte Einzelfälle konnten hingegen aufzeigen, dass überraschende Klagergebnisse möglich sind: Sobald es gelingt, die dynamischen Parameter dergestalt vorzuberechnen, dass Klöppel und Glocke mit möglichst wenig Beschleunigung gegeneinander auftreffen, resultiert daraus eine milde, aber geradezu blumige Klangentfaltung, bei welcher die verkröpfte Aufhängung kaum noch durchschaut werden kann.

Empirische Beobachtungen, Sanierungsprojekte und Labortests bei ECC-ProBell brachten deshalb auch für Lautstärkensenkungen das Potenzial des Fallklöppels ins Spiel.²⁴ 2013 konnte eine Anlage mit Gegengewichten und Fallklöppel in Betrieb genommen werden (Abb. 21, Audio 15), 2015 wurde ein bereits gekröpftes Geläut dank der Umstellung auf Fallklöppel klangverbessert (Abb. 22 links, Audio 16), und seit 2016 treten Fälle auf, bei denen eine leichte Verkröpfung ehemals gerade hängender Glocken nicht nur den Schallpegel notwendig gesenkt, sondern auch ganz abgesehen davon eine erhebliche Klangverschönerung gezeitigt hat – meist übrigens nicht zuletzt dadurch, dass auch bei diesen Systemen relativ hohe Lätewinkel gewählt werden konnten (Abb. 22 rechts, Audio 17). Hierbei herrscht unter den gezeigten Beispielen das vielleicht beste Verhältnis zwischen größtmöglicher Schonung der Glocke und dennoch sehr zartem, rundem und getragenem Klang. Durch leichte Kröpfung oder Obergewichte mit Fallklöppelsystem können im Bedarfsfall auch diverse Eigenschwingungsproblematiken ausgemerzt werden, ohne dabei auf die musikalisch verpönten Kontergewichtsklöppel setzen zu müssen, welche – vorwiegend in Deutschland und speziell in Bayern – unzählige Geläute akustisch beeinträchtigt haben.



Abbildung 21: Die zunächst nach gewohnter Manier ausgerüstete Glockenanlage des ökumenischen Zentrums Kehrsatz bei Bern im Zustand nach einer Sanierung mit dem Ziel der Schallpegelsenkung: Obergewichte auf den Jochen verlangsamten den Läuterhythmus, die Klöppel werden durch die Trägheit im Schwungsystem und komplette Entfernung der Vorschwünge zu Fallklöppeln

²⁴ Matthias Walter, Eigenschaften und Chancen von Fallklöppelsystemen, in: Jahrbuch für Glockenkunde 25/26 (2013/2014), S. 419–425.



Abbildung 22 links: Eine bereits 1947 an gekröpften Jochen installierte Glockenanlage nach der Sanierung und der Neuausstattung durch Fallklöppel. Da im Vergleich zu Abb. 21 der Schwungrhythmus nicht verlangsamt wurde, ist die Klangwirkung vom Läuten am geraden Joch kaum mehr unterscheidbar; Rechts: Eine der vielleicht ersten Anlagen, die 2017 durch die Umstellung von geraden auf gekröpfte Joche und dank präzise abgestimmter Fallklöppel sogar wesentlich an Klangfülle und Schönheit gewonnen hat.

5.2. Antikröpfung und das Zuckerhutprinzip

Selbst wenn man das Fallklöppelsystem umgehen möchte, ließe sich bei ausreichendem Platzangebot im Turm auch mit Flugklöppeln der Rhythmus bei gleichzeitigem klanglichem Gewinn und optional mit leichter Schallpegelsenkung verändern, nämlich durch das System der Antikröpfung bzw. dem in Frankreich im 19. Jahrhundert oft praktizierten „superlancé“ (Abb. 23). Auch dieses System gewährt – und zudem unabhängiger von der Form des Klöppels – eine lange Verweildauer des Klöppels, weil dieser am Aufhängungspunkt besonders träge ist und deshalb mit proportional geringerer Beschleunigung auf die Glocke trifft. Und dadurch wirken sich bei diesem System auch lange Vorschwünge viel weniger nachteilig aus.



Abbildung 23: System „superlancé“ an einer Glocke der Kathedrale in Nantes (F). Der relativ lange Klöppelvor-schwung bewirkt aufgrund der verhältnismäßig geringen Beschleunigung des träg agierenden Klöppels hier kaum klangliche Nachteile; der Klang wirkt sogar im im Falle einer dicht auf das offene Schallfenster hinzuschwingenden Glocke grundtönig und mild.

Wer solche Anlagen zum ersten Mal erblickt, mag aus mangelnder Gewohnheit den Kopf schütteln, aber es handelt sich hier nicht um aberwitzige Experimente, sondern um kluge und hervorragend funktionierende Systeme, die der im deutschsprachigen Raum geübten Praxis klanglich teilweise überlegen sind. Zu erwähnen ist ausserdem ein hier bekanntes System, das ähnliche Effekte zeigt, offenbar ohne dass darin bislang technisches Potenzial erkannt worden ist: Die stark überhöhte Form der Zuckerhutglocke, die in der Gießertradition Italiens teilweise noch bis heute nachwirkt und sich dort offenbar seit Jahrhunderten zu bewähren scheint. Denn derart hochformatige Glocken bedingen nur sehr kurze Klöppel (Abb. 24), da sie im Verhältnis zu ihrer Länge nur einen sehr kurzen Weg bis zum Schlagring zurücklegen müssen, und daraus resultiert ebenfalls eine vergleichsweise geringe Beschleunigung vor dem Aufprall. Dies dürfte der Grund sein, weshalb sich die oftmals offen hängenden Geläute Italiens als klanglich ganz akzeptabel bewährt haben, während die Zuckerhutglocke in den nordalpinen, meist stärker geschlossenen Türmen in vielen Fällen eher leise gewirkt haben muss und womöglich auch deshalb schon nach hundert Jahren allmählich zur gedrungeneren gotischen Rippe weiterentwickelt wurde. Um Glocken milder anzuregen, braucht man deswegen nicht erneut auf die Zuckerhutrippe zurückzugreifen, sondern der Effekt ist im Prinzip sehr ähnlich wie jener der Antikröpfung. Ebenso stehen Versuche bevor, die Klöppelballen scheibenförmig in Schwungrichtung auszudehnen und so auch bei normalen geraden Jochen und gedrungeneren Rippen äußerst kostengünstig vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.



Abbildung 24: Zuckerhutglocke mit passendem hochlastigem Klöppel, dem bereits anzusehen ist, dass er die Glocke auch bereits bei geringem Lätewinkel anschlägt (links); Die Glocken des Domes zu Monza bei Mailand. Nicht nur dank dem gelungenen Guss, sondern auch dank der vergleichsweise hohen Gestalt und dem entsprechend kurzen, hochlastigen Klöppel entsteht trotz der völlig offenen Aufhängung nicht der Eindruck plärre (rechts)

6. Schluss

Die Darstellung soll eine Ermunterung sein, die angesprochenen Varianten von Klöppeln und Lätetechniken näher kennen zu lernen und diese je nach individuellem Bedarf auch zum Einsatz zu bringen. Unter vielen Sachverständigen, welche Glocken besonders unter klangästhetischen Gesichtspunkten beurteilen und mit den angesprochenen Systemen bereits vertraut sind, ist eine allgemeine Befürwortung jener wohlklangfördernden Maßnahmen spürbar. Aufgrund der Kenntnis, inwiefern die Klangwirkung durch technische Voraussetzungen beeinflussbar ist, lassen sich auch die zahlreichen Einzelkomponenten umsichtiger aufeinander abstimmen. So benötigt womöglich eine per se dumpf klingende Glocke in einem stark verbauten Turm nicht unbedingt den Klöppel mit der längsten Aufpralldauer, während offen hängende oder leichtrippige Glocken von den wohlklangfördernden Klöppeltypen ganz besonders profitieren. Demgegenüber herrscht gegenwärtig noch der Eindruck, dass auch Geläutesanierungen mit musikalisch optimierenden Zielsetzungen noch allzu oft nach der etwas simplen Prämisse „Holz+Holz+Holz und möglichst niedriger Schwungwinkel“ durchgeführt werden. Mag dies auch da und dort für ein zufriedenerstellendes Ergebnis ausreichen, so ist doch zu bedenken, dass künstlerische und musikalische Wahrnehmungen mehr bieten und auch gefallen, imponieren oder nachhaltig begeistern können – und solchen Eindrücken gegenüber weicht eine anfängliche „Zufriedenheit“ rasch der Gleichgültigkeit. Um längerfristig bewahrt werden zu können, muss Glockenklang allgemein gefallen. Sollen unsere Geläute auch bei der zunehmend säkularisierten Bevölkerung ihre Wertschätzung behalten, trägt jede Investition in eine Steigerung klanglicher Schönheit auch zur Bewahrung des Kulturerbes bei. Deshalb sei zum Mut aufgerufen, die besonders wohlklangfördernden Systeme näher kennen zu lernen, zu berücksichtigen und einzusetzen.



INGENIEURGRUPPE BAUEN



BERATENDE INGENIEURE VBI PRÜFINGENIEURE FÜR BAUTECHNIK VPI

KARLSRUHE | MANNHEIM | BERLIN | FREIBURG

- PLANUNG UND BEURTEILUNG VON GLOCKENTÜRME
- BAUDYNAMISCHE MESSUNGEN AN GLOCKENTÜRME
- PLANUNG UND INSTANDSETZUNGSPLANUNG VON GLOCKENSTÜHLEN
- ENTWURF, AUSSCHREIBUNG UND ABBUNDPLÄNE FÜR GLOCKENSTÜHLE
- ZERTIFIZIERTE PLANER IN DER DENKMALPFLEGE

1,57 Hz | 1,3 mm



Ingenieurgruppe Bauen | Besselstr. 16 | 68219 Mannheim | Tel. +49 (621) 419 49-0
www.ingenieurgruppe-bauen.de | mannheim@ingenieurgruppe-bauen.de

Dieses Werk ist copyrightgeschützt und darf in keiner Form vervielfältigt werden noch an Dritte weitergegeben werden.
Es gilt nur für den persönlichen Gebrauch.







Sanierung unter baudynamischen, klanglichen und glockenschonenden Aspekten – eine Werkschau

Johannes Wittekind

Erzbistum Freiburg

In diesem Beitrag wird auf Klangbeispiele verwiesen. Die zugehörigen Audiodateien können auf der Homepage des Europäischen Kompetenzzentrums für Glocken ECC-ProBell® angehört bzw. heruntergeladen werden: www.ecc-probell.de/Tagungsband

1. Ein Rückblick

Die Erzdiözese Freiburg war mit ihrem ehemaligen Glockensachverständigen Kurt Kramer sehr frühzeitig an der Entwicklung von ECC-ProBell beteiligt. Neben einer kritischen Überprüfung der zu diesem Zeitpunkt gängigen Sanierungsmethoden im Umgang mit historischen Glocken, lag ein besonderer Fokus auf der Entwicklung wissenschaftlich fundierter Messmethoden und Verfahren, welche die Belastungszustände der Kirchenglocken im Läutebetrieb erfassen, analysieren und geeignete Maßnahmen für eine bestmögliche Schonung der Glocken beschreiben.

Bereits im Jahr 2008 erfolgte die Beauftragung der Hochschule Kempten mit der Durchführung erster Messungen am Geläute des Münsters Unserer Lieben Frau auf der Klosterinsel Reichenau.

In den folgenden Jahren wurden weitere von der Glockeninspektion ausgewählte Pilotprojekte gestartet und die betroffenen Kirchengemeinden mit Hilfe einer Sonderfinanzierung (50% Zuschuss aus dem Ausgleichsstock der Erzdiözese) der anfallenden Honorare und Kosten der Hochschule Kempten unterstützt. Eine primäre Aufgabenstellung war für uns die Entwicklung von standardisierten Verfahren, die es den Fachfirmen und den Betreibern von Läuteanlagen ermöglichen, mit einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand bestmögliche Läutebedingungen herbeizuführen. Diese Umsetzungs- und Erprobungsphase ist zwischenzeitlich weitestgehend abgeschlossen und die Ergebnisse zeigen, dass die vorherrschenden Läutebedingungen häufig mit einer Überbeanspruchung und somit zu einem beschleunigten Verschleiß der Glocken einhergehen.

Betrachtet man die hohen Verluste an Glocken während des 2. Weltkriegs (2591 Glocken = 84% der Glocken in der Erzdiözese Freiburg) ist es geboten, mit größter Sorgfalt und Behutsamkeit die verbliebenen historischen Glocken zu gebrauchen. Auch unsere sogenannten modernen Glocken der Nachkriegsjahre sind von diesem Problem betroffen.

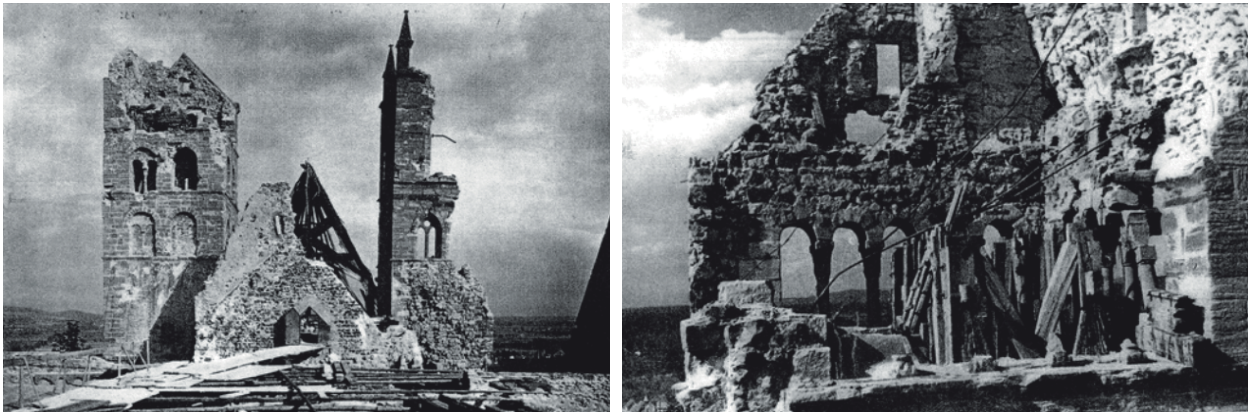


Abbildung 1: Zerstörte Glockentürme in Breisach (aus Weinrich, 1949)

2. Erwartungen an das ECC-ProBell

Im Zusammenhang mit Bauschäden an Kirchtürmen und deren angrenzenden Gebäudeteilen, müssen die Läuteanlagen auf eine etwaige schädigende Wechselwirkung hin überprüft und bewertet werden. Von Seiten der Tragwerksplaner werden aus baodynamischen Aspekten Veränderungen an den Glockenstühlen und deren Lagerung im Turm sowie am Geläute zur Anpassung der Anschlagzahlen und Lätewinkel empfohlen. Die Beeinflussung der Läuteparameter kann sich jedoch durchaus nachteilig auf die Klangentfaltung und die Beanspruchung von Glocken auswirken. Zum Beispiel ist die in der Vergangenheit praktizierte Aufhängung der Glocken an gekröpften Stahljochen, die Ausstattung mit sogenannten Reversionsklöppeln, die kategorische Reduzierung der Lätewinkel (10% unter DIN) häufig mit einer hörbaren Verschlechterung der Klangentfaltung und mit einer Überbeanspruchung der Glocken verbunden.

Die Planung und Durchführung einer zielgerichteten Sanierung der Türme und Läuteanlagen wird von den beteiligten Architekten und Ingenieuren als Gratwanderung wahrgenommen. Das Spannungsfeld ist begründet in der Erwartung bzw. Forderung nach einer bestmöglichen Schonung der Glocken – einer Reduzierung der Beanspruchung des Gebäudes (Turmdynamik) – und einer optimierten Klangentfaltung der Glocken.

Die von ECC-ProBell entwickelten akustischen Messungen an den Glocken dokumentieren das Klang- und Schwingverhalten in Abhängigkeit der Anschlagbedingungen und erstellen den musikalischen Fingerabdruck jeder Glocke. Mit diesen Verfahren erhalten wir bereits vor der Sanierung Hinweise auf mögliche Schäden im Klangkörper der Glocken. Die nach einer möglichen Sanierung erfolgenden Nachmessungen dokumentieren und bewerten die klanglichen Veränderungen der läutenden Glocken und liefern auch die Referenz für zukünftige Klanganalysen, aus denen sich möglicherweise einstellende Veränderungen aufgrund von z.B. auftretenden Schäden, Verschleiß, Klöppelabsenkung etc. sehr frühzeitig identifizieren lassen.



3. Werkschau

3.1. Kath. Pfarrkirche St. Georg in Reichenau-Oberzell

Die Läuteanlage erfuhr bereits im Jahr 2001 eine umfassende Sanierung. Unter anderem wurden die Glocken gedreht und mit neuen, sehr leichten Klöppeln ausgestattet. Neben einer Reduzierung des Härtegrades des Klöppelstahls sind beidseitig Bronzepuffer in die Klöppelballen eingearbeitet. Diese Maßnahmen führen nachgewiesener Maßen zu einer sehr niedrigen Beanspruchung der Glocken im Läutebetrieb. Bedauerlicherweise führt dies zu einer unbefriedigenden Klangentfaltung und somit zu einer berechtigten Unzufriedenheit bei der betroffenen Kirchengemeinde. (Audio 1: Plenum Reichenau-Oberzell)

3.2. Kath. Münster Unserer Lieben Frau in Reichenau-Mittelzell

Die Bauschäden am Gewölbe der Markuskapelle waren Anlass für eine ingenieurtechnische Abklärung der Frage, inwieweit der Läutebetrieb mitursächlich für das Schadensbild an den Baukonstruktionen ist. Bereits im Jahr 1955 wurde mit dem Einbau der von F.W. Schilling gegossenen a'-Glocke das statische System im Bereich des historischen Glockenstuhls verändert. Mit dem Hinzuguss der großen c'-Glocke im Jahr 1986 wurde der Stuhl auf der Südseite um eine weitere Kammer ergänzt.

In der Summe führte diese Veränderung zu einer asymmetrischen Lastabtragung auf den mittelalterlichen hölzernen Unterbau und u. a. zur Schädigung der Sandsteinkonsolen. (Abb. 2)



Abbildung 2: Beschädigung der Auflager aus Sandsteinkonsolen

Neben einer Neuorganisation des Geläutes stand die Optimierung der Läutebedingungen, insbesondere für die historischen Glocken, im Vordergrund. Die modernen Glocken wurden auf beiden Seiten der Glocken-



stube in freistehende neue Glockenstühle eingehängt, so dass alle fünf Glocken in einer Reihe nebeneinander hängen.

Für den Einbau neuer Jochzapfen und dem passgenauen Einlassen der gedrehten Glocken wurden die Grundbalken der alten Joche mit neuen Passstücken versehen. Einen wesentlichen Anteil für die bestmögliche Schonung der Glocken haben die neuen Klöppel mit feinjustierbarer Doppelgelenkaufhängung. (Abb. 3 links) Die konsequente, rotationssymmetrische Fertigung der auf der Drehbank nachbearbeiteten Klöppel erinnert einige Kritiker an die „Designstube von Coca Cola“. (Abb. 3 rechts)



Abbildung 3: Klöppelinstallation an justierbarer Doppelgelenkaufhängung (links), Form des Klöppels von Glocke 4 (rechts)

Der Einbau neuer Schallläden führte zu einer erheblichen Reduzierung des Nässeintrages in die Glockenstube und gewährt somit einen nachhaltigen Schutz der Holzkonstruktionen.

In der Summe führen die Veränderungen zu einer hörbaren Veränderung der Klangentfaltung des Geläutes. (Audio 2: vorher/nachher jeweils des Plenums, eine der historischen Glocken sowie der c'-Glocke von Reichenau-Mittelzell)

3.3. Kath. Pfarrkirche St. Peter und Paul in Reichenau-Niederzell

Das fünfstimmige Geläute besteht ausschließlich aus auf zwei Türme verteilten, historischen Glocken. Die im Nordturm hängende, im Jahr 1521 von Niclaus Oberacker in Konstanz gegossene Glocke 1 weist einen Riss auf. Die Hochschule Kempten empfiehlt die Schweißung der Glocke außerhalb des Turmes in einem anerkannten Fachbetrieb. Die stark abweichende Beanspruchung der Glocken ist schlussendlich in den Klöppelproportionen und der mangelhaften Ausrichtung der Klöppel in den Glocken begründet.



3.4. Kath. Münster Unserer Lieben Frau in Freiburg

Im Zusammenhang mit der bis zum heutigen Tage andauernden Sanierung des Turmhelmes und der Türmerstube wurde von Seiten der Dompfarrei die Frage nach einer Optimierung der Läutebedingungen aufgeworfen.

In diesem Zuge wurden die komplexen Fragestellungen in einem Kolloquium am 19.05.2015 unter Fachkreisen besprochen und die nachfolgende Strategie konzipiert.

1. Der Schutz des Turmes hat oberste Priorität. Die aus dem Glockenläuten resultierende Dynamik ist so anzupassen, dass diese keine Schäden am Turm hervorruft.

Die in den vergangenen Jahren durchgeführten Schwingungsmessungen am Turm des Münsters dienen als Voraussetzung für die zu wählenden Läutebedingungen in Bezug auf den Lätewinkel und mögliche Anpassungen am Joch. Insbesondere bei den Glocken 1 und 2 sind Veränderungen an den Läutebedingungen sinnvoll, da diese derzeit den größten Einfluss auf die Turmdynamik besitzen. Mögliche Maßnahmen sind dabei eine Senkung des Lätewinkels sowie ein Einlassen des Jochs, um den Abstand zur Eigenfrequenz des Turmes zu vergrößern. Nach Beendigung der Maßnahmen wird vorgeschlagen, den Erfolg der Arbeiten mit einer erneuten Schwingungsmessung nachzuweisen.

2. Das Läuten der Glocken ist so einzustellen, dass eine Homogenisierung im Klangverhalten der Glocken erreicht wird.

Durch den Umbau des Glockenstuhls im Jahre 2008 wurden in einigen Schilling-Glocken Klöppel eingebaut, die zu einer veränderten Klanganregung dieser Glocken und damit zu einer Uneinheitlichkeit im Klang des Geläutes führten. Insbesondere die neue Position der Glocke 2 verstärkte diese. Mit der Sanierungsmaßnahme soll erreicht werden, dass das Geläute hinsichtlich des Klanges homogener gestaltet wird. Darüber hinaus wird angestrebt, die Klangabstrahlung der einzelnen Glocken dahingehend zu verbessern, dass die Grundtöne der Glocke gegenüber den Obertönen besser zur Geltung kommen. Dies soll erreicht werden mit den Prinzipien der Klöppeldimensionierung, wie sie in den vergangenen Jahren durch das ECC-ProBell und die Firma Rüetschi AG in Absprache mit dem Glockensachverständigen Herrn Matthias Walter an verschiedenen Projekten in der Schweiz erarbeitet wurden (Kathedralen von Fribourg und Solothurn, Berner Münster, Stadtkirche Thun)

3. Die Beanspruchungen der Glocken beim Läuten sind auf ein erträgliches Maß zu senken.

Die Schonung der Glocken zur Sicherstellung einer langen Lebensdauer hat bei diesem außergewöhnlichen Geläute ebenfalls hohe Bedeutung. Insbesondere die großen Glocken (ab ca. 1000 kg) wurden in der Vergangenheit verhältnismäßig stark beansprucht. Mithilfe einer computergestützten Auslegung der neuen Klöppel kann eine deutliche Verringerung der Läutebeanspruchungen an den Glocken zuverlässig erreicht werden.



Im weiteren Projektverlauf wurde das ECC-ProBell mit der Durchführung der erforderlichen Untersuchungen beauftragt. Die Auswertung der Messungen hat ergeben, dass die vorhandenen Klöppel beim Läuten zu teilweise sehr hohen Beanspruchungen der Glocken führen. Diese Belastungszustände bewirken einen vorzeitigen Verschleiß der Glocken. Entsprechend den vorliegenden Berechnungen der theoretischen Lebensdauer der Glocken ist beispielsweise bei Glocke 2 (b°-Glocke von F. W. Schilling, 1959) nach etwa 250 weiteren Betriebsstunden (ca. 50 Jahren) mit einer nachhaltigen Schädigung der Glocke zu rechnen. In musikalischer Hinsicht wird die Klangentfaltung der Glocken 1, 3 und 4 als unausgewogen und sehr ober-tönig beurteilt.

Der Austausch aller Klöppel hat zu einer Schonung, einer Verbesserung der Klangentfaltung und zu einer Harmonisierung des Gesamtklanges der Glocken geführt. Die abschließende Nachmessung und Auswertung wird nach Beendigung der Sanierung des Turmhelms und der Türmerstube gegen Ende des Jahres 2018 erfolgen. Das Projekt wird in einer Publikation des Münsterbauvereines veröffentlicht. (Audio 3: Gegenüberstellung vorher/nachher Freiburger Münster)



Abbildung 4: Glockenstube im Freiburger Münster (Axel Kilian)

3.5. Kath. Stiftskirche Liebfrauen in Baden-Baden

Das 9-stimmige Geläute wurde im Jahr 1948 von der Glockengießerei Junker in der sogenannten „Briloner Sonderbronze“ gegossen. Üblicherweise besteht die klassische Glockenbronze aus einer Legierung von 78% Kupfer und 22% Zinn. Bei der „Briloner Sonderbronze“ wurde der Zinnanteil durch Silizium ersetzt. Innerhalb der Erzdiözese Freiburg gibt es ca. 500 Briloner Glocken verteilt auf 120 bis 150 Anlagen, wobei die Stiftskirche über das größte und prominenteste Geläute dieser Machart verfügt. Das Klangverhalten der Briloner Glocken unterscheidet sich deutlich hörbar von vergleichbaren Bronzeglocken. Diese Glocken erklingen etwas dumpfer und im Moment des Klöppelanschlags metallischer. Die Briloner Glocken reichen



nach vorherrschender Meinung nicht an die glockenmusikalische Qualität von Bronzeglocken heran. Es stellt sich nun die Frage, ob diese musikalischen Einbußen ausschließlich in der Legierung begründet liegen, oder/und unzureichend proportionierte Klöppel einen nicht unwesentlichen Anteil daran haben.

Die Untersuchungs- und Berechnungsmethoden des Instituts ECC-ProBell der Hochschule Kempten werden hierzu sicherlich aufschlussreiche Erkenntnisse liefern. Zielsetzung ist es, allgemeingültige Informationen und Methoden für die künftig anstehenden Sanierungen von Läuteanlagen mit Briloner Glocken zu erlangen. Die hierfür erforderlichen Messungen werden im Sommer 2018 durchgeführt. (Audio 4: Plenum der Stiftskirche Baden-Baden)





**TRADITION SCHMIEDET HIGHTECH
SEIT ÜBER 100 JAHREN**



WIR BILDEN AUS!

WWW.HAMMER-AUSBILDUNG.DE



**Edelstahl
ROSSWAG**

www.edelstahl-rosswag.de







Simulation des Klöppelanschlags – Einfluss der Klöppelgestaltung auf den Klang

Andreas Rupp, Denis Spiess, Michael Plitzner

Hochschule Kempten, ECC-ProBell®

Zusammenfassung

Der Klang einer läutenden Glocke wird neben ihrem eigenen Klangvermögen durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Äußere Parameter wie Lätewinkel, Glockenstube und Schallläden beeinflussen den Glockenklang außerhalb des Turmes. Die Abstimmung des dynamischen Systems Glocke mit Joch und Klöppelmaterial, -gewicht und -form sind bestimmend für die Lautstärke und die Anregung zum Schwingen. In einigen Projekten wurde darüber hinaus der Klöppel im Bereich des Vorschwungs gedungen gestaltet, um damit eine wesentliche Verbesserung des Klanges zu erzielen. Der Klang wird als wohltönend empfunden, wenn die hohen Teiltöne nicht vorherrschend schrill klingen und mehr die niederen Frequenzen im Klangbild entscheidend sind. Eine unterschiedliche Anregung verschiedener Teiltöne wird durch den unterschiedlichen Verlauf des Anschlages und hierbei insbesondere die Anschlagdauer erreicht.

Eine Veränderung des Klöppels bewirkt automatisch auch immer eine Veränderung der Läuteparameter, so dass eine gezielte Auslegung des Klangs durch Auslegung des Klöppels bisher nur erfahrungsbasiert und nicht parametergesteuert vorgenommen werden konnte. In diesem Beitrag wird über Computersimulationen bei gezielter Variation der einzelnen wesentlichen Parameter zur Klangbeeinflussung berichtet.

Die Ergebnisse erlauben die Abschätzung der Auswirkungen einer Variation von Anfluggeschwindigkeiten, Klöppelmasse, Ballendurchmesser, Schaftdicke und Vorschwungform, so dass nun gezielt ein Optimum der Läutebedingungen im Hinblick auf Lebensdauer und Klang eingestellt werden kann. Insbesondere konnte nachgewiesen werden, dass ein Klöppel durch einen gedungenem Vorschwung als vorteilhaft hinsichtlich hoher Lebensdauer und grundtönigem Klang ausgelegt werden kann.

1. Einleitung

Der Anschlag des Klöppels beim Läuten bringt die Glocke zum Erklingen – Lätewinkel, Glockenstubenakustik und Schallläden beeinflussen den Klang der Glocke, wie er außerhalb des Turmes gehört wird. Die Abstimmung des dynamischen Systems von Glocke mit Joch und Klöppel im Zusammenwirken mit dem eingestellten Lätewinkel und der Läutemaschine ist wesentlich für die Intensität des Anschlags. Dabei bestimmt die sich aus den Einstellungen ergebende Anfluggeschwindigkeit mit der wirksamen Masse des Klöppels den Impuls und damit die Anschlagsintensität. Die Materialbeanspruchung der Glocke mit sich ergebender begrenzter Lebensdauer, der Schlagverschleiß sowie die Lautstärke resultieren aus dieser Anschlagintensität. Darüber hinaus wirkt sich das Material des Klöppels auf den Klang der Glocke aus. Einerseits wird ein Klöppelmaterial mit relativ geringer Festigkeit und gutem Verformungsvermögen eingesetzt,



um ein Anpassen des Klöppels an die Glocke zu ermöglichen, was andererseits nicht zu ausgeprägt erfolgen sollte, da mit zu großer angepasster Anschlagfläche ein klatschendes Geräusch auftreten kann.

Bei geeignet ausgewählten Läuteparametern und Klöppelmaterialien konnten in den vergangenen Jahren bei vielen Projekten jedoch noch weitere Parameter zur Beeinflussung des Klanges einer Glocke beobachtet werden. Die klangliche Wirkung des Klöppelanschlags wird deutlich durch die Dauer des Anschlags beeinflusst, da sie einen direkten Einfluss auf die in der Glockenstruktur angeregten Schwingungsfrequenzen hat. Die Anschlagdauer eines Klöppels an die Glocke liegt üblicherweise im Bereich von 0,2 bis 0,8 Millisekunden. Dabei gilt: je länger die Anschlagdauer, desto niedriger-frequenter das Anregungsspektrum. Nach DIN 45692 werden Geräusche und Klänge, deren spektrale Anteile sich überwiegend im Bereich hoher Frequenzen befinden, vom menschlichen Gehör als „scharf“ oder „schrill“ empfunden. Schärfe korreliert häufig mit der Lästigkeit, d.h. je größer die Schärfe, desto schlechter die Geräusch- bzw. Klangqualität. [1] Für eine ausgewogene Anregung der hohen und tiefen Teiltöne einer Glocke ist im Allgemeinen eine gute Anregung der niederfrequenten Töne und eine in Maßen abgeschwächte Anregung der höheren Töne vorteilhaft. Für eine Optimierung des Klangverhaltens einer läutenden Glocke rückt damit die Betrachtung der Anschlagdauer immer mehr in den Fokus.

Im Folgenden wird über Untersuchungen zu den Einflussgrößen auf die Anschlagdauer von Klöppel und Glocke berichtet.

2. Klöppelformen und Klang von Glocken in der Praxis

Bei vielen Untersuchungen des ECC-ProBell® an Glocken war die Hauptzielsetzung, die Beanspruchung der Glocke zu bestimmen und das Risiko für Schäden auf ein vertretbares Maß herabzusetzen. Die ingenieurmäßige Auslegung von Klöppeln und Läuteparametern konnte hierbei für eine passgenaue Einstellung des Beanspruchungsgeschehens genutzt werden. Durch die Berücksichtigung von kulturhistorischen und denkmalpflegerischen Aspekten konnte immer wieder beobachtet werden, dass sich der Klang der Glocke durch diese Parameter veränderte. Besonders konnte eine Konzentration der Klöppelmasse auf den Ballen durch Verkürzung des Vorschwungs für Sanierungsprojekte genutzt werden, um eine grundtönigere und damit ausgewogenere Klangentfaltung zu erreichen.

Zu deutlichen Klangveränderungen führte dies beispielsweise bei den Glocken der Kathedrale St. Nikolaus in Fribourg (CH), der Stadtkirche in Thun (CH) und des Marienmünsters Mittelzell auf der Insel Reichenau (Abb. 1). Die Klangentfaltung dieser Geläute konnte dadurch nachweislich verbessert werden, da sowohl jede Glocke in sich ausgewogener als auch die Glocken im Zusammenspiel einheitlicher erklingen. Die neuen Klöppel besitzen alle einen kürzeren Vorschwung und einen deutlich biegesteiferen Übergang zwischen Klöppelkugel und Vorschwung. Aufgrund der Einzigartigkeit jedes Glockensystems und der verschiedenen Randbedingungen unterscheiden sie sich jedoch in ihrer speziellen Form deutlich voneinander. Jeder Klöppel wurde mit seinen dynamischen Eigenschaften und mit der Wahl der Läutebedingungen mithilfe der vorhandenen Simulationstools für die einzelne Glocke optimiert.

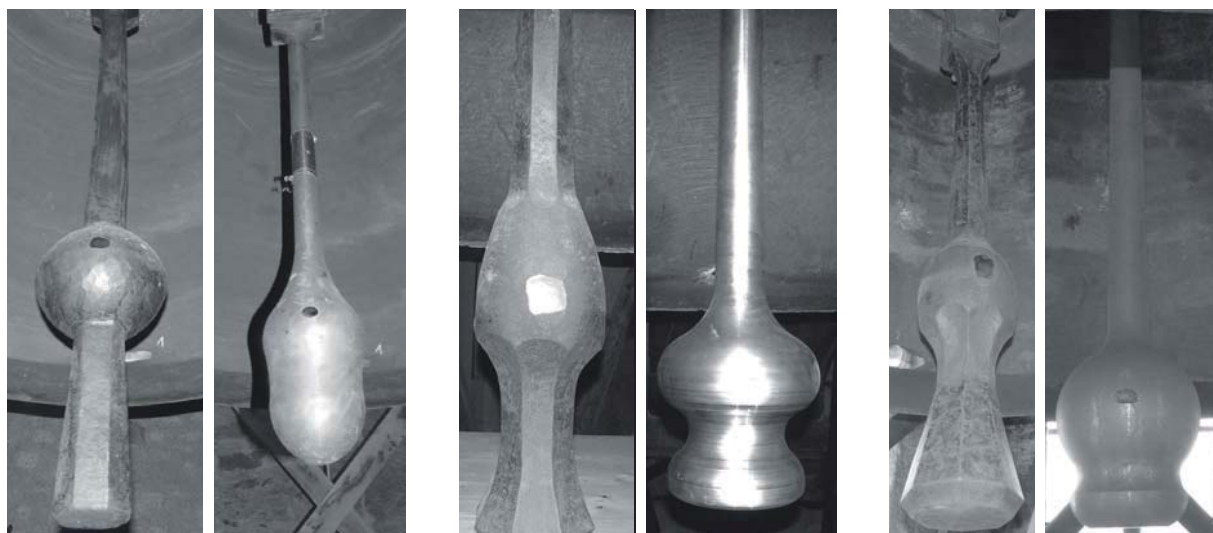


Abbildung 1: v.l.n.r.: Mittelzell alt/neu, Fribourg alt/neu, Thun alt/neu (jeweils von Glocke 1)

Das Klöppelmaterial oder z.B. auch die Verwendung von Bronze-Puffern können zu einer starken Veränderung des Klanges einer Glocke führen. In den erwähnten Projekten wurde aber die Klöppelgestaltung dazu genutzt, gezielt einen grundtönigeren Klang zu erreichen, der meist als wohltönender empfunden wurde. Jedoch wird der erreichte neue Klang von manchen Personen auch als zu mulmig oder dumpf beschrieben. Eine zu grundtönige Anregung stellt somit kein Optimum dar, da bei zu geringen Obertönen im Klang der „Glanz“ des Geläuts leidet. Die Gestaltung des Klöppels kann also neben der Einstellung einer passgenauen Dynamik von Glocke und Klöppel für ein geringes Risiko für Schäden auch dazu genutzt werden, den Anschlag für die Ausbildung eines guten Klangs geeignet anzupassen. Hierzu ist die Kenntnis der einzelnen Einflussparameter und deren Auswirkung auf die Anschlagsintensität, die Beanspruchung und den Klang systematisch zu erforschen. Dies ist nur mit einer Computersimulation möglich, da die Veränderung eines physikalischen Parameters in der Realität sofort die Veränderung einer ganzen Anzahl weiterer Parameter nach sich zieht und damit eine gezielte Untersuchung, auch bei extrem hohem Aufwand der Herstellung von vielen Klöppeln, keine brauchbaren Ergebnisse liefert.

Für die Glocke 1 des Marienmünsters Reichenau-Mittelzell ist in Abb. 2 das Frequenzspektrum vor und nach der Restaurierung aufgetragen. Die tiefen Intensitäten des Untertons, der Prime und der Terz nahmen hier verhältnismäßig zu, wohingegen die Intensitäten der Töne ab der Quinte abnahmen. Dieser Unterschied ist auch deutlich mit dem Gehör als klangliche Verbesserung wahrnehmbar. Nach Johannes Wittekind erklingt das Geläute nun gut ausbalanciert. Die frühere Dominanz der modernen Glocken ist verschwunden und im Zusammenklang entsteht ein deutlich hörbarer, tiefklingender Residualton. Dieser verleiht dem Geläut einen in dieser Intensität noch nie gehörten profunden Klang.

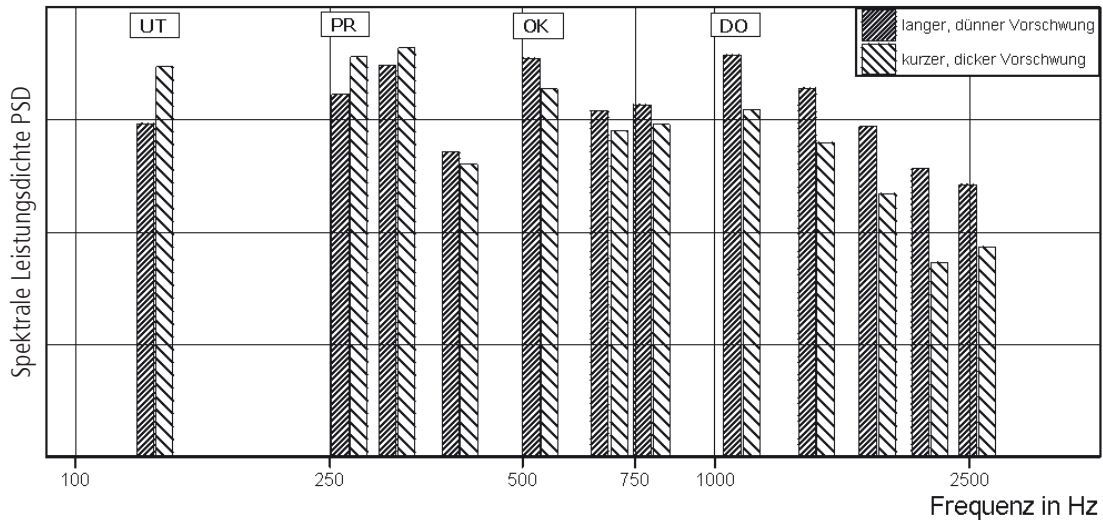


Abbildung 2: Veränderung der Frequenzen von Glocke 1, Marienmünster Mittelzell

3. Physik des Klöppelanschlags

Die Anschlagintensität beschreibt den Impuls, den der Klöppel auf die Glocke ausübt, und ist somit direkt proportional zur Anfluggeschwindigkeit und wirksamen Masse des Klöppels. Die für den Impuls relevante Masse entspricht nicht der Klöppelgesamtmasse, da die Klöppelbewegung eine Drehung um die Aufhängung darstellt und die Klöppelform nicht biegesteif ausgeführt ist. Je nach geometrischer Ausführung von Schaft und Vorschwung kommt es zu einer Biegung der Struktur, so dass die im Schaft und Vorschwung enthaltenen Massen nur anteilmäßig in der wirksamen Masse m_{eff} des Klöppels enthalten sind. Die klangliche Wirkung des Klöppelanschlags mit seinem sich aus Masse und Geschwindigkeit ergebenden Impuls wird durch die Dauer des Anschlags beeinflusst, da sie einen direkten Einfluss auf die Anregung der Teiltschwingungen der Glocke hat. Dabei gilt: je länger die Anschlagdauer, desto niedriger das Anregungsspektrum. Allerdings benötigt eine nennenswerte Anregung der niederen Teiltöne eine vergleichsweise hohe Intensität des Anschlags. Hat der Anschlag nur eine sehr kurze Berührungsdauer, so ist der anregende Impuls ebenfalls sehr kurz und das dazugehörige Anregungsspektrum umfasst einen großen Frequenzbereich, bis herauf zu hohen Frequenzen. Für eine ausgewogene Anregung der hohen und tiefen Teiltöne der Glocke ist im Allgemeinen ein niederfrequentes Anregungsspektrum wünschenswert.

Nach Heinrich Hertz [2] sinkt die Berührungsdauer zweier fester elastischer Körper logarithmisch mit der relativen Anfluggeschwindigkeit. Die Berührungsdauer wird somit unendlich, wenn die relative Geschwindigkeit der stoßenden Körper unendlich klein ist. Eine Erhöhung der Masse des stoßenden Körpers führt zu einer annähernd linear-proportionalen Zunahme der Berührungsdauer. Die Anfluggeschwindigkeit und die Klöppelmasse werden bei der Auslegung des dynamischen Systems Glocke – Klöppel so eingestellt, dass das Risiko für Schäden aufgrund niedriger Beanspruchungen gezielt begrenzt wird.

Die traditionell von ECC-ProBell vorgenommene Klöppelauslegung ergibt sich also vornehmlich aus den Anforderungen des dynamischen Systems und dem festgelegten Lätewinkel, die gemeinsam die Anschlagzahl bedingen. Dabei ergibt sich eine „übliche“ Anschlagdauer abhängig von der Form und dem



Material des Klöppels, seiner Masse und der resultierenden Anfluggeschwindigkeit. Diese Vorgehensweise ist auch für ein definiertes Risiko für Ermüdungsschädigung vielfach erprobt und die sich tatsächlich an den Glocken ergebenden Beanspruchungen können mit einem Dehnungsmesstreifen direkt gegenüber den Anschlagstellen beidseitig gemessen werden. (Abb. 3 links)



Abbildung 3: Applizierter DMS auf der Glocke (links), Beschleunigungssensor am Klöppel (rechts)

Erste Untersuchungen zum Einfluss der Berührungzeit an Glocken führten M. Grützmacher et. al. in den 1960er-Jahren durch. [3] Sie führten Versuche zum Kontaktverhalten zwischen Klöppel und Glocke hinsichtlich der Abhängigkeit des Klangbildes von Masse, Material, Form und Anschlag des Klöppels durch. Dabei ergab sich ein Zusammenhang der Amplitudenverteilung der Teiltöne mit der Berührungsdauer des Klöppels, woraus sie folgerten: Maßnahmen, die eine Verlängerung der Berührungsdauer zur Folge haben, führen dazu, dass die höheren Teiltöne abgeschwächt und die tieferen verstärkt werden. Grützmacher et. al. verwendeten den Kontaktzustand zwischen Klöppel und Glocke als Schalter in einem elektrischen Stromkreis und integrierten über die geflossene Ladung. Mögliche durch das Schwingverhalten des Klöppels bedingte Mehrfachberührungen wurden somit nicht berücksichtigt. Die effektive Impulsdauer konnte daraus nicht genau bestimmt werden.

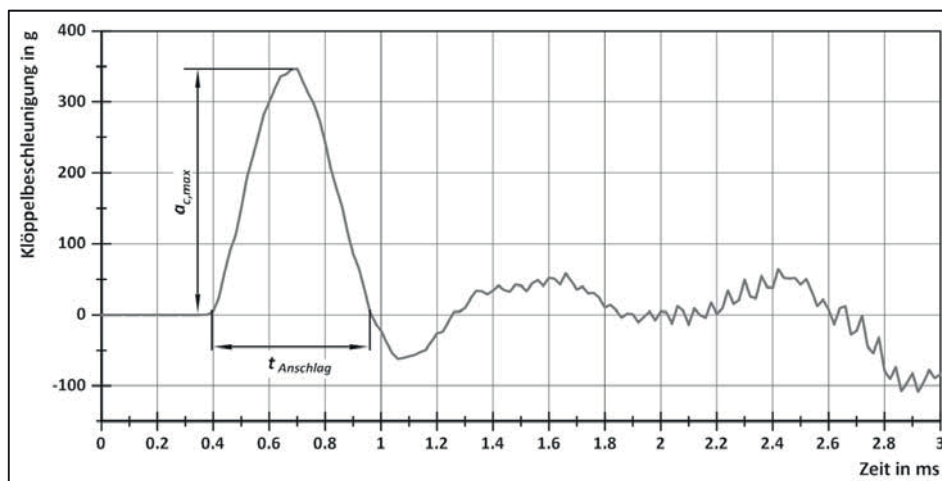


Abbildung 4: Beispiel des Beschleunigung-Zeit-Verlaufs am Klöppelballen beim Anschlag



Die messtechnische Erfassung der Anschlagdauer, die maßgeblich den Anschlagimpuls zusammen mit der effektiven Masse des Klöppels bestimmt, erfolgt aus der Klöppelbeschleunigung (Abb. 3 rechts) während eines Anschlags. Aus dem Verlauf der Beschleunigung während des Anschlags kann die maximale Beschleunigung $a_{K,max}$ und die Anschlagdauer $t_{Anschlag}$ gemäß Abb. 4 bestimmt und daraus die Anfluggeschwindigkeit abgeschätzt werden – der Beschleunigungsverlauf ist annähernd sinusförmig, so dass gilt:

$$\bar{v}_{Anschlag} = \frac{a_{K,max}}{\sqrt{2}} \cdot t_{Anschlag}$$

Für eine ganze Anzahl von untersuchten und gezielt neu ausgelegten Klöppeln sind die ermittelten Anschlagdauern für die alten Klöppel mit langem Vorschwung und für die neuen Klöppel mit gedrungenem Vorschwung in Abb. 5 eingetragen. In vielen Fällen konnte eine wesentliche Verlängerung der Anschlagdauer erreicht werden, die mit einem deutlich grundtönigeren Klang einherging. Es ist dabei zu beachten, dass die neuen Klöppel z.T. andere Gewichte als die alten aufwiesen und dass optimierte dynamische Eigenschaften auch zu veränderten Anfluggeschwindigkeiten führten. Ebenso können sich auch die neuen Klöppelmaterialien und die Ballengröße ausgewirkt haben. Dadurch wird deutlich, dass eine systematische Untersuchung der Einflussgrößen auf die Anschlagdauer experimentell nicht möglich ist.

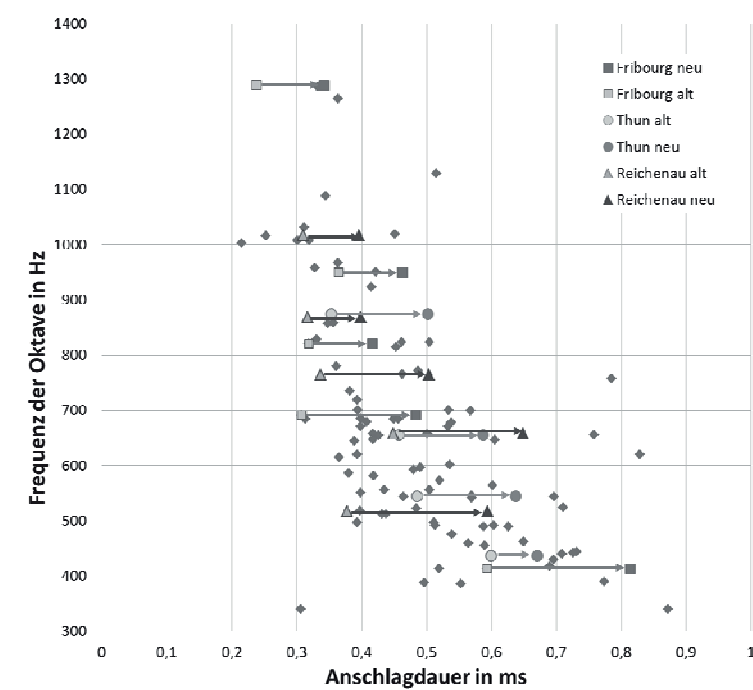


Abbildung 5: Erhöhung der Anschlagdauer bei veränderter Klöppelform



4. Computer-Simulation

4.1. Finite-Elemente-Modell

Die Gestaltung des Klöppels kann dazu genutzt werden, den Anschlag nach Intensität, Dauer und Verlauf gezielt zu verändern. Hierzu sind die einzelnen Einflussparameter und deren Auswirkungen auf die Anschlagintensität, die Beanspruchung und den Klang systematisch zu erforschen. Dies ist nur mit einer Computer-Simulation möglich. Die Simulation derartiger Kurzzeitvorgänge ist sehr aufwendig und zuverlässige Programme sind erst seit wenigen Jahren z.B. im Automobilbau für die Crash-Simulation entwickelt worden. Im ECC-ProBell konnte mit freundlicher Unterstützung der Fa. DYNAmore das FEM-Simulationsprogramm LS-DYNA für diese hochdynamischen Problemstellungen und die komplexen Kontaktverhältnisse zwischen Klöppel und Glocke eingesetzt werden.

Hierzu wurde ein Finite-Elemente-Modell von Glocke und Klöppel erarbeitet:

Glocke mit einem Durchmesser an der Schärfe von 800 mm und einem Gewicht von 286 kg.

Der Klöppel wurde als Standardform mit einem Gewicht von ca. 10 kg und einem Ballendurchmesser von 100mm ausgewählt und dann in den unterschiedlichen Parametern variiert.

Das Gesamtmodell besteht aus 271.000 Tetraeder-Elementen und ist im Kontaktbereich auf die Elementgröße von 1,0mm verfeinert. (Abb. 6) Die Berechnung eines Anschlags simuliert den Anschlag selbst mit einer Dauer von ca. 0,5ms bis maximal 100ms danach. Für die Simulation jedes Anschlags und die sich daraus in Glocke und Klöppel ergebenden Schwingungen für diese 100ms benötigen die schnellen Rechner der Hochschule Kempten ca. 8 Tage.



Abbildung 6: Schnitt durch das Simulationsmodell (links), Detailansicht des Kontaktbereichs (rechts)

Zur Untersuchung der wesentlichen Anschlags- und Schwingungsgrößen unter Variation einzelner Einflussgrößen wurden die Zeitreihen der Klöppelbeschleunigung in Ballenmitte zur Ermittlung von Anschlagdauer und Impuls sowie die Beanspruchung der Glocke ausgewertet. Zur Auswertung wurden dann die maximale Beschleunigung und Dehnung während des Anschlags ausgewertet und die Anschlagdauer aus dem Beschleunigungsverlauf gemäß Abb. 4 ermittelt.



Um sicherzustellen, dass die berechneten Ergebnisse zuverlässig die relevanten Phänomene während dieser sehr kurzen Anschläge in der erforderlichen Genauigkeit beschreiben, wurde die simulierte Dehnung des Glockenmodells der messtechnisch erfassten Dehnung einer Glocke gegenübergestellt, die dem in der Simulation verwendeten Modell sehr ähnlich ist. Abb. 7 zeigt, dass rechnerisch und experimentell ermittelte Dehnungen nach Höhe und Verlauf weitgehend übereinstimmen. Hieraus kann geschlossen werden, dass die relativen Vergleiche der berechneten Größen Dehnung, Beschleunigung und Anschlagdauer eine zutreffende Beurteilung des Einflusses der variierten Parameter auf den Anschlag zulassen.

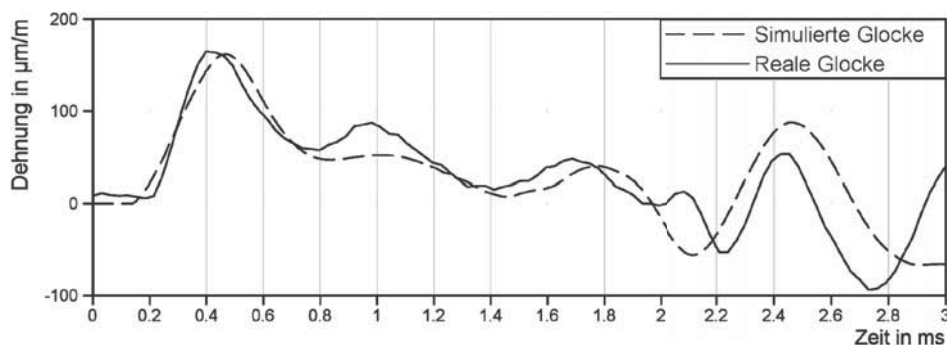


Abb. 7. Rechnerisch und experimentell ermittelte Dehnung der Glocke während eines Klöppelanschlags

4.2. Parameter-Variationen bei der Simulation

Die wesentlichen Parameter, die den Anschlagsverlauf beeinflussen sind:

- Anfluggeschwindigkeit, die sich aus der Auslegung des dynamischen Systems ergibt,
- Klöppelmasse,
- Ballendurchmesser,
- Masseverteilung am Schaft,
- Masseverteilung am Vorschwung.

Die sich bei der Variation der genannten Einflussparameter ergebende Verschiebung des Schwerpunktes sowie Änderung des Trägheitsmoments braucht hier nicht berücksichtigt zu werden, da sie durch die Festlegung der Anfluggeschwindigkeit vergleichbar werden.

4.2.1 Standardklöppel

Als Standardklöppel wurde ein Stahlklöppel mit für die ausgewählte Glocke als typisch geltenden Abmaßen und einem Gewicht von 10,2 kg verwendet. Schaft und Vorschwung wurden für die wohldefinierte Variation ihrer Abmaße als zylindrisch vereinfacht, mit einem Schaftdurchmesser von 30mm und einem Vorschwungdurchmesser von 60mm. Die Klöppelkugel wurde mit einem Durchmesser von 100mm modelliert. (Abb. 8)

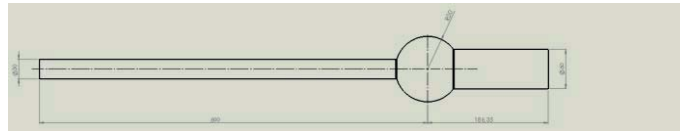


Abbildung 8: Standardklöppel

4.2.2 Variation der Anfluggeschwindigkeit.

Für den Standardklöppel wurden die initialen, relativen Anfluggeschwindigkeiten von 0,75m/s, 1m/s und 1,25m/s simuliert.

4.2.3 Variation der Gesamtmasse durch Variation der Dichte

Der Standardklöppel mit konstanter Geometrie (Abb. 8) und konstanter Anfluggeschwindigkeit von 1m/s wurde durch Anpassung der Materialdichte in seiner Gesamtmasse von 5,12kg, 10,24kg, 15,35kg und 20,47kg variiert.

4.2.4 Variation des Durchmessers der Klöppelkugel

Zur Untersuchung des rein geometrischen Einflusses der Größe der Klöppelkugel wurde der Kugeldurchmesser um 26% gegenüber dem Standardklöppel erhöht, so dass sich das Kugelvolumen verdoppelte. Durch die Anpassung der Dichten von einerseits der Kugel und andererseits dem Schaft und dem Vorschwung wurden sowohl die Klöppelmasse als auch die Massenverteilung des Klöppels konstant gehalten.

4.2.5 Variation der Schaftdicke

Zusätzlich zum Standardklöppel wurden Varianten mit verändertem Schaft erstellt. Die Anfluggeschwindigkeit blieb konstant. Jede Variation wurde zum einen mit der Standard-Dichte berechnet, wodurch sich die Gesamtmasse verändert und zum anderen mit angepasster Dichte, um die Auswirkungen der Schaftvariation bei konstanter Gesamtmasse feststellen zu können. Vom Standardklöppel mit dem Schaftdurchmesser von 30mm wurden die Varianten von 20mm, 25mm, 45mm und 60mm simuliert. (Abb. 9)

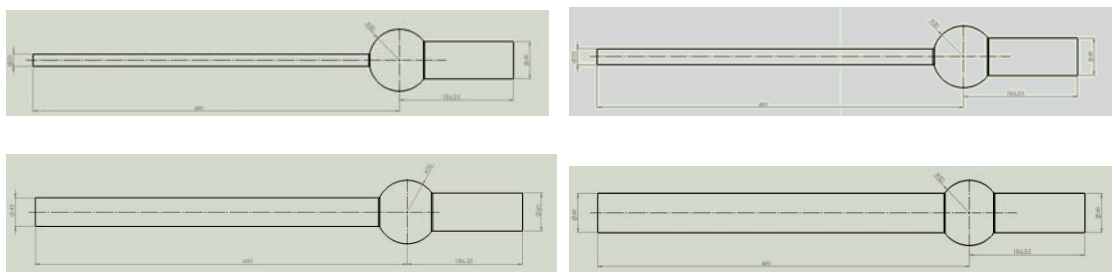


Abbildung 9: Geometrien der variierten Schaftdurchmesser



4.2.6 Variation der Vorschwunggeometrie

Zusätzlich zum Standardklöppel wurden Varianten mit verändertem Vorschwung erstellt. Unter konstanter Dichte wurde ebenfalls das Gesamtgewicht konstant gehalten, indem der Durchmesser des Vorschwungs proportional zu seiner Länge erhöht und erniedrigt wurde. Zum einen auf 40% des Kugeldurchmessers und zum anderen auf 95% des Kugeldurchmessers.

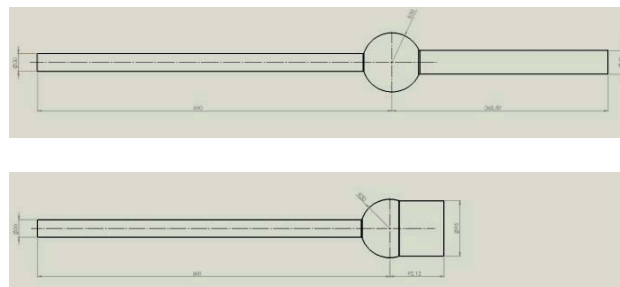


Abbildung 10: Variation des Vorschwungs zu 40% des Kugeldurchmessers (oben) und zu 95% des Kugeldurchmessers (unten)

5. Simulationsergebnisse

In Abb. 11 sind die Beschleunigungszeitverläufe während eines Anschlags über 5ms bei Variation der Klöppelmasse durch Dichteänderung dargestellt. Deutlich ist die Veränderung der maximalen Beschleunigung als Maß für die Anschlagintensität während des Anschlags wie auch der Anschlagdauer zu erkennen. Die Zeitverläufe der berechneten Dehnungen als Maß für das Risiko von Schäden wurden in gleicher Weise ermittelt und ausgewertet. Nachfolgend sind die ausgewerteten Größen für die variierten Parameter in Diagrammen zur Veranschaulichung der gefundenen Auswirkungen der einzelnen Parameter aufgetragen. Von besonderem Wert ist dabei, dass jeweils nur ein Parameter variiert wurde und die anderen Parameter durch Manipulation des Modells fiktiv konstant gehalten werden konnten.

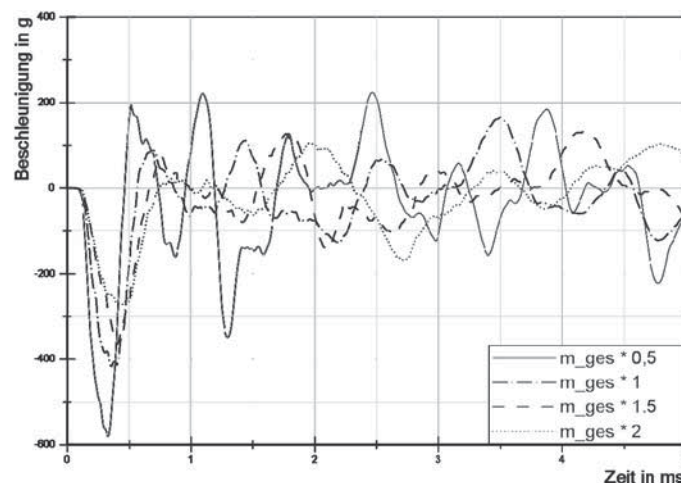


Abbildung 11: Beschleunigungszeitverlauf bei Anschlägen mit variiertem Klöppelmasse



5.1. Einfluss der Anfluggeschwindigkeit

Mit zunehmender relativer Anfluggeschwindigkeit des Klöppels zur Glocke steigen die maximale Dehnung der Glocke und Klöppelbeschleunigung linear an, die Anschlagdauer nimmt hierbei logarithmisch ab (Abb. 12). Diese Veränderungen entsprechen den physikalischen Zusammenhängen wie bei H. Hertz beschrieben. Damit wird deutlich, dass die Anschlagintensität und die daraus resultierende Beanspruchung der Glocke linear zusammenhängen und zuverlässig durch die Auslegung des dynamischen Systems anhand der von ProBell entwickelten Computermodelle ausgelegt wird. Bei einer Variation der Anfluggeschwindigkeit von $\pm 25\%$ ergibt sich ein Verkürzung bzw. Verlängerung der Anschlagdauer von ca. $\pm 6\%$.

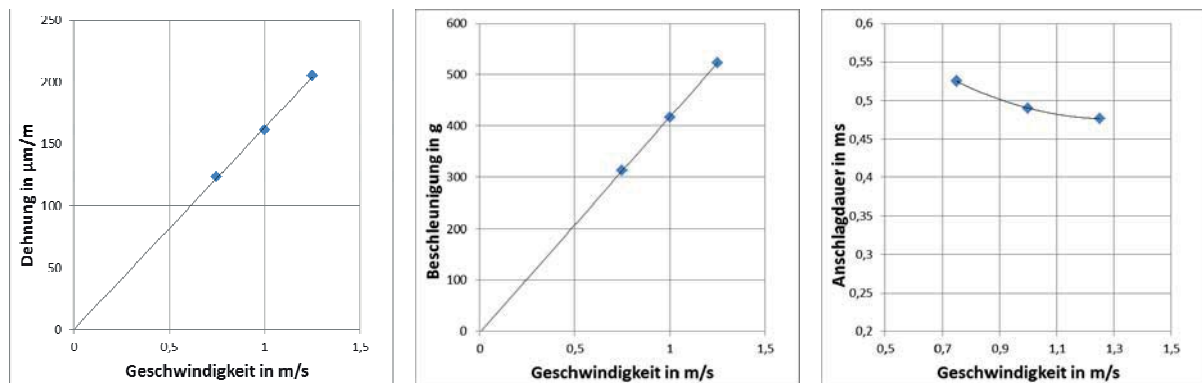


Abbildung 12: Einfluss der Anfluggeschwindigkeit auf die maximale Dehnung, Beschleunigung und Anschlagdauer

5.2. Einfluss der Klöppelmasse

Eine durch veränderte Dichte gesteuerte Variation der Klöppelgesamtmasse zwischen 5kg und 20kg bei konstanter Geometrie des Standardklöppels und konstanter Anfluggeschwindigkeit von 1m/s führt zu: (Abb. 13)

- logarithmischer Zunahme der Glockendehnung als Maß für das Schadensrisiko
- logarithmischer Abnahme der Klöppelbeschleunigung
- linearer Anstieg der Anschlagdauer, um etwa 17% bei Erhöhung der Masse um Faktor 1,5

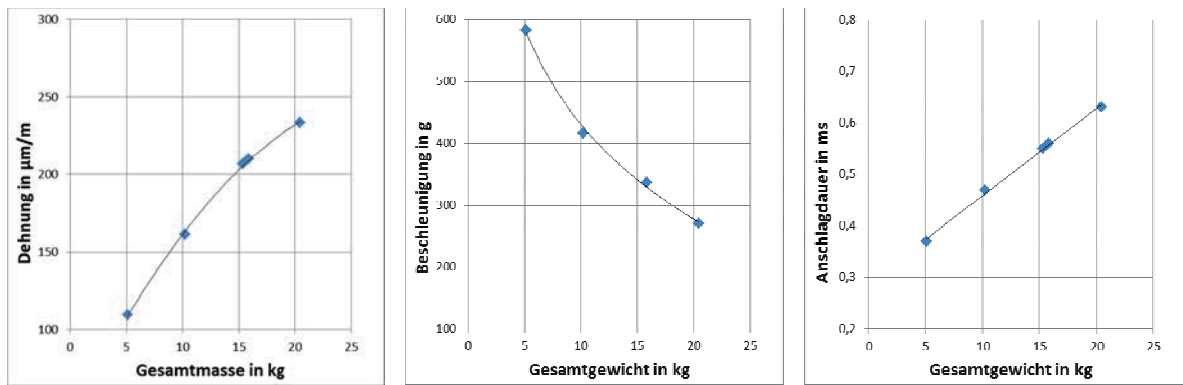


Abbildung 13: Einfluss der Klöppelmasse durch Variation der Dichte auf die maximale Dehnung, Beschleunigung und Anschlagdauer

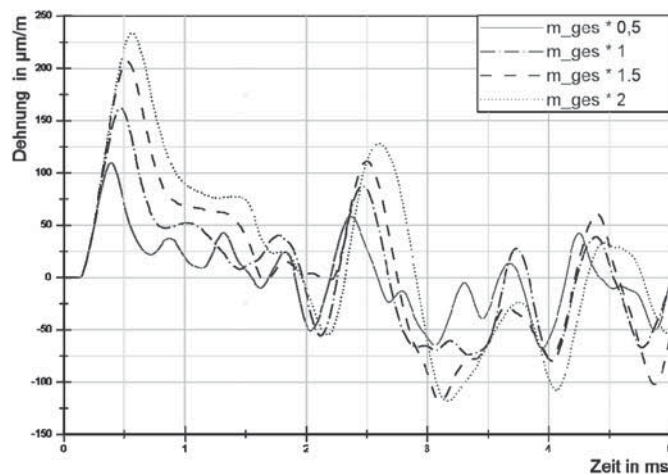


Abbildung 14: Lokales Schwingverhalten der Glocke bei Anschlägen mit variiertes Klöppelmasse

In Abb. 14 ist der Zeitverlauf der sich direkt während und nach dem Anschlag einstellenden Dehnung der Glocke bei Variation des Gesamtgewichts wiedergegeben. Neben dem mit zunehmender Masse deutlichen Anstieg der maximalen Dehnung und der Anschlagdauer fällt insbesondere auf, dass im Schwingverhalten der Glocke beim Anschlag eines Klöppels mit niedriger Masse deutlich mehr Anteile mit höheren Frequenzen zu erkennen sind.

Um diesen Einfluss, der direkt die Unterschiede im Klangverhalten beschreibt, sichtbar zu machen, wurde das simulierte lokale Schwingverhalten der Glocke während der ersten 100ms nach dem Anschlag für eine Frequenzanalyse herangezogen (Abb. 15), an der sich deutlich die Verschiebung erkennen lässt. Bei halber Masse sind die Anteile niedriger Frequenzen vergleichsweise gering und die höherfrequenten Anteile intensiver.

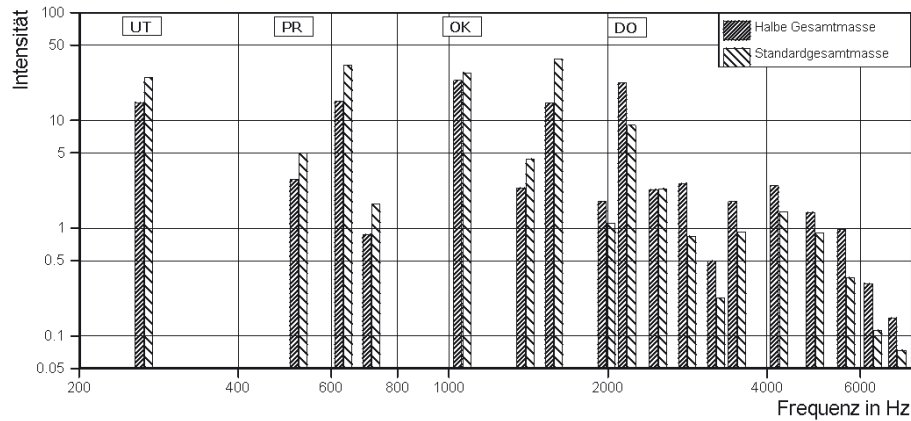


Abbildung 15: Frequenzinhalte der lokalen Glockenschwingung bei Anschlägen mit variiertem Klöppelmasse

Dieses Phänomen, das unmittelbar die bei der Beurteilung der Klangqualität diskutierten Zusammenhänge wiedergibt, kann deutlich durch die Zählung der Häufigkeit von Dehnungsschwingungen mit hohen, mittleren und niedrigen Amplituden sichtbar gemacht werden. Eine hohe Häufigkeit kleiner Amplituden weist auf einen verstärkten Anteil höherer Frequenzen hin (Abb. 16).

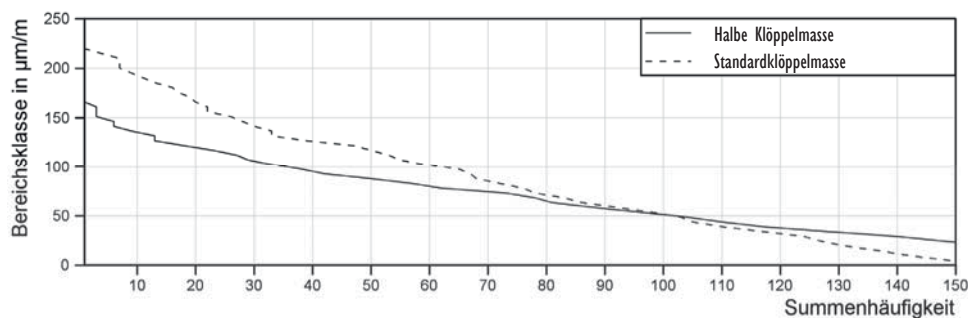


Abbildung 16: Häufigkeitszählung der Dehnungsschwingenspiele während 100ms nach dem Anschlag bei Variation der Klöppelmasse

5.3. Einfluss des Kugeldurchmessers

Bei der Vergrößerung des Kugeldurchmessers im Modell wurde die Kugel auf das doppelte Volumen vergrößert und damit der Durchmesser um 25% erhöht, womit sich die Kontaktgeometrie deutlich verändert. Im Modell wurden das Klöppelgewicht und die Gewichtsverteilung zwischen Klöppel, Schaft und Vorschwung dadurch nicht vergrößert, indem die Dichte der größeren Kugel halbiert wurde. Die Dichte von Schaft und Vorschwung wurde gemäß ihrer Verkürzung durch die größere Kugel erhöht. Die Simulation ergibt eine aufgrund der geometrischen Veränderung erhöhte Anschlagbeschleunigung und auch Dehnung um knapp 10% bei gleichzeitiger Reduktion der Anschlagdauer um etwas mehr als ca. 10% (Abb. 17).

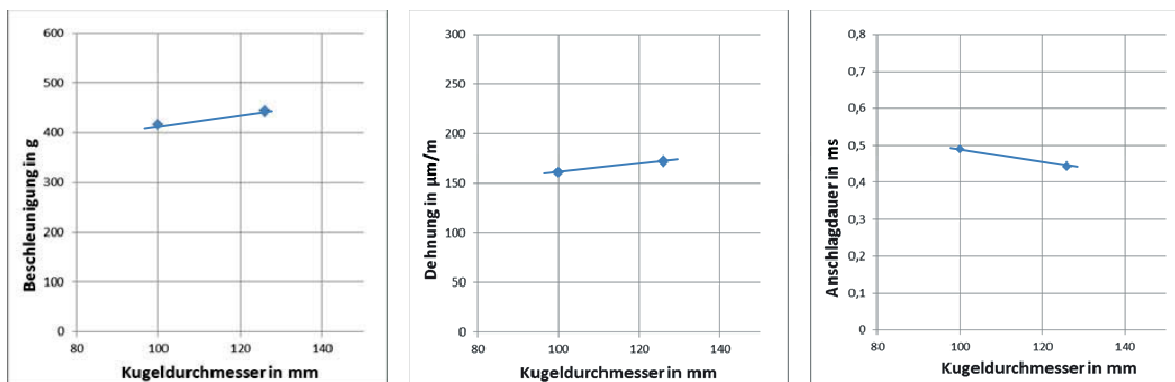


Abbildung 17: Einfluss des Kugeldurchmessers

5.4. Einfluss des Schafts

Die Variation der Schaftdicke soll zeigen, inwieweit sich die Steifigkeit des Schafts auf den Anschlag selbst auswirkt, ob es zu einer nennenswerten Reduktion der effektiven Masse oder gar zu einem „Nachdrücken“ des Klöppels am Anschlag kommt. Bei Variation der Schaftdicke wird die sich ergebende Gewichtsveränderung durch eine Anpassung der Klöppeldichte kompensiert. Bei reduzierter Dichte und konstantem Gesamtgewicht sind die Auswirkungen der Schaftvariation auf die untersuchten Parameter sehr gering (Abb. 18).

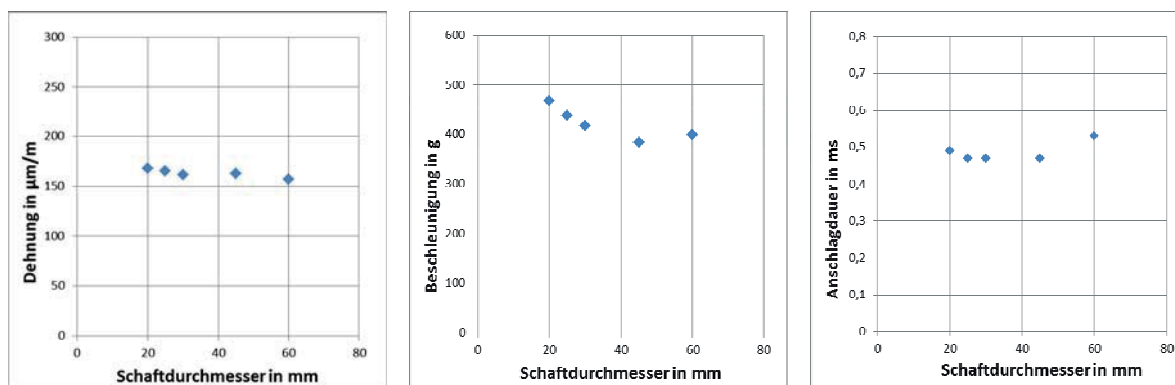


Abbildung 18: Einfluss der variierten Schaftdicke bei gleichbleibendem Klöppelgewicht

Die Vergrößerung der Schaftdicke führt bei gleichbleibender Dichte (Abb. 19) zu einer Erhöhung des Klöppelgewichts. Die Veränderung der dynamischen Eigenschaften braucht hier nicht berücksichtigt zu werden, da die Anfluggeschwindigkeit in der Simulation konstant gehalten wird. Abb. 19 macht deutlich, dass sich der variierte Schaftdurchmesser mit (wegen der konstanten Dichte) zunehmendem Klöppelgewicht gleich wie eine Masseänderung des gesamten Klöppels wie zuvor durch Variation der Dichte des Klöppels ergibt. Es ergibt sich also insbesondere kein Hinweis auf einen Einfluss der Auslegung des Schaftes auf die Anschlagdauer.

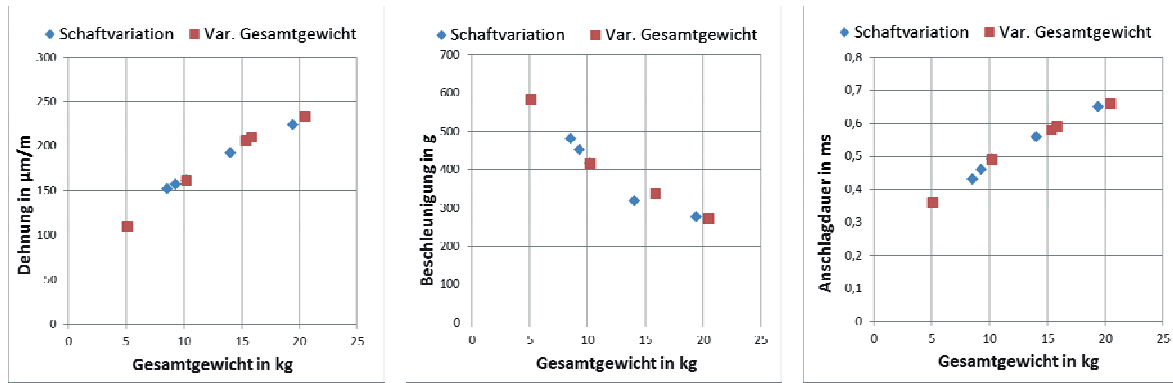


Abbildung 19: Einfluss der variierten Schaftdicke bei gleichbleibender Dichte

5.5. Einfluss des Vorschwungs

Die Variation des Vorschwungs von einem langen und dünnen bis zu einem sehr dicken und kurzen Vorschwung kann wiederum ohne Berücksichtigung ihres Einflusses auf das dynamische System erfolgen, da eine feste Anfluggeschwindigkeit eingestellt ist. Das Gewicht des Klöppels bleibt erhalten, so dass sich einzig und allein die Form des Vorschwungs in den Ergebnissen zeigt (Abb. 20). Der Klöppel mit gedrungem Vorschwung hat eine etwa 10% höhere Anschlagdauer und führt zu einem grundtönigeren Klang.

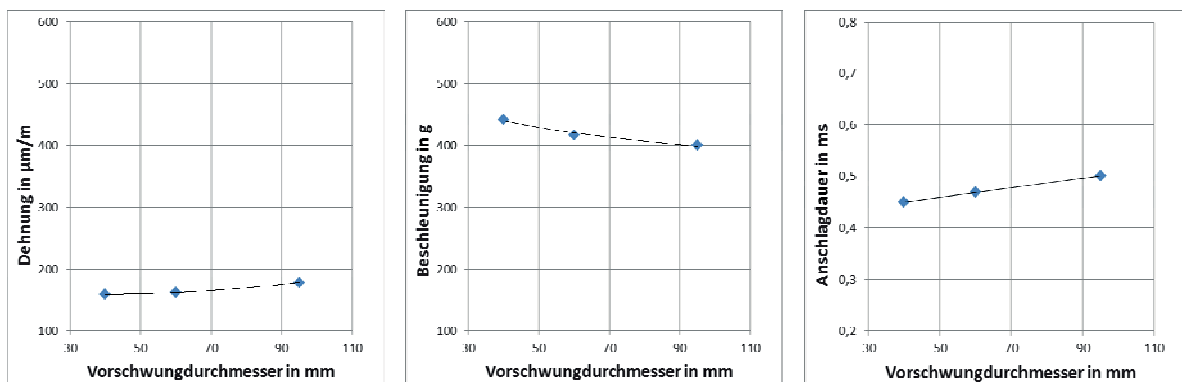


Abbildung 20: Einfluss des Vorschwungs bei gleichem Klöppelgewicht

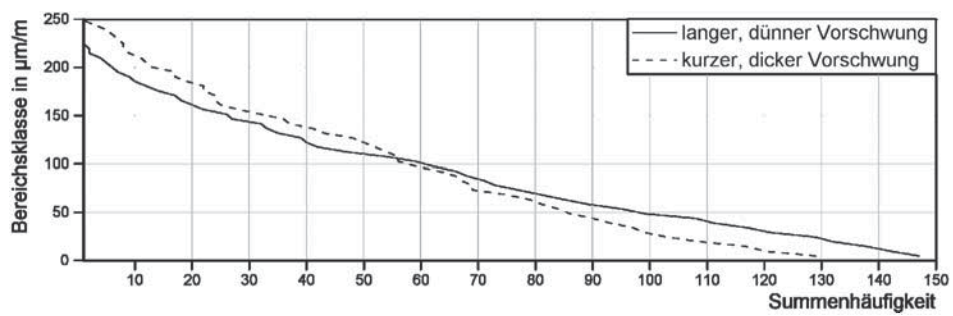


Abbildung 21: Häufigkeitszählung der Dehnungsschwingspiele während 100ms nach dem Anschlag bei Variation des Vorschwungs bei gleichbleibender Dichte



Diese wurde wieder anhand von Simulationen von 100ms nach dem Anschlag ermittelt. Auch hierbei zeigt sich bei der Häufigkeitsauswertung der Dehnungsschwingungen (Abb. 21), dass durch den gedrunenen Vorschwung die höheren Frequenzanteile abgeschwächt werden.

Betrachtet man die maximale Dehnung beim Anschlag als Maß für das Schadensrisiko und die Anschlagdauer als Maßzahl für die Grundtönigkeit des Klangs, so lassen sich der Einfluss der Klöppelmasse und der Vorschwungform in Abb. 22 zur Verdeutlichung der sich aus den gewonnenen Erkenntnissen ergebenden gezielten Beeinflussung des Klangs darstellen.

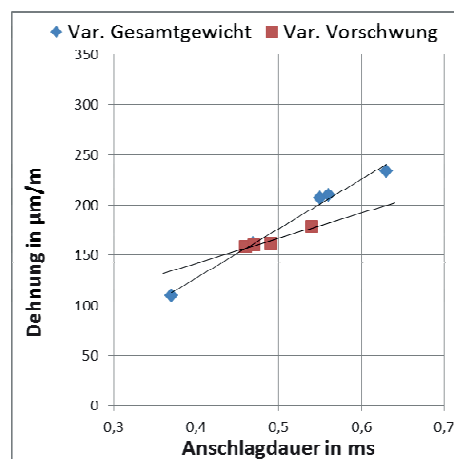


Abbildung 22: Erhöhung des Schadensrisikos über der Erhöhung der Anschlagdauer bei Variation des Klöppelgewichts oder der Vorschwungform

Ein schwerer Klöppel führt zu einer längeren Anschlagdauer bei gleichzeitiger Erhöhung des Schadensrisikos. Eine ähnliche Erhöhung der Anschlagdauer kann auch durch einen gedrunenen Vorschwung erreicht werden, ohne dass das Schadensrisiko so stark ansteigt.

6. Resümee

Durch die dynamische Simulation anhand des für schnelle dynamische Vorgänge entwickelten Finite-Elemente-Programms LS-Dyna konnte der Anschlag von Klöppel und Glocke zuverlässig hinsichtlich der wirkenden Anschlagverhältnisse, der sich an der Glocke einstellenden Beanspruchungen und auch hinsichtlich der in der Glocke angeregten Schwingungen simuliert werden. In der Simulation können gezielt einzelne Parameter variiert werden, um deren konkrete Auswirkung auf das Geschehen zu untersuchen. Dabei ist es möglich, die anderen wesentlichen Parameter konstant zu halten, so dass der Einfluss nur eines einzelnen Parameters deutlich wird. Im Experiment wären hierzu eine Vielzahl von unterschiedlichen Klöppeln herzustellen und mit jedem Klöppel würden gleich mehrere Parameter verändert, so dass eine parameter-orientierte Auswertung sehr erschwert würde. Außerdem ist jeder Anschlag beim Läuten anders als der vorhergehende, so dass zur Untersuchung von Einflüssen immer auch statistische Verfahren anzuwenden wären.



Hier wurden die folgenden Parameter einzeln in Ihrer Auswirkung gegenüber einem definierten Standardklöppel verändert und folgende Auswirkungen festgestellt:

Erhöhung von	Beanspruchung	Anschlagsintensität	Anschlagdauer
Anfluggeschwindigkeit	↑	↑	↓
Klöppelmasse	↑	↓	↑
Kugeldurchmesser	↑	↑	↓
Schaftdicke	—	—	—
Vorschwung	↓	—	↑

Literatur

- [1] DIN 45692: 2009-08, Messtechnische Simulation der Hörempfindung Schärfe.
- [2] Hertz, H.: Über die Berührung fester elastischer Körper. Journal für die reine und angewandte Mathematik 92, 156-171 (1881)
- [3] Grützmacher, M. et. al.: Untersuchungen an Kirchenglocken. ACOUSTICA Vol. 16 (1965/66)





Schweißreparaturen an Glocken
bei Royal Eijsbouts



ROYALEIJSBOUTS

ANNO 1872





Glockenläuten als Kultursymbol – aus der Perspektive eines Juristen

Ansgar Hense

Institut für Staatskirchenrecht der Diözesen Deutschlands

Abstract

Der Beitrag beleuchtet die verschiedenen Facetten des Glockengebrauchs vor dem Hintergrund seiner religiös-kirchlichen Um- und Ausprägung in der abendländischen Geschichte und ihrer heutigen Bedeutung für das kulturelle Erbe und den Kulturstaat. Folie dieser Betrachtung sind vor allem die juristischen und rechts-historischen Aspekte. Resümierend wird davon ausgegangen, dass die Glocke und ihr Gebrauch für die staatliche wie gesellschaftliche Selbstreflexion „als Kultur“ eine exemplarische wie auch paradigmatische Bedeutung besitzt.

1. Einleitende Bemerkungen

Die Sprache der Glocken – sie wird auch heute noch gesprochen und verstanden, wenn auch anders als in der ländlichen Gesellschaft des 19. Jahrhunderts“. So resümierte die Historikerin Ute Frevert¹ im Jahr 1995 das Erscheinen von Alain Corbins fulminanter Mentalitätsgeschichte des Glockenläutens.² Dass die Glocken und ihr bestimmungsgemäßer Gebrauch über einen Sitz im Leben der Öffentlichkeit verfügen, dokumentieren auch andere Publikationen, aus denen sich leicht ablesen lässt, wie reichhaltig die „Glockenliteratur“ ist. Zu nennen ist insbesondere das auch durch seine Abbildungen und die AudioCD-Beigabe opulente Werk von Kurt Kramer.³ Glocken und ihrem Geläute widmet sich eine engagierte Literatur, der – und hier kommt dann die juristische Perspektive ins Spiel – mitunter nicht minder engagierte juristische Auseinandersetzungen über die Zulässigkeit und die Grenzen des Glockengebrauchs gegenüber stehen.⁴ Es hat den Anschein, dass das Glockenläuten nur wenige unberührt lässt. Die Titulierung als religiöser Lärm⁵ entspricht dem ebenso wie die Schweizer Aktion „IG Stiller“, die sich sowohl gegen Kuhglocken als auch

¹ DIE ZEIT vom 1. Dezember 1995, wieder abgedruckt in: P. Schöttler/M. Wildt (Hrsg.), Bücher ohne Verfallsdatum. Rezensionen zur historischen Literatur der neunziger Jahre, Hamburg 1998, S. 57-61 (Zitat S. 61).

² *Alain Corbin*, Die Sprache der Glocken. Ländliche Gefühlkultur und symbolische Ordnung im Frankreich des 19. Jahrhunderts, München 1995.

³ *Kurt Kramer*, Klänge der Unendlichkeit. Eine Reise durch die Kulturgeschichte der Glocke, Kevelaer 2015.

⁴ Siehe mit Nachweisen auf die Judikatur im Einzelnen etwa *Thomas Troidl*, Zwischen Kirchturm und Minarett: der Lärm Gottes – dürfen Glockenlauter läuten als Muezzine rufen können?, Deutsches Verwaltungsblatt 2012, S. 925-933. Ferner auch *Ansgar Hense*, Glockenläuten und Uherschlag. Der Gebrauch von Kirchenglocken in der kirchlichen und staatlichen Rechtsordnung, Berlin 1998; *ders.*, Die Wirkungen des Bau- und Immissionsschutzrechts für Kirchen und andere Religionsgemeinschaften, in: Handbuch des Staatskirchenrechts, 3. Aufl., Bd. II (§ 64 unter Pkt. C.I.), im Erscheinen.

⁵ *Arndt Schmehl*, Religiöser Lärm. Wenn Glocken läuten und Muezzine rufen: Einfall für das Immissionsschutzrecht, in: Kritische Justiz 31 (1998), S. 539-542.



nächtliches Glockengeläut wendet.⁶ Den Auseinandersetzungen wird das Prädikat „Kulturkampf“ zugesprochen.⁷ Zu Beginn der Adventszeit 2017 wurde aber auch auf Initiative des Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen die ökumenische, bundesdeutsche Kampagne „Hörst du nicht die Glocken?“ eröffnet.⁸ Diese wird seit dem etwa von Tagungen unter dem Titel „Heavy Metal für die Seele. Zur Bedeutung des öffentlichen Glockenläutens“ und anderen Veranstaltungen flankiert, die sich der Vermittlung der Sprache der Glocke zuwenden, um deren Sinngehalt bewusst zu halten und immer wieder zu vergegenwärtigen.

Die Aufmerksamkeit, die der Glockengebrauch erfährt, verwundert nicht. Es geht um einen öffentlichen, weithin zu unterschiedlichen Tageszeiten gut hörbaren Klang – und: besondere Lärmempfindlichkeit bei bestimmten Hörern des Glockenläutens, die dieses als „Terror“ empfinden.⁹ Im Gebrauch von Kirchenglocken manifestiert sich die öffentliche Präsenz christlicher Kirchen. Religiöse wie christliche Symbole im öffentlichen Raum – es sei nur an die heftig umstrittene Kruzifix-Entscheidung im Klassenzimmer durch das Bundesverfassungsgericht im Jahr 1995 erinnert¹⁰ – gelten als anstößig und gehören angeblich nicht dorthin. Öffentlichkeit ist ein erheblicher „Aufmerksamkeitsgenerator“, der immer Anfragen und Streitigkeiten ausgesetzt ist.¹¹ Sicht- und Hörbarkeit im öffentlichen Raum bleibt eben nicht ohne Resonanz: positive wie negative. Zudem: Glocken und Geläut ohne Öffentlichkeit und öffentliche Wahrnehmbarkeit sind nachgerade nicht vorstellbar. Mit dem bereits erwähnten Beratungsausschuss für das Glockenwesen gehört die Glocken zu den wenigen Sakralgegenständen (sicherlich zusammen mit den Orgeln), die über eine eigene „Lobby“ verfügen, während andere kirchengebäudliche Ausstattungsgegenstände – wie zum Beispiel Kirchenfenster – bis jetzt vor allem durch eher vereinzelte Privatinitiativen unterstützt und geschützt werden.

2. Was ist ein Kultursymbol? Und welche juristische Bedeutung kommt ihm zu?

2.1. Begriffliches: Symbol und Kultur

In einem weiten Sinne ist ein Symbol ein Sinnbild mit Verweisungscharakter, das stellvertretend inhaltlich auf etwas anderes hindeutet und diesen Inhalt auch repräsentiert.¹² Es mag im Einzelnen schwer fallen,

⁶ Siehe folgende Internetseiten: [www.nachtruhe.info], [www.kirchenglocken.ch] sowie als eine kritische Würdigung solcher Initiativen und inhaltlicher Gegenakzent *Jakob Johannes Koch*, Verstummes Kulturerbe? Glockengeläut ist mehr als ein stimmungsvoller Brauch, in: Herder-Korrespondenz 68 (2014), S. 411-415.

⁷ *Erich Aschwanden*, Kulturkampf um Kirchen- und Kuhglocken, in: Neue Zürcher Zeitung vom 27. August 2016, S. 33.

⁸ Siehe dazu die Internetseite: [www.gebetslaeuten.de].

⁹ Für die Tonalität der Glockenkritik signifikant die Internetseite [http://www.hist-chron.com/k/terror-kirche-kirchenglocken/me001-ab2010.html]: Kirchenglocken als „Terror“!

¹⁰ BVerfGE 93, 1. Wohlthuend differenziert und differenzierend zur Problematik die Abhandlung von *Michael Stolleis*, Überkreuz – Anmerkungen zum Kruzifix-Beschluß (BVerfGE 93, 1-37) und seiner Rezeption, in: Kritische Vierteljahresschrift für Gesetzgebung und Rechtswissenschaft 83 (2000), S. 367-387. Siehe auch das Themenheft „Im Zeichen des Kreuzes. Zum Spannungsfeld von religiöser Sphäre und öffentlichem Bekenntnis“ des Periodikums: Engagement. Zeitschrift für Erziehung und Schule, Heft 1/2013.

¹¹ *Alois Hahn*, Kirche ohne Öffentlichkeit?, in: R. Bürgel/A. Nohr (Hrsg.), Kirchliche Präsenz im öffentlichen Raum – Glaube und Architektur im 21. Jahrhundert. Ergebnisse des 23. Evangelischen Kirchenbautags, 2000, S. 69-80.

¹² Vgl. Artikel ‚Symbol‘, in: Rudolf Eisler, Wörterbuch der philosophischen Begriffe, 4. Aufl., Bd. III, Berlin 1930, S. 193 ff.; *Martina Plümacher*, Artikel ‚Symbol/symbolische Form‘, in: H. J. Sandkühler (Hrsg.), Enzyklopädie Philosophie, Bd. 3, Hamburg 2010, S. 2657 ff.



den Topos „Kultur“ in seiner Bedeutung zu erfassen und eine wirkliche Definition scheint nahezu ausgeschlossen sein. Es dürfte deshalb müßig sein, abschließende Umschreibungen des Begriffs „Kultur“ zu versuchen. Es handelt sich um einen Reflexionsbegriff,¹³ dem eine terminologische Nähe zum religiös konnotierten Begriff „Kultus“ eigen ist. Kultur lässt sich von einer eher subjektivierenden Perspektive betrachten und meint dann zunächst Weltbilder, Dispositionen und Haltungen, Sinngewebungen oder Wertideen, aus denen Handlungen resultieren können. Kultur kann aber auch eher objektiv umschrieben werden und bezieht sich dann auf künstlerische Werke, Institutionen oder Symbole, symbolische Handlungen/Rituale, denen eigen ist, dass sie „auf das Ganze“ ausgehen, also (kulturelle) Wahrzeichen und Sinnbilder werden.¹⁴ Kultur ist dabei keineswegs ein gesicherter Bestand von Materiellem oder Immateriellem. Vielmehr muss sie erinnert und gepflegt werden. Kultur changiert dabei zwischen Stabilität und Flexibilität, d.h. sie wird möglicherweise auch umgedeutet, missverstanden, abgelehnt und letztlich vielleicht wieder neu angeeignet. Den Aspekt der Erinnerung hat der Historiker Otto Gerhard Oexle in einer fulminanten, wegweisenden Abhandlung unter dem Titel „Memoria als Kultur“ ausgedeutet.¹⁵ Teil und Fixpunkte des „kollektiven Gedächtnisses“ (Maurice Halbwachs) sind gerade auch immer wieder langfristige Objektivationen wie Gebäude, Bilder, Texte – und Glocken als Memorialzeichen. Die Glocke und der Glockengebrauch haben dabei selbst eine facettenreiche Transformation durchlaufen, die vor 5000 Jahren im Alten China begann¹⁶ und auch unter christlichen Vorzeichen Veränderungen erfuhr und bis in unsere Zeit reicht.¹⁷ An der Glocke und ihrem Gebrauch wird Zeit und Wandel greifbar.

2.2. Was sind die Funktionen des Glockengebrauchs?

Der Verweis auf die Glocken in China und der Umstand, dass sich in Europa der Glockengebrauch erst im frühen Mittelalter etablierte, indiziert, dass Glocken und ihre Nutzung keineswegs per se religiös qualifiziert werden müssen. Wenngleich es also auch profane Glocken und profanen Glockengebrauch geben kann (z.B. Rathaus-Glocke, Glockenspiele an Geschäftshäusern), dies also keineswegs kirchlich monopolisiert wird, so besteht doch eine deutliche kirchliche Dominanz, wenngleich auch im Buddhismus Glocken zum Einsatz kommen. In der Größe und in der Verbindung mit Kirchtürmen sind die Glocken aber ein christliches Phänomen und Symbol. Der Gebrauch von Kirchenglocken ist vor allem mit dem christlichen Europa verbunden.¹⁸ Immer wieder werden Kirchenglocken auch nicht nur für im strengen Sinne kirchliche Anlässe eingesetzt, sondern darüber hinaus als politisches Demonstrationsmittel gewünscht. Idealtypisch lassen sich vier liturgische Funktionen des Glockenläutens unterscheiden: die einladende Funktion (z.B. das Läuten zum Gottesdienst), die anzeigende Funktion (etwa das Wandlungsläuten oder um wichtige Lebenssta-

¹³ Otto Gerhard Oexle, Kultur, Kulturwissenschaft, Historische Kulturwissenschaft, in: Das Mittelalter 5 (2000), 13-33 (insbes. S. 16, 19 ff.).

¹⁴ Zu solchen Kultursymbolen zählen unzweifelhaft das Kreuz als Ausdruck des christlichen Glaubens, aber auch Symbole wie etwa die Waage für die Idee der Gerechtigkeit.

¹⁵ Otto Gerhard Oexle, in: ders. (Hrsg.), Memoria als Kultur, Göttingen 1995, S. 9-78.

¹⁶ Kramer, Klänge der Unendlichkeit (o. Fn. 3), S. 13 ff.

¹⁷ Dazu aufschlussreich die (leider) unveröffentlichte theologische Diplomarbeit von Jan Hendrik Stens, Vom akustischen Signalgeber zum liturgischen Musikinstrument: Die Glocke im Christentum, 2005.

¹⁸ Dazu näher Kramer, Klänge der Unendlichkeit (o. Fn. 3), S. 89 ff. und passim. Ferner Stens, Vom akustischen Signalgeber zum liturgischen Musikinstrument (o. Fn. 17), S. 8-49; siehe auch Hense, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 29-57.



tionen bzw. sog. „Passagenriten“ zu markieren), weiterhin die mahnende bzw. erinnernde Funktion (bsp. das Angelusläuten) und schließlich auch der prädikative Charakter des Läutens als Ausdruck von Freude.¹⁹ Soweit das Zeitschlagen als bloß profaner Glockengebrauch markiert wird, ist diese Qualifikation zwar verbreitet,²⁰ aber keineswegs zwingend.²¹

2.3. Der juristische Blick auf die Symbole – oder: es geht um Freiheitsrechte und verfassungsgestaltende Grundentscheidungen

Das Symbolische der Glocken und das Rechtliche stehen in Wechselwirkung und durchdringen sich gegenseitig. Das Glockenläuten ist auch ein „Rechtsbrauch“.²² In einem freiheitlichen Verfassungsstaat, der sich nicht schlicht vom religiösen Feld in laizistischer Manier abwendet, sondern auf einer freundlich-fördernden Distanz basiert, realisieren sich religiöse Symbole durch Freiheitsausübung entweder von Einzelnen (z.B. die Kopftuch tragende Muslima) oder überindividuellen Einheiten/Kooperationen wie bspw. Kirchengemeinden, die ihre im Kirchturm hängenden Glocken nutzen. Es stellt sich aber auch die Frage, ob und inwieweit der religiös-weltanschaulich neutrale Staat jenseits subjektiver religiöser Freiheitsgewährleistungen gleichsam objektiv gehalten ist, sich um das Glockenwesen als kulturellem Symbol zu kümmern.

2.3.1 Dimension Freiheitsrecht(e)

a) Der Gebrauch von Glocken vor allem als Religionsausübung

Die Facetten des Glockengebrauchs sind vielfältig und sie werden vorrangig religiös-kultisch aufzufassen sein, wenngleich sich ihr Sinngehalt darin nicht erschöpfen muss, sondern sie auch in einem profanen Sinn als kulturelle Symbole hör- und erfahrbar sind. Die verfassungsrechtliche Gewährleistung der Religionsfreiheit in Art. 4 Abs. 1 und 2 GG schützt einen relativ weiten „Werk- und Wirkungsbereich“ der Religion.²³ Das Glockenläuten unterfällt selbst dann dem verfassungsrechtlichen Schutzbereich der Religionsfreiheit, wenn man diesen restriktiv in einem herkömmlichen Sinne nur als sog. Kultusfreiheit verstehen wollte. Problematisch werden könnte der Schutz durch Art. 4 Abs. 1 und 2 GG allenfalls dann, wenn mit dem Glockengebrauch keine religiös fundierten Intentionen verbunden werden, er vielleicht zu „rein“ politischen Demonstrationszwecken verwendet wird (z.B. ‚Sturmläuten‘ – als Signalgeber in Gefahrensituationen – oder um eine politisch-radikale, etwa dezidiert ausländerfeindliche Demonstrationen zu stören). In letztem Fall wäre der religiös-theologische Gehalt des Glockengebrauchs geringer und insofern handelt es sich wohl nicht mehr um die Ausübung von Religionsfreiheit, sondern vielleicht eher um eine, aber auch grundrechtlich geschützte Meinungskundgabe (Art. 5 Abs. 1 GG).²⁴ Das sog. Mahnläuten am Tag der Unschuldigen Kinder, das vor Jahren von katholischen Kirchen praktiziert wurde, kann nicht so eindeutig aus dem

¹⁹ Zu dieser Typologie *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 84 f.

²⁰ Grundsätzlich in diesem Sinne vorgespurt durch BVerwGE 90, 163.

²¹ Näher zum Problem *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 49 f., 56 f. 130 ff. und passim. Siehe auch *Troidl* (o. Fn. 4), DVBl. 2012, S. 925 (927 f.). Vgl. ferner *Stens*, Vom akustischen Signalgeber zum liturgischen Musikinstrument (o. Fn. 17), S. 94-97.

²² Immer noch aufschlussreich dazu *Elsbeth Lippert*, Glockenläuten als Rechtsbrauch, Freiburg i.Br. 1939.

²³ Vgl. *Friedhelm Hufen*, Staatsrecht II – Grundrechte, 5. Aufl. München 2016, § 22 Rdn. 10 ff.

²⁴ Vgl. *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 236.



Schutzbereich der Religionsfreiheit herausdefiniert werden, da das Läuten als Memorialzeichen für die Verstorbenen religiös konnotiert ist.²⁵

b) Die Schranken des Glockengebrauchs

Der Gebrauch von Glocken ist nicht schrankenlos. Die Beschränkungen näher normativ nachzuzeichnen kommt vor allem dem staatlichen Gesetzgeber zu, dessen Aufgabe es ist, ein „normatives Konfliktschlichtungsprogramm“ zu generieren, das die widerstreitenden Rechtspositionen in eine verhältnismäßige Ordnung bringt.²⁶ Die darin liegende Verhältnismäßigkeit kann sich in europäischen Staaten durchaus unterschiedlich ausprägen. Dies lässt sich etwa an der Entscheidung des Europäischen Gerichtshofs für Menschenrechte zum Glockenläuten einer niederländischen Kirchengemeinde ablesen. In Anwendung der sog. margin-of-appreciation Doktrin wies das Gericht die klagende Kirchengemeinde ab, obwohl ihr – im Gegensatz zum nicht weiter beschränkten Läuten tagsüber – der nächtliche Glockengebrauch gänzlich untersagt worden war.²⁷ Das Gericht vertritt aber die Auffassung, dass es wegen der Unterschiedlichkeit örtlicher Traditionen und Erfordernisse dem zuständigen nationalen Gesetzgeber überlassen bleiben muss, Umfang und Form der Einschränkungen von Religionsfreiheit zu entscheiden. In Deutschland erfolgt dies grundsätzlich aufgrund des BImSchG und der TA Lärm, so dass zwischen Tag- und Nachtzeit unterschieden wird. Über die Zumutbarkeit entscheidet eine wertende Gesamtbetrachtung, die im Lichte des verfassungsrechtlichen Schutzes der Religionsfreiheit erfolgt und durch zusätzliche Beurteilungselemente wie Herkömmlichkeit, soziale Adäquanz und allgemeine Akzeptanz ergänzt wird.²⁸

2.3.2 Dimension Kultur, kulturelles Erbe als Staatsziele

Eine objektivrechtliche Seite des Schutzes von Kultur ist nicht einfach auszumachen, da Kultur sich nicht staatlicherseits „machen“ lässt.²⁹ Nicht zuletzt aus diesem Grunde wurde und wird immer wieder über die Aufnahme eines Staatsziels „Kultur“ in das Grundgesetz diskutiert. Einige Bundesländer verfügen aber bereits über eine entsprechende „Kulturstaatsklausel“ in ihrem Landesverfassungsrecht.³⁰ Über Grund und Grenzen einer solchen verfassungsgestaltenden Grundentscheidung zum Sektor Kultur wird man, zumal

²⁵ Die Praxis aber nicht selten aber sowieso kein isoliertes Glockenläuten, sondern mit einem Gedenkgottesdienst verbundenes Mahnläuten, so dass in jedem Fall ein unmittelbarer gottesdienstlicher Bezug hergestellt war, der eine andere Qualifikation als Religionsausübung kaum noch zulässt. Näher Hense, Glockenläuten und Uherschlag (o. Fn. 4), S. 96, 235 f.

²⁶ Ausführlich dazu Hense, Glockenläuten und Uherschlag (o. Fn. 4), S. 309 ff.; *ders.*, Wirkungen des Bau- und Immissionschutzrechts (o. Fn. 4), C.I.2.

²⁷ EGMR, Urteil vom 16. Oktober 2012 – Nr. 2158/12 – (Schilder ./I. Niederlande), abgedruckt in: Entscheidungen in Kirchensachen (KirchE) 60, 202-210.

²⁸ BVerwGE 68, 62 (67 f.); siehe auch BVerwGE 90, 163 (166). Instruktiv auch Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Geräusche durch Glocken. Messung und Beurteilung von Glockengeläute nach TA Lärm, März 2008, abrufbar unter: [<http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/357/glocken.pdf?command=downloadContent&filename=glocken.pdf>] (16. Februar 2018).

²⁹ Für die Ausleuchtung des Sachfeldes „Kultur“ aufschlussreich der Schlussbericht der Enquete-Kommission „Kultur in Deutschland“, BT-Drs. 16/7000. Für die verfassungsrechtliche Seite vor allem die Berichte von *Karl-Peter Sommermann* und *Stefan Huster*, Kultur im Verfassungsstaat, in: Veröffentlichungen der Vereinigung der Deutschen Staatsrechtslehrer 65, S. 7-50 und S. 51-82.

³⁰ Als zusammenfassenden Überblick dazu Schlussbericht (o. Fn. 29), S. 69-83 (= Zwischenbericht „Kultur als Staatsziel“, BT-Drs. 15/5560).



angesichts der darin liegenden Föderalismusproblematik, lange diskutieren können.³¹ Klar dürfte sein, dass die Glocken und ihr Gebrauch sicherlich zum kulturellen Erbe unseres Gemeinwesens gehören und ihnen demzufolge auch jenseits der Religionsfreiheit eine rechtliche Relevanz zugemessen werden kann – und auch sollte.

2.3.3 Immaterieller Kulturgutschutz

Die eher objektivrechtliche Herausforderung des Staates zeigt sich etwa an dem zunehmenden (völkerrechtlichen) Schutz immaterieller Kulturgüter. Während die Orgel und der Orgelbau seit März 2016 in die Repräsentative Liste des immateriellen Kulturerbes der Menschheit aufgenommen wurde, kommt das Glockenläuten/ der Glockengebrauch erst langsam in den Focus dieser Schutzherausforderung.³² Während die Glocke als materieller Gegenstand sich u.U. als Gegenstand des Denkmalschutzes (als Zubehör der Kirchengebäudes) erweisen kann, liegt der Reiz des völkerrechtlichen Schutzes aufgrund der UNESCO-Konvention zur Erhaltung des immateriellen Kulturerbes, dem die Bundesrepublik Deutschland 2013 beigetreten ist,³³ darin, dass sie das Glockenläuten „an sich“ erfassen kann. Ungeachtet der Frage, ob das Glockenläuten förmlich in die entsprechende Liste aufgenommen wird, macht das Kulturvölkerrecht darauf aufmerksam, dass auch der immaterielle Aspekt von Kulturphänomenen Gegenstand von staatlicher – und letztlich auch gesellschaftlicher – Aufmerksamkeit und Achtsamkeit sein sollte.³⁴

3. Die Glocke als eines der Symbole unseres Kulturkreises – eine rechtsgeschichtliche Retrospektive

Welche Bedeutung der Glocken- und Läutesymbolik in unserem nach Friedrich Heer so genannten „Glockeneuropa“ zukommt, lässt sich auch an den „glockenrechtlichen“ Entwicklungen seit dem Mittelalter nachzeichnen. Dies besitzt grundsätzlich für die abendländische Rechtsentwicklung, die seit jeher zwischen geistlicher und weltlicher Sphäre unterscheidet, zwei Dimensionen: Wie sehen die Eigenregelungen der Religionen aus und welche Regelungen erfuhren sie in der religionsverfassungsrechtlichen Entwicklung seit dem Zeitalter der Reformation. Bemerkenswert ist erst einmal, dass sich überhaupt so etwas wie kirchliches Glockenrecht erschließen lässt, aus dem die Stellung der Glocke für das kirchliche Leben ablesbar wird.

3.1. Katholisches Glockenrecht

Das kirchliche Glockenrecht ist vor allem liturgisches Recht. Es nimmt insofern nicht wunder, dass etwa die Glockenweihe seit dem Frühen Mittelalter besondere Aufmerksamkeit erfuhr. Mag die Glocke als Instrument auch aus anderen Kulturkreisen übernommen worden sein, wird insbesondere durch den liturgisch-juridischen Akt der Glockenweihe, die Glocke und ihr Gebrauch den kirchlichen Bedürfnissen angepasst,

³¹ Zum Kulturföderalismus etwa *Sommermann* (o. Fn. 29), in: VVDStRL 65, S. 7 (S. 34 ff.). Siehe dazu auch *Ansgar Hense*, Bundeskulturpolitik als verfassungs- und verwaltungsrechtliches Problem, Deutsches Verwaltungsblatt 2000, 376-384.

³² Zusammengetragen bei *Hense*, Glockenläuten und Uherschlag (o. Fn. 4), S. 58-101 (katholische Kirche), S. 101-138 (evangelische Kirche(n)).

³³ Abrufbar unter: [<http://www.unesco.de/infotehek/dokumente/uebereinkommen/ike-konvention.html>] (16. Februar 2018).

³⁴ In diesem Sinn auch dezidiert *Koch* (o. Fn. 6), in: Herder-Korrespondenz 68 (2014), S. 411 (414 f.).



durch die Weihe sakralisiert und im weiteren durch glockenrechtliche Regelungen juristisch durchgeformt, so dass konsequenterweise der Glockengebrauch vor allem durch seine religiös-kirchliche Zwecksetzung geprägt wird. Karl der Große untersagte zwar die „Glockentaufe“ konnte aber auf lange Sicht die besondere Heiligung der Glocken durch eine entsprechende liturgische Handlung nicht verhindern.³⁵ Dies schließt angesichts der bipolaren Einheit zwischen kirchlicher und weltlicher Sphäre nicht aus, dass Glocken auch weltlichen, eher profanen Zwecken zu dienen bestimmt waren, zu denen das Läuten bei freudigen Ereignissen im Haus des Landesherrn (z.B. Geburt) oder beim Ableben eines Mitglieds der Herrscherfamilie zählten.³⁶ Das gottesdienstliche Läuten (Angelusläuten, Läuten zur Heiligen Messe) war Gegenstand kirchlicher Entscheidungen. Der Glockengebrauch ist durchaus nicht nur auf „rein“ gottesdienstliche Zwecke begrenzt worden, sondern konnte auch anderen, „allgemein-kirchlichen“ Zwecken erfolgen, so dass das Läuten der Glocken bei Unwetter als ein Akt praktizierter Nächstenliebe angesehen wurde, aber auch Ausdruck eines Aberglaubens war, der den Glocken prophylaktisch-gefahrenabwehrende Wirkung bei Unwetterlagen zumaß.³⁷ Vorrangig erfuhr das Glockenrecht seine Grundlegung auf der Ebene der Ortskirche (Diözese), auf der zum Teil mit erstaunlicher Regelungstiefe verschiedenste Facetten des Glockenrechts normiert worden sind, ohne dass dadurch pfarrliche Freiräume übermäßig beschnitten wurden.³⁸ Eine ausdrücklich universalkirchenrechtliche Grundlegung erfuhr das Glockenrecht im CIC/1917.³⁹ Mit dem CIC/1983 wurde das Regelungsthema Glockenwesen auf gesamtkirchlicher Ebene in allgemeinen Rechtsnormen wie dem kirchlichen Vermögensrecht „aufgehoben“. Seit dem ist der Glockengebrauch vor allem wegen der Glockenweihe Gegenstand liturgischer Bestimmungen und Vorschriften.

3.2. Evangelische Glockenrecht

Im sog. ersten Zeitalter der Konfessionalisierung geriet der Glockengebrauch in die Distinktionsmechanik nachreformatorischer „Kirchwerdung“, weil er als Ausdruck katholischer Kultübung nicht selten als „papistisch“ galt. Der Reformator Martin Luther selbst intervenierte in diesem Punkt und ermöglichte die „Protestantisierung“ des Glockengebrauchs, vor allem dadurch, dass bestimmte herkömmliche Läutearten auf den Prüfstand gestellt und ggf. mit neuer Interpretation bzw. Funktion versehen wurden. Verworfen wurden das Gewitterläuten und die sog. Glockentaufe, während die Diskussionen über das Gebetsläuten bis ins 18. Jahrhundert geführt wurden. Bemerkenswert und durchaus auch Zeichen der bis zu Beginn des 20. Jahrhunderts bestehenden intensiven Verbindung von Staat und evangelischer Kirche sind eine Vielfalt von weltlichen Läuteanlässen, wofür das sog. Siegesläuten während des Ersten Weltkriegs besonders signifikant, wenngleich es auch keine evangelische Besonderheit war. Bis weit ins 20. Jahrhundert erfuhr das Glockenrecht eine eminente Regelungstiefe und –breite. Heute sind vor allem die liturgischen Agenden mit

³⁵ Vgl. *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 59 ff.

³⁶ *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 69 ff.

³⁷ Näher *Corbin*, Die Sprache der Glocken (o. Fn. 2), S. 147 ff. Zum Zusammenhang mit der Glockentaufe als Übergang zu einem „katholischen Aberglauben“, aber auch der rationalisierenden Wirkung der geistesgeschichtlichen Wende zum 18. Jahrhundert hin grundlegend *Heinz Dieter Kittsteiner*, Die Entstehung des modernen Gewissens, Frankfurt a.M. 1991, S. 31, 59 ff. und passim. Ferner zusammenfassend *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 43 ff.

³⁸ *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 86-101.

³⁹ *Hense*, Glockenläuten und Uhrenschlag (o. Fn. 4), S. 72 ff.



ihren Einweihungsritualen, die die Zwecksetzung des Glockenläutens umschreiben und die landeskirchlichen Rahmenordnungen, die die wesentlichen Aspekte und die Multifunktionalität des Glockengebrauchs normieren. Bemerkenswert ist, dass evangelische Agenden den Glocken einen Zweck dahingehend zubilligen, dass sie, wenn sie Zeit und Stunden angeben, an die Ewigkeit erinnern sollen und damit der Qualifikation des Stundenschlags als evident profan zumindest relativieren bzw. fragwürdig machen.

3.3. Der Glockengebrauch im staatlichen Rechtskreis seit der Reformation

Dem zum Teil recht elaborierten Glockenrecht der Kirchen korrespondiert eine nicht minder gewichtige Bedeutung im weltlichen Rechtskreis, die verbunden ist mit der Entwicklungsgeschichte des Grundrechts der Religionsfreiheit. Das öffentliche Religionsexerzium war ein Ausdruck besonderer Privilegierung ausgewählter Religionsgruppen. Das Schicksal der Kirchenglocken ist Ausdruck eines allgemeinen Differenzierungsprozesses, der von der bi- bzw. trikonfessionellen Fragmentierung des Alten Reichs bis zur Herausbildung der heutigen Religionsausübungsfreiheit reicht, die nicht mehr religiösen Gruppen vorbehalten blieb, sondern zu einem vollwertigen Individualrecht geworden ist. Für den Glockengebrauch ist aber insbesondere die korporative Dimension der Religionsfreiheit bedeutungsvoll. Es klingt einerseits unverständlich, dass der Glockengebrauch den Katholiken in Mecklenburg erst zu Beginn des 20. Jh. gestattet wurde, andererseits zeigen die gegenwärtigen Diskussionen über den Bau von Moscheen mit Minaretten und gar erst die Zulässigkeit des Muezzin-Rufs, welche „Kämpfe“ um Symbole in der Sphäre der Öffentlichkeit geführt werden können. Seit dem Augsburger Religionsfrieden 1555 und dem Westfälischen Frieden 1648 wurde über das „exercitium religionis publicum“ gestritten und war die Zulassung zur öffentlichen Religionsübung sowohl Zeichen von Öffentlichkeit als auch öffentlicher Auszeichnung einer Religionspartei. Besonders rabiat wurde mit den Glocken während der Französischen Revolution verfahren, als in der zweiten Revolutionsphase 1793 eine nachhaltige Dechristianisierungskampagne verfolgt wurde, die Glocken und Kirchtürme als gleichheitswidrig empfand und beides aus dem öffentlichen Raum völlig verbannen wollte. Allenfalls für nicht-religiöse Zwecke sollten Glocken genutzt werden, ihr religiöser Gebrauch war bis zu einer Änderung der Glockenpolitik unter Napoleon weitgehend unterbunden. Mitunter wurden die Glocken auch staatlicherseits beschlagnahmt, eine staatliche Inanspruchnahme der Glocken, die später im Ersten und Zweiten Weltkrieg dann noch weiter getrieben wurde.⁴⁰ Bis zum Ende des 19. Jahrhunderts setzte eine regional unterschiedlich intensive spezielle Glockengesetzgebung in den deutschen Staaten ein, die detailliert Detailfragen des Glockengebrauchs zum Gegenstand hatte. Vorgespurt durch die Paulskirchenverfassung 1848/49 entwickelte sich aber bis zum Ende des Kaiserreichs eine auch landesverfassungsrechtlich realisierte gleiche Religionsausübungsfreiheit, die den Glockengebrauch dann nicht mehr als Ausdruck öffentlicher Bevorrechtigung erscheinen ließ, sondern als freiheitliche Religionsausübung, die von allen Religionsgesellschaften gleichermaßen beansprucht werden konnte. Damit ist das Tor zum modernen, freiheitlich verfassten Rechtsstaat aufgestoßen, der allen religiösen Gruppierungen gleichermaßen

⁴⁰ Dazu näher *Ansgar Hense*, Das Schicksal der Kirchenglocken im Ersten und Zweiten Weltkrieg: Eine rechtshistorische Reminiszenz und zugleich ein Beitrag zum Rechtsstatus der sog. Leihglocken als aktuelles Problem des Öffentlichen Sachenrechts, in: St. Muckel (Hrsg.), Kirche und Religion im sozialen Rechtsstaat: Festschrift für Wolfgang Rübner, 2003, S. 227-296.



das Recht zu freien, öffentlichen Religionsausübung gewährleistet. Die Sphäre der Öffentlichkeit war nicht mehr konfessionalisiert, sondern eine allgemeine Sphäre der Freiheit. Da Religionsausübung im öffentlichen Raum aber auch für den Staat greifbar wird und ggf. durch staatliche Entscheidungen hinsichtlich der effektiven Gewährleistungsreichweite auszubalancieren ist, gewinnt die Facette, die gerade auf die Freiheitlichkeit im Sinne einer auch öffentlichen Wahrnehmbarkeit gerichtet, eine besondere Funktion. Der in der Rechtsprechung des Bundesverfassungsgerichts immer wieder hervorgehobene Aspekt, dass es keinen allgemeinen Konfrontationsschutz vor religiösen Symbolen gibt,⁴¹ ist auch ein Eckstein einer längeren Freiheitsgeschichte, bei deren Gesamtentwicklung der Kirchturm als Glockenträger und der Gebrauch von Glocken eine nicht völlig unwesentliche Facette bildeten.

4. Ausblick

Die Tour d'horizon des Juristen wollte vorstehend keine umfassende Abhandlung zur Glocke als „Universalinstrument“, dem Glockenläuten als liturgischem Klang⁴² und den vielen anderen Facetten der Glocke und des Glockengebrauchs geben. Das Glockenläuten ist im religiösen Feld von Stille und Klang ein besonderes Phänomen, eine legale wie legitime Unterbrechung der Stille, dem im von Friedrich Heer so genannten „Glockeneuropa“ eine besondere Bedeutung zukommt. Zur Recht weist Kurt Kramer darauf hin, dass das Verständnis und die Vermittlung der Glockensymbolik nicht nur ein Testfall für den kirchlichen Verkündigungsauftrag sind, sondern auch ein Testfall für „die Kultur im christlichen Abendland“.⁴³ Die Glocke und ihr Gebrauch leiten an, über kulturelle Geschichte und Gegenwart zu reflektieren und darüber nachzudenken, dass Zukunft immer auch Herkunft benötigt.

⁴¹ BVerfGE 93, 1 (16).

⁴² Dazu sehr aufschlussreich *Albert Gerhards*, Klang – ein Weg durch Räume und Zeiten der Liturgie, 2016

⁴³ *Kramer*, Klänge der Unendlichkeit (o. Fn. 3), S. 328.





- ✓ Kirchturmuhren
- ✓ Digitale Funk-Hauptuhren
- ✓ Holz- und
- ✓ Stahlglockenstühle
- ✓ Glocken
- ✓ Läutemaschinen
- ✓ Joche und Klöppel
- ✓ Turmzier
- ✓ Zifferblätter und Zeiger
- ✓ Schallläden
- ✓ Liedanzeigen
- ✓ Liedprojektoren
- ✓ Wartung und Service
- ✓ Restauration und Erhalt mechanischer Turmuhren

Philipp Hörz GmbH

Am Priel 1 - 89297 Biberach / Bayern
 Tel.: +49 (0) 73 00 / 9 22 89 -0
 Fax.: +49 (0) 73 00 / 9 22 89 -50
 E-Mail: info@philipp-hoerz.de
 Internet: www.philipp-hoerz.de



Tradition & Präzision im Ein**KL**ANG
 seit 1862





Die Bedeutung der DIN 4178 bei der Planung und Sanierung von Geläuten und Glockentürmen

Axel Bißwurm

Ingenieurgruppe Bauen, Mannheim

Zusammenfassung

Die Verbindung von Musik und Bauen stellt sowohl Musiker als auch die planenden Ingenieure vor große Herausforderungen. Auf der einen Seite ist das wesentliche Ziel einer Läuteanlage den Wohlklang der Glocken zu verbreiten, auf der anderen Seite sind Glockentürme und Glockenstühle sehr anspruchsvolle Ingenieurbauwerke, die aufgrund ihrer hohen dynamischen Beanspruchung der besonderen Erfahrung bei der Planung und Bemessung bedürfen. Für die Ingenieure ist die DIN 4178 das Werkzeug zur Planung von Glockentürmen und Glockenstühlen. Die Norm legt Randbedingungen fest, die zu beachten sind, um die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerks sicherzustellen. Durch die bauaufsichtliche Einführung ist die Norm im Baurecht fest verankert und muss daher auch angewendet werden. Entstanden ist die Norm aus dem Umstand, dass nach dem letzten Krieg in Deutschland sehr viele neue Glockentürme gebaut wurden und aufgrund fehlender Vorgaben sehr viele Probleme auftraten. F.P. Müller nahm sich in den 1960er Jahren der Problematik an und verfasste sein Standardwerk, welches auch heute noch die wesentlichen Grundlagen der DIN 4178 darstellt. Die Norm an sich, verfasst von Experten unter der Aufsicht des DIN, wurde jetzt zum zweiten Mal überarbeitet und stellt den aktuellen Stand der Technik dar. Die erste Fassung war noch stark von den Neubauten der Nachkriegszeit geprägt, die neue Fassung legt ihre Schwerpunkte auf die Instandsetzung und wurde an die europäischen Regelungen angepasst.

1. Einführung

1.1. Normung in Deutschland

In Deutschland werden Normen am DIN (Deutsches Institut für Normung) erarbeitet. Das DIN ist als eingetragener Verein eine privatrechtliche Institution. Die Erarbeitung einer Norm erfolgt auf der Grundlage von Mandaten meist privater Interessensverbände (Industrie, Handel,...). Zur Umsetzung der im Mandat formulierten Anforderungen in einen Normentext werden durch das DIN Expertenkreise berufen. Diese Expertenkreise werden durch Mitarbeiter des DIN betreut, erarbeiten die aus Expertensicht erforderlichen Normeninhalte und formulieren die entsprechenden Normentexte auf der Basis der Normengrundsätze des DIN.

In einem Staatsvertrag hat sich die Bundesrepublik Deutschland verpflichtet, das DIN als einzige normende Organisation in Deutschland anzuerkennen. Auf europäischer Ebene gilt dies in gleicher Weise für das CEN (französisch: Comité Européen de Normalisation; englisch: European Committee for Standardization).

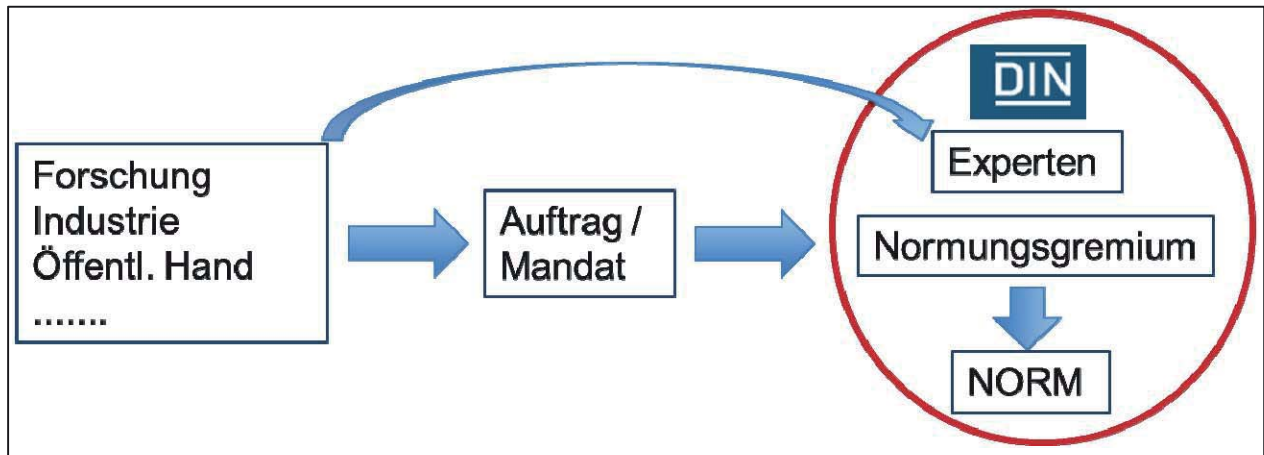


Abbildung 1: Entstehung einer Norm

1.2. Technische Baubestimmungen und anerkannte Regeln der Technik

Normen gelten nach deren Veröffentlichung als anerkannte Regeln der Technik, haben aber zunächst nur den Status des Gutachtens einer privatrechtlichen Organisation. Erst mit der Veröffentlichung in der VV TB¹ und den Amtsblättern der Länder werden die Normen baurechtlich eingeführt, erhalten damit „Rechtsstatus“ und sind in deren Anwendungsbereichen im Rahmen des Baurechts verpflichtend anzuwenden.

2. Entstehung der DIN 4178

2.1. Von der Erfahrung zur Ingenieurwissenschaft

Bis zum zweiten Weltkrieg wurden Glockentürme meist nach konstruktiven Gesichtspunkten und einfachen Berechnungen dimensioniert. Die Türme waren in der Regel massive Bauwerke mit für das Bauwerk verträglichen Geläutedispositionen. Wurden Turmschwingungen festgestellt, sind konstruktive Maßnahmen, z.B. das Kröpfen der Joche, veranlasst worden, die dann meist auch eine Reduzierung der Turmschwingungen bewirkt haben.

Nach dem Ende des zweiten Weltkriegs und dem danach einsetzenden Bauboom wurden viele neue Kirchen errichtet. Die Planung dieser Bauwerke erfolgte jedoch weniger auf den Erfahrungswerten der traditionellen Kirchenbaukunst, sondern nach modernen architektonischen Gesichtspunkten. Das führte dazu, dass zu dieser Zeit sehr viele sehr schlanke Glockentürme errichtet wurden.

¹ Verwaltungsvorschrift technische Baubestimmungen



Abbildung 2: Glockenturm Bruder Klaus, Konstanz, Baujahr 1955

Da es für die Beanspruchungen aus dem Glockenläuten keine bauaufsichtlichen Regelungen gab, wurden durch den planenden Ingenieur meist sehr einfache Belastungsannahmen verwendet. Üblich war es z.B. die dynamischen Anteile des Glockenläutens als das drei- bis fünffache des Glockengewichtes anzusetzen. Je nach dynamischer Abstimmung war diese Annahme ausreichend oder auch nicht. Unterdimensionierte Glockentürme waren die Folge und es waren oft umständliche Maßnahmen, z.B. der Einbau von Gegenpendelanlagen, erforderlich, um die Türme ihrer Bestimmung zuführen zu können.

2.2. F.P. Müller

Mitte der 1960er Jahre befasste sich F.P. Müller an der Karlsruher Universität wissenschaftlich mit der Thematik. Neben einer theoretischen Analyse des physikalischen Problems wurden auch erstmals Messungen an Glockentürmen mit Hilfe eines Unwuchterregers durchgeführt und es wurden Möglichkeiten zur Reduzierung der Turmschwingungen beschrieben. Das auf Grundlage seiner Arbeit entstandene Buch „Berechnung und Konstruktion von Glockentürmen“ [1] ist auch heute noch das Standardwerk bei der Bemessung von Glockentragwerken.

Die seinerzeit dargestellten Möglichkeiten zur Schwingungsreduktion an Glockentürmen sind weiterhin gültig.

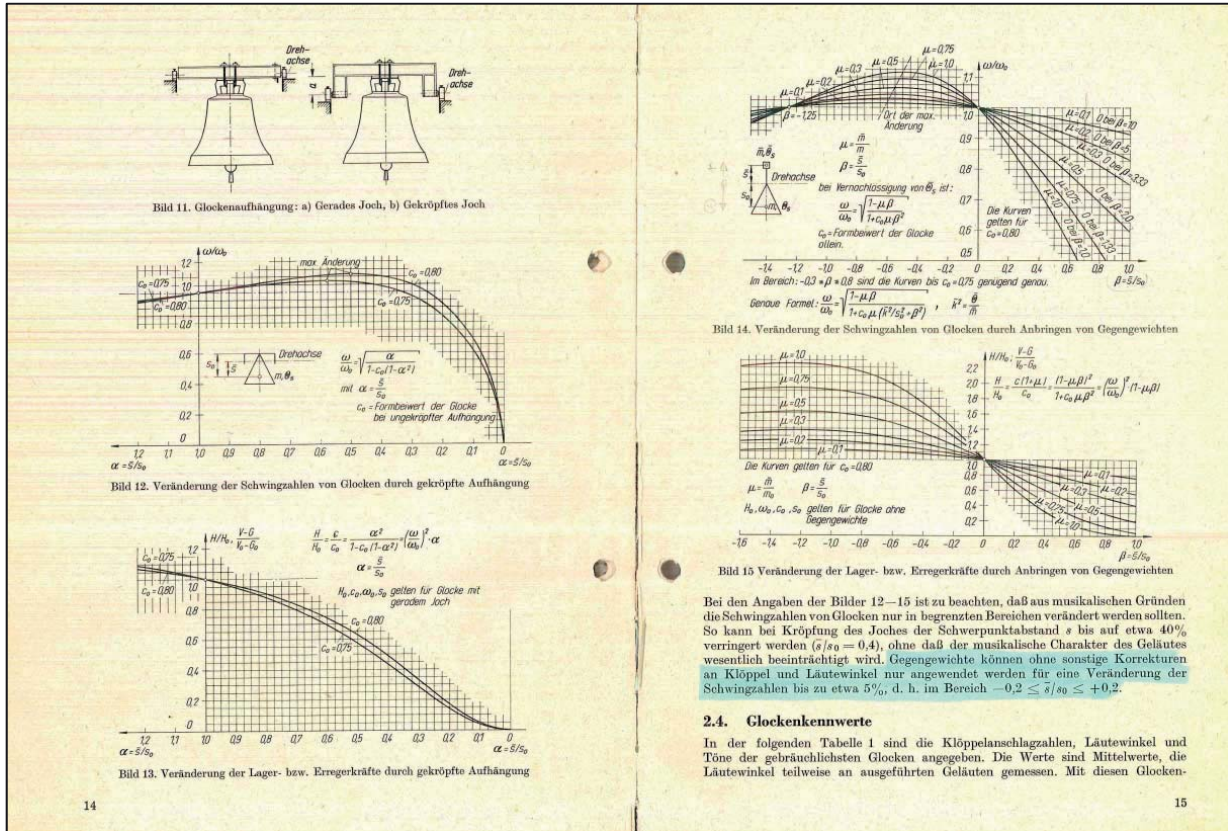


Abbildung 3: Maßnahmen zur Schwingungsreduktion nach [1]

2.3. DIN 4178: 08-1978 [2]

Die erste Fassung der DIN 4178 umfasste 14 Seiten und basierte im Wesentlichen auf der Grundlage der Arbeiten von Müller [1]. Die Norm enthielt eine erste Fassung der Glockentabelle für leichte, gerade Stahljoche, die physikalischen Grundsätze der Glockenschwingung und der daraus resultierenden Beanspruchung sowie Vorgaben zur Bemessung von Glockentürmen. Die Norm war auf den Neubau von Glockentürmen ausgelegt, die Anwendung auf bestehende Glockentürme und Glockenstühle war nur am Rande erwähnt. Über die Durchführung von Schwingungsmessungen wurden keine konkreten Aussagen getroffen.

2.4. DIN 4178: 08-2005 [3]

Mit der Überarbeitung der Norm zu Beginn des neuen Jahrtausends (aus 14 werden 32 Seiten) wurden neben den weiterhin gültigen Grundlagen der ersten Fassung der Norm insbesondere auch die Bedürfnisse zur Beurteilung bestehender Bauwerke abgedeckt. Der Neubau von Glockentürmen war selten geworden, weit häufiger waren Instandsetzungen vorhandener Bauwerke einschl. deren Glockenstühle angezeigt. Die Experten des Normenausschusses waren sich einig, dass Schwingungsmessungen ein wesentlicher Bestandteil bei der Instandsetzungsplanung von Glockentürmen sein sollten. Folglich wurde die Norm um die Kapitel „Messungen“, „Beurteilung und Sanierung von bestehenden Bauwerken“ und „Glockentragwerk“ ergänzt. Insbesondere das Thema der Schwingungsmessungen war ein wichtiger Meilenstein, da bis dato



kaum Veröffentlichungen über die Art und Weise der durchzuführenden Schwingungsmessungen vorhanden waren. Zwar war man sich im Expertenkreis einig, dass aufgrund des nichtlinearen Verhaltens eine sinnvolle Beurteilung der Messgrößen von Turmschwingungen nur möglich ist, wenn das Niveau der Schwingungsanregung dem des Glockenläutens entspricht, in der Praxis wurden jedoch häufig Messungen durchgeführt, die diesem Grundsatz nicht folgten und zu falschen Ergebnissen führten.

2.5. DIN 4178: xx-2018

Die Geschwindigkeit, mit der sich unsere Gesellschaft und unser Wissen verändern nimmt ständig zu und sobald wir neue Erkenntnisse niederschreiben sind diese oft schon wieder veraltet. Dies gilt auch für Normen, die nach den Regeln des DIN alle 10 bis 15 Jahre überarbeitet werden sollten. Obwohl die technischen Grundlagen der bisherigen DIN 4178 noch weitgehend gültig waren und sind, wurde eine Überarbeitung erforderlich, da die allgemeinen Bemessungsgrundlagen und Normenbezüge nicht mehr aktuell waren. Insbesondere auch die Europäisierung der Bemessungsnormen und die Harmonisierung der Regelungen für Bauprodukte waren zu berücksichtigen. Grundsätzliche Veränderungen oder Ergänzungen wurden aber nicht vorgenommen.

Dennoch wurden im Gremium verschiedene Themen angesprochen und diskutiert, die in den letzten Jahren immer wieder zu Diskussionen führten. Insbesondere die Themen Ermüdung, Glockentabelle und Glockentragwerk bzw. die Holz Auswahl für Holzglockenstühle wurden thematisiert.

3. Verbindlichkeit der Norm

Mit der Veröffentlichung der DIN 4178 in den Amtsblättern der Länder wurde die Norm Bauaufsichtlich eingeführt und ist damit im Gültigkeitsbereich der Bauordnungen der Bundesländer rechtsverbindlich anzuwenden. Der Anwendungsbereich ist im § 1 der MBO wie folgt beschrieben:

Dieses Gesetz gilt für bauliche Anlagen und Bauprodukte. Es gilt auch für Grundstücke sowie für andere Anlagen und Einrichtungen, an die in diesem Gesetz oder in Vorschriften aufgrund dieses Gesetzes Anforderungen gestellt werden.

Bauliche Anlagen sind per Definition im §2 der MBO:

Bauliche Anlagen sind mit dem Erdboden verbundene, aus Bauprodukten hergestellte Anlagen; eine Verbindung mit dem Boden besteht auch dann, wenn die Anlage durch eigene Schwere auf dem Boden ruht oder auf ortsfesten Bahnen begrenzt beweglich ist oder wenn die Anlage nach ihrem Verwendungszweck dazu bestimmt ist, überwiegend ortsfest benutzt zu werden.

Bei Glockentürmen ist unstrittig, dass diese baulichen Anlagen im Sinne der Landesbauordnungen und als solche zu behandeln sind. Bei Glockenstühlen wird dies des Öfteren diskutiert, obwohl die Definition der baulichen Anlagen, zu denen auch Glockenstühle zählen, eindeutig ist.

Darüber hinaus stellt die Norm eine anerkannte Regel der Technik dar, so dass diese auch außerhalb des Gültigkeitsbereiches der Landesbauordnungen als Stand der Technik gilt und beachtet werden sollte.



4. Anwendung der DIN 4178 bei der Installation und Sanierung von Geläuten in bestehenden Glockentürmen

4.1. Allgemeines

Die DIN 4178 ist eine technische Regel des Hochbaus. Dementsprechend liegen deren Schwerpunkte auf dem Tragverhalten und der Standsicherheit des Bauwerks und des Glockenstuhls. Musikalische Belange sind nicht direkt Gegenstand der Norm, wenngleich die Gebrauchstauglichkeit auch in der Tragwerksplanung ein wichtiger Aspekt ist, der nachzuweisen ist.

Die Regelungen der Norm stellen Mindestanforderungen dar, die einzuhalten sind, um die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der baulichen Anlage über einen angemessenen Zeitraum sicherzustellen. Im Bauwesen ist dieser Zeitraum mit 50 Jahren definiert, was nicht heißt, dass die Anlage danach 50 Jahren kaputt ist. Der genannte Zeitraum wurde im Bauwesen als statistische Grundlage zur Definition der rechnerischen Sicherheiten gewählt. Selbstverständlich steht es dem Bauherrn frei, höhere Anforderungen an die bauliche Anlage (z.B. höhere Baustoffqualitäten) zu stellen.

Beim Einbau oder der Sanierung von Geläuten sind das Tragverhalten des Glockenstuhls und die Auswirkungen der veränderten Beanspruchungen auf den Glockenturm zu überprüfen. Da sowohl der Glockenturm, als auch der Glockenstuhl als bauliche Anlagen gelten, sind die Regelungen der Landesbauordnung und die eingeführten technischen Baubestimmungen zu berücksichtigen. Hierzu beschreibt die DIN 4178 grundsätzliche Vorgehensweisen, die bei der Planung zu berücksichtigen sind. Dies betrifft die erforderlichen Nachweise der Standsicherheit und auch die Verwendung geregelter Bauprodukte.

4.2. Glockenturm

Das Tragverhalten bestehender Glockentürme ist dann zu bewerten, wenn durch den Einbau von Glocken oder die Veränderung bestehender Läuteeigenschaften die Turmbeanspruchungen wesentlich verändert werden und damit der Bestandsschutz erlischt. Selbstverständlich ist auch dann eine Bewertung durchzuführen, wenn Schäden, ungewöhnlich große Turmbewegungen oder sonstige Veränderungen festgestellt werden. Die Art und der Umfang dieser Bewertung ist im Einzelfall zu prüfen und hängt vom Grad der Veränderung und dem Tragverhalten des Glockenturms ab. Wesentliches Merkmal einer Überprüfung ist im Regelfall die Durchführung einer Schwingungsmessung. Eine Schwingungsmessung sollte immer dann veranlasst werden, wenn im vorhandenen baulichen Zustand bereits Schwingungen während des Läutens spürbar sind oder wenn zu erwarten ist, dass veränderte Beanspruchungen einen wesentlichen Einfluss auf das Schwingungsverhalten haben. Die zur Beurteilung des Glockenturms erforderlichen Messgrößen sind die maßgebenden Turmeigenfrequenzen, die Dämpfungswerte und die Schwinggeschwindigkeiten während des Läutens. Bei der Durchführung der Schwingungsmessungen sind die messtechnischen Anforderungen der DIN 4178 zu beachten. Bei künstlicher Anregung ist darauf zu achten, dass die damit erzielten Schwingungsgrößen in der Größenordnung des Glockenläutens liegen, da ansonsten falsche Ergebnisse zu erwarten sind.



4.3. Glockenstuhl

Auch der Glockenstuhl ist eine bauliche Anlage, dessen Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nachzuweisen sind. In der Regel sind statische Berechnungen einschließlich der erforderlichen Ermüdungsnachweise anzufertigen. Bestehende Glockenstühle genießen Bestandsschutz, solange diese intakt sind, keine baulichen Veränderungen durchgeführt wurden und die Beanspruchungen unverändert sind.

Die Bemessung eines Glockenstuhls erfordert Erfahrung beim Umgang mit dynamisch beanspruchten Tragwerken. Die zu führenden Nachweise gehen über das übliche Maß einer „Statik²“ hinaus. Die Bewegung der Glocken und die daraus resultierenden hohen dynamischen Beanspruchungen sind wesentlicher Bestandteil dieser Berechnungen und sind in der Regel bemessungsrelevant.

4.4. Bauprodukte

Neben den anzuwendenden Bemessungsregeln umfasst der Gültigkeitsbereich der Bauordnungen auch den Einsatz der zu verwendenden Bauprodukte. Es dürfen nur Bauprodukte eingesetzt werden, deren wesentlichen Eigenschaften bzw. Grundanforderungen (z.B. Festigkeit) nach definierten Regeln (Versuchsanordnung, Testreihen, Fremdüberwachung...) bestimmt und überprüft wurden. Man spricht von „Geregelten Bauprodukten“. Der Nachweis zur Erfüllung dieser Grundanforderungen erfolgt durch den Hersteller über Verwendbarkeitsnachweise oder Herstellererklärungen. Hierbei muss unterschieden werden zwischen rein national geregelten Bauprodukten und europäisch geregelten Bauprodukten. National geregelte Bauprodukte müssen in Deutschland einen sogenannten Verwendbarkeitsnachweis in Form eines Ü-Zeichens vorweisen. Das Ü-Zeichen bestätigt, dass ein Bauprodukt entsprechend dem Anwendungsbereich der auf dem Ü-Zeichen ausgewiesenen technischen Regel uneingeschränkt verwendet werden darf.

Europäisch geregelte Bauprodukte sind mit einem CE-Kennzeichen markiert, welches bestätigt, dass mindestens eine Leistung der harmonisierten technischen Regel (hEN, ETA) erklärt wird. Bei europäisch geregelten Bauprodukten muss daher immer eine Leistungserklärung beigefügt werden in der die Leistungen des Bauprodukts dargestellt werden. Der Verwender des Bauprodukts muss dann prüfen, ob die erklärten Leistungen den gewünschten Bauwerksanforderungen entsprechen.

Werden Bauprodukte verwendet, für die es keine technischen Regeln gibt oder weichen diese wesentlich davon ab, müssen sog. Bauartgenehmigungen (Zustimmung im Einzelfall) eingeholt werden. Soll beispielsweise eine Holzart (z.B. Kirschbaum) verwendet werden, deren Festigkeit sich nicht über die geltenden Regeln bestimmen lässt, wäre hierfür eine Zustimmung im Einzelfall erforderlich. Diese würde dann auf der Grundlage von Einzelgutachten festlegen, von welchen wesentlichen Merkmalen auszugehen ist.

4.5. Holz als Bauprodukt

Holz und Holzwerkstoffe sind überwiegend europäisch harmonisierte Bauprodukte. Vollholz wird auf der Grundlage der DIN EN 14081-1 in den Verkehr gebracht, Brettschichtholz auf Grundlage der DIN EN 14080. Beispiele der Leistungserklärungen sind Gegenstand des Anhangs ZA der jeweiligen Norm. Die

² Statik ist die Lehre vom Gleichgewicht ruhender Körper.



europäisch harmonisierte Norm DIN EN 14081-1 beschreibt zu den wesentlichen Merkmalen der Leistungserklärung, wie diese zu bestimmen und fortlaufend zu überprüfen sind.


 01234		CE-Zeichen nach Richtlinie 93/68/EWG
AnyCo Ltd 11 01234-CPD-00234		Kennnummer der notifizierten Zertifizierungsstelle Name oder sonstige Kennzeichnung des Herstellers <small>ANMERKUNG Die registrierte Anschrift des Herstellers kann ebenfalls hinzugefügt werden.</small> Letzten beiden Ziffern des Jahres, in dem die CE-Kennzeichnung angebracht wurde Nummer des EG-Konformitätszertifikates
EN 14081-1:2005+A1:2011 Sortiertes Bauholz für tragende Zwecke mit rechteckigem Querschnitt M / Trocken Sortiert / WPCA Querschnittsmaße: (12 x 18) cm AnyCo No. 789/2010		Nummer der Europäischen Norm mit dem Jahr ihrer Veröffentlichung Angaben zur Beschreibung des Bauholzes für tragende Zwecke, einschließlich seiner Identifizierungsnummer
Elastizitätsmodul (Mittelwert) und Biege-, Druck-, Zug-, Schubfestigkeit	C 24	Leistungsmerkmale bezüglich aller wichtigen Eigenschaften, diese müssen angegeben werden
Brandverhalten	D-s2, d0	
Freisetzen von gefährlichen Stoffen	NPD	
Dauerhaftigkeit als Klassifizierung nach:		
— holzerstörende Pilze — Insekten — Termiten — maritime Holzzerstörer	Klasse 4 NPD NPD NPD	

Abbildung 4: CE-Kennzeichnung mit Leistungserklärung für Vollholz

Für die Bestimmung der Holzfestigkeit wird in der harmonisierten Produktnorm auf die DIN EN 338 verwiesen, diese wiederum verweist auf die DIN EN 1912 welche für Deutschland auf die nationale Sortiernorm DIN 4074 (Teile 1 und 5) verweist.

Mit diesen Normen lassen sich in Deutschland verschiedene Nadel- und Laubhölzer z.B. Eiche, Buche, Esche, Ahorn und Pappel klassifizieren. Weitere Holzarten können im europäischen Ausland, im Geltungsbereich der europäischen Normung und der dort genannten nationalen Sortiernormen klassifiziert werden.

Üblicherweise werden Hölzer nach dem Aussehen sortiert, das heißt es werden Risse gemessen, Ästigkeiten überprüft, Faserneigung, Befall mit Schädlingen, ... Im Einzelfall können Hölzer auch durch Versuche klassifiziert werden. Die rechnerisch ansetzbare Holzfestigkeit hängt demnach im Wesentlichen von den augenscheinlich erkennbaren Merkmalen wie zum Beispiel Rissen und Ästen ab und nicht von den eigentlichen Eigenschaften des ungestörten Holzes. Diese Sortiermerkmale stellen Querschnittsschwächungen dar, die bei der Bestimmung der Festigkeit und auch bei der Bemessung berücksichtigt werden. Ungestörtes Holz weist wesentlich höhere Festigkeiten auf, dieser Umstand wird bei Verbundbaustoffen (Brettschichtholz, Balkenschichtholz, Furnierholz) genutzt, um höhere Festigkeiten zu erzielen. Buchenfurniersperrholz gibt es in Festigkeitsklassen bis GL 80, das entspricht der 3,3-fachen Festigkeit gegenüber einem üblichen Nadelholzquerschnitt.

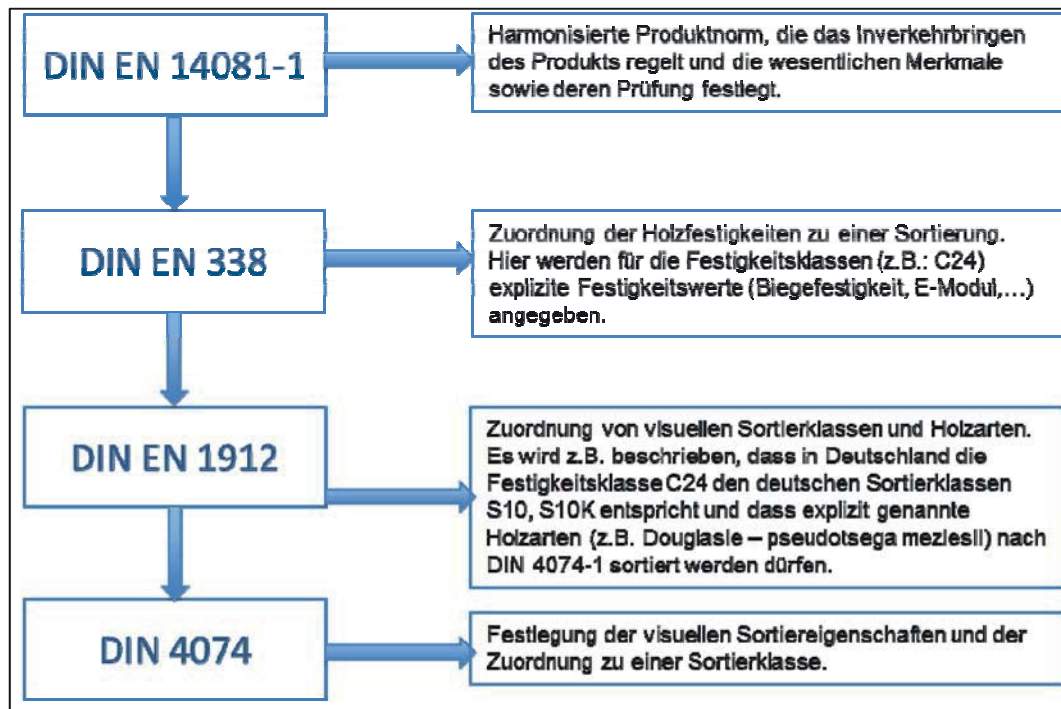


Abbildung 5: Zu berücksichtigende Normen für Vollholz

Entscheidend für die Qualitätssicherung und die Garantie der Holzeigenschaften ist die bei der Sortierung vorhandene Holzfeuchte. Die Eigenschaften von Holz hängen sehr stark vom Feuchtegehalt während der Sortierung ab. Neben den direkten Einflüssen auf die Festigkeit und die Steifigkeit haben die möglichen Rissbildungen beim Austrocknen des Holzes einen großen Einfluss auf die visuelle Sortierung und damit die Holzfestigkeit. Nach DIN EN 1995-1-1 sollte die Holzfeuchte bei der Sortierung und dem Einbau der Ausgleichsfeuchte im verbauten Zustand entsprechen. Andernfalls muss sichergestellt sein, dass ein schadensfreies Nachtrocknen möglich ist. In wettergeschützten, belüfteten Glockenstuben liegt die mittlere Holzfeuchte erfahrungsgemäß bei ca. 15 %, so dass eine Einbaufeuchte von unter 20% angestrebt werden sollte.

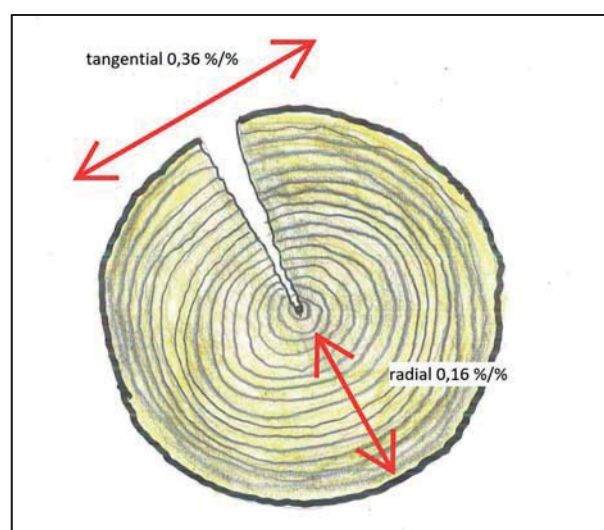


Abbildung 6: Schwindmaße von Eichenholz



Dies ist bei Eichenholzquerschnitten kaum möglich, da die natürlichen Trocknungszeiten von Eichenholz insbesondere in radialer Richtung lang sind und eine technische Trocknung schwierig. Deshalb muss bei der Konstruktion auf die Möglichkeiten eines schadensfreien Nachtrocknens geachtet werden, ggf. müssen die Sortiereigenschaften zu einem späteren Zeitpunkt nochmals am fertigen Bauwerk überprüft werden. Insbesondere bei senkrecht zur Faserrichtung beanspruchten Holzquerschnitten kann das Nachtrocknen Verformungen von bis zu 5 Prozent der Querschnittshöhe bewirken, da das radiale Schwindmaß nur etwa die Hälfte des tangentialen Schwindmaßes ist, führt das Schwinden auch zu einer Verwindung des Querschnitts und zur Rissbildung. Herzgetrenntes Holz verringert die Trocknungszeiten und reduziert die Neigung zur Rissbildung. Große Querschnitte sind aber kaum herzgetrennt lieferbar. Die grundsätzliche Forderung nach herzgetrenntem Holz ist in statischer Hinsicht nicht begründbar, da Rissbildung und Verformungen infolge Nachtrocknens nicht grundsätzlich schädlich sind und auch nicht zwingend die Standsicherheit beeinträchtigen, Augenmaß und Ingenieurverstand sind hier gefragt.

Literatur

- [1] F. P. Müller: Berechnung und Konstruktion von Glockentürmen. Verlag Wilh. Ernst&Sohn, Berlin, 1968.
- [2] DIN 4178:08-1978: Glockentürme, Berechnung und Ausführung. Beuth Verlag, Berlin 1977
- [3] DIN 4178:04-2005: Glockentürme. Beuth Verlag, Berlin 2005



**Fachfirma Dürr
GmbH & Co. KG**

Am Igelsbach 8
91541 Rothenburg o.d.T.

Tel. 09861/86293

info@fachfirmaduerr.de
turmuhren.de fachfirmaduerr.de







Läuteoptimierung in der Anwendung – Schwingungsdynamische Türme und Schallreduktion

René Spielmann, Christian Thesen

Glockengießerei H. Rüetschi AG, Aarau

Zusammenfassung

Optimierungsarbeiten an Geläuteanlagen werden üblicherweise geplant und ausgeführt, wenn Restaurierungsaufgaben oder Sanierungen an Kirchen durchgeführt werden. Da Glocken in einem Bauwerk eingebettet sind, werden die Anlagen gemeinhin dem Architektur- und Bauingenieurwesen angehängt. Dabei gilt es aber auch, wichtige Aspekte aus dem Maschinen- und Elektroingenieurwesen zu berücksichtigen. Darin hat ECC-ProBell® im letzten Jahrzehnt wesentliche Beiträge geliefert. Es ist Zeit für einen Perspektivwechsel: Zeitgemäße Glocken- oder Turmuhrentechnik ist gleichbedeutend mit ingenieurmäßigem Anlagenbau. Wird das Knowhow um Belastungen und der damit verbundenen Materialermüdung nicht angewendet, kommt die Sensibilität für Risikobetrachtungen nicht auf. Diesem Umstand begegnet man bei zahlreichen Projektvorbereitungen. Erstaunlich, denn Grundlagen zur Betriebs- und Produktsicherheit sind seit über 30 Jahren in unserer Gesetzgebung für Bauherren und Unternehmer verankert. Präzise Anwendung von Ingenieurwissen im Glockenwesen würde die Anwendung von Dogmen reduzieren, mehr Innovation und bessere Lösungen fördern. Die Anforderungen unserer Gesellschaft gehen nicht nur mehr in Richtung fachgerechte Restaurierung, Geläute werden nicht nur qualitativ besser klingen, sondern auch immer leiser und feiner tönen müssen.

1. Ein Blick auf das technische Regelwerk

1.1. Schutz des Bauwerks – Aufgabenstellungen zum Erhalt der Bauwerke

Bei Maßnahmen, die in Zusammenhang mit einer Entlastung des Glockenturms stehen, kommt zweifelsohne die DIN 4178 Glockentürme zur Anwendung. Wie es der Name sagt, fokussiert sie die Glockentürme. Der Wert der DIN 4178 liegt sicherlich in der kompakten Zusammenfassung der Auswirkung des Glockenläutens auf das Bauwerk. Die Beschreibung der Auswirkungen in Bezug auf Resonanz ist detailliert und praxisnah. H. Rüetschi AG hat zusammen mit Spezialisten während knapp 20 Jahren genaue Untersuchungen über die Resonanzwirkungen an Glockentürmen durchgeführt und Geläute unter Anwendung der DIN 4178 saniert. Messresultate daraus und die Arbeiten mit ECC-ProBell® lieferten uns zwei Erkenntnisse:

1. Die DIN 4178 konzentriert sich auf die Auswirkungen der tieferen Frequenzen ($f < 4\text{Hz}$), die durch die Pendelbewegungen der Glocken verursacht werden (Resonanz). Die Norm nimmt aber nicht so genau Stellung zu Schadenswirkungen auf das Bauwerk verursacht durch Vibrationen höherer Frequenz ($f > 4\text{Hz}$). Auch in diesem Frequenzbereich entwickelt die Anlage im Moment des Klöppelaufpralls Kräfte, die auf den Turm wirken. Im Maschinenbau sind die Auswirkungen solcher Belas-



tungen auf die Gebäude aus der Zeit der Montage von automatisierten Webstühlen bekannt. Erst die genauen Messdaten zum Klöppelaufprall, der Gegenstand des Forschungsprojektes ProBell war, haben die Analysen auf diesen Punkt gelenkt.

Beispiel: Nachweis der Wirkung einer von Rüetschi eingesetzten Schwingungsisolation

Im Frequenzbereich zwischen 1 bis 3 Hz werden die Schwingungen praktisch unverändert übertragen, oberhalb von 6 Hz wird als Folge der elastischen Lagerung des Glockenstuhls weniger als 10% der Schwingungen des Glockenstuhls auf den Turm übertragen (vgl. Ziegler, 2015, 18).

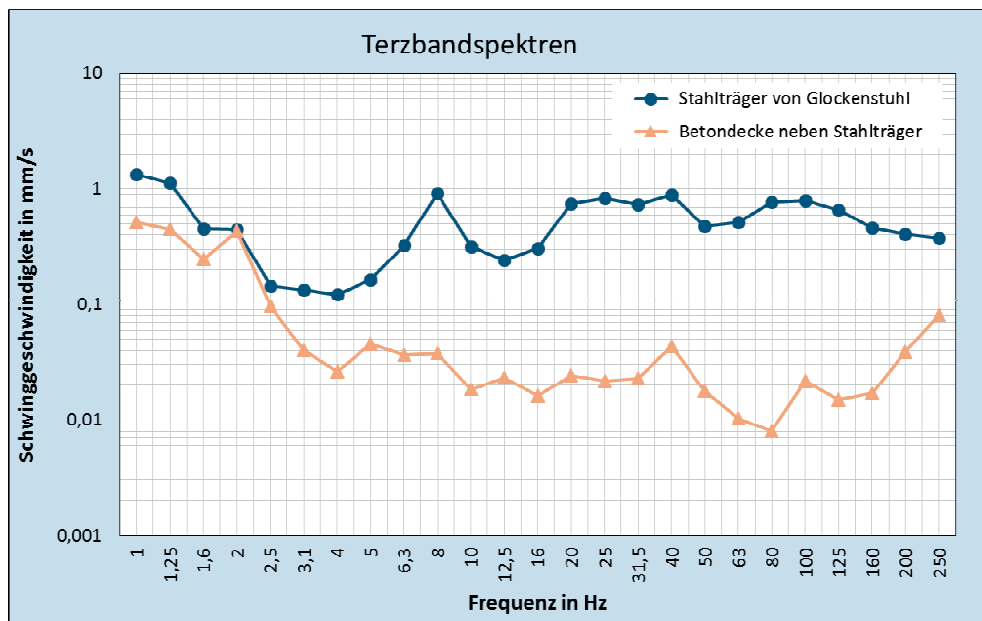


Abbildung 1: Analyse der Vibrationen vom Glockenstuhl und Boden

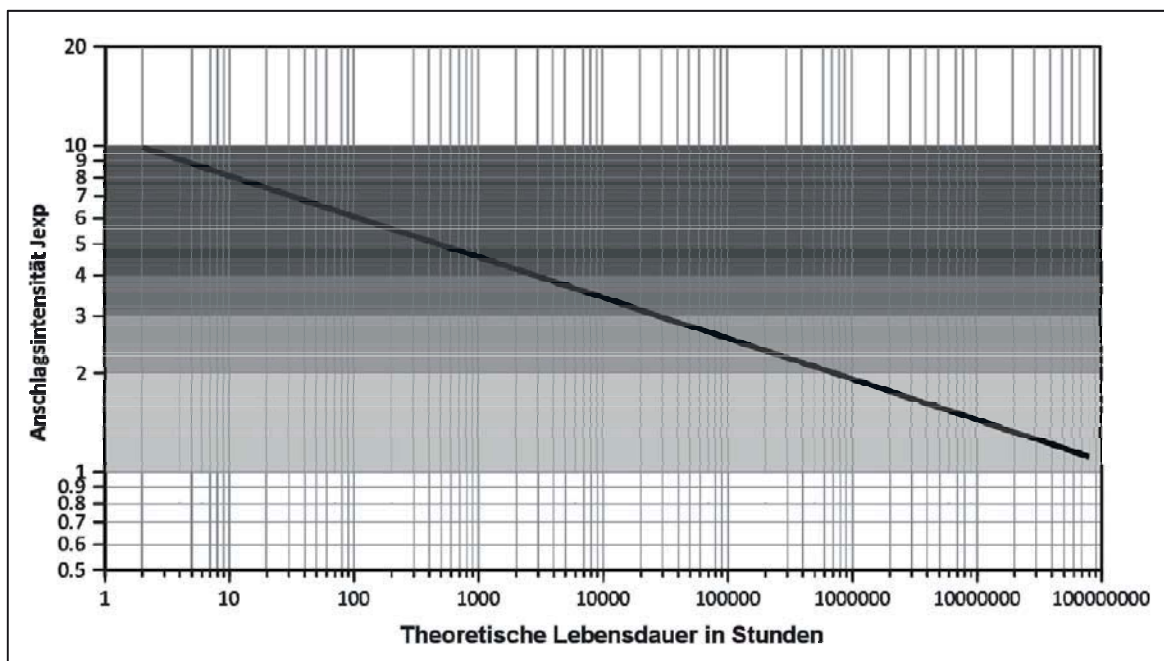
2. Mit den Glockenwerten in den Tabellen liegt der DIN 4178 ein Behelf zugrunde, der zur raschen Orientierung des Anwenders dient und auf Standardwerte für Glocken, Joche und Klöppel zurückgreift. Eine solche Tabelle mit Kennwerten ist ein Hilfsmittel und quantitativer Indikator und keine im Individualfall gültige Vorgabe. Dies zeigt alleine schon die vereinfachte Annahme, dass Glockenhöhe = Durchmesser ist. Dieses Modell kann hilfreich sein in der Betrachtung von Schwingungswirkungen, es liefert aber keine hinreichende Grundlage in Bezug auf die richtige Dimensionierung von Komponenten der Glockenanlagen, Optimierung von Glockenklang oder der Reduktion der Materialermüdung oder des Schadenspotentials. Hier setzt die Optik des Maschinenbaus bzw. Anlagenbaus an.

Mit geeigneten Verfahren kann aufgezeigt werden, wie effizient neue Erkenntnisse auf Glockenanlagen angewendet werden und wie groß die Wirkung dieser Methoden zur Reduktion von Vibrationen auf Bauwerke sein können.



1.2. Technische Kennzahlen als Standards zur Beurteilung von Belastungen beim Glockenläuten

Aus dem Forschungsprojekt ProBell und den anschließenden angewandten Forschungsarbeiten u.a. Kathedrale Fribourg und Münster Bern hat sich die wissenschaftliche Maßeinheit *Anschlagsintensität J_{exp}* mit Definition des *ProBell-Kriteriums* für den idealen Aufprall von Klöppel auf Glocke entwickelt. Die Anschlagsintensität ist das Maß für die Beanspruchung der Glocke und gibt erstmals auch quantitative Angaben für die aus der Belastung resultierende Klangqualität. Die Anschlagsintensität entspricht einem systemischen Denken, basierend auf der Wöhlerkurve für Materialermüdung. Die Theorien über Schadensbeurteilung mittels Wöhlerkurve entsprechen dem allgemeinen Grundwissen des Maschineningenieurwesens und sind hinlänglich in der Technik akzeptiert.



- $J_{exp} < 2$: sehr niedriges Risiko für Schäden, überwiegend schwache Klangentfaltung
- $2 < J_{exp} < 3$: niedriges Risiko für Schäden, gute bis sehr gute Klangentfaltung
- $3 < J_{exp} < 4$: mittleres Risiko für Schäden, überwiegend sehr gute Klangentfaltung
- $J_{exp} > 4$: hohes bis sehr hohes Risiko für Schäden, sehr mächtige und laute Klangentfaltung

Abbildung 2: Anschlagsintensität J_{exp} nach ECC-ProBell® in der Darstellung als Ampelsystem

Mit dem daraus entstandenen Ampelschema und der Anwendung des ProBell-Kriteriums erhält der Ingenieur im Geläutebau (Anlagenbau) eine transparente, anwendbare Kenngröße und ein europaweit gültiges Werkzeug, das der Denkmalpflege erlaubt, Vorgaben zur Einhaltung der ProBell-Kriterien zu machen bzw. deren Einhaltung kontrollieren zu lassen. Dieser auf messbaren Qualitätsvorgaben beruhender Engineering-Prozess, ist bei H. Rüetschi AG in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Kompetenzzentrum für Glocken



ECC-ProBell® der Hochschule Kempten ab 2009 eingeführt und umgesetzt worden. Dazu notwendig war aber auch die Einsicht, firmenintern ein Ingenieurbüro aufzubauen. Die Resultate der Arbeit sind heute in zahlreichen Kantonen von der Denkmalpflege anerkannt worden. In diesem Sinn hat auch der Technologietransfer von angewandter Forschung an der Hochschule in ein Unternehmen hervorragend geklappt.

Die Anwendung dieses Ampelsystems erleichtert die Einteilung von verschiedenen Läutezuständen und ermöglicht nachvollziehbare und transparente Qualitätskontrollen für die Dimensionierung eines Glockensystems. Diese wissenschaftliche von ECC-ProBell® entwickelte Einteilung wird in der Schweiz durch Rüetschi seit 2011 konsequent angewendet und ist mittlerweile bei Denkmalpflegern in vielen Kantonen anerkannt. (Dür, et al. 2017, 161). Der Vorteil liegt in der gemeinsamen Sprache zwischen Glockenfirmer und Glockensachverständigen und in realistischen Forderungen mit funktionierenden Resultaten.

1.3. Schutz des Kulturguts und historischen Musikinstrumentes

Glocken sind Musikinstrumente, die bei der Klangerzeugung, insbesondere beim Läuten, hohen Beanspruchungen ausgesetzt sind (Plitzner, 2015, 1). Sollen in Vorbereitung einer Restaurierung, besonders von bedeutenden Glocken oder historisch wertvollen Objekten, Modernisierungen durchgeführt werden, steht eine Frage im Vordergrund, die sich ein Ingenieur immer wieder stellen muss: Ist die neue Komponente besser als die alte und kann diese Aussage bewiesen werden. Genau diese Frage hat der leitende Architekt der Restaurierung der Kathedrale Lausanne/VD (Schweiz), M. Christof Amsler 2001 an die Firma Rüetschi gestellt, als es um den Vorschlag für neue Klöppel ging. Damals konnten die Mitarbeiter von H. Rüetschi AG den wissenschaftlichen Beweis nicht erbringen, darum hängen auch im Jahre 2017 noch dieselben Klöppel im Turm, wie vor 50 Jahren. Heute ist diese Beweisführung möglich. Die Einhaltung des ProBell-Kriteriums für die Anschlagintensität ist der zentrale Weg, um zu beweisen, dass ein heute neu eingesetzter Klöppel besser ist als ein alter Klöppel, der im Zeitraum zwischen Industrialisierung bis Anfang des 21. Jh. dimensioniert wurde.

Die Einführung des Belastungsstandards Anschlagintensität Jexp hat einen neuen Denkansatz im Umgang von historischem Kulturgut Glockenanlagen geführt:

Der Umgang mit der spezifischen Kennzahl Jexp hat die denkmalpflegerische Diskussion erweitert. Die präzise Kenntnis der Schädigungswirkung hat die Möglichkeit gegeben, Restaurierungsstrategien zu erarbeiten. Es geht nicht mehr darum, auf Behauptungen (beispielsweise: zu harte Klöppel, hohe Läutewinkel sind à priori schädlich) basierende Ersatzmaßnahmen durchzuführen, sondern in differenzierter Weise einen individuellen Glockenkörper oder ein Geläute zu analysieren und daraus mit den Beteiligten ein Handlungsschema zu definieren. Je nach Situation kann folgende Stoßrichtung angewendet werden:

- a) Deutliche Vorschädigung der Glocke vorhanden oder historisch bedingte, maximale Schutzforderung: Dimensionierung des Klöppels für ingenieurmäßig maximale Entlastung bei gutem Klangverhalten
- b) Durchschnittliche Vorschädigung der Glocke oder große Bedeutung der bestmöglichen Intonation des historischen Geläutes gefordert: Dimensionierung des Klöppels für ingenieurmäßig gute Entlastung und höchst mögliche Klangqualität



Neben der Anschlagsintensität, die mit dem ProBell-Kriterium eine beurteilbare Vorgabe für die maximalen Belastungen und die Kriterien für guten Klang definieren, gibt es ebenso Erkenntnisse betreffend der Herstellung der Klöppel. Bereits während des Forschungsprojektes ProBell hat zum Beispiel der Vertreter des Industrieschmiedewerks Rosswag immer wieder die Notwendigkeit zur Überarbeitung eines freiformgeschmiedeten Werkstückes erklärt. Aus der Erfahrung von Rüetschi hat sich diese Forderung bestätigt. Der Herstellungsprozess für Klöppel mit Vorschmieden und nachträglicher Überarbeitung durch Drehen und Fräsen ist Stand der Technik.

1.4. Risikobeurteilung in Bezug auf technisches Wissen

Seit dem 6. Januar 2011 ist für viele Menschen auch außerhalb der Glockenfachkreise deutlich geworden, dass Klöppelaufhängungen und Klöppel brechen können. Viele Schadensbilder dieser hochbeanspruchten Komponenten sind bekannt – auch wenn letztlich nicht alle so berühmt geworden sind, wie der damals abgestürzte 800kg schwere Klöppel des dicken Pitters, dem 24t schweren Bourdon des Kölner Doms.

Geht man davon aus, dass sich mehr und mehr die Einsicht verbreitet, dass eine Glockenanlage eine technische Anlage im Sinn von Produkthaftungs- und Produktesicherheitsgesetz ([Hrsg.] 2015,2) ist, gilt es, die daraus abzuleitenden, erforderlichen Prozesse, wie Risikoanalyse, Dimensionierungsvorgaben, Nachweise, anhand von validierter Simulationssoftware und Berechnungsgrundlagen, dem vorhandenen *Stand* der Technik anzupassen. Das heißt, es zählt das aktuellste technische Wissen, das meist an Hochschulen erarbeitet und vorhanden ist. Manchmal ist dies eine breitere Wissensbasis, als in einem Baugremium oder Unternehmen vorhanden ist. Wissen wird ständig erweitert und basiert auf den Resultaten aus den ständigen Entwicklungsarbeiten an Hochschulen, Forschungsprojekten, wie zum Beispiel ECC-ProBell® oder anderer Institute oder Organisationen. Betrachten wir den Stand im Forschungssektor Glockenanlagen hinsichtlich der technisch-wissenschaftlichen Vorgaben, dann finden sich einige relevante Erkenntnisse:

Im Forschungsprojekt ProBell hat das Team der Universität Ljubljana Analysen zu den Wirkungen des Klöppelaufpralls auf Klöppel und Glocke durchgeführt (Fajdiga, et al, 2008, 43). Diese daraus gewonnenen Erkenntnisse waren bereits Gegenstand des 1. Symposiums ECC-ProBell, 2009. Sie seien nur der Vollständigkeit halber nochmals erwähnt.

- a) Die Verwendung von Doppelgelenksaufhängungen, wie sie von H. Rüetschi AG seit 1890 konstruiert werden, führen zu einer Halbierung der Belastung im Klöppelschaft.
- b) Je präziser die Führung des Klöppels realisiert werden kann, desto geringer sind die plastischen Verformungen an Klöppel und Glocken.



Abbildung 3: Doppelgelenkaufhängung hier mit Klöppelabsturzsisicherung bei offenen Glockentürmen

Dieses Beispiel zeigt, dass es aktuelles Wissen und Techniken gibt, welche die Belastungen und die Materialermüdung im Klöppel-System nachweislich reduziert. Dieses Prinzip gilt es im Sinne einer Risikominde- rung anzuwenden.

Doppelgelenk-Aufhängungen weisen nicht nur große Vorteile auf in der einfachen Justierung der Klöppel- position, womit Asymmetrien verhindert werden. **Die Doppelgelenktechnik reduziert die Belastun- gen im Klöppel um Faktor zwei (!).**

Blickt man genauer auf die aktuellen Vorgaben für den Maschinen-/ Anlagenbau, findet man, basierend auf den jeweiligen Produktsicherheitsgesetzen, die Verbindlichkeit der Maschinenrichtlinien, EU-Richtlinie 2006/42/EG, (Gesetz in Deutschland seit 2011, Schweiz seit 2016). Damit verbunden sind bei Auslegung von Anlagen und Komponenten die Anwendung einer Risikoanalyse und die entsprechenden Nachweise zu deren Auslegung ([Hrsg.] 2015,2). Und so werden nicht nur betreffend Gewährleistung, sondern auch be- treffend Haftpflicht, die Verantwortungen klar zwischen Anlagenbauer und Besitzer zugewiesen. Dies ist auch zu bedenken bei der Beratungsarbeit der Glockenexperten. Die Verantwortung für den Dimensionie- rungsprozess und dessen Nachweis liegt beim Unternehmer. Deshalb sind wir der Meinung, dass hier die Existenz des ProBell-Kriteriums der richtige Ansatz ist und nicht eigene Formdefinition. Hier fordern wir aus Sicht der Einhaltung klarer Vorgaben und der Anwendung redundanter Designmethoden, dass Experten im Glockenwesen den Nachweis von „Klangqualität-fördernde und Glocken-schonende Methoden“ mittels Erfüllung von ProBell-Kriterien einfordern, die Verantwortung für die Form und die Auslegung der Kompo- nenten dem Anlagenbauer überlassen. Ansonsten sind die gesetzlichen Auflagen kaum mehr realistisch zu erfüllen.

Werden nun Forderungen zur Einhaltung der ProBell-Kriterien aufgestellt und die Risikobetrachtungen betreffend Klöppelfabrikation konsequent weiterverfolgt, kommt für den verantwortungsvollen und siche- ren Betrieb einer heutigen Glockenanlage eigentlich nur noch der durch die ECC-ProBell®-Aktivitäten etab- lierte Klöppeltyp mit dem folgenden Fabrikationsprozess zur Anwendung:

**geschmiedeter Klöppel mit bearbeiteter Oberfläche (überdreht/überfräst)**

Abbildung 4: Klöppelsatz Rüetschi-ProBell®-Klöppel für das Kloster Wettingen, präzise Formgenauigkeit und hoher Qualitätsstandard der Oberfläche, gemäß Maschinenbaunormen

Warum dieser Klöppeltyp alle notwendigen Bedingungen erfüllt:

- freie Formwahl möglich, die so am optimalsten auf das vorliegende, jeweilige System Glocke-Joch ausgelegt werden kann
- garantiert die Maßhaltigkeit für die mit Simulationssoftware auf Reduktion der Anschlagsintensität dimensionierten Klöppel, deren Massenverteilung exakt an das Glocke-Joch-System passt
- die homogene Oberfläche besitzt keine Bearbeitungsstellen des Fallhammers, welche Risikozonen lokaler Überspannungen darstellen
- die bearbeitete Schmiedeoberfläche kann durch Materialprüfungsverfahren vollumfänglich geprüft werden
- der geschmiedete und überarbeitete Fabrikationsschritt bietet einen systematischen und nachvollziehbaren Prozess

Die Bearbeitungstoleranzen dieses Fabrikationsprozesses entsprechen dem Maschinenbau. Materialreserven, größere Toleranzen und Ungenauigkeiten durch den handwerklichen Prozess im reinen Freiformschmiedeverfahren fallen weg. Diese führen zu unnötiger Zusatzmasse, erhöhen damit den Verschleiß der Glocken und verschlechtern das Klangbild. Dies alles kann bei einem geschmiedeten-überarbeiteten Klöppel eingehalten werden.

Die Ästhetik des Klöppels:

Seit den ersten Restaurierungsprojekten an Schweizer Geläuten (ab 2009) unter Einbezug der ProBell-Methodik haben sich Verantwortliche der Denkmalpflege der Frage stellen müssen, können geschmiedete-



überdrehte Klöppel in historische Anlagen eingebaut werden. Bis heute hat keine Denkmalpflege einen Einwand vorgebracht. Die Risikoreduktion und der Schutz des historisch wertvollen, künstlerisch gestalteten, klangästhetisch bedeutenden und aus Halbedelmetall gegossenen Kulturguts Glocken und die verbesserte Klangqualität waren Argumente genug, um der überdrehten Klöppeloberfläche den Weg zu öffnen. Beim Projekt Restaurierung des Geläutes im Münster Mittelzell, der Insel Reichenau, bei welchem der Schutz des bedeutenden Kulturguts ebenfalls sehr hohe Priorität zukam, wurde in Süddeutschland ein Satz Rüetschi-ProBell-Klöppel eingebaut. Es entstanden so auch für Süddeutschland wiederum neue Impulse, zur Akzeptanz dieser Fabrikationsmethode beizutragen und die Vorteile der überdrehten Klöppel zu manifestieren.

Ein letzter Punkt sei angefügt: In längeren Diskussionen zwischen Denkmalpflegern, Architekten, Glockensachverständigen und Glockenfirmer in der Schweiz wurde man sich einig, dass der sinnvollste ästhetische Ausdruck des Metalls des überdrehten Klöppels so zu gewinnen ist, dass während einiger Jahre eine feine, natürliche Oberflächenkorrosion stattfinden darf. Nach etwa drei Jahren werden die Klöppel mit einem Passivierungsöl abgerieben, was zu einer dunkelbraunen sehr natürlichen Patina führt, die sich dauerhaft stabilisiert.

1.5. Optimale Klangqualität und Schallpegelreduktion

Gehen wir davon aus, dass in Städten und Dörfern die Verdichtung weiter zunimmt und die gesellschaftliche Veränderung gegenüber den Kirchen fortschreitet, dann sind wir aufgerufen, in jeder Restaurierungsmöglichkeit das Möglichste zu unternehmen, neben der optimalen Klangqualität auch die Möglichkeit der Reduktion der Schallpegel mit hoher Priorität zu berücksichtigen. Dies ist sicherlich in der Schweiz noch von Prägnanz, da in den letzten 80 Jahren sehr viele moderne Kirchtürme mit offener Architektur und sichtbaren Glocken erbaut wurden.

Hier hilft das schöne Zusammenspiel der Technik, dass ein Klöppel mit idealer Anschlagsintensität ebenfalls einen sehr guten Einfluss auf den Glockenklang mitbringt. Dasselbe gilt bei neuen Systembetrachtungen bei Glockensystemen, die sich in ihrer Lautstärke verändern lassen. Stimmt die Anschlagintensität und ist sichergestellt, dass der Verschleiß minimiert wird, funktioniert auch die Reduktion der Schallpegel.

Glücklicherweise ist es ein schöner Grundsatz der Technik, dass gutes Engineering, gutes Design meist auch bauliche Vorteile hat. Klöppel, die zu nachhaltig besserem Glockenklang führen, verringern auch die Abnutzung und den Verschleiß an den Glocken. Basierend auf diesem Grundsatz lässt sich auch der Schallpegel der Glocken variieren und reduzieren.

Bei der Fallklöppeltechnik in Verbindung mit Schallpegelreduktionen ist speziell auf den Nachweis der sicheren Läutefunktion zu achten. Dies bedeutet nichts anderes, als beim Klöppeldesign darauf zu achten, dass die Einhaltung des ProBell-Kriteriums geliefert wird. Der Läutevorgang im Fallklöppelläuten funktioniert auch bei ungeeignetem Einsatz der Massenverteilung des Klöppels, kennt dann allerdings Zustände, in dem das System sehr hohe Belastungen auf die Glocke hervorbringt.



Für alle Klöppeltypen gilt:

Weicht man in der Formgebung und Massenverteilung von bekannten, standardisierten Formen, für die es im Normalfall ein durchschnittliches Erfahrungswissen über die letzten 100 Jahre gibt, ab, muss ein Nachweis der Einhaltung der ProBell-Kriterien geleistet werden. Von „bloßem Auge und Zuhören alleine“ ist es mit Sicherheit nicht möglich, einen Nachweis für $J_{exp} = \text{akzeptabel}$ oder $J_{exp} = \text{gefährlich}$ zu liefern. Ohne Messung sind falsche Einschätzungen durchaus möglich (vgl. Rupp/Plitzner, 2017,5).

2. Schönenwerd SO, Katholische Kirche

2.1. Sanierung der Glockenanlage Schönenwerd

Die Kirche in Schönenwerd ist ein moderner Kirchenbau, erstellt am Ende der 1930er Jahre, bestehend aus Kirchenhalle und zwei Doppeltürmen. Die Konstruktion der Glockenstube ist offen gestaltet mit sichtbaren Glockenstühlen und sechs Glocken. Das Geläut ist dabei mit jeweils drei Glocken auf die beiden Türme verteilt. In Anlehnung der damaligen Architektursprache wurden die Glocken und die Glockenstühle über riesige Fensteröffnungen in alle Richtungen dargestellt. Gemäß den Plänen des damals von Rüetschi geplanten Geläutes basierte der Glockenstuhl auf Stahlglockenstühlen. Die Konstruktion wurde durch die Rationierung des Stahls schlussendlich in Eichenholz ausgeführt. Die offene Exposition der Anlage führte bereits nach 60 Jahren zu größeren Schäden an den Holzglockenstühlen und den Jochkonstruktionen. Dies führte immer wieder zu Teilausfällen, die kostspielige Revisionen zur Folge hatten.

Im Dialog mit dem Bauherrn wurde schnell klar, dass das architektonische Prinzip der offenen Türme beizubehalten ist. So wurde auch klar, dass man dem ursprünglichen Konzept der Stahlglockenstühle bei Neubauprojekt folgen wollte. Das früher dröhnend laute und metallisch schrille Glockengeläute sollte aber mit den heutigen Methoden qualitativ verbessert werden.

Das Sanierungskonzept basierte auf:

- 1) Schutz des Gebäudes durch Reduktion der mechanischen Auswirkungen des Glockengeläutes (DIN 4178)
- 2) Deutliche Klangverbesserung in Zusammenhang mit nachweislicher Reduktion der Materialbeanspruchung der Glocken (Einhaltung der ProBell-Kriterien)
- 3) Realisierung von Schallpegelreduktion und Schaffung von weiterem künftigen Reduktionspotential der Schallemissionen, ohne Einhausung



Abbildung 5: Blick auf die Stahlglockenstühle nach der Sanierung

2.2. Schutz des Gebäudes

Zum Projektstart überprüfte ein Bauingenieur die Turmstatik. Auf die sanierten und angepassten Betonsockel wurden die beiden neu konstruierten Stahlglockenstühle aufgebaut. Die Konstruktion des Fachwerks hielt sich möglichst genau an die frühere Gestaltung und ursprüngliche Architektur. Um die Erschütterungen so minimal wie möglich zu halten, wurden die Glockenstühle mit einem Schwingungsisolationssystem ausgerüstet. Hier bei folgt Rüetschi einem intern entwickelten und bewährten Berechnungsverfahren. Hierbei sind die Fabrikationstoleranzen des eingesetzten Kautschuks genau bekannt, dies bedeutet, dass das Dämpfungsverhältnis in Funktion von Frequenz bekannt ist. Auch die Wirkung der Dämpfungselemente ist bekannt und seit über 50 Jahren immer wieder nachgewiesen, zum Beispiel in einer Längsschnittuntersuchung zur Qualitätssicherung der Materialwahl nach 25 Jahren Betrieb (vgl. Cantieni, 2002). Der Berechnungsprozess wird seit bald 20 Jahren immer wieder überprüft und optimiert. Dabei ist sichergestellt, dass die Wirkung des Rüetschi-Schwingungsisolationssystems weit über die Forderungen der DIN 4178 hinausgeht. (vgl. Ziegler, 2015, 18)

2.3. Deutliche Klangverbesserung bei Reduktion der Belastung der Glocken

Die geforderten Ziele zur Einhaltung der Kennzahlen der Anschlagsintensität und die notwendige Qualitätsverbesserung beim Klang waren klar. Bedingung ist, die Einhaltung des ProBell-Kriteriums zu gewährleisten. Rüetschi dimensionierte so auf der validierten Simulationsplattform die neuen Joche und die Formen der Klöppel. Die Anwendungen sind über eine große Anzahl Nachmessungen validiert worden (vgl. Piltzner/Rupp, 2016, 412). Dies führt zur gewünschten Klangverbesserung und zur entsprechenden Belas-



tungsreduktion der Kulturgüter Glocken. Die klanglichen Verbesserungen kommen durch die Steigerung der Prägnanz der Obertöne der Glocke und durch die Reduktion des Geräusches im Zeitpunkt des Anschlags. Klanglich überzeugen die neuen Klöppeltypen.

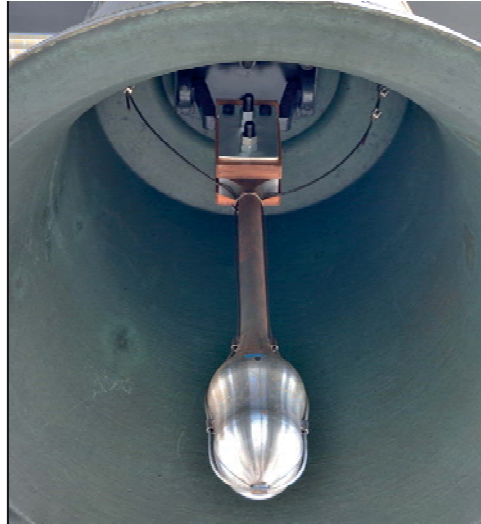


Abbildung 6: Rüetschi-ProBell®-Klöppel bei mittlerer Abkröpfung

2.4. Realisierung von Schallpegelreduktion

Im Hinblick auf den Glockenklang wurde hier ein spezielles Novum angewendet: Ein dual verwendbares Joch, nutzbar für Flug- und Fallklöppel. Hierfür wurde eine leichte Kröpfung für den Drehpunkt der Glocke geplant. Der Klöppel erhält seine Funktion durch seine Konstruktion, der durch die Berechnung definierten Schwerpunktlage und Massenverteilung. Die vorgeschmiedeten und abschließend überdrehten Klöppel liefern im Endergebnis eine sehr genaue Umsetzung. Ein freiformgeschmiedeter Klöppel benötigte höhere Materialzuschläge für die Fertigung und böte Risiken in Bezug auf die Produktesicherheit, weshalb dieses Verfahren ausscheidet. Das Freiformschmiedeverfahren schränkt auch zu sehr ein, wenn neue Methoden zur Reduktion der Anschlagintensität neue Klöppelformen bedingen.



Abbildung 7: Glockenjoche für dualen Einsatz für Flug- und Fallklöppel

Das klangliche Resultat des sanierten Geläutes wurde in einem unabhängigen Prozess beurteilt. Unter Einbeziehung eines neuen Verfahrens, vergleichbar mit einer Wärmebildkamera, konnte hier erstmals die Ausbreitung der Schallpegel vom Turm und ihre klangliche Qualität dokumentiert und visualisiert werden. (vgl. Dür et al. 2017,165)

Tabelle 1: Beispiel Ostturm – Glocke 2

Situation vorher	Situation nachher
Pegel auf dem Dach, zwischen den Glockentürmen	Pegel auf dem Dach, zwischen den Glockentürmen
L eq: 101.0 dBA	L eq: 96.3 dBA
L max: 105.5 dBA	L max: 99.8 dBA
L emin: 94.7 dBA	L emin: 89.0 dBA

Schlusskommentar aus dem Messbericht:

„Fazit: Die Sanierung ist *aus akustischer Sicht ein voller Erfolg*. Durch die Sanierung hat sich der Klang des Glockenspiels verbessert, und die Pegel konnten *gleichzeitig um 3-5 dBA* reduziert werden.“ (Ammann, 2017,7)

Veränderung der spektralen Zusammensetzung des Glockenklangs

Interessant ist aber auch der Vergleich der spektralen Zusammensetzung des Glockenklangs traditioneller Klöppeltechnik, wie sie bei Rüetschi bis 2005 eingesetzt wurde und den neu eingesetzten Rüetschi-ProBell-Klöppeln. Die Auswertung des Frequenzinhalts der Signale „vor Sanierung“ und „nach Sanierung“ wurde mit einem FFT-Analysator untersucht.



Auf diese Weise wird eindrücklich sichtbar gemacht, wie hoch der Pegel des nachteiligen Grundrauschens ist, das durch das Verhalten der alten Klöppel beim Klöppelanschlag verursacht wird. Die Absenkung dieses Pegels reduziert unnötige Geräuschwirkung im Glockenklang und ist Teil der nachhaltigen Verbesserung der Klangqualität.

3. Abtwil SG, ref. Kirche

3.1. Sanierung der Glockenanlage von Abtwil

Die reformierte Kirche Abtwil stammt aus den 1950er Jahren des letzten Jahrhunderts. Das Gebäude wurde in eher modernem Stil mit einem niedrigen Glockenturm erbaut. Die Kirche, wie auch das angrenzende Kirchgemeinde- und Pfarrhaus sind von Wohnhäusern umgeben. Das Geläut stammt aus deutscher Fabrikation und wurde 1957 in Betrieb genommen, es umfasst fünf Glocken zwischen 1,2 bis 0,2t, welche in einen Eichenglockenstuhl eingebaut sind und an leichten Stahlprofilen hängen. Die Aufgabenstellung in Abtwil fokussierte die Schallpegelreduktion mit Erhöhung der Klangqualität unter definierter Abnahme der Belastungen auf Glocken und Turm, sowie die Wiedererlangung der Betriebssicherheit. Während am Kirchturm keinerlei Schäden durch das Läuten festgestellt werden konnten, war in der Kirche der präsente Körperschall beim Klöppelanschlag überaus störend.

Begünstigt durch den niedrigen Turm lag die gemessene Schallintensität des Glockengeläutes beim Kirchenportal über 100 dBA. Der hohe Schallpegel resultierte einerseits aus der Wirkung der alten Klöppel, aber auch der Art der Glockenstube. Zusätzlich verstärkten die Reflexionen am Nachbargebäude die heftigen Anschlaggeräusche negativ. Die Ausgangssituation konnte nicht anders beschrieben werden als *dröhnend und scheppernd*. Eine einfache Unterhaltung auf dem Kirchplatz war während eines Vollgeläutes unmöglich. Dies erschwerte den Dialog zwischen Kirchgemeinde und Anwohner betreffend der Akzeptanz des Glockengeläutes.

Das Sanierungskonzept basierte auf:

- 1) Deutliche Klangverbesserung in Zusammenhang mit nachweislicher Reduktion der Materialbeanspruchung der Glocken (Einhaltung der ProBell-Kriterien)
- 2) Realisierung einer maximalen Schallpegelreduktion ohne den Einsatz einer Einhausung
- 3) Sanierung der Anlage und Ersatz von Komponenten mit Vorschädigung. Reduktion der Körperschallübertragung und Reduktion der mechanischen Auswirkungen des Glockengeläutes mittels Schwingungsisolierung.

3.2. Schallpegelreduktion mittels Fallklöppeltechnik

Zur Reduktion der Lautstärke wurde der Verschluss von Schallöffnungen im Turm diskutiert, aber wieder verworfen. Diese würde den Schallpegel zwar senken, das Klangbild selbst aber nicht verbessern. Aus diesem Grund wurde vorgeschlagen, das Ziel Schallpegelsenkung mit Verbesserung der Klangqualität durch Umbau des Geläutes auf Fallklöppel zu bewerkstelligen und dabei die bereits in den Jahren davor entwi-



ckelten Rüetschi-ProBell-Fallklöppel einzusetzen. Die Versuchsanordnung, die Rüetschi im Schalllabor des ECC-ProBell® aufbauen konnte, hat dabei gezeigt, dass Fallklöppel-Systeme in der Läutefunktion größere und konstantere Arbeitsbereiche aufweisen als Flugklöppel. Berechnungen und Messungen korrelierten, so dass aufgezeigt werden konnte, dass Fall- und Flugklöppel nach denselben Kriterien ausgelegt werden können. Die Funktion des Fallklöppel-Läutens weist ebenso Schwingzonen auf, in denen bei gutem Klang eine geringe Anschlagsintensität gemessen wird, wie auch gefährliche Zonen, die als Hot Spots zu sehr starker Materialbeanspruchung führen. Für die neuen Glockenjoche kam eine leichte Kröpfung der Jochachse zum Einsatz, dazu wurden über die Simulationssoftware die neuen Klöppel konstruiert. Für die Fallklöppel mit Aufgabe zur Schallpegelreduktion gilt, dass an den unteren Rand des ProBell-Kriteriums gegangen werden muss.

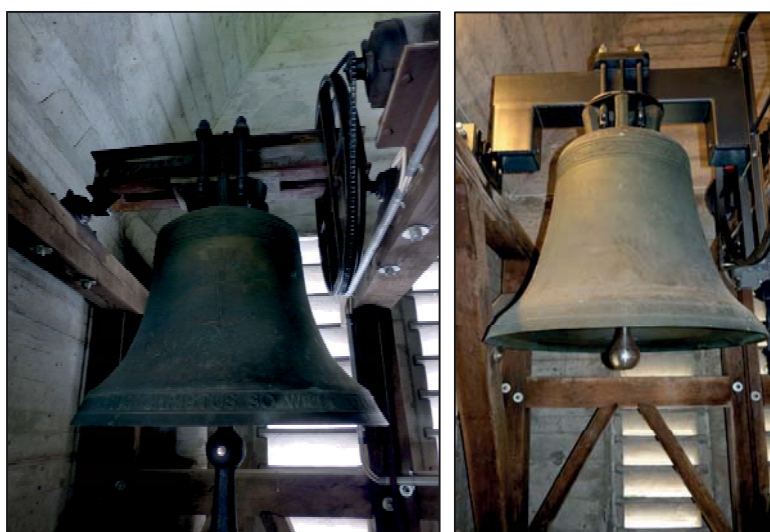


Abbildung 8: Glocke vor Sanierung (links), Glocke nach Sanierung (rechts)



Abbildung 9: Neue Glockenjoche mit mittlerer Abkröpfung und Fallklöppeltechnik



Die neuen Klöppel verfügen dabei aber über genügend Wirkmasse, um in einer definierten Kontaktzeit letztlich den besten Klang zu erzielen. Die hier angewandte Lösung lässt im Hinblick auf die Einregelung bei der Intonation nur noch sehr eingeschränkt Raum. Unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg war, dass die Grundlagen zur Theorie und die Simulationswerkzeuge vorab in einem Teilprojekt im ECC-ProBell erarbeitet und überprüft werden konnten.

Um eine nachhaltige und zuverlässige Funktion zu gewährleisten, bedarf es selbstverständlich einer präzisen Glockenregelung. Eine auf präzisen Winkelmessern, industriellen Standards aufgebaute Regulierung gibt dem Fachmann die notwendigen Mittel zur Feinjustierung.

Die *Schlussprüfung* der Ergebnisse zeigt, dass *die Ziele vollumfänglich erreicht* wurden (Thesen, 2017, 2):

- **Reduktion der Schallintensität** mit durchschnittlich **8 dBA**
- Verbesserung der Klangqualität erreicht
- Instandstellung der Anlage durchgeführt

Erfreuliches Ergebnis der Sanierung: eine Unterhaltung vor der Kirche kann auch bei Glockengeläut wieder stattfinden. Ebenso konnte bei den Anwohnern eine neue Akzeptanz in Bezug auf Glockengeläut geschaffen werden.

4. Schlussbemerkung

Für unsere Firma mit ihrer langen Kundenbeziehung ist es sehr eindrücklich festzustellen, wie bewusst die Kirchengänger und Anwohner auf die Resultate unserer Sanierungsprojekte der letzten sechs Jahre reagiert haben.

Wir nehmen die positiven Reaktionen von Glockensachverständigen, Glockenfreunden, Kirchengemeinden aber auch der betroffenen Anwohner als motivierenden Maßstab für die Entwicklungen der Zukunft. Wir sind überzeugt, dass positive Informationen über Glocken, positive Erfahrungsberichte in den Medien und Foren sowie die von Glockengießern und Glockenfirmen zusammen mit ProBell umgesetzten Maßnahmen ein wichtiger, wenn nicht der einzige Weg zu einer langfristigen Erhaltung der Geläutetradition in der heutigen kritisch werdenden Gesellschaft sind. Viele positive Rückmeldungen bestärken uns, die eingeschlagene Richtung weiterzugehen.

Literatur

[Hrsg.], B. S. (09 2015). Bayrisches Staatsministerium für Wirtschaft und Medien, Energie und Technologie. Von Publikationen:

https://www.stmwi.bayern.de/fileadmin/user_upload/stmwi/Publikationen/2016/2016-01-28-

TB_Merkblatt_Sicherheit_von_Maschinen_2015.pdf abgerufen

Ammann, C. (2017). Glockenspiel römisch-katholische Kirche in Schönenwerd Schallmessungen. Aarau.

Cantieni, R. (2002). Schwingungsmessungen am Geläute Zürich, St. Peter und Paul. Dübendorf.



- Dür, M., Plitzner, M., Rupp, A., Walter, M., Mittl, S., Schifferle, H.-P., & Spielmann, R. (2017). Glocken für die Ewigkeit – 650 Jahre Glockenguss und Kirchturmtechnik aus Aarau. Aarau: AT Verlag, Aarau.
- Fajdiga, M., & Klemenc, J. (2008). Local simulation of the clapper-to-bell impact (unveröffentlichter technischer Report RTD13-09). Ljubljana: University of Ljubljana.
- Plitzner, M. (2014). Kurzzusammenfassung Geläute Mittelzell, Reichenau, Beanspruchungsanalyse des Geläutes. Kempten: Europäisches Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell.
- Plitzner, M. (2015). Der musikalische Fingerabdruck von Glocken als Mittel zur Schadensfrüherkennung. Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Plitzner, M., & Rupp, A. (Oktober 2016). Ermüdungsrisse in Glocken I. Gießerei Praxis, S. 412.
- Rupp, A., & Plitzner, M. (2017). Abschlussbericht Geläutesanierung an der Kathedrale Fribourg (unveröffentlichter Bericht). Kempten: Europäisches Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell.
- Thesen, C. (2017). Abtwil ref. Kirche – Messpunkte Schalldruck nach Umrüstung auf Fallklöppel. Aarau.
- Walter, M., Stens, J., Schifferle, H.-P., Mevs, C.-M., & Schritt, S. (2015). Gilde der Carilloneure und Campanologen der Schweiz. Von www.campanae.ch: <http://www.campanae.ch/news/66/115/Muehleberg-BE-ref-Kirche/d,feuilleton> abgerufen
- Ziegler, A. (2015). Schwingungsmessung im Glockenturm der reformierten Kirche Hinwil nach Sanierung. Zürich.



Foto © Marie H.
Webding & Design: www.atelierhofmann.de

EW

Hammerwerk
Schrotthandel
Metallverarbeitung

BDSV
Mitglied

► Zertifiziert
gemäß § 52
KrW-/AbfG

Der Ton macht die Musik.

Glockenklöppel aus dem Rottaler Hammerwerk
beim 2. Glockensymposium ECC-ProBell ©

Wir präsentieren moderne und klassische Glockenklöppel aus
eigener Fertigung. Für Fragen stehen wir gerne zur Verfügung.

Eduard Wensauer
GmbH & Co. KG
Rottaler Hammerwerk

Kreuzstraße 14
D-84371 Anzenkirchen

T: +49 (0)8562.96060
F: +49 (0)8562.96066

E-Mail: info@rottaler-hammerwerk.de

www.rottaler-hammerwerk.de

Wir schmieden Stahl seit 1863







Eine zweite Chance für Stahlgeläute – Möglichkeiten zur Klangverbesserung durch Optimierung der Läutebedingungen

Sören Draack

Georg Rauscher Turmuhrenfabrik GmbH

Zusammenfassung

Gussstahlgeläute stehen im Ruf, mindere Klangqualität zu haben. Das führt immer wieder dazu, dass diese Geläute bei anstehenden Sanierungsmaßnahmen entsorgt und durch Bronze geläute ersetzt werden. Das ist aus diversen Gründen unbefriedigend.

Der Tonaufbau der Gussstahlglocken ist vorgegeben, jedoch kann mit Hilfe einer geeigneten Joch- und Klöppelkonstruktion erreicht werden, dass nicht nur die als unangenehm empfundenen hohen Teiltöne angeregt werden. Folgende Maßnahmen stehen dafür zur Verfügung: [1]

- Verringerung der Klöppelanfluggeschwindigkeit für eine längere Verweildauer des Klöppels an der Glocke.
- Verbesserung der Massenverteilung am Klöppel.
- Verkleinerung der Anschlagfläche des Klöppels.
- Verwendung einer verbesserten Klöppelaufhängung.
- Abstimmung der Läutemaschinenregelung auf das Zusammenspiel von Glocken- und Klöppel pendel.
- Verwendung von Holzjochen.

Exemplarisch wurde ein Forschungsprojekt zur Klangoptimierung solcher Glocken in der katholischen Kirche Ellingen durchgeführt. Die erzielte Klangverbesserung ist sowohl messbar als auch für Laien subjektiv wahrnehmbar.

1. Ausgangslage

Im Jahr 2007 wurde am Gussstahlgeläut der katholischen Kirche Ellingen eine schwingungstechnische Untersuchung durch die IG Bauen durchgeführt. [2] Dabei wurde festgestellt, dass die drei großen der insgesamt vier Glocken weniger als 10% Abstand zur 3. Teilschwingung des Turmes in Glockenschwingrichtung hatten. Aus diesem Grund waren Veränderungen am Geläute erforderlich. Nach einer längeren Phase der Entscheidungsfindung wurde die Anschaffung eines neuen Bronze geläutes verworfen. Stattdessen sollten Veränderungen am System Joch, Klöppel und Läutemaschinenteknik zu einem ausreichenden Resonanzabstand des vorhandenen Geläutes zur Turmeigenfrequenz führen. Da Befürchtungen bestanden, dass sich die Klangqualität durch den Eingriff weiter verschlechtert, entschied sich der zuständige Glockensachverständige Herr Winkelbauer ProBell einzuschalten. Nach Vorgesprächen mit Herrn Dr. Plitzner war schnell klar, dass eine fundier-



te Lösung nur zustande kommt, wenn Mittel für Forschungszwecke zur Verfügung stehen. Diese Mittel wurden von Fa. Rauscher zusammen mit einer Förderung durch den Freistaat Bayern aufgebracht.

2. Voruntersuchungen

Ziel der Untersuchung war, das Potential von Gussstahlglocken zu ermitteln und dieses so weit wie möglich auszuschöpfen. Erschwerend kam in dieser Anlage hinzu, dass vor allem die Glocke 1 durch ein mächtiges Obergewicht so weit verlangsamt werden musste, dass sie aus der Resonanz mit dem Turm kam. Dennoch sollte möglichst ein normaler Flugklöppel zum Einsatz kommen.

Für die geplanten Änderungen und für eine ausreichende Dokumentation wurde zunächst der IST-Zustand festgehalten:

- Tonaufnahmen des Geläutes vor der Sanierung
- Eine Beanspruchungsmessung der Glocke 1
- Eine Massenmittelpunktsbestimmung des IST-Systems Glocke mit altem Joch

3. Berechnungen

Die Beanspruchungsmessung an der Glocke 1 diente zur Bestätigung von Messwerten, die 2013 an einem anderen Gussstahlgeläute ermittelt wurden. Es bestätigte sich, dass die Beanspruchung der Stahlglocken durch die originalen Klöppel des Bochumer Vereins deutlich über der liegt, die üblicherweise für Bronzeglocken toleriert wird. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Dauerfestigkeit der Gussstahlglocken mindestens doppelt so hoch wie bei Bronzeglocken liegt. [4] Damit dürften Gussstahlglocken ähnlich lang halten wie Bronzeglocken, Sanierungen solcher Geläute sind somit zumindest aus technischer Sicht sinnvoll.

3.1. Ausgangslage zur Klöppelberechnung

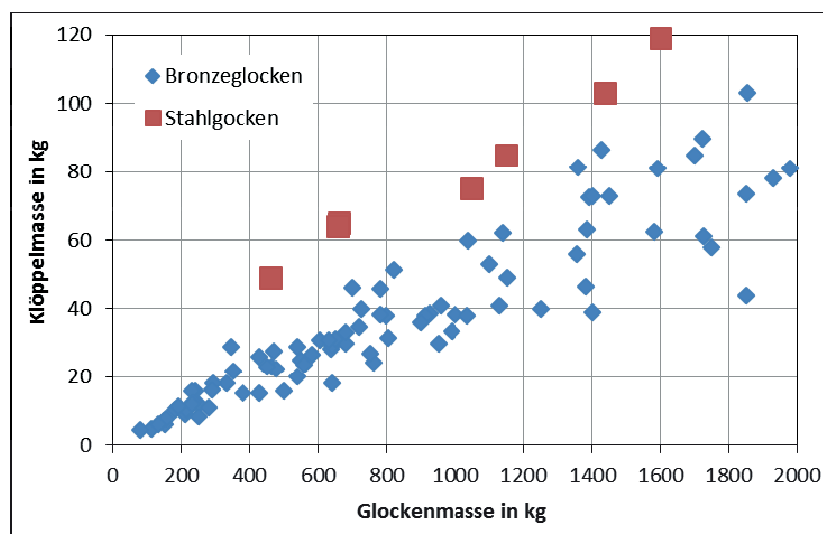


Abbildung 1: Verhältnis zwischen den Massen der Glocke und des Klöppels [1]



Die Originalklöppel des Bochumer Vereins waren bei den bisher untersuchten Stahlglocken alle deutlich schwerer als bei Bronzeglocken gleichen Gewichts. Sie liegen in etwa bei einer Masse von 7% - 8% des Glockengewichts. (Abb. 1) [4] Diese Masse gepaart mit einem relativ leichten Joch und einem niedrigen Glockenschwerpunkt führt zu einer hohen Anfluggeschwindigkeit und somit zu einer ca. 30% geringeren Verweildauer des Klöppels an der Gusstahlglocke als an einer vergleichbaren Bronzeglocke. [1]

3.2. Voraussetzungen für eine Klöppeldimensionierung

Da alle Glocken neue Holzjoche erhalten sollten (die Glocken aber noch am alten System weiter läuteten), war zunächst folgendes Vorgehen zur Ermittlung des Massenmittelpunkts des jeweiligen vorhandenen Systems Glocke – altes Joch erforderlich:

- 1) Auspendeln der Glocke (und dadurch Bestimmung der reduzierten Pendellänge des Systems)
- 2) Aufmaß des alten Jochs
- 3) Nachbau des alten Jochs am PC.
- 4) Nachbau der Glocke (soweit messbar) am PC.
- 5) Zusammenfügen beider Elemente. Danach wird am Glockenkorpus so lange feinjustiert, bis die errechenbare reduzierte Pendellänge mit der gemessenen reduzierten Pendellänge übereinstimmt.
- 6) „Demontage“ des alten Jochs von der Glocke (am PC).

An dieser Stelle hat man ein Glockenmodell erhalten, was die physikalischen Eigenschaften der tatsächlich vorhandenen Glocke sehr gut abbildet. An diese Glocke wird das neue Holzjoch modelliert und man kann die reduzierte Pendellänge des (bisher noch nicht gebauten) neuen Systems Glocke – Holzjoch errechnen. Das ist die Grundvoraussetzung für die Dimensionierung eines funktionierenden¹ Klöppels.

3.3. Klöppeldimensionierung

Zunächst wurden 3 Klöppelvorschläge für die Glocke 4 erarbeitet. (Abb. 2) Der vordere Entwurf orientiert sich dabei noch an gewohnten Klöppelformen, der hinterste wurde ausschließlich auf eine möglichst lange Verweildauer des Klöppels an der Glocke ausgelegt und stellt die klangoptimierte Form dar. [1] Alle 3 Klöppel funktionieren in dem Sinne, dass sie in der Glocke anschlagen werden.

¹ Damit ist ein Klöppel gemeint, der beim Läuten in der Glocke anschlägt. Unsicher war im Fall der Stahlglocken jedoch, ob der Klöppel auch hinsichtlich der gewünschten Klangverbesserungen funktioniert.

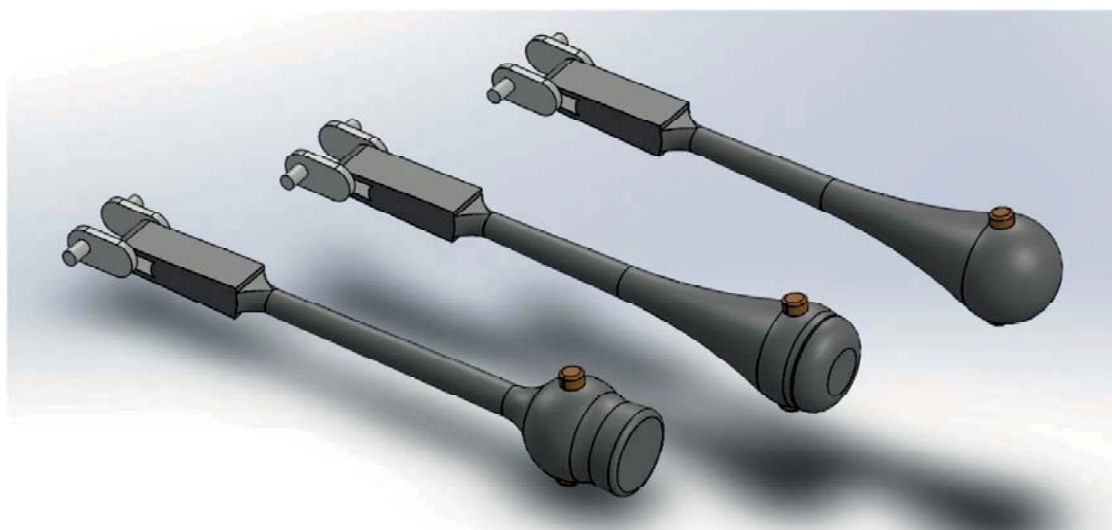


Abbildung 2: Klöppelentwürfe [1]

In Absprache mit dem zuständigen Glockensachverständigen der Diözese Eichstätt Herrn Winkelbauer, wurde die klangoptimierte Variante (hinterster Klöppel) ausgeführt. Der Rotgusspuffer ist leicht geneigt eingesetzt und passt dadurch von Anfang an sehr genau zur Aufschlagfläche. Die Klöppelachse ist kugelgelagert und wurde so nah wie möglich an den Glockenboden gebracht. Zusätzlich musste jedoch ein System eingebaut werden, das die Verschiebbarkeit des Klöppels in alle Richtungen gewährleistete, um den Klöppel exakt mittig in der Glocke einzurichten. (Abb. 3)



Abbildung 3: Mittelschraube mit Kugellager

Erste Läuteversuche zeigten, dass der neue Klöppel nicht nur technisch, sondern auch klanglich sehr gut funktionierte. Es kam zu einer Reduktion der Anschlagintensität des Klöppels. Im Vergleich zu den Originalklöppeln wurden deutlich hör- und messbar auch die tiefen Teiltöne angeregt, wodurch sich ein ausge-



wogeneres Klangbild ergibt. Der Klang der Glocke hört sich auch für ungeschulte Ohren – wie Befragungen in der Bevölkerung des Ortes zeigten – deutlich weicher an. Insgesamt hat die Glocke ihre Obertönigkeit verloren. Gleichzeitig verlor die Glocke jedoch etwas zu viel an Lautstärke. [1] Daher wurde die Klöppeldimensionierung für die Glocken 2 und 3 verändert. (Abb. 4)



Abbildung 4: Klöppel der Glocken 2 und 3 [1]

Diese Klöppelform verbindet alle Vorteile des Klöppels der Glocke 4 mit einer gegenüber den Originalklöppeln des Bochumer Vereins reduzierten, aber bei weitem ausreichenden Lautstärke der Glocken.

4. Heutiges Bild der Anlage

Das optische Gesamtbild der Anlage mit Jochen, die sich an historischen Formen des Bochumer Vereins orientieren, kann sich mit sanierten Bronzegeläuten messen. (Abb. 5) Wichtiger ist jedoch das Klangbild des Ensembles. Die Resonanz aus der Bevölkerung war diesbezüglich nach Abschluss der Sanierung durchweg positiv. Das Geläut hat seine Schrällheit verloren und vermittelt nun durch die erzielte Anregung der tiefen Teiltöne ein für das menschliche Ohr angenehmeres Klangverhalten.



Abbildung 5: Glocke 3 vor (links) und nach der Sanierung (rechts)

Dennoch wurde das Geläut klanglich natürlich nicht in ein Bronzegeläut „verwandelt“. Das liegt vor allem an zwei nicht veränderbaren Faktoren:

- Die höhere Materialdämpfung von Stahlguss gegenüber Bronze bewirkt eine geringere Nachhallzeit der Glocke [4]
- Der Intervallaufbau weicht in Ellingen, wie bei den meisten Gusstahlglocken, in mehrfacher Hinsicht von der typischen Molloktav-Glockenform aus Bronze ab. [4] (Abb. 6)

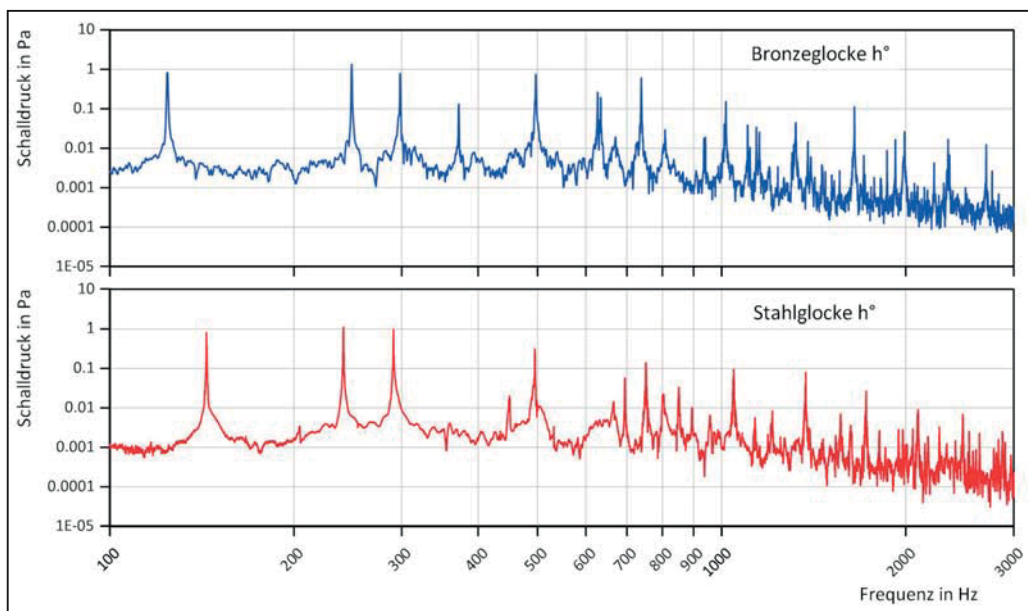


Abbildung 6: Tonaufbau vergleichbarer Glocken aus Bronze und Gusstahl [1]



5. Die zweite Chance?

Die Ergebnisse aus Ellingen legen nahe, dass nicht jedes Stahlgeläute seine zweite Chance erhalten muss. Es gibt gute Gründe, diese Geläute durch neue Bronzeglocken zu ersetzen. Dennoch hat sich gezeigt, dass in vielen Gusstahlglocken ein nicht gewecktes Potential schlummert. Zudem sollte vor einem Austausch der Glocken folgendes in Erwägung gezogen werden:

- a) Diese Glocken sind ein Stück Industriegeschichte Deutschlands, die Zug um Zug vernichtet wird.
- b) Diese Geläute stammen in der Regel aus dem 20. Jahrhundert. Zum Teil leben noch die Spender bzw. deren Kinder, die in meist sehr viel schlechteren Zeiten zur Anschaffung neuer Glocken beigetragen haben.
- c) Neuguss bedeutet Ressourcenverbrauch.
- d) Eine Sanierung kann zu niedrigeren Kosten durchgeführt werden als der Austausch der Glocken.

Literatur

- [1] Rupp, A.; Plitzner, M.: Optimierung des Läuteverhaltens von Gusstahl-Glocken zur Klangverbesserung und Schonung der Glocken [Unveröffentlichter Bericht]
- [2] IG Bauen; C. Krubasik: Gutachten zur Schwingungsmessung am Glockenturm der Katholischen Kirche St. Georg in Ellingen [Unveröffentlichter Bericht]
- [3] Rupp, A.; Plitzner, M.: Beanspruchungen und Klangverhalten von Stahlgussglocken im Vergleich zu Bronzeglocken, Esslingen 24.10.2013
- [4] Blumer, R.-D.; Fahrbach-Dreher, U.; Kinder, J.; Masen, L.; Plitzner, M.; Rupp, A.: Die Stahlgussglocken der evangelischen Auferstehungskirche in Karlsruhe Rüppurr – Ersatz für Bronzeglocken? In: Nachrichtenblatt der Landesdenkmalpflege in Baden-Württemberg. 41/2014, S. 248-252.





Der musikalische Fingerabdruck von Glocken

Michael Plitzner, Andreas Rupp

Hochschule Kempten, ECC-ProBell®

Zusammenfassung

Der „musikalische Fingerabdruck von Glocken“ bezeichnet ein Verfahren, mit dem auf Basis von Klanganalysen Ermüdungsrisse in Glocken in einem solch frühen Stadium ermittelt werden können, bevor diese zu hörbaren Klangveränderungen führen. Grundlage dieses Verfahrens ist die Eigenschaft rotationssymmetrischer Körper, wonach sich deren Eigenformen doppelt über den Umfang verdreht ausbilden. Während bei idealer Rotationssymmetrie die jeweils paarweise vorhandenen Eigenformen identische Eigenfrequenzen besitzen, spalten sich diese bei Abweichungen von der Rotationssymmetrie in zwei benachbarte Eigenfrequenzen auf. Solche Abweichungen werden durch Fehlstellen hervorgerufen, die bedingt durch die Herstellung, die Oberflächengestaltung oder aufgrund von Ermüdungsrisse im Klangkörper von Glocken vorhanden sind. Abhängig von der Lage, Ausprägung und Art vorhandener Fehlstellen können charakteristische Veränderungen im Schwingverhalten von Glocken festgestellt werden, die eine Identifikation der verursachenden Fehlstelle möglich macht. Darüber hinaus können Fehlstellen durch die Lageveränderung der gespaltenen Eigenformen lokalisiert werden. [1]

1. Methoden der Risserkennung an Glocken

Glocken sind beim Läuten hohen Belastungen ausgesetzt, die nicht selten zu Ermüdungsrisse führen. Im Allgemeinen treten Ermüdungsrisse am Schlagring im Bereich der Anschlagstellen des Klöppels auf, wo die höchsten Beanspruchungen wirken. In Verbindung mit örtlichen Schwachstellen können diese jedoch auch in der Flanke beobachtet werden. Derartige Risse führen, sofern sie eine gewisse Ausdehnung übersteigen, zu klanglichen Einbußen. Da der Klang der Glocke sich bei allmählich entwickelnden Schäden nur langsam ändert und verschlechtert, werden Ermüdungsrisse häufig erst dann festgestellt, wenn sie schon so weit fortgeschritten sind, dass nur noch ein Neuguss oder eine Reparatur durch Schweißen bleibt, um die Glocke wieder herzustellen.

Zur zuverlässigen Erkennung und Ermittlung der Ausdehnung von Rissen kommen derzeit in der praktischen Anwendung überwiegend die Farbeindringprüfung (Abb. 1) und vereinzelt die Röntgenprüfung zum Einsatz. Beide Verfahren eignen sich jedoch nur, wenn Risse bereits sichtbar sind und lokalisiert werden können. Für eine präventive Untersuchung sind beide Verfahren zu aufwendig.

Andere Verfahren wie Ultraschallprüfung oder Wirbelstromverfahren eignen sich nicht oder nur bedingt, da die Materialeigenschaften der Glockenbronze verhältnismäßig stark variieren bzw. aufgrund der groben Kornstruktur und vorhandener Gasporosität sehr inhomogen sind.



Abbildung 1: Farbeindringprüfung an einer gesprungenen Glocke

Für schwingfähige Bauteile bietet sich das akustische Resonanzverfahren an, das ausgehend vom Schwingverhalten auf die Material- und Formqualität des untersuchten Bauteils schließt. [2] Grundlage dieses Verfahrens ist jedoch der Vergleich des Schwingverhaltens mit dem eines Referenzteils. Für Unikate wie Glocken ist dieses Verfahren nur bedingt einsetzbar, da keine Referenzteile zur Verfügung stehen. Außerdem ist der Klang einer Glocke immer von Imperfektionen geprägt, die aus der Fertigung oder von der Glockenzier her stammen.

Eine zuverlässige und frühzeitige Risserkennung anhand von Schwingungsanalysen ist daher nur möglich, wenn Risse typische Veränderungen im Schwingverhalten von Glocken hervorrufen, die sich von anderen Variationen im Schwingverhalten eindeutig unterscheiden lassen.

2. Das Schwingverhalten von Glocken

2.1. Eigenformen der Glocke

Das Schwingverhalten von Glocken wird im Wesentlichen über den hörbaren Klang analysiert und beurteilt. Daher sind zur Beschreibung des Schwingverhaltens nur die Eigenformen zu berücksichtigen, deren Eigenfrequenzen sich im hörbaren Bereich befinden. Für eine hinreichende klangliche Beschreibung von Glocken lässt sich die Anzahl der zu berücksichtigenden Teiltöne wie folgt eingrenzen:

- Die Prinzipaltöne Unterton, Prime, Terz, Quinte und Oktave sind Voraussetzung, um den Klang einer Glocke zu identifizieren und sind daher bei der Bewertung des Schwingverhaltens der Glocke obligat. [3]
- Der Schlagton wird aus der Obertonreihe, bestehend aus dem Prinzipalton Oktave und zusätzlich aus Duodezime und Doppeloktave, gebildet. Da der Schlagton zur Beschreibung der Tonhöhe der



Glocke entscheidende Bedeutung hat, werden diese Teiltöne bei der Analyse des Schwingverhaltens ebenfalls berücksichtigt.

- Die Dezimen 1-5 reichern den Glockenklang zusätzlich an und spiegeln vor allem die Schwingeigenschaften der Glockenflanke wider. Ihre Schwingintensität ist vergleichsweise schwach ausgeprägt, so dass häufig auf die Bewertung der Dezimen verzichtet wird.
- Die Bewertung weiterer Teiltöne höherer Ordnung ist nicht notwendig, da die Eigenformen der aufgeführten Teiltöne alle für den Glockenklang relevanten Bereiche der schwingenden Glockenstruktur berücksichtigen.

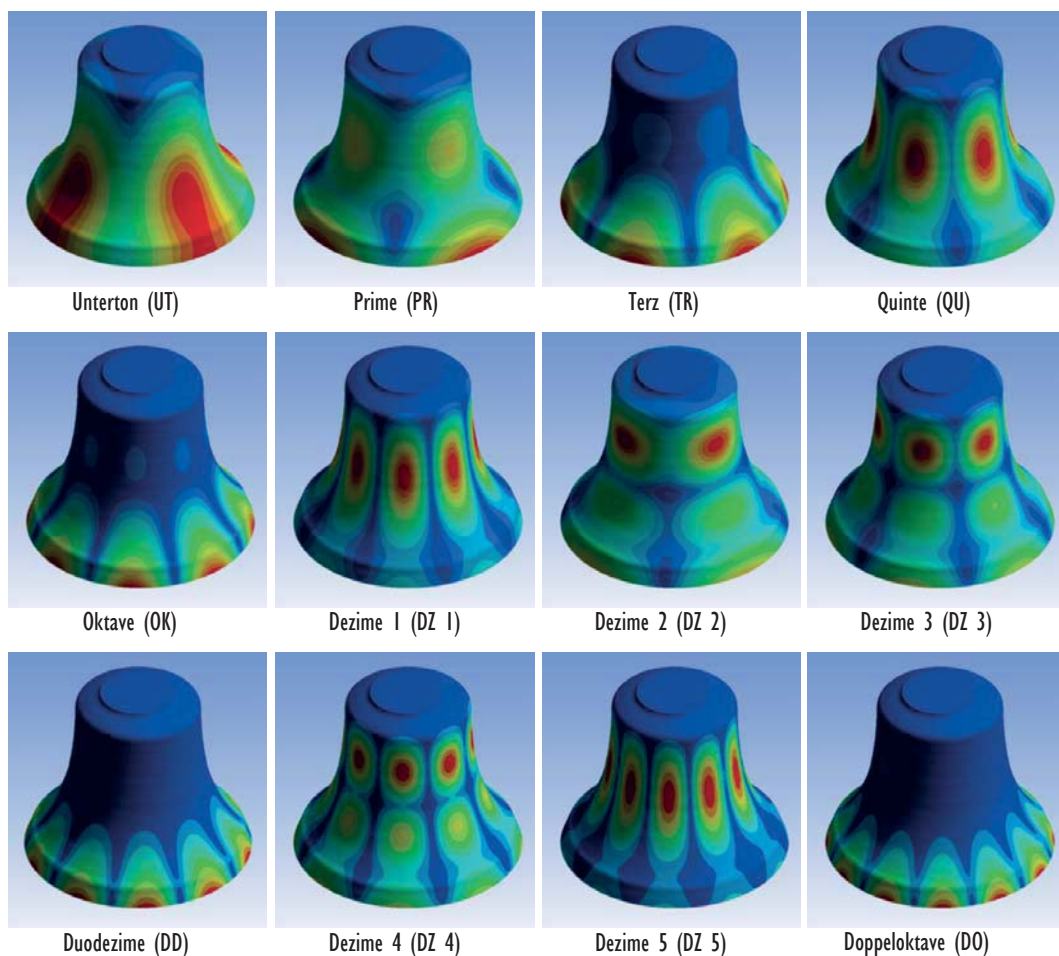


Abbildung 2: Relevante Eigenformen der Glocke

Die genannten Teiltöne sind in mit ihren Eigenformen in Abb. 2 dargestellt. Die Eigenformen der Glocke werden eingeteilt nach der Anzahl der Knotenlinien, die sich vertikal auf der Glocke ausbilden (Knotenmeridiane), und der Anzahl und Lage der Knotenlinien, die sich in Umfangsrichtung auf der Glocke orientieren (Knotenkreise).



2.2. Modensplitting

Eine Besonderheit im Schwingverhalten von Glocken ist das paarweise Auftreten der Eigenformen der Teiltöne. Jeder Teilton ergibt sich aus der Überlagerung zweier identischer Eigenformen, die, über den Umfang betrachtet, gegeneinander verdreht auftreten. Die paarweise zusammengehörenden Eigenformen besitzen jeweils ihre eigene Eigenfrequenz, so dass jeder Teilton durch eine Überlagerung zweier Töne gebildet wird.

Diese Eigenschaft ist bei allen rotationssymmetrischen Strukturen festzustellen. Gemäß der Theorie freier Schwingungen liefern bei solchen Strukturen alle Schwingungsmuster mit radialen Knotenlinien stets doppelte Eigenwerte und daher grundsätzlich zwei Schwingungsformen zu jeder Eigenform. Bei vollkommener Symmetrie der Struktur besitzen beide Schwingungsformen die gleiche Eigenfrequenz. [4]

Alle in Abb. 2 dargestellten Eigenformen der Glocke besitzen radiale Knotenlinien (die Knotenmeridiane) und treten daher jeweils paarweise auf. Aufgrund der Herstellung und der Gestaltung der Oberfläche treten üblicherweise bei allen Glocken Abweichungen von der idealen Rotationssymmetrie auf, so dass mit geeigneten Mess- und Auswerteverfahren Frequenzaufspaltungen bei allen Teiltönen der Glocke feststellbar sind.

Die vorhandenen Abweichungen von der Rotationssymmetrie bedingen eine definierte Lage der Knotenmeridiane. Die Partialschwingformen orientieren sich derart am Ort der größten Abweichung, dass eine der beiden Partialschwingformen dort ihren Schwingungsbauch besitzt, während die andere dort ihren Knotenmeridian aufweist. Für den Verdrehwinkel $\alpha_{\text{splitting},i}$ zwischen beiden Partialschwingformen einer Eigenform i gilt:

$$\alpha_{\text{splitting},i} = \frac{360^\circ}{2m} \quad (\text{mit } m = \text{Anzahl der Knotenmeridiane der Eigenform } i)$$

In Abb. 3 ist die Verdrehung der Partialschwingformen in der Draufsicht exemplarisch an Eigenformen zweier Teiltöne dargestellt. Für den Unterton mit 4 Knotenmeridianen ergibt sich ein Verdrehwinkel $\alpha_{\text{splitting,UT}} = 45^\circ$, für die Terz mit 6 Knotenmeridianen $\alpha_{\text{splitting,TR}} = 30^\circ$.

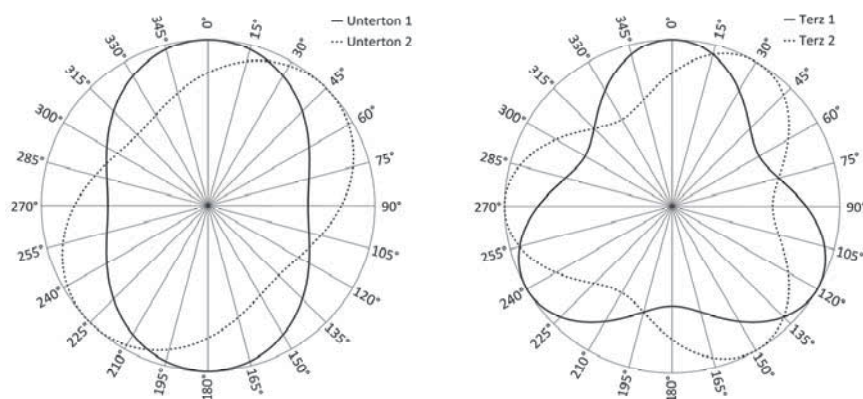


Abbildung 3: Moden-Splitting ausgewählter Eigenformen



Aufgrund der definierten Lage der Knotenmeridiane wird je nach Position der Anregung ein unterschiedliches Schwingverhalten der Glocke hervorgerufen. Bei Anregung an der Position des durch die Asymmetrie der Glocke festgelegten Schwingungsbauchs einer der Partialschwingformen kommt nur diese zum Schwingen, da hier die andere Partialschwingform ihren Schwingungsknoten besitzt. Im Idealfall ist dann nur eine Eigenfrequenz feststellbar. Bei Anregung zwischen den Knotenmeridianen beider Partialschwingformen schwingen beide ein, so dass auch beide Eigenfrequenzen ermittelt werden können. Akustisch äußert sich das als Schwebung: bei geringen Abweichungen der beiden Partialeigenfrequenzen voneinander sind langwellige Schwebungen feststellbar (Abb. 4 „Terz“), mit zunehmender Abweichung werden die Schwebungen kurzweiliger (Abb. 4 „Prime“).

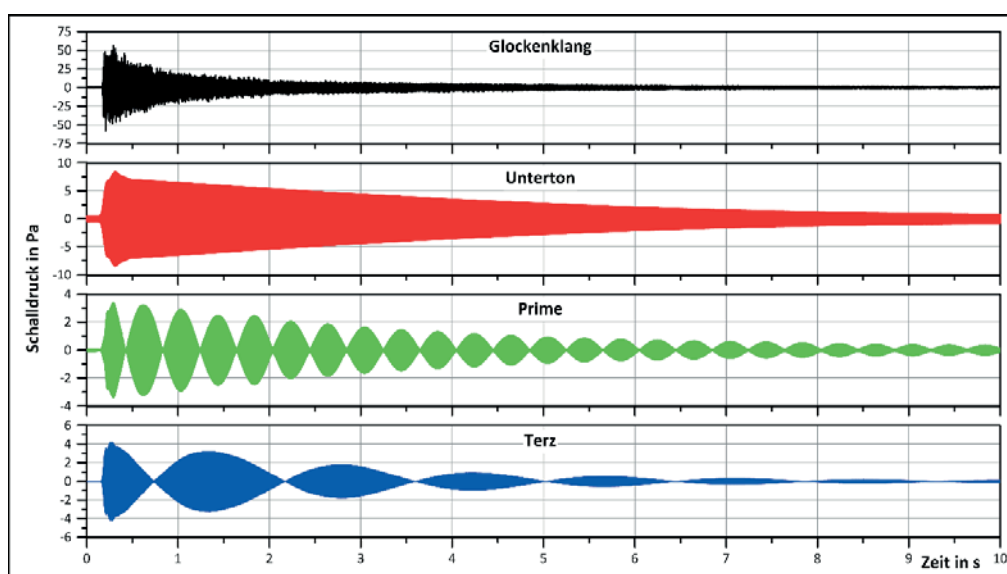


Abbildung 4: Ausschwingen der Glocke und ausgewählter Teiltöne (bandpassgefiltert)

3. Der musikalische Fingerabdruck

3.1. Darstellung

Der Glockenklang resultiert aus dem Zusammenspiel der Eigenformen der Glocke und dem aus der Rotationssymmetrie resultierenden Modensplitting. Aufgrund der individuellen Glockenzier und der fertigungsabhängigen Ungängen in der Glockenstruktur besitzt jede Glocke einen einmaligen Klang, der sich durch die Frequenzen der Teiltöne sowie die Frequenzspaltungen der einzelnen Teiltöne beschreiben lässt. Diese Eigenschaften werden als musikalischer Fingerabdruck einer Glocke bezeichnet. Durch das Läuten werden Veränderungen in der Struktur der Glocke hervorgerufen, die sich durch Schäden wie Verschleiß oder Ermüdungsrisse äußern. Diese Veränderungen bewirken Abweichungen vom ursprünglichen Schwingverhalten und damit eine Änderung des musikalischen Fingerabdrucks der Glocke.

Sowohl Glockenzier und fertigungsabhängige Ungängen als auch Schäden wie Verschleiß und Ermüdung stellen Fehlstellen dar, die Abweichungen von der Rotationssymmetrie hervorrufen. Diese Abweichungen



betreffen jedoch nur jene Teiltöne der Glocke, deren Schwingformen im Bereich der vorhandenen Fehlstellen keine Schwingungsknoten aufweisen. Frequenzspaltungen können daher auch nur an diesen Teiltönen festgestellt werden. An den übrigen Teiltönen sollten keine oder nur geringfügige Spaltungen ermittelt werden können.

Um den Einfluss der Lage und Ausprägung der unterschiedlichen Fehlstellen auf das Schwingverhalten, insbesondere das Modensplitting, plausibel beurteilen zu können, werden in einem dafür entwickelten Diagramm die Frequenzspaltungen der relevanten Teiltöne einer Glocke dargestellt. (Abb. 5)

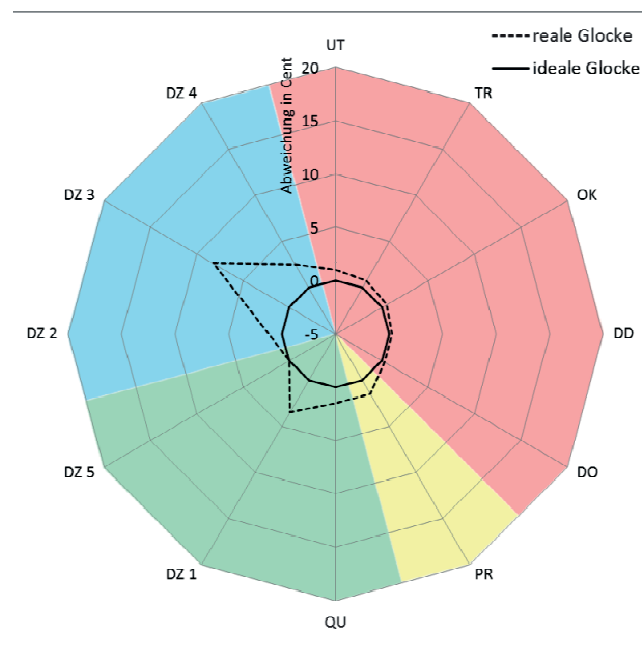


Abbildung 5: Darstellung der Frequenzabweichungen einer neu gegossenen Glocke

Die Teiltöne der Glocke sind nach Kategorien angeordnet, die farblich unterlegt dargestellt werden. Die rote Kategorie umfasst die Teiltöne Unterton (UT), Terz (TR), Oktave (OK), Duodezime (DD) und Doppeloktave (DO), deren Schwingungsbauch sich am Schlagring befindet und die entweder keinen Knotenkreis oder einen Knotenkreis in der oberen Flanke aufweisen. Die gelbe Kategorie repräsentiert die Prime (PR), die als einzige Schwingungsform einen Knotenkreis besitzt, der sich in der unteren Flanke befindet. Die grüne Kategorie umfasst die Teiltöne Quinte (QU) sowie Dezime 1 und 5 (DZ 1, DZ 5), deren Knotenkreis sich im Bereich des Schlagrings befindet; zur blauen Kategorie zählen die Dezimen 2 - 4 (DZ 2, DZ 3, DZ 4), die zwei Knotenkreise aufweisen, je einer im Bereich des Schlagrings und im Bereich der mittleren Flanke. Innerhalb jeder Kategorie sind die Teiltöne so angeordnet, dass die Anzahl der Knotenmeridiane der betreffenden Eigenformen in Umfangsrichtung zunimmt.

Für jeden dieser Teiltöne ist auf einer Speiche des Netzdiagramms in axialer Richtung die Differenz zwischen den beiden Partialeigenfrequenzen f_1 und f_2 dargestellt. Die Abweichung a zwischen beiden Frequenzen wird dabei ermittelt durch:



$$a [\text{Cent}] = \frac{1200}{\log 2} \cdot \log \left(\frac{f_1}{f_2} \right)$$

Zur besseren Orientierung wird die ideale Glocke ohne Frequenzspaltungen als schwarze Linie dargestellt. Die in Abb. 5 abgebildeten Frequenzspaltungen der realen Glocke stammen von Klangaufnahmen einer neuen Glocke ohne äußere Schäden. Die signifikanten Tonspaltungen bei Dezime 1 und Dezime 3 resultieren überwiegend aus fertigungsabhängigen Ungängen wie Lunker, Materialporosität etc., da die untersuchte Glocke nur geringfügige Zier aufwies.

3.2. Einfluss von Fehlstellen auf Frequenzspaltungen

Als im Jahr 2002 die Glocken der neubauten Dresdner Frauenkirche gegossen worden waren, wurden an ihnen Tonverschiebungen und Frequenzspaltungen solchen Ausmaßes festgestellt, dass fast alle Glocken erneut gegossen werden mussten. Ursache dieser Klangveränderungen waren aufwendige Verzierungen im Bereich der jeweiligen Glockenflanke, was zu starken Abweichungen von der Rotationssymmetrie geführt hatte. [5]

Die Auswirkungen solch schwerer Glockenzier im Bereich der Glockenflanke auf das Modensplitting sind in Abb. 6a dargestellt. Alle Teiltöne, deren Schwingformen ihre Maxima im Bereich der Flanke besitzen (die Teiltöne der gelben und grünen Kategorie), weisen signifikante Frequenzspaltungen auf, wohingegen alle übrigen Teiltöne nicht oder nur geringfügig gespalten sind. Abhängig von der Lage und der Ausdehnung der Glockenzier können auch die Teiltöne der blauen Kategorie und der Unterton signifikante Frequenzspaltungen besitzen.

An historischen Glocken kann häufig starker Verschleiß im Bereich der Anschlagstellen des Klöppels am Schlagring festgestellt werden. Durch den Materialabtrag nimmt die Steifigkeit des Schlagrings lokal ab, so dass die Rotationssymmetrie der Glocke gestört ist. Davon wird im Wesentlichen nur das Schwingverhalten der Prime (gelbe Kategorie) beeinflusst, bei der mit zunehmendem Verschleiß auch die Frequenzspaltungen anwachsen, während an den übrigen Teiltönen keine bzw. nur geringfügige Veränderungen festzustellen sind. (Abb. 6b)

Während Verschleiß sich überwiegend in horizontaler Richtung ausbreitet, entstehen und wachsen Ermüdungsrisse in Glocken in vertikaler Richtung, da die Hauptspannungsrichtung der Glocke in Umfangsrichtung verläuft. Am häufigsten werden Ermüdungsrisse im Bereich der Anschlagstellen des Klöppels am Schlagring beobachtet. Mit zunehmender Rissausbreitung können daher Frequenzspaltungen überwiegend bei den Teiltönen der roten Kategorie festgestellt werden, deren Eigenformen im Bereich des Schlagrings ihre Maxima besitzen. Anhand einer Versuchsglocke, in die analog zum typischen Rissverlauf ein Schnitt am Schlagring eingebracht wurde, konnte erkennbar gemacht werden, dass die Frequenzspaltungen weitgehend kongruent zur ansteigenden Risstiefe zunehmen. (Abb. 6c)

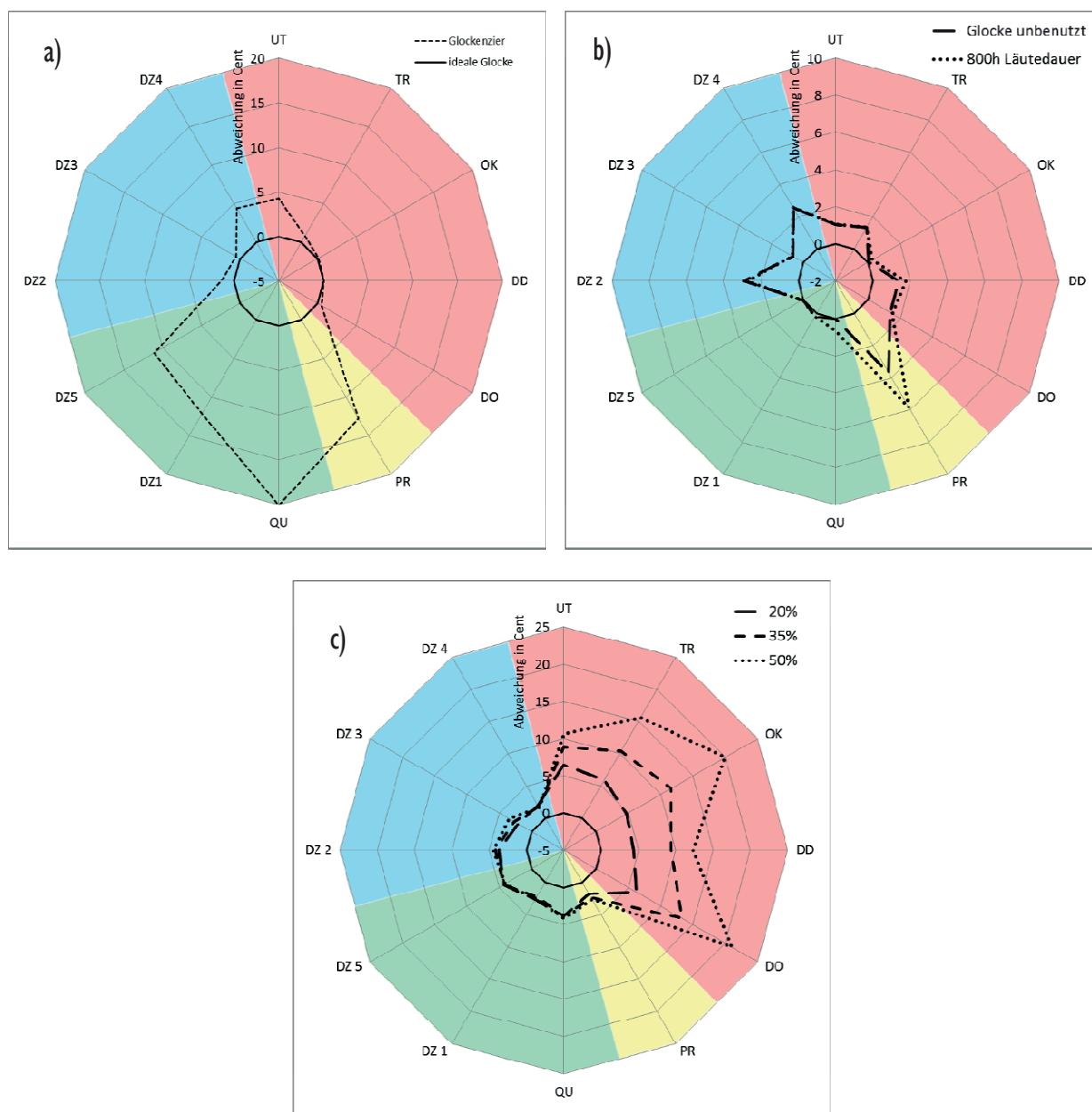


Abbildung 6: Frequenzspaltungen an Glocken mit Fehlstellen: a) schwere Glockenzier im Bereich der Glockenflanke; b) Zunahme der Frequenzspaltung aufgrund zunehmenden Verschleißes am Schlagring; c) Vertikaler Schnitt im Bereich des Schlagrings in Abhängigkeit der Schnitttiefe bezüglich der Schlagringstärke

Ausgehend von den betrachteten Fehlstellen ist ein direkter Zusammenhang zwischen der Art der Fehlstelle in Bezug auf Lage und Ausdehnung und der Veränderungen im Schwingverhalten dargestellt durch die resultierenden Frequenzspaltungen feststellbar. Die Identifikation von Ermüdungsrissen auf Basis von Frequenzspaltungen wird dabei zusätzlich durch die überwiegend streng vertikale Ausrichtung der Risse begünstigt. Alle Eigenformen, die im Rissbereich ein Maximum besitzen, unabhängig von der Anzahl ihrer Knotenmeridiane, weisen ähnlich hohe Frequenzspaltungen auf. Bei Fehlstellen mit tendenziell horizontaler Ausprägung nehmen jedoch die Frequenzspaltungen bei den betroffenen Eigenformen mit zunehmender Anzahl der Knotenmeridiane ab.



3.3. Lokalisierung von Fehlstellen

Das Modensplitting bei rotationssymmetrischen Körpern bewirkt, dass alle Eigenformen mit radialen Knotenlinien doppelt auftreten. Abweichungen von der Rotationssymmetrie bewirken, dass einerseits die Eigenfrequenzen der paarweise zueinander gehörenden Eigenformen nicht mehr identisch sind und andererseits diese Eigenformen eine ortsfeste Ausrichtung bedingt durch die Fehlstellen der Struktur erhalten.

Mithilfe von Klangmessungen an Glocken kann die ortsfeste Ausrichtung der Knotenmeridiane der paarweise zusammengehörenden Partialeigenformen sichtbar gemacht werden. Dazu werden Glocken über den gesamten Umfang in regelmäßigen Abständen (alle 10° bis 15°) durch Anschlagen zum Klingen angeregt und der Klang mit einem ortsfest positionierten Mikrofon aufgezeichnet. Die Anregung der Glocken erfolgt am Schlagring mit einem Klöppel oder einem anderen geeigneten Gegenstand, der ausreichend dimensioniert ist, um alle relevanten Teiltöne ausreichend in Schwingung zu versetzen. (Abb. 7)



Abbildung 7: Klangmessungen über den Umfang der Glocke (Jubiläumsglocke, München)

Zur Auswertung des Schwingverhaltens werden von allen Einzelanschlägen Amplitudenspektren erstellt und die Frequenzen der relevanten Teiltöne identifiziert. Zur besseren Darstellung des lokalen Schwingverhaltens der Glocke werden die Amplitudenspektren aller Anschläge über dem Umfang in einem 3D-Diagramm dargestellt. (Abb. 8) Der Schalldruck erscheint mit logarithmischem Maßstab in farblicher Darstellung und wird über ausgewählte Frequenzbereiche der relevanten Teiltöne (auf der Abszisse) in Umfangsrichtung (auf der Ordinate) abgebildet. Die Farbskala des Amplitudenspektrums reicht von den maximalen Amplituden in roter Farbe über gelb und grün bis hin zum intensitätsmäßig schwachen Rauschen in türkis-blauer Farbe. Auf die Darstellung der Farbskala wurde verzichtet, da die Absolutbeträge der Amplituden für die Auswertung der Eigenfrequenzen unerheblich sind.

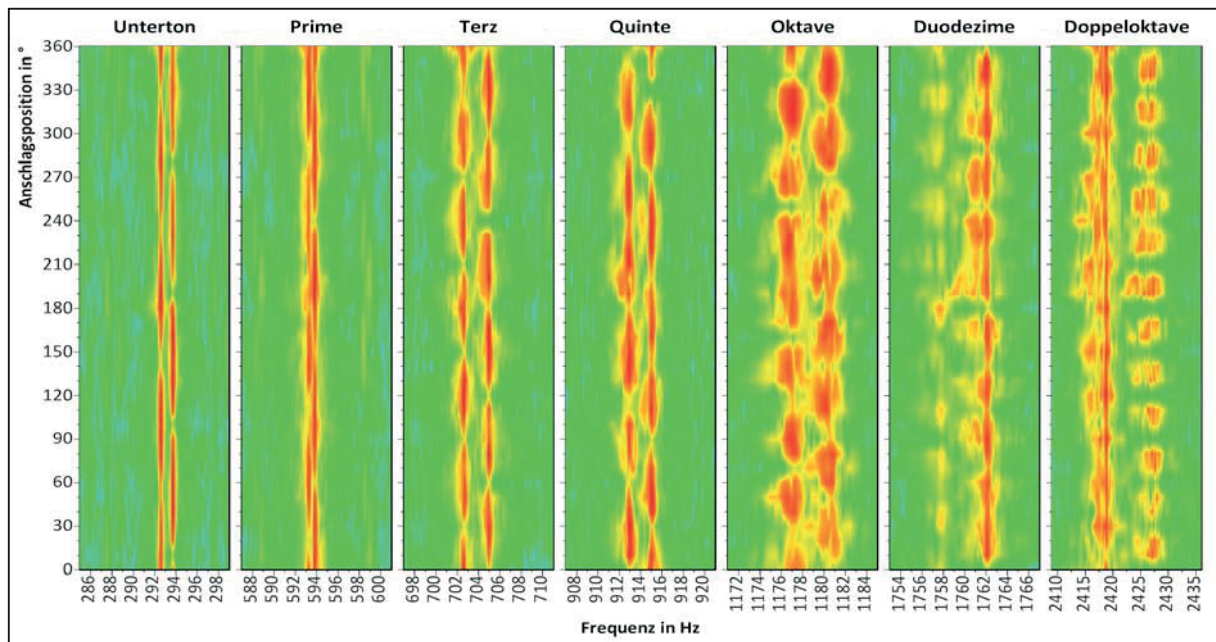


Abbildung 8: Umfangsdiagramm der Amplitudenspektren ausgewählter Teiltöne einer Testglocke mit vertikalem Schnitt am Schlagring (Schnittposition bei 0°)

Bei allen in Abb. 8 dargestellten Teiltönen kann Modensplitting mit zwei voneinander abweichenden Eigenfrequenzen festgestellt werden, die je nach Position der Klanganregung stärker oder schwächer zum Schwingen angeregt werden. Der Wechsel von starker und schwacher Schwingintensität erfolgt in Abhängigkeit von der Anzahl der Knotenmeridiane der einzelnen Eigenform (vgl. Abb. 2) und wechselseitig zwischen den paarweise zueinander gehörenden Partialeigenformen. Im vorliegenden Beispiel befindet sich in der untersuchten Glocke bei Position 0° ein vertikaler Schnitt im Schlagring der Glocke. Eine solche Fehlstelle verursacht eine lokale Veränderung der Struktursteifigkeit, die zu einer partiellen Absenkung der betroffenen Teiltöne (Unterton, Terz, Oktave, Duodezime, Doppeloktave) führt. Diese Teiltöne schwingen daher bei den Positionen von ca. 0°, 180° und 360° nur mit der tieferen Partialeigenform, während die jeweils höhere Partialeigenform hier ihren Knotenmeridian besitzt. Die übrigen Teiltöne (Prime und Quinte) werden durch die hier untersuchte Fehlstelle nicht beeinflusst, so dass sich die Knotenmeridiane an anderen Fehlstellen ausrichten.

Die ortsfeste Ausrichtung der Knotenmeridiane aufgrund von Fehlstellen ermöglicht eine Lokalisierung der verursachenden Fehlstelle. Durch das An- und Abswellen der einzelnen Partialschwingungen kann darüber hinaus die Anzahl der Knotenmeridiane ermittelt werden, so dass eine zuverlässige Identifikation der jeweiligen Eigenform möglich ist. Durch Anregung der Glocke in gleichmäßigen Abständen in vertikaler Richtung können analog auch die Anzahl und Position der Knotenkreise jeder Eigenform ermittelt werden.

3.4. Verfahren zur Schadensdiagnose

Der musikalische Fingerabdruck von Glocken, der das einmalige Schwingverhalten dieser Instrumente beschreibt, umfasst die Erfassung der beiden Partialeigenfrequenzen der Eigenformen der relevanten Teiltöne,



die Ermittlung der Frequenzaufspaltungen sowie die Ermittlung der Lage der Knotenmeridiane und gegebenenfalls der Knotenkreise. Mithilfe dieser Parameter können Glocken eindeutig identifiziert und hinsichtlich ihres Schwingverhaltens ausreichend bewertet werden.

Aufgrund von Fehlstellen bedingt durch die Fertigung und die Verzierung von Glocken ist eine eindeutige Bewertung des Schwingverhaltens in Bezug auf Ermüdungsrisse in einem sehr frühen Stadium nur bedingt möglich. Bei anhaltend hoher Läutebelastungen wird jedoch eine weitere Ausbreitung eines vorhandenen Ermüdungsrisses erfolgen, was zu einer fortwährenden Änderung des Schwingverhaltens führt. Durch wiederholte Messungen können daher gefährdete Glocken mit geringem Aufwand überwacht werden, um eine weitere Ausbreitung vorhandener Ermüdungsrisse zu vermeiden.

Nach erfolgter Identifizierung eines Ermüdungsrisses, der an der Oberfläche noch nicht sichtbar ist, dient die Anregung der Glocke über den gesamten Umfang dazu, den Ermüdungsriss zu lokalisieren. Danach kann die Glocke durch ein optimiertes Läutesystem und ein gezieltes Drehen um 20° bis 40° so geschont werden, dass ein weiteres Risswachstum gestoppt bzw. stark verlangsamt wird und somit ein Weiterbetrieb der Glocke möglich ist.

4. Anwendung in der Praxis

Mit dem Verfahren des musikalischen Fingerabdrucks kann mit geringem Aufwand der Zustand einer Glocke untersucht werden. Für die Klangaufnahmen ist ein Aufnahmegerät zu verwenden, das den Frequenzbereich (ca. 80Hz - 8000Hz) der Glocken in üblicher Größe abdeckt. Ein kalibriertes Messmikrofon ist für die Aufnahmen nicht erforderlich. Systematische Untersuchungen mit Smartphones unterschiedlicher Hersteller haben ergeben, dass die Mikrofonqualität der Geräte ausreicht, um auswertbare Klangaufnahmen zu erstellen.

Im Allgemeinen wird in der Praxis bei der Erstellung des musikalischen Fingerabdrucks auf die Bewertung der Dezimen 1-5 verzichtet, da eine eindeutige Zuordnung der gemessenen Frequenz zur jeweiligen Eigenform nur mit einer aufwendigen Ermittlung der Position der Knotenkreise und der Anzahl der Knotenmeridiane möglich ist. Zudem werden durch die übrigen sieben Teiltöne alle relevanten Bereiche des Klangkörpers berücksichtigt. Das Diagramm des musikalischen Fingerabdrucks reduziert sich somit auf sieben Teiltöne mit drei Kategorien. (Abb. 9)

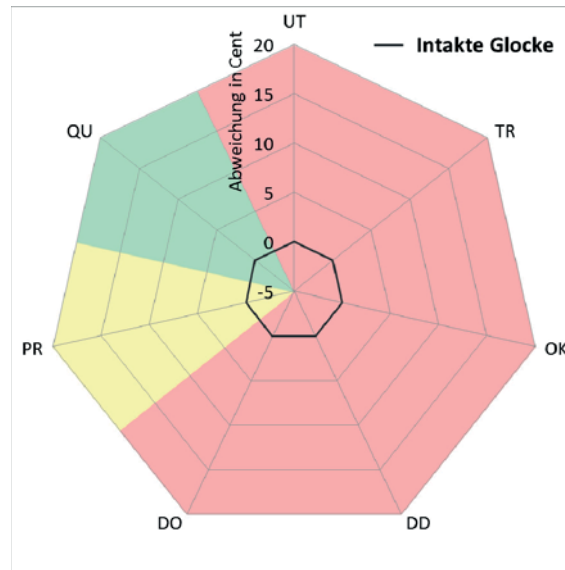


Abbildung 9: Darstellung des musikalischen Fingerabdrucks mit 7 Teiltönen

4.1. Glocke mit Riss in der Flanke

Die Glocke 1 (fis' mit 680kg) der evangelischen Kirche in Panitzsch wurde im Jahre 1459 gegossen. Sie weist wertvolle Ornamente in Form von Ritzzeichnungen auf. Die Glocke wurde 2006 umfangreich durch Schweißarbeiten saniert. Am Schlagring wurde weitläufig Material aufgetragen, eine neue Klöppelöse eingeschweißt und weitere Schweißarbeiten an der Haube durchgeführt. Im Bereich des Schlagrings wurde überdies ein größerer Schaden durch Schweißen repariert, da die Schweißstelle auch von außen sichtbar ist. Das Ausmaß des ursprünglichen Schadens ist nicht näher bekannt.

In der Glocke befinden sich sichtbare Risse, die sich an der Außenseite im unteren Flankenbereich oberhalb der derzeitigen Anschlagstelle befinden. (Abb. 10) Die sichtbaren Risse befinden sich in einer X-Form mit einer maximalen Ausdehnung von etwa 200mm. An der Innenseite der Glocke konnten keine Risse festgestellt werden.



Abbildung 10: Position der Risse (links), Risse im Detail (rechts)

Die Ursache für die Rissbildung ist nicht zweifelsfrei zu beurteilen, jedoch kann davon ausgegangen werden, dass die sichtbaren Schäden nicht unmittelbar aufgrund der Läutebeanspruchungen durch den Klöppel zustande gekommen sind. Es wird vermutet, dass die Schäden auf eine sehr hohe Beanspruchung oder Vorschädigung, die möglicherweise auch nur einmalig stattgefunden hat, zurückgehen. Denkbar wäre ein starker Stoß eines Gegenstandes auf den unteren Flankenbereich der Glocke, etwa im Bereich der Kreuzung der beiden Risse.

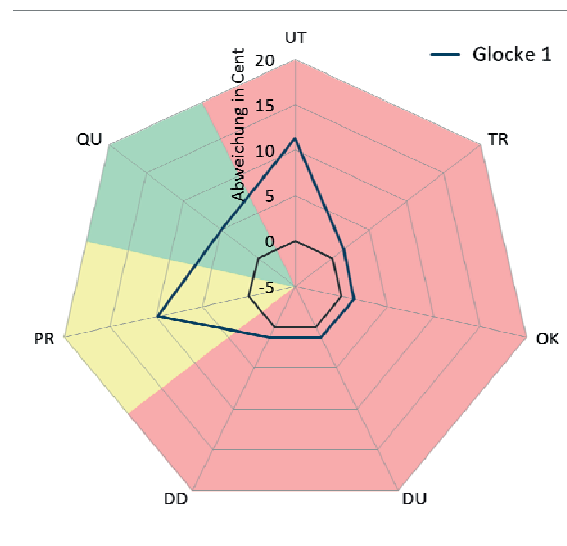


Abbildung 11: Musikalischer Fingerabdruck von Glocke 1 in Panitzsch

Signifikante Tonspaltungen ($\Delta f > 5\text{Cent}$) können nur am Unterton, an der Prime und an der Quinte festgestellt werden. Damit ist mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen, dass diese Glocke einen ausgeprägten Ermüdungsriss im hochbeanspruchten Bereich des Schlagrings besitzt. Die Tonspaltungen der Quinte



sind mit 5 Cent noch verhältnismäßig gering, wodurch bestätigt wird, dass die Risse vermutlich den Glockenquerschnitt noch nicht durchbrochen haben.

Aufgrund dieser Schadensanalyse wurde empfohlen, die Glocke nicht durch Schweißen reparieren zu lassen, da sonst die wertvollen Ritzzeichnungen verloren gehen würden. Vielmehr sollte die Glocke um 20° bis 40° gedreht werden, um die Risse in einen Bereich niedrigster Beanspruchungen zu positionieren. Durch eine Anpassung der Läutebedingungen ist eine möglichst niedrige Anschlagsintensität anzupfeilen, um das Risiko für eine weitere Rissausbreitung zu verringern. Mit regelmäßigen Klangaufzeichnungen der Glocke, die bspw. im Rahmen der jährlichen Wartungsarbeiten durchgeführt werden, kann der Zustand der Glocke durch Auswertung des musikalischen Fingerabdrucks fortschreitend überwacht werden, um eine weitere Rissausbreitung zuverlässig ausschließen zu können.

4.2. Risse in einer Euphonglocke

In der Nachkriegszeit wurden in der Erdinger Glockengießerei Glocken aus dem sogenannten Euphon gegossen, eine zinnfreie Kupferlegierung, bei der das Zinn im Wesentlichen durch Zink ersetzt wurde. Diese Glocken unterscheiden sich zu Glocken aus Bronze sowohl hinsichtlich ihrer Gestaltung, ihres Klangaufbaus als auch in ihrer Klangentfaltung nur in geringem Umfang.

An Glocke 1 der kath. Pfarrkirche in Hofstetten (g' mit 580kg) wurde im Jahre 2015 ein Riss im Bereich des Schlagrings festgestellt. Eine Schweißung der Glocke wurde nicht in Betracht gezogen, da bisher keine Erfahrungen im Bereich der Schweißung von Glocken aus Kupfer-Zink-Legierungen vorhanden sind. (Abb. 12)



Abbildung 12: Euphonglocke in Hofstetten mit Riss am Schlagring außen im Bereich der Anschlagstelle (links), Rissbild im Detail (rechts)

Da die Klangveränderungen noch nicht deutlich hörbar in Erscheinung getreten waren, wurde entschieden, die Glocke um 30° zu drehen und unter deutlich verringerter Anschlagsintensität weiterläuten zu lassen.



Mithilfe des musikalischen Fingerabdrucks wird die Glocke regelmäßig überwacht, um den Zustand der Glocke kontinuierlich zu dokumentieren und einen möglichen Rissfortschritt bewerten zu können. (Abb. 13)

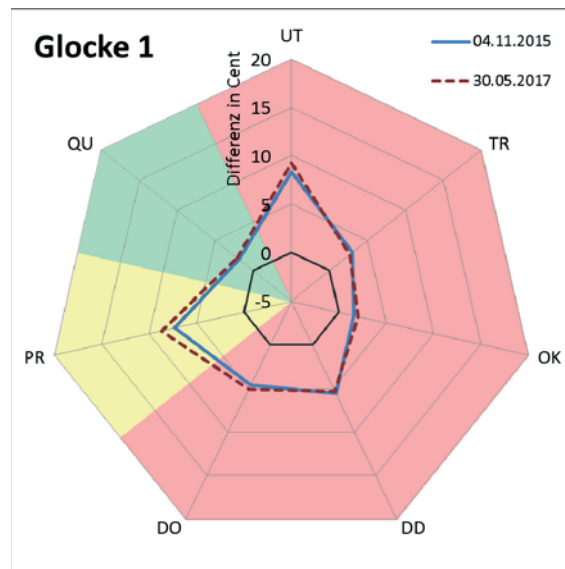


Abbildung 13: Musikalischer Fingerabdruck von Glocke 1 in Hofstetten

Die Klangveränderungen seit dem Umbau der Anlage in 2016 fallen geringfügig aus. Signifikante Änderungen sind nur beim Unterton und der Prime feststellbar, deren Tonspaltungen jeweils um 1Cent zugenommen haben. Tonspaltungen an Unterton und Prime sind jedoch meist auf Unebenheiten und Verschleiß am Schlagring zurückzuführen und können durch die neue Position des Klöppelanschlags beeinflusst worden sein. Die für einen Riss relevanten Veränderungen bei allen Teiltönen der roten Kategorie haben im betrachteten Zeitraum nicht stattgefunden.

Der musikalische Fingerabdruck ist ein Instrument, mit dem der Zustand von Glocken mit geringem Aufwand ermittelt und dauerhaft überwacht werden kann. Insbesondere bei Glocken mit Vorschädigungen oder Schweißstellen, bei historisch wertvollen oder sehr großen Glocken ist eine präventive Überwachung zielführend, und kann große Kosten sparen, da sehr frühzeitig Veränderungen im Klangverhalten festgestellt werden können. Je mehr Klangaufnahmen als Referenz zur Verfügung stehen, umso zuverlässiger und frühzeitiger können sich ausbreitende Risse ermittelt werden. Die Entwicklung einer Online-Plattform zur Erfassung und Bewertung des Klangs von Glocken soll dabei helfen, einen einfachen und schnellen sowie kostengünstigen Zugang zum musikalischen Fingerabdruck von Glocken zu ermöglichen.



Literatur

- [1] M. Pnitzner, „Der musikalische Fingerabdruck von Glocken als Mittel zur Schadensfrüh-erkennung“, Schriftenreihe der Hochschule Kempten, Bd. 2, Göttingen 2015.
- [2] Deutsche Gesellschaft für zerstörungsfreie Prüfung, Richtlinie US 6 – Akustische Resonanzverfahren zur Zerstörungsfreien Prüfung, Berlin, 2009.
- [3] H. Fleischer, „Hörversuche mit Glockenklängen,“ in Beiträge zur Vibro- und Psychoakustik 1/07, Neubiberg, 2007.
- [4] H. Fleischer, „Spinning Modes,“ in Forschungs- und Seminarberichte aus dem Gebiet Technische Mechanik und Flächentragwerke, Neubiberg, 1994.
- [5] J. Bauer, Ursachen des Missklangs von Glocken, Fachhochschule Heidelberg: Diplomarbeit, 2003.



seit 1920

Georg Rauscher
Turmuhrenfabrik

Turmuhren
Zifferblätter
Zeigerpaare
Glockenspiele

Hausuhren
Läuteanlagen
Glockenstühle
Kundendienst



www.rauscher-time.com, Würzburger Str. 4, 93059 Regensburg, Tel.: 0941-830470

Fortschritt aus Familienhand





Schäden an Euphonglocken – Mögliche Sanierungsansätze

Thomas Winkelbauer

Bistum Eichstätt

Zusammenfassung

Im Oktober 2015 wurden in der Diözese Eichstätt an zwei 1950 von Karl Czudnochowsky gegossenen Euphon-Glocken Risse im Bereich des Schlagrings entdeckt. Ging man von verantwortlicher Seite zuerst von einem singulären Ereignis aus, ließen im Mai 2017 die Entdeckung weiterer Risse an ebenfalls 1950 gegossenen Euphon-Glocken den Verdacht aufkeimen, dass in Hinsicht auf Schäden an Euphon-Glocken eventuell von einem systematischen Problem ausgegangen werden muss.

Die vorgestellte, auf das Gebiet der Diözese Eichstätt beschränkte Recherche, ist ein erster Versuch, mit Hilfe von relativ leicht zu erfassenden Daten den Schädigungs- und Gefährdungsgrad vorhandener Euphon-Glocken zu beschreiben. Unterstellt man, dass die an diesen Glocken erfolgten Beobachtungen repräsentativ für die alle übrigen existierenden Euphon-Glocken sind, gibt es an dutzenden von Glockenanlagen einen massiven Handlungsbedarf. Neben relativ einfach umzusetzenden Vorschlägen zu einer kurzfristigen wirksamen Reduzierung der Belastung von gefährdeten Glocken, ist ein wesentliches Ergebnis der Untersuchung die Erkenntnis, dass in Bezug auf die potentielle Beanspruchbarkeit von Euphon-Glocken großer, und vor allem akuter Forschungsbedarf besteht.

1. Euphon-Glocken

1.1. Karl Czudnochowsky

Der Glockengießer Karl Czudnochowsky kommt am 23. Januar 1900 in Enkenbach in der Pfalz zur Welt. Seine Ausbildung zum Glockengießer absolviert er vermutlich bei seinem Onkel Heinrich Ulrich (1876-1924) in der Glockengießerei in Apolda. Unter anderem als Werksleiter der Ulrichschen Filiale in Kempten, als Betriebsleiter der Glockengießerei Grüninger in Villingen, als Hauptgeschäftsführer in Apolda selbst, und schließlich ab 1934 als Betriebsleiter der Glockengießerei Egger in Staad bei Rorschach (Schweiz) sammelt er reichlich Erfahrung im Glockengießerhandwerk.

1936 kann Czudnochowsky die Erdinger Glockengießerei Bachmair pachten, die er schließlich 1948 erwirbt. Rund 7.400 Glocken dürften dort insgesamt unter seiner Regie entstanden sein. Die Erdinger Glockengießerei erlebt damit – vor allem im Zeitraum zwischen 1948 und 1968 – eine außerordentliche Blütezeit.



Aus gesundheitlichen Gründen und wohl auch mangels Nachfrage meldet Karl Czudnochowsky am 15. Juli 1971 seinen Betrieb ab. Er stirbt am 19. Mai 1977 in Rottach-Egern.¹

1.2. Euphon-Glocken

Karl Czudnochowsky macht sich nach dem 2. Weltkrieg auch durch den Guss von Euphon-Glocken einen Namen. Euphon zählt zu den sogenannten Glockenersatzwerkstoffen. Um Lieferengpässe bei der, bzw. hohe Kosten für die sonst übliche Kupfer-Zinn-Bronze zu vermeiden, ist in dieser messingartigen Legierung der Zinnanteil vermutlich durch Zinkanteile und weitere Bestandteile ersetzt worden. Woher Czudnochowsky sein Wissen über diesen Werkstoff hatte, ist nicht klar erforscht. Sicher ist lediglich, dass es unter der Nr. 836567 eine Patentschrift des Deutschen Patentamtes gibt. In dieser Schrift ist Dr. Eugen Vaders aus Pöcking als Erfinder einer Kupfer-Silizium-Zink-Legierung benannt. Diese Legierung dient wahrscheinlich als Grundlage für die Erdinger Euphon-Glocken.

In welchem Zeitraum genau, bzw. wie viele Euphon-Glocken insgesamt in Erding gegossen und wo diese hin geliefert worden sind, kann zum derzeitigen Stand der Recherchen mangels zuverlässiger Inventare nur grob abgeschätzt werden. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass die meisten dieser Glocken im (ober-)bayerischen Raum zu finden sind. Sicher ist außerdem, dass in Erding parallel Euphon- und Bronzeglocken gefertigt worden sind.²

Relativ genau erfasst und dokumentiert ist der Erdinger Glockenbestand auf den Türmen der Diözese Eichstätt. Für diese hat Karl Czudnochowsky wahrscheinlich 182 Glocken gefertigt, ein Fünftel davon in Bronze, die übrigen – 142 an der Zahl – in Euphon. Die ältesten der Czudnochowsky-Glocken stammen aus dem Jahr 1948, die jüngsten aus dem Jahr 1957, die Euphon-Glocken nur aus den Jahren 1949 und 1950.

Bis zum Zeitpunkt der Drucklegung konnte keine einzige systematische Untersuchung zu Euphon-Glocken recherchiert werden. Weder die genaue Zusammensetzung des Werkstoffs Euphon, noch eventuelle Veränderungen der Legierung im Laufe der Zeit, noch Untersuchungen zum Verhalten dieses Materials unter Beanspruchung liegen bisher vor. Die folgenden Zeilen sind daher das Ergebnis der laufenden Recherche zu diesen Glocken auf Eichstätter Diözesangebiet.

Euphon-Glocken unterscheiden sich in ihrem Teiltonaufbau wahrscheinlich nur marginal von Bronzeglocken Karl Czudnochowskys. Der Schlagton ist eindeutig identifizierbar und bei ausreichender Klanganregung während des Läutens ausreichend präsent. Auffällig ist die im Vergleich zu Bronzeglocken desselben Gießers im Durchschnitt um bis zu 30 Prozent geringere Abklingdauer des Untertons. Etwas geringer ist der Unterschied bei Prim und Terz, bei der Quinte sind keine signifikanten Unterschiede zu Bronzeglocken zu erkennen.

1 Alle Angaben nach: Paul Adelsberger, Glockengießer & Loderer, Ausstellungsbegleitband zur gleichnamigen Dauerausstellung des Museums Erding, Museum Erding 20151, S. 16ff., sowie nach: Hans Brenner, Glockenbuch für Donauwörth und südwestliche Umgebung, Wörrnitzverlag Donauwörth 20051, S. 64

2 Paul Adelsberger spricht in seiner Publikation von insgesamt etwa 7.400 Glocken, die Karl Czudnochowsky gegossen haben soll. 400 Exemplare davon sollen in Euphon gefertigt worden sein (Adelsberger, Glockengießer & Loderer, S. 16 u S. 18). Der Göttinger Glockensachverständige Andreas Philipp hat das (unvollständige) Lieferverzeichnis in eine Datenbank eingepflegt. Diese Datenbank enthält nun Angaben zu knapp 4.500 unter der Regie von Czudnochowsky gefertigte Glocken. Für 1.250 von diesen ist als Gussmaterial Euphon bzw. Sonderbronze angegeben.



Die Oberfläche der Euphon-Glocken ist überwiegend glatt und meist ohne größere Fehlstellen. Zier und Buchstaben werden in der Regel präzise abgebildet und haben scharf gezeichnete Konturen.

Läuten gut intonierte Czudnochowsky-Glocken auf einem Turm, so ist auch durch geübte Laien in der Regel mittels alleinigem Hinhören nicht auszumachen, ob der Turm mit Bronze- oder Euphon-Glocken bestückt ist.

2. Schäden an Euphon-Glocken auf Eichstätter Diözesangebiet

2.1. Glocken der Pfarrkirche Hofstetten

Im Rahmen der Begutachtung eines Klöppelbruchs werden durch den Glockensachverständigen der Diözese Eichstätt im Oktober 2015 an 2 der 3 vorhandenen Euphon-Glocken³ der Pfarrkirche Hofstetten deutlich ausgeprägte Risse im Bereich des Schlagrings identifiziert. Die Erfassung der Läutedaten und die Vermessung der Klöppel⁴ lassen die Vermutung aufkommen, dass als Schadensursache eine zu hohe Läutebeanspruchung in Betracht kommt. Die Anlage war – ohne fachliche Begleitung – im Jahr 1992 durch eine Glockenfachfirma überarbeitet worden; die Glocken sind in diesem Zusammenhang mit neuen Klöppeln ausgestattet und jeweils um 60° gedreht worden. Es ist davon auszugehen, dass die an den mechanischen gesteuerten Läutemaschinen eingestellten Läutewinkel seit dieser Zeit unverändert geblieben sind. Die Schadstellen liegen auf der Glockenaußenseite, wenige auf der Innenseite, alle jedoch im Bereich der neuen Anschlagpunkte. (Abb. 1)

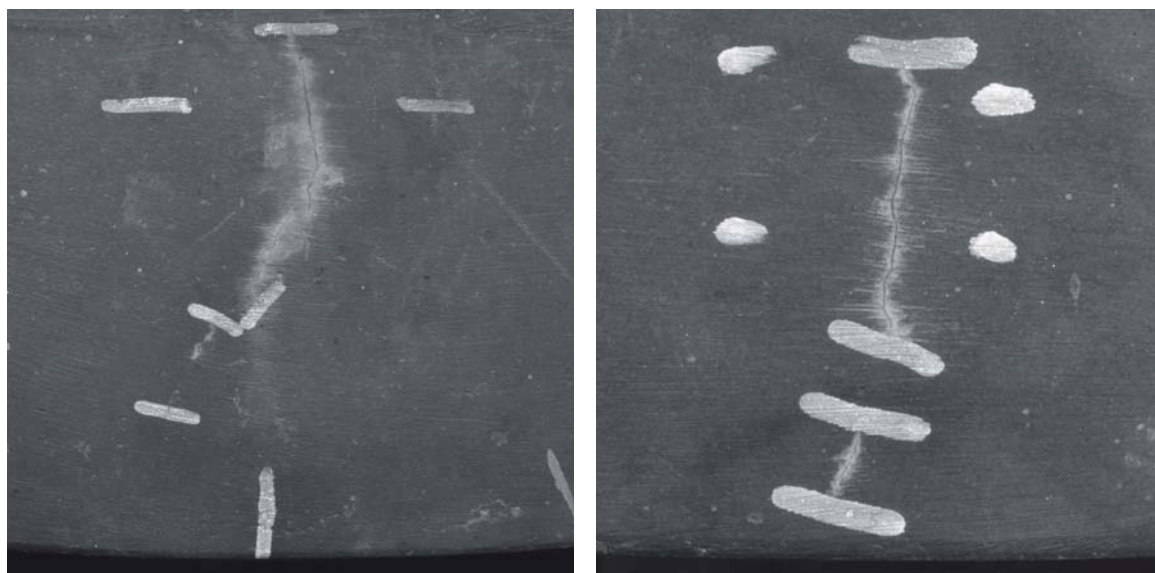


Abbildung 1: Hofstetten, Glocke 1, ausgeprägter Riss auf der Glockenaußenseite (links); Glocke 2, ausgeprägter Riss auf der Glockenaußenseite (rechts)

³ 3 g' -4, Ø 1.030mm, 553kg; b' -4, Ø 840mm, 278kg; c'' ±0, Ø 730mm, 187kg; alle drei 1950 gegossen.

⁴ Die gemessenen Läutewinkel betragen 83°, 85° und 86°. Die errechneten Klöppelgewichte betragen 4,32%, 4,84% und 3,98% des jeweiligen Glockengewichts.



Wegen der enormen Überbeanspruchung dieser Glockenanlage wird zuerst davon ausgegangen, dass es sich bei dem erkannten Schaden um ein bedauerliches, aber singuläres Ereignis handelt. In enger Zusammenarbeit mit dem Europäischen Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell® wird eine Sanierung dieser Glockenanlage geplant und durchgeführt. Ziel der Sanierung ist eine signifikante Reduzierung der Läutebeanspruchung.

2.2. Glocken der Filialkirche Euerwang

Auf Bitten der Kirchenstiftung hin wird im Mai 2017 die Glockenanlage der Filialkirche Euerwang durch den Glockensachverständigen der Diözese Eichstätt routinemäßig inspiziert. Dabei werden an allen 3 Euphon-Glocken⁵ Rissbilder festgestellt, die denen der Hofstettener Glocken sehr ähnlich sind. (Abb. 2)

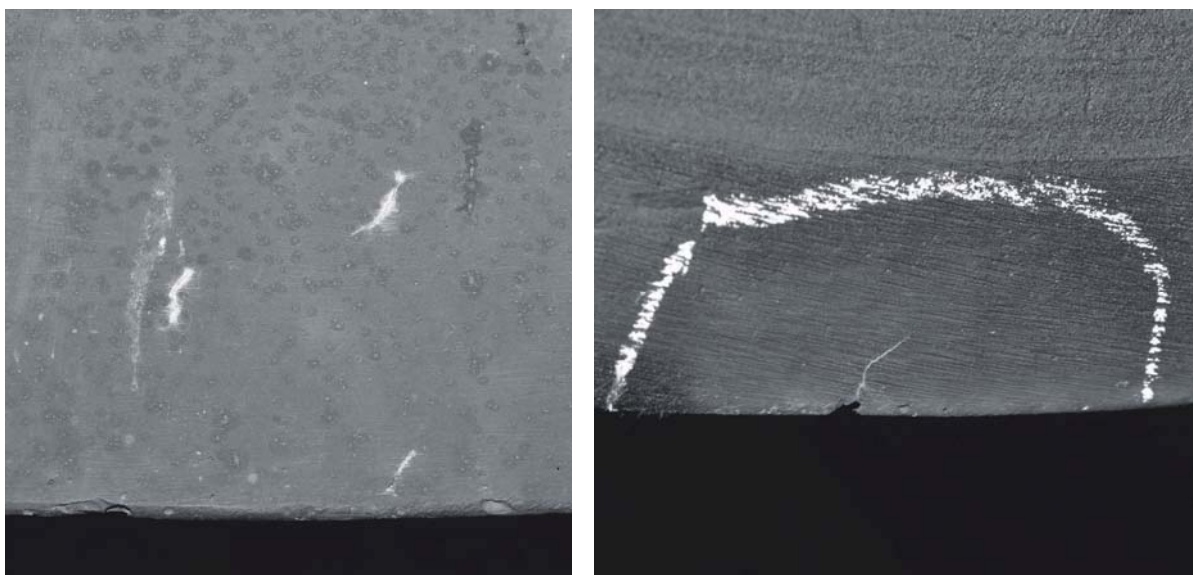


Abbildung 2: Euerwang, Glocke 1, mehrere Risse auf der Glockenaußenseite (links); Glocke 3, Riss auf der Glockeninnenseite (rechts)

Die Erfassung der Läutedaten und die Vermessung der Klöppel⁶ lassen wiederum auf eine hohe Läutebeanspruchung dieser Glocken schließen, die aber deutlich unter der Beanspruchung der Hofstettener Glocken liegen dürfte. Es entsteht nun der erste Verdacht, dass in Bezug auf die erkannten Schäden an Euphon-Glocken ein systematisches Problem vorliegen könnte.

⁵ 5 fis' +5, Ø 995mm, ca. 505kg; a' +8, Ø 830mm, ca. 280kg; h' +7, Ø 725mm, ca. 181kg; alle drei 1950 gegossen.

⁶ Die gemessenen Läutewinkel betragen 72°, 76° und 82°. Die errechneten Klöppelgewichte betragen 5,23%, 5,39% und 5,81% des jeweiligen Glockengewichts.

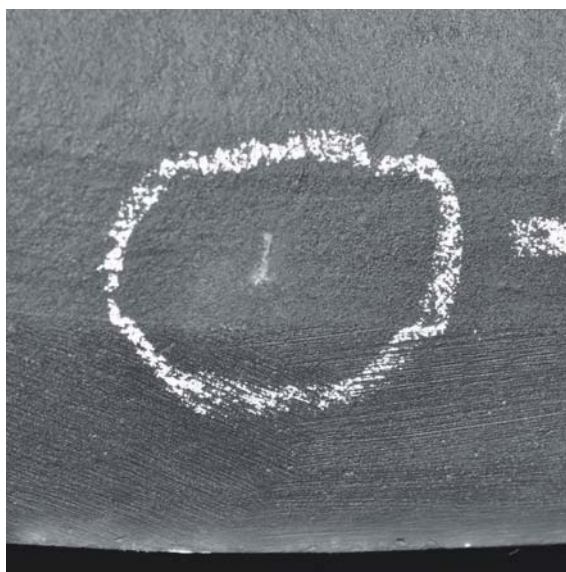


Abbildung 3: Euerwang, Glocke 3, kupferoxydfarbige Verfärbung auf der Oberfläche der Glockeninnenseite, sehr wahrscheinlich aber kein Riss

2.3. Überprüfung weiterer Euphon-Glocken

Die Sichtung des vorhandenen Bildmaterials von bis zu diesem Zeitpunkt inventarisierten, aber nicht näher untersuchten Euphon-Glocken, lässt den Verdacht aufkommen, dass eine erkleckliche Anzahl dieser Instrumente ein ähnliches Schadensbild aufweisen könnte. Erhärtet wird dieser Verdacht durch den Vergleich der zum Zeitpunkt der Inventarisierung gemessenen Abklingdauer mit der zum Zeitpunkt der Glockenprüfung gemessenen Abklingdauer: Bei etlichen der inventarisierten Euphon-Glocken lässt sich eine signifikante Verringerung der Abklingdauer beobachten.

Es ist nicht zu erklären, warum die nun via Bildmaterial identifizierten Risse bis zu diesem Zeitpunkt weder durch den Glockensachverständigen noch durch qualifiziertes und zuverlässiges Wartungs-/Fachpersonal registriert worden sind. Auch der schon zu einem früheren Zeitpunkt bereits immer wieder beobachteten Verringerung der Abklingdauer wurde bis zu diesem Zeitpunkt keine größere Bedeutung beigemessen, sie wurde vielmehr mit Mess-, bzw. Schreibfehlern erklärt.

Im Rahmen von gezielt angesetzten Inspektionen werden nun ab Juni 2017 peu à peu Euphon-Glocken gründlich untersucht. Im Zuge dieser Untersuchungen verfestigt sich der Verdacht, dass ein nicht unerheblicher Teil der – auf Eichstätter Diözesangebiet – existierenden Euphon-Glocken sichtbare, bzw. noch nicht sichtbare Schäden aufweisen.

2.4. Geschädigte Euphon-Glocken – Ersatz oder Erhalt?

Konfrontiert mit der Vielzahl an Schadensfälle an Euphon-Glocken kommt schnell die Frage auf, wie mit diesen Glocken weiter verfahren werden soll. Grundsätzlich besteht hier die Gefahr, dass diese Diskussion ideologisch aufgeladen wird, wie etwa der Diskurs um das Für und Wider von Gusstahl- oder Eisenhartguss-Glocken. Ein großes Problem stellt zudem die Tatsache dar, dass Reparaturverfahren, wie sie bisher



beispielsweise bei gesprungenen Bronzeglocken erfolgreich angewendet werden, bei Euphon-Glocken aller Wahrscheinlichkeit nach nicht angewandt werden können.

Für den Erhalt dieser Glocken spricht sicher zuerst einmal deren klangliche Qualität, die einen Vergleich mit vielen Nachkriegs-Glocken nicht zu scheuen braucht. Kritisch wird es allerdings in dem Augenblick, in dem die Abklingdauer schon derart abgesunken ist, dass eine angemessene Klangerregung beim Läuten nicht mehr gewährleistet ist.

Nicht unberücksichtigt bleiben darf die in der Regel hohe emotionale Bindung der Mitglieder der betroffenen Kirchengemeinden. Die Euphon-Glocken haben dort schon annähernd zwei Generationen ihren Dienst versehen. Zudem sind sie in Zeiten großer wirtschaftlicher Not unter mancherlei Anstrengung beschafft worden.

Angesichts des vermutlich überschaubaren Bestands und der Tatsache, dass diese Legierung auch nur über einen relativ eng begrenzten Zeitraum zum Einsatz gekommen ist, wird man diesem Glockentypus auch eine gewisse Denkmaleigenschaft zusprechen müssen.

Nicht zuletzt wird ein wirtschaftlicher Aspekt zu berücksichtigen sein: Wollte man alle Euphon-Glocken ersetzen, so müssten allein für die Kirchengemeinden in der Diözese Eichstätt Glocken in einem Gesamtgewicht von mindestens 60.000 kg gegossen werden. Unterstellt man, dass die neuen Glocken in der gleichen eher leichten Rippe gegossen werden, wie die zu ersetzenden Instrumente, setzt man die üblichen 5% Abbrand an, und legt schließlich einen (Netto-)Bronzpreis von 12,-- € zugrunde, so wären allein für den Kauf der erforderlichen Glockenbronze Finanzmittel in Höhe von rund 756.000,-- € aufzubringen.

Viele Gründe sprechen also dafür, alles daran zu setzen, dass der Austausch von Euphon-Glocken auf wenige Einzelfälle beschränkt bleiben, zumindest aber im zeitlichen Ablauf möglichst weit gestreckt werden sollte.

2.5. Sanierungsansatz in Bezug auf Euphon-Glocken

Von Oktober 2016 an bis ins späte Frühjahr 2017 läuft in enger Zusammenarbeit mit dem Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell® die Sanierung der Glockenanlage Hofstetten. Aufgrund fehlender Kenntnisse über den Werkstoff „Euphon“, dessen Werkstoffeigenschaften und Beanspruchbarkeit, werden die Hofstettener Glocken wie sehr dünnwandige und damit hochempfindliche Bronzeglocken behandelt. Ziel der Sanierung ist eine deutliche Reduzierung der Läutebeanspruchung bei gleichzeitig möglichst guter Klangerregung. Erreicht werden soll dies durch eine der jeweiligen Glocke angemessene Klöppelmasse, eine niedrige Anfluggeschwindigkeit des Klöppelballens, einen hoch liegenden Klöppeldrehpunkt, sowie durch einen an die DIN angelehnten Lätewinkel.

Mittels einer Belastungsmessung wird die prognostizierte Reduzierung der Läutebeanspruchung nach erfolgter Sanierung überprüft und bestätigt. Auch der Klangeindruck der Glocken kann sich hören lassen: Zwar haben die Hofstettener Instrumente etwas an Lautstärke und Lautheit verloren, ihre Lebendigkeit und ihr Charakter als Kirchenglocken bleibt jedoch eindeutig erhalten. Eine Kontrolle des „Musikalischen Fingerabdrucks“ 9 Monate nach Abschluss der Sanierungsarbeiten scheint den Erfolg des Sanierungsansatzes



ebenfalls zu bestätigen: Es ist keine relevante Veränderung der vorgefundenen und dokumentierten Frequenzspaltung zu beobachten.

Als eine erste Referenz zu dem in Hofstetten gewählten Sanierungsansatz dient die ebenfalls im Frühjahr 2017 abgeschlossene Sanierung der Glockenanlage der Filialkirche Biesenhard.⁷ Auch die dortigen Euphonglocken zeigen ein ähnliches Schadensbild (Abb. 4), ebenfalls vermutlich hervorgerufen durch eine entsprechende Überbeanspruchung.⁸ Eine Kontrolle des an dieser Anlage genommenen „Musikalischen Fingerabdrucks“ 6 Monate nach Abschluss der Sanierungsarbeiten zeigt ebenfalls keine Veränderung der zuvor festgestellten Frequenzspaltungen.

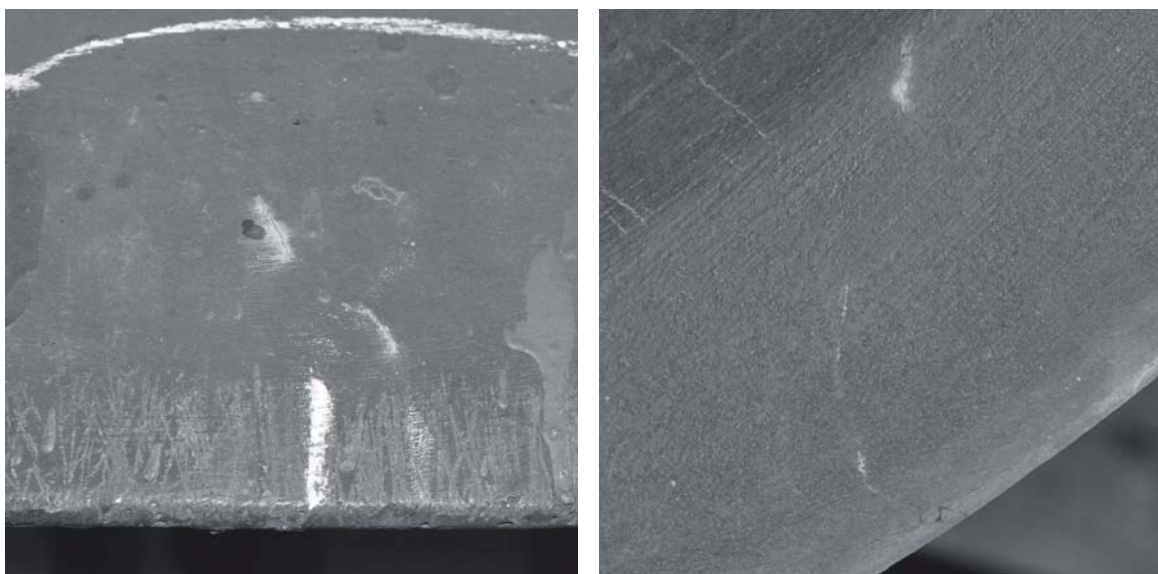


Abbildung 4: Biesenhard, Glocke 2, Risse auf der Glockenaußenseite (links); Glocke 3, Risse auf der Glockeninnenseite (rechts)

Als zweite Referenz soll die im Kapitel 2.2 beschriebene Glockenanlage Euerwang dienen. Diese ist bis dato bewusst noch nicht saniert, sie wird vielmehr mit nahezu unveränderten Läutebedingungen weiter betrieben. Es wäre zu erwarten, dass hier nach knapp einem Jahr weiterer hoher Beanspruchung eine Verschlechterung der Situation eingetreten ist, die vorgefundene Frequenzspaltung sich also weiter fortgesetzt hat. Das Ergebnis dieser Untersuchung liegt zum Zeitpunkt der Drucklegung noch nicht vor.

7 g' - 4, Ø 1.020 mm, 552 kg; b' - 4, Ø 840 mm, 302 kg; c'' - 2, Ø 730 mm, 190 kg; alle drei 1950 gegossen;

8 Die gemessenen Läutewinkel betragen 69°, 85° und 77°. Die errechneten Klöppelgewichte betragen 4,24%, 4,82% und 6,21% des jeweiligen Glockengewichts.



3. Systematik der vorliegenden Recherche

3.1. Annahmen

Folgende Grundannahmen liegen den nachfolgenden Überlegungen zugrunde:

- Schädigungen an Euphon-Glocken treten durch eine Überbeanspruchung der läutenden Glocken auf.
- Zur Überbeanspruchung einer läutenden Glocke kommt es durch eine zu hohe Anschlagsintensität.
- Eine zu hohe Anschlagsintensität entsteht durch eine ungünstige Kombination der Faktoren Klöppelmasse, Läutewinkel, Klöppel-Anfluggeschwindigkeit, Rippenstärke und absolute Läutedauer.
- Schäden äußern sich durch sichtbare Risse, für das menschliche Ohr im günstigsten Fall noch nicht wahrnehmbare Frequenzspaltungen, bzw. durch eine signifikante Erhöhung der Dämpfung, festzumachen an einer messbaren Abnahme der Abklingdauer.

3.2. Identifizierung von Euphon-Glocken

Auf den ersten Blick können Euphon-Glocken nicht zweifelsfrei von ebenfalls durch Karl Czudnochowsky – teils im gleichen Zeitraum – gegossenen Bronzeglocken unterschieden werden. Für die vorliegende Untersuchung haben zur unmissverständlichen Identifizierung eindeutige Vermerke auf den überlieferten Abnahmeprotokollen des Glockensachverständigen Johannes Schlick, sowie vorliegender, aus der Zeit der Beschaffung dieser Glocken stammender Schriftverkehr zwischen Kirchenstiftung und Bischöflichem Ordinariat, beigetragen.

Auf dem Turm können Euphon-Glocken zudem in den meisten Fällen anhand einer markanten gelbrötlichen Farbschattierung der Glockeninnenseite, sowie mittels durch Abrieb entstandenen Euphon-Staub auf den Klöppeln von Bronzeglocken unterschieden werden.

3.3. Identifizierung von Schäden an Euphon-Glocken

Nach den in der Diözese Eichstätt gemachten Erfahrungen mit der Erkennung von Schäden an Euphon-Glocken soll hier versucht werden, kurz die bis dato erkannten Schadbilder zu beschreiben.

Relativ einfach ist der Vergleich der Abklingdauer zu bewerkstelligen: Von Johannes Schlick ist bekannt, dass er die Abklingdauer einer Glocke ermittelt hat, indem er diese mittels angemessenem Klöppel dreimal kräftig hat anschlagen lassen. Der Vergleich der von ihm festgehaltenen Werte für Bronzeglocken mit eigenen Messungen hat ergeben, dass beide Werte im Wesentlichen übereinstimmen. Auf diese Weise dokumentierte Abweichungen bei den Werten für Euphon-Glocken können daher mit hoher Wahrscheinlichkeit als tatsächliche Veränderungen der Dämpfung dieser Glocken interpretiert werden. In fast allen Fällen, in denen sichtbare Schäden im Bereich des Schlagrings zu finden sind, hat auch die Abklingdauer des Untertons im Vergleich zur neu geprüften Glocke um mindestens 20% abgenommen.



Schwieriger ist das Erkennen von echten Rissen, bzw. Risspuren an den Euphonglocken: Zeigt sich ein Riss an Bronzeglocken in der überwiegenden Zahl der Fälle als eine fast wie mit dem Lineal gezogene Linie, gleichen die bis dato bekannten Risse an Euphon-Glocken eher krakeligen Bleistiftstrichen. (Abb. 5)

Problematisch wird es im Falle von Verunreinigungen an der Glockenoberfläche: Ränder von Mörtelspritzern oder Kots Spuren weisen häufig eine Verfärbung auf, die oxidiertem Kupfer gleicht. Hier gilt es die entsprechenden Stellen in aller Gründlichkeit notfalls zu reinigen und anschließend mit einer Lupe zu untersuchen. Gerade auf der Glockeninnenseite sind häufig auch kupferoxidfarbene Spuren zu erkennen, die evtl. in die Glockenoberfläche eingebrannte Reste der Glockenform (Tierhaare, Hanfreste, . . .) sein könnten. Auch diese Spuren sind keine Schäden, so dass von diesen Stellen im Allgemeinen keine Gefahr ausgehen dürfte.

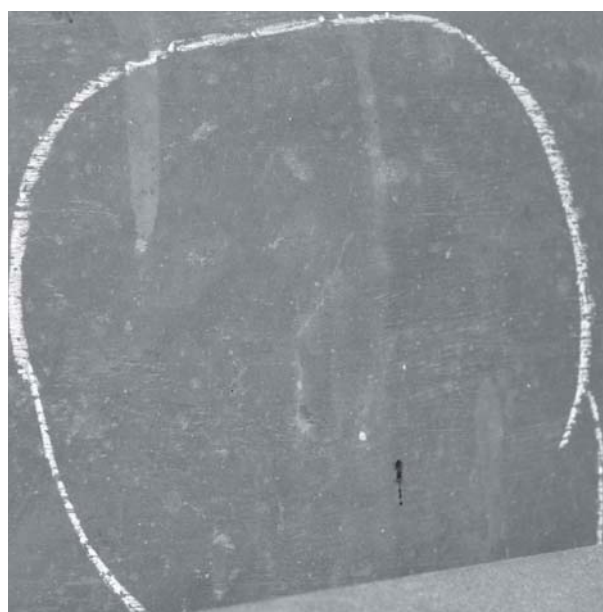


Abbildung 5: Ochsensfeld, Glocke 1, ausgeprägter Riss auf der Glockenaußenseite

Eine weitere Besonderheit bei Euphon-Glocken ist der Ort, an dem die Schäden auftreten können: Überlastungsschäden an Bronzeglocken sind in der Regel im unmittelbaren Bereich des Anschlagpunktes anzutreffen. Risse an Euphonglocken treten dagegen scheinbar nicht selten 10° bis 15° davon versetzt, nicht selten auch in ganz anderen Bereichen des Schlagrings auf.

3.4. Erfassung relevanter Daten

Um belastbare Aussagen über die Schädigung und die Gefährdung von Euphon-Glocken machen zu können, werden von diesen Glocken folgende Daten erfasst:

- Durchmesser an der Schärfe (des Öfftens kein exakter Kreis; Abweichungen evtl. bedingt durch Abschleifen/Glätten der Schärfe?)
- Gewicht (Tabelle / Schätzung / vorhandene Rechnung der Gießerei / Wiegen)



- Schlagringstärke (Problem: Tonkorrekturen durch Ausschleifen im Bereich des Schlagrings verändern die originale Schlagringstärke)
- Erfassung von durch den Gießer erfolgten Klangkorrekturen durch Ausschleifen der Glocke
- Position und Art des Uhrschlags/Hammersystems
- photographische und beschreibende Erfassung sichtbarer Schäden (soweit in der Praxis überhaupt möglich)
- Tonanalyse mittels Glockenstimmgabeln
- Messung der Abklingdauer (Unterton: dreimaliger kräftiger Klöppelanschlag. Prime, Terz, Quinte: maximal mögliche Erregung via Stimmgabel)
- musikalischer Fingerabdruck (reproduzierbare digitale Tonaufnahme von Einzelanschlägen des Klöppels bei ruhender Glocke)
- Lätewinkel (Kettenablauf x 360 / Umfang des Läuterads (= $2r \times \pi$))
- Klöppelgewicht („nackter“ Klöppel, Berechnung via Excel-Programm)
- Erfassung der (geschätzten) durchschnittlichen Läutedauer pro Woche

3.5. Auswertung der erhobenen Daten

Die erhobenen Daten werden in Clustern zusammengefasst, die gebildeten Cluster jeweils einer sechsstufigen Gefährdungsklasse zugeordnet. Klasse „0“ bedeutet nachfolgend immer *keine bis eine sehr geringe Gefährdung*, Klasse „5“ eine *sehr starke Gefährdung* der jeweiligen Glocke. Ziel ist es mit Hilfe dieser Klassifizierung mögliche kausale Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern und tatsächlich an den Glocken nachgewiesenen Schäden zu erkennen. In einem weiteren Schritt kann dann, im Falle von noch nicht sichtbaren Schäden, eventuell die Dringlichkeit von Änderungen am dynamischen System der betreffenden Glocke abgeschätzt werden.

3.5.1 Rippenstärke

Die Rippenstärke wird aus dem Durchschnitt der in den Unterkapiteln beschriebenen Werte berechnet.

3.5.2 Verhältnis Durchmesser / Schlagringstärke

Berechnung und Klassifizierung des Verhältnisses Durchmesser (Dm) / originaler Schlagringstärke (SR)⁹

- 0: $Dm/SR < 13,0\%$
- 1: $13,0\% \leq Dm/SR < 13,5\%$
- 2: $13,5\% \leq Dm/SR < 14,0\%$

⁹ Vgl.: Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen, Glocken in Geschichte und Gegenwart, Badenia Verlag, Karlsruhe 19861, Band 1, S. 110



- 3: $14,0\% \leq Dm/SR < 14,5\%$
- 4: $14,5\% \leq Dm/SR < 15,0\%$
- 5: $Dm/SR \geq 15,0$

3.5.3 Produkt aus Frequenztonhöhe und Durchmesser

Berechnung und Klassifizierung des Produkts aus Frequenztonhöhe (FrTh) und Durchmesser an der Schärfe (Dm)¹⁰

- 0: $FrTh \times Dm \geq 410,0$
- 1: $400,0 \leq FrTh \times Dm < 410,0$
- 2: $390,0 \leq FrTh \times Dm < 400,0$
- 3: $380,0 \leq FrTh \times Dm < 390,0$
- 4: $370,0 \leq FrTh \times Dm < 380,0$
- 5: $FrTh \times Dm < 370,0$

3.5.4 RS-Wert

Der RS-Wert (RS) berechnet sich als das Produkt aus Durchmesser, Frequenztonhöhe und Korrekturfaktor I, dividiert durch 387,5, minus 100.¹¹

- 0: $RS > + 3,0$
- 1: $\pm 0 < RS \leq + 3,0$
- 2: $- 3,0 < RS \leq \pm 0$
- 3: $- 6,0 < RS \leq - 3,0$
- 4: $- 9,0 < RS \leq - 6,0$
- 5: $RS \leq - 9,0$

3.5.5 Rippentabelle der DIN 4178

Zuordnung und Klassifizierung der Glocken zu der in der DIN 4178 vorgeschlagenen Rippeneinteilung

- 0: $\geq MS$
- 1: L/MS
- 2: L
- 3: SL/L

¹⁰ Vgl.: Carl-Rainer Schad, Wörterbuch der Glockenkunde, Hallwag Verlag, Bern und Stuttgart 19961, S. 42

¹¹ Herleitung und Beschreibung des RS-Wertes in: Jörg Wernisch, Glockenkunde von Österreich, Journal-Verlag, A-9900 Lienz i. Ostt. 20061, S. 1.156



- 4: SL
- 5: SSL

3.5.6 Lätewinkel

Berechnung und Klassifizierung der Abweichung des Lätewinkels (AbwLw) von den in der DIN 4178 vorgeschlagenen Werten:

- 0: $AbwLw > \pm 0\%$
- 1: $\pm 0\% \geq AbwLw > - 5,0\%$
- 2: $- 5,0\% \geq AbwLw > - 10,0\%$
- 3: $- 10,0\% \geq AbwLw > - 15,0\%$
- 4: $- 15,0\% \geq AbwLw > - 20,0\%$
- 5: $AbwLw \geq - 20,0\%$

3.5.7 Klöppelgewicht

Berechnung und Klassifizierung des Verhältnisses Klöppelgewicht / Glockengewicht (KIG)

- 0: $KIG < 2,5\%$
- 1: $2,5\% \leq KIG < 3,5\%$
- 2: $3,5\% \leq KIG < 4,5\%$
- 3: $4,5\% \leq KIG < 5,0\%$
- 4: $5,0\% \leq KIG < 5,5\%$
- 5: $KIG \geq 5,5\%$

3.5.8 Lätedauer

Klassifizierung der geschätzten durchschnittlichen Lätedauer (Ld) pro Woche

- 0: $Ld < 5 \text{ min pro Woche}$
- 1: $5 \text{ min pro Woche} \leq Ld < 10 \text{ min pro Woche}$
- 2: $20 \text{ min pro Woche} \leq Ld < 30 \text{ min pro Woche}$
- 3: $30 \text{ min pro Woche} \leq Ld < 45 \text{ min pro Woche}$
- 4: $45 \text{ min pro Woche} \leq Ld < 60 \text{ min pro Woche}$
- 5: $Ld \geq 60 \text{ min pro Woche}$



3.5.9 Erkanntes Schadensbild

Klassifizierung des vor Ort eindeutig identifizierten Schadensbildes

- 0: nicht eindeutig untersuchte Glocke
- 1: keine sichtbaren Schäden auf der Glockeninnen- und/oder außenseite, sowie keine signifikante Abweichung der Abklingdauer
- 2: keine sichtbaren Schäden auf der Glockeninnen- und/oder außenseite, aber Abweichung der Abklingdauer des Untertons um mehr als 15%
- 3: einzelne eindeutige, aber kurze Risse auf der Glockeninnen- und/oder außenseite
- 4: ausgeprägtes Rissbild auf der Glockeninnen- und/oder außenseite
- 5: stark ausgeprägtes Rissbild mit offenbar tiefgehenden Rissen auf der Glockeninnen- und/oder außenseite

3.5.10 Veränderung der Abklingdauer des Untertons

Klassifizierung der eindeutig nachweisbaren Veränderung der Abklingdauer des Untertons (AKD)

- 0: $AKD > \pm 0\%$
- 1: $\pm 0\% \geq AKD > - 5,0\%$
- 2: $- 5,0\% \geq AKD > - 10,0\%$
- 3: $- 10,0\% \geq AKD > - 15,0\%$
- 4: $- 15,0\% \geq AKD > - 20,0\%$
- 5: $AKD \geq - 20,0\%$

3.5.11 Risikobewertung anhand der erhobenen Daten

Die einzelnen Schadensklassen werden rechnerisch zusammengefasst, gewichtet, abschließend daraus der Durchschnitt ermittelt. Die Klasse „Rippenstärke“ wird einfach gewichtet, die Klassen „Läutewinkel“ und „Klöppelgewicht“ jeweils doppelt, die Klasse „Läutedauer“ dreifach. Der auf diese Weise gewonnene Wert erlaubt für jede einzelne Glocke eine greifbare, realistische und überprüfbare Einschätzung des Schadensrisikos.

4. Auswertung der bis dato erhobenen Daten

4.1. Stand der Recherche

Mit Stand 5. Februar 2018 sind von den in der Diözese Eichstätt bekannten 142 Euphon-Glocken 65 Exemplare genau untersucht worden; von 23 weiteren Glocken liegt aktuelles und belastbares Zahlenmaterial zur Abklingdauer vor. Insgesamt ergibt sich damit ein relativ verlässliches Bild für über die Hälfte des vorhandenen Bestandes.



An einem Drittel der erfassten Glocken ist ein mehr oder wenig stark ausgeprägtes Rissbild eindeutig zu erkennen. Etwa ein Viertel dieser Glocken ist oberflächlich zwar rissfrei, die Abklingdauer ist im Vergleich zur dem im Zuge der amtlichen Glockenprüfung ermittelten Wert um im Schnitt 25% gesunken. Lediglich 40% der untersuchten Glocken sind vermutlich (noch) schadfrei.

4.2. Zusammenhang Schadensklasse – tatsächliche Schädigung

Auch wenn bis zum Zeitpunkt der Drucklegung noch nicht für alle untersuchten Glocken verlässliche Angaben in Bezug auf die tatsächliche Läutedauer der einzelnen Glocken vorliegen, zeigt eine erste Auswertung der vorhandenen Datensätze, dass sich mittels der in den Kapiteln 3.5 und 3.6 vorgestellten „Berechnung“ des potentiellen Schadensrisikos relativ verlässliche Aussagen zur tatsächlichen Gefährdung der einzelnen Glocken gewinnen lassen. Konkret weisen 60% der in Gefährdungsklasse „3“ oder höher eingestuften Glocken Risse, zumindest aber eine auffällige Abweichung der Abklingdauer auf. Annähernd die gleiche prozentuale Verteilung zwischen geschädigten und vermutlich noch nicht geschädigten Glocken ergibt sich für Glocken der Gefährdungsklasse „1“ vor. Da insgesamt nur 3 der untersuchten Glocken in die Gefährdungsklasse „0“ oder „1“ fallen, ist eine statistische Auswertung für diese beiden Klassen nicht möglich.

4.3. Folgerungen

Im Lauf der Untersuchungen hat sich gezeigt, dass in Bezug auf Euphon-Glocken akuter Handlungs- und Forschungsbedarf besteht. Soll dieser Glockentypus flächendeckend für folgende Generationen erhalten bleiben, bedürfen etliche der getroffenen Annahmen der zeitnahen wissenschaftlichen Überprüfung. Speziell im Hinblick auf das Verhalten des Werkstoffs Euphon unter Belastung können derzeit nur Vermutungen angestellt werden. Ohne wirklich belastbare Grundlagen ist der derzeit praktizierte und im Kapitel 2.5 geschilderte Sanierungsansatz letztendlich nur ein Stochern im Nebel. Die pure Masse der entdeckten Schadfälle macht aber auch deutlich, dass ein gehöriges Maß an Eile geboten zu sein scheint, denn jeder weitere zu heftige Klöppelanschlag wird die Lebensdauer dieser vermutlich hoch empfindlichen Instrumente verkürzen.

4.4. Kurzfristig wirkende Maßnahmen zur Schonung bedrohter Glocken

Eine kostengünstige, effektive, schnell und unkompliziert umzusetzende Maßnahme zur Schonung bedrohter Euphon-Glocken ist die beherrzte Reduzierung deren Läute-Einsätze und -Zeiten. In einem erweiterten Schritt kann es sinnvoll sein, zudem den Lätewinkel abzusenken – was selbst in den meisten Fällen auch mit mechanisch oder elektromechanisch gesteuerten Lätomotoren zu bewerkstelligen ist.

Von einem übereilten, vielleicht sogar flächendeckenden Austausch der Klöppel wird an dieser Stelle eindeutig abgeraten. Es ist leider bei weitem nicht damit getan, schnell einen neuen, vielleicht auch leichteren Klöppel einzubauen. Neue Klöppel müssen vielmehr *für jede einzelne Glocke (!)* exakt auf ein zu definierendes dynamisches System abgestimmt sein. Derzeit sind nur sehr wenige Fachfirmen wirklich in der Lage, das hierzu durch das Europäische Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell® erarbeitete Wissen zielgerecht und verlässlich einzusetzen.



Literatur

- P. Adelsberger: Glockengießer & Loderer, Ausstellungsbegleitband zur gleichnamigen Dauerausstellung des Museums Erding, Museum Erding 2015
- Beratungsausschuss für das deutsche Glockenwesen: Glocken in Geschichte und Gegenwart, Band 1, Karlsruhe 1986
- H. Brenner: Glockenbuch für Donauwörth und südwestliche Umgebung, Donauwörth 2005
- M. Plitzner: Der musikalische Fingerabdruck von Glocken als Mittel zur Schadensfrüherkennung, Göttingen, 2015
- C.-R. Schad: Wörterbuch der Glockenkunde, Bern und Stuttgart 1996
- J. Wernisch: Glockenkunde von Österreich, A-9900 Lienz i. Ost. 2006
- Bischöfliches Ordinariat Eichstätt: Glockendatenbank der Diözese Eichstätt, Eichstätt, unveröffentlichte Datenbank
- A. Philipp: Lieferverzeichnis, der Erdinger Glockengießerei Karl Czudnochowsky, Göttingen, unveröffentlichte Datenbank
- J. Schlick: handschriftliche Protokolle der amtlichen Glockenprüfungen, Eichstätt 1950 bis 1970, unveröffentlichtes Archivmaterial



Konferenzprogramm

Mittwoch, 21. März 2018

- 13:00Uhr **Eröffnung**
Prof. Dr. Andreas Rupp, Hochschule Kempten ECC-ProBell®
Dr. Christoph Thiele, Vorsitzender des Beratungsausschusses
für das Deutsche Glockenwesen
- 13:15 - 15:15Uhr **Schutz und Erhalt von Glocken**
Das Europäische Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell®.
Verfahren zur Beurteilung von Glocken
Prof. Dr. Andreas Rupp, Hochschule Kempten ECC-ProBell®

Prinzipien der Denkmalpflege bei der Sanierung von Kirchenglocken anhand von
Beispielen
Rolf-Dieter Blumer, Metallrestaurator der Landesdenkmalpflege
in Baden-Württemberg

Läuteoptimierung zur Schonung von Glocken
Dr. Michael Plitzner, Hochschule Kempten ECC-ProBell®
- 15:15Uhr **Pause**
- 16:00 - 18:15Uhr **Glockenläuten – Wohlklang und Lärm**
Klangbildung und Klangwirkung – Beobachtungen zum Einfluss des technischen
Umfelds auf die Glockenmusik
Dr. Matthias Walter, Denkmalpfleger im Kanton Bern

Sanierung unter baulastdynamischen, klanglichen und glockenschonenden Aspekte –
eine Werkschau
Johannes Wittekind, Glockensachverständiger Erzbistum Freiburg

Simulation des Klöppelanschlags – Einfluss der Klöppelgestaltung auf den Klang
Prof. Dr. Andreas Rupp / Denis Spiess, Hochschule Kempten ECC-ProBell®

Glockenklang als Schallimmission in der Nachbarschaft. Gesundheitliche Aspekte
und Schallcharakteristik
Prof. Dr. Peter Lercher, Medizinische Universität Innsbruck
- 18:15Uhr **Pause**



19:00Uhr **Festvortrag:** Glockenläuten als Kultursymbol – aus der Perspektive eines Juristen
Prof. Dr. Ansgar Hense, Institut für Staatskirchenrecht der Diözesen Deutschlands

Donnerstag, 22. März 2018

8:30 - 10:00Uhr **Turmschwingungen und Sanierungskonzepte**

Die Bedeutung der DIN 4178 bei der Planung und Sanierung von Geläuten und Glockentürmen

Axel Bißwurm, Ingenieurgruppe Bauen

Läuteoptimierung in der Anwendung – Schwingungsdynamische Türme und Schallreduktion

René Spielmann, Glockengießerei H. Rüetschi AG

10:00Uhr **Pause**

10:30 - 12:30Uhr **Der musikalische Fingerabdruck von Glocken /
Glocken aus Ersatzmaterialien**

Eine 2. Chance für Stahlgeläute. Möglichkeiten zur Klangverbesserung durch Optimierung der Läutebedingungen

Sören Draack, Georg Rauscher Turmuhrenfabrik GmbH

Der musikalische Fingerabdruck von Glocken

Dr. Michael Plitzner, Hochschule Kempten ECC-ProBell®

Schäden an Euphonglocken – Mögliche Sanierungsansätze

Thomas Winkelbauer, Glockensachverständiger Bistum Eichstätt

12:30Uhr **Abschluss und Ausblick**

Prof. Dr. Andreas Rupp, Hochschule Kempten ECC-ProBell®

12:45Uhr **Imbiss**

14:00 - 15:00Uhr **Besichtigung des Glockenlabors & Präsentation aktueller Forschungen**

Dr. Michael Plitzner / Denis Spiess, Hochschule Kempten ECC-ProBell®

14:00 - 16:30Uhr **Glocken der Kemptener Stadtkirchen**

Geläute der St.-Mang-Kirche

Walter Erdt, Glockensachverständiger Landeskirche Bayern

Geläute der Basilika St. Lorenz

P. Stefan Kling, Glockensachverständiger Bistum Augsburg





