



# Die Stahlgussglocken der evangelischen Auferstehungskirche in Karlsruhe-Rüppurr Ersatz für Bronzeglocken?

*Stahlgussglocken haben einen schlechten Ruf, was ihre Qualität und Erhaltungsfähigkeit angeht. Es herrscht die weitverbreitete Meinung, dass Stahlgussglocken nach etwa 100 Jahren reißen oder brechen würden. So sollten die nun 92 Jahre alten Glocken der evangelischen Auferstehungskirche in Karlsruhe-Rüppurr durch ein neues Geläut ersetzt werden. Untersuchungen der Werkstoffeigenschaften des Stahls und Messungen der Läutebedingungen vor Ort zeigten dagegen, dass der schlechte Ruf der Stahlgussglocken völlig unbegründet ist und ein optimiertes Läuten die Beanspruchung der Glocken verringern und den Klang sogar noch verbessern kann. Nach den aktuellen Untersuchungsergebnissen können die Stahlgussglocken der Auferstehungskirche erhalten werden.*

Rolf-Dieter Blumer/Ute Fahrbach-Dreher/Joachim Kinder/Lisa Masen/Michael Plitzner/  
Andreas Rupp

## Die Geschichte der Auferstehungskirche

Das Stahlgeläut der evangelischen Auferstehungskirche in Karlsruhe-Rüppurr war seit den 1990er Jahren zum Austausch vorgesehen. Der Klang der vier Glocken wird als zu laut und unschön empfunden und sie galten aufgrund ihres Alters und Materials als abgänglich. Die Pfarrgemeinde plante die Anschaffung eines Bronzegeläuts.

Warum fordert die Denkmalpflege den Erhalt der Stahlglocken, obwohl sie nicht einmal aus der Erbauungszeit der Kirche stammen? Das Gebäude wurde von 1906 bis 1908 nach Plänen von Rudolf Burckhardt, dem Vorstand der evangelischen Kir-

chenbauinspektion, errichtet (Abb. 1). Finanziert wurde der Neubau durch den badischen Hof. Künstlerisch hochrangig sind die Fenster mit mehrfigurigen Darstellungen und Porträtfenstern. Neben dem theologischen Programm fallen die Darstellungen von Markgraf Karl Friedrich und Großherzog Friedrich I. von Baden sowie Fürst Bismarck und Kaiser Wilhelm I. auf (Abb. 2). Damit sollte der mehrheitlich sozialdemokratisch eingestellten Bevölkerung Rüppurrs die Verbindung von Altar und Thron vor Augen geführt werden.

Im Ersten Weltkrieg, in dem die politische Ordnung der Erbauungszeit unterging, musste das Bronzegeläut zum Zweck der Waffenproduktion abgegeben werden. 1922 wurde ein Stahlgeläut vom Bochumer Verein gekauft. Es ist ein zeitgeschichtliches Dokument, dessen Erhaltung nur durch neue wissenschaftliche Untersuchungen möglich wurde. Die Pfarrgemeinde hat inzwischen die Erhaltung der Glocken akzeptiert, wird den bauzeitlichen Stahlglockenstuhl erhalten und hofft auf eine klangliche Verbesserung mithilfe der unten geschilderten Untersuchungen.

## Gusstahlglocken des Bochumer Vereins

Als der gebürtige Schwabe Jakob Mayer anlässlich der Provinzial-Gewerbe-Ausstellung für Rheinland und Westfalen in Düsseldorf im Jahr 1852 erstmals Gusstahlglocken seiner Firma Mayer & Kühne der Öffentlichkeit vorstellte, ging es ihm in erster Linie darum, zu zeigen, dass man Stahl genauso wie Ei-



1 Die evangelische Auferstehungskirche in Rüppurr.

sen grundsätzlich auch zu großen Bauteilen vergießen kann. Er hatte nach vielen Experimenten endlich ein Formmaterial gefunden, das die außerordentlich hohen Gießtemperaturen einer Stahlschmelze von mehr als 1600 °C aushält. Nur kurze Zeit später wurde durch eine Kabinettsorder des preußischen Königs der „Bochumer Verein für Gußstahl-Glocken“ gegründet, der bis zu seiner Schließung als „Bochumer Verein“ durch den letzten Eigentümer, den Krupp-Konzern, im Jahr 1970 mehr als 38000 Glocken, davon über 18000 für kirchliche Zwecke, hergestellt hat. International am bekanntesten dürften die Friedensglocken in Hiroshima sein, die vom „Bochumer Verein“ hergestellt wurden.

Legendär ist die Auseinandersetzung zwischen Alfred Krupp und Jakob Mayer auf der Weltausstellung in Paris 1855. Bei dieser Gelegenheit ließ Jakob Mayer eine Stahlgussglocke zerschlagen und schmiedeten, um Krupp zu beweisen, dass es sich tatsächlich um schmiedbaren Stahl und eben nicht um nicht schmiedbares Gusseisen handelte. Für seine Stahlgussglocken erhielt Mayer die Große Goldene Ehrenmedaille der Pariser Weltausstellung verliehen. Schon 1852 wies Mayer darauf hin, dass „... diese [Gussstahl-]Glocken einen ebenso reinen Ton und eine noch größere Haltbarkeit, als die bronzenen haben, [deshalb] sind dieselben schon des bedeutend billigeren Preises halber, welcher noch nicht  $\frac{2}{3}$  des Preises der bronzenen Glocken beträgt, den letzteren unbedingt vorzuziehen“.

### Untersuchung der Werkstoffeigenschaften

Stahlgussglocken werden bis heute als minderwertiger Ersatz für Bronzeglocken angesehen, da sie angeblich nach spätestens 100 Jahren reißen be-

ziehungsweise brechen. Diese 100-Jahre-Regel gilt aber ausschließlich für gusseiserne Glocken, die tatsächlich relativ häufig reißen. Bis heute ist dagegen keine Stahlgussglocke durch einen Bruchschaden auffällig geworden. Auch aufgrund dieses Missverständnisses erfolgte an der größten Stahlgussglocke der Auferstehungskirche in Karlsruhe-Rüppurr nach rund 90-jähriger Einsatzdauer eine Probennahme aus dem Bereich ihres Schlagrings (Abb. 3; 4), um die Werkstoffeigenschaften der Glocke zu prüfen und zu bewerten. Dabei fiel auf, dass es nur wenige Quellen gibt, aus denen Informationen zu den Werkstoffeigenschaften von Stahlgussglocken hergeleitet werden können.

Die chemische Analyse der Probe ließ auf einen unlegierten Stahlguss mit knapp 0,9 Massenprozent Kohlenstoff schließen. Unlegiert bedeutet, dass der Stahl neben dem Kohlenstoff und geringen Gehalten an Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel keine weiteren Legierungsbestandteile aufweist. Liegt der Kohlenstoffanteil des Stahls über 0,8 Prozent, so nennt man den Stahl übereutektoid. Nach modernen Gesichtspunkten handelt es sich beim Stahl der Glocken um einen ungewöhnlich kohlenstoffreichen übereutektoiden Stahlguss, für den es keine Vergleichsvorgaben im Sinne von normativen Festlegungen gibt. Der übereutektoiden Charakter des Stahlgusses bestätigte sich auch bei der Untersuchung des metallografischen Schliffs. Im Schliff ist ein nahezu vollständig im normalisierten Zustand vorliegendes so genanntes Perlitgefüge mit etwas Korngrenzementit zu sehen (Abb. 5). Die Härte des Probestücks wurde mit rund 230 HV10 bestimmt. Dieser Härtewert kann gemäß DIN EN ISO 18265 in eine näherungsweise Zugfestigkeit von 740 MPa umgewertet werden, das heißt im Vergleich etwa zu Baustahl liegt eine deutlich erhöhte Festigkeit vor. Höhere Festigkei-



2 Bismarck im Glasfenster der Kirche.

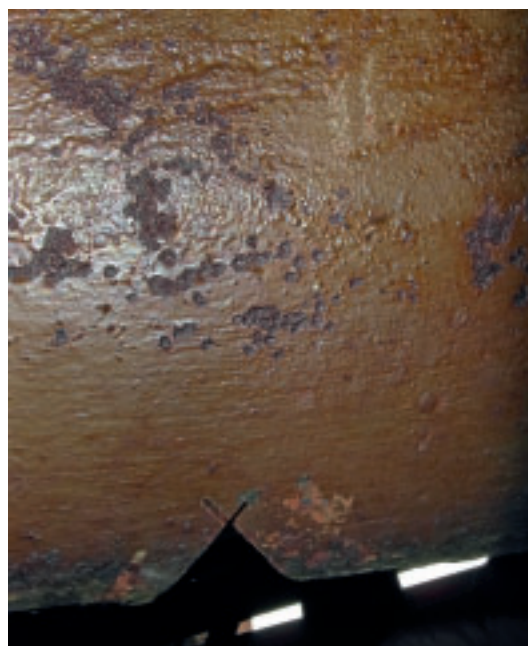
### Glossar

#### Glockenrippe

Querschnittshälfte einer Glocke. Da Glocken Rotationskörper sind, kann mit dem halben Querschnitt die Form der Glocke beschrieben werden.

#### Gusseisen

Gusseisen hat einen im Vergleich zu Stahl höheren Kohlenstoffgehalt von über 2,06 Prozent. Es schmilzt bei niedrigeren Temperaturen als Stahl. Gusseisen ist hart und spröde und kann aus diesem Grund nicht durch Schmieden bearbeitet werden.



3 Probennahme aus dem Bereich des Schlagrings.

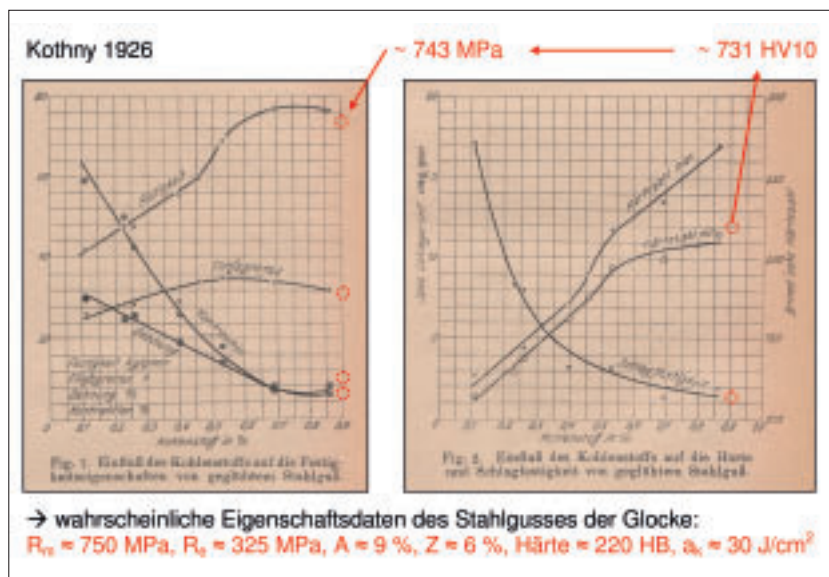
4 Probennahme aus dem Bereich des Schlagrings.



5 Metallografischer Schliff der Probe.

ten von Stählen führen aber leicht zu sprödem Materialverhalten. Aus diesem Grunde wurden aus der Probe drei Kleinstproben für Kerbschlagbiegeversuche entnommen. Mit dem Kerbschlagbiegeversuch lassen sich Zähigkeitseigenschaften von metallischen Werkstoffen und deren Bruchverhalten ermitteln. Die Kerbschlagbiegeversuche bestätigten das Vorliegen eines kaum zäh brechenden Stahls bereits bei Raumtemperatur. Da es keine aktuellen Normvorgaben für einen solchen Stahlguss gibt, erfolgte eine Literaturrecherche. Tatsächlich konnte eine Arbeit aus dem Jahr 1926 von E. Kothny ermittelt werden, die es ermöglichte, mit ausreichender Sicherheit – ausgehend von der Härte des Gusswerkstoffs und der daraus abgeleiteten Zugfestigkeit – auf realistische Werte für die Streck- beziehungsweise Dehngrenze, die Bruchdehnung und -einschnürung sowie schließlich auch für die Kerbschlagfestigkeit zu schließen (Abb. 6). Durch eine spätere Veröffentlichung von E. Kothny konnte darüber hinaus eindeutig festgestellt werden, dass der Stahlguss im normalgeglühten Zustand vorlag, was aber auch schon im metallografischen Schliff zu erkennen war. Gerade die Möglichkeit, die Stahleigenschaften durch ge-

6 Herleitung der Werkstoffeigenschaften aus der Härte der Probe und Angaben in der Literatur.



zielte Wärmebehandlungen zu beeinflussen, erlaubt es, den Werkstoff auch für Läutezwecke zu optimieren. Auch ist es möglich, Stahlgussglocken genauso wie Bronzeglocken durch Schweißungen zu reparieren, falls trotz der deutlich höheren Festigkeitseigenschaften des Stahlgusses im Vergleich zur Bronze dennoch einmal ein Riss auftreten sollte, denn das Schweißen von Stählen ist im Vergleich zum Schweißen von Bronzen ein eingeführtes und häufig genutztes Verfahren.

## Das mechanische System „Glocke“ und seine dynamischen Eigenschaften

Jede Glocke, unabhängig vom verwendeten Material, ist Teil eines mechanischen Systems, bestehend aus zwei schwingfähigen Komponenten: zum einen der Glocke selbst, die fest mit dem Joch verbunden ist und durch die Läutemaschine zum Schwingen angeregt wird, und zum anderen dem Klöppel, der seine Anregung durch die Bewegung der Glocke erhält. Aufgrund der Abhängigkeit des Klöppels von der Glockenbewegung muss der Klöppel dynamisch auf die Komponente Glocke/Joch abgestimmt sein, damit ein gleichmäßiges Läuten bei niedrigen Beanspruchungen sowie eine gute Klangentfaltung der Glocke erreicht werden. Für die Systeme von Bronzeglocken wurden seit 2005 im Europäischen Kompetenzzentrum für Glocken ECC-ProBell in Labortests sowie an über 50 Glocken in Kirchtürmen die Bedingungen für eine gute Abstimmung beider Komponenten ermittelt und durch Computersimulationen weiter optimiert.

Mit den Untersuchungen an den vier Glocken der Auferstehungskirche Karlsruhe-Rüppurr konnte der Nachweis erbracht werden, dass die entwickelten Verfahren und Computermodelle auch auf Stahlglockensysteme anwendbar sind.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen Glocken aus Bronze und solchen aus Gussstahl hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften bestehen in der bei Gussstahl niedrigeren Dichte von etwa  $7,8 \text{ kg/dm}^3$  gegenüber Bronze mit  $8,7 \text{ kg/dm}^3$  sowie dem höheren Elastizitätsmodul von Gussstahl, der circa das Anderthalbfache des Elastizitätsmoduls von Bronze aufweist. Letztere Eigenschaft führt dazu, dass Gussstahlglocken, die mit ähnlicher Rippenkonstruktion wie Bronzeglocken gegossen werden, bei gleicher Tonhöhe deutlich größer ausfallen und trotz niedrigerer Dichte deutlich schwerer als Bronzeglocken sind. Um dem entgegenzuwirken, wurden die Rippenformen modifiziert und die Wandung von Gussstahlglocken vor allem bis in die 1940er Jahre deutlich schwächer ausgeführt als bei Bronzeglocken. So haben die untersuchten Stahlglocken eine Schlagringstärke von nur etwa 5,5 Prozent des Glockenumfangs,

Bronzeglocken mit mittelschwerer Rippe weisen dagegen eine Schlagringstärke von circa 7,5 Prozent des Glockenumfangs auf.

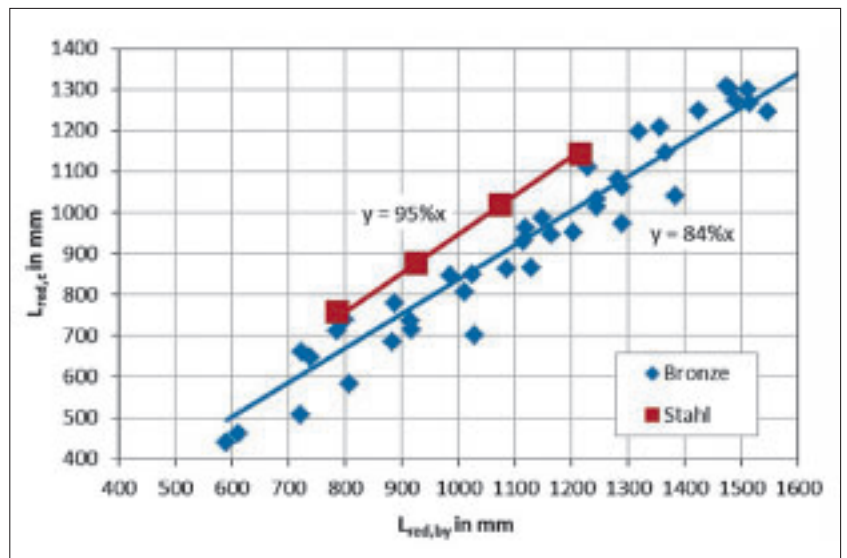
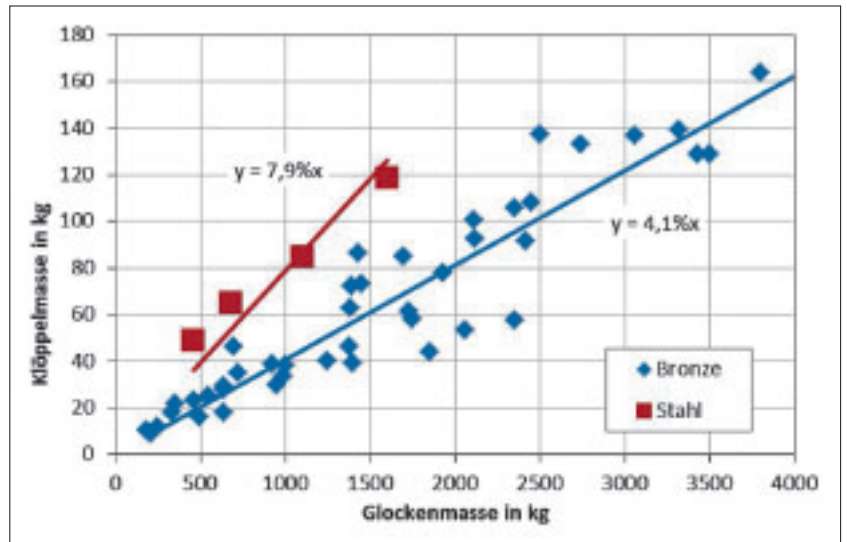
Aufgrund der veränderten Geometrie von Stahlglocken, der werkstoffbedingten höheren Materialdämpfung, Festigkeit und Härte von Gussstahl sowie den daraus resultierenden typischen Läutebedingungen sind auch die Klöppel entsprechend angepasst worden. Insbesondere die Klöppel, die noch zum Originalbestand gehören und vom „Bochumer Verein“ passend zur jeweiligen Glocke ausgeliefert wurden, sind deutlich schwerer ausgeführt als Klöppel in vergleichbaren Bronzeglocken. So beträgt das mittlere Gewicht der Klöppel des „Bochumer Vereins“ etwa 8 Prozent des Glockengewichts, was etwa dem doppelten Klöppelgewicht bei Bronzeglocken entspricht (Abb. 7).

Weiterhin fällt auf, dass die vom „Bochumer Verein“ eingesetzten Klöppel eine dynamische Auslegung besitzen, die mit einer besonders hohen Flugfreudigkeit des Klöppels verbunden ist, das heißt, dass bereits ein relativ niedriger Lätewinkel der Glocke ausreicht, um den Klöppel zum beidseitigen Anschlagen zu bringen. Im Vergleich zu Bronzeglocken kommen in den untersuchten Stahlglocken Klöppel zum Einsatz, die eine verhältnismäßig große so genannte reduzierte Pendellänge und damit eine relativ hohe Massenkonzentration im Ballen und im Vorschwung unterhalb des Ballens besitzen. Bei den untersuchten Glocken liegt das Verhältnis der Pendellängen von Klöppel  $L_{red,K}$  und Glocke/Joch  $L_{red,GJ}$  bei 95 Prozent, bei vergleichbaren Bronzeglocken im Mittel nur bei 84 Prozent (Abb. 8). Diese Abstimmung führt zu einem gleichmäßigen Anschlagen des Klöppels bereits bei niedrigen Lätewinkeln von unter  $45^\circ$ ; allerdings werden diese Stahlgussglocken mit circa  $60^\circ$  Lätewinkel in der Praxis deutlich höher geläutet.

Da mit zunehmendem Lätewinkel die Anfluggeschwindigkeit des Klöppels stetig steigt, nimmt auch die Anschlagsintensität des Klöppels zu. Damit ist der Anschlag bei Stahlglocken durch den gegenüber Bronzeglocken doppelt so schweren Klöppel, der zudem mit höherer Geschwindigkeit anfliegt, deutlich härter als der Anschlag bei Bronzeglocken.

### Beanspruchungen beim Läuten

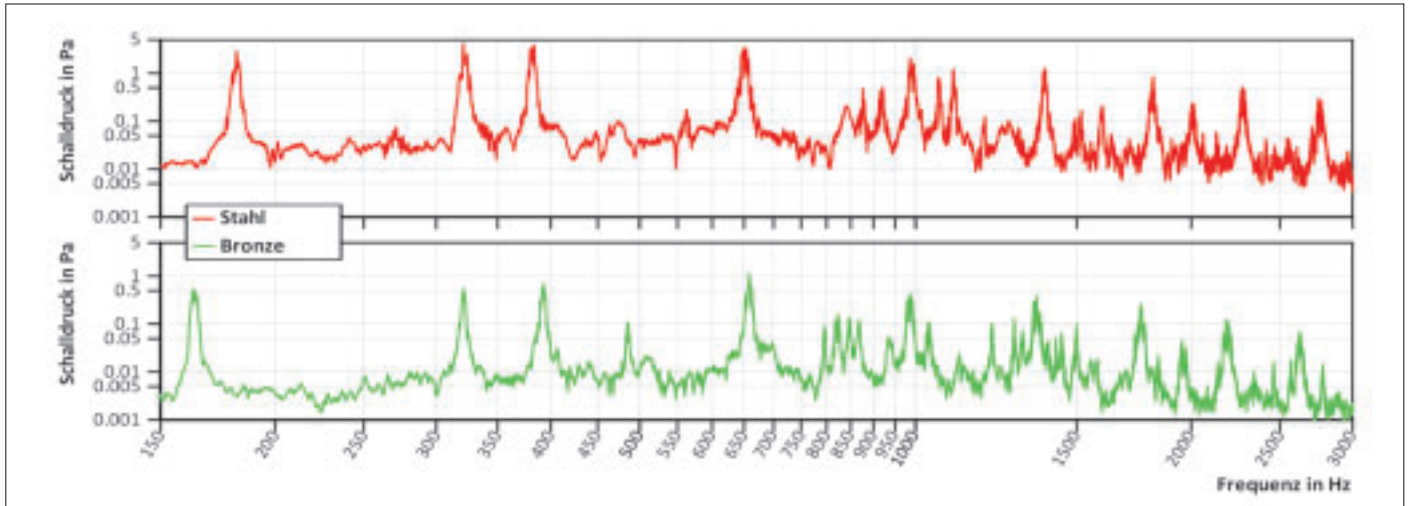
Zur Ermittlung der tatsächlichen Glockenbeanspruchungen beim Läuten wurden Messungen bei den vorhandenen Läutebedingungen durchgeführt. Zur installierten Messtechnik gehörten unter anderem ein Beschleunigungssensor am Klöppel, um die Anschlagsintensität ermitteln zu können, und Dehnungsmessstreifen an den hoch beanspruchten Stellen der Glocke zur Erfassung der örtlichen Verformungen.



Im Vergleich zu Bronzeglocken können an den untersuchten Stahlglocken ähnliche Verhältnisse zwischen der Anschlagsintensität des Klöppels und den Beanspruchungen der Glocke festgestellt werden. Mit zunehmender Klöppelbeschleunigung steigen auch die tatsächlich gemessenen Verformungen und damit die Beanspruchungen der Glocke. Die höchsten Spannungen treten dabei immer kurz nach dem Klöppelanschlag auf. So wurden mithilfe von Dehnungsmessstreifen an den höchstbeanspruchten Stellen im Mittel maximale Spannungen von 45 MPa ermittelt, das ist circa doppelt so hoch wie bei vergleichbaren Bronzeglocken. Aufgrund der noch fehlenden Materialkennwerte zur Beurteilung der Beanspruchbarkeit des Gussstahls können zwar noch keine gesicherten Angaben zur Ermüdung und zur erwarteten Lebensdauer gemacht werden, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass die relevanten Festigkeitswerte auch mindestens doppelt so hoch wie bei Bronzeglocken liegen. Damit lassen sich die Verfahren zur Abschätzung der Glockenbeanspruchungen beim Läuten und zur Bewertung von Ermüdungsschäden anhand der dynamischen

7 Verhältnis des Glockengewichtes zum Klöppelgewicht.

8 Verhältnis Klöppeldynamik zu Glockendynamik.



9 Klangspektrum einer Stahl- und Bronzeglocke beim Läuten.

Eigenschaften des Systems auch für Gusstahlglocken zumindest relativ anwenden.

### Der Klang

Der Klang von Stahlgussglocken weist einige Besonderheiten gegenüber Bronzeglocken auf. Aufgrund der veränderten Form kommt es zu Abweichungen im Schwingverhalten des Klangkörpers und damit zu einem anderen Klangbild. Dies äußert sich vor allem durch andere Intervallabstände zwischen den einzelnen Teiltönen der Glocke, die teilweise zu Disharmonien führen (Abb. 9).

Weiterhin bewirkt die höhere Materialdämpfung von Stahlguss gegenüber Bronze ein vermindertes Klangvermögen und daher eine geringere Nachhallzeit der Glocke.

Schließlich kommt es aufgrund der hohen Anschlagsintensität des Klöppels zu einem insgesamt höheren Schalldruckniveau bei Stahlglocken als bei vergleichbaren Bronzeglocken. In weiterführenden Untersuchungen könnte geklärt werden, ob das deutlich härtere und energiereichere Anschlagen des Klöppels zwingend erforderlich ist, um eine gute Klangentfaltung der Stahlglocken zu gewährleisten.

### Fazit

Die Stahlgussglocken, die nach dem zu Kriegszwecken abgegebenen Bronzeerguss gekauft wurden, sind ein Dokument für die Auswirkungen des Ersten Weltkriegs in Ruppurr. Gleichzeitig sind sie ein Dokument für die Entwicklung des Gusstahls, den technischen Fortschritt und die Industrialisierung im 19. Jahrhundert. Die Konkurrenz zwischen Jakob Mayer und Alfred Krupp zeigt, wie emotional neue Entwicklungen in der Stahlproduktion umkämpft waren.

Insofern stellen Stahlgussglocken keinen minderwertigen Ersatz für Bronzeglocken dar. Sie sind ohne Zweifel ein im denkmalpflegerischen Sinne

schützenswertes und eigenständiges Kulturgut neben Bronzeglocken.

Die vorliegenden Verfahren und Computermodelle, die anhand umfangreicher Untersuchungen an Bronzeglocken erarbeitet wurden, lassen sich auch auf Stahlglocken anwenden, um ein optimiertes Läuten hinsichtlich Beanspruchungen und Klang zu erreichen. Eine quantitative Abschätzung des Risikos für Ermüdungsschäden und des Verschleißes ist wegen noch fehlender Werkstoffkennwerte derzeit nur auf Basis von Annahmen zur Werkstofffestigkeit der Glocken im Turm möglich.

### Literatur

E. Kothny: Stahl- und Temperguss. Julius Springer Verlag, Berlin 1926.  
Westfälisches Volksblatt, Nr. 17, 28. April 1852.

**Rolf-Dieter Blumer**

*Dipl.-Rest. Lisa Masen*

*Regierungspräsidium Stuttgart*

*Landesamt für Denkmalpflege*

**Dr. Ute Fahrbach-Dreher**

*Regierungspräsidium Karlsruhe*

*Referat 26 – Denkmalpflege*

**Dr. Joachim Kinder**

*Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart (MPA Stuttgart)*

*Referat 52350 – Schadensanalyse im Maschinenbau*

*Pfaffenwaldring 32*

*70569 Stuttgart*

**Dipl.-Ing.(FH), Dipl.-Theol. Michael Plitzner**

**Prof. Dr.-Ing. Andreas Rupp**

*Europäisches Kompetenzzentrum für Glocken – ECC ProBell®*

*Hochschule Kempten*

### Normalglühen oder Normalisieren

Wärmebehandlung von Stahl, bei der das Werkstück erwärmt und an der Luft abgekühlt wird, um ein feinkörnigeres, gleichmäßiges Gefüge zu erzeugen, als man es der Stahlzusammensetzung entsprechend normalerweise erwarten würde.

### Stahlguss

In Formen gegossener Stahl. Stahl hat Kohlenstoffgehalte von unter 2,06 Prozent. Bei Kohlenstoffgehalten zwischen 0,8 und 2,06 Prozent spricht man von übereutektoidem Stahl. Stahl hat wesentlich höhere Schmelztemperaturen als Gusseisen.