



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sicherungen gegen Einbruch

Marx, Erwin

Darmstadt, 1884

3. Kap. Glockenstühle.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-78856](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-78856)

Vorrichtungen in Wänden, Decken und Sitzbänken bei Kirchen, Theatern, Kuppeln, Parlaments- und anderen Hörfälen zur Beförderung der Akustik durch Deflexion der Schallwellen. Deutsche Bauz. 1881, S. 9.

Die Verbesserung der Akustik in Hörfälen. Wochbl. f. Arch. u. Ing. 1881, S. 160.

Aus der Lehre vom Schall. HAARMANN'S Zeitschr. f. Bauhdw. 1881, S. 50, 57.

LACHEZ, Th. *Acoustique et optique des salles de réunion etc.* Paris 1881.

Oakey, A. F. *Acoustics in architecture.* Architect, Bd. 40, S. 195.

Acoustics in architecture. Engineering magazine 1881. Building news, Bd. 41, S. 391.

FAVARO, A. *L'acustica applicata alla costruzione delle sale per spettacoli e pubbliche adunanze.* Turin 1882.

Verbesserung der Akustik durch Netze von Metalldrähten. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 78. Gefundh.-Ing. 1882, S. 217.

TYNDALL, J. *Sound.* 4th edit. London 1883.

3. Kapitel.

Glockenftühle.

Von KÖPCKE.

Schon seit dem frühen Mittelalter finden wir die Thürme der christlichen Kirchen, später auch die Festungs- und Rathhaustürme (Belfriede) für die Zwecke der bürgerlichen Gemeinden mit Glockengeläuten versehen; jedoch kommen erst seit der Mitte des 13. Jahrhunderts grössere gegoffene Glocken vor, deren Anbringung und Bewegung uns hier zu beschäftigen hat.

51.
Allgemeines.

Eine Glocke stellt einen Rotationskörper dar, welcher beim Anschlagen in Transversalschwingungen geräth, deren Knotenpunkte in zwei sich rechtwinkelig kreuzenden Durchmessern liegen, welche die Klangfigur bilden, während der Körper an der Durchkreuzungsstelle in der Achse fest gehalten wird. Massgebend für die Höhe des Haupttones einer Glocke ist ausser dem grössten Durchmesser die Wandstärke nächst dem unteren Rande, wohin der Klöppel trifft. Die Stärke an dieser Stelle heisst der Schlag und bildet im Wesentlichen die Grundlage für alle übrigen Abmessungen der Glocke, deren Verhältnisse im Laufe der Zeit für grössere Bezirke ziemlich fest stehende geworden sind. Bei ähnlichen Glocken aus demselben Materiale steht die Tonhöhe in umgekehrtem Verhältnisse zur Grösse; eine Glocke also, welche einen um eine Octave höheren Ton geben soll, als eine andere, muss linear halb, an Inhalt also $\frac{1}{8}$ so gross sein, als die den Grundton liefernde. Der Achsenschnitt einer Glocke wird die Rippe genannt, und man kennt in Mittel-Europa namentlich die deutsche und die französische Rippe, welche hauptsächlich dadurch von einander abweichen, dass bei der deutschen Rippe der untere Durchmesser 14 Schlag, die Höhe 10,27 Schlag, bei der französischen der untere Durchmesser 15 Schlag, die Höhe 12 Schlag gross ist.

Es sind indess die Gewichte der Glocken auch bei der Anwendung derselben Rippe nicht ohne Weiteres aus der Tonhöhe oder dem Durchmesser zu berechnen; es kommt vielmehr bei dieser Berechnung zunächst das Material in Frage. Bekanntlich werden die Glocken fast ausschliesslich aus Bronze — etwa $\frac{3}{4}$ bis $\frac{4}{5}$ Kupfer und $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ Zinn — gegossen; es kommen aber auch Glocken aus Gusstahl und Gusseisen vor, welche ungeachtet der etwa gleichen Gestalt und Grösse deshalb nicht gleich hohe Töne wie Bronze-Glocken geben können, weil die Tonhöhe (Zahl der transversalen Schwingungen in der Zeiteinheit) mit dem Elasticitäts-Modul und umgekehrt mit dem specifischen Gewichte zunimmt. Da nun Gusstahl einen grösseren Elasticitäts-Modul und ein kleineres specifisches Gewicht, als Bronze hat, so müssen Gusstahlglocken höhere Töne geben, als gleich dimensionirte Bronze-Glocken; sie müssen daher behuf Ergänzung gleich hoher Töne entweder durchweg grösser oder bei gleichen äusseren Abmessungen mit dünneren Wandungen versehen sein, als Bronze-Glocken; thatsächlich werden die Stahlglocken leichter, und zwar nach der Junck'schen Tabelle⁷⁶⁾ mit ca. 72 bis 75 Procent des Gewichtes der Bronze-Glocken hergestellt.

Es ist indessen selbst bei Verwendung gleichen Materials wegen der mechanischen Einwirkungen

⁷⁶⁾ In: JUNCK, D. V. Wiener Baurathgeber etc. Wien 1880. S. 249.

der flüssigen Glockenmasse auf die Gufsform äußerst schwer, das Glockengewicht von vornherein genau zu bestimmen; sodann aber ist es auch nicht zweckmäßig, den Glocken eine vollkommen ähnliche Form zu geben, wenn mehrere derselben zusammen ein Geläute bilden sollen, weil die Glocken je nach ihrer Gestalt aufser dem Haupttone noch mehrere andere Töne, insbesondere die nächst höhere Octave und dazwischen die kleine oder grofse Terz oder Quarte unterscheiden lassen. Da nun beispielsweise drei Glocken, wovon die größte den Grundton *C*, die mittlere die grofse Terz *E* und die kleinste die Quinte *G* liefert, während alle drei daneben die ihrem Haupttone zugehörige grofse Terz als Zwischenton geben, die Töne

C *E* *C*
 E *Gis* *E*
 G *H* *G*

unterscheiden lassen und somit wegen des gleichzeitigen Vorkommens der Töne *G* und *Gis*, so wie *H* und *C* einen höchst unharmonischen Klang erzeugen würden, so ist es nothwendig, bei der mittleren Glocke durch Abänderung ihrer Form statt des *Gis* ein *G* (also die kleine Terz) und bei der kleinsten Glocke statt des *H* ein *C* (also eine Quarte) zu Stande zu bringen. Ist es hiernach schon gar nicht zulässig, die Glocken genau ähnlich herzustellen, so kommt als fernere Ursache von Abweichungen der bis jetzt noch bestehende Mangel an einer genügenden wissenschaftlichen Glocken-Akustik, in Folge dessen ein gewisses Herumtappen bei der Wahl der Dimensionen und oft das Bestreben der Glockengießer hinzu, möglichst an Material zu sparen, und es ist daher erklärlich, daß die vorhandenen Tabellen über Glockengewichte grofse Abweichungen unter einander aufweisen.

Wir haben das Vorstehende deshalb hier einleitungsweise erwähnen zu müssen geglaubt, um den Leser auch in der Glockenkunde einigermaßen zu orientiren, namentlich aber um der irrigen Annahme zu begegnen, als seien alle Glocken von gleicher Tonhöhe auch gleich grof und schwer, eine Annahme, die wir der Einfachheit halber und weil es sich bei der Berechnung der Glockenstuhl-Constructionen nur um die Kraftwirkungen beim Läuten handelt, gleichwohl behuf Berechnung von Zahlenbeispielen zu Grunde legen werden.

a) Theoretische Untersuchungen.

52.
Elemente
der
Berechnung.

Eine schwingende Glocke ist als ein physisches Pendel anzusehen. Man bedarf daher behuf der Ermittlung der Kraftwirkungen bei dem Schwingungsvorgange und der Schwingungszeit der Kenntniß der Lage ihrer festen Drehachse, des statischen und des Trägheitsmomentes, somit auch ihrer Masse und der Lage ihres Schwerpunktes. Alle die gesuchten Größen sind auf den größten Glockendurchmesser am unteren Rande als Einheit zu beziehen. Es ist im Folgenden die deutsche Rippe ⁷⁷⁾, als die in Deutschland gebräuchlichste, den Ermittlungen zu Grunde gelegt und die benötigten Werthe dadurch möglichst genau ermittelt worden, daß das Profil zunächst in eine Anzahl von Ringen zerlegt wurde, welche man einzeln als Kegel ansah und demnächst die Summe der für den Hohlraum gefundenen Größen von der Summe der für die Oberfläche berechneten subtrahirte ⁷⁸⁾.

Die gefundenen Größen sind unter Nichtbeachtung der Henkel der Glocken folgende:

Inhalt der Glocke	$Q = 0,052292 D^3;$
Abstand des Schwerpunktes vom Scheitel der Glocke	$= 0,500045 D;$
Höhe des Schwerpunktes über der Grundebene	$= 0,2346 D;$
Trägheitsmoment in Bezug auf eine parallel der Grundebene gelegte Schwerpunktsachse	$\mathcal{I} = 0,005437 D^5 \frac{\gamma}{g},$
oder	$\mathcal{I} = 0,10397 Q D^2 \frac{\gamma}{g} \text{ 79).$

⁷⁷⁾ Dieselbe ist beschrieben und gezeichnet zu finden in:

ORTE. Glockenkunde. Leipzig 1858. S. 63.

RAU, E. Glockengießerkunst. Allg. Bauz. 1872, S. 330.

⁷⁸⁾ Bei dieser recht mühsamen Arbeit hat mir Herr Ingenieur *Otto Klette* vortreffliche Hilfe geleistet, wofür ich an dieser Stelle bestens danke.

⁷⁹⁾ Durch Zerlegen in 12 Ringe und unter Annahme der Mittellinien derselben als Schwerlinien hat Verf. früher

Für Glocken, die nach der französischen Rippe geformt sind, hat *Schinz*⁸⁰⁾ durch Zerlegung des Glockenprofils der Höhe nach in 20 Ringe, »welche ohne erheblichen Fehler so angenommen werden konnten, als ob die ganze Masse im Umfange des Kreises durch die Schwerpunkte der Querschnitte gleich vertheilt sei,« gefunden: den Inhalt zu $2\pi \cdot 7041,5 p^3$, worin p einen Punkt oder $\frac{1}{90}$ des unteren Durchmessers bezeichnet; demnach würde in D ausgedrückt der Inhalt sein

$$Q = 0,019373 D^3.$$

Für das Trägheitsmoment, bezogen auf einen unteren Durchmesser, findet *Schinz*

$$\mathcal{I} = 2\pi \cdot 13480897 p^5 = 0,014327 D^5 \frac{\gamma}{g}.$$

Rechnet man dagegen unseren obigen Werth entsprechend um, so folgt (nach Gleichung 42. in Theil I, Bd. 1, S. 266 dieses »Handbuches«)

$$\mathcal{I}_1 = \mathcal{I} + 0,23462^2 Q \frac{\gamma}{g} = D^5 \frac{\gamma}{g} (0,005437 + 0,2346^2 \cdot 0,032292) = 0,008315 D^5 \frac{\gamma}{g},$$

welche Differenz aus der länglicheren Form des von *Schinz* benutzten Glockenprofils zum Theile zu erklären ist.

Die Differenz wird geringer, wenn man das Trägheitsmoment in Q und D^2 ausdrückt, mithin das Volum, welches bei der *Schinz*'schen Glocke gegenüber der deutschen Glocke im Verhältniß von 59 : 52 größer ist, ausscheidet; alsdann findet sich bei *Schinz*

$$\mathcal{I}_1 = 1914 p^2 Q \frac{\gamma}{g},$$

oder durch $8100 = 90 \times 90$ dividirt,

$$\mathcal{I}_1 = 0,236 Q D^2 \frac{\gamma}{g},$$

während sich bei unserer Glocke findet:

$$\mathcal{I}_1 = 0,159 Q D^2 \frac{\gamma}{g}.$$

Endlich ist zur Erklärung dieser Differenz darauf hinzuweisen, dafs bei uns der Schwerpunkt um $0,2346 D$ über dem unteren Rande liegt, dagegen bei *Schinz*:

$$\frac{\text{Statistisches Moment}}{\text{Volum}} = \frac{2\pi \cdot 204803 p^4}{2\pi \cdot 7041,5 p^3} = 29,08 p = 0,323 D,$$

ein Unterschied, der sich aus der größeren Höhe ($0,8 D$ gegen $0,7346 D$ bei der deutschen Glocke) allein nicht erklärt und der somit eine noch sonst abweichende Massenvertheilung voraussetzen läßt.

Die Angaben *Veltmann's*⁸¹⁾ über die Kölner Kaiserglocke sind folgende.

Die Glocke mißt $3,42^m$ im unteren Durchmesser und $2,73^m$ in der Höhe; sie hat demnach ein Verhältniß der Höhe zum Durchmesser wie 12 : 15, entsprechend der französischen Rippe, wie sie auch bei der von *Schinz* gemessenen sich vorfindet. Die Zahlenangaben sind in Metern und Kilogrammen gemacht, müssen daher, um auf den unteren Durchmesser zurückgeführt werden zu können, mit der entsprechenden Potenz von $3,42$ und dem specifischen Gewicht der Bronze = $8,810$ dividirt werden. *Veltmann* beziffert nun die Masse zu $26\ 883\text{kg} = 0,082968 D^3 \gamma$. Das Trägheitsmoment in Bezug auf die Schwerpunktsachse

$$= \frac{1}{g} 40\ 096\text{kg qm} = 0,01058 D^5 \frac{\gamma}{g}.$$

Während also das Trägheitsmoment nahezu den doppelten Werth gegenüber jenem bei der deutschen Rippe hat, ist auch das Gewicht mehr als $1\frac{1}{2}$ -fach so groß, was durch die (sehr starke) Krone, welche wir nicht mitgerechnet haben und die auch von *Schinz* in die obigen Zahlen nicht mit eingerechnet ist, zum Theile sich erklärt.

Das Gewicht einer Glocke von 1^m Durchmesser nach der deutschen Rippe ergibt sich nach unserer obigen Ziffer beim specifischen Gewicht von $8,81$ zu $0,052792 \cdot 8810 = 460,7\text{kg}$, ausschließlic der zur Befestigung an die Drehachse dienenden Theile, der sog. Krone; dagegen wiegen die nach dieser Rippe vom Glockengießer *Große* in Dresden ausgeführten Glocken der Johannis-Kirche⁸²⁾ einschließlic der Krone die C-Glocke von $1,57^m$ Durchmesser $1853,8\text{kg}$ oder durch Division mit $1,57^3$ auf 1^m Durchmesser reducirt

diesen Werth zu $0,0081 Q D^2 \frac{\gamma}{g}$ gefunden (vergl. Protokoll der 75. Hauptversammlung des Sächf. Ingenieur-Vereins).

⁸⁰⁾ Siehe dessen am 26. Dec. 1863 in Bern gehaltenen und veröffentlichten Vortrag.

⁸¹⁾ In dessen Schrift: Die Kölner Kaiserglocke etc. Bonn 1880.

⁸²⁾ Nach gefälliger Angabe ihres Verfertigers.

478,3 kg; die E-Glocke von 1,22 m Durchmesser 912 kg oder auf 1 m Durchmesser reducirt 502,3 kg; die G-Glocke von 1,05 m Durchmesser 503 kg oder auf 1 m Durchmesser reducirt 434 kg.

Wie man sieht, sind diese Abweichungen nicht unerheblich; als Durchschnitt findet sich für einen Durchmesser von 1 m

$$\frac{1853,5 + 912 + 503}{1,57^3 + 1,22^3 + 1,05^3} = 477,6 \text{ kg,}$$

während die nach französischer Rippe gegossene, von Schinz unterfuchte Des-Glocke (in der Heiligengeist-Kirche zu Bern) bei 1,575 m Durchmesser ein Gewicht incl. Krone, »auf welche 125,5 kg gerechnet worden sind,« von 2376 kg besitzt; demnach auf 1 m Durchmesser reducirt das Gewicht von $\frac{2366}{1,575^3} = 608,1 \text{ kg}$, und wenn man, um mit unserem Werth von 460,7 kg für einen Durchmesser von 1 m ohne Einrechnung der Krone einen Vergleich anzustellen, das Kronengewicht abrechnet, so folgt $\frac{2250,5}{1,575^3} = 576 \text{ kg}$.

Schinz giebt nun an, daß dieses factische Gewicht sich größer herausgestellt habe; als sich unter Zugrundelegung des Durchmessers und der der französischen Rippe entsprechenden Profilverhältnisse ergibt, und es findet sich auch aus der vorhin angegebenen Ziffer das theoretische Gewicht zu nur $0,009373 \cdot 1,575^3 \cdot 8810 = 2043,5 \text{ kg}$ oder für 1 m Durchmesser berechnet zu 523,8 kg, ausschließlich der Krone.

Man wolle aus diesen Beispielen entnehmen, daß die Glockengewichte, abgesehen selbst von der Verschiedenheit ihrer Form, auch bei beabsichtigter Herstellung ähnlicher Profile und gleichem unteren Durchmesser noch ziemlich bedeutende Abweichungen ergeben und daß die dafür bestehenden Tabellen⁸³⁾ zwar als Anhalte für eine Veranschlagung — wofür sie bestimmt sind — nicht aber für jeden Einzelfall zutreffende Zahlen geben können. Sodann ist wenigstens beiläufig zu bemerken, daß ältere Glocken verhältnismäßig noch bedeutendere Höhen haben, als sich auch nach dem französischen Profil ergeben würde.

Wegen aller dieser Abweichungen erscheint es mindestens gerathen, das Gewicht, bezw. Volum der Glocken bei der Berechnung für sich aufzuführen, und es soll daher in Folgendem in der Regel demgemäß verfahren und mit dem Werthe

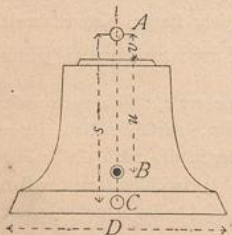
$$\mathcal{F} = 0,10397 Q \frac{\gamma}{g} D^2$$

gerechnet werden.

Die Wirkung der schwingenden Glocken auf ihre Lager und damit auf die Glockenstühle ist außer der Größe der Glocken von der Lage der Drehachse über dem Schwerpunkte abhängig.

Bei der gewöhnlichen Aufhängungsart liegt die Drehachse stets erheblich höher, als die Krone der Glocke, und zwar fand sich bei mehreren deshalb angestellten Messungen der Abstand v (Fig. 58) zu $1\frac{2}{3}$ Schlag oder, da 14 Schlag auf den Durchmesser gehen, $v = 0,119 D$.

Fig. 58.



Wird nun vom Eigengewichte der Achse, wie vom statischen und Trägheitsmomente derselben, welche augenscheinlich auf Verkleinerung der Centrifugalkraft und somit der Beanspruchung hinwirken, im Interesse der Sicherheit abgesehen, so ergibt sich für die Glocke allein der Abstand s des Schwingungspunktes C von der Drehachse A

$$s = \frac{(u + v)^2 Q + \mathcal{F}}{Q(u + v)} = u + v + \frac{\mathcal{F}}{Q(u + v)},$$

oder in Zahlen

⁸³⁾ Eine solche ist in der »Deutschen Bauzeitung« 1870, S. 238 enthalten und in Klaffen's »Handbuch der Hochbau-constructionen in Eisen« (Leipzig 1876), S. 230 auszugsweise wieder gegeben. Darin ist eine Glocke von 1 m Durchmesser zu 537 kg Gewicht veranschlagt.

$$s = (0,500045 + 0,119) D + \frac{0,10397 Q D^2}{Q (0,500045 + 0,119) D} = 0,787 D.$$

Unter Annahme eines bestimmten Ausschlagwinkels und damit der Bogenhöhe h des vom Schwingungspunkte beschriebenen Weges ist die Schwingungszeit

$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g} \left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{h}{2s} + \left(\frac{1,3}{2,4}\right)^2 \left(\frac{h}{2s}\right)^2 + \dots \right]}.$$

Für die Ermittlung der Kräftewirkungen haben wir vom Abstände s des Schwingungspunktes von der Drehachse Gebrauch zu machen.

Es sei nun (Fig. 59) für eine beliebige Stelle der Schwerpunktsbahn die Fallhöhe x ; alsdann ist die auf Bewegung verwandte mechanische Arbeit (abgesehen von den passiven Widerständen) gleich der gewonnenen lebendigen Kraft. Somit besteht, wenn die Winkelgeschwindigkeit ω ist und $v + u = r$ gesetzt wird, die Gleichung

$$Q x = \frac{Q}{g} (\omega r)^2 + \mathcal{F} \omega^2$$

oder, da

$$\frac{Q r^2 + \mathcal{F}}{Q r} = s,$$

$$Q x = Q \frac{\omega^2}{2g} r s,$$

woraus

$$x = \frac{\omega^2}{2g} r s \quad \text{und} \quad \omega = \sqrt{\frac{2g x}{r s}}.$$

Nehmen wir nun an, daß der Schwerpunkt bei der höchsten Lage der Glocke sich um die Größe a über die Drehachse erhebt, dann ist die Fallhöhe beim Neigungswinkel α gegen die Verticale

$$x = a + r \cos \alpha;$$

da ferner $d\alpha = \omega dt$ gesetzt werden kann, so ist

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{g}{s} \sin \alpha.$$

Wird nun das Massenelement mit m , sein Abstand von der Drehachse mit ρ , seine Geschwindigkeit mit v bezeichnet, so ist die Centrifugalkraft $c = \frac{m v^2}{\rho}$, und, da $v = \rho \omega$ ist,

$$c = m \rho \omega^2.$$

Dies ist das statische Moment des Elementes multiplicirt mit dem Quadrat der Winkelgeschwindigkeit; folglich ist für den ganzen Körper die Centrifugalkraft gleich

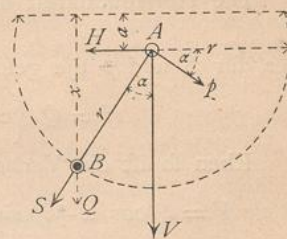
$$\frac{Q}{g} r \omega^2.$$

In derselben Richtung wirkt die nicht zur Hervorbringung von Beschleunigung thätige Componente des Glockengewichtes $= Q \cos \alpha$; es ist somit die Spannung in der Pendellinie der Glocke

$$S = Q \left(\cos \alpha + \frac{r}{g} \omega^2 \right),$$

oder, da $\omega^2 = \frac{2g x}{r s}$,

Fig. 59.



$$S = Q \left(\cos \alpha + \frac{2x}{s} \right).$$

Da wir es hier nicht mit einem mathematischen Pendel zu thun haben, so kann die Beschleunigung der Winkelbewegung nur zu Stande kommen unter gleichzeitiger Erzeugung eines Widerstandes p der Drehachse in rechtwinkliger Richtung zur Mittellinie; der Hebelsarm ist der Schwerpunktsabstand r , und es ergibt sich aus der Gleichsetzung von Arbeit und Kraft

$$p r \omega dt = \mathcal{F} \omega d\omega \quad \text{oder} \quad p r = \mathcal{F} \frac{d\omega}{dt}.$$

Setzt man nun für $\frac{d\omega}{dt}$ den vorhin gefundenen Werth $\left(\frac{d\omega}{dt} = \frac{g}{s} \sin \alpha \right)$ ein, so ist

$$p = \frac{\mathcal{F}}{r} \frac{g}{s} \sin \alpha.$$

Die Horizontalkraft der schwingenden Glocke ist nun

$$H = S \sin \alpha - p \cos \alpha,$$

oder, für S und p die gefundenen Werthe eingesetzt,

$$H = Q \left(\cos \alpha + \frac{2x}{s} \right) \sin \alpha - \frac{\mathcal{F}g}{rs} \sin \alpha \cos \alpha.$$

Eben so ist die Vertikalkraft

$$V = S \cos \alpha + p \sin \alpha = Q \left(\cos \alpha + \frac{2x}{s} \right) \cos \alpha + \frac{\mathcal{F}g}{rs} \sin \alpha^2 \text{⁸⁴⁾,$$

woraus für einen bestimmten Fall die Wirkungen einer schwingenden Glocke auf ihre Lager zu berechnen sind.

Beispiel. Es ist der größte Werth der Horizontalkraft für eine in gewöhnlicher Weise aufgehängte Glocke zu berechnen, wenn deren Mittellinie im äußersten Falle um 20 Grad über den Horizont sich erhebt.

Unter Zugrundelegung der oben angegebenen Zahlen, so wie unter Beachtung des Umstandes, daß

$$x = r (\sin 20^\circ + \cos \alpha) \quad \text{und} \quad r = (0,560045 + 0,119) D = 0,619045 D,$$

also $r \sin 20^\circ = 0,619045 \cdot 0,34202 D = 0,211726 D$, ist

$$H = Q \left[\left(\cos \alpha + 2 \frac{0,211726 + 0,619045 \cos \alpha}{0,787} \right) \sin \alpha - \frac{0,10397}{0,619045 \cdot 0,787} \sin \alpha \cos \alpha \right]$$

oder

$$0,787 \frac{H}{Q} = 1,837138 \sin \alpha \cos \alpha + 0,423452 \sin \alpha.$$

Die Bedingung des Maximums für H ist somit

$$\cos^2 \alpha - \sin^2 \alpha = 0,22801 \cos \alpha,$$

$$\cos \alpha = -0,057 + \sqrt{0,503249} = 0,6524,$$

woraus

$$\alpha = 49^\circ 16' 38''.$$

Der größte Werth der Horizontalkraft aber ist

$$\frac{H}{Q} = \frac{1,837138}{2} \sin 98^\circ 33' 16'' + 0,423452 \sin 49^\circ 16' 38'' = 1,562.$$

Die größte Horizontalkraft ist demnach etwa das $1\frac{1}{2}$ -fache des Glockengewichtes, und es tritt deren Wirkung bei jeder Schwingung sowohl nach der einen, wie nach der anderen Bewegungsrichtung ein; der Thurm, wie der Glockenstuhl werden demnach abwechselnd mit dieser Intensität in ganz kurzen Zwischenräumen bald nach der einen, bald nach der entgegengesetzten Richtung horizontal beansprucht.

⁸⁴⁾ Siehe *Keck's* abgekürzte Herleitung in: *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1872, S. 635.

Die größte Verticalkraft entsteht bei Durchschreitung der Verticalen für $\alpha = 0$, und es beträgt Centrifugalkraft und Schwere zusammen

$$V = Q \left(1 + \frac{2x}{s} \right),$$

$$\frac{V}{Q} = 1 + \frac{2 \cdot 1,34202 \cdot 0,619045}{0,787} = 3,10869.$$

Der größte Verticaldruck ist demnach etwas größer, als das 3-fache der ruhenden Glockenlast.

Die Schwingungsdauer findet sich, da $h = s(1 + \sin 20^\circ) = 1,34302 s$, zu

$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g} \left[1 + \left(\frac{1}{2} \right)^2 \frac{1,34202}{2} + \left(\frac{3}{2 \cdot 4} \right)^2 \left(\frac{1,34202}{2} \right)^2 \right]} = \pi \sqrt{\frac{s}{g} 1,2308},$$

und, da $s = 0,787 D$, so ergibt sich

$$t = \pi \sqrt{\frac{D}{g} 0,96864},$$

d. h. also: Man kann bei in gewöhnlicher Weise aufgehängten Glocken, die bis zu 20 Grad über den Horizont geschwungen werden, als Schwingungsdauer diejenige eines mathematischen Pendels von einer Länge gleich 0,97 des größten Glockendurchmessers annehmen.

Die bedeutende Centrifugalkraft, welche bei dem Schwingen der Glocken entsteht, ist selbstverständlich Ursache eines großen Reibungswiderstandes, sobald man gewöhnliche Zapfen von cylindrischer Form verwendet, welche in einem cylindrischen Lager sich bewegen. Um nun die Reibung und damit die zum Läuten aufzuwendende Arbeit zu vermindern, hat man verschiedene Anordnungen getroffen.

Eine der einfachsten dieser Anordnungen, welche u. A. bei dem Geläute im Katharinen-Thurme zu Osnabrück zur Anwendung gekommen ist, zeigt Fig. 60.

Der Zapfen von 28mm Halbmesser ist an der Auflagerstelle nach einem Halbmesser von nur 6mm abgerundet und dadurch nahezu dieselbe Wirkung erzielt, als wenn man eine Schneide angewandt hätte, zumal da in Folge des größeren Halbmessers des Lagers auf dem größten Theile des Glockenweges ein Gleiten des Zapfens überall nicht eintritt. Dafs die beiden Aushöhlungen des Zapfens in Verbindung mit der entsprechenden Form des Lagers geeignet sind, die Glocke bei hohem Schwingen an dem Verlassen des Lagers zu hindern, bedarf lediglich des Hinweises.

Anders ist die von Collier in Berlin angegebene, vielfach und mit gutem Erfolge ausgeführte Anordnung, bei welcher nicht Gleit-, sondern Rollbewegung des Zapfens stattfindet.

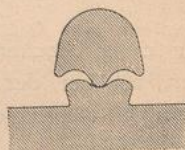
Der (mittels Haken eingefetzte) Zapfen ruht auf einer ebenen Gufsplatte, die in der Mitte ihres äufseren Randes einen Zahn trägt, über den eine Nuth im Zapfenende faßt, wodurch die wälzende Bewegung begrenzt und ein Ausgleiten des Zapfens verhindert wird.

Man hat zu dem gleichen Zwecke der Verminderung der Reibung auch Frictionscheiben, auf deren convexer Aufsenseite der Zapfen sich bewegt, zur Anwendung gebracht, neuerdings aber mit großem Vortheile auf Schneiden gehängte Stahlbügel angewandt, welche als Sektoren von hohlen Frictionscheiben angesehen werden können, auf deren concaven Seite der Zapfen sich bewegt.

Diese Construction ist zuerst bei den Bochumer Stahlglocken zur Anwendung gekommen, und wir geben in Fig. 61 eine Abbildung derselben.

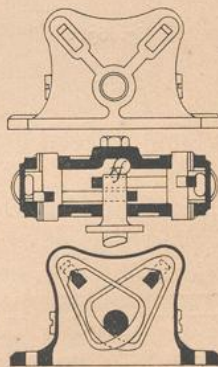
54.
Verminderung
der Zapfen-
reibung.

Fig. 60.



Offenes Zapfenlager.
1/5 n. Gr.

Fig. 61.



Bochumer Glockenlager⁸⁵⁾.

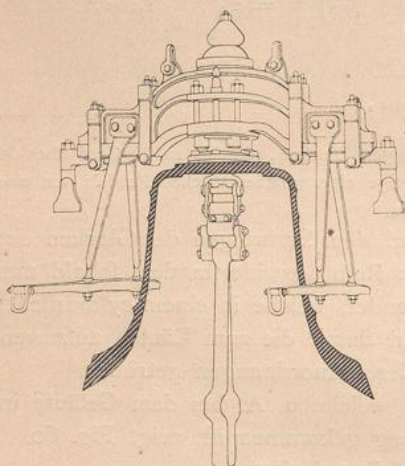
⁸⁵⁾ Nach: Deutsche Bauz. 1871, S. 125 und: Prospect des Bochumer Vereins für Bergbau und Gufstahlfabrikation.

Zur Erläuterung derselben ist nur zu bemerken, daß das Gehäuse aus Gufseisen besteht, alle übrigen Theile aus Stahl hergestellt sind und die Kugel f lediglich den Zweck der Verhinderung einer Bewegung der Achse in der Längsrichtung hat.

55-
Pozdech's
Glocken-
Armierung.

Selbstverständlich kann die Verminderung der Zapfenreibung der Glocken nur dazu dienen, die beim Läuten aufzuwendende mechanische Arbeit herabzumindern. Die neueren Aufhängungsmethoden von *Pozdech* und von *Ritter* haben nun außer

Fig. 62.



Pozdech'sche Glocken-Armierung.

der Verminderung der Arbeit des Läutens noch den Zweck, die Kräftewirkungen auf den Glockenstuhl und damit auf den Thurm möglichst herabzumindern, so wie ferner den Raum, welchen die Glocke zum Schwingen braucht, zu verkleinern, fomit die Unterbringung der Glocken zu erleichtern.

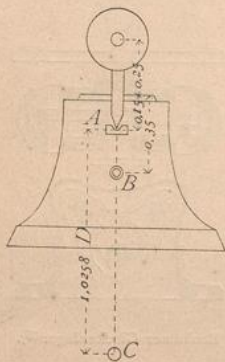
Von einer Glocke mit der *Pozdech'schen* Einrichtung geben wir in Fig. 62 eine perspectivische Abbildung, in welcher zugleich der Achsenschnitt (Rippe), Form und Aufhängung des Klöppels und die beiden zur Anbringung der Zugseile bestimmten Hebel zu erkennen sind.

Wie aus dieser Abbildung zu entnehmen, liegen die Stützpunkte der im Kirchturme zu Friedrichstadt-Dresden befindlichen Glocke (die Schneiden der meißelartigen Anfätze des Glockenhelmes) nicht über, sondern

unter dem Glockenscheitel, mithin dem Schwerpunkte der Glocke bedeutend näher, als bei der gewöhnlichen Aufhängung. Das Ergebniss der angestellten Messungen — genaue Angaben waren nicht zu erhalten — ist in Fig. 63 schematisch wiedergegeben.

Man kann die Schwere des Helmes, einschliesslich des Gegengewichtes, zu $\frac{1}{4}$ des Glockengewichtes und dessen Schwerpunktsabstand über dem Glockenscheitel zu $\frac{1}{4}$ des unteren Durchmessers annehmen, während die Drehachse um $0,15$ des unteren Durchmessers unter dem Glockenscheitel liegt. Wird nun auf das (verhältnismässig kleine) Trägheitsmoment des Helmes sammt Gegengewicht um dessen eigene Schwerlinie keine Rücksicht genommen, dann ist der Abstand des Schwerpunktes B vom Glockenscheitel für die ganze schwingende Masse

Fig. 63.



$$r_1 = \frac{Q \cdot 0,500045 - \frac{1}{4} Q \cdot 0,25}{Q + \frac{Q}{4}} D = 0,35004 D.$$

Das Trägheitsmoment des Ganzen um die Schwerpunktsachse ist, da die Verschiebung des Schwerpunktes durch das Gegengewicht $(0,500045 - 0,35004) D = 0,15 D$ beträgt, gleich

$$\mathcal{I} + \left(0,15^2 Q + 0,6^2 \frac{Q}{4}\right) D^2,$$

und, da $\mathcal{I} = 0,10397 Q D^2$, gleich $0,21647 Q D^2$.

Die Schwingungsachse liegt $0,15 D$ unter dem Glockenscheitel, mithin in einem Abstände von $AB = 0,35 - 0,15 = 0,2 D$ über dem Schwerpunkte.

Es ist daher das Trägheitsmoment des Ganzen in Bezug auf die Schwingungsachse

$$\mathcal{I} = 0,21647 Q D^2 + 0,2^2 Q D^2 = 0,25647 Q D^2.$$

Das statische Moment ist

$$\frac{5}{4} Q r_1 = \frac{5}{4} Q \cdot 0,2 D = 0,25 Q D,$$

somit der Abstand s des Schwingungspunktes von der Achse

$$s = \frac{0,25647}{0,25 Q D} Q D^2 = 1,02588 D.$$

Der Ausschlagwinkel der Glocken ist meist 50 Grad und äußersten Falles zu etwa 78 Grad anzunehmen. Hieraus ergibt sich die größte Fallhöhe für einen beliebigen Punkt der Schwerpunktsbahn, zu

$$x = r_1 (\cos \alpha - \cos 78^\circ),$$

und die Horizontalkraft bei einem Neigungswinkel α gegen die Verticale, wenn Q das Gewicht der eigentlichen Glocke darstellt, zu

$$H = \frac{5}{4} Q \left[\cos \alpha + \frac{2 \cdot 0,2}{1,02588} (\cos \alpha - 0,20791) \right] \sin \alpha - \frac{0,21647 Q}{0,2 \cdot 1,02588} \sin \alpha \cos \alpha,$$

$$\frac{H}{Q} = 0,682 \sin \alpha \cos \alpha - 0,101332 \sin \alpha.$$

Dieser Ausdruck giebt ein Maximum für

$$\sin \alpha = -0,03715 + \sqrt{0,501380} = 0,67093;$$

es ist daher

$$\alpha = 42^\circ 8' 20'',$$

und für diese Stellung der Glocke

$$\frac{H}{Q} = \frac{0,682}{2} \sin 84^\circ 16' 40'' - 0,101332 \sin 42^\circ 8' 20'' = 0,271316.$$

Die größte Horizontalkraft ist also nur $\frac{3}{11}$ des Glockengewichtes oder etwa $\frac{1}{6}$ ($= \frac{0,271316}{1,562}$) derjenigen, die beim Läuten einer in gewöhnlicher Weise aufgehängten Glocke auf Verschiebung des Glockenstuhles zur Wirkung kommt.

Die größte Vertikalkraft ergibt sich für $\alpha = 0$ zu

$$V = \frac{5}{4} Q \left(1 + \frac{2x}{s} \right),$$

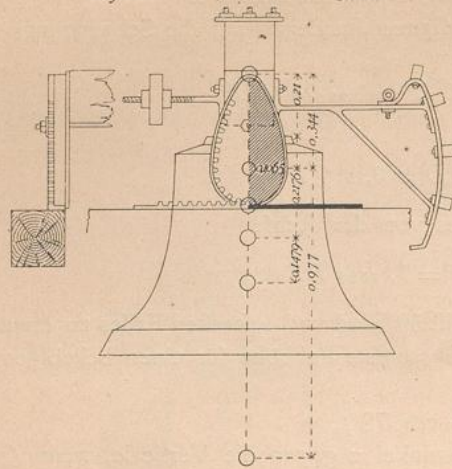
$$\frac{V}{Q} = \frac{5}{4} \left(1 + 2 \cdot 0,2 \frac{1 - 0,20791}{1,02588} \right) = 1,55727.$$

Da das Gesamtgewicht der Glocke incl. der Armatur $\frac{5}{4} Q$ beträgt, so kommt auf die Centrifugalkraft nur etwa $\frac{1}{4}$ des Gewichtes.

Die Ritter'sche Methode der Glocken-Aufhängung besteht darin, daß statt eines Zapfens, wie bei der gewöhnlichen, oder einer Schneide, wie bei der *Pozdech'schen* Aufhängung, eine Scheibe, welche auf einer horizontalen Ebene rollt und zur Verhütung allfälligen Gleitens seitlich mit Zähnen versehen ist, zur Anwendung kommt.

Wie Fig. 64 u. 65 zeigen, haben die Scheiben zwar eine ovale Form; allein es kommt auch beim stärksten Läuten nicht einmal der untere halbkreisförmige Theil, sondern davon nur höchstens etwa der Bogen von 156 Grad zum Abrollen, indem der größte Ausschlag, etwa wie bei der *Pozdech'schen* Aufhängung, 78 Grad

56.
Ritter's
Glocken-
Aufhängung.

Fig. 64.
Ansicht.Fig. 65.
Schnitt.

Ritter's Glocken-Aufhängung.

Drehachse betrachten, und es stimmen mindestens die über die Schwingungsdauer bei dem Geläute in Werdau, welches im Jahre 1867 nach Ritter's System hergerichtet wurde, vom Verfasser gemachten Beobachtungen mit dieser Annahme überein.

Dieser Gegenstand wird bei der in Art. 61 vorzuführenden Beschreibung des Werdauer Geläutes noch weiter verfolgt werden.

b) Beschreibung einiger Glockenstuhl-Constructionen.

57.
Katharinen-
Kirche zu
Osnabrück.

Im Thurme der Katharinen-Kirche zu Osnabrück war statt eines alten, durch Brand zerstörten ein neues Geläute von 4 Glocken, deren größte (H) 2320 kg wiegt, aufzustellen. Da es in Anbetracht der großen Mauerwerksmasse des Thurmes nicht geboten erschien, die in der Höhe des Kirchendaches aufzuhängenden Glocken durch einen hohen Stuhl zu stützen, so war bloß ein Gebälk herzustellen, welches in dem Thurmmauerwerk in der angegebenen Höhe seine Auflagerung erhielt. Auch von der Anwendung der *Pozdeck'schen* oder *Ritter'schen* Aufhängungsweise wurde abgesehen, weil der Thurm, der das alte Geläute Jahrhunderte lang ohne Schädigung getragen, mehr als genügende Stabilität besitzt, um den beim Läuten entstehenden Kräften widerstehen zu können, und weil man bei der gewöhnlichen Aufhängung stärkere Tonwirkungen erwartete.

Das Mauerwerk zeigt (Fig. 66) an zwei einander gegenüber liegenden Seiten einen Abfatz, auf den die Hauptträger gestützt sind, während eine Auflagerung der Enden der Querträger bei der Stärkenberechnung nicht berücksichtigt, bei der Ausführung aber, und gewiss mit großem Vortheil für die gleichmäßige Vertheilung der Kräfte auf das Mauerwerk, an den drei mittleren durch Einstecken in die Mauern hergestellt wurde.

Die (im Ganzen 5) durchgehenden Querträger haben zunächst den Hauptträgern die nöthige Stabilität gegen Seitenschwankungen zu gewähren, demnächst zur Vertheilung der Pressungen und damit zur Verminderung der Schwankungen zu dienen, wobei die Wirkung der Trägheit des ganzen Gebälkes gegenüber jeder durch das Läuten entstehenden schiebenden und biegenden Kraft mit zu Nutze kommt.

Die Hauptträger sind Fachwerksträger von 1,75 m Höhe; die Querträger sind mit 1,50 m Höhe so viel niedriger als die Hauptträger, daß sie durch letztere mit ununterbrochenen Gurtungen haben durchgesteckt

beträgt. Es beschreibt mithin jeder Punkt des ganzen Systemes beim Schwingen eine Cycloide, und diese Cycloiden sind für alle Punkte, welche über den Umfang der Scheibe hinausliegen, verschlungene.

Die Schwingungsdauer eines Pendels dieser Zusammenfassung ist von Euler für kleine Auschlagwinkel berechnet und in *Fullien's »Problèmes de mécanique rationnelle«* (Paris 1855), Bd. 2, S. 65 abgeleitet.

Für die Verhältnisse, wie sie bei einer nach Ritter's System aufgehängten Glocke bestehen, nämlich mäsig große Auschlagwinkel, einen verhältnißmäßig kleinen Scheiben-Radius und ein großes Trägheitsmoment der Masse um ihren eigenen Schwerpunkt, kann man einfach die Scheibenmittelpunkte als feste Endpunkte der

werden können. Die Knotenpunkte sind an den Durchdringungsstellen der Träger, so wie an den Auflagerstellen der Glocken-Drehachsen angenommen, woraus für den Mittelträger sich die in Fig. 68 dargestellte Anordnung ergab. Die Querträger haben nur eine einfache Dreiecksverbindung erhalten, da solche für ihren Zweck genügt. Es ist außer den Knotenblechen ausschließlich Winkeleisen zur Anwendung gekommen und bei der Berechnung der Eisenstärken eine Beanspruchung von 600 bis 700 kg pro 1 qcm für die gleichzeitige Maximalwirkung aller 4 Glocken zu Grunde gelegt. Dagegen sind die Niete, welche warm eingezogen worden sind, in Rücksicht auf den häufigen und raschen Wechsel in der Beanspruchung nur mit 375 kg pro 1 qcm berechnet, und es ist in dieser Weise mit dem bloßen Reibungswiderstand derselben, den man bekanntlich auf 750 kg pro 1 qcm schätzt, mit Sicherheit auszukommen. Um dies zu erreichen, sind die Enden der Diagonalen gabelförmig hergerichtet, so daß sie die Knotenbleche umfassen, wobei verkröpfte Flacheisen zur Anwendung gekommen sind, wie dies Fig. 67 erkennen läßt. Das Gewicht des ganzen Gebälkes ist bei einer Grundfläche von 132 qm gleich 12719,6 kg an Schmiedeeisen, also pro 1 qm gleich 96,4 kg; die gesammten Kosten, mit 450 Mark Einheitspreis pro Tonne, haben 6386 Mark incl. Anfricht etc. betragen.

Das Gebälk ist unter Freilassung des Raumes für die Glocken mit einem hölzernen Fußboden abgedeckt. Das Project zu der Restauration der Kirche und des Thurmes ist von Baurath *Stüve* in Berlin, zum Glockenstuhl vom Verfasser dieses aufgestellt; die Bauleitung hatte Architekt *Dreyer* in Osnabrück; das Glockengebälk ist von der Firma *Ruetz & Co.* in Rothe Erde bei Aachen geliefert und seit 1871 in Gebrauch⁸⁶⁾.

Fig. 67.

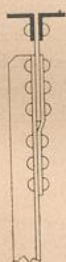
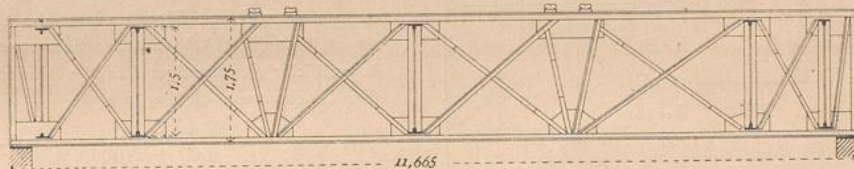


Fig. 68.

Mittelträger. — 1/100 n. Gr.



Glocken-Gebälk der Katharinen-Kirche zu Osnabrück.

Der auf dem Kirchthurm zu Neuenkirchen bei Osnabrück 1876 ausgeführte Glockenstuhl (Fig. 69 bis 72) hat gleichfalls für ein in gewöhnlicher Weise aufgehängtes, somit den Stuhl stark beanspruchendes Geläute zu dienen, ist aber im Uebrigen ein Bockgerüst, welches in 3 m Höhe über dem Fusse die Lager der Glocken trägt.

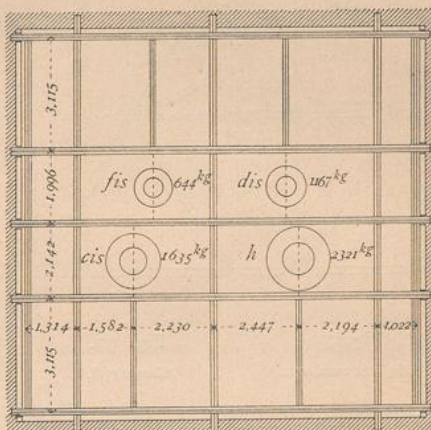
Die Glocken geben die ersten drei Töne der *D-dur*-Scala (*D*, *E* und *Fis*) und wiegen 1350 kg = *D*, 950 kg = *E* und 638 kg = *Fis*. Unter Bezugnahme auf die Berechnung in Art. 53 (S. 52) erfolgt die größte Horizontalwirkung unter der Annahme eines Ausschlags von 110 Grad zu jeder Seite der Verticalen oder um 20 Grad über den Horizont hinaus bei der Stellung von 49° 16' 38" gegen die Verticale und hat den Werth $H = 1,502 Q$, und da $Q = 1350 + 950 + 638 = 2938$ kg, so ist

$$H = 4589 \text{ kg.}$$

⁸⁶⁾ Vergl. *Stüve*. Wiederaufbau der St. Katharinen-Kirche zu Osnabrück im Jahre 1880. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 21.

Fig. 66.

Grundriß. — 1/200 n. Gr.



58.
Kirche
zu
Neuenkirchen.

Der gleichzeitig stattfindende Verticaldruck auf das Glockenlager ist

$$V = Q \left(\cos \alpha + \frac{2x}{s} \right) \cos \alpha + \frac{Fg}{r \cdot s} \sin^2 \alpha$$

oder in Zahlen

$$\frac{V}{Q} = \left(0,6524 + 2 \frac{0,211726 + 0,619045 \cdot 0,6524}{0,787} \right) 0,6524 + \frac{0,310297}{0,619045 \cdot 0,787} : 0,57434,$$

$$\frac{V}{Q} = 1,44624 + 0,12257 = 1,56881,$$

$$\text{oder } V = 1,56881 Q = 1,56881 \cdot 2938 = 4609 \text{ kg.}$$

Der Winkel der Resultante mit der Verticalen findet sich daher aus der Beziehung

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{4589}{4609} = 0,99562, \text{ woraus } \beta = 44^\circ 52' 4''^{87)}$$

oder rund 45 Grad, während die Resultante den Werth von rund

$$\sqrt{2} \cdot 1,565 Q = 2,207 Q$$

annimmt.

Man kann daher bei der Berechnung von Stühlen für in gewöhnlicher Weise aufgehängte Glocken, die bis zu 20 Grad über den Horizont schwingen, für den Augenblick des grössten Horizontalzuges die Kräfte resultante unter 45 Grad gerichtet und die Grösse derselben zu $2\frac{1}{2}$ des Gewichtes der schwingenden Maffen annehmen.

Da der Glockenstuhl eine Breite am Fusse von 5,43 m besitzt, während das Lager 3 m hoch liegt, fällt die um 45 Grad geneigte Resultante um $3 - \frac{5,43}{2}$

= 0,285 m ausserhalb des Fusses des Glockenstuhles. Es bleibt indefsen der Schwerpunkt des letzteren noch innerhalb seiner Basis, wie aus Folgendem hervorgeht.

Bei dem Verticaldruck der schwingenden Glocken von 4609 kg und dem Eigengewichte des Glockenstuhles von 2400 kg (2392 kg) fällt der Schwerpunkt in dem Augenblicke gleichzeitiger stärkster Horizontalwirkung aller Glocken von 4589 kg um

$$x = \frac{4589 \cdot 3}{4609 + 2400} = 1,964 \text{ m}$$

aus der Mitte, bleibt also noch um

$$2,715 - 1,964 = 0,751 \text{ m}$$

vom Rande des Glockenstuhles entfernt, so dass auch ohne Befestigung ein Kippen nicht eintreten kann. Die Tangente des Winkels der Richtung der Gesamtpressung mit der Verticalen ist

$$\frac{1,964}{3} = 0,655,$$

der Winkel also $33^\circ 13\frac{1}{2}'$, entsprechend etwa der Reibung der Ruhe von Eifen auf Holz, so dass der Glockenstuhl ohne weitere Befestigung gegen das Gleiten gesichert ist.

Was nun die Festigkeit des Gerüstes anlangt, so hat der Binder zwischen der grössten und der mittleren Glocke am meisten auszuhalten; die Last beider Glockenhälften ist

$$\frac{950 + 1350}{2} = 1150 \text{ kg;}$$

die Horizontalwirkung der gleichzeitig schwingenden Glocken ist daher *in maximo*

$$H = 1,562 \cdot 1150 = 1796 \text{ kg.}$$

⁸⁷⁾ Die Abweichung dieses Resultantenwinkels β von α rührt, wie leicht ersichtlich, von der Seitenkraft F (siehe Art. 53 und Fig. 59) her.

Fig. 69.

Längsansicht.

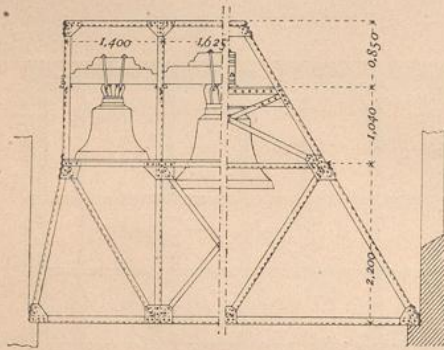


Fig. 70.

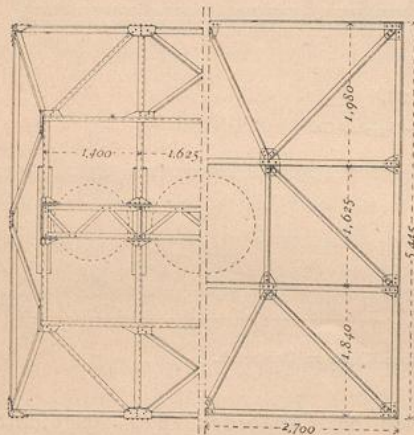
Seitenansicht.

Fig. 71.

Ansicht von oben.

Fig. 72.

Grundriss.



Glockenstuhl zu Neuenkirchen.

$\frac{1}{100}$ n. Gr.

Als Vertikalkräfte haben wir zunächst die Componente des Glockendruckes

$$\begin{array}{r} V = 1,56881 \cdot 1150 = 1804 \text{ kg,} \\ \text{dazu } \frac{1}{4} \text{ des Eigengewichtes des Glockenstuhles } 600 \text{ kg,} \\ \hline \text{zusammen } 2404 \text{ kg.} \end{array}$$

Die Resultante der senkrecht zu einander wirkenden Kräfte fällt noch um $2,715 - \frac{3 \cdot 1796}{2404} = 0,475 \text{ m}$ innerhalb des Fußes des zur Zeit betrachteten Gespärres des Glockenstuhles; es kommen demnach von dem Gesamtdruck $= \sqrt{1795^2 + 2404^2} = 3000 \text{ kg}$, welcher Druck nahezu parallel dem Sparren wirkt, auf letzteren

$$3000 \frac{5,43 - 0,475}{5,43} = 2740 \text{ kg.}$$

Der Sparren, aus Winkeleisen von 90 mm Schenkellänge und 16 qcm Querschnitt bestehend, erhält somit eine Pressung von $\frac{2740}{16} = 171 \text{ kg pro 1 qcm}$.

Die Knickfestigkeit wurde nach der Formel (Gleichung 148. in Theil I, Bd. 1, S. 312)

$$P = \frac{K F \mathcal{F}}{\mathcal{F} + \alpha F l^2}$$

berechnet, worin hier $K = 2,8 \text{ t pro 1 qcm}$, $F = 16 \text{ qcm}$, $\mathcal{F} = 130,43$, $l = 220 \text{ cm}$ und $\alpha = 0,000044$ zu setzen ist, so das

$$P = \frac{2,8 \cdot 16}{1 + 0,000044 \frac{220^2 \cdot 16}{130,43}} = 35,5 \text{ Tonnen;}$$

die Knickfestigkeit wird demnach zu nur $\frac{2740}{35500} = \frac{1}{13}$ ausgenutzt, oder es ist in der äußersten am meisten gedrückten Faser eine Beanspruchung von $\frac{2800}{13} = 215 \text{ kg}$.

Es ist mithin reichliche Sicherheit vorhanden, und es würde das gewählte Winkeleisen-Profil bei den vorliegenden Längenverhältnissen auch noch für doppelt so schwere Glocken genügen.

Die in etwa halber Höhe angebrachte seitliche Gurtung, aus Winkeleisen von 65 mm Schenkellänge und 12 qcm Querschnitt bestehend, bildet nun im Verein mit den zwischen ihr und dem unteren Rahmen als unterer Gurtung angebrachten Diagonalen einen Balken von 2,2 m Höhe und 5,43 m Länge, genügend steif, um jede Deformation des Stuhles auch dann zu verhüten, wenn etwa bloß die 4 Ecken des Mauerwerk berühren sollten, für welchen Fall sich eine Gurtungsspannung, bezw. Pressung (wie aus der Zeichnung leicht zu entnehmen) von $\frac{4200 \cdot 2 - 1200 \cdot 0,4}{2,2} = 3600 \text{ kg}$ oder bei 12 qcm Querschnitt von 300 kg pro 1 qcm einstellt.

Zur Uebertragung der horizontalen Kräfte auf die 4 Ecken oder auch auf die Mittelpunkte der parallel zur Schwingungsrichtung liegenden Endrahmen ist auch noch eine Horizontalverstrebung angebracht, mit deren Hilfe das Fachwerksystem Fig. 72 gebildet wird. Da es sich bei diesen Theilen lediglich um die Horizontalkräfte handelt, so ist deren Beanspruchung noch geringer, als bei den Sparren und den Mittulgurtungen. Zur Minderung der Schwingungsbewegungen ist auf dem Glockenstuhl noch die aus Fig. 71 ersichtliche Umrahmung angebracht und mit Vergitterung versehen.

Der Glockenstuhl ist von der Georgs-Marien-Hütte bei Osnabrück 1876 angefertigt und hat bei 2,4 t Gewicht einschl. Aufstellung und Anfrich 1390 Mark gekostet, während für einen solchen aus Eichenholz 1700 Mark gefordert worden waren. Nach einer Mittheilung des Herrn Architekten H. Dreyer in Osnabrück, unter dessen Leitung die Arbeit ausgeführt wurde, hat sich die Construction als vollkommen fest erwiesen. Auf das Quadratmeter des Grundrisses des Lichtraumes des Thurmes kommen vom Glockenstuhle $\frac{2400}{29,48} = 81,4 \text{ kg}$.

Der verhältnismäßig hohe Einheitspreis pro Tonne der hier bis jetzt beschriebenen beiden Glockenstühle ist darin begründet, das dieselben für die vorliegenden besonderen Fälle projectirt und durchweg mit warm eingezogenen Nietten zusammengesetzt worden sind, welche Arbeiten bei der Geringfügigkeit des Gesamtgewichtes im Vergleich etwa zu eisernen Brücken und der Schwierigkeit der Aus-

führung, so wie der damit verbundenen Transporte etc. die Steigerung des Einheitspreises erklärlich machen. Dafs übrigens die Vernietung allein geeignet ist, die größtmögliche Festigkeit der Verbindungen und damit die für die Erhaltung der Kirchtürme so wünschenswerthe Steifigkeit der Glockenfüße dauernd sicher zu stellen, dürfte wohl nicht zu bestreiten und daher die Anwendung von Nietten statt der auch wohl verwandten Schraubenbolzen ungeachtet der etwas höheren Kosten dringend zu befürworten sein.

59.
Johannis-
Kirche
in Dresden.

Eine für eiserne Glockenfüße vielfach gewählte Anordnung geben wir in Fig. 73 bis 76, welche den vom Glockengießer *Große* für die Johannis-Kirche zu Dresden gleichzeitig mit dem Geläute selbst gelieferten Glockenstuhl darstellen.

Hier sind gewalzte I-Träger, welche in den Umfassungsmauern ruhen, kreuzweise über einander zur

Fig. 73.
Seitenansicht.

Fig. 74.
Längsansicht.

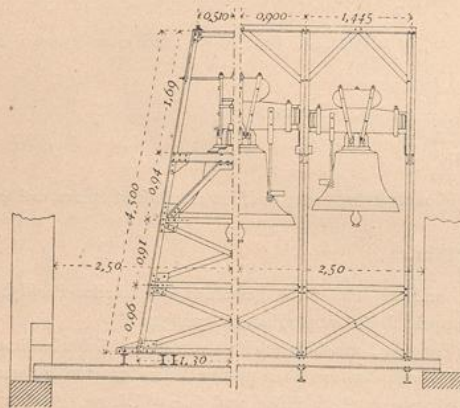
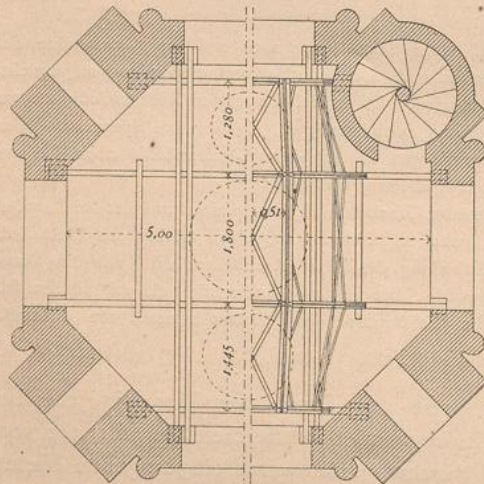


Fig. 75.
Grundriss.

Fig. 76.
Ansicht von oben.



Glockenstuhl der Johannis-Kirche zu Dresden.
1/100 n. Gr.

Unterstützung der 4 Böcke oder Gefpärre zur Anwendung gekommen. Die U-förmig gewalzten Lagerbalken werden durch Streben aus Winkeleisen gestützt; eben so sind die Rahmen selbst aus doppelten Winkeleisen hergestellt und oben durch eine horizontale Einrahmung mit Winkeleisen, zwischen welchen sich Flacheisen-Diagonalen befinden, verbunden und gegenseitig abgesteift. Außerdem sind in der Fläche der Rahmen facherkartige Verbindungen theils aus Winkel-, theils aus Flacheisen hergestellt, während endlich noch eine eben solche Verbindung zwischen je zwei benachbarten Böcken besteht. Es sind ausschließlich Schraubenbolzen verwandt.

Wie aus der Höhenlage der Lagerbalken zu den Glocken aus den Fig. 73 u. 74 zu entnehmen ist, sind die Glocken nach dem *Pozdech'schen* Systeme, jedoch unter Beibehaltung der gewöhnlichen Anordnung der Armatur (Holz mit Eifenbeschlag) aufgehängt. Die grösste dieser Glocken *B* ist 1853 kg schwer, während die Armatur 600 kg wiegt. Der Glockendurchmesser ist 1,57 m. Die Drehachse (Schneiden der stützenden Meßsel) liegt 56 mm oder 0,036 *D* unter dem Glockenscheitel, also bedeutend weniger, als bei der in Fig. 62 dargestellten *Pozdech'schen* Anordnung. Der Glocken-Schwerpunkt liegt unter dem Scheitel 0,500045 *D*, mithin unter der Drehachse 0,464 *D*, während der Schwerpunkt der Armatur 0,82 *D* über der Drehachse sich befindet.

Unter Benutzung der mehrfach aufgeführten Ziffer des Trägheitsmomentes der Glocke berechnet sich aus diesen Angaben der Schwingungshalbmesser $s = 0,008 D$; derselbe ist also um etwa 3 Procent kleiner, als der bei der originalen *Pozdech'schen* Construction.

Für ganz kleine Schwingungen resultirt hieraus eine Schwingungsdauer von

$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g}} = 3,14 \sqrt{\frac{0,008 \cdot 1,57}{9,81}},$$

$$t = 1,24658 \text{ Sekunden}$$

oder 48,1 Schläge in der Minute.

Beim größten Ausschlage von 78 Grad ergibt sich die Fallhöhe $h = 0,79 s$; daher ist

$$t_1 = t \sqrt{1 + \frac{1}{4} \frac{0,79}{2}} = 1,3067898 \text{ Sekunden}$$

oder 45,9 Schwingungen in der Minute, während 48 und 46 Schwingungen in der Minute beobachtet worden sind.

Das Gewicht des Glockenstuhles beträgt 2088 kg; dazu kommen 957 kg Gewicht der I-Träger, was zusammen 3045 kg oder 122 kg pro 1 qm ergibt.

Ein ganz ähnlicher Glockenstuhl ist von Stadtbaurath *Friedrich* für die Friedrichstädter Kirche zu Dresden in einem achteckigen Raume von 4 m Mittelbreite und Länge construirt.

60.
Kirche
zu Friedrich-
stadt-Dresden.

Derfelbe trägt 3 Glocken, deren größte 1425 kg wiegt und die nach *Pozdech's* System aufgehängt sind. Diefer Glockenstuhl, gleichfalls auf I-Trägern ruhend, wiegt 2325 kg, also pro 1 qm 145 kg. An diesem Stuhle sind übrigens die sämtlichen Constructionsheile durch Nieten mit einander verbunden.

Wie bereits in Art. 56 (S. 56) gesagt wurde, ist das Geläute zu Werdau im Jahre 1867 nach *Ritter's* System ausgeführt worden.

61.
Kirche
zu
Werdau.

Es wiegt die größte der Glocken im Werdauer Kirchthurm 2283 kg,
die Armatur ca. 600 kg,
der untere Glockendurchmesser D ist 1,64 m,
der Schwerpunkt der Armatur liegt über dem Glockenscheitel 0,345 m = 0,21 D ,
der Schwerpunkt der Glocke liegt unter Scheitel 0,500045 D ,
die Lagerfläche der Glocke liegt unter Scheitel 0,241 D ,
der Scheibenhalmesser ist 0,175 m = 0,1065 D .
Es liegt somit der Schwerpunkt des ganzen schwingenden Körpers über
dem Schwerpunkte der Glocke allein 0,1479 D ;
der Abstand des Scheibemittelpunktes vom gemeinschaftlichen Schwer-
punkte ist 0,2176 D .

Das Trägheitsmoment der Masse in Bezug auf den gemeinschaftlichen Schwerpunkt ist

$$\mathcal{J}_1 = Q D^2 \left(0,10397 + 0,1479^2 + \frac{600}{2283} 0,5621^2 \right) = 0,20894 Q D^2,$$

oder, wenn man die ganze Masse mit Q_1 bezeichnet,

$$\mathcal{J}_1 = 0,1654 D^2 Q_1.$$

Es ist somit das Trägheitsmoment in Bezug auf die durch die Kreismittelpunkte gehende Achse

$$\mathcal{J}_a = Q_1 D^2 (0,1654 + 0,2176^2) = 0,2127 Q_1 D^2;$$

das statische Moment ist in Bezug auf dieselbe Achse

$$M_a = 0,2176 Q_1 D;$$

folglich ist der Abstand des Schwingungspunktes

$$s = \frac{\mathcal{J}_a}{M_a} = \frac{0,2127}{0,2176} D = 0,977 D,$$

oder, da $D = 1,64$ m ist,

$$s = 1,60228 \text{ m.}$$

Die zur Berechnung der Schwingungsdauer zu ermittelnde Höhe des Schwingungsbogens h ist bei einem Ausschlagwinkel von 78 Grad

$$h = s (1 - \cos 78^\circ) = 0,79209 s.$$

Hieraus berechnet sich unter Benutzung der Gleichung

$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g} \left(1 + \frac{1}{8} \frac{h}{s} + \frac{9}{256} \frac{h^2}{s^2} \right)}$$

die Schwingungsdauer $t = 1,3468$ Sekunden, entsprechend 44,57 Schwingungen. Beobachtet wurden 44 Schwingungen. Für ganz kleine Schwingungen ist $h = 0$, und dann ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g}} = 1,2713 \text{ Sekunden}$$

oder pro Minute 47,2 Schwingungen, während 47 Schwingungen beobachtet wurden.

Die Beobachtung des Geläutes in Werdau ergab ein fast vollständiges Stillhängen der Klöppel und in Folge dessen ein heftiges Anschlagen der Glocken an die Klöppel und geringen Winkelabstand von der

Verticalen, wofelbst die Geschwindigkeit am größten ist. Dafs das Anschlagen in der That kräftig vor sich ging, ergab der Augenschein, und daneben lassen die Klöppel, welche in gewöhnlicher Weise mit kugelförmiger Verdickung aus Schmiedeeisen und nicht in Form eines Tellers mit Stiel, wie sie der Erfinder (*Ritter*) sonst anzuwenden pflegte, hergestellt sind, die Folgen ihres 14-jährigen Gebrauches durch starke Abplattungen und Quetschungen an den Anschlagstellen in eben so deutlicher Weise erkennen, wie man dies bei gewöhnlichen Geläuten beobachten kann. Wie es nicht anders sein kann, finden sich diejenigen Klöppelseiten, welche beim Anziehen des Läutefeiles unmittelbar getroffen werden, weit mehr abgenutzt, als die entgegengesetzten, welche blofs vom Stofs der zurückkehrenden Glocke herrühren, woraus der grofse Antheil der jedesmaligen Zieharbeit an der ganzen, in der schwingenden Glocke vorhandenen lebendigen Kraft dargethan wird. Es ist dem läutenden Personal mit einiger Anstrengung sogar möglich, die Zahl der Schwingungen in der Minute um mehrere zu steigern, und zwar durch vorzeitiges Anhalten und starkes Ziehen, wobei der Ausschlagwinkel auf der einen Seite kleiner wird. Die oben angegebenen Beobachtungen über die Schwingungszahlen wurden übrigens bei in der Mitte fest gebundenem Klöppel gemacht, wo dann ein leises Ziehen zur Ingangerhaltung genügte. Endlich habe ich noch mitzuthellen, dafs die Scheiben ihre Unterlagen nur wenig angegriffen haben und auch die Zähne der Scheiben und der Lagerplatten nur schwach abgenutzt erscheinen, so dafs die Bewegung der Scheiben im Wesentlichen als eine rollende und somit wenig passive Widerstände verursachende angesehen werden mufs. Dafs die einseitige Wirkung der Zugfeile auf das eine Ende der Achse die Anbringung einer Verzahnung am meisten erfordert, zeigt die gröfsere Abnutzung der Zähne an der Seite, an welcher das Zugfeil auf das für dasselbe an der Achse vorhandene Segment einer Seilscheibe wirkt.

Der aus Eichenholz hergestellte, mit einigen diagonal angebrachten Zugeisen armirte Glockenstuhl, welcher übrigens bei 7^m Höhe mit seinem Fusse bis auf einen um ein Geschofs tiefer als der Fußboden der Glockentube liegenden Mauerabfatz hinabreicht, hat augenscheinlich nur geringe Beanspruchungen beim Läuten der vorhandenen 4 Glocken (*H*: 1,64^m Durchmesser, 2283^{kg}; *D*: 1,36^m Durchmesser, 1356^{kg}; *Fis*: 1,99^m Durchmesser, 710^{kg}; *H*: 0,78^m Durchmesser, 277^{kg}; zusammen 4626^{kg}) auszuhalten, während früher, bei der gewöhnlichen Aufhängung, während welcher die Glocken in 2 Etagen über einander hingen, zur Verhinderung der starken Bewegungen ein Abstützen des Stuhles oben gegen das Thurmgemäuer zum Nachtheil des letzteren hatte stattfinden müssen, was jetzt nicht mehr der Fall ist. Der ganze Raum für den Glockenstuhl mißt im Grundriß 4,29^m Länge bei 3,64^m Breite, woraus denn die geringe Wegelänge der Glocken in der Schwingungsrichtung zu beurtheilen ist⁸⁸⁾.

62.
Vergleich
der drei
Aufhänge-
methoden.

Zum Vergleiche der bei den betrachteten drei Aufhängungsmethoden benötigten Längen diene übrigens Folgendes.

Bei der gewöhnlichen Aufhängung bildet die Klöppelspitze während der horizontalen Lage der Glocke und des Klöppels den am weitesten ausladenden Punkt, und es berechnet sich daher die halbe Raumlänge aus

Glockenhöhe	= 0,7346 <i>D</i> ,
Abstand der Achse über Scheitel	= 0,1190 <i>D</i> ,
Ueberstand der Klöppelspitze über den unteren Glockenrand	= 0,2500 <i>D</i>
	im Ganzen = 1,1036 <i>D</i> ,
oder die ganze Raumlänge	= 2,2072 <i>D</i> .

Bei der *Pozdech'schen* Anordnung steht die Klöppelspitze, wenn der Klöppel die Glocke berührt, um 0,8 *D* von der Drehachse ab; sobald nun die Verbindungslinie zwischen Klöppelspitze und Drehachse horizontal steht, ist der größte Horizontalabstand erreicht, und es ist daher die ganze benötigte Länge 2 · 0,8 *D* = 1,60 *D*.

Verwendet man denselben Klöppel bei der *Ritter'schen* Aufhängung und legt die Verhältnisse des Zahlenbeispiels in Art. 61 zu Grunde, so ist der Abstand zwischen Klöppelspitze und Drehachse = 0,74 *D*, mithin die ganze Länge 2 · 0,74 = 1,48 *D*.

⁸⁸⁾ Bei den in Werdau angestellten Beobachtungen und eingezogenen Erkundigungen ist mir Herr Stadtbauinspector *Neumann* daselbst in freundlicher Weise förderlich gewesen, was ich hier dankend anzuerkennen habe.

Verwendet man aber den von *Ritter* gewöhnlich benutzten Klöppel mit leichtem Stiel unter Weglassung des Knopfes, so wird die äußerste Linie von dem Glockenrande beschrieben, und es ist dann der größte Horizontalabstand von der Achsenlinie der vertical hängenden Glocke nur $0,68 D$, mithin die ganze benötigte Länge $2 \cdot 0,68 D = 1,36 D$.

Da diese Ziffern, verbunden mit den berechneten Angaben über die beim Läuten auftretenden Kräfte einiges Interesse haben dürften, so stellen wir sie in folgender Tabelle zusammen.

	Gewöhnliche Aufhängung	<i>Pozdeck'sche</i> Aufhängung	<i>Ritter's</i> Aufhängung	
			mit gewöhnlichem Klöppel	mit kurzem Klöppel
Erforderliche Länge	2,2072 <i>D</i>	1,60 <i>D</i>	1,48 <i>D</i>	1,36 <i>D</i>
Größter Horizontal Schub	1,5620 <i>Q</i>	0,2713 <i>Q</i>	—	—
Größter Verticaldruck	3,1087 <i>Q</i>	1,5573 <i>Q</i>	—	—
Abstand des Schwingungspunktes	0,787 <i>D</i>	1,0259 <i>D</i>	0,977 <i>D</i>	—

c) Außergewöhnliche Constructions.

Haben wir bisher bloß Glockengebälke und Glockenstühle von geringer Höhe, wie sie gewöhnlich vorkommen, betrachtet, so bleibt uns noch übrig, bezüglich außergewöhnlicher Constructions Einiges zu bemerken. Zu solchen außergewöhnlichen Constructions sind die Glockenstühle von bedeutender Höhe zu rechnen, wie sie aus Holz vielfach gebaut worden sind, um die Thürme vor den Wirkungen des Schwingens der Glocken zu bewahren. Wir erinnern hier an den ca. 19^m hohen Glockenstuhl im St. Stephans-Thurme zu Wien, ferner in der Thomas-Kirche zu Leipzig von 20^m Höhe⁸⁹⁾, sodann an den von *Viollet-le-Duc* 1852 neu erbauten 24^m hohen Glockenstuhl (*beffroi*) in einem der Westthürme der *Notre-Dame*-Kirche zu Paris etc. Alle diese Glockenstühle sind selbstverständlich gut verstrebt; es sind aber außer den Eckfäulen auch noch Zwischensäulen zum unmittelbaren Aufnehmen des Druckes der Glockenachsen angebracht, was dem ganzen Verbandschaden muß. Es ist daher, um die ganze Stabilität des Glockenstuhles thunlichst zu erhöhen, für diese Constructions die Anwendung lediglich von Eckfäulen, die nach Art amerikanischer Brücken (nach *Long's*chem System) mit einander verstrebt sind, zu empfehlen; auch ist ein derartiger Stuhl aus Holz in der Christus-Kirche zu Hannover auf den Rath des Verfassers dieses Kapitels von *Hase* 1864 ausgeführt.

Für Eisenconstruction dürfte sich eine der bei eisernen Viaduct-Pfeilern gebräuchlichen Anordnungen am meisten empfehlen.

Von den Erscheinungen, welche auf den Nutzen der Anwendung hoher Stühle besonders hinweisen, ist hier die pendelartige Bewegung des Stephans-Thurmes beim Läuten zu erwähnen, über welche Dombaumeister *Schmidt* in einer Versammlung des Ingenieur- und Architekten-Vereines in Wien folgende Mittheilung gemacht hat⁹⁰⁾.

Die große, 3,48^m im Durchmesser haltende, 22,4^t schwere Glocke wurde nach der letzten Restauration des Thurmes 1869 zum ersten Male wieder in Bewegung gesetzt. Durch den ca. 19^m hohen Glockenstuhl werden die Kraftwirkungen fast vollkommen auf die unteren Lagerblöcke übertragen. Die

⁸⁹⁾ Siehe: BREYMANN. G. A. Allgemeine Bau-Constructions-Lehre. II. Theil: Constructions in Holz. 4. Aufl. Von H. LANG. Stuttgart 1870.

⁹⁰⁾ Nach: Deutsche Bauz. 1871, S. 86.

63.
Glockenstühle
von großer
Höhe.

beim Läuten beobachteten Schwingungen wurden am heftigsten in Höhe der Glockenstube selbst gefühlt, während die Erschütterung der oberen noch zugänglichen Theile kaum merklich war. Diese Erscheinung wurde einer Untersuchung unterzogen, indem in Höhen von 57, 68, 83 und 113,8^m über dem Pflaster Pendel von 2,5^m Länge aufgehängt wurden, welche je 4,4, 8,8, 17,6 und 8,8^{mm} Ausschlag lieferten, während die Schwankung der Kreuzrose zu 20^{mm} gemessen wurde. Die durch das Läuten der großen Glocke hervorgebrachten Bewegungen des Stephans-Thurmes stellen sich also in Form einer Knotenschwingung dar, wobei noch die eigenthümliche Erscheinung beobachtet wurde, daß die Pendel gleichzeitig in eine rotirende Bewegung geriethen.

Eine gleichfalls sehr interessante Mittheilung über beobachtete Schwingungen eines mit massivem Helm versehenen Thurmes — der Johannis-Kirche in Altona — giebt *Otzen*, der Architekt des Baues⁹¹⁾.

Es ruht in diesem Thurme der Glockenstuhl etwa in 20^m Höhe über dem Boden auf einem Mauerabfätze; die Höhe des Glockenstuhles ist 19^m; er trägt drei Stahlglocken von 2780^{kg} (*B*), 1352^{kg} (*D*) und 975^{kg} (*E*) Gewicht über einander, und es ist die große Glocke zu unterst, die kleinste zu oberst angebracht. In Folge des Lätens der in gewöhnlicher Weise aufgehängten und daher starke Seitenkräfte ausübenden Glocken gerieth aber der Thurm in Seitenschwankungen, welche an der Spitze bis zu 10^{cm}, also viel mehr betrug, als beim Stephans-Thurme in Wien, und man war daher auf eine Abhilfe bedacht, welche denn auch, zwar nicht durch die Abänderung der Reihenfolge der Glocken, wie in der unten⁹¹⁾ bezeichneten Quelle angegeben, wohl aber durch Anbringung der *Ritter'schen* Aufhängung bei der kleinen Glocke, deren Schwingungen fast ausschließlich die Schwankungen des Thurmes veranlaßten, herbeigeführt wurde, indem nach dieser veränderten Aufhängung und damit bedeutenden Verringerung der am größten Hebelsarm wirkenden Seitenkraft die Schwankungen beim Läuten beseitigt wurden.

Für fest hängende Glocken handelt es sich nur um verticale Unterstützung; die Stühle für solche können daher sehr einfach construirt sein. Vor der erst in den letzten Jahrzehnten allgemein gewordenen Anwendung des Schmiedeeisens hat man solche Glockenstühle, wie auch diejenigen für Thurmuhren, mehrfach aus Gusseisen hergestellt, und es findet sich ein solcher Stuhl in, der Louisenstädtischen Kirche zu Berlin⁹²⁾ und im Thurm des Parlamentsgebäudes zu London⁹³⁾.

64.
Stühle
für fest
hängende
Glocken.

Literatur

über »Glockenstühle«.

The hanging of church bells. *Builder*, Bd. 10, S. 251, 331.

Montage des cloches et construction des beffrois. *Revue gén. de l'arch.* 1855, S. 318 u. 365.

On some alterations in bells and bell machinery. *Builder*, Bd. 13, S. 159.

SMITH, C. H. *On the forms, methods of casting, and ringing of large bells.* *Builder*, Bd. 14, S. 11.

Mr. E. B. DENISON *of bells and the mode of ringing them.* *Builder*, Bd. 14, S. 88, 164.

Forms and musical properties of bells. *Builder*, Bd. 14, S. 144.

LUKIS, W. C. *An account of church bells; with some notices of Wiltshire bells and bell-founders.* London und Oxford 1857.

OTTE, H. *Glockenkunde.* Leipzig 1858.

ELLACOMBE, H. T. *Practical remarks on belfries and ringers.* London 1859.

STEIN. *Glockenstuhl von Eisen in der Klosterkirche in Berlin.* *Zeitschr. f. Bauw.* 1860, S. 486.

Glockenstuhl der St. Nicolaus-Kirche zu Innsbruck. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1860, S. 357.

Beschreibung des Verfahrens bei Aufhängung der Glocken im Thurm des Westminster-Palastes. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1861, S. 191.

Regeln für die Anlage von Glockenhäusern. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1861, S. 461.

Ueber das Aufhängen der Glocken. HAARMANN'S *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1861, S. 59.

Ueber Glockenstühle und Aufhängen der Glocken. HAARMANN'S *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1863, S. 85, 101.

⁹¹⁾ In: *Zeitschr. f. Bauw.* 1877, S. 13.

⁹²⁾ Siehe: *Zeitschr. f. Bauw.* 1861, S. 479.

⁹³⁾ Siehe: DENISON, E. B. *Treatise on clocks, watches and bells.* 4th edit. London 1862.

- Die Glockenstühle von POZDECH in Pefth. HAARMANN'S Zeitschr. f. Bauhdw. 1863, S. 219.
- Glockengufs und Aufhängevorrichtung, nach MAILLARD. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1864, S. 370.
- Église de Mafny. Belfroi. Gaz. des arch. et du bât.* 1864, S. 53.
- Glockenläutevorrichtung, von RITTER in Trier. Zeitschr. f. Bauw. 1865, S. 373.
- SPEHLING, J. H. *Church bells: their antiquities and connexion with architecture. Builder*, Bd. 23, S. 241, 254.
- Bells and wood-work. Builder*, Bd. 25, S. 642.
- ORTH. Haben sich eiserne Glockenstühle bewährt und wo ist etwas darüber veröffentlicht? Zeitschr. f. Bauw. 1868, S. 307.
- Ritter's patentirte Glockenaufhängung. HAARMANN'S Zeitschr. f. Bauhdw. 1868, S. 37.
- Aufhängung der Glocken nach RITTER'scher Methode. Deutsche Bauz. 1869, S. 99.
- Antifrikationslager für Glocken. Deutsche Bauz. 1871, S. 215.
- KÖPCKE. Ueber eiserne Glockenstühle. Prot. d. Sächf. Ing.- u. Arch.-Ver. 1871, S. 58.
- RAU, E. Glockengiefserkunst. Allg. Bauz. 1872, S. 330.
- KECK. Berechnung schmiedeeiserner Glockenstühle. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1872, S. 638.
- Belfries and bells. Builder*, Bd. 31, S. 21.
- Bells and bell-cages. Builder*, Bd. 31, S. 170.
- LUND, G. *On bells, and modern improvements for chiming and carillons. Builder*, Bd. 32, S. 201.
- The bells and carillon machine, Worcester cathedral. Builder*, Bd. 32, S. 238.
- Suspension de cloche à Narbonne. Revue gén. de l'arch.* 1875, S. 241, Pl. 52.
- Achsendrücke schwingender Glocken. Deutsche Bauz. 1875, S. 238.
- Something about church bell-hanging, and the vibration of bell-towers. Builder*, Bd. 33, S. 33.
- VISSER. Einiges über das Aufhängen von Thurm Glocken. Baugwksztg. 1875, S. 786; 1876, S. 6.
- VELTMANN. Ueber die Bewegung einer Glocke. Polyt. Journ., Bd. 220, S. 481.
- OTZEN, J. Die St. Johanniskirche in Altona. c, 1) Glockenstuhl und Glocken. Zeitschr. f. Bauw. 1877, S. 13.
- The new bells and bell-cage, St. Paul's cathedral, London. Builder*, Bd. 36, S. 1066.
- Bells and bellfounding; a practical treatise upon church bells. By X. Y. Z. Bristol* 1879.
- Der Lambertithurm zu Münster. Wochbl. f. Arch. u. Ing. 1879, S. 255.
- KÖPCKE. Mittheilungen über die Construction und Stabilitätsverhältnisse eines auf dem Thurme der Kirche zu Neuenkirchen bei Osnabrück in Ausführung gebrachten eisernen Glockenstuhles. Mitth. d. Sächf. Ing.- u. Arch.-Ver. 1879, S. 132.
- VELTMANN, V. Die Kölner Kaiferglocke etc. Bonn 1880.
- Bell-mounting. Engineer*, Bd. 49, S. 283.
- ADLER, F. Das Münster zu Freiburg i. Br. Deutsche Bauz. 1881, S. 505.
- STÜBE. Wiederaufbau der Thurmspitze der St. Katharinen-Kirche zu Osnabrück im Jahre 1880. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 21.

