



Sicherungen gegen Einbruch

Marx, Erwin

Darmstadt, 1884

a) Theoretische Untersuchungen.

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

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 gröfser 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 gröfseren Höhe ($0,8 D$ gegen $0,7346 D$ bei der deutschen Glocke) allein nicht erklärt und der somit eine noch sonst abweichende Massenvertheilung voraussetzen läfst.

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 grofs, 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 $0,052792 \cdot 8810 = 460,7\text{kg}$, ausschliesslich der zur Befestigung an die Drehachse dienenden Theile, der sog. Krone; dagegen wiegen die nach dieser Rippe vom Glockengiefler *Grofe* in Dresden ausgeführten Glocken der Johannis-Kirche⁸²⁾ einschliesslich 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 gegoffene, 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

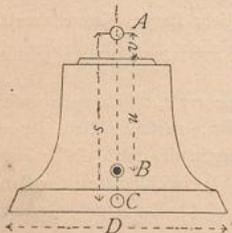
$$\mathcal{F} = 0,10397 Q \frac{\gamma}{g} D^2$$

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

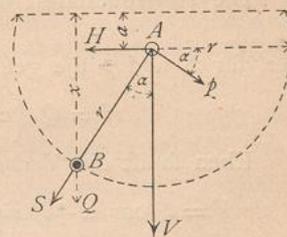
$$\frac{Q}{g} r \omega^2.$$

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.

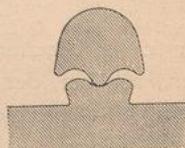
Der (mittels Haken eingefetzte) Zapfen ruht auf einer ebenen Gufsplatte, die in der Mitte ihres äufseren Randes einen Zahn trägt, über den eine Nuth im Zapfenende faßt, wodurch die wälzende Bewegung begrenzt und ein Ausgleiten des Zapfens verhindert wird.

Man hat zu dem gleichen Zwecke der Verminderung der Reibung auch Frictionscheiben, auf deren convexer Außenseite 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.

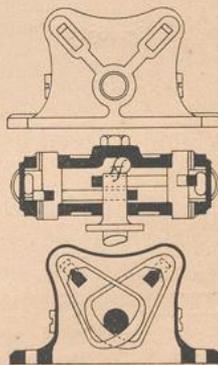
54.
Verminderung
der Zapfen-
reibung.

Fig. 60.



Offenes Zapfenlager.
1/5 n. Gr.

Fig. 61.



Bochumer Glockenlager⁸⁵⁾.

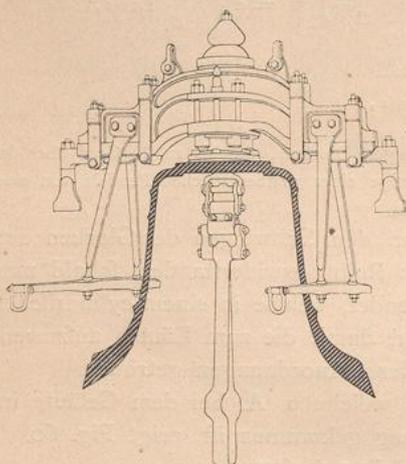
⁸⁵⁾ Nach: Deutsche Bauz. 1871, S. 125 und: Prospect des Bochumer Vereins für Bergbau und Gufstahlfabrikation.

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.

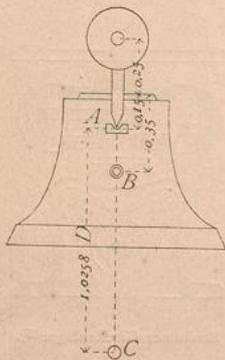
Von einer Glocke mit der *Pozdech'schen* Einrichtung geben wir in Fig. 62 eine perspectivische Abbildung, in welcher zugleich der Achsenschnitt (Rippe), Form und Aufhängung des Klöppels und die beiden zur Anbringung der Zugseile bestimmten Hebel zu erkennen sind.

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.

