der flüſſigen Glockenmaſſe auf die Guſsform 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 auſser dem Haupttone noch mehrere andere Töne, insbeſondere die nächſt höhere Octave und dazwiſchen die kleine oder groſse Terz oder Quarte unterſcheiden laſſen. Da nun beiſpielsweiſe drei Glocken, wovon die gröſste den Grundton *C*, die mittlere die groſse Terz *E* und die kleinſte die Quinte *G* liefert, während alle drei daneben die ihrem Haupttone zugehörige groſse 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 groſse Abweichungen unter einander aufweiſen.

Wir haben das Vorſtehende deſshalb 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 groſs 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 Ermittelung 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 Ermittelungen zu Grunde gelegt und die benöthigten 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 . . . $\mathfrak{J} = 0{,}005437 \; D^5 \frac{\gamma}{g}$,

oder

$$\mathfrak{J} = 0{,}10397 \; Q D^2 \frac{\gamma}{g} \text{ [79])}.$$

77) Dieſelbe iſt beſchrieben und gezeichnet zu finden in:

OTTE. 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 Glockenprofiles 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 $2\,\pi\,.\,7041{,}5\,p^3$, worin p einen Punkt oder $\frac{1}{90}$ des unteren Durchmessers bezeichnet; demnach würde in D ausgedrückt der Inhalt sein

$$Q = 0{,}059373\,D^3.$$

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

$$\mathfrak{J} = 2\,\pi\,.\,13480897\,p^5 = 0{,}014327\,D^5\frac{\gamma}{g}\,.$$

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

$$\mathfrak{J}_1 = \mathfrak{J} + 0{,}23462^2\,Q\,\frac{\gamma}{g} = D^5\frac{\gamma}{g}\,(0{,}005437 + 0{,}2346^2\,.\,0{,}052292) = 0{,}008315\,D^5\frac{\gamma}{g}\,,$$

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 Verhältnis von $59 : 52$ grösser ist, ausscheidet; alsdann findet sich bei *Schinz*

$$\mathfrak{J}_1 = 1914\,p^2\,Q\,\frac{\gamma}{g}\,,$$

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

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

während sich bei unserer Glocke findet:

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

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

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

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 $3{,}42^{\text{m}}$ im unteren Durchmesser und $2{,}73^{\text{m}}$ in der Höhe; sie hat demnach ein Verhältnis 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 $1^1/_2$-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 ergiebt sich nach unserer obigen Ziffer beim specifischen Gewicht von $8{,}81$ zu $0{,}052292\,.\,8810 = 460{,}7^{\text{kg}}$, ausschliesslich 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-Kirche[82]) einschliesslich der Krone die *C*-Glocke von $1{,}57^{\text{m}}$ Durchmesser $1853{,}5^{\text{kg}}$ oder durch Division mit $1{,}57^3$ auf 1^{m} Durchmesser reducirt

diesen Werth zu $0{,}0981\,Q\,D^2\,\frac{\gamma}{g}$ gefunden (vergl. Protokoll der 75. Hauptversammlung des Sächs. 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 $1{,}22^{\mathrm{m}}$ Durchmeſſer 912 kg oder auf 1^{m} Durchmeſſer reducirt 502,2 kg; die *G*-Glocke von $1{,}05^{\mathrm{m}}$ 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}

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

während die nach franzöſiſcher Rippe gegoſſene, von *Schinz* unterſuchte *Des*-Glocke (in der Heiligengeiſt-Kirche zu Bern) bei $1{,}575^{\mathrm{m}}$ 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 $\frac{2366}{1{,}575^3} = 608{,}1\ \mathrm{kg}$, 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 $\frac{2250{,}5}{1{,}575^3} = 576\ \mathrm{kg}$.

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 ergiebt, und es findet ſich auch aus der vorhin angegebenen Ziffer das theoretiſche Gewicht zu nur $0{,}059373 \cdot 1{,}575^3 \cdot 8810 = 2043{,}5\ \mathrm{kg}$ 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 Tabellen[83]) 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 verhältniſsmäſsig 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

$$\mathfrak{J} = 0{,}10397\ Q\,\frac{\gamma}{g}\,D^2$$

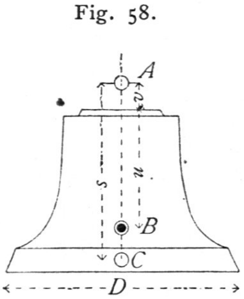
gerechnet werden.

53. Kräfte-wirkungen der Glocken-ſchwingungen.

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 deſshalb 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 ergiebt ſich für die Glocke allein der Abſtand s des Schwingungspunktes C von der Drehachſe A

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

oder in Zahlen

83) Eine ſolche iſt in der »Deutſchen Bauzeitung« 1870, S. 238 enthalten und in *Klaſen*'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 beftimmten Ausfchlagwinkels und damit der Bogenhöhe h des vom Schwingungspunkte befchriebenen Weges ift die Schwingungszeit

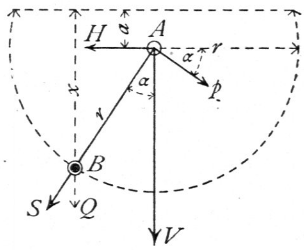
$$t = \pi \sqrt{\frac{s}{g}\left[1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \frac{h}{2\,s} + \left(\frac{1.3}{2.4}\right)^2 \left(\frac{h}{2\,s}\right)^2 + \ldots\right]}.$$

Für die Ermittelung der Kräftewirkungen haben wir vom Abftande s des Schwingungspunktes von der Drehachfe Gebrauch zu machen.

Es fei nun (Fig. 59) für eine beliebige Stelle der Schwerpunktsbahn die Fallhöhe x; alsdann ift die auf Bewegung verwandte mechanifche Arbeit (abgefehen von den paffiven Widerftänden) gleich der gewonnenen lebendigen Kraft. Somit befteht, wenn die Winkelgefchwindigkeit ω ift und $v + u = r$ gefetzt wird, die Gleichung

$$Q\,x = \frac{\frac{Q}{g}(\omega\,r)^2 + \mathfrak{J}\,\omega^2}{2}$$

Fig. 59.



oder, da

$$\frac{Q\,r^2 + \mathfrak{J}}{Q\,r} = s,$$

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

woraus

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

Nehmen wir nun an, dafs der Schwerpunkt bei der höchften Lage der Glocke fich um die Gröfse a über die Drehachfe erhebt, dann ift die Fallhöhe beim Neigungswinkel α gegen die Verticale

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

da ferner $d\,\alpha = \omega\,dt$ gefetzt werden kann, fo ift

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

Wird nun das Maffenelement mit m, fein Abftand von der Drehachfe mit ρ, feine Gefchwindigkeit mit v bezeichnet, fo ift die Centrifugalkraft $c = \frac{m\,v^2}{\rho}$, und, da $v = \rho\,\omega$ ift,

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

Dies ift das ftatifche Moment des Elementes multiplicirt mit dem Quadrat der Winkelgefchwindigkeit; folglich ift für den ganzen Körper die Centrifugalkraft gleich $\frac{Q}{g}\,r\,\omega^2$.

In derfelben Richtung wirkt die nicht zur Hervorbringung von Befchleunigung thätige Componente des Glockengewichtes $= Q\,\cos\alpha$; es ift fomit die Spannung in der Pendellinie der Glocke

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

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

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

Da wir es hier nicht mit einem mathematifchen Pendel zu thun haben, fo kann die Befchleunigung der Winkelbewegung nur zu Stande kommen unter gleichzeitiger Erzeugung eines Widerftandes p der Drehachfe in rechtwinkeliger Richtung zur Mittellinie; der Hebelsarm ift der Schwerpunktsabftand r, und es ergiebt fich aus der Gleichfetzung von Arbeit und Kraft

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

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

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

Die Horizontalkraft der fchwingenden Glocke ift nun

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

oder, für S und p die gefundenen Werthe eingefetzt,

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

Eben fo ift die Verticalkraft

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

woraus für einen beftimmten Fall die Wirkungen einer fchwingenden Glocke auf ihre Lager zu berechnen find.

Beifpiel. Es ift der gröfste Werth der Horizontalkraft für eine in gewöhnlicher Weife aufgehängte Glocke zu berechnen, wenn deren Mittellinie im äufserften Falle um 20 Grad über den Horizont fich erhebt.

Unter Zugrundelegung der oben angegebenen Zahlen, fo wie unter Beachtung des Umftandes, dafs

$$x = r(\sin 20^0 + \cos\alpha) \text{ und } r = (0{,}500045 + 0{,}119)\,D = 0{,}619045\,D,$$

alfo $r\sin 20^0 = 0{,}619045 \,.\, 0{,}34202\,D = 0{,}211726\,D$, ift

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

oder

$$0{,}787\,\frac{H}{Q} = 1{,}857138\sin\alpha\cos\alpha + 0{,}423452\sin\alpha.$$

Die Bedingung des Maximums für H ift fomit

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

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

woraus

$$\alpha = 49^0\,16'\,38''.$$

Der gröfste Werth der Horizontalkraft aber ift

$$\frac{H}{Q} = \frac{\frac{1{,}857138}{2}\sin 98^0\,33'\,16'' + 0{,}423452\sin 49^0\,16'\,38''}{0{,}787} = 1{,}562.$$

Die gröfste Horizontalkraft ift demnach etwa das $1\frac{1}{2}$-fache des Glockengewichtes, und es tritt deren Wirkung bei jeder Schwingung fowohl nach der einen, wie nach der anderen Bewegungsrichtung ein; der Thurm, wie der Glockenftuhl werden demnach abwechfelnd mit diefer Intenfität in ganz kurzen Zwifchenräumen bald nach der einen, bald nach der entgegengefetzten Richtung horizontal beanfprucht.

---

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

Die gröfste Verticalkraft entfteht bei Durchfchreitung der Verticalen für $\alpha = 0$, und es beträgt Centrifugalkraft und Schwere zufammen

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

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

Der gröfste Verticaldruck ift demnach etwas gröfser, als das 3-fache der ruhenden Glockenlaft.

Die Schwingungsdauer findet fich, da $h = s\,(1 + \sin 20^0) = 1{,}34302\ s$, 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 $s = 0{,}787\ D$, fo ergiebt fich

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

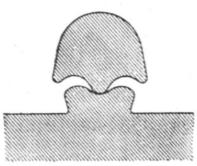
d. h. alfo: Man kann bei in gewöhnlicher Weife aufgehängten Glocken, die bis zu 20 Grad über den Horizont gefchwungen werden, als Schwingungsdauer diejenige eines mathematifchen Pendels von einer Länge gleich 0,97 des gröfsten Glockendurchmeffers annehmen.

Die bedeutende Centrifugalkraft, welche bei dem Schwingen der Glocken entfteht, ift felbftverftändlich Urfache eines grofsen Reibungswiderftandes, fobald man gewöhnliche Zapfen von cylindrifcher Form verwendet, welche in einem cylindrifchen Lager fich bewegen. Um nun die Reibung und damit die zum Läuten aufzuwendende Arbeit zu vermindern, hat man verfchiedene Anordnungen getroffen. 54. Verminderung der Zapfenreibung.

Eine der einfachften diefer Anordnungen, welche u. A. bei dem Geläute im Katharinen-Thurme zu Osnabrück zur Anwendung gekommen ift, zeigt Fig. 60.

Der Zapfen von 28 mm Halbmeffer ift an der Auflagerftelle nach einem Halbmeffer von nur 6 mm abgerundet und dadurch nahezu diefelbe Wirkung erzielt, als wenn man eine Schneide angewandt hätte, zumal da in Folge des gröfseren Halbmeffers des Lagers auf dem gröfsten Theile des Glockenweges ein Gleiten des Zapfens überall nicht eintritt. Dafs die beiden Aushöhlungen des Zapfens in Verbindung mit der entfprechenden Form des Lagers geeignet find, die Glocke bei hohem Schwingen an dem Verlaffen des Lagers zu hindern, bedarf lediglich des Hinweifes.

Fig. 60.



Offenes Zapfenlager.
1/5 n. Gr.

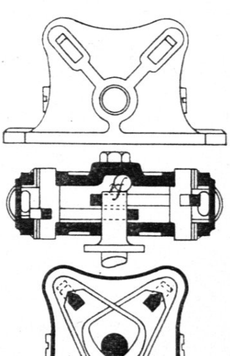
Anders ift die von *Collier* in Berlin angegebene, vielfach und mit gutem Erfolge ausgeführte Anordnung, bei welcher nicht Gleit-, fondern Rollbewegung des Zapfens ftattfindet.

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 fafft, wodurch die wälzende Bewegung begrenzt und ein Ausgleiten des Zapfens verhindert wird.

Man hat zu dem gleichen Zwecke der Verminderung der Reibung auch Frictionsfcheiben, auf deren convexer Aufsenfeite der Zapfen fich bewegt, zur Anwendung gebracht, neuerdings aber mit grofsem Vortheile auf Schneiden gehängte Stahlbügel angewandt, welche als Sectoren von hohlen Frictionsfcheiben angefehen werden können, auf deren concaver Seite der Zapfen fich bewegt.

Diefe Conftruction ift zuerft bei den Bochumer Stahlglocken zur Anwendung gekommen, und wir geben in Fig. 61 eine Abbildung derfelben.

Fig. 61.



Bochumer Glockenlager[85]).

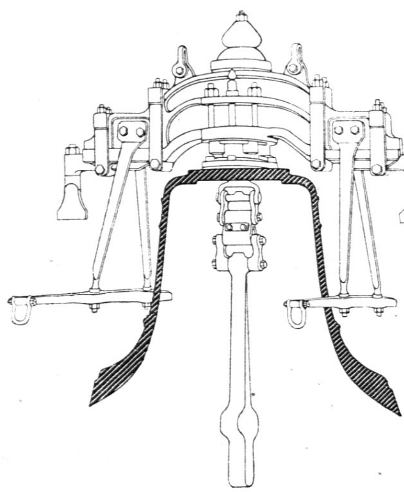
[85]) Nach: Deutfche Bauz. 1871, S. 125 und: Profpect des Bochumer Vereins für Bergbau und Gufsftahlfabrikation.

Zur Erläuterung derſelben iſt nur zu bemerken, daſs das Gehäuſe aus Guſseiſen 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-Armirung.

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 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, ſomit die Unterbringung der Glocken zu erleichtern.

Fig. 62.



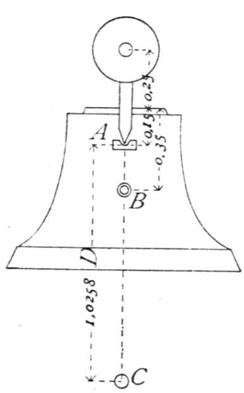
Pozdech'ſche Glocken-Armirung.

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 Kirchthurme zu Friedrichſtadt-Dresden befindlichen Glocke (die Schneiden der meiſselartigen Anſätze 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 $^1/_4$ des Glockengewichtes und deſſen Schwerpunktsabſtand über dem Glockenſcheitel zu $^1/_4$ des unteren Durchmeſſers annehmen, während die Drehachſe um 0,15 des unteren Durchmeſſers unter dem Glockenſcheitel liegt. Wird nun auf das (verhältniſsmäſsig 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.



$$r_1 = \frac{Q \,.\, 0{,}500045 - {}^1/_4\, Q \,.\, 0{,}25}{Q + \dfrac{Q}{4}}\, D = 0{,}35004\ D.$$

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

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

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

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

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

$$\mathfrak{J}^1 = 0{,}21647\ Q D^2 + 0{,}2^2\ Q D^2 = 0{,}25647\ Q D^2.$$

Das statische Moment ist

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

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 ergiebt sich die größte Fallhöhe für einen beliebigen Punkt der Schwerpunktsbahn, zu

$$x = r_1\ (\cos \alpha - \cos 78^0),$$

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

$$\alpha = 42^0\ 8'\ 20'',$$

und für diese Stellung der Glocke

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

Die größte Horizontalkraft ist also nur $^3/_{11}$ des Glockengewichtes oder etwa $^1/_6$ $\left(= \frac{0{,}271316}{1{,}562}\right)$ derjenigen, die beim Läuten einer in gewöhnlicher Weise aufgehängten Glocke auf Verschiebung des Glockenstuhles zur Wirkung kommt.

Die größte Verticalkraft ergiebt 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 Gesammtgewicht der Glocke incl. der Armatur $^5/_4\ Q$ beträgt, so kommt auf die Centrifugalkraft nur etwa $^1/_4$ des Gewichtes.

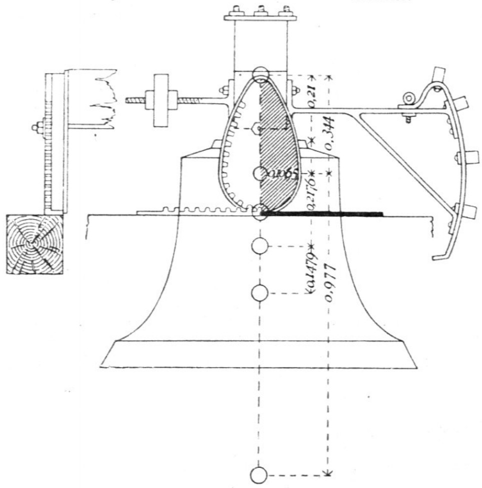
56. *Ritter's* Glocken-Aufhängung.

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

Fig. 64. Fig. 65.

Anficht. *Schnitt.*



Ritter's Glocken-Aufhängung.

beträgt. Es befchreibt mithin jeder Punkt des ganzen Syftemes beim Schwingen eine Cycloide, und diefe Cycloiden find für alle Punkte, welche über den Umfang der Scheibe hinausliegen, verfchlungene.

Die Schwingungsdauer eines Pendels diefer Zufammenfetzung ift von *Euler* für kleine Ausfchlagwinkel berechnet und in *Jullien*'s »*Problèmes de mécanique rationelle*« (Paris 1855), Bd. 2, S. 65 abgeleitet.

Für die Verhältniffe, wie fie bei einer nach *Ritter*'s Syftem aufgehängten Glocke beftehen, nämlich mäfsig grofse Ausfchlagwinkel, einen verhältnifsmäfsig kleinen Scheiben-Radius und ein grofses Trägheitsmoment der Maffe um ihren eigenen Schwerpunkt, kann man einfach die Scheibenmittelpunkte als fefte Endpunkte der Drehachfe betrachten, und es ftimmen mindeftens die über die Schwingungsdauer bei dem Geläute in Werdau, welches im Jahre 1867 nach *Ritter*'s Syftem hergerichtet wurde, vom Verfaffer gemachten Beobachtungen mit diefer Annahme überein.

Diefer Gegenftand wird bei der in Art. 61 vorzuführenden Befchreibung des Werdauer Geläutes noch weiter verfolgt werden.

b) Befchreibung einiger Glockenftuhl-Conftructionen.

57. Katharinen-Kirche zu Osnabrück.

Im Thurme der Katharinen-Kirche zu Osnabrück war ftatt eines alten, durch Brand zerftörten ein neues Geläute von 4 Glocken, deren gröfste (*H*) 2320 kg wiegt, aufzuftellen. Da es in Anbetracht der grofsen Mauerwerksmaffe des Thurmes nicht geboten erfchien, die in der Höhe des Kirchendaches aufzuhängenden Glocken durch einen hohen Stuhl zu ftützen, fo war blofs ein Gebälk herzuftellen, welches in dem Thurmmauerwerk in der angegebenen Höhe feine Auflagerung erhielt. Auch von der Anwendung der *Pozdech*'fchen oder *Ritter*'fchen Aufhängungsweife wurde abgefehen, weil der Thurm, der das alte Geläute Jahrhunderte lang ohne Schädigung getragen, mehr als genügende Stabilität befitzt, um den beim Läuten entftehenden Kräften widerftehen zu können, und weil man bei der gewöhnlichen Aufhängung ftärkere Tonwirkungen erwartete.

Das Mauerwerk zeigt (Fig. 66) an zwei einander gegenüber liegenden Seiten einen Abfatz, auf den die Hauptträger geftützt find, während eine Auflagerung der Enden der Querträger bei der Stärkenberechnung nicht berückfichtigt, bei der Ausführung aber, und gewifs mit grofsem Vortheil für die gleichmäfsige Vertheilung der Kräfte auf das Mauerwerk, an den drei mittleren durch Einftecken in die Mauern hergeftellt wurde.

Die (im Ganzen 5) durchgehenden Querträger haben zunächft den Hauptträgern die nöthige Stabilität gegen Seitenfchwankungen zu gewähren, demnächft zur Vertheilung der Preffungen und damit zur Verminderung der Schwankungen zu dienen, wobei die Wirkung der Trägheit des ganzen Gebälkes gegenüber jeder durch das Läuten entftehenden fchiebenden und biegenden Kraft mit zu Nutze kommt.

Die Hauptträger find Fachwerksträger von 1,75 m Höhe; die Querträger find mit 1,50 m Höhe fo viel niedriger als die Hauptträger, dafs fie durch letztere mit ununterbrochenen Gurtungen haben durchgefteckt