Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Bern
Band: - (1864)
Heft: 559-560

Artikel: Die Aufhängung der Kirchenglocken [Fortsetzung und Schluss]
Autor: Schinz, E.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-318747

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

$M_5 = 95.5^{Kgr.}$ $M_5V_5 = 19814^{cm,\ Kgr.}$ $M_5W_5^2 = 4118356^{cm,\ Kgr.}$

Für den festgestemmten Kallen wurde gefunden:

$M_6 = 76.0^{Kgr.}$ $M_6V_6 = 11500^{cm.\ Kgr.}$ $M_6W_6^2 = 2058644^{cm.\ Kgr.}$

15. Die Zusammenstellung gibt somit pro Axe D:

i	Kgr. M_i	Kgr. und cm. M_iV_i	Kgr. und cm. $M_iW_i^2$
1	2250,5	114551	13195500
2	125,5	19211	2939860
3	238,6	43079	7823600
4	170,3	37898	8431000
5	95,5	19814	4118356
6	76,0	532	91960
	$M = 2956,4$	$MV = 235085$	$MW^2 = 36600276$

wo $\Sigma M_i = M$, $\Sigma M_iV_i = MV$ und $\Sigma M_iW_i^2 = MW^2$ gesezt ist.

Hieraus folgt: $V = 79,5^{cm.}$ und aus $\Sigma m_k u_k^2 = MW^2$

$W^2 = 12380$ und aus $\Lambda^2 = W^2 - V^2$

$\Lambda^2 = 6057$ $\Lambda = 77,834^{cm.}$

indem wir nun durchweg für die Glocke die entsprechenden grossen Buchstaben einführen.

Da die Entfernung der Axen C und D gleich $161^{cm.}$, so ist die Entfernung des Schwerpunkts des ganzen Systems von der C-Axe: $S = 161 - V = 81,5^{cm}$. Hieraus folgt: $R = \frac{S^2 + \Lambda^2}{S}$, wenn R die Entfernung des Schwingungspunktes von der C Axe od. $R = 155,8^{cm}$, woraus $Z_0 = \pi\sqrt{\frac{R}{g}} = 1,252^{sec}$ und $N_0 = \frac{60}{Z_0} = 47,9$. Die berechnete Schwingungszahl kommt der beobachteten von 48 bis 48,5 ziemlich nahe, die allerdings für eine Amplitude von wenigstens 30^0 erhalten worden ist.

16. Da wir die gefundenen Werthe von $S = 81,5^{cm.}$ und $\Lambda = 77,8^{cm.}$ und somit das daraus abgeleitete $R = 155,8^{cm.}$ als wenigstens angenähert richtig ansehen können, so geht daraus hervor, dass die Glocke so aufgehängt ist, dass nahezu ihre Schwingungsdauer den kleinsten,

ihre Schwingungszahl aber den grösstmöglichen Werth hat, den man durch irgend eine Lage der Drehungsaxe für dasselbe, das Pendel zusammensetzende, System erhalten kann.

In der That müsste man durch Heruntersetzen der Axe, also Höherhängen der Glocke, die Entfernung S des Schwerpunkts von der Drehungsaxe C auf den Werth $\varDelta$ verkleinern, d. h. um $3{,}7^{cm.}$, damit $R = 2\varDelta = 155{,}6^{cm.}$ würde, wofür N_0 ein Maximum, Z_0 ein Minimum wird.

Durch Verkleinern von S (von der jetzigen Lage der Drehungsaxe aus) wird also Z_0 in der That noch um etwas weniges kleiner; erreicht aber bei $S = 77{,}8^{cm.}$ eine Grenze, von welcher an eine weitere Verkleinerung von S die entgegengesetzte Wirkung, d. h. eine Vergrösserung von Z_0 od. eine Verkleinerung von No hervorbringt.

17. Es ist aber wichtig, die Thatsache zum Bewusstsein zu bringen, dass selbst eine bedeutende Verkleinerung von S unter den Werth von $\varDelta = 77{,}8^{cm.}$ hinab doch nur eine geringe Vergrösserung von Z_0 oder Verkleinerung von N_0 mit sich bringt, wie das in der Nähe eines Minimum oder Maximum Werthes stets der Fall ist.

Wird beispielsweise S um $18^{cm.}$ vermindert, was am Besten dadurch geschehen würde, dass man zu beiden Seiten der Krone 2 Stücke Eichenholz von 18^{cm} Höhe mittelst Bolzen von unten auf die untere Fläche des unteren Jochhalkens befestigt, und die Zapfen der Drehungsaxe an der unteren Fläche dieser Stücke festmacht, so wird für $S = 81{,}5^{cm} - 18^{cm} = 63{,}5^{cm}$ und $\varDelta = 77{,}8^{cm}$ nunmehr $R = S + \frac{\varDelta^2}{S} = 63{,}5 + \frac{6057}{63{,}5} = 63{,}5 + 95{,}4 = 158{,}9^{cm}$, woraus sich $Z_0 = 1{,}264^s$ und $N_0 = 47{,}5$ ergibt.

Für $S = 70^{cm}$ kommt: $R = 70 + \frac{6057}{70} = 70 + 86{,}5$

$= 156{,}5^{cm}$, woraus $Z_0 = 1{,}2545^s$, $N_0 = 47{,}82$ folgt, wofür die aufgesetzten Stücke von Eichenholz eine Höhe von $11{,}5^{cm}$ bekommen.

18. Dass dieses Maximum von N_0 auch bei den anderen untersuchten Glocken nahezu erreicht ist, können wir z. B. aus den Verhältnissen der grossen Mittagsglocke des Münsters von 180 Ctr. entnehmen.

Für diese fand ich: $S = 93{,}3^{cm}$, $\Delta^2 = 7993$, $\Delta = 89{,}4^{cm}$, daher $R = S + \frac{\Delta^2}{S} = 93{,}3^{cm} + 85{,}67^{cm} = 178{,}97^{cm}$, wovon $2\Delta = 178{,}8^{cm}$ nur um 1 bis 2^{mm} abweicht. Aus $R = 179^{cm}$ folgt: $Z_0 = 1{,}342^s$; $N_0 = 44{,}7$. . Die Beobachtung gab für eine Amplitude von etwa 30^0. . . $N = 44{,}5$. Es findet also zwischen der Beobachtung und Berechnung jede wünschbare Uebereinstimmung statt.

19. Abhängigkeit der Schwingungsdauer z (oder der Schwingungszahl n) **eines Pendels von der Amplitude seiner Schwingung.**

Die Formel $z_0 = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}$ setzt voraus, dass die Schwingungs-Amplitude: der Winkel a, sehr klein sei. Wächst dieselbe, wie bei den geläuteten Glocken für Kallen und Glocke auf eine beträchtliche Höhe, so wird sie von namhaftem Einfluss auf den Werth von z oder n. In der That ist für die Amplitude **a** die Schwingungsdauer **z** gegeben durch folgende Relationen.

$$z = z_0 \,.\, f \quad \text{wo } z_0 = \pi \sqrt{\frac{r}{g}}, \qquad f = 1 + y,$$

$$y = \left(\frac{1}{2}\right)^2 b + \left(\frac{1.\,3}{2.\,4}\right)^2 b^2 + \left(\frac{1.\,3.\,5}{2.\,4.\,6}\right)^2 b^3 + \ldots$$

$$b = \mathrm{Si}^2 \frac{a}{2}$$

Diese Reihe für y convergirt sehr langsam, wenn b nicht eine ziemlich kleine Grösse ist; für $b = 1$, d. h. $a = 180^0$, wird sie sogar unendlich gross.

Die Schwingungsdauer eines Pendels wird demnach unendlich gross, wenn seine höchste Stellung, in welcher es die Anfangsgeschwindigkeit Null hat, eine (obschon labile) Gleichgewichtslage ist. Ohne eine unserer Annahme fremde Kraft, in Folge der ausschliesslich wirkenden Schwerkraft würde es diese Lage nie verlassen.

Die Funktion f von der Amplitude a kann nun durch eine Curve dargestellt werden, deren Abscissen die fortschreitenden Werthe von a, deren Ordinaten aber die zugehörigen Werthe von y sind. — Diese Curve hat für $a = 180^0$ eine verticale Asymptote, und wird in $a = o$ von der Abscissenaxe tangirt.

Man benutzt dann die Curve zur Interpolation, um aus den gerechneten Werthen von y die dazwischen liegenden zu bestimmen.

20. Man erhält so z. B. folgende Reihe von Werthen für f, wo die mit (*) bezeichneten Werthe die aus der Formel berechneten sind.

a	f		a	f		a	f	
0°	1.00000		50°	1.0499		100°	1.2319	
5	1.00048	*	55	1.0609		105	1.26221	*
10	1.00194	*	60	1.07318	*	110	1.2955	
15	1.00430	*	65	1.0870		115	1.3353	
20	1.00767	*	70	1.1017		120	1.37529	*
25	1.01203	*	75	1.11876	*	125	1.4172	
30	1.01741	*	80	1.1375		130	1.4768	
35	1.0238		85	1.1578		135	1.52761	*
40	1.0313		90	1.1800	*	140	1.600	
45	1.03997	*	95	1.2045		145	1.675	
50	1.0499		100	1.2319		150	1.760	*

Man ersieht hieraus, dass die Amplitude bis 25° wachsen kann, ohne die Schwingungsdauer um mehr als 1, 2% zu vermehren. Die Amplitude von 50° vermehrt dage-

gen den Werth von z_0 schon um 5 %. Für eine Amplitude von circa 158° würde die Schwingungsdauer z_0 ver-verdoppelt.

Aus der Beschaffenheit dieser Funktion f von a geht nun hervor, dass, streng genommen, eine kleinere Schwingungsdauer z_0 des Kallens mit der grösseren Schwingsdauer Z_0 der Glocke — für die 2 verschiedenen beim Läuten der Glocke eintretenden Amplituden — stets einander gleich werden können, die positive Differenz $Z_0 - z_0$ mag sein so gross sie will.

Ist nämlich die Amplitude der Glocke A, und der diesem Winkel entsprechende Werth von $1+y$ gleich F, so hat man die dieser Amplitude entsprechende Schwingungsdauer der Glocke beim Läuten $Z = Z_0$ F.

Die gleichzeitig eintretende Amplitude a des Kallens ist aber um einen Winkel E grösser als A, so dass f, für $a = A + E$, grösser ist als F.

Der Winkel E beträgt etwa 25°, wie aus den Dimensions-Verhältnissen von Glocke und Kallen hervorgeht, und ist für alle Glocken nahezu gleich gross.

Beim regelrechten Läuten der Glocken muss nun angenähert: $Z_0 . F = z_0 . f$ werden. Man sieht, dass zu diesem Ende z_0 stets kleiner (um wenigstens 1, 2 %) sein muss als Z_0, was denn auch bei allen untersuchten Glocken der Fall ist.

Je grösser das Verhältniss $\frac{Z_0}{z_0}$, desto grösser muss demnach für die respectiven Amplituden das Verhältniss $\frac{f}{F}$ werden. Dieses Verhältniss wächst in der That mit zunehmendem Werth von A fortwährend, und würde für $a = 180°$, $A = 155°$ sogar unendlich werden.

21. Es ist nämlich auch die Grösse $\frac{f}{F}$ eine Funktion

von a, welche für $a = 25°$ ihren kleinsten Werth hat, für $a = 180°$ aber unendlich wird. Wir finden z. B.:

für $a =$	45°	60°	75°	90°	105°	120°	135°	150°
resp. $\frac{f}{F} =$	1,032	1,048	1,065	1,085	1,109	1,142	1,179	1,242

Construiren wir auch diese Curve, in der a die Abscisse, $\frac{f}{F}$ die Ordinate wird, so hat auch sie für $a = 180°$ eine vertikale Asymtote.

Hat man durch Vorausberechnung oder durch Beobachtung die Schwingungsdauern oder die Schwingungszahlen n_0 und N_0 für ganz kleine Amplituden von Kallen und Glocke gefunden, so dass das Verhältniss $\frac{Z_0}{z_0} = \frac{n_0}{N_0}$ bekannt ist, so findet man leicht die zugehörige Amplitude des Kallens, aus der Curve für $\frac{f}{F}$

22. Für die Mittagsglocke des Münsters fand ich durch Beobachtung bei nicht grosser und nahezu gleicher Amplitude für Kallen und Glocke $\frac{n_0}{N_0} = \frac{47}{44,5} = 1,0562$. Dieser Werth von $\frac{f}{F}$ entspricht einer Kallen Amptitude $a = 67°$, was für die Amplitude der Glocke: $A = 42°$ als hinreichenden Werth ergibt.

Für die grosse Glocke des Münsters von 267 Ctr. fand ich $\frac{n_0}{N_0} = \frac{43}{40} = 1,075$, wofür sich die beim Läuten erforderliche Kallen-Amplitude $a = 82°$, also diejenige der Glocke $A = 57°$ ergibt.

Für die grosse Des-Glocke der heil. Geistkirche dagegen fand ich $\frac{n_0}{N_0} = \frac{55}{48} = 1,148$, was einer Kallen-Amplitude $a = 122°$ und der Glocken-Amplitude $A = 97°$ entspräche.

23. Je grösser also für eine Glocke und ihren Kallen das Verhältniss $\frac{n_0}{N_0}$ ihrer natürlichen, bloss von den Dimensionen abhängigen, Schwingungszahlen (bei ganz kleinen Schwingungen) wird, desto höher muss die Glocke geläutet werden, um die Differenz $n_0 - N_0$ durch dieselbe Verschiedenheit der Amplituden, E, auszugleichen.

In dieser Beziehung zeigen alle Glocken des heil. Geistes besonders ungünstige Verhältnisse (vergl. §. 31), daher denn auch ihre Amplituden beim Läuten sämmtlich bedeutend grösser sind, als bei den Münsterglocken.

24. Die Werthe von n_0 und N_0 können nicht unmittelbar beobachtet werden, da für ganz kleine Amplituden in Folge der Reibung die Schwingungen gar zu bald aufhören würden, und ihre Unterhaltung durch den Zug oder Stoss zu viel Einfluss bekommt auf die Grösse der Schwingungszahl. Man kann aber, wenn der Versuch bei einer Versuchs-Amplitude A_v die Schwingungsdauer Z_v oder die Schwingungszahl N_v ergibt, diese leicht auf N_0 reduciren, da man aus der Tabelle oder Curve des §. 20 den zu A_v gehörigen Werth von F_v findet.

Es ist nämlich: $Z_v = Z_0 . F_v$ oder $N_0 = N_v . F_v$. Für $A_v = 25^0$ ist $F_v = 1{,}012$. Also wenn $N_v = 48{,}5$, so ist der reducirte Werth: $N_0 = 48{,}5 \times 1{,}012 = 49{,}1$.

Ist die Versuchsamplitude für Kallen und Glocke nahezu dieselbe und überdiess nicht gross, so kann man $\frac{n_v}{N_v} = \frac{n_0}{N_0}$ annehmen, wie in §. 22 und 23 geschehen ist.

25. Für die respectiven Geläuts-Amplituden a und A hat man nun angenähert: $z = z_0 . f = Z = Z_0 . F$ oder $n = \frac{n_0}{f} = N = \frac{N_0}{F}$; also $N = n = N_v \frac{F_v}{F}$

So gibt für die Mittagsglocke im Münster für eine beim Läuten beobachtete Amplitude $A = 60^0$ die Beob-

achtung: $N = 42$. Die Rechnung führt auf denselben Werth: Es ist nämlich für eine Versuchs-Amplitude $A_v = 25^0$, $N_v = 44{,}5$ beobachtet worden. Für $A_v = 25^0$ ist $F_v = 1{,}012$. Für die Geläuts-Amplitude $A = 60^0$ ist $F = 1{,}073$. Daraus folgt die Schwingungszahl $N = \frac{N_0}{F} = \frac{F_v}{F} N_v = 41{,}97$.

Ebenso ist für die grosse Glocke des Münsters, die beim Läuten auch die Amplitude von 60^0 zeigt, d. h. $A = 60^0$ gibt, $N = 37{,}6$ beobachtet worden. — Für die Versuchs-Amplitude $A_v = 25^0$ zeigte sich $N_v = 40$. Daraus folgt $N = \frac{F_v}{F} N_v = 37{,}7$.

26. Bei der grossen Des-Glocke der heil. Geist-Kirche fand ich beim Läuten die Amplitude der Glocke wenigstens $A = 75^0$; der Versuch gab für $A_v = 30^0$, $N_v = 48$. Daraus folgt für die Geläuts-Amplitude $N = \frac{F_v}{F} . N$, d. h. da $F_v = 1{,}0174$, $F = 1{,}119$: $N = 43{,}65$.

Dieser Werth von N ist wesentlich kleiner als der Werth der beim Läuten direct beobachteten Schwingungszahl der Glocke, die ich $N = 45{,}6$ fand.

Man sieht daraus, dass die ungewöhnlich grosse Arbeit, die auf das Läuten dieser Glocke verwendet werden muss, zum Theil dahin wirkt, die Schwingungsdauer der Glocke zu verringern, somit die Schwingungszahl zu vergrössern, und zwar dadurch, dass man die Glocke jeweilen vor der Vollendung ihrer Schwingung anzieht. — In der That fanden wir oben, §. 22, dass die natürliche Schwingung der Glocke mit derjenigen des Kallens nur durch eine weit grössere Amplitude ($A = 97^0$) ausgeglichen werden könnte, als die beim Läuten der Glocke wirklich eintretende.

27. Es ist noch ein Umstand, der zur Verlängerung der Entfernung s des Schwerpunkts von der Drehungsaxe des Kallens, also zur Verkleinerung seiner Schwingungszahl n mitwirkt.

Die Krummzapfenwelle, c, des Kallens liegt nämlich ziemlich viel tiefer als die Drehungsaxe, C, der Glocke.

Die Welle c, die bei den Versuchen zur Bestimmung von n_0 festgehalten wird, ist also selber in regelmässiger Pendelschwingung während des Läutens; die wirklich feste, virtuelle Drehungsaxe, c', des Kallens liegt demnach über c und unter C. Auch darf man C keineswegs mit c zusammenfallen lassen, da sonst die Beschleunigung des Kallens wegfiele, die ihn auf seine weit grössere Amplitude bringt, und wodurch dann freilich andererseits die durch Erhöhung der virtuellen Drehungsaxe hervorgebrachte Vergrösserung von z_0 wenigstens theilweise compensirt wird.

28. Wenn wir nun die Bedingungen einer richtigen Glocken-Aufhängung zusammenfassen, so ergibt sich:

1°. Die Drehungsaxe der Glocke ist so zu wählen, dass ihre Schwingungsdauer ein Minimum wird. Zu diesem Ende muss sie zwischen den Scheitel und die Basis der Krone fallen.

2°. Der Kallen muss eine Schwingungszahl bekommen, die zu derjenigen der Glocke in einem Verhältniss steht, das die Zahl 1,08 nicht übersteigt (jedoch auch nicht unter 1,05 herabsinkt).

29. Für die 4 Glocken der heil. Geist-Kirche ist nun die Drehungsaxe C auf der Höhe des Scheitels der Krone, so dass der untere Jochbalken nach unten von einer horizontalen Ebene begrenzt wird. — Bei den Glocken des Münsters ist dagegen dieser untere Jochbalken gekröpft, d. h. er hat von unten her einen

Einschnift erhalten, in welchen die Krone zur Hälfte bis zu zwei Drittel ihrer Höhe hineinragt. Es ist dadurch der Schwerpunkt der Glocke der Drehungsaxe genähert, und das Minimum der Schwingungsdauer beinahe vollkommen erreicht.

30. Die 3 kleineren Glocken der heil. Geist-Kirche zeigen in Bezug auf die Dimensionen des Glockenrumpfes, der Krone und des Joches so ziemlich gleiche Verhältnisse. Unter der Voraussetzung völliger Proportionalität aller Dimensionen erhält man nämlich: bei zu Grundlegung der Rechnungsergebnisse für die grosse Des-Glocke durch Rechnung die 4 Schwingungszahlen:

N_0 gleich	47,9	53,5	58,6	67,6
nämlich proportional den Zahlen	$\sqrt{1}$	$\sqrt{\frac{5}{4}}$	$\sqrt{\frac{3}{2}}$	$\sqrt{2}$

welche den Intervallen des Dur-Akkords entsprechen, während die Beobachtung die Werthe

N_v gab:	48,2	54,8	59,5	67,0

Legt man aber die aus der Beobachtung sich ergebende Schwingungszahl der grossen Des-Glocke zu Grunde, so ergibt die Berechnung für die Schwingungszahlen der 4 Glocken die Werthe von N_v gleich

48,2	53,9	59,0	68,0

welche sich (bis auf den Letzten) an die direct beobachteten Werthe noch näher anschliessen.

31. Die Kallen der 4 Glocken der heil. Geist-Kirche unterscheiden sich wesentlich von denjenigen der Münster-Glocken.

Die ersteren haben nämlich sämmtlich ihre Masse mehr in der „Kugel“ concentrirt, während der Knopf von weit geringerem Gewicht, Länge und Dicke ist.

Bei den untersuchten Münster-Glocken ist dagegen

der „Knopf" des Kallens zumal an seinem untersten, beträchtlich von der Kugel abstehenden, Ende so dick als die Kugel selbst. Dadurch wird nicht nur der Schwerpunkt, G, des Kallens tiefer herabgezogen, also s grösser, sondern die Entfernung $\left(\frac{\lambda^2}{s}\right)$ des unter G liegenden Schwingungspunktes O vom Schwerpunkt wird ebenfalls um so grösser, da durch die Entfernung und Vermehrung der Masse des Knopfes auch das Trägheitsmoment des Kallens in Bezug auf die Axe durch seinen Schwerpunkt: $m\,\lambda^2$, zunimmt.

Durch diese Senkung des Schwingungspunkts O wird also, bei gleichem Totalgewicht, die Schwingungszahl des Kallens kleiner.

Für die 4 Kallen der heil. Geist-Glocken aber sind die Schwingungszahlen beobachtet worden:

$n_v =$	55	62	67,5	77
Diese combinirt mit den entsprechenden Werthen von $N_v =$	48,2	54,8	59,5	67
geben für $\frac{n_v}{N_v} = \frac{f}{F}$ die Werthe	1,141	1,131	1,134	1,149

Da diese Werthe alle grösser sind als 1,08 (v. §. 28), so sieht man daraus, dass die Schwingungszahlen aller 4 Kallen zu gross sind, und zwar in Folge jener allzu starken Anhäufung der Masse in der Kugel. Eine Streckung und allfällige Verstärkung des Knopfes würde allein hier vollständige Abhülfe gewähren.

32. Die Arbeit, welche zum Läuten der Glocken erforderlich ist, zerfällt in 2 Theile.

1°. Das Anziehen der Glocke, bei welchem der Kallen mit der Glocke ein festes System bildet, indem er durch einen Stock festgestemmt wird, der ihn um einige Grade aus der Symmetrie-Axe der Glocke herausdrängt.

Bei jeder der auf einander folgenden Schwingungen muss hiebei die Amplitude etwas vermehrt werden.

Ausser den zu überwindenden Widerständen der Bewegung ist also hier eine mechanische Arbeit zu leisten, welche dem Product des zu hebenden Glockengewichts in die Höhe, um die es gehoben werden muss, gleich ist.

Diese Höhe ist aber: $S\ (1 - \mathrm{Cos}\,A) = S.\ 2\ \mathrm{Sin}^2\frac{A}{2}$, wächst also mit wachsender Geläuts-Amplitude A, und ist überdies proportional mit S, d. h. mit der Entfernung der Drehungsaxe vom Schwerpunkt des schwingenden Systems.

2°. Die Arbeit des Fortläutens, das nach weggeschlagenem Stemmstock erfolgt, hat nur die Widerstände der Bewegung zu überwinden. Diese sind:

a) die Reibung in den Zapfen der Drehungsaxe, welche zwar durch die seit Jahrhunderten eingeführten Schilder, durch Uebertragung auf deren Schneiden sehr vermindert und theilweise in eine rollende Reibung umgewandelt wird, die immer nur eine sehr kleine Arbeit beansprucht. — Die gleitende Reibung der gedrehten Schilder in ihren Schneiden, sowie die rollende Reibung der Zapfen auf den Schildflächen ist proportional der Amplitude.

b) Der Luftwiderstand, welcher in Folge der sehr grossen Fläche eine beträchtliche Grösse wird. Derselbe ist dem Quadrate der jeweiligen oder demjenigen der mittleren Geschwindigkeit proportional. Die mittlere Geschwindigkeit einer Schwingung ist der Amplitude nahezu proportional. — Der Luftwiderstand wächst also nahe proportional mit dem Quadrat der Amplitude, so dass er für eine Amplitude von 80° nahe 4mal grösser wird als für die Amplitude von 40°.

So kommt es, dass die Arbeit des Fortläutens kaum weniger Anstrengung erfordert als diejenige des Anziehens, wenn man sich für Letzteres die gehörige Zeit nimmt, die für die von 8 Mann geläutete grosse Glocke des Münsters 4 bis 5 Minuten beträgt.

33. Es folgt aber aus der Betrachtung obiger Bewegungswiderstände ferner, dass die Arbeit des Läutenden weit weniger durch Verminderung von S (Höherhängen der Glocke) verringert wird, als durch Verkleinern der Geläuts-Amplitude A. Dieses kann aber, wie wir oben, §. 23, gezeigt haben, nur durch eine gehörige Abgleichung der Schwingungszahlen des Kallens, n_0, und der Glocke, N_0, zu Stande gebracht werden.

Da die Schwingungszahl N_0 für die Glocke auch durch Verlegung ihrer Drehungsaxe fast gar nicht verändert, namentlich nicht vergrössert werden kann, so muss — um $\frac{n_0}{N_0}$ unter die genannte Gränze von 1,08 zu bringen — diess durch eine Construction (oder Aufhängung) des Kallens bewirkt werden, welche der Grösse n_0 die nöthige Kleinheit sichert, oder der Grösse z_0, folglich auch r, einen hinreichend grossen Werth ertheilt. — Der Schwingungspunkt des Kallens muss demgemäss immer um ein Namhaftes tiefer liegen, als der Mittelpunkt der „Kugel“, der, behufs gehörigen Zusammentreffens derselben mit dem Schlagring, zwar ebenfalls noch unter die Ebene des Glockenrandes fallen muss, aber keineswegs beliebig gesenkt werden darf.

So wird es nöthig, dem Kallen unterhalb der „Kugel“ eine Verlängerung zu geben, den „Knopf“, dessen grösste Masse man in möglichste Entfernung von der Kugel bringen muss.

34. Allein auch hier ist der gewährte Spielraum nur

klein. Durch eine allzu grosse Verlängerung der Distanz des Knopfes vom Centrum der „Kugel“ wächst nämlich die Gefahr, dass der Kallen beim Läuten entzwei breche, wovon die in Bern gemachten Erfahrungen mehr als Ein Beispiel geben.

35. Indess tritt diese Gefahr auch in erhöhtem Maasse ein, wenn der Schlag des Kallens gegen die Glocke stärker ist, als die Erzeugung des Tones erfordert, und dazu gesellt sich die noch misslichere Gefahr, die Glocke selbst bersten zu machen. — Dieser Fall tritt bei den Glocken der heil. Geist-Kirche ein, wo die unzureichende Grösse von z_0 den Kallen zu früh anschlagen macht, und wo der Zug des Läutenden, um die Schwingungsdauer der Glocke, Z, zu verkleinern, in gewissem Grade die Glocke dem Kallen entgegentreibt.

36. Die Modifikation der Aufhängung des Kallens durch Verlängern des Lederriems darf ebenfalls ein gewisses, limitirtes Maass nicht überschreiten. Denn einerseits wird durch eine allzusehr verlängerte Schleife des Lederriems die Schwingung des Kallens zu leicht aus seiner normalen Schwingungsebene herausgeworfen und dadurch der Anschlag schief und ungleich; anderseits darf eben die „Kugel“ nicht zu tief gesenkt werden, damit sie nicht aufhöre, den Schlagring in der richtigen Höhe zu treffen. Es würde hiedurch die Stärke, Farbe (timbre) und die beabsichtigte Höhe des Tons wesentlich beeinträchtigt.