

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 99/100 (1932)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Messung der erzwungenen Schwingungen eines Glockenturmes und seiner Umgebung  
**Autor:** Koenig, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-45571>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.01.2025

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

mengehörenden Strahlen  $AP_i$  und  $BP_i$  (Abb. 2) bestimmen die Lage  $(X_i, Y_i, Z_i)$  der Punkte  $P_i$  im Raume. Wir werden später sehen, wie das Vorwärtseinschneiden der Punkte  $P_i$  am Autograph optisch-mechanisch vorgenommen wird.

Bei der Problemstellung haben wir die Lage der Kamera im Raume in Bezug auf das Projektionszentrum durch die drei Elemente: Azimut  $\varphi$ , Kippung  $\omega$  und Verkantung  $\kappa$  festgelegt (Abb. 3). Wie verhält sich nun unsere Aufgabe, wenn die Kammeraxe im Moment der Exposition nahezu lotrecht gerichtet ist? Im Grenzfall, wo die optische Axe lotrecht steht, wird die Kippung  $\omega = 100^\circ$ ; die Horizontalprojektion der optischen Axe wird zum Schnittpunkt dieser Axe mit der X—Y Ebene, folglich ist das Azimut  $\varphi$  unbestimmt; ferner wird der Schnitt h—h (Abb. 3) der Platte mit dem Horizont durch den Plattenhauptpunkt o, somit auch die Verkantung  $\kappa$  unbestimmt. Das Problem der Orientierung von Flugzeug-Aufnahmen, deren optische Axen nahezu lotrecht stehen, der sog. Steilaufnahmen, kann durch eine Vertauschung der Y und Z-Axen auf den allgemeinen Fall zurückgeführt werden. — Bei der terrestrischen Stereophotogrammetrie besteht die Möglichkeit, die zwölf Elemente der äusseren Orientierung statt indirekt aus dem Bildpaar, bei der Feldaufnahme selbst direkt zu bestimmen.

Wir schliessen diese grundlegenden Betrachtungen über das allgemeine Problem der Stereophotogrammetrie mit einem Verzeichnis der wichtigsten Veröffentlichungen:

G. Hauck, „Neue Konstruktionen der Perspektive und Photogrammetrie“ im Crelles Journal für Mathematik, Jahrgang 1883 und folgende. — S. Finsterwalder, Die geometrischen Grundlagen der Photogrammetrie. Jahresbericht der Deutschen Mathematiker-Vereinigung, 6. Band, 2. Heft 1899. — S. Finsterwalder & W. Scheufele, Das Rückwärtseinschneiden im Raum, Sitzungsbericht der Bayer. Akademie der Wissenschaft 1903. — S. Finsterwalder, Die Kernpunkte, die gnomonische Projektion und die Reziprokalprojektion in der Photogrammetrie, Intern. Archiv für

Photogrammetrie 1923. — O. v. Gruber, Entzerrung von Luftaufnahmen und die optisch-graphische Lösung des Rückwärtseinschneidens im Raum. Int. Arch. f. Photogr. 1923. — O. v. Gruber, Ueber den räumlichen Rückwärtseinschnitt, in Deutsche Zeitschrift für Vermessungskunde 1924. — O. v. Gruber, Einfache und Doppelpunkteinschaltung im Raum, Jena 1924. — F. Baeschlin, „Korrekte und strenge Behandlung des Problems der Be-

stimmung der innern Orientierung eines Phototheodoliten“, Schweiz. Zeitschrift für Verm. u. Kulturtechn. vom 12. Febr. 1929. — O. v. Gruber, Ferienkurs in Photogrammetrie, Stuttgart 1930. — R. Hugerhoff, Photogrammetrie und Luftbildwesen, Wien 1930. — P. Gast, Vorlesungen über Photogrammetrie, Leipzig 1930. Prof. Gast gibt am Schlusse dieses seines Buches ein Literaturverzeichnis mit 314 Veröffentlichungen.

Ferner einige fachtechnische Zeitschriften: „Das Internationale Archiv für Photogrammetrie“, herausgegeben von E. Dolezal, Wien. — „Bildmessung und Luftbildwesen“, und „Allgemeine Vermessungsnachrichten“, beide herausgegeben von R. Reiss G. m. b. H., Liebenwerda, Sachsen. — „Deutsche Zeitschrift für Vermessungswesen“, Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart. — „Zeitschrift für Instrumentenkunde“, Berlin. — „Schweiz. Zeitschrift für Vermessungswesen und Kulturtechnik“, Winterthur. (Forts. folgt.)

## Messung der erzwungenen Schwingungen eines Glockenturmes und seiner Umgebung.

Von Dr. Ing. P. KOENIG, Bern.

Turmschwingungen unter Einfluss des Glockenläutens sind schon mehrfach nachgewiesen worden.<sup>1)</sup> Es handelt sich dabei zur Hauptsache um erzwungene Transversal- oder Biegungsschwingungen des Turmes, die grosse Amplituden dann annehmen, wenn ihre Schwingungsperioden in der Nähe einer Eigenschwingungsperiode des Turmes liegen. Um diese Verhältnisse einmal genau zu untersuchen, wurden die Schwingungen eines Glockenturmes beim Läuten seiner verschiedenen Glocken gemessen, die Messresultate mit theoretischen Ergebnissen verglichen und die Mitschwingung des Bodens und der angrenzenden Gebäude festgestellt.

Gegenstand der Untersuchungen war der Glockenturm der Predigerkirche in Zürich. Abb. 1 lässt den baulichen Zusammenhang des Turmes links mit der Zentralbibliothek und rechts mit der Kirche erkennen. Die einzelnen Böden im Turm sind mit grossen Buchstaben bezeichnet. Der Glockenstuhl trägt fünf Glocken, die mit kleinen Buchstaben bezeichnet seien und deren grösste a 5187 kg und deren kleinste Glocke e 663 kg wiegt. Die Schwingungsebenen aller Glocken liegen parallel zum gezeichneten Bauschnitt.

Als Messapparat wurde ein nach dem System Quervain-Piccard von der Firma Trüb, Täuber & Cie. in Zürich gebauter transportabler Universalseismograph verwendet. Dieser Apparat hat zugleich drei Arbeitsrichtungen, zwei zueinander rechtwinklig stehende horizontale und eine vertikale.<sup>2)</sup> Mit diesem Apparat wurden während des normalen Glockenläutens Diagramme aufgenommen, und zwar innerhalb des Turmes sukzessive auf allen Böden A bis H während des Läutens der einzeln geläuteten Glocken a, b, c und e, sowie während des vollen Glockengeläutes, und in der Umgebung nur während des Läutens der Glocke c.

Jede Messung ergab drei den drei Komponenten des Seismographen zugeordnete Diagramme, wie sie beispielsweise in Abb. 2 wiedergegeben sind und für alle einzeln geläuteten Glocken gleicher Art waren. Das wichtigste Diagramm, genannt das Hauptdiagramm, entspricht der horizontalen Arbeitsrichtung des Apparates parallel der Glockenschwingungsebene und bildet die horizontale Schwingungsbewegung des Turmes ab. Dieses Hauptdiagramm (oberstes Diagramm der Abb. 2) lässt ohne weiteres erkennen, dass der Turm in dieser Richtung nicht nur eine erzwungene Biegungsschwingung im Takte der schwingen-

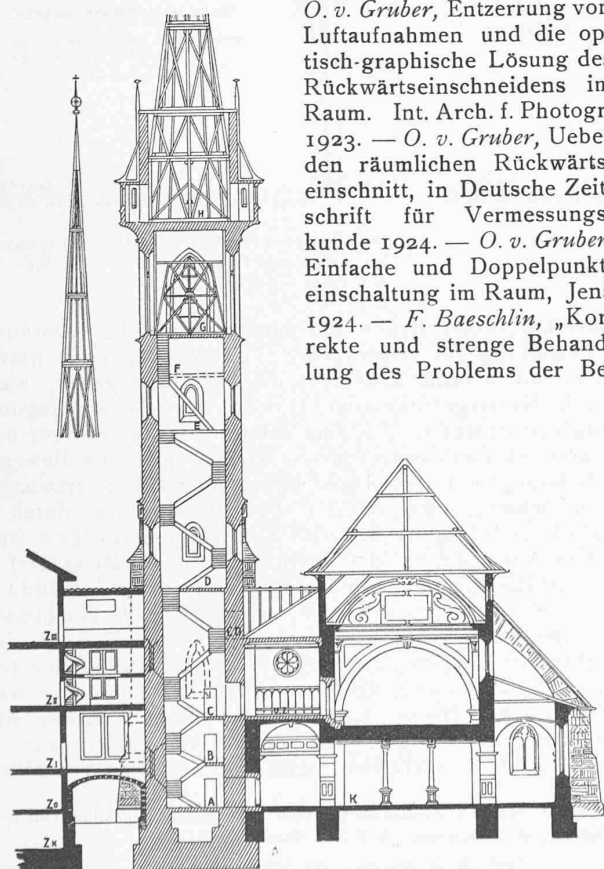


Abb. 1. Schnitt durch Prediger-Kirche und Turm. — Masstab 1 : 500.  
A bis H Turmgewölbe, K Kirchenboden, Z Zentralbibliothek.

<sup>1)</sup> Prof. A. de Quervain, Die Schwingungen des Kirchturmes Fluntern-Zürich beim Glockenläuten, kurze Publikation im „Jahresbericht des schweizer. Erdbebendienstes“ 1922. [Vergl. auch Prof. W. Ritter: „Die Schwingungen des neuen Kirchturmes in Enge“ in „S.B.Z.“, Bd. 29, S. 42/48, Februar 1897. Red.]

<sup>2)</sup> A. de Quervain, Der transportable Seismograph mit drei Komponenten (System Quervain-Piccard), „Jahresbericht des schweizer. Erdbebendienstes“ 1922.

den Glocke, sondern auch noch eine dreimal schnellere Schwingung ausführte. Die Analyse der Hauptdiagramme, wie übrigens auch aller andern Diagramme zur Bestimmung der Amplituden dieser Teil-schwingungen bekannter Perioden wurde graphisch nach dem Verfahren von Bernstein<sup>3)</sup> durchgeführt und ergab nach Reduktion mit der Vergrößerung des Apparates die gesuchten Teilamplituden der Schwingungsbewegungen des Turmes.

Diese Teilamplituden konnten zu Kurven aufgetragen werden, die die, den Biegungsschwingungen des Messobjektes zugeordneten Schwingungsformen darstellten. Die Gesamtheit der am Turm vorgenommenen Messungen ergab somit ein vollständiges Bild über seine erzwungenen Biegungsschwingungen, die für jede Glocke aus der Uebereinanderlagerung zweier einfacher Teilschwingungen entstanden sind, deren Schwingungsperioden für die a-Glocke  $T_{a,1} = 2,85$  sec und  $T_{a,3} = 2,85 : 3 = 0,95$  sec und für die e-Glocke noch  $T_{e,1} = 2,05$  sec und  $T_{e,3} = 2,05 : 3 = 0,683$  sec waren.

Eine andere Turmschwingung, etwa eine Eigenschwingung, wurde nie registriert.

Der Glockenturm stellt ein schwingungsfähiges System dar, dessen Eigenschwingungen theoretisch angenähert ermittelt wurden. Dabei sind den in Anlehnung an Rayleigh<sup>4)</sup> durchgeführten Rechnungen ein dem Sandstein als Baumaterial für den Turm entsprechendes Raumbgewicht von  $2,6 \text{ kg/dm}^3$  und ein Elastizitätsmodul von  $90\,000 \text{ kg/cm}^2$  zugrunde gelegt worden. Es ergaben sich die Eigenperioden der hier einzig bedeutungsvollen *Grundschiwungen*:

- A. für die *Transversal*- oder Biegungsschwingung bei den Annahmen
  1. Turm als prismatischer Stab, unten (A-Boden) eingespannt, oben (H-Boden) frei, also ohne Turmspitze, zu  $T_B = 0,755$  sec,
  2. Turm als Stab mit aufgesetzter Masse (Glockenstuhl plus Turmspitze) zu  $T_B' = 0,810$  sec und
  3. Turm als Stab mit aufgesetzter Masse, Mitberücksichtigung der Rotationsenergie von Stab und Masse, zu  $T_B'' = 0,850$  sec und
- B. für die *Longitudinal* oder Dehnungsschwingung bei den Annahmen
  1. Turm als Stab, unten festgehalten zu  $T_L = 0,095$  sec,
  2. Turm als Stab mit aufgesetzter Masse zu  $T_L' = 0,0985$  sec und
  3. Turm als Stab mit aufgesetzter Masse, Mitberücksichtigung der Querkontraktion, auch ungefähr zu  $T_L'' = 0,0985$  sec.

Die Eigenperiode der Grundschiwung für die Torsions- oder Verdrehungsbewegung weist noch kleinere Werte auf und wurde nicht ermittelt.

Die Ursache der erzwungenen Turmschwingungen ist in den periodischen Kräften zu suchen, die beim Glockenschwingen in den Zapfenlagern entstehen und durch den Glockenstuhl auf den Turm übertragen werden. Die Unter-

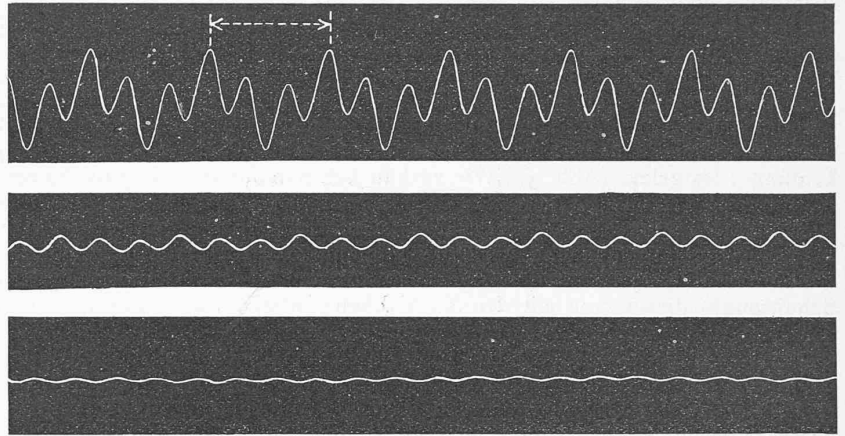


Abb. 2. Die drei Diagramme (oben: parallel; in der Mitte: quer; unten: vertikal) einer Messung beim Läuten der Glocke c (H-Boden) am 1. März 1928, 11 h. Apparaturvergrößerung  $\times 10$ -fach, Papiergeschwindigkeit  $v = 7,52 \text{ mm/sec}$ . Die weissgestrichelte Masslinie im obersten Diagramm bezeichnet eine Glockenschwingung. Glockenperiode  $T_c = 2,33$  sec.

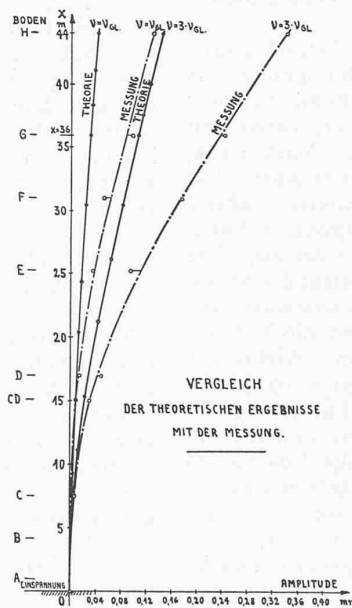


Abb. 3. Die erzwungenen Transversalschwingungen des Turmes beim Läuten der Glocke c.

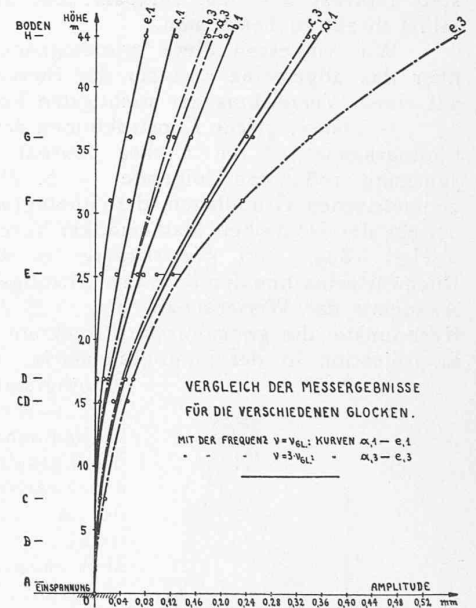


Abb. 4. Die erzwungenen Transversalschwingungen des Turmes beim Einzelläuten der vier Glocken a, b, c und e.

suchung dieser Kräfte war einerseits für die theoretische Behandlung der erzwungenen Turmschwingungen notwendig und musste andererseits die Erklärung geben, warum nach Messergebnis jeder Glocke zwei Teilschwingungen zugeordnet waren. Wie eine Sondermessung bewiesen hatte, waren nämlich weder das Seilziehen noch die Bewegung des Klöppels in der Glocke von Einfluss auf die erzwungene Turmschwingung, sondern diese war einzig durch die Glockenschwingung bedingt. An Hand der Glocke a wurde unter Verwendung der Integration nach Meissner<sup>5)</sup> die Horizontalkomponente der Zapfenreaktion in Funktion der Zeit ermittelt und diese Kurve nach dem kombinierten Verfahren Meissner-Stodola<sup>6)</sup> analysiert. Es resultierte, dass diese Zapfenkraftkomponente sich aus periodischen Teilkräften zusammensetzte, deren Perioden gleich waren der Glockenperiode, einem Drittel dieser Periode, einem Fünftel davon, usw., und deren Amplituden sich wie  $1 : 1/8,62 : 1/100$  verhielten, dass sie also im Wesentlichen

<sup>3)</sup> Nikolaus Bernstein, Moskau, Analyse aperiodischer trigonometrischer Reihen, „Zeitschrift f. angew. Math. u. Mech.“, Bd. 7, Heft 6, 1927.

<sup>4)</sup> J. W. Rayleigh, Theorie des Schalles, übersetzt von Fr. Neeser, in zwei Bänden, Braunschweig 1879/80.

<sup>5)</sup> Prof. Dr. E. Meissner, Ueber graphische Integration von totalen Differentialgleichungen, „S. B. Z.“, Band 62 (1913).

<sup>6)</sup> Prof. Dr. E. Meissner, zur Schwingungslehre, „S. B. Z.“, Band 84 (1924) und Prof. Dr. A. Stodola, Vorlesungen über Wärmekraftmaschinen an der E. T. H., Zürich 1926.

## MESSUNG DER ERZWUNGENEN SCHWINGUNGEN EINES GLOCKENTURMES UND SEINER UMGEBUNG BEIM LÄUTEN.

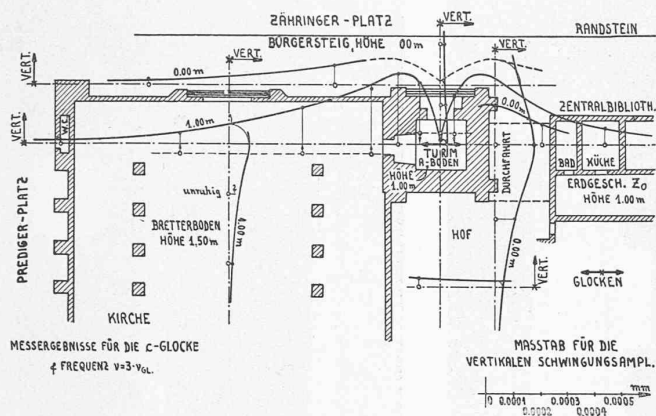


Abb. 5. Horizontalschnitt im Erdgeschoss. — Masstab 1 : 500. Neigungsbewegungen von Kirchenboden und Umgebung.

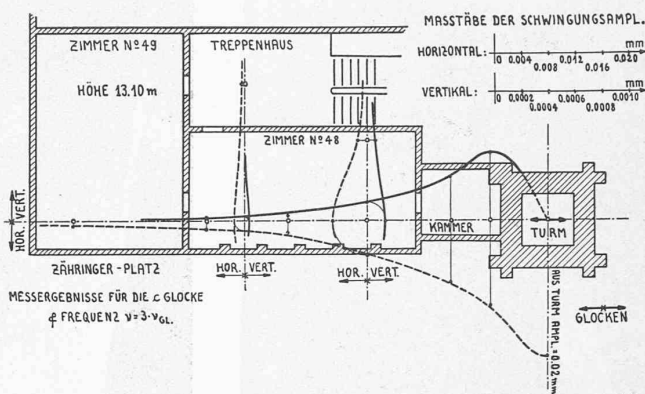


Abb. 6 (umgekehrt orientiert wie Abb. 5!). Horizontalschnitt im III. Stockwerk der Zentralbibliothek, 1 : 500. Translations- und Neigungsbewegungen.

eine Uebereinanderlagerung einer periodischen Teilkraft im Takte der Glocke mit einer solchen von dreimal schnellerem Takte und 8,62mal kleinerer Amplitude darstellte. Die Amplituden der Teilkräfte betragen für die Glocke a  $H_{a,1} = 910$  kg und  $H_{a,3} = 105,5$  kg und für die Glocke e noch  $H_{e,1} = 132$  kg und  $H_{e,3} = 15,3$  kg.

Die durch diese Teilkräfte hervorgerufenen, erzwungenen Transversalschwingungen wurden theoretisch ermittelt für den Turm als Stab, der unten (A-Boden) eingespannt, oben (H-Boden) frei und im Stabinnern (G-Boden) durch eine der periodischen Teilkräfte angeregt ist.

Die in Abb. 3 abgebildeten Schwingungsformen zeigen, dass übereinstimmend nach Theorie und Messung die erzwungene Grundschwingung der Frequenz  $\nu = \nu_{GL}$  trotz grösserer erregender Kraft kleinere Amplituden aufwies als die zugehörige Oberschwingung der Frequenz  $\nu = 3 \cdot \nu_{GL}$ . Dass die theoretischen Kurven im übrigen von den gemessenen abwichen, ist auf die getroffenen Vereinfachungen zurückzuführen.

In Abb. 4 sind alle Messergebnisse zusammengestellt. Während die Kurven mit den Bezeichnungen a,1 bis e,1, die den Schwingungsformen der Grundschwingungen entsprechen, auf eine ungefähre Proportionalität zwischen den Amplituden und den erregenden Kräften deuten, spiegeln die Kurven mit den Bezeichnungen a,3 bis e,3, die den Schwingungsformen der dreimal schnelleren Oberschwingungen entsprechen, deutlich den Einfluss der Resonanznähe dieser Oberschwingungen mit der Transversal-Eigen-schwingung des Turmes ab. Eine auf Grund dieser Kurven aufgestellte Resonanzkurve ergab für die Eigenperiode dieser Turmschwingung vermutliche Werte von  $T_B = 0,64$  oder  $0,70$  sec (zwei Lösungsmöglichkeiten). Diese Werte sind niedriger als die nach Berechnung gefundenen und deuten auf die starke Resonanznähe der erzwungenen Oberschwingung des Turmes bei Läuten der Glocke e mit seiner Eigenschwingung.

Die bis anhin besprochenen Biegungsschwingungen des Turmes bedingten gleichzeitig Neigungsschwingungen horizontaler Flächen (Böden) und somit Vertikalschwingungen aller nicht in der Turmaxe liegenden Teilchen, die durch die Vertikalkomponente des Seismographen registriert wurden (unterstes Diagramm der Abb. 2). Diese Neigungsbewegungen kamen hauptsächlich zur Geltung bei den in der Umgebung des Turmes auf dem Erdboden, in der Kirche und in der Zentralbibliothek vorgenommenen Messungen. Die untersuchten Objekte wurden durch den baulichen Kontakt mit dem Turm ebenfalls zu Biegungsschwingungen gezwungen, die sich in den Neigungs- (Verwölbungs-)schwingungen horizontaler Böden einerseits und in Horizontal- (Schiebungs-)schwingungen besonders in höheren Lagen sich befindender Böden andererseits auswirkten.

In Abb. 5 sind die den Messlinien entsprechenden Schwingungsformen für die Neigungsbewegungen der zu ebener Erde liegenden Objekte aufgetragen; sie veranschaulichen, wie sich horizontale Flächen auf einer Seite des Turmes zu Hügeln und auf der anderen Seite gleichzeitig zu Mulden verwölben (in der Abb. sind nur Hügel dargestellt), deren Gipfel- und Sohlenpunkte in der Hauptschwingungsebene des Turmes nahe seinen Mauern liegen.

In Abb. 6 sind weiter noch die Amplituden der Horizontalschwingungen für den Boden im 3. Stock der Zentralbibliothek zu Kurven aufgetragen; sie zeigen, dass diese Bewegungen in Turmnahe am grössten sind und von dort innerhalb des Bodens allseitig abklingen.

Die Untersuchungen haben somit ergeben, dass der Predigerkirchturm unter Einfluss des Glockenläutens entsprechend jeder Glocke je zwei übereinandergelagerte erzwungene Transversalschwingungen ausführt, von denen die eine im Takte der Glocke und die andere in dreimal schnellerem Takte erfolgt. Da der Grund hierzu in dem besondern zeitlichen Verlauf der Glockenzapfenkräfte liegt, kann das Ergebnis auch auf andere Glockentürme übertragen werden. Die Beachtung der erzwungenen Oberschwingungen ist aber wichtig, weil dadurch neue und zumeist gefährliche Resonanzlagen mit den Eigenschwingungen des Turmes geschaffen werden.

### Einfamilien-Kleinhaus aus fertigen Bauteilen.

Der auch in wenig bemittelten Kreisen weitverbreitete Wunsch nach einem eigenen Heim, und wäre es auch noch so bescheiden, hat das Zürcher Warenhaus „Globus“ dazu geführt, ein aus fabrikmässig hergestellten, fertigen Bauteilen bestehendes Kleinhaus „auf den Markt“ zu bringen. Dieser, von Ing. W. Stäubli, Bauunternehmung und Zimmerei in Zürich, unter Mitwirkung der Arch. Kündig & Oetiker (Zürich), ausgebildete Kleinhaus-Typ in Holzkonstruktion mit feuersicherer, äusserer Gunitverkleidung ist als Anschauungsbeispiel beim Werkplatz von W. Stäubli, (Grubenstrasse 2, Zürich 3, im „Binz“) aufgestellt, und, mit Möbeln garniert, der öffentlichen Besichtigung dauernd zugänglich gemacht worden (täglich von 15 bis 19 h, Samstag und Sonntag von 11 bis 19 h).

Es ist uns wohl bewusst — und wir teilen durchaus den Standpunkt der Architekten — dass „Architektur“ als Marktware zum Dutzendpreis nicht sympathisch berührt. Es hiesse aber den Kopf in den Sand stecken, wollte man sich deshalb tatsächlichen Entwicklungserscheinungen verschliessen. Uebrigens liegt es ja in der Natur der Sache, dass gerade auf dem Gebiet des Hausbaues die Warenhaus-Bäume nicht in den Himmel wachsen; insbesondere ist zu beachten, dass die Käufer dieses Serien-Häuschens ohne