

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 83/84 (1924)  
**Heft:** 18

**Artikel:** Schwingungsfestigkeit von Baustählen  
**Autor:** Föppl, Otto  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-82895>

#### **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:** 22.02.2026

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

INHALT: Schwingungsfestigkeit von Baustählen. — Protestantische Kirche mit Pfarrhaus in Altendorf, Kanton Uri (mit Tafeln 7 und 8). — Der Rückstau des Rheins auf Schweizergebiet. — Ueber die Festigkeit elektrisch geschweißter Hohlkörper. — Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft. — Miscellanea: Amerikanische Untersuchungen

an Kohlenstaub-Feuerungen. Entrostung eiserner Tragwerke. Zum sog. Goetheanum in Dornach. Ausdehnung der elektrischen Strassenbahnen in Paris. Eidgenössische Technische Hochschule. Kraftwerk Wäggital. — Nekrologie: Walter Boveri. — Literatur. — Vereinsnachrichten: Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

## Schwingungsfestigkeit von Baustählen.

Von Prof. Otto Föppl, Braunschweig.

In der „Z. V. D. I.“ vom 19. Juli 1924, Seite 766, hat Prof. Dr. R. Stribeck, Stuttgart, die im Braunschweiger Festigkeits-Laboratorium unter meiner Leitung ausgeführten Versuche zur Feststellung der Schwingungsfestigkeit von Baustählen einer abfälligen Kritik unterzogen. Nachdem diese Versuche von der deutschen Stahlindustrie sehr weitgehend unterstützt werden und nachdem in letzter Zeit Versuchen zur Feststellung der Schwingungsfestigkeit ganz besondere Beachtung geschenkt wird, halte ich es für nötig, an dieser Stelle zu den Ausführungen des Herrn Stribeck eingehend Stellung zu nehmen. Insbesondere bin ich den Lesern dieser Zeitschrift Aufklärung schuldig, da die von Stribeck angegriffenen Versuche gerade hier zum ersten Mal veröffentlicht worden sind<sup>1)</sup>. Ich werde mich bemühen, die nachfolgenden Ausführungen nicht als einseitige Vertheidigung meiner Versuche gegenüber den von Stribeck angeführten amerikanischen Versuchen aufzubauen, sondern ein möglichst objektives Urteil unter Nennung der jeder Versuchsanordnung zukommenden Nachteile zu geben.

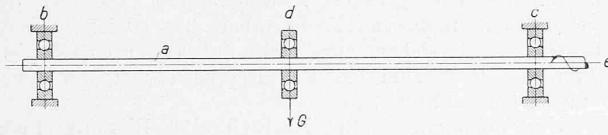


Abb. 1.

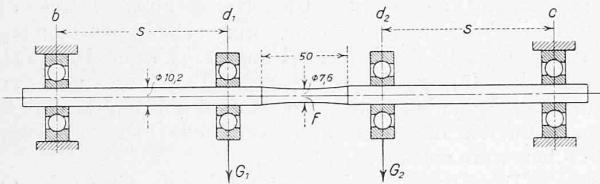


Abb. 2.

Die von mir verwendete Versuchsanordnung (Abb. 1) ist schon alt. Ein Stab a wird an seinen Enden b und c in Kugellagern gehalten und von der Seite e aus in Umdrehung gebracht. In der Mitte trägt der Stab das Lager d, das durch ein Gewicht G belastet ist. Der Stab ist auf Biegung beansprucht und jede Faser des Stabes wird bald gezogen (wenn sie unten liegt), und bald gedrückt (wenn sie nach einer halben Umdrehung oben liegt). Die grösste Beanspruchung tritt am Umfang des Stabes in der Mitte (also an der Stelle d) auf. Der Stab erleidet hier eine wechselnde Beanspruchung (Schwingungsbeanspruchung), die zwischen den Grenzen  $+\sigma_{\max}$  und  $-\sigma_{\max}$  liegt. Die Grösse von  $\sigma_{\max}$  kann aus den Abmessungen des Stabes und der Belastung G leicht berechnet werden. Durch Steigerung von G wird  $\sigma_{\max}$  erhöht. Wenn das Gewicht G zu hoch gewählt wird, wird der Stab nach einer entsprechenden Anzahl von Umdrehungen zu Bruch kommen. Man kann den Grenzwert von G bzw.  $\sigma_{\max}$  feststellen, mit dem der Stab beliebig viele Umdrehungen aushalten kann, ohne zu brechen. Diesen Grenzwert nennen wir die Schwingungsfestigkeit und bezeichnen ihn mit  $\sigma_{\text{schw}}$ .

<sup>1)</sup> Vergl. «Schwingungsbeanspruchung und Rissbildung insbesondere von Konstruktionstählen» in Bd. 81, S. 87 (24. Februar 1923) und «Drehungsfestigkeit und Schwingungs-Dämpfungsfähigkeit von Baustoffen» in Bd. 83, S. 17 (12. Januar 1924).

Die in Abb. 1 dargestellte Anordnung hat einen Nachteil: Das grösste Biegungsmoment tritt am Stab unter der Lastangriffsstelle d auf. Durch die Uebertragung der Last gerade an der Stelle des grössten Momentes kommen aber zusätzliche Spannungen von unbestimmbarer Grösse in den Stab, und diese zusätzlichen Beanspruchungen bewirken, dass der Bruch stets von der Lagerstelle d aus seinen Anfang nimmt. Da die Grösse der zusätzlichen Beanspruchungen nicht bekannt ist, ist es nicht möglich, die wahre Grösse der Spannung anzugeben, unter der der Bruch erfolgt ist.

Um diesen Nachteil zu vermeiden, hat schon Wöhler den zylindrischen Versuchstab verlassen und die Versuchsanordnung Abb. 1 durch die Anordnung Abb. 2 ersetzt. Das mittlere Lager d ist hier aufgeteilt in die beiden Lager  $d_1$  und  $d_2$ , die gleich weit von den Enden des Stabes entfernt und durch zwei gleiche Gewichte  $G_1$  und  $G_2$  belastet sind. Bei dieser Anordnung ist der Stab in dem Stück von  $d_1$  bis  $d_2$  durch ein konstantes Moment  $M = Gs$  beansprucht. Wenn man den Stab nach der Mitte zu genügend verjüngt, wie es Abbildung 2 zeigt, kann man erreichen, dass der Bruch nicht an den Kraftübertragungstellen  $d_1$  oder  $d_2$ , sondern in der Stabmitte — etwa an der Stelle f — eintritt. Die Anordnung nach Abb. 2 liegt auch den Versuchen der Amerikaner Moore und Kommers zu Grunde, auf die sich Stribeck vor allem stützt.

Bei den in Braunschweig durchgeführten Versuchen ist ein anderer Weg eingeschlagen worden, um die Nachteile der Anordnung nach Abbildung 1 zu vermeiden: Es ist zwischen Stab und Lager eine Beilage aus Hartpapier von 1 mm Stärke (g in Abbildung 3) beigefügt worden, die einen Ausgleich der vom Kugellager-Innenring h auf den Stab a übertragenen Druckkräfte herbeiführen soll.

Es lässt sich durch einfache Nachrechnung zeigen, dass die Grösse der vom Ring auf den Stab übertragenen Druckkräfte bei gleichmässiger Verteilung über die Druckfläche und bei den in Frage kommenden Längenabmessungen verschwindend gering gegen die Biegungsspannungen (etwa 2 %) ist, und dass erst die ungleichmässige Auflagerung von Stahl auf Stahl ohne Papierbeilage Spannungserhöhungen von ganz wesentlicher Grösse zur Folge hat.

Die Papierbeilage nach Abb. 3 hat bewirkt, dass über die Hälfte aller Stabbrüche außerhalb der Auflagestelle des Kugellagerrings h erfolgt sind, eben an Stellen, an denen zufälligerweise die ungünstigsten Festigkeitsverhältnisse für den Stab lagen. Ich möchte annehmen, dass diese Tatsache den Einwand, dass der ungünstige Einfluss der Auflagekraftübertragung durch die Papierbeilage nicht vollständig beseitigt sei, zum Verstummen bringen müsste. Ueberdies ist bei einer Reihe von Einrissen der Bruch gar nicht einmal von der Oberfläche, sondern von winzig kleinen Fehlstellen im Innern des Werkstoffs ausgegangen. Eine solche Fehlstelle ist z. B. rechts oben in Abbildung 4 (S. 216) zu erkennen.<sup>1)</sup> Gerade der Ausgang des Bruches von innenliegenden winzigen Fehlstellen, der meines Wissens

<sup>1)</sup> Weitere Brüche, die von Fehlstellen im Innern des Werkstoffs ausgehen, sind in der Dissertation von Dohms, Braunschweig 1923 veröffentlicht worden.

von anderer Seite noch nicht festgestellt worden ist, spricht für die Braunschweiger Versuche und entkräftigt am besten die Beanstandungen, die Stribeck in Unkenntnis des wahren Sachverhaltes gegen diese Versuche vorbringt.

Auf eine besondere Schwierigkeit, die bei allen Biegungsschwingungsversuchen auftritt, muss noch hingewiesen werden. Die Anordnung nach Abb. 1 ist eine schematische, deren Verwirklichung nicht so einfach ist, wie das auf den ersten Blick scheinen mag. Die Belastung  $G$  des Stabes kann nicht durch einfaches Anhängen von Gewichten erzielt werden, da die in Frage kommenden Kräfte zu gross sind und da sonst Schwingungen des Stabes mit der anhängten Masse auftreten würden, die die Beanspruchung in unbestimbarer Weise erhöhen würden. Es ist deshalb immer nötig, durch Hebelübersetzungen mit Schneiden die nötigen Belastungen zu erzielen. Nach meinen Erfahrungen treten aber bei diesen Hebelübersetzungen infolge des dauernden Betriebes leicht Störungen ein, die das Bild wesentlich verschieben. Es darf ferner an den beiden Endlagern b und c (Abb. 1) kein Einspannmoment übertragen werden, da dies die Beanspruchung des Stabes beeinflussen würde. Um Störungen dieser Art, die die Versuchsergebnisse mitunter wesentlich falschen, sofort feststellen zu können, haben wir auf das Lager d in Abb. 3 eine Ruthart'sche Messuhr i gesetzt, mit der die Höhenlage von d vor und nach dem Aufbringen der Belastung und aus dem Unterschied beider Messungen die Durchbiegung  $f_{\text{gemessen}}$  ermittelt wird. Dem  $f_{\text{gemessen}}$  steht ein  $f_{\text{berechnet}}$  gegenüber, das aus den Stababmessungen, dem Gewicht  $G$  und dem Elastizitätsmodul bestimmt werden kann. Das  $f_{\text{gem.}}$  wird jeden Tag neben der Grösse der exzentrischen Verlagerung  $e$  des Stabes festgestellt. Wenn die Abweichungen zwischen  $f_{\text{gem.}}$  und  $f_{\text{ber.}}$  grösser als  $\pm 4\%$  sind, wird den Ursachen nachgegangen, die oft durchaus nicht so leicht zu finden sind, wie das auf den ersten Blick scheinen mag. Tatsache ist jedenfalls, dass wir ursprünglich öfters Abweichungen zwischen  $f_{\text{gem.}}$  und  $f_{\text{ber.}}$  von 25 bis 35 % feststellten, deren Ursachen wir erst nach viel tagelangem Suchen ermitteln konnten. Auch die Beseitigung des Schlages  $e$ , der nicht über  $\pm 0,05$  mm anwachsen durfte, hat oft erhebliche Schwierigkeiten verursacht.

Mit der Anordnung nach Abbildung 2 habe ich nie gearbeitet. Ich möchte aber annehmen, dass die Vermeidung einerseits von Klemmungen und andererseits von Verlagerungen und infolgedessen Erschütterungen bei zwei Mittellagern mit zwei Kraftangriffen erheblich grössere Schwierigkeiten bereitet, als bei der in Abbildung 1 gegebenen Anordnung. Dass ferner das Aufgeben des zylindrischen Messtückes sehr nachteilig ist, vor allem die genaue Bearbeitung des Stabes beeinträchtigt, muss auch noch hervorgehoben werden. Ich möchte unter diesen Umständen doch glauben, dass die Anordnung nach den Abbildungen 1 und 3 der Anordnung nach Abbildung 2 überlegen ist.

Stribeck weist darauf hin, dass man nicht einen Baustoff auf Grund der Versuchsergebnisse an *einem* Probestab bewerten dürfe. Das tue ich auch gar nicht, wie aus Nr. 8 der Richtlinien für das Braunschweiger Festigkeits-Laboratorium („S. B. Z.“ vom 12. Januar 1924, Seite 18) hervorgeht. Wohl aber kann der Versuch an *einem* Stab mitunter sehr wertvolle Aufschlüsse allgemeiner Art geben. So sind z. B. von einem bestimmten Baustahl kürzlich zwei Stäbe der gleichen Sorte auf Antrag einer Firma zur Untersuchung gekommen. Der erste Stab ist bei einer Beanspruchung von  $50 \text{ kg/mm}^2$  in der Mitte zu Bruch gekommen. Der zweite Stab dagegen ist schon bei einer Spannung von  $38 \text{ kg/mm}^2$  in der Mitte und entsprechend weniger nach den Seiten zu eingebrochen; die Bruchstelle x (Abb. 5) lag 9 cm aus der Mitte entfernt. An der Stelle, wo der Bruch ansetzte, war also die grösste Spannung bei Gradlinienverteilung nur noch  $38 \cdot \frac{34 - 9}{34} = 28 \text{ kg/mm}^2$ . Die Bruchstelle wurde näher untersucht und es zeigte sich, dass an dieser Stelle der Dreher den Stab nach Fertigschleifen ver-

sehenlich mit dem umlaufenden Schleifstein berührt hatte. Es war dadurch an der Oberfläche eine mit dem blossen Auge kaum sichtbare Beschädigung von  $2 \text{ mm}^2$  Ausdehnung und  $1/40 \text{ mm}$  Tiefe entstanden. Diese Beschädigung hatte bewirkt, dass schon eine  $28/50$  so grosse Spannung wie beim unbeschädigten Stab den Bruch herbeiführen konnte, oder durch die Beschädigung von  $0,025 \text{ mm}$  Tiefe ist die zulässige Schwingungsbeanspruchung des 28 mm starken Sta-

bes an der einen Stelle auf etwa die Hälfte erniedrigt worden.

Nachteilig ist bei den Biegungsschwingungs-Versuchen — und zwar sowohl bei den Einrichtungen nach Abbildung 1 wie bei denen nach Abbildung 2 — dass die mikroskopisch kleinen Oberflächen-Beschädigungen, die bei der Bearbeitung des Probestabes unvermeidlich auftreten (Polierschrammen) in Richtung des Bruches liegen, der schliesslich auftritt. Die grossen Abweichungen, die bei den Versuchen an mehreren Probestäben der gleichen Sorte auftreten, sind sicher zum Teil auf die mikroskopisch kleinen Ungleichheiten in der Beschaffenheit der Oberfläche zurückzuführen.

Und noch ein zweiter Nachteil aller Biegungsschwingungs-Versuche ist hier zu erwähnen. Nach einer Richtung hin versagen sie alle: Man kann die bei der Wechselbeanspruchung auftretende Umsetzung eines Teiles der Energie in Wärme nicht oder nur sehr unvollkommen ermitteln. Gerade die Energie-Umsetzung oder Dämpfung scheint aber für die Wertung eines Baustoffes von ganz besonderer Wichtigkeit zu sein, sodass wir uns mit dieser Eigenschaft des Baustoffes an dieser Stelle hier noch etwas näher befassen müssen.

Die Dämpfungsfähigkeit eines Baustoffes ist im Braunschweiger Festigkeits-Laboratorium mit Hilfe der *Drehungsmaschine* ermittelt worden, über die eingehend in der Dissertation von A. Busemann, Braunschweig 1924 (siehe auch „S. B. Z.“, Bd. 83, S. 17 und „Z. V. D. I“, 1924, S. 203), berichtet worden ist. Auf dieser Maschine wird der Stab auf Drehungsschwingungen beansprucht. Die dabei auftretende grösste Schubspannung  $\tau_0$  wird am Ausschlag a einer Schwungscheibe ermittelt. Mit einer bestimmten Beanspruchung (z. B.  $\tau_0 = 15 \text{ kg/mm}^2$ ) wird eine bestimmte Anzahl  $n$  von Schwingungen (z. B.  $n = 1000000$ ) ausgeführt. Dann wird ähnlich wie bei der Biegungsschwingungsmaschine der Ausschlag gesteigert (z. B. auf  $\tau_0 = 16 \text{ kg/mm}^2$ ), mit dieser Spannung werden wieder  $n$  Schwingungen ausgeführt und so fort, bis der Stab schliesslich bei einer Beanspruchung  $\tau_{00}$  (z. B.  $\tau_{00} = 22 \text{ kg/mm}^2$ ) zu Bruch kommt.  $\tau_{00}$  gibt dann unter Berücksichtigung der sonstigen Versuchsergebnisse ein Mass für die Drehungsfestigkeit. Bei diesem Versuch tritt aber viel deutlicher als beim Biegungsschwingungsversuch die Tatsache in die Erscheinung, dass im Stab, schon längst, bevor die Beanspruchung  $\tau_{00}$  erreicht ist, neben der elastischen Formänderung auch ein Teil der Energie in unelastischen Formänderungen aufgezehrt wird und dass sich der Stab dabei erwärmt. Die Erwärmung kann gemessen und daraus der Energiebetrag  $\gamma$ , der auf eine Schwingung und bezogen auf einen Stab von 1 kg Gewicht in Wärme umgesetzt wird, ermittelt werden.  $\gamma$  ist abhängig von  $\tau_0$  und die  $\gamma\tau$ -Kurven

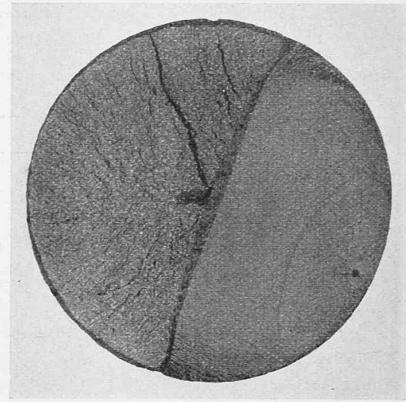


Abb. 4.

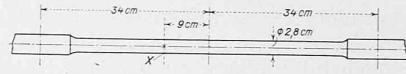


Abb. 5.

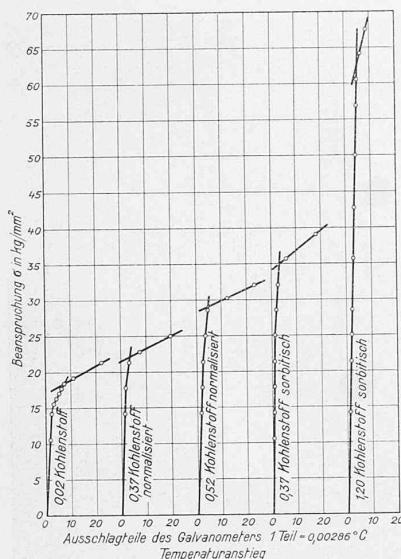


Abb. 7.

geben eine sehr treffende Charakteristik des Baustoffes. Das soll an einigen besonders kennzeichnenden  $\gamma\tau$ -Kurven, die in Abb. 6 wiedergegeben sind, erläutert werden.

Die Untersuchungen betreffen drei verschiedene Baustähle. Von der Sorte I sind sechs Probestäbe untersucht worden. Man sieht, dass diese Kurven recht gut zusammenfallen. Das ist auch naheliegend, da die  $\gamma\tau$ -Kurven eine Eigenschaft des ganzen Stabes — nicht einen Einzelwert an einer bestimmten Stelle, wie bei der Schwingungsfestigkeit — angeben. Der Baustahl II hat eine ähnliche  $\gamma\tau$ -Kurve wie I, während die Kurve für Baustahl III ganz anderer Art ist. Die Baustähle I und II sind stark dämpfungsfähige Konstruktionstäle, die sich vor periodischen Ueberanstrengungen durch Dämpfung schützen können, während III ein Federstahl ist, der viel höhere Beanspruchungen aushalten kann.

Jeder Kurve in Abb. 6 ist noch der  $\nu$ -Wert beigefügt, der angibt, wieviel Energie der Stab auf 1 kg Material insgesamt in Wärme umgesetzt hat, bis er gebrochen ist. Da zum  $\nu$ -Wert vor allem nur die Schwingungen mit dem grössten Ausschlag (und  $\tau_{00}$ ) beitragen, ist  $\nu$  angenähert  $m\gamma$ , wenn mit  $m$  die Anzahl der Schwingungen mit der Beanspruchung  $\tau_{00}$  bis zum Bruch bezeichnet sind.

Man sieht, dass die Werte von  $\nu$  für die einzelnen Baustähle stark schwanken. Schon die Werte von der gleichen Sorte I liegen zwischen 0,35 und 15,8 PS h/kg, im Mittel  $\nu = 7,8$  PS h/kg.<sup>1)</sup> Das ist ein sehr hoher Wert, sagt er doch aus, dass z. B. eine glatte Schiffswelle von 1 t Gewicht, die gleichmässig auf Verdrehschwingungen beansprucht wird, 7800 PSh Energie bei der zugehörigen Grösstspannung von etwa 17 kg/mm<sup>2</sup> in Wärme umsetzen muss, bis sie zu Bruch kommt. Der Baustahl I ist von der Oberschlesischen Eisen-Industrie in Gleiwitz hergestellt; er hat folgende Beimengungen:

$$\begin{aligned} C &= 0,23; \quad Mn = 1,38; \quad Si = 0,16; \\ P &= 0,045; \quad S = 0,03\%. \end{aligned}$$

Der in Bezug auf die  $\gamma\tau$ -Kurve ähnliche Baustahl II hat einen viel geringeren  $\nu$ -Wert (im Mittel 0,1 PS h/kg). An Widerstandsfähigkeit gegen Dauerbeanspruchungen ist demnach dieser Baustahl der Sorte I weit unterlegen, wiewohl Baustahl II ein legierter Stahl ist und höhere statische Festigkeitszahlen aufzuweisen hat.

<sup>1)</sup> Der Wert  $\nu = 0,35$  PSh/kg ist an einem Stab aufgetreten, der mit einem Längsriss von über 6 cm zu Bruch gegangen ist. Es muss angenommen werden, dass der Längsriss schon von der Bearbeitung des Probestabes herrührt.

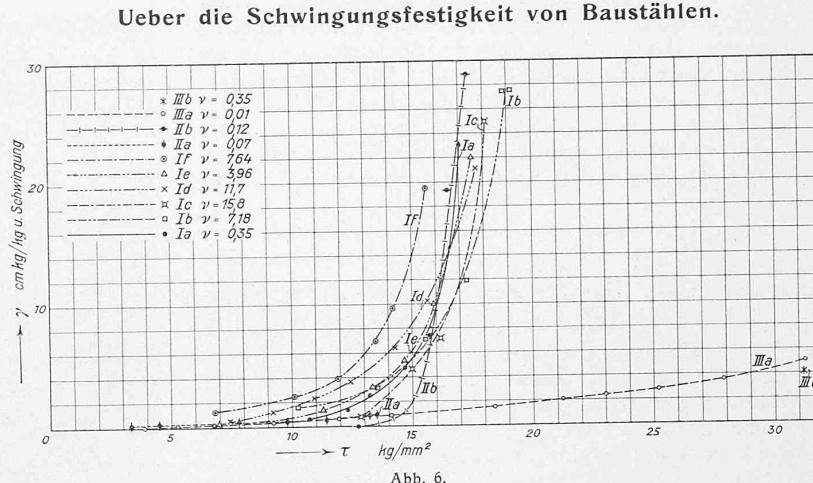


Abb. 6.

Von Stahl III ist wegen der hohen Beanspruchung, die ihm auferlegt werden kann, kein so hoher  $\nu$ -Wert zu erwarten. Dieser Stahl ist wegen des flachen Anstiegs der  $\gamma\tau$ -Kurve und der hohen erreichten  $\tau$ -Werte ein besonders geeigneter Federstahl.

Der Verlauf der  $\gamma\tau$ -Kurve kennzeichnet demnach einen Baustahl nach dem Verwendungszweck, der  $\nu$ -Wert dagegen gibt Aufschluss über die Güte, wenn zum Vergleich nur Stähle mit gleicher  $\gamma\tau$ -Kurve herangezogen werden. Zur Angabe des  $\nu$ -Wertes gehört immer die Angabe der Spannung, bei der der  $\nu$ -Wert aufgenommen wurde, da für den gleichen Stahl der  $\nu$ -Wert umso höher liegt, bei je geringerer Spannung der Stab zu Bruch gebracht wird. Unterhalb einer gewissen Beanspruchung (d. h. unterhalb der Schwingungsfestigkeit) kann der Stab unendlich oft beansprucht werden, ohne zu zerbrechen. Da trotzdem auch in diesem Gebiet eine Dämpfung auftritt, ist in diesem Falle  $\nu$  unendlich gross.

Es ist ganz nützlich, die Dämpfung eines Baustahls auch noch einmal von einer andern Seite aus zu betrachten. Statt des Wertes  $\nu$  kann man auch einen Wert  $x$  einführen, der die *bezogene* Dämpfungsarbeit angibt, ähnlich wie man in der Festigkeitslehre mit der bezogenen Dehnung  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$  statt mit der Dehnung  $\Delta l$  selbst rechnet. Der Wert  $x$  ist dann sinngemäss  $\gamma$  geteilt durch die Formänderungsarbeit  $E_{\text{Schw.}}$ , die insgesamt während einer Schwingung umgesetzt wird. Bei einer Schwingung wird aber der Stab zuerst verdreht, also Formänderungsarbeit aufgespeichert, dann die Masse beschleunigt, also kinetische Energie erhalten, dann wieder der Stab nach der andern Seite verdreht und schliesslich wieder die Masse

Stab-Bezeichnung	Streckengrenze	Festigkeit	Dehnung %	Kontraktion %	Belastungstufen		$\gamma$ cm/kg	$\nu$ PS · h
					I Millionen Schwingg.	II Millionen Schwingg.		
I a	51,4	68,6	13,1	64,2	0,7	15,0	—	12,5 0,35
I b	47,4	64,6	13,5	62,5	5,4	16,8	2,4	33,0 7,18
I c	40,7	58,5	17,5	66,5	15,7	18,2	—	27,2 15,8
I d	44,0	60,8	18,0	64,0	18,9	17,4	—	16,6 11,7
I e	36,8	52,9	25,3	68,2	2,0	15,6	3,9	17,6 22,0 3,96
I f	48,3	66,0	19,6	53,4	5,2	16,5	2,7	17,3 33,2 7,64
II a	33,7	71,8	33,0	29,5	2,2	13,5	—	0,8 0,07
II b	31,8	61,2	18	28	0,06	16,6	0,07	17,4 20,0 0,12
III a	—	121,0	4,5	4,0	0,04	31,2	—	5,1 0,01
III b	—	121,0	7,4	32	3,0	30,6	—	3,2 0,35

NB. Die statischen Zerreissversuche sind in Probestäben gewonnen worden, die aus den Enden der Drehschwingungs-Stäbe hergestellt worden sind. Da der Stab Ia, wie in nebenstehender Fussnote bemerkt, mit einem 6 cm langen Längsriss eingebrochen ist, scheidet der  $\nu$ -Wert für diesen Stab aus.

nach der entgegengesetzten Richtung beschleunigt. Während einer Schwingung wird also viermal der Energiebetrag  $E_f$  umgesetzt, der in der äussersten Schwingungslage als Formänderungsenergie im Stabe steckt. Die Schwingungs-Energie  $E_{Schw.}$  ist daher gleich  $4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{Kraft} \cdot \text{Weg}$ , oder (da der Weg bei Baustoffen, die dem Hooke'schen Gesetz gehorchen, verhältnisgleich der Kraft ist) auch verhältnisgleich dem Quadrate der Kraft oder verhältnisgleich  $\sigma^2$  bzw.  $\tau^2$ .

Die  $\gamma\tau$ -Kurve kann aber auch in die analytische Form gebracht werden  $\gamma = c\tau^K$ , wobei  $K$  selbst noch eine Funktion von  $\tau$  ist. Da aber  $x = \frac{\gamma}{4E_f}$  und  $E_f$  verhältnisgleich  $\tau^2$  ist, folgt, dass die  $x\tau$ -Kurve durch Ausdruck  $x = c_1 \tau^{K-2}$  wiedergegeben werden kann, sofern der Baustoff dem Hooke'schen Gesetze folgt. (Bei Kupfer und Kupferlegierungen trifft dies bei höherer Beanspruchung nicht mehr streng zu.) Wir wissen aber aus der Erfahrung, dass die bezogene Dämpfung  $x$  umso stärker ist, je grösser der Ausschlag ist. Das heisst  $K$  muss mindestens gleich 2 sein, denn  $K = 2$  heisst  $x = \text{Konst.}$  Nach den bisherigen Versuchsergebnissen scheint  $K$  für kleine Ausschläge nur wenig über 2 zu liegen; es wächst dann mit zunehmendem Ausschlag auf beträchtlich höhere Werte an. Ein Wert  $K < 2$  ist aber in einem grösseren Gebiet nach den vorstehenden Ueberlegungen ganz ausgeschlossen.

Wir wollen das Ergebnis der Ueberlegung auf die amerikanischen Versuchsergebnisse anwenden, die Stribeck in der „Z. V. D. I.“, 1923, Seite 633, mitteilt. In Abb. 7 sind die von den Amerikanern gefundenen Erwärmungskurven wiedergegeben. Die Abbildung ist die genaue Wiedergabe der Abb. 2 des Stribeck'schen Aufsatzes. Die Ordinaten bedeuten hier die Grösstspannungen eines auf Schwingungen beanspruchten Stabes während die Abszissen die zugehörigen Erwärmungen in Graden nach einer bestimmten Anzahl von Schwingungen angeben. Es ist recht störend, dass hier keine absoluten Wärmeangaben in Energie-Einheiten gemacht werden, die nachgemessen werden können, sondern dass nur Temperaturen mitgeteilt werden, die von der Ausbildung des Probestabes, der Wärmeleitung usw. abhängen. Man kann deshalb aus der Abb. 7 nur ein Bild über den Verlauf der Kurve erhalten, die die Abhängigkeit der Dämpfung  $\gamma$  von der Spannung  $\tau$  bzw.  $\sigma$  gehörigen  $\gamma$ -Wertes ermitteln. Es ist dabei zu beachten, dass die Temperaturerhöhung verhältnisgleich der Steigerung des Wärmeinhalts oder der Energieumsetzung in der Zeiteinheit ist.

Nach den vorausstehenden Ueberlegungen wissen wir aber, dass der Verlauf der  $\gamma\tau$ -Kurve in der in Abb. 7 wiedergegebenen Form physikalisch nicht möglich ist. Denn der erste Ast der letzten der in Abb. 7 wiedergegebenen Kurven ist eine genaue Gerade durch den Nullpunkt, also von der Form  $\gamma = c\sigma$ , oder das  $\sigma$  in der vorhin gegebenen Gleichung ist hier gleich 1<sup>1)</sup>. Die prozentuale Dämpfung  $x = c\tau^{K-2}$  bzw.  $= c\sigma^{K-2}$  müsste also hier indirekt verhältnisgleich der Spannung sein, d. h. wenn z. B.  $x = 5\%$  bei  $\tau = 16 \text{ kg/mm}^2$  ist, müsste  $x$  auf  $10\%$  bei  $\tau = 8 \text{ kg/mm}^2$ , auf  $20\%$  bei  $\tau = 4 \text{ kg/mm}^2$ , auf  $40\%$  bei  $\tau = 2 \text{ kg/mm}^2$  usw. anwachsen. Bei kleinen Ausschlägen wäre unter diesen Umständen die Dämpfung so stark, dass sich eine Schallschwingung unmöglich im Baustoff fortpflanzen könnte. Nachdem aber Eisen sehr gut Schallschwingungen übertragen kann, zeigt die Ueberlegung, dass die von Stribeck wiedergegebenen Dämpfungsdiagramme physikalisch nicht möglich sind. Und trotzdem ist der geradlinige Kurvenast der letzten Kurve in Abb. 7 durch neun Versuchspunkte belegt, die mathematisch genau auf einer Geraden liegen sollen.

Gewiss war es für Prof. Stribeck, der selbst keine Schwingungsversuche ausführt, nicht naheliegend, die vor-

<sup>1)</sup> Dass es sich hier um Biegungsspannungen  $\sigma$  und im andern Fall um Schubspannungen  $\tau$  handelt, ist für diese allgemeine Betrachtung gleichgültig.



Abb. 1. Ansicht von Kirche und Pfarrhaus in Altdorf.

stehenden kritischen Betrachtungen bezüglich der Unmöglichkeit der amerikanischen Dämpfungsmeßungen anzustellen, bevor er diese Diagramme in Deutschland eingeführt hat. Stribeck hätte aber doch schon dadurch zur Vorsicht gemahnt werden müssen, dass die Amerikaner die erzeugte Wärme in nicht nachmessbarer Weise in Temperaturgraden (statt in Wärme-Einheiten), angeben und dass der scharfe Knick in der  $\gamma\tau$  Kurve von vornherein sehr unwahrscheinlich ist. Ich vermag unter diesen Umständen das harte Urteil, das Stribeck über die Braunschweiger Versuche im Gegensatz zu den in Amerika ausgeführten Ermüdungsversuchen fällt, nicht allzu tragisch zu nehmen.

Stribeck hat sich offenbar in seinem Urteil über die verschiedenen Versuchsergebnisse durch die von ihm aufgestellte Faustformel irreleiten lassen. Er scheint den Braunschweiger Versuchen gegenüber, deren Ergebnisse seiner Formel für die Schwingungsfestigkeit entgegenstehen, zu misstrauisch zu sein. Die amerikanischen Versuchsergebnisse dagegen, die seine Formel bestätigen, scheint er zu wenig kritisch zu betrachten.

#### Protestantische Kirche mit Pfarrhaus in Altdorf, Kanton Uri.

Architekten Müller & Freytag, Thalwil.

(Hierzu Tafeln 7 und 8.)

Die in ebenso sachlicher wie ansprechender Weise gelöste Bauaufgabe bestand darin, mit möglichst bescheidenen Mitteln eine Landkirche mit Unterweisungs- und Lesezimmer, sowie Pfarrhaus zu schaffen. Dieses enthält sechs Zimmer mit Mansarde, Bad usw., gedeckten Verbindungsbaus vom Pfarrhaus zur Kirche. Hinter dieser Verbindungsgalerie liegt ein Lese- und Sitzungszimmer, das zugleich dem Frauenverein als Arbeitstube dient. Die Emporen-Treppe ist im Turm eingebaut. Unter der Empore befindet sich das Unterweisungszimmer, das auch als Gesangskiosk für den Kirchen-Chor benutzt wird, und bei Bedarf durch Öffnen des Glasabschlusses zur Vergrösserung des Kirchenraumes mit herangezogen werden kann.