Drehschwingungsfestigkeit und Schwingungs-Dämpfungsfähigkeit von Baustoffen

Autor(en): **Föppl, Otto**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **83/84 (1924)**

Heft 2

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-82723

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

INHALT: Drehschwingungsfestigkeit und Schwingungs-Dämpfungsfähigkeit von Baustoffen. — Wir und die Architektur des Auslands (mit Tafeln 3 bis 6). — Extra-Schnelläufer-Turbinen der A.-G. der Maschinenfabrik von Bell & Cie., Kriens. — Miscellanea: Bemerkenswerte Brucherscheinungen. Schweizerische Bundesbahnen. Ausbau der Elektrizitätsversorgung in Frankreich. Internationale Rheinregulierungs-Kommission. E. Vischer-Sarasin. Ein Schweisserkurs für Ingenieure und Techniker. — Nekrologie: Fritz Saegesser. Gustave Eiffel. — Vereinsnachrichten: Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein. Zürcher Ingenieur- und Architekten-Verein. S. T. S.

Band 83. Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur auf Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet. Nr. 2.

Drehschwingungsfestigkeit und Schwingungs-Dämpfungsfähigkeit von Baustoffen.

Von Prof. Dr.-Ing. *Otto Föppl*, Braunschweig.

In Band 81, Seite 87, dieser Zeitschrift (24. Februar 1923) habe ich über Versuche berichtet, die im Festigkeits-Laboratorium der Techn. Hochschule Braunschweig zur Bestimmung der *Biegungsschwingungs*festigkeit von Baustählen angestellt worden sind. Im nachfolgenden soll von ähnlichen Versuchen gesprochen werden, die mit dem Ziele, die *Drehschwingungs*festigkeit eines Baustahles festzustellen, durchgeführt worden sind. Unter Drehschwingungsfestigkeit ist dabei der Grenzwert τ_{Schw} der Belastung verstanden, den ein Baustoff bei wechselnder Beanspruchung auf Verdrehen eben noch aushalten kann, ohne Schaden zu erleiden.

Die Versuchsanordnung ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Versuchstab *a* ist als Welle ausgebildet und an seinem linken Ende *b* festgehalten. Am rechten Ende trägt er die Schwingungsmasse *c*, die das Schwungmoment *J* hat. Die Welle *a* ist gut gelagert, sodass sie sich nicht durchbiegen kann. Das System *a*, *c* kann Eigenverdrehung-Schwingungen ausführen, deren Dauer T_1 sich aus *J* und der Elastizität der Welle in bekannter Weise berechnen lässt. Auf die Schwungscheibe *c* wird durch das Gummiband *d* ein periodischer Drehimpuls im Rhythmus der Eigenschwingungszahl der Anordnung *a*, *c* ausgeübt. Die Grösse der Kraft *P*, die den Drehimpuls hervorruft, wird so geregelt, dass ein bestimmter Ausschlagwinkel $\Delta\varphi_0$ erhalten wird, dem eine Schubspannung τ_{max} (am Umfang des Stabes *a* gemessen) entspricht. Damit die Kraft *P* nicht zu klein ausfällt (bei Resonanz bringt ja schon ein kleiner Impuls einen grossen Ausschlag hervor), wirkt auf die schwingende Anordnung *a*, *c* eine Bremsvorrichtung (Wasserwirbelbremse) *e* ein, die bei jeder Schwingung einen Teil der Energie vernichtet. Die Grösstwerte von *P* und $\Delta\varphi$ sind bei Resonanz um 90° phasenverschoben. Der Phasenverschiebungswinkel wird zur Regelung der Periode der antreibenden Kraft *P* benutzt, die immer bis auf $\pm\,^1/_2\,\%$ genau gleich der Schwingungsperiode gehalten wird. Eine weitere Vorrichtung dient zur genauen Bestimmung des grössten Ausschlagwinkels $\Delta\varphi_0$ und zwar kann $\Delta\varphi_0$ bei jeder Schwingung sofort abgelesen werden. Die Schwankungen im Werte von $\Delta\varphi_0$ sind während eines Versuches kleiner als $\pm\,2\,\%$.

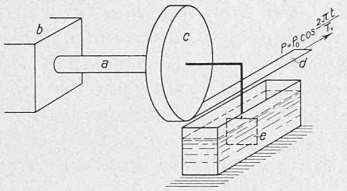

Abbildung 1.

Bei den Versuchen wird mit einem Ausschlagwinkel $\Delta\varphi_0$ oder einer grössten Schubspannung τ_0 begonnen, mit der eine bestimmte Anzahl Schwingungen ϱ (z. B. $\varrho = 500\,000$) ausgeführt werden. Dann wird der Ausschlagwinkel vergrössert und damit die Spannung auf $\tau_0 + \Delta\tau_0$ erhöht; mit der neuen Spannung werden wieder ϱ Spannungswechsel vorgenommen. Es folgen ϱ Schwingungen mit $\tau_0 + 2\,\Delta\tau_0$ usw., bis der Stab *a* bei einer Beanspruchung $\tau_0 + n\,\Delta\tau_0$ zu Bruch kommt. Die Spannung $\tau_0 + (n-1)\,\Delta\tau_0$ kann als Mass für die Verdrehungsschwingungsfestigkeit des Baustoffes unter Beachtung der in den nachfolgenden Richtlinien enthaltenen Angaben angesehen werden.

Ueber die Gestaltung der Versuchsanordnung und die gewonnenen Ergebnisse im einzelnen wird ausführlich in einer Dissertations-Arbeit meines Assistenten, Dipl.-Ing. *A. Busemann*, berichtet werden, der sich besondere Verdienste um den Ausbau der Versuchsanordnung, vor allem durch Schaffung von geeigneten Mess- und Regelvorrichtungen, erworben hat.

Die Dämpfungsfähigkeit eines Baustoffes.

Mit der im vorstehenden beschriebenen Versuchsanordnung ist eine früher nicht beachtete Eigenschaft eines Materials, seine Dämpfungsfähigkeit, in die Erscheinung getreten, die eine wichtige Rolle für die Bewertung zu spielen scheint. Es gibt Baustoffe (z. B. Nr. 8 in der nachfolgenden Tabelle, Seite 19), die bei einer gewissen Beanspruchung, nach einer bestimmten Anzahl von Belastungswechseln (z. B. 8 A bei $\tau = 31{,}5$ kg/mm² nach 49 500 Schwingungen) *ohne vorherige wesentliche Anzeichen* zu Bruch kommen. Ein solcher Stab gibt also vor dem Bruch keine Zerstörungsanzeichen von sich oder er wird nicht merklich warm. Andere Baustähle dagegen (z. B. Nr. 7 C in der Zusammenstellung bei $\tau = 19{,}0$ kg/mm²) lassen vor dem Bruch eine erhebliche Erwärmung erkennen. Die mit der Erwärmung verbundene Energieumsetzung kann von diesen dämpfungsfähigen Stäben eine lange Zeit (z. B. über vier Millionen Belastungswechsel) ausgehalten werden, bis schliesslich der Bruch eintritt. Die für die Erwärmung nötige Energie muss den dämpfungsfähigeren Baustoffen von aussen zugeführt werden, oder der Kurbelantrieb, der die periodisch wechselnde Kraft *P* im Gummiband *d* erzeugt (Abbildung 1), muss bei der Unterhaltung der Drehschwingung mit Stab 7 erhebliche Arbeit leisten, während bei Stab 8 nur ein Bruchteil der für Stab 7 nötigen Energie, trotz der erheblich höheren Spannung (31,5 gegen 19 kg/mm²), der Schwingungsanordnung zuzuführen ist. Aeusserlich macht sich das bei der Durchführung des Versuches auch in der Weise bemerkbar, dass man bei einem nicht dämpfungsfähigen Material die in Abbildung 1 mit *e* bezeichnete Wasserbremse tüchtig Energie vernichten lassen muss, damit der Stab nicht zu grosse Ausschläge macht und schon nach den ersten Schwingungen zu Bruch kommt. Ein dämpfungsfähiger Baustoff dagegen kann mit dem gleichen Antrieb *ohne Wasserbremse* mehrere Millionen Schwingungen überstehen, bis er bricht.

Der dämpfungsfähige Baustahl (7) ist also einem Drehschwingungen erzeugenden Impuls gegenüber viel widerstandsfähiger, als der nicht dämpfungsfähige (8). Der erste schützt sich selbst vor zu grossen Beanspruchungen, dadurch dass er die kritische Impulsenergie in Wärme umwandelt und er hält mehrere Millionen Belastungswechsel aus; der andere weist schon bei einem Bruchteil der dem ersten zugeführten Impulsenergie so grosse Beanspruchungen auf, dass er bald zu Bruch kommt.

Bei den bisher üblichen Gütebestimmungen für Baustähle hat man auf die Dämpfungsfähigkeit nicht geachtet. Im allgemeinen wurden (wenn nicht Sondererprobungen, wie Kerbschlagprobe, Krupp'sche Dauerschlagprobe usw. verlangt wurden) nur Streckgrenze, Bruchfestigkeit und Bruchdehnung festgestellt. Nach diesem Wertmesser ist z. B. der Baustahl 8 dem Baustahl 7 wesentlich überlegen. Nach den statischen Festigkeitsproben müsste also ein aus Baustahl 8 hergestellter Bauteil grössere Beanspruchungen aushalten können als der gleiche Teil, wenn er aus Baustahl 7 hergestellt wäre. Nach den obigen Angaben über Dämpfungsfähigkeit gilt diese Feststellung nur insoweit, als *in ihrer Grösse festliegende* Beanspruchungen am Bauteil auftreten. Wenn aber die Beanspruchungen auf kritische Impulse zurückzuführen sind, dann tritt als neues Moment die Dämpfungsfähigkeit in die Erscheinung. Dann wird der Baustahl 7 dadurch dem Baustahl 8 überlegen sein, dass er sich selbst vor zu grossen Beanspruchungen

schützt, indem er den bei jeder Schwingung eingeleiteten Impuls durch Umsetzen in Wärme aufzehrt. Die Dämpfungsfähigkeit kann aber nur dann Einfluss auf die Haltbarkeit eines Bauteils haben, wenn die den Bruch herbeiführenden Beanspruchungen von kritischen Impulsen herrühren, von denen jeder einzelne nur geringe Grösse hat und die erst dadurch gefährlich werden, dass sie mit der Periode der Eigenschwingungszahl eines schwingungsfähigen Systems auftreten.

In welcher Art die Dämpfungsfähigkeit eines Baustoffes bestimmt werden kann, wird zugleich mit zahlenmässigen Angaben im letzten Abschnitt mitgeteilt werden.

Richtlinien für die Durchführung der Drehschwingungs-Versuche.

Die Durchführung der Schwingungsversuche würde unüberwindliche Schwierigkeiten bereiten, wenn man den Grenzwert der Festigkeit bestimmen wollte, bei der der Baustoff *beliebig viele* Belastungswechsel vertragen kann, ohne Schaden zu erleiden. Bei der Ermittlung muss man sich immer auf eine endliche Anzahl Belastungswechsel beschränken. Nach Möglichkeit soll die Zahl der Belastungswechsel so gross gewählt werden, dass bei einer Steigerung der Zahl der Belastungswechsel keine neuen Schwingungsbrüche mehr zu verzeichnen wären. Nach den schon erwähnten Biegungsschwingungsversuchen des Verfassers ist aber eine sehr grosse Anzahl von Belastungswechseln nötig, wenn man sicher sein wollte, dass ein Stab *beliebig viele* Wechsel mit einer bestimmten Belastung aushält. Es würde hierfür selbst eine Anzahl von 10 Millionen Belastungswechseln nicht genügen, oder mit andern Worten: Wenn ein Stab z. B. mit 100 Millionen Belastungswechseln vollständig gleicher Art beansprucht wird, so kann es vorkommen, dass der Bruch zwischen 10 Millionen und 100 Millionen Belastungswechseln auftritt.

Um die Versuche praktisch zur Durchführung zu bringen, muss man sich mit einer viel geringeren Anzahl von Belastungswechseln begnügen. Bei den vorliegenden Versuchen wurde z. B. aus Gründen der Zeitersparnis mit jeder Belastung nur 500 000 bezw. 1 Million Schwingungen vorgenommen und, wenn der Versuchsstab dabei keinen Schaden erlitten hatte, wurde auf die nächste Belastungsstufe erhöht. Als Schwingungsfestigkeit τ_{Schw} wurde dann der Grenzwert der Belastung angesehen, mit der der Stab 500 000 (bezw. 1 Million) Belastungswechsel ausgehalten hat, ohne zu Bruch zu kommen. Zur Angabe der so definierten Schwingungsfestigkeit gehört immer die Angabe der Zahl der dem Versuch zu Grunde gelegten Belastungswechsel $\varrho = 500\,000$ (bezw. $\varrho = 1\,000\,000$). Die eigentliche Schwingungsfestigkeit $(\tau_{Schw})_{\varrho=\infty}$, die zu $\varrho = \infty$ gehört, ist beträchtlich niedriger als der Wert $(\tau_{Schw})_{\varrho=500\,000}$. Der Verfasser schätzt das Verhältnis $(\tau_{Schw})_{\varrho=500\,000} : (\tau_{Schw})_{\varrho=\infty}$ etwa gleich 1,25 : 1.

Ein Material kann aber nach den vorausgehenden Ausführungen nicht nur auf Schwingungsfestigkeit τ_{Schw}, sondern auch auf Dämpfungsfähigkeit ν untersucht werden. Unter ν ist dabei die gesamte Arbeit verstanden, die in einem zylindrischen Stab auf 1 kg Material in Wärme umgesetzt wird, bis der Bruch eintritt. Bei der Bestimmung der Dämpfungsfähigkeit ν muss beachtet werden, dass der Wert von ν abhängig ist von der Schubspannung τ, mit der der Schwingungsversuch durchgeführt wird. Die Grösse von ν kann in mkg Arbeit auf 1 kg Baustoff gemessen werden. Statt dessen kann man ν auch in einem Längenmass — also in km — angeben, unter dem die Fallhöhe verstanden ist, die dem gleichen Baustoff die gleiche Energiemenge in kinetischer Form übertragen würde. Wesentlich für die Wertung der Angaben über Dämpfungsfähigkeit ist, dass sich die Energieaufnahmefähigkeit γ eines Baustoffes für *eine* Schwingung nach den bisherigen Versuchen mit der Zeit nicht merklich ändert, wenn die Beanspruchung gleich gehalten wird. Während des Versuches tritt also keine an der Dämpfungsfähigkeit erkennbare Ermüdung des Baustoffes ein.

Die Art, in der die Drehschwingungsversuche im Festigkeitslaboratorium der Techn. Hochschule Braunschweig durchgeführt werden, kann am besten aus den folgenden Richtlinien erkannt werden:

1. Ein Material kann auf Drehschwingungsfestigkeit τ_{Schw} (Nr. 2 bis 8 der Folge) oder auf Schwingungsdämpfungsfähigkeit ν (Nr. 9 bis 11) untersucht werden.

2. Als Drehschwingungsfestigkeit τ_{Schw} soll der Wert der grössten Schubbeanspruchung angesehen werden, bei der der Stab eine bestimmte Anzahl (ϱ) von Drehschwingungen eben noch aushalten kann, ohne sichtbaren Schaden zu leiden. Zur Angabe von τ_{Schw} gehört die Angabe von ϱ. Vorläufig ist ϱ vorgesehen zu 500 000 Schwingungen für Maschine V_1 und zu 1 000 000 für V_2.

3. Der Versuch beginnt mit der Spannung τ_0, von der angenommen wird, dass der Stab mit ihr sicher ϱ Belastungswechsel aushält. Wenn die Annahme irrig war und der Stab schon mit der Spannung τ_0 bei unter ϱ Belastungswechseln bricht, muss ein neuer Versuch mit einer niedrigeren Anfangspannung vorgenommen werden.

4. Nach ϱ Schwingungen wird der Schwingungsausschlag soweit vergrössert, dass die Grösstspannung $\tau_0 + \Delta\tau$ beträgt. $\Delta\tau$ soll im allgemeinen etwa 10 % von τ_0 (bezw. von der vorhergehenden Grösstbeanspruchung) betragen. Für besonders genaue Bestimmungen oder für die erste rohe Festlegung können auch andere Werte für $\Delta\tau$ gewählt werden.

5. Die Spannungsteigerung um $\Delta\tau$ wird so oft nach je ϱ Schwingungen vorgenommen, bis der Stab bei der Spannung $\tau_0 + n\,\Delta\tau$ bricht. Der Stab hat dann also $n - 1$ Belastungsfälle mit je ϱ Schwingungen überstanden.

6. Als Schwingungsfestigkeit τ_{Schw} wird der Wert $\tau_0 + (n - 1) \cdot \Delta\tau$ angesehen, wenn der Stab mit der Spannung $\tau_0 + n \cdot \Delta\tau$ weniger als 0,05 ϱ Schwingungen ausgehalten hat. Ferner ist $\tau_{Schw} = \tau_0 + (n - 0{,}75)\,\Delta\tau$ bei 0,05 bis 0,15 ϱ Schwingungen bis zum Bruche mit der letzten Beanspruchung, $\tau_{Schw} = \tau_0 + (n - 0{,}5)\,\Delta\tau$ bei 0,15 ϱ bis 0,5 ϱ Schwingungen und endlich $\tau_{Schw} = \tau_0 + (n - 0{,}25)\,\Delta\tau$ bei 0,5 ϱ bis ϱ Schwingungen bis zum Bruch mit der letzten Belastung.

7. Die Stäbe sollen gut poliert sein. Ist ein Schwingungsbruch auf Oberflächenbeschädigung zurückzuführen (z. B. wenn er an der Uebergangstelle von der Messtrecke zur Nabe einsetzt oder in einer Drehrille verläuft), so ist das Versuchsergebnis ungültig.

8. Die Drehschwingungsfestigkeit nach Absatz 6 soll möglichst an drei Stäben der gleichen Stahlsorte bestimmt werden, aus denen der Mittelwert genommen wird.

9. Statt auf Drehschwingungsfestigkeit kann ein Baustoff auch auf Dämpfungsfähigkeit ν untersucht werden. Unter Dämpfungsfähigkeit ν ist die Arbeit auf 1 kg Baustoff verstanden, die bei Verdrehungsschwingungen mit einer bestimmten Grösstbeanspruchung τ_ν in Wärme umgesetzt wird, wenn die Beanspruchung mit dem gleichen Schwingungsausschlag bis zum Bruch fortgesetzt wird. Die Dimension von ν ist PS·h/kg oder m. Die Angabe in m oder km gibt die Fallhöhe an, der die gleiche Energie in kinetischer Form entspricht.

10. Zur Angabe von ν gehört immer die Angabe des zugehörigen τ_ν.

11. Die Dämpfungsfähigkeit ν soll bei möglichst niedriger Beanspruchung festgestellt werden. Die Spannung muss nur so gross sein, dass die Energieumsetzung im Stab gut festgestellt werden kann. Bei den augenblicklichen Verhältnissen kann etwa eine Erwärmung des Stabes um 20° über die Temperatur der Umgebung als angemessen angesehen werden.

Kritik des neuen Prüfverfahrens.

Das neue Verfahren zur Feststellung der Drehschwingungsfestigkeit hat vor allem einen Nachteil, den es mit den übrigen Prüfverfahren dieser Art mehr oder weniger teilt: Der Versuch ist zeitraubend und kostspielig. Man muss bei jedem Stab schrittweise von Belastung zu Belastung fortschreiten und den Versuch mit jeder Be-

lastung lange Zeit — viele Stunden oder gar Tage — durchführen. Das Anwendungsgebiet der Dauererprobungen ist unter diesen Umständen auf besondere Gebiete beschränkt. Sie sind vor allem dort am Platze, wo dem zu ermittelnden Wert eine grössere Bedeutung zukommt — insbesondere dort, wo Baustähle untereinander in Bezug auf Wertigkeit verglichen werden sollen.

Wenn wir das neue Prüfverfahren mit den übrigen Verfahren zur Feststellung der Schwingungsfestigkeit vergleichen, so kommen wir zu folgenden Feststellungen:

Beim Drehschwingungsverfahren ist vorteilhaft, dass die Messbeanspruchung zugleich mit der Beanspruchung durch die Eigenschwingung zusammenfällt. Es treten deshalb keine zusätzlichen und unbestimmbaren Beanspruchungen durch Eigenschwingung auf.

Es ist ferner vorteilhaft, dass der Stab nicht in Richtung der Drehrillen einreisst, sondern, wie im nächsten Abschnitt ausgeführt ist, unter 90° dazu. In dieser Richtung ist das Drehschwingungsverfahren besonders dem Verfahren zur Feststellung der Biegungsschwingungsfestigkeit (siehe z. B. „S. B. Z.", Bd. 81, S. 88, 24. Februar 1923) überlegen.

Endlich ist vorteilhaft, dass der Stab vollständig gleichmässig auf seine ganze Messlänge beansprucht wird und dass auf die Messtrecke keine von aussen herrührende zusätzliche Beanspruchung einwirkt. Der erste Einriss erfolgt deshalb an einer beliebigen Stelle des überall in gleicher Weise beanspruchten Messtückes.

Ein Nachteil des Drehschwingungs-Prüfverfahrens ist, dass ein Einriss nicht frühzeitig festgestellt werden kann und dass die beiden Einrissflächen im weiteren Betrieb so stark in einander arbeiten, dass sie nach erfolgtem Bruch vollständig zermürbt sind und keine Aussagen mehr über die Ursachen, die zum Bruch führten (z. B. Fehlstelle), machen können. Man kann also beim Drehschwingungs-Versuch erst dann eine Beschädigung am Versuchstab feststellen, wenn der Bruch schon fast den ganzen Stab in zwei Teile geteilt hat, und das Aussehen des Bruches sagt wohl darüber aus, von wo er ausgegangen, aber nicht, auf welche Ursachen er zurückzuführen ist.

Versuchsergebnisse.

Vor allem interessiert die Frage, in welcher Richtung der erste Drehschwingungseinriss erfolgt. Die bisherigen Versuche haben übereinstimmend ergeben, dass der erste Einriss auf die Schubspannungen zurückzuführen ist, die am Versuchstab in Längsrichtung auftreten. Der erste Einriss beginnt also nach der Linie 11′ (Abbildung 2). Infolge dieses Einrisses wird die Uebertragung der Normalspannungen, die unter 45° zur Stabachse am grössten sind, erschwert und der Riss schreitet in Richtung 1 2 und 1′2′ weiter. Er kann dabei auf einen schon ausgebildeten Längsriss 2′3′ treffen, dessen Spuren er ein Stück weit folgt. Schliesslich ist die Festigkeit des Baustoffes so geschwächt, dass der Rest des Querschnittes in kurzer Zeit nach beliebigen Richtungen durchbricht.

In Abbildung 3 ist ein Verdrehungsschwingungsbruch der typischen Art wiedergegeben. Der erste Längsriss (11′), von dem der Bruch ausgeht, ist stets deutlich zu erkennen. Mit dem Mikroskop kann man ihn oft ins gesunde Material zu beiden Seiten des Bruches verfolgen. Der Verdrehungsschwingungsbruch hat natürlich nur dann das aus Abbildung 3 ersichtliche Aussehen, wenn die Welle eine rein zylindrische Oberfläche ohne Uebergänge und ohne gröbere Oberflächenbeschädigungen, Anbohrungen, Drehrillen usw. hat.

Wenn man die beiden Bruchstücke in Abbildung 3 von einander nimmt, so sieht das Innere des Bruches, wie schon oben bemerkt, stark zermürbt aus und gibt über die Entstehung des Bruches keinen Aufschluss.

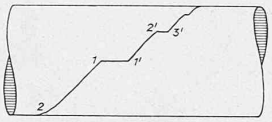

Abbildung 2.

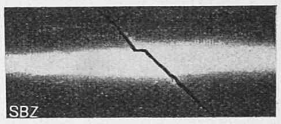

Abbildung 3.

In der untenstehenden Tabelle geben wir einige zahlenmässige Versuchsergebnisse wieder. Die Angaben beziehen sich auf drei Stäbe 7A, 7B und 7C, die aus einem stark dämpfungsfähigen Baustoff und aus den drei Stäben 8A, 8B und 8C, die aus einem nur wenig dämpfungsfähigen Material geschnitten worden sind. Die ersten drei Stäbe sind nach den Richtlinien Nr. 9 bis 11 auf Dämpfungsfähigkeit bei einer bestimmten Spannung τ_ν untersucht worden. Es ist einerseits die auf jede Schwingung in Wärme umgesetzte Arbeit je auf 1 kg Baustoff und anderseits die gesamte bis zum Bruch in Wärme umgesetzte Energiemenge ν ebenfalls auf 1 kg Baustoff angegeben. Der Wert von ν geht also aus dem Wert von γ durch Multiplikation mit der Schwingungszahl ϱ, die bis zum Bruch aufgewendet werden musste, hervor.

Die drei Werte für ν weichen innerhalb der Grenzen 3,0 und 6,7 von einander ab. Das kann aber nicht nur auf Zufälligkeiten (Ungenauigkeiten bei der Versuchdurchführung, vereinzelte schadhafte Stellen usw.) zurückgeführt werden, sondern die Angaben für γ lassen deutlich Ungleichmässigkeiten in den Eigenschaften des Baustoffes erkennen, aus dem die drei Stäbe 7 hergestellt waren. Für den *gleichen* Stab wird der Wert von γ umso grösser sein, je grösser τ ist. Der Baustoff 7B aber war in besonders hohem Masse dämpfungsfähig. Er hatte trotz geringerer

Bezeichnung	Streckgrenze kg/mm²	Bruchfestigkeit kg/mm²	Dehnung bei zehnfacher Messlänge %	Kontraktion %	Beanspruchung τ_{max} in kg/mm² und Anzahl ϱ der überstandenen Schwingungen: Stufe I	Stufe II	Stufe III	Schwingungsfestigkeit τ_{Schw} kg/mm²	Dämpfungsarbeit auf 1 Schwingung und 1 kg Material	Dämpfungsfähigkeit ν: PS·h/kg	km Fallhöhe
7A	54	77,5	15,5	52	$\tau_\nu = 20{,}9$ $\varrho = 2\,321\,000$	—	—	—	$\tau = 29{,}9$ $\gamma = 43$ cmkg/kg	3,7	1000
7B	58	82	13,5	46	$\tau_\nu = 20{,}6$ $\varrho = 3\,606\,000$	—	—	—	$\tau = 20{,}6$ $\gamma = 50$ cmkg/kg	6,7	1810
7C	55	82	13,9	44	$\tau_\nu = 19{,}0$ $\varrho = 4\,131\,000$	—	—	—	$\tau = 19{,}0$ $\gamma = 28$ cmkg/kg	3,0	810
8A	77,5	91	13,0	51	$\tau = 23{,}9$ $\varrho = 500\,000$	$\tau = 27{,}3$ $\varrho = 726\,700$	$\tau = 31{,}5$ $\varrho_{Br.} = 49\,500$	28,5	0	0	—
8B	74	92,5	12,5	54	—	$\tau = 27{,}3$ $\varrho = 500\,000$	$\tau = 30{,}7$ $\varrho_{Br.} = 343\,700$	29,5	0	0	—
8C	78	91,5	12,0	54	$\tau = 24{,}0$ $\varrho = 500\,000$	$\tau = 27{,}2$ $\varrho = 500\,000$	$\tau = 30{,}0$ $\varrho_{Br.} = 413\,300$	29,5	0	0	—

Beanspruchung als Stab 7A einen höheren Wert für γ als dieser. Dass Stab 7B einen höheren Wert für ν als Stab 7A haben würde, trat also schon bei den ersten Schwingungen in die Erscheinung.

Wahrscheinlich wird der Wert von ν von der gewählten Beanspruchung τ_ν abhängig sein. Ueber die Art der Abhängigkeit liegen noch keine Versuchsergebnisse vor.

Die Erwärmung eines Stabes aus dämpfungsfähigem Baustoff verteilt sich ziemlich gleichmässig über den Stab, ein Zeichen dafür, dass der Baustoff an allen Stellen in ziemlich gleichem Masse an der Energieumsetzung teilnimmt. Auch zeitlich ist die Energieumsetzung im Stab wenig veränderlich. Es macht sich keine ausgesprochene Ermüdung des Baustoffes bemerkbar, sondern von den ersten Schwingungen an bis zum Schluss weist der Stab angenähert gleiche Temperaturen bei gleichem Ausschlag der Schwungscheibe auf.

Zahlenmässige Angaben hierüber sollen in der auf Seite 17 erwähnten Dissertationsarbeit von Dipl.-Ing. A. Busemann veröffentlicht werden.

Für die drei Stäbe 8 ist die Schwingungsfestigkeit τ_{Schw} nach den Angaben in den vorstehenden Richtlinien bestimmt worden. Die Ergebnisse weichen nur wenig von einander ab (28,5 bis 29,5 kg/mm²), ein Zeichen dafür, dass der Baustoff für alle drei Stäbe sehr gleichmässige Zusammensetzung hatte. Eine mit der Hand merkliche Erwärmung ist bei diesen Stäben selbst bei der höchsten Belastung nicht aufgetreten. Die Wasserbremse, die beim Versuch mit Stab 7B ganz fortgelassen werden konnte, musste deshalb bei den Stäben 8 fast den ganzen eingeleiteten Impuls aufnehmen. Vielleicht hätte man mit Feinmessinstrumenten eine Erwärmung der Stäbe 8 bei der höchsten Belastung feststellen können. Der Dämpfungswert ν ist aber auf alle Fälle kleiner als 0,2 PS·h/kg.

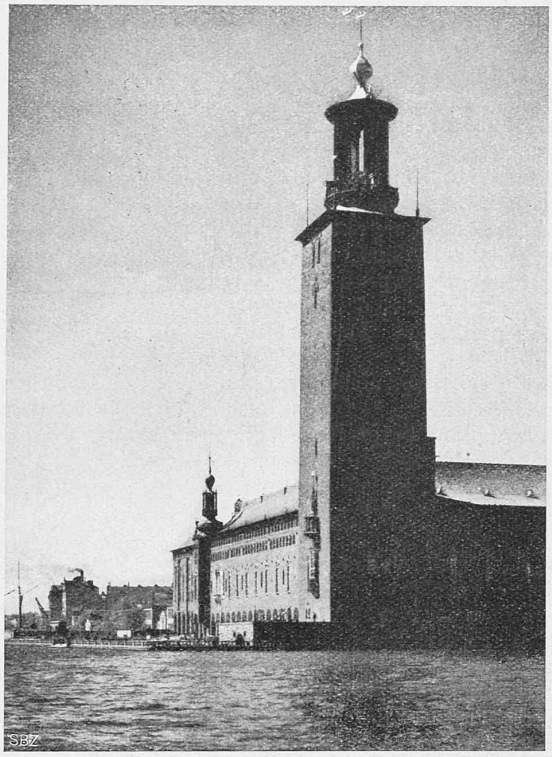

Abb. 4. Streifbild der Südfront mit dem Turm.

Der Vergleich der vorstehenden Versuchsergebnisse mit den von anderer Seite gewonnenen Ergebnissen ist dadurch erschwert, dass die Anzahl ϱ der Schwingungen, auf die sich τ_{Schw} bezieht, von den verschiedenen Experimentatoren verschieden gewählt worden ist. Einwandfreie Vergleichsergebnisse können erst erhalten werden, wenn die Versuchsunterlagen zur Rückführung des Wertes $(\tau_{Schw})_{\varrho=500\,000}$ auf $(\tau_{Schw})_{\varrho=\infty}$ vorliegen.

Prof. *R. Stribeck* in Stuttgart kommt auf Grund von Versuchen, die vor allem in Amerika angestellt worden sind (*Moore* und *Kommers*), zu dem Ergebnis, dass die Schwingungsfestigkeit verhältnisgleich der Summe aus Bruchfestigkeit und Streckgrenze sein soll (siehe „Z.V.D.I.", 1923, S. 631). Gegen diese Annahme spricht von vornherein die Tatsache, dass die Bruchdehnung, die eine wesentliche Eigenschaft des Materials ist, dabei nicht berücksichtigt worden ist. Die in meinem Laboratorium angestellten Biegungschwingungs-Versuche (siehe hierüber „S.B.Z.", Bd. 81, S. 90, 24. Februar 1923) widersprechen denn auch in dieser Richtung der Stribeck'schen Formel. Das gleiche Ergebnis liefern die vorhin erwähnten Drehschwingungsversuche: Es ist z. B. ein Material Nr. 10 mit einer um etwa 20 % höhern Bruchfestigkeit und Streckgrenze als Baustoff 8 aber erheblich niedrigern Bruchdehnung zur Untersuchung gekommen mit dem Endergebnis, dass τ_{Schw} für Nr. 10 nicht wie es die Stribeck'sche Formel ergibt, einen um 20 % höhern, sondern sogar einen etwas niedrigern Wert liefert als τ_{Schw} für Material 8. Es ergibt sich daraus, dass der Schwingungsfestigkeitswert nicht einfach aus den statischen Festigkeitszahlen errechnet werden kann, sondern für jedes Baumaterial gesondert ermittelt werden muss.

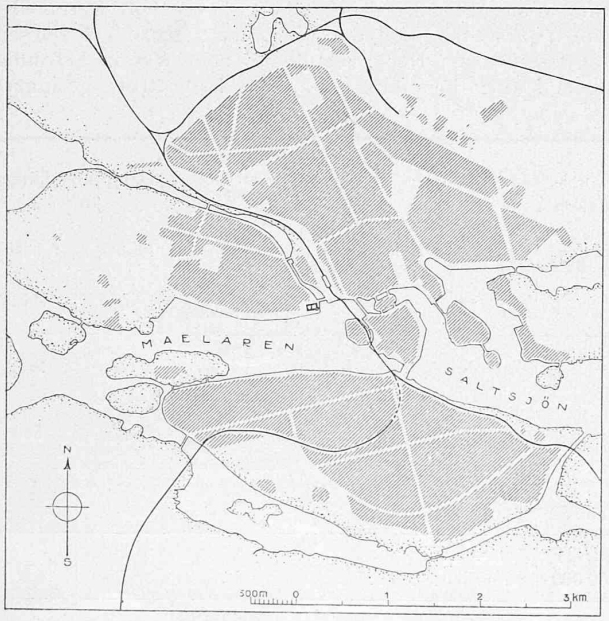

Abb. 1. Uebersichtsplan der Stadt Stockholm, 1 : 75 000. Das Stadthaus ist im Zentrum des Planbildes zu erkennen.

Wir und die Architektur des Auslands.

Von Dipl. Arch. *Armin Meili*, Luzern.

(Fortsetzung von Seite 7; mit Tafeln 3 bis 6)

Die Stadt Stockholm. Wenige Grosstädte haben ihre Umgebung so unberührt gelassen, wie dies bei Stockholm der Fall ist. Reine terra virgo umrahmt diese Stadt in nächster Nähe. Niedere Granitschliffe von sammetenem Laubholzwald bedeckt oder umsäumt sind die Kennzeichen der Landschaft, die von vielen Seearmen unterteilt ist, die wiederum mannigfaltig verästelte Buchten und Inseln bilden. Die Hügelkuppen erheben sich kaum 30 bis 40 m über den Wasserspiegel.

Die Stadt liegt an der Stelle, wo der Mälarensee in den Salzsee (Saltsjön) mündet (Abbildung 1). Unter diesen Seen müssen wir uns langgestreckte, flussartige Gebilde vorstellen. Der Süsswassersee Mälaren erstreckt sich von Stockholm aus wohl an die 200 km weit landeinwärts, während der vom Meere hereingreifende Salzsee eine Längenausdehnung von etwa 70 km besitzt. An der Stelle, wo ein kurzer Fluss, die Ström, beide Gewässer verbindet, liegt der alte Stadtkern mit dem königlichen Schloss, einem streng kubischen Renaissancebau. Dort geniesst der Fremdling von der grossen Granitbrücke, der Norrebro aus, den typischen Anblick dieser Wasserstadt. Auf dem etwa 1 bis