

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 101/102 (1933)
Heft: 4

Artikel: Experimentelle Bestimmung der Beanspruchung von Bauwerken, die einer zeitlich veränderlichen Strömung ausgesetzt sind
Autor: Meyer-Peter, E. / Favre, Henry
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-82942>

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: 15.03.2025

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

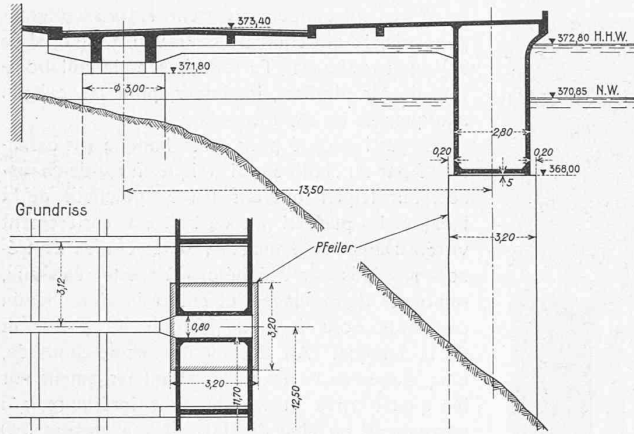


Abb. 11. Teilgrundriss und Schnitt durch die Mitte einer Oeffnung des Quai Perdonnet in Vevey. — Masstab 1 : 250.

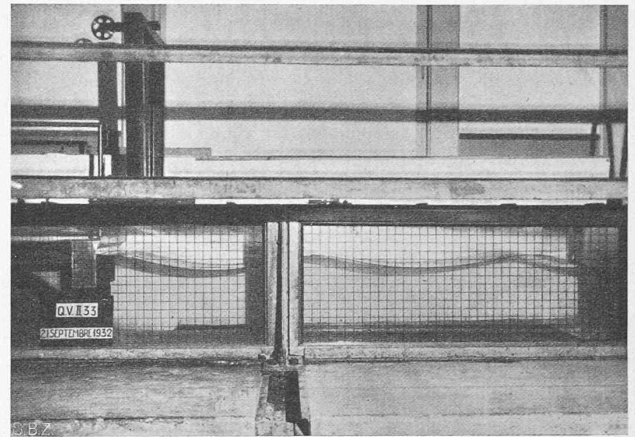


Abb. 13. Seitliche Modell-Ansicht mit ankommenden Wellen vor der Reflexion.

Experimentelle Bestimmung der Beanspruchung von Bauwerken, die einer zeitlich veränderlichen Strömung ausgesetzt sind.

Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. von Prof. E. MEYER-PETER und Dr. HENRY FAVRE.

(Schluss von Seite 33.)

IV. Anwendung auf die Messung der Wellenstosskraft bei Molen und Quaimauern.

Als Beispiel sei der im Bau begriffene Quai in Vevey gewählt; Abb. 11 zeigt Grundriss und Schnitt⁷⁾ der Konstruktion. Die Fundation besteht aus zwei pneumatisch versenkten Pfeilerreihen. Je ein Pfeiler der vordern und hintern Reihe sind durch biegezugfeste Eisenbetonträger zu einem Rahmen verbunden, auf die sich die Fahrbahnplatte abstützt; die Axtdistanz der Rahmen beträgt 12,5 m. Die äusseren Pfeiler tragen ausserdem eine Tauchwand, die dazu bestimmt ist, die gegen den Quai anstürmenden Wellen zu brechen. Die Tauchwand besteht aus Eisenbeton-Schwimmkasten, die auf die äussere Pfeilerreihe abgestellt werden. Durch diese eigenartige Konstruktion wollte man eine möglichst starke Reduktion des Eigengewichtes des neuen Quai erreichen, der an Stelle des im Jahre 1877 samt dem äusserst steilen Seeufer abgerutschten Quai Perdonnet zu bauen ist, zudem die Herstellung von Eisenbetonkonstruktionen unter Wasser vermeiden.

Die Versuche, die im Auftrag der Firma Losinger & Co. (Bern) ausgeführt worden sind, sollten zunächst zeigen, welche Tiefe der Tauchwand erforderlich ist, um die sehr starken Wellen, deren Höhe auf 1,50 m und deren Länge auf 25 m geschätzt ist, soweit zu brechen, dass auf der freiliegenden sehr steilen Uferböschung keine Erosion mehr zu befürchten ist. Nach experimenteller Untersuchung der durch die Tauchwand erreichten Beruhigung des Wassers musste sodann der Stoss auf die Konstruktion ermittelt werden. Das zu diesem Zweck erstellte Modell im Masstab 1 : 30 umfasste einen Ausschnitt von 12,5 m Länge der Quaibaute, also einen Hauptrahmen mit je der Hälfte der anstossenden Felder der Fahrbahn; Abb. 12 zeigt eine Ansicht der Einrichtung. Das Modell ist in einem Kanal mit rechtwinkligem Querschnitt von 421 mm Breite und 600 mm Tiefe angebracht. Rechts auf dem Bilde ist der Apparat für die Erzeugung der Wellen erkenntlich, eine Platte, die um eine horizontale Achse senkrecht zur Kanalaxe gedreht wird. Der Antrieb erfolgt von Hand im Takt eines Metronoms, die Ermittlung der tatsächlich erzeugten Wellenhöhen und Längen photographisch (Abb. 13) und zwar jeweils vor ihrer Reflexion durch das Modell. Am andern Ende des Kanals befindet sich das Modell des Quai, das nach dem Schema der Abb. 5 (S. 31) aufgehängt ist. Sowohl zur Bestimmung der Stosskräfte auf die Tauchwand allein und auf die Fahrbahn allein, als auch zur Kontrolle des störenden Einflusses der Masse des Modells, wurden die Versuche in drei Haupt-

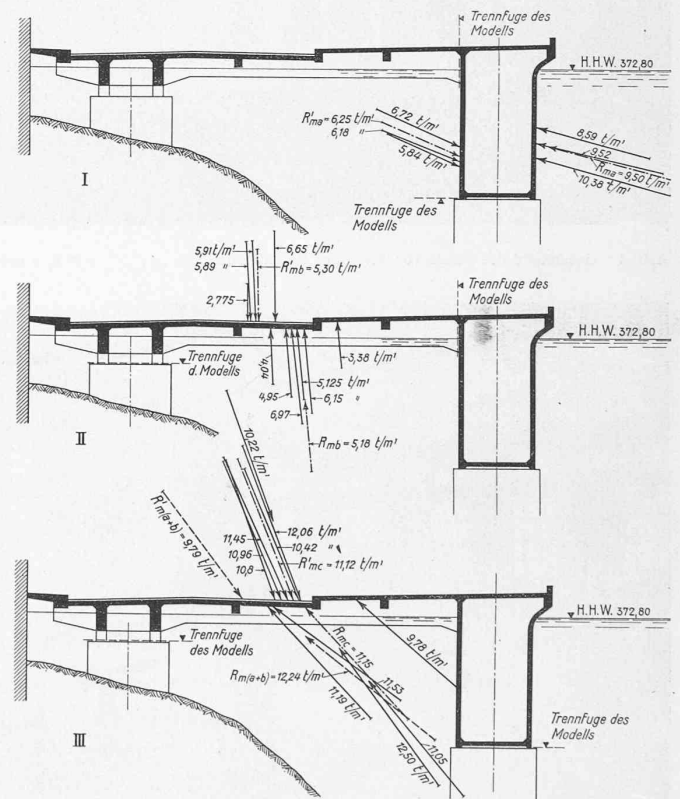


Abb. 16. Zusammenstellung einer Reihe ungünstiger Resultierender der Wellenstosskräfte. — Masstab der Objekt-Zeichnung 1 : 250 der Wirklichkeit.

- I R_{ma} und R'_{ma} Mittelwerte für die Versuche mit dem Schwimmkasten allein.
- II R_{mb} und R'_{mb} Mittelwerte für die Versuche mit der Fahrbahnplatte allein.
- III R_{mc} und R'_{mc} Mittelwerte für die Versuche mit dem Gesamt-Modell.
- $R_{m(a+b)}$ und $R'_{m(a+b)}$ Geometrische Summe aus den Mittelwerten von I u. 2.

serien durchgeführt, sodass man die Tauchwand und die Fahrbahnplatte je für sich und auch zusammenhängend untersuchte. In Abb. 12 ist ferner links der Chronograph ersichtlich, der zur Aufzeichnung der Wellenperiode und der früher erwähnten drei Kräfte A , B und C dient.

Abb. 14 enthält ein Schema der Aufhängung des Modells und zwar: I für die Tauchwand allein, II für die Fahrbahn allein, III für die Gesamtkonstruktion. Der jeweiligen nicht in Betracht gezogene Modellteil wurde festgeklemmt und vom beweglichen Teil durch eine Fuge von 5 mm Breite getrennt.

⁷⁾ Die Masse sind auf die Natur umgerechnet. Das Ausführungsprojekt, das von Ing. R. Maillart, Genf, bearbeitet worden ist, zeigt einige konstruktive Abänderungen.

In Wirklichkeit ist aber die Art der Befestigung der Schiffe während der Schleusung schon deshalb von Fall zu Fall eine andere, weil jedes Schiff andere Einrichtungen zum Anspannen der Trossen benützt wird und weil während der Schleusung selbst die Trossenlänge sukzessive geändert werden muss. Es tritt hier also schon wegen der verschiedenen Handhabung der Schiffswinden, Spills, usw. ein Zufallsmoment herein, das bei den Versuchen nicht berücksichtigt werden kann. Damit können also die geschilderten Versuche, aus Gründen, die mit der Methode als solche nichts zu tun haben, nur Vergleichsresultate für verschiedene bauliche Lösungen der Füll- und Entleerungsorgane der Schleuse liefern, deren Wert hauptsächlich darin besteht, für eine genau definierte und immer gleiche Befestigungsart der Schiffe die günstigste Form der Kanäle, sowie das beste Reglement für die Bedienung der Abschlussorgane festzulegen. Im übrigen erhält man aus den Versuchen die Grössenordnung der zu erwartenden Trossenzüge.

2. Das Bauwerk ist als fest im Raume zu betrachten.

Dies ist bei den auf Wellenschlag zu untersuchenden Molen- und Quaibauten der Fall. Jede Bewegung des Modells wird damit zu einer Fehlerquelle. Es soll im folgenden ganz summarisch untersucht werden, von welchen Faktoren der Fehler abhängt. Zur Vereinfachung soll angenommen werden, dass die Kraft A (Abb. 17), für die wir die Grössenordnung des Fehlers bestimmen wollen, durch den Schwerpunkt S der Scheibe gehe. O sei die Ruhelage des Schwerpunktes. Die x Axe liege in der Krafrichtung $a a'$, x sei die Abszisse des Schwerpunktes S zur Zeit t .

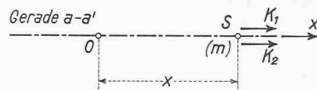


Abbildung 17.

Die Grösse x wird vom Chronographen aufgezeichnet. Es lässt sich dann auf Grund des Satzes der Bewegung des Schwerpunktes eines starren Körpers annehmen, dass die äusseren Kräfte in diesem Punkt angreifen. Zur Zeit t treten dann folgende Kräfte auf:

K_1 Resultierende der hydraulischen Pressungen,

K_2 Resultierende der Federreaktionen, die in der Geraden $a a'$ liegen.

Setzt man voraus, dass die horizontale Komponente der Wellenstosskraft eine Sinusfunktion sei, deren Ausdrück durch

$$K_1 = + a \sin \omega t \dots \dots \dots (1)$$

gegeben ist, wobei $\frac{\omega}{2\pi}$ die Frequenz der Wellen ist, so wird andererseits bei konstanter Federcharakteristik b , da K_2 der Kraft K_1 entgegenwirkt: $K_2 = - b x \dots \dots \dots (2)$

Wir bezeichnen mit m die Masse des Modells und gelangen dann zu folgender Bewegungsgleichung:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = K_1 + K_2 = + a \sin \omega t - b x \dots \dots (3)$$

Diese lineare Differentialgleichung zweiter Ordnung mit Störungsfunktion (erzwungene Schwingung) hat nachstehende Lösung, wenn noch gesetzt wird, dass für $t = 0$, $x = 0$ und $\frac{dx}{dt} = 0$:

$$x = \frac{a}{b - m \omega^2} \left[- \frac{\omega}{\sqrt{\frac{b}{m}}} \sin \left(\sqrt{\frac{b}{m}} t \right) + \sin (\omega t) \right] \dots (4)$$

Mit Hilfe der Gleichungen (2) und (4) lässt sich nun K_2 berechnen:

$$K_2 = \frac{a b}{b - m \omega^2} \left[\sin (\omega t) - \frac{\omega}{\sqrt{\frac{b}{m}}} \sin \left(\sqrt{\frac{b}{m}} t \right) \right] \dots (5)$$

Durch die Aufzeichnung des Chronographen wird nun die Grösse $- K_2$ gemessen, die tatsächliche horizontale Komponente der Wellenstosskraft ist aber K_1 . Der Fehler, den die Messung ergibt, ist also:

$$\Delta K = K_1 - (-K_2) = K_1 + K_2$$

und ist selbstverständlich nach Gleichung (3) gleich der Trägheitskraft $m \frac{d^2 x}{dt^2}$. Aus (3) und (5) ergibt sich

$$\Delta K = - \frac{a m \omega^2}{b - m \omega^2} \sin (\omega t) + \frac{a \omega \sqrt{\frac{b}{m}}}{b - m \omega^2} \sin \left(\sqrt{\frac{b}{m}} t \right) \dots (6)$$

Wie man sieht, kann dieser Fehler als Superposition zweier Sinusschwingungen betrachtet werden, die erste mit der Frequenz $\frac{\omega}{2\pi}$, gleich derjenigen der Wellen, die zweite mit der Frequenz des Modells $\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{m}}$.

Gleichung (6) könnte nun dazu dienen, den Wert des mittleren Fehlers der Einzelbeobachtung zu bestimmen, indem man den Wert

$$\sqrt{\frac{\int_{t_0}^{t_1} (\Delta K)^2 dt}{t_1 - t_0}}$$

berechnet, wobei t_1 und t_0 zwei genügend von einander entfernte Zeiten sind. Indessen sind die Resultate der Abb. 16 in der Weise erhalten worden, dass aus den Aufzeichnungen des Chronographen die ungünstigsten Werte herausgegriffen wurden, wie dies aus Abb. 15 beispielsweise hervorgeht. Die erhaltenen Resultierenden sind mithin Maximalwerte der zu messenden Kräfte und diese Werte sind alle mit negativen Fehlern behaftet (weil die überhaupt grössten Werte herausgegriffen wurden), die wahrscheinlich näher bei den Grösstwerten der Fehler liegen als beim mittleren Fehler. Es empfiehlt sich deshalb, aus der Formel (6) den Maximalwert des Fehlers zu entnehmen. Dieser wird erreicht, wenn der eine der beiden Sinuswerte den Wert $+1$ annimmt, während der andere gleichzeitig -1 ist, für den Fall, dass die beiden Summanden entgegengesetztes Vorzeichen haben. Diese Koinzidenz muss praktisch stets als möglich bezeichnet werden, wenn die Wellen lang genug auf das Modell einwirken.

Man hat demnach:

$$|\Delta K_{\max}| = \left| \frac{a m \omega^2}{b - m \omega^2} \right| + \left| \frac{a \omega \sqrt{\frac{b}{m}}}{b - m \omega^2} \right|$$

Der relative Maximalfehler, bezogen auf $K_{1\max}$ wird also:

$$\frac{|\Delta K_{\max}|}{K_{1\max}} = \frac{\omega [m \omega + \sqrt{\frac{b}{m}}]}{b - m \omega^2} = \frac{\omega \left[\omega + \sqrt{\frac{b}{m}} \right]}{\frac{b}{m} - \omega^2} \dots (7)$$

Die Gleichung (7) zeigt zunächst, dass, wenn $\omega = \sqrt{\frac{b}{m}}$, wenn also die Frequenz der Wellen gleich ist derjenigen des Modells, der Messfehler unendlich gross wird: es tritt Resonanz ein. Es ist also unter allen Umständen darauf zu achten, dass die Masse des Modells, die Federkonstanten und der Modellmasstab so gewählt werden, dass die Frequenz des Modells möglichst von jener der Wellen verschieden ist. Wählt man $\sqrt{\frac{b}{m}}$ klein gegenüber ω , so wird der relative Fehler nahe gleich 1, also gross. Ist im Gegenteil $\sqrt{\frac{b}{m}}$ gross gegenüber ω , so kann bei geeigneter Wahl von m , b , usw. der Fehler innerhalb der für die Praxis erforderlichen Grenzen gehalten werden, weil in diesem Falle Gleichung (7) wie folgt geschrieben werden kann:

$$\frac{|\Delta K_{\max}|}{K_{1\max}} = \frac{\omega \sqrt{m}}{\sqrt{b}} \dots \dots \dots (8)$$

Um einen kleinen relativen Fehler zu erhalten, müssen darnach ω und m klein sein gegenüber b .

Es ergeben sich hieraus folgende Regeln: 1. die Eigenfrequenz des Modells muss gegenüber der Wellenfrequenz gross sein, 2. die Frequenz der Wellen (Modellmasstab) und die Masse des Modells sollen möglichst klein sein, 3. die Federkonstante muss möglichst gross gewählt werden, was gleichbedeutend ist mit starken, wenig elastischen Federn.

Als Beispiel seien die Messungen für den Quai in Vevey ins Auge gefasst. In keinem der drei behandelten Fälle (Abb. 16 I, II und III) geht die Richtung der horizontalen Federzüge durch den Schwerpunkt. Die nachfolgenden Zahlen geben also nur eine Grössenordnung des erhaltenen Maximalfehlers. Im Falle der Untersuchung der Schwimmkasten allein ergeben sich folgende Zahlen:

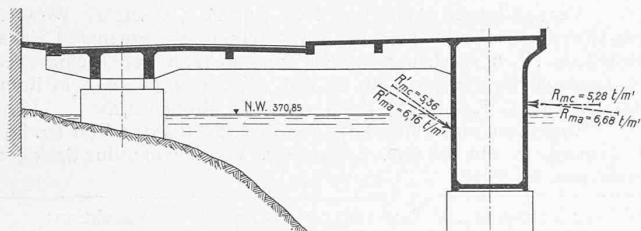


Abb. 18. Vergleich der Mittelwerte der Resultierenden auf den Schwimmkasten bei verschiedenen Massen des Modells für Wellen von 25 m L. u. 1,50 m H. bei N. W. R_{mc} und R'_{mc} erhalten aus Versuchen mit dem ganzen Modell. R_{ma} und R'_{ma} erhalten aus Versuchen mit dem Schwimmkasten allein.

$$m = \frac{3,78 \text{ kg}}{981 \text{ cm sec}^{-2}} = 0,00385 \text{ kg cm}^{-1} \text{ sec}^2$$

$$b = 7,4 \text{ kg cm}^{-1}, \text{ durch direkte Eichung erhalten,}$$

$$\frac{\omega}{2\pi} = 1,33 \text{ Schwingungen pro sec,}$$

$$\omega = 8,35 \text{ Bogeneinheiten pro sec,}$$

$$\frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{m}} = 6,98 \text{ Schwingungen pro sec,}$$

$$\sqrt{\frac{b}{m}} = 43,80 \text{ Bogeneinheiten pro sec.}$$

Die erforderliche Ungleichheit der beiden Frequenzen ist vorhanden, da $43,80 > 8,35$.

Aus (7) ergibt sich:

$$\left| \frac{\Delta K_{\max}}{K_{1\max}} \right| = \frac{8,35 (8,35 + 43,80)}{43,8^2 - 8,35^2} = 23,5 \%$$

Eine analoge Berechnung des Maximalfehlers für die Messung mit zusammenhängender Konstruktion (Schwimmkasten und Fahrbahntafel) ergibt 32,4 %.

Diese Fehler sind, wie bereits erwähnt, negativ, das heisst, die durch die Messungen erhaltenen Kräfte sind grösser als die tatsächlichen. Es soll nachdrücklich darauf hingewiesen werden, dass es sich bei diesen theoretischen Ueberlegungen nur um die Bestimmung der Grössenordnung der Fehler handelt, wie ja schon aus den vereinfachenden Hypothesen hervorgeht, auf denen die Rechnungen fussen, wie z. B. die zeitliche Abhängigkeit der Stosskraft K_1 (Gl. 1) und die Vernachlässigung des Umstandes, dass die Federkräfte und die äusseren Kräfte nicht genau durch den Schwerpunkt des Modells gehen.

Auch der Umstand, dass sich das Modell im Gegensatz zum Bauobjekt unter dem Einfluss der Wellenstosskraft etwas verschiebt, bringt die Möglichkeit einer weiteren Ungenauigkeit mit sich und zwar abgesehen von der bereits besprochenen Massenwirkung dadurch, dass im beweglichen Modell die relative Geschwindigkeit der Wasserteilchen in Bezug auf die getroffene Wand geändert wird.

Man erhält übrigens die Grössenordnung des Fehlers auch dadurch, dass man die beiden Fälle: Schwimmkasten allein und Gesamtkonstruktion an Hand der Versuche für Niederwasser miteinander vergleicht. Abb. 18 enthält die Mittel der Maximalkräfte auf die Schwimmkasten allein und zwar einmal die gegen Land, das andere Mal die gegen den See gerichteten Kräfte, beide durch gestrichelte Linien gekennzeichnet. Die entsprechenden Mittel der auf die Gesamtkonstruktion wirkenden Kräfte sind durch strichpunktierte Linien angedeutet. Da die Wellen bei Niederwasser die Fahrbahnplatte nicht berühren, so stellt die Zusammensetzung des Modells also keine Veränderung der äusseren Kräfte, sondern nur eine Vergrösserung der Masse des Modells dar. Man sieht, dass die entsprechenden Kräfte in Bezug auf ihre Lage und Richtung gut miteinander übereinstimmen. Der Unterschied in der Grösse der entsprechenden Kräfte beträgt 21 % für die landwärts und 13 % für die seewärts gerichteten Mittelkräfte, also eine Bestätigung der berechneten Grössenordnung des Fehlers.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die bei der beschriebenen Methode zu erwartenden Fehler bei den Verhältnissen der untersuchten Modelle von der Grössen-

ordnung von 30 % und dass sie stets negativ sind, wenn die Aufzeichnungen des Chronographen im Sinne der obigen Ausführungen ausgewertet werden; die tatsächlichen Stoskräfte sind also kleiner als die gemessenen. Die Methode ist für die Praxis ausreichend genau und jedenfalls besser als die rein rechnerische Ermittlung der gesuchten Kräfte.

MITTEILUNGEN.

Zerstörung von Blei-Abwasserleitungen. Ueber einen bemerkenswerten Fall berichtet F. Linke (Berlin) in der „Zeitschrift f. d. ges. Krankenhauswesen“ vom 17. Januar. Danach haben sich in einem Hotel mit vollkommen reinem Leitungswasser in den Ablaufrohren von 2,75 mm Wandstärke, da wo sie in Decken horizontal verlaufen, an der Oberseite kleine Löcher von 3 bis 10 mm \varnothing gebildet, von denen aus die Decken durchfeuchtet wurden. Die Untersuchung hat ergeben, dass die Ursache an einem geringen Gehalt von Kochsalz und Natriumsulfat des Abwassers lag. Während starke Lösungen dieser Stoffe Blei nicht angreifen, sind schwache sehr aggressiv und entstehen immer aus Seife und Waschmitteln. Ermöglicht wurde der Angriff durch die horizontale Lage der Rohre, indem sich auf deren Boden aus stets stehendem Wasser starke Ansätze von Kalziumkarbonat bildeten, die zwar das unterliegende Blei schützten, an denen sich aber das Abwasser staut und gegen die Rohrdecke sprühte. Die allgemein verbreitete Sitte, sich unter dem fliessenden Strahl zu waschen, begünstigt die Entstehung der gefährlichen, stark verdünnten Kochsalzlösung und vermindert die Anzahl der kräftigen Durchspülungen durch Leerung gefüllter Waschbecken. Es sollte also auch aus diesem Grunde die Anlage horizontaler Strecken in der Abwasserleitung aus Blei vermieden und das widerstandsfähigere Weichblei statt einer Legierung angewendet werden.

Vom gesteuerten Gleichrichter. Im Anschluss an die eingehende Behandlung des von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. gebauten, gesteuerten Gleichrichters, auf S. 29* von Bd. 100 (16. Juli 1932) sei hier auf die Arbeit von H. Hafner im „Bulletin Oerlikon“ vom August bis Dezember 1932 aufmerksam gemacht, in der über eine Versuchsanordnung berichtet wird, durch die die Kupplung eines Drehstromnetzes mit einem Gleichstromnetz über einen Gleichrichter untersucht wurde. Die Phasenverschiebung der Grundharmonischen des stufenförmigen, mittels des Gleichrichters aus primärem Gleichstrom gewonnenen Wechselstroms gegen die Netzspannung kann nach den ausgeführten Versuchen mit Hilfe der Gittersteuerung so eingestellt werden, dass die Leistung zwischen Wechselstromnetz und Gleichstromnetz in beiden Richtungen verschoben werden kann. Der Winkel der Phasenverschiebung ist besonders vom Zündwinkel, und weiter auch von der Streuung des Transformators abhängig. Aus Gründen der Kommutierung ist die freie Wahl des Zündwinkels eingengt. Durch die Verwendung einer Löschanordnung kann jedoch der Zündwinkel so eingestellt werden, dass der wätllose Netzstrom der Grundharmonischen in Wegfall kommt und der Transformator besser ausgenützt werden kann.

Kritik an neuen Hochbauten der Deutschen Reichsbahn im Düsseldorfer Hauptbahnhof wird in der „Baugilde“ vom 25. Dez. 1932 geübt; sie seien architektonisch schlecht und ingenieurmässig stark überdimensioniert, die D. R. habe Mitarbeiter befähigter Privatarchitekten trotz ihrer nachdrücklichen Bemühungen um eine bessere Lösung abgelehnt. Ohne hier Bilder wiederzugeben, lässt sich das Tatsächliche des Falles natürlich nicht behandeln, doch scheint es uns grundsätzlich sehr begrüssenswert, dass auch Bauten, die von hohen Amtstellen stammen, im Fachblatt von Fachleuten offen analysiert und auch kritisiert werden. Wenn dabei Angreifer und Angegriffene im Auge behalten, dass die Gegner achtbare Kollegen (und wohl auch nicht 100% ige Dummköpfe!) sind, können solche Diskussionen nicht in kleinliche Nörgelei ausarten, im Gegenteil werden sie gerade zur Entwicklung wesentlich beitragen.

Schiesspulver im Dienste der Metallbearbeitung. Aecht amerikanisch erscheint die Idee, durch das Hineinschiessen von Gewindebolzen in Stahlplatten das Gewindeschneiden zu ersetzen. Wie die „V. D. I.-Zeitschrift“ vom 3. Dezember 1932 nach amerikanischen Quellen mitteilt, dient hierzu sowohl eine Art „Gewehr“ von 7 kg Gewicht, das gewissermassen einen Niethammer ersetzt, als auch eine nach Art der Minenwerfer ausgebildete „Bolzenkanone“.