

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 71 (1953)
Heft: 38

Artikel: Betonprüfung mit akustischen Methoden
Autor: Baud, R.V.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-60625>

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: 01.04.2025

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

Wenn sich auf diese Weise so etwas wie eine europäische Solidarität zur Erhaltung wertvoller Kunstdenkmäler herausbilden würde, im Bewusstsein, dass die Zeugnisse der Vergangenheit, auf der die Gegenwart beruht, schlechthin ganz Europa angehen, gleichviel in welchem Land sie gerade stehen, so würde sich die UNESCO damit ein sehr grosses Verdienst erwerben. Und sie würde damit die weitverbreitete Meinung widerlegen, sie erschöpfe sich in einem ungeheueren organisatorischen Leerlauf. Auch materiell ist das Gutachten interessant — was man aber am Schluss gerne wüsste: ist die Kirche von Ochrida nun wirklich vor dem Verfall gesichert, ist effektiv etwas erreicht worden, oder bleibt es bei guten Ratschlägen und frommen Wünschen? Wäre es nicht richtiger, solche Publikationen erst dann herauszugeben, wenn man wirkliche Ergebnisse zeigen kann?

Wenn man an die unendlichen Schwierigkeiten und Knau-

serigkeiten denkt, mit denen unsere Schweizerische Denkmalpflege zu kämpfen hat, so sollte dieses jugoslawische Beispiel anspornend wirken — nicht in dem Sinn, dass wir auf ausländische Hilfe warten sollten, sondern dass sich in unseren Bundes-, Kantons- und Gemeindebehörden die Erkenntnis durchsetzt, dass es hier nicht um Spezialangelegenheiten und Liebhabereien von Aestheten und Historikern geht, sondern um die nationale, mehr noch, um die europäische Kultursubstanz.

Noch eine Anregung: Die UNESCO sollte sich von solchen Bauten, die mit ihrer Hilfe restauriert werden, eine Sammlung erstklassiger Photographien anlegen, aus der Abzüge ohne Komplikationen zu beziehen wären; vielleicht liesse sich das mit der Zeit zu einem gesamteuropäischen Dokumentationszentrum ausbauen. Wer je mit diesen Dingen zu tun hat weiss, wie nützlich das wäre.

P. M.

Betonprüfung mit akustischen Methoden

Auf Einladung des Schweiz. Verbandes für die Materialprüfungen der Technik (SVMT), der S. I. A.-Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau (FGBH) und des Schweiz. Nationalkomitees für grosse Talsperren (SNGT) fand am 13. Juni 1953 im Audit. I der ETH in Zürich eine Diskussionsversammlung statt¹⁾, an der zwei Dienstchefs der Laboratoires du Bâtiment et des Travaux Publics, Paris, über das Thema des «Dynamischen Abhorchens von Beton» referierten. Wie der Vorsitzende der Tagung, Ing. H. Gicot, Präsident des SNGT, erwähnte, sind im Zusammenhang mit den Vorträgen Versuche an Bauwerken in der Schweiz geplant. In den Laboratorien in Paris sind nach den Ausführungen des ersten Redners, Dipl. Ing. G. Davance, für den erwähnten Zweck bisher vier Apparate konstruiert worden, wovon die ersten beiden hauptsächlich für den Gebrauch im Laboratorium, die andern für die Verwendung an Bauwerken bestimmt sind.

Der erste Apparat beruht auf dem Resonanzverfahren, d. h. auf der Ermittlung einer der Eigenfrequenzen, beispielsweise der untersten (Bild 1). Der längliche Prüfling wird hierbei zu Eigenschwingungen mit der Frequenz f_n angeregt, wobei $n = 1, 2, 3, \dots$:

$$(1) \quad f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Für $n = 1$ (Grundschiwingung) ist die Amplitude maximal. Um f_n zu bestimmen, wird ein Frequenzgenerator mit einem passenden Frequenzband benützt, der in einer beliebigen Einstellung beispielsweise die Frequenz f_g erzeugt. Weichen f_n und f_g nur wenig voneinander ab, so entsteht durch Superposition eine Schwebung, die bei vollkommener Uebereinstimmung $f_n = f_g$ verschwindet. Man wählt je nachdem Ultraschall²⁾ mit Frequenzen von etwa 20 bis 200 kHz, entsprechend einer Wellenlänge λ im Beton von rund 20 bis 2 cm³⁾. Dies hat den

1) SBZ 1953, Nr. 23, S. 344.

2) Ueber die «Physikalischen Grundlagen des Ultraschalles und seine Anwendung im Materialprüfungswesen», s. SBZ 1948, Nr. 14, 15 und 16.

3) Bei den Zahlenangaben in diesem Referat wird eine Schall-



Bild 1. Die Eigenfrequenz der Längsschwingungen eines in der Mitte eingespannten oder einfachsthalber auf einer Kautschukunterlage ruhenden Stabes von der Länge l ist durch die Formel (1) gegeben. Am einen Ende wird der Stab mittels eines passenden, vom Frequenzgenerator belieferten Gebers zu Eigenschwingungen der Frequenz f_n angeregt; am anderen Ende werden diese durch einen piezoelektrischen Empfänger aufgefangen und verstärkt einem Kathodenstrahloszillographen zugeführt. Da diesem ausserdem die Wechselspannung des Frequenzgenerators (Frequenz f_g) aufgedrückt wird, entsteht die im Text erwähnte Schwebung.

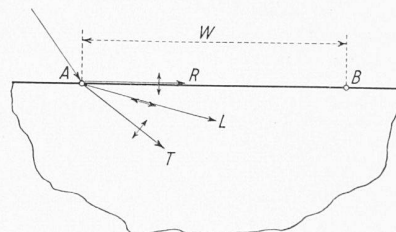


Bild 2. Die Schallausbreitung in Medien mit veränderter Querkontraktion (z. B. in dreidimensionalen Medien) ist durch die Formeln 2, 3 und 4 gegeben. Bewegungen sich alle drei Wellen von A nach B, so finden die Schwingungen der Longitudinalwellen in Richtung A—B in der Oberfläche, diejenigen der Transversalwellen senkrecht A—B in der Oberfläche und diejenigen der Rayleighwellen senkrecht A—B senkrecht zur Oberfläche statt.

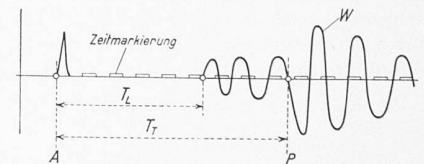


Bild 3. Typisches Kathodenstrahloszillographen-Schirmbild mit dem primär von der Longitudinalwelle erzeugten Wellenzug W. Von einem gewissen Punkte P an stellt W die Superposition der Longitudinal- und Transversalwelle dar. Noch etwas später trifft schliesslich die Rayleighwelle ein, doch ist der betreffende Punkt P' im Wellenzug nicht einwandfrei feststellbar. Die Zeitmarkierung ist nur schematisch angedeutet.

DK 620.179.16:666.97

Vorteil, dass die Abmessungen der Probekörper je nach Wunsch klein ausfallen ($d < \lambda/4$, $l = n \lambda/2$).

Die drei übrigen Geräte beruhen auf der Messung der Schallgeschwindigkeit V , die von der Formgebung des zu prüfenden Körpers, seinen elastischen Konstanten E , ν , sowie der Dichte ρ und schliesslich von Art und Ort der Welle abhängt (Bild 2). Die Schallgeschwindigkeiten betragen in diesem Fall:

$$(2) \quad V_L = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

$$(3) \quad V_T = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \sqrt{\frac{1}{2(1+\nu)}}$$

$$(4) \quad V_R = \frac{0,87 + 1,12\nu}{1+\nu} V_T$$

Während alle vier Geräte elektrische Empfänger aufweisen, hat nur das zweite Gerät einen piezoelektrischen Geber, wobei heute bei höheren Frequenzen meist nicht Quarz, sondern wegen seiner bedeutend höhern Beanspruchungsfähigkeit Bariumtitanat verwendet wird. Dennoch ist die Reichweite solcher Geber, selbst unter Verwendung relativ niedriger Ultraschall-Frequenzen, infolge Schallabsorption im Beton beschränkt.

Die untere Grenze für Schallgeschwindigkeitsmessungen liegt bei der apparatetechnisch bedingten Minimalzeit von etwa 15 Mikrosekunden (1 Mikrosec = 10^{-6} s), was im Beton einer Weglänge von rund 6 cm entspricht. Mit dem zweiten Gerät ist somit V in Körpern von der Länge bis minimal 6 cm messbar. Dieses Gerät ist deshalb, wie bereits erwähnt, hauptsächlich für Laboratoriumszwecke vorgesehen.

Bei Prüfungen ausserhalb des Laboratoriums, so z. B. an Flugplatzpisten, Staumauern usw., müssen bei grossen Messstrecken wegen der grossen Schallabsorption andere Schall-

geschwindigkeit $V_L = 4000$ m/s angenommen, was einem Bauwerkbeton guter Qualität entspricht. Ein Bauwerkbeton unter 3700 m/s wird als schlecht, ein solcher über 4600 m/s als sehr gut bewertet.

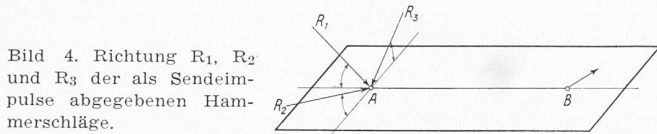


Bild 4. Richtung R_1 , R_2 und R_3 der als Sendeimpulse abgegebenen Hammerschläge.

geber verwendet werden und zwar wird beim dritten Gerät ein mechanischer Hammer mit vier Schlägen pro Sekunde benutzt, während beim vierten Gerät eine lokale Explosion ausgelöst wird. Das Prinzip der drei V -Messgeräte ist gleich, die Ausführungsdetails entsprechend den anders gearteten Anforderungen etwas verschieden.

Da $V = W/T$ ist und man den Weg W zwischen zwei Messpunkten abmessen kann, läuft also die Messtechnik bei den V -Messgeräten auf die Bestimmung kurzer Laufzeiten T von der Grösse 15 bis etwa 8000 Mikrosekunden hinaus. Diese Geräte, bei denen die Sendeimpulse sowohl direkt als auch über den Prüfling auf einen Kathodenstrahloszillographen gehen, haben deshalb als wichtigste Beigabe eine Zeitmarkierung, so dass man direkt (wie im Bild 3 angedeutet) vom Schirmbild des Oszillographen ablesen kann, wie viele Mikrosekunden der Schallimpuls für die Zurücklegung einer Strecke, z. B. A—B in Bild 2, benötigt hat.

Die Interpretation der Schirmbilder erscheint zunächst dadurch erschwert (wie im Bild 2 angedeutet), dass drei verschiedene Sorten von Wellen ausgelöst werden, nämlich Longitudinalwellen (L), Transversalwellen (T) und die transversalen Charakter aufweisenden Oberflächenwellen, sog. Rayleighwellen (R), die sich mit verschiedener Geschwindigkeit V_L , bzw. V_T , bzw. V_R ausbreiten, wobei z. B. für $\nu = 0.2$ $V_T = 0.61 V_L$ und $V_R = 0.545 V_L$ ist. In dem auf Bild 2 dargestellten Fall erreicht somit die L-Welle den Punkt B zuerst und erzeugt auf dem Schirm den Wellenzug W (Bild 3). Später treffen die Transversalwellen ein, die sich von einem bestimmten Punkt P ab dem vorhandenen Wellenzug überlagern. Um diesen Punkt zu lokalisieren, wendet der Referent folgende Methode an: Er gibt die Hammerschläge zeitlich getrennt in den drei, in Bild 3 angedeuteten Richtungen R_1 , R_2 , R_3 . Die Wellen superponieren sich jeweils vom Punkt P ab in verschiedener Weise, wodurch P fixiert werden kann. Aus T_L und T_T lassen sich V_L und V_T berechnen; sodann stehen die Formeln (2), (3), bzw. (2), (4) mit den zwei Unbekannten E , ν zur Verfügung, woraus diese ermittelt werden können.

Sehr bedeutsam waren die weiteren Ausführungen des Referenten über Anomalien im Weg-Zeit-Diagramm. Eine bestimmte Abweichung der V -Linie vom geraden Verlauf lässt auf das Vorhandensein eines Risses, sowie auf dessen Tiefe schliessen (Bild 5). Es lassen sich weiterhin auf diese Weise Schlüsse auf die Aneinanderreihung und Tiefenlage von verschiedenen Schichten, Lage von Armierungseisen usw. ziehen.

Während im ersten Vortrag die Verbindung zwischen den akustischen und elastischen Grössen hergestellt war, verblieb dem zweiten Referenten der Veranstaltung, Dipl. Ing. J. Chevaldeville, Paris, einerseits die interessante Aufgabe, über die vielen Einflüsse auf die Grösse der elastischen «Konstanten» zu sprechen, andererseits eine Verbindung zwischen diesen Konstanten und der Betonfestigkeit herzustellen, auf deren Ermittlung es schliesslich ankommt. Es kamen somit zunächst der Reihe nach der zeitliche Einfluss, die Zusammensetzung usw. sowohl hinsichtlich E als auch ν zur Sprache. Sodann wurde die Verbindung mit der Festigkeit durch Zitierung der Formeln von Roš und Camus hergestellt; die letztgenannte in der genaueren Form:

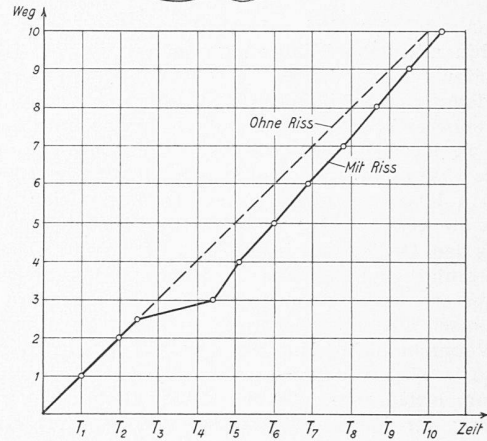
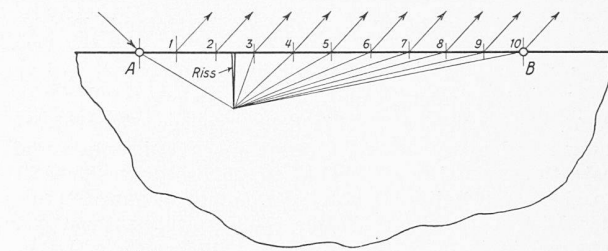


Bild 5. Rissuntersuchungen. Oben Schema der Versuchsausführung; unten Verlauf der Geschwindigkeitslinie.

$$(5) \quad E = \frac{c}{1 - \nu} \sqrt{\beta_d} \quad (\beta_d = \text{Druckfestigkeit, } c = 14\,000)$$

In der Diskussion wurde u. a. die Frage erörtert, ob der durch die Formel:

$$(6) \quad E_{\text{stat}} = E_{\text{dyn}} \left(1 - 0.15 \frac{\sigma - 40}{100} \right)$$

gegebene Zusammenhang zwischen statischem und dynamischem E -Modul ausschliesslich für Beton Gültigkeit habe oder in ähnlicher Form auch für andere Stoffe bekannt sei. Ferner wurden zwei Lichtbilder gezeigt, die den experimentell ermittelten Zusammenhang zwischen der Schallgeschwindigkeit einerseits und der Druckfestigkeit β_d bzw. Biegezugfestigkeit β_{bz} zur Darstellung brachten.

Die Ergebnisse der verschiedenen Forscher aus verschiedenen Ländern waren in diesen Bildern durch relativ breite Bänder dargestellt, was durch die unvermeidliche Streuung, sowie unterschiedliche Mischverhältnisse usw. bedingt ist. Immerhin fiel auf, dass der Verlauf der Bänder zwar den gleichen Charakter zeigt, dass aber die Lage der Bänder der verschiedenen Forscher verhältnismässig stark voneinander abwich. Es wurde deshalb die Frage erörtert, ob sich durch Normalisierung der Prüflinge (Abmessungen und soweit möglich in der Herstellung) sowie der Prüfweise nicht eine bessere Übereinstimmung der Resultate der verschiedenen Forscher erzielen liesse. Nebenbei wurde auch auf die Möglichkeit hingewiesen, dass die Schallgeschwindigkeit nicht nur von E , ν , ρ abhängen könnte, sondern beispielsweise auch vom Spannungszustand und dergl., in dem sich das Material der Prüfstrecke A—B des Bauwerkes befindet, sowie ferner von der inneren Reibung η , der Wellenlänge λ u. dergl. Die auf Grund der Formeln (1) bis (3) ermittelten Konstanten E und ν wären dann in dem Masse ungenau, als die Grössen σ , η und λ die gemessenen Werte f_n , V_L , V_T beeinflussen.

R. V. Baud

Gesellschaft zur Förderung der Forschung an der ETH

DK 061.2 : 061.6 (494)

Unter der Leitung ihres Präsidenten, Schulratspräsident Prof. Dr. H. Pallmann, erledigte die Generalversammlung der GFF am 3. Juli d. J. in raschem Tempo die sehr umfangreiche, aber gut vorbereitete Menge der statutarischen Geschäfte. Hauptaufgabe der GFF ist bekanntlich die Beschaffung von Mitteln (im Berichtsjahr, 1952, waren es 268 800 Fr.) für die Abteilung für industrielle Forschung des Instituts für Techn. Physik an der ETH (Afif). Den Mitteilungen des Präsidenten war zu entnehmen, dass leider auch die GFF von den Sparmassnahmen des Bundes betroffen werden soll; als Gegengewicht hierzu ist allerdings die erfreuliche Tatsache zu ver-

zeichnen, dass die Afif Aufträge für Dritte ausführen konnte, die ihr 263 000 Fr. (92 500 Fr. mehr als budgetiert) einbrachten. Der Jahresbericht der Afif gibt Auskunft über zahlreiche Forschungen verschiedener Art, die interessante Ergebnisse brachten. Besonders bedeutungsvoll war im vergangenen Geschäftsjahr die praktische Erprobung des Afif-Fernseh-Grossprojektors in New York. Im Arbeitsprogramm 1953 der Afif spielen die Aufträge für Dritte eine bedeutende Rolle, wogegen im Fernsehsektor die Entwicklung ruhiger zu werden verspricht, und zwar zugunsten vermehrter Forschungstätigkeit auf Rechnung der GFF.