

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 111/112 (1938)
Heft: 9

Artikel: Schallschutz im Hochbau
Autor: Pestalozzi, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-49787>

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: 09.02.2026

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

Entwurf «77777» (700 Fr.) Arch. Werner Studer, Solothurn

Entwurf «1111» (500 Fr.) Arch. Hektor Anliker, Aarau

Entwurf «Stadtkirche I» (400 Fr.) Arch. Jos. Schütz, Zürich

Entwurf «Kapuziner» (400 Fr.) Arch. Oskar Müller, Rorschach

Schlussfolgerungen. Das Preisgericht empfiehlt, Entwurf «77777», Lösung A, zur Ausführung zu bringen. Die Bedeutung der Kirche rechtfertigt es, ihr das Feuerhaus zu opfern; denn es handelt sich um die Erstellung eines Baues von weit grösserer Würde und Dauer als wie ein kunsthistorisch noch so bedeutender Wohnbau.¹⁾ Sollte die Bauherrschaft sich zu diesem Entschluss nicht durchringen können, so käme das Projekt des selben Verfassers «77777», Lösung B, in Betracht.

Aarau, den 18. Dezember 1937.

Die Mitglieder des Preisgerichtes:

Aug. Meier, R. Küng,

die Architekten: A. Doppler, A. Higi, Fritz Metzger,
Pfr. L. Angst und O. Merki mit beratender Stimme.

[12046]

¹⁾ Wenn auch zuzugeben ist, dass einer Kirche als solcher grössere Würde und Dauer als einem Profanbau zukommt, so darf man sich doch fragen, ob die Bauwerke unserer Zeit nach 150 Jahren noch ebenso sehr als Kunstwerk geschätzt werden, wie dieses Feuerhaus. Im Aargauer Bürgerhausband bildet es eine hervorragende Zierde — aber was nützen baukünstlerische Bestrebungen, wie sie der S.I.A. im Bürgerhauswerk verwirklicht und wie sie auch ein vornehmes Ziel der Heimatschutzbewegung sind, wenn im konkreten Fall anerkannte Meisterwerke leichthin einer gegenwärtigen Bauaufgabe geopfert würden, die — wie im vorliegenden Fall Figura zeigt — sehr wohl auch anders gelöst werden kann. Der Beschluss der Kirchgemeinde als Bauherrin, die Lösung B der Ausführung zu Grunde zu legen, also das Feuerhaus zu erhalten, wird wohl weit herum, und nicht zuletzt in Architektenkreisen, begrüßt werden. Wenn diese Lösung auch weniger ökonomisch sein sollte, so spricht dies nur für die anerkennenswerte Opferwilligkeit der religiösen Gemeinschaft. Red.

Schallschutz im Hochbau

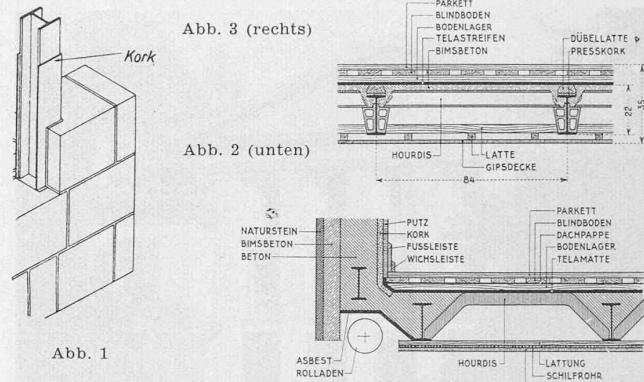
Wissenschaft und Praxis beschäftigen sich seit Jahren in stark vermehrtem Masse mit den Problemen des Schallschutzes. Dem Vorwurf der Rückständigkeit setzt sich aus, wer ohne sie auszukommen glaubt. Architekten und Ingenieure suchen nach guten Lösungen; das gesunde Spüren der Praktiker nach Wirtschaftlichkeit hat wertvolle Ergebnisse gezeigt. Unverkennbar ist dabei der Einfluss der neuen Welt. Aus einem Vortrag des Verfassers in der S.I.A.-Fachgruppe der Ingenieure für Stahl- und Eisenbetonbau (gehalten am 11. Dez. 1937), sei einiges über Schallschutzmassnahmen im Hochbau mitgeteilt.

Dass ein monolytisches Tragsystem, sei es in Stahl oder in Eisenbeton, an sich «ringhörig» ist, ist altbekannt. Man hat Bau gewebeplatten und Ähnliches als Zwischenschicht in Fundamentmauer oder unter Füsse von Stahlsäulen eingelegt, jedoch ohne Erfolg. Anderseits aber hat man, wie Abb. 1 zeigt, Stahlsäulen durch Korkplatten vom Mauerwerk getrennt und dabei eine gute Schalldämmung erzielt. Bekannt ist die Ausbildung der Decken mit schwimmendem Belag, die als gute Lösung allgemein Anerkennung findet. Dabei ging die Entwicklung von teurer Ausbildung mit mehrfachen Isolierschichten zur einfachen Bauart mit einer einzigen elastischen Schicht. Abb. 2 und 3 zeigen zwei wirtschaftliche Lösungen mit schwimmendem Belag. Die tragende Decke umfasst Stahlträgergebäll und Ueberbeton, dann folgt die Zwischenschicht als Telamatte, ein Erzeugnis aus Kokosnussfasern (auch mit Glasseide und andern Materialien sind gute Erfahrungen gemacht worden), die an den Seiten etwas hochgezogen wird, und darauf entweder eine durchgehende Druck verteilungsplatte oder die Bodenlager des Parkettbelags. Wesentlich ist, dass die Isolierschicht auch nach längerem Bewohnen ihre Elastizität nicht verliert, und dass eine durchgehende Trennung zwischen Tragdecke und Deckenbelag erfolgt, dass also Schallbrücken vermieden werden.

Diese Forderung nach Trennung führt da, wo hohe Ansprüche an die Schallisierung gestellt werden, wie z. B. in Radiostudios und Sprechfilmateliers, zur schwebenden Bauweise: in ein Tragsystem wird ein Schall- oder Füllsystem hineingestellt und die beiden durch eine elastische Schicht voneinander getrennt.¹⁾

Sowohl für die Weiterleitung von Luftschall wie von Körperschall, der uns als Trittschall am meisten interessiert, spielt die Schichtenfolge der Materialien eine grosse Rolle. Für den Schall durchgang durch ein Medium ist die Schallhärte des Materials, das ist das Produkt von Dichte und Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit, massgebend. Diese physikalischen Eigenschaften lassen die Stoffe in «schallharte» und «schallweiche» unterteilen. Schallhart sind beispielsweise Eisen, Beton, Baugrund, Wasser; schallweich Kork, Gummi, Filz, Luft. Während Luft mit der bekannten Schallfortpflanzungsgeschwindigkeit von rd. 330 m/sec

¹⁾ Vgl. «Der Studio-Neubau des Radio Zürich» von O. Dürr, Bd. 104, S. 36* (28. Juli 1934).



und dem sehr geringen spezifischen Gewicht 43 Einheiten hat, hat Eisen 40000. Stossen nun zwei Baustoffe zusammen, deren Schallhärten nicht weit voneinander entfernt sind, z. B. Beton und Mauerwerk, so geht die Körperschallenergie nur wenig gehindert hindurch. Ist hingegen eines der beiden Medien schallweich, so geht, wie sich theoretisch nachweisen lässt, infolge Schallbrechung nur ein ganz geringer Teil der auftretenden Energie durch die Trennfläche, während der grösste Teil zurückgeworfen wird. Wir sehen, dass nicht die Unterbrechung der Homogenität an sich günstig wirkt, sondern die Abwechslung von *schallhart* und *schallweich*. Das erklärt die Erfahrungen, die eingangs mitgeteilt worden sind.

Von besonderem Interesse ist nun die Frage, ob die Anforderungen an den Schallschutz mit der heute üblichen Leichtbauweise vereinbar sind, die sich dadurch kennzeichnet, dass das Tragsystem — sei es aus Eisenbeton oder Stahl — die Lasten übernimmt, das Füllsystem aber die raumabschliessenden Funktionen, sowie Wärme-, Schall- und Feuerschutz. Gerade in der Schweiz wird die Auffassung häufig vertreten, Schallisierung sei nur durch schweres Bauen, schwere Decken und schwere Wände, zu erreichen. Die praktische Erfahrung hat aber diese Auffassung vielfach widerlegt. Nicht zufällig hat sich der Verband Schweizerischer Brückenbau- und Stahlhochbau-Unternehmungen dieser Frage angenommen. Stahl ist der Baustoff konzentrierter Kraftübertragung, grösster Raumersparnis und

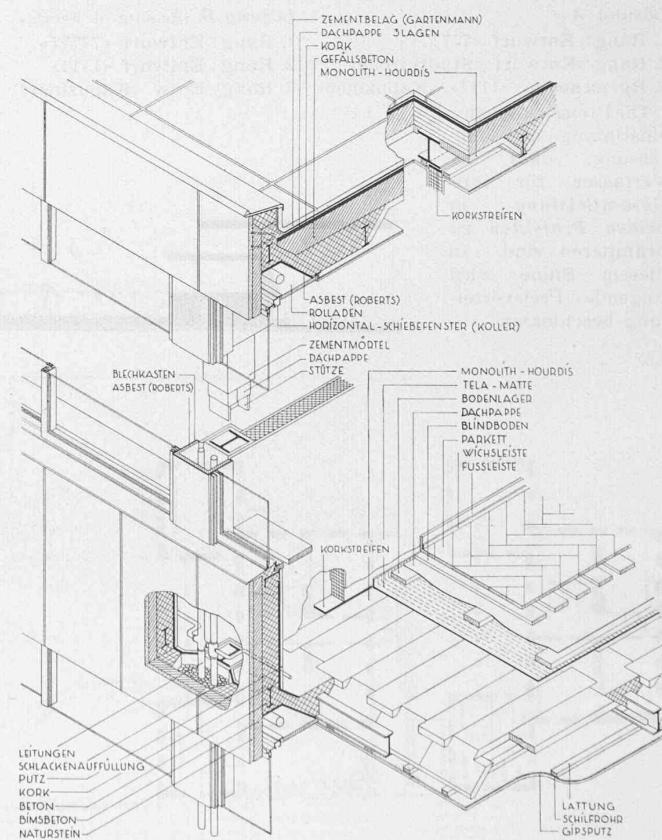


Abb. 4. Konstruktive Ausbildung des «Parkhaus Zosse» in Basel; 1:50

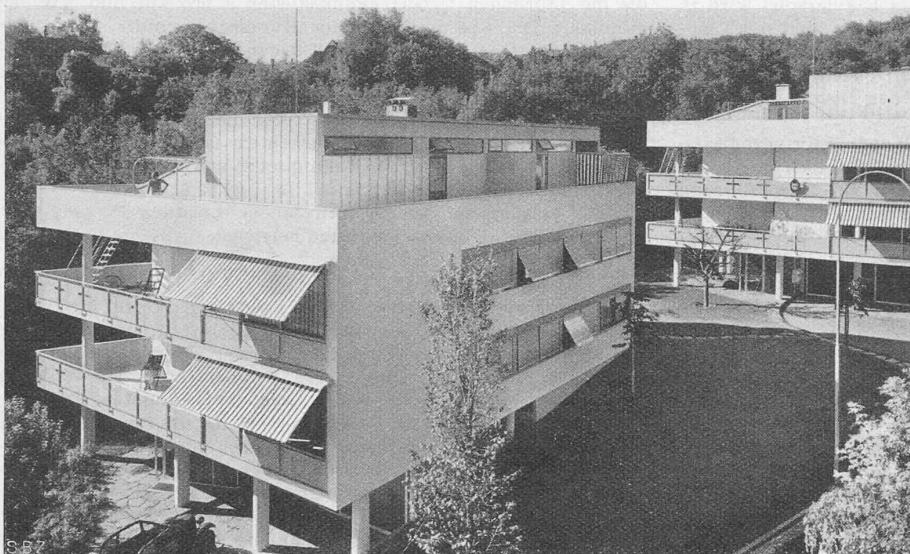
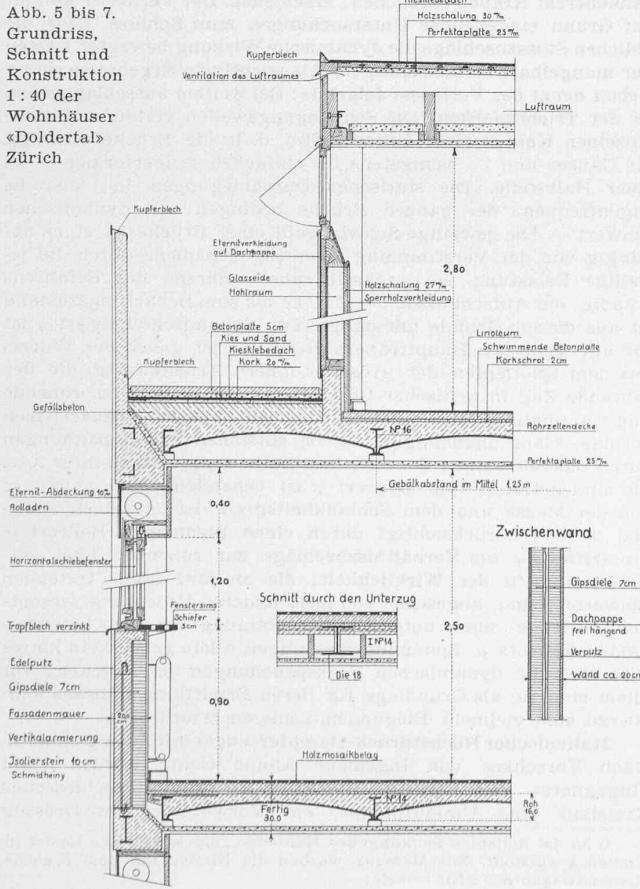


Abb. 8. Die Wohnhäuser im «Doldertal» in Zürich. — Arch. A. und E. ROTH, Zürich Phot. Finsler

kleinster Gewichte; durch Anwendung schwerer Konstruktionen zur Erreichung des Schallschutzes würden wesentliche Vorteile der Stahlbauweise illusorisch gemacht. Die Stahlbauer haben daher, in Verbindung mit Ing. W. Pfeiffer in Winterthur, in einer grösseren Zahl von Gebäuden in Zürich, Basel und Winterthur Schallmessungen durchgeführt. Decken von 210 bis 630 kg/m² Eigengewicht wurden untersucht. Einer eingehenderen Berichterstattung an anderer Stelle sei hier vorweggenommen, dass schon Decken von 200 bis 250 kg/m² Gesamtgewicht bei gut ausgebildetem schwimmendem Belag praktisch genügende Schalldämmung auch dort ergeben haben, wo, wie in Mehrfamilienhäusern in ruhiger Lage, grosse Anforderungen an den Schallschutz gestellt werden müssen.

Auch bei *Trennwänden* hat die Entwicklung vom massiven zum leichten Bauen geführt. Die einschichtige Trennwand ergibt bald sehr hohe Gewichte, da die Luftschalldämmung nur pro-

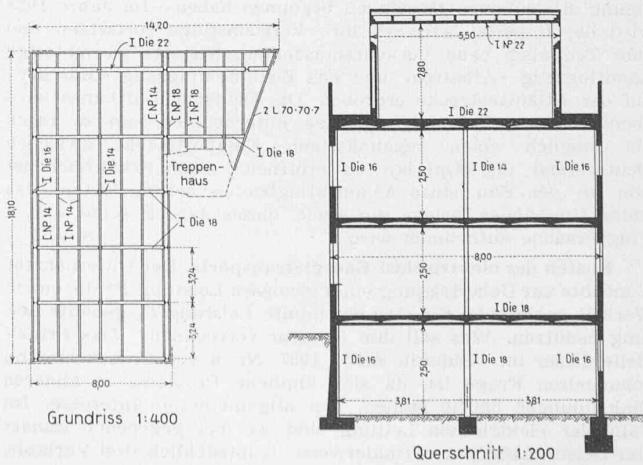
Abb. 5 bis 7.
Grundriss,
Schnitt und
Konstruktion
1 : 40 der
Wohnhäuser
«Doldertal»
Zürich



als Hilfsmittel zur Schalldämmung wird verzichtet. Grundsätzlich soll das Prinzip der Oekonomie in der Konstruktion auch durch Massnahmen des Schallschutzes nicht durchbrochen werden. 2. Im Tragsystem wird auf schallhemmende Vorkehrungen verzichtet. 3. Das Füllsystem wird schwimmend in das Tragsystem hineingestellt, ohne konstruktive Verbindung zwischen den beiden. Abb. 4 bringt diesen Bau in Erinnerung. Es lohnt sich, ihn wieder einmal vorzunehmen. Von den guten Erfahrungen an diesem Bau konnten wir uns überzeugen. Sein Preis von 56,50 Fr./m³ beweist, dass zweckmässige Schallschutzmassnahmen innerst ökonomischer Grenzen getroffen werden können.

Als weiteres Beispiel seien die *Wohnhäuser im Doldertal in Zürich* der Architekten A. & E. Roth genannt (Abb. 5 bis 8). Den Anforderungen an ruhiges Wohnen ist schon in der Grundrissgestaltung weitgehend entsprochen; die grössten Schallquellen, Treppenhaus und Küche, sind von den Wohnräumen durch eine durchgehende Fuge abgetrennt. Die Vermeidung oder Abminderung der Leitungsgeräusche wurde mit den modernsten Mitteln erreicht. Das Tragsystem ist ein Stahlskelett von nur 13 kg Gewicht pro m³ umbauten Raumes. Die übrigen Baustoffe konnten, da ihnen tragende Funktionen nicht zukommen, weitgehend in den Dienst des Schallschutzes gestellt werden. Die Decken sind aufgebaut aus Tragsystem (Rohrzellenhourdis zwischen I-Trägern und Ueberbeton), Isolierschicht (2 cm loser Korkschrot mit Dachpappe darüber oder 1 cm Glasseide) und schwimmendem Belag (5 cm armierte Betonplatte mit Abstrich und Linol oder 10 mm starkem Holzmosaikboden). Diese schwimmende Platte ist ringsum durch einen Filzstreifen von den Wänden getrennt. Die außerhalb der Stahlstützen durchgehenden Außenwände bestehen aus 10 cm armierter Isoliersteinmauer mit Edelputz aussen und 7 cm Gipsdielen innen. Die Decken sind systematisch von den Fassaden abgeschnitten. Die Wohnungstrennwände sind zweischichtig mit je 7 cm Gipsdielen ausgebildet, in deren Zwischenraum Dach-

²⁾ Ausführlich dargestellt in Bd. 107, S. 220* (16. Mai 1936).



poppe frei aufgehängt ist; selbst kräftiges Klavierspiel wird in der Nebenwohnung nicht gehört. Die Stahlsäulen sind mit Celotexplatten belegt und mit einem in Gips getauchten Jutestreifen bandagiert. Zwischenwände und Säulen sind somit konstruktiv getrennt, ebenso die Zwischenwände von den Böden durch eingelegte Korkstreifen.

Die «schwebende Bauweise», die in konstruktiv verhältnismässig einfacher, konsequenter und wirtschaftlich durchaus tragbarer Weise bei diesen Mehrfamilienhäusern zur Durchführung gekommen ist, dürfte ein wesentlicher Fortschritt im Schallschutz von Hochbauten sein. Wie die beiden Beispiele gezeigt haben, ist der Einbau der Füllbaustoffe mit weitgehender Berücksichtigung der schalltechnischen Anforderungen bei Verwendung von Stahlseketten gut möglich und kann, wegen der knappen Abmessungen des Tragsystems, in zweckmässigstem Aufbau angeordnet werden. Dabei werden die Anforderungen an feuer sichere Verkleidungen der Stahlbauteile, die bei Wohnhäusern nicht sehr weitgehend zu sein brauchen, ohne Mehraufwand mit erfüllt. Der Einbau der Füllbaustoffe beseitigt auch die Gefahr der «Ringhörigkeit» durch direkte Uebertragung über das Tragskelett, weil dieses der Schalleinwirkung vollständig entzogen ist. Dass [nicht grosse Gewichte, sondern ein sinnvoller Aufbau der Baustoffe zum Ziele führt, ist für uns Ingenieure, deren Berufswesen *wirtschaftliches Bauen* ist, eine erfreuliche Tatsache. Unzweifelhaft stehen wir mitten in den Schallproblemen drin, die gebieterisch nach Abklärung rufen. Die vorstehenden Ausführungen wünschen als bescheidener Beitrag dazu gewertet zu werden.

E. Pestalozzi, Küschnacht-Zürich.

MITTEILUNGEN

Rückblick über die Ozeanflüge 1937. Das Jahr 1937 brachte insgesamt 23 Probeüberquerungen des Atlantischen Ozeans als Vorbereitungen für einen regelmässigen Luftverkehr Amerika-Europa. Fast 150 000 km sind auf diesen Erkundungsflügen von englischen, amerikanischen und deutschen Flugbooten über der Atlantik zurückgelegt worden. Alle diese Ozeanüberquerungen wurden mit einer erstaunlichen Planmässigkeit und Regelmässigkeit und ohne den geringsten Unfall durchgeführt. Die Amerikaner flogen viermal auf der nördlichen Route zwischen Neufundland und Irland und zweimal über die Südstrecke Bermudas-Azoren-Lissabon, was einer Totaldistanz von 41 000 km entspricht. Die englische Gesellschaft flog ausschliesslich auf der Nordroute, und zwar zehnmal in beiden Richtungen mit total 55 000 km. Die Deutsche Lufthansa benützte hingegen ausschliesslich wiederum die südliche Azorenroute, da ihr eine Zwischenlandung in Irland verweigert worden war. Sie hat in total sieben Ueberquerungen insgesamt 54 000 km zurückgelegt und dabei ihre bewährten Katapultschiffe auf den Azoren und vor New York benutzt. Wegen Mangel an geeigneten Flugzeugen konnten die Franzosen an diesen ersten systematischen Nordatlantik-Versuchsflügen nicht teilnehmen. Auf der direkten Strecke Neufundland-Irland hält die Imperial Airways mit 10½ Stunden den Rekord. Die kürzeste Flugleistung der Deutschen Lufthansa zwischen den Azoren und New York beträgt rd. 14 Stunden.

Für dieses Jahr plant die Pan American Airways, die neuen Boeing «Atlantic-Clippers» von einem Fluggewicht von annähernd 40 t und einem Fassungsvermögen von fast 50 Passagieren probeweise einzusetzen unter Einhaltung eines Flugplanes von 24 Stunden zwischen New York und London. Auch England ist an den Bau solcher Riesenflugboote herangetreten, und die bekannte Flugzeugfabrik Short Bros. soll bereits mit der Kiellegung dieser neuen Maschinen begonnen haben. Im Jahre 1938 wird die Imperial Airways ihre Versuchsflüge fortsetzen und zum Teil auch neue Verkehrsmaschinen, wie das viermotorige Landflugzeug «Albatros» und das Zwillingsflugzeug «Mercury» auf der Atlantikstrecke erproben. Die Deutsche Lufthansa wird ebenfalls neue Erkundungsflüge unternehmen, um so rasch als möglich einen regelmässigen Flugpostdienst zwischen Deutschland und Amerika zu eröffnen. Auch Frankreich ist nun an den Bau eines Atlantikflugbootes herangetreten, das unter Umständen schon auf Ende dieses Jahres seine ersten Flugversuche aufnehmen wird.

S. V. Z.

Kosten des elektrischen Energietransports. Der Unternehmer A möchte zur Uebertragung einer gewissen Leistung P^* die einem Werk B gehörende, für eine bestimmte Leistung P_0 gebaute Leitung benützen. Was soll ihm B dafür verrechnen? Das Prinzipielle dieser im «Bulletin SEV» 1937, Nr. 6 von C. Aeschimann behandelten Frage ist, da sich ähnliche Probleme in anderen Einkleidungen häufig stellen, von allgemeinerem Interesse. Im Falle der elektrischen Leitung sind es, bei gegebener Bauart und Leistungsfaktor, normalerweise hauptsächlich drei Variable,

die die jährlichen Uebertragungskosten x pro km und kW bestimmen: Die Spannung U , der Kupferquerschnitt Q und die übertragene Leistung P . In der Tat hängen die jährlich zu amortisierenden Baukosten eines Leitungs-km von U und Q ab, die in einem km Leitungslänge jährlich in Wärme verwandelte Energieaufwandes zu den Amortisationskosten und teilt die Summe durch P , so erhält man die behauptete, von Aeschimann näher auseinandergesetzte Abhängigkeit: $x = f(U, Q, P)$.

Die Leitung sei für die vorgesehene Leistung P_0 möglichst wirtschaftlich, d. h. so erstellt und betrieben, dass $x = f(U, Q, P_0)$ minimal, also $\frac{\partial x}{\partial U} = \frac{\partial x}{\partial Q} = 0$ ist. Aus diesen beiden Bedingungen haben sich die günstigsten, von B gewählten Werte U_0 und Q_0 ergeben. Auf der mit dem Kupferquerschnitt Q_0 gebauten, mit der Spannung U_0 betriebenen Leitung werde nun statt der vorgesehenen Leistung P_0 eine andere, P , übertragen. Die Wirkung dieser Abweichung auf x erhellt aus der bekannten Funktion $x = f(U_0, Q_0, P)$. Es zeigt sich, dass $f(U_0, Q_0, P)$ für eine gewisse Leistung P_1 minimal ist, die stets grösser ist als P_0 . Eine Steigerung der übertragenen Leistung über die vorgesehene hinaus ist also (bis zu einer gewissen Grenze) günstig.

Eine obere Schranke für den von A zu entrichtenden Uebertragungspreis bilden offenbar die Kosten einer eigenen Leitung für die zu übertragende Leistung P^* , also (ceteris paribus) der Preis $x_{\max} = f(U^*, Q^*, P^*)$, worin U^* und Q^* die der Leistung P^* entsprechenden günstigsten Werte bedeuten. Die untere Schranke für den von A zu bezahlenden Preis bilden die durch die Erhöhung der ohnehin übertragenen Leistung P um P^* verursachten Mehrkosten, also die auf P^* bezogene Differenz $x_{\min} = [f(U_0, Q_0, P + P^*) - f(U_0, Q_0, P)] : P^*$. Zwischen diesen beiden Grenzen wird sich der zu vereinbarende, von der gegenseitigen wirtschaftlichen Stärke der beiden Partner abhängige Preis bewegen müssen. Möglicherweise einigen sich A und B auf die beim Bau der Leitung vorgesehenen Kosten $x_0 = f(U_0, Q_0, P_0)$. Oder aber auf die wirklichen Kosten $x = f(U_0, Q_0, P + P^*)$, die, je nachdem $P_0 < P + P^*$ oder $P_0 > P + P^*$, kleiner oder grösser als die vorgesehenen ausfallen können. Diese Antwort auf die eingangs aufgeworfene Frage weicht von den Schlussfolgerungen Aeschimanns, denen wir nicht überall folgen können, teilweise ab.

Schwingungsmesstechnik bei Eisenbahnbrücken. Ueber neuere Ergebnisse der Versuchsforschung auf diesem Gebiete ist im «Stahlbau» vom 17. Dez. 1937 ein ausführlicher Aufsatz von Reichsbahnoberrat Krabbe (München) erschienen. Der Verfasser kommt auf Grund eingehender Untersuchungen zum Schluss, dass die üblichen Stosszuschläge die dynamische Wirkung bewegter Lasten nur mangelhaft berücksichtigen. Als wichtigste Ergebnisse seiner Arbeit nennt der Verfasser folgende: Bei weitem ausschlaggebend ist der Triebadreffekt. Die Schwingungswellen verlaufen für die einzelnen Knoten einer Brücke affin, d. h. die Brücke schwingt als Ganzes und — wenigstens bei einfachen Trägerformen — in einer Halbwelle. Die statischen Durchbiegungen $\delta_{ik}^{(1)}$ und die Eigenfrequenz der ganzen Brücke bedingen den dynamischen Beiwert φ . Die jeweilige Schwingzahl einer Brücke ist stark abhängig von der Verstimmung ihrer Eigenfrequenz durch die jeweilige Belastung, sie wechselt daher während des Befahrens ständig; ein Aufschaukeln der Brücke bis zum Beharrungszustand ist aus diesem Grunde unmöglich. Der dynamische Beiwert φ ist für alle Teile des Hauptträgers gleich; er ist gleich der Wurzel aus dem Quotienten der grössten innern Arbeitswerte, die der fahrende Zug in kritischer Geschwindigkeit, bzw. der ruhende Zug in ungünstigster Laststellung dem Träger einzuverleiben vermag. Ganz unabhängig hiervon entstehen Zusatzspannungen durch das Schwingen der einzelnen Stäbe senkrecht zu ihrer Axe. Sie sind getrennt vom Beiwert φ zu behandeln, sind abhängig von der Masse und dem Schlankheitsgrad der einzelnen Stäbe und werden berücksichtigt durch einen besonderen Beiwert μ . Stossziffern φ als Verhältniszuschläge zur ruhenden Last entsprechen nicht der Wirklichkeit; die an ihre Stelle tretenden Beiwerte φ sind, abgesehen von ihrer anderen Bedeutung, wesentlich niedriger, auch unter Berücksichtigung des noch hinzutretenden Faktors μ . Spannungsmessungen allein geben kein klares Bild über die dynamischen Beanspruchungen der Brücken; vor allem sind sie als Grundlage für deren Ermittlung unbrauchbar. Hierzu sind vielmehr Biegungsmessungen erforderlich.

Italienischer Höchstdruck-Dampferzeuger mit Zwangsumlauf. Nach Vorschlag von Ingenieur Albino Conte werden (laut «Ingegnere» vom November 1937) in einem geschlossenen Kreislauf eine Umlaufpumpe, ein Vorwärmer, ein Drossel-

¹⁾ δ_{ik} ist diejenige Senkung des Knotens i , die durch eine Last 1 im Knoten k entsteht. Zur Messung wurden die Knoten mit dem Einachs-Messlastwagen der SBB belastet.