

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 79 (1961)
Heft: 50

Artikel: Studientagung über Spannbetonprobleme und die Versuche in Opfikon
Autor: Thürlimann, B.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-65650>

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: 28.04.2026

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

Münsterberg bereits alle Vorkehrungen getroffen, um sich für seinen Zubringerdienst die Zufahrt Barfüsserplatz/Barfüssergasse nutzbar zu machen.

7. Die Kosten

Für die einzelnen Hauptteile des Gesamtprojektes sind folgende Kostenschätzungen zusammengestellt worden:

Parkraum mit Zufahrten	
Parkraum	Fr. 18 300 000
Zufahrten I. Etappe	Fr. 8 600 000
Zufahrten II. Etappe	Fr. 7 900 000
Total	Fr. 34 800 000
Eventuelle zusätzliche Anlagen	
Strassentunnel parallel zur Freie Strasse	Fr. 7 000 000
5 Zivilschutzräume	Fr. 7 200 000
Total	Fr. 14 200 000

8. Bauetappen

Für den Fall, dass das Projekt «Pamü» aus irgendwelchen Gründen in Etappen realisiert werden soll, lässt sich das Bauprogramm in drei Hauptetappen aufteilen. Einer Phase I wäre der unterirdische Parkraum mit den Zufahrten Barfüsserplatz, Barfüssergasse und St. Albanrheinweg zuzuteilen, während die Zufahrt Mittlere Brücke und damit die Verkehrsverbindung St. Alban-Mittlere Brücke einer zweiten Phase vorbehalten bleiben könnte. Sollten im Zusammenhang

mit der Realisierung des Pamü eine hintere Zubringerstrasse (Strassentunnel) für die nördlichen Geschäftshäuser der Freie Strasse und damit im Zusammenhang für den Zivilschutz der Innern Stadt Kavernen gebaut werden, so kann eine solche dritte Phase gleichzeitig oder anschliessend an die Phasen I oder II in Aussicht genommen werden.

9. Das weitere Vorgehen

Mit Beschluss vom 10. Oktober 1961 hat der Regierungsrat des Kantons Basel-Stadt eine Arbeitsgruppe für die Gesamtplanung der Parking-Grossgaragen²⁾ gebildet. Diese Arbeitsgruppe wird die Voraussetzungen für die Verwirklichung von oberirdischen und unterirdischen Grossgaragen ermitteln, wobei vor allem zu prüfen sein wird, in wie weit unterirdische Anlagen sowohl für Parking wie für Zivilschutz verwendbar sind und welchen Bedingungen für atomaren Schutz diese zu entsprechen haben. Gleichzeitig sind alle vorhandenen Projekte zu beurteilen. Bis diese Arbeitsgruppe ihre Arbeiten abgeschlossen haben wird, ist demnach, trotz der Dringlichkeit des Problems, keine Entscheidung in der Angelegenheit Unterirdische Gross-Parkanlagen zu erwarten.

²⁾ Siehe auch den Vorschlag Gruner/Rapp/Hausmann in SBZ 1958, H. 46, S. 694 und die ausgeführten Bauten im Aufsatz von G. Gruner in SBZ 1961, H. 8, S. 117. Red.

Adresse des Verfassers: Armin Aegerter, dipl. Ing., Ingenieurbüro A. Aegerter & Dr. O. Bosshardt AG, Basel, Malzgasse 32.

Studientagung über Spannbetonprobleme und die Versuche in Opfikon

DK 061.3:624.012.47

Wir haben zu den Veröffentlichungen in Heft 47 dieses Jahrganges folgende vier Zuschriften erhalten:

I

Die im übrigen ausgezeichnete Berichterstattung von Ing. R. Sagelsdorff in der SBZ vom 23. Nov. 1961, S. 856, veranlasst mich zu folgender Bemerkung: Da Ing. P. Soutter zur Zeit der Tagung im Ausland war, bin ich auf seinen Wunsch für die Berichterstattung über das Projekt und die Ausführung der Opfikoner Brücke eingesprungen. Ich möchte, dass meine Ausführungen in diesem Sinne verstanden werden: Projektverfasser ist Ing. P. Soutter (siehe auch seinen Aufsatz im «Bulletin Technique de la Suisse Romande» Nr. 17 vom 18. August 1956). W. Schalcher, Ing. S. I. A.

Es folgen drei Erwiderungen auf die «Randbemerkungen» von Dr. C. Menn in Heft 47, S. 857:

II

1. Einleitend soll die Sicherheitsvorschrift

$$(1) \quad S_{Br} \geq s(S_g + S_p)$$

anhand eines Beispiels (Bild 1) untersucht werden. Die minimale Kraft A_{min} in der Pendelstütze beträgt für den gezeichneten Belastungsfall

$$A_{min} = \frac{1}{2} g l_1 - (g + p) l_2 \frac{l_2}{2} \frac{1}{l_1}$$

Es soll nun das Verhältnis von l_1/l_2 so gewählt werden, dass $A_{min} = 0$ wird. Hieraus ergibt sich

$$\frac{1}{2} g l_1^2 = \frac{1}{2} (g + p) l_2^2$$

$$\frac{l_1^2}{l_2^2} = \frac{g + p}{g} = 1 + \frac{p}{g}$$

Als Spezialfall für $p = g$ ergibt sich

$$\frac{l_1}{l_2} = \sqrt{2}$$

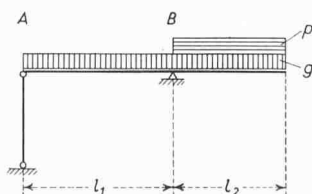


Bild 1.

Die maximale Kraft in der Pendelstütze ist dagegen

$$A_{max} = \frac{l_1}{2} g - \frac{l_2^2}{2 l_1} g = l_1 \left(\frac{g}{2} - \frac{g}{2 \cdot 2} \right) = \frac{l_1 g}{4}$$

Gemäss Vorschrift (1) muss die Pendelstütze auf $s \cdot A_{min}$ und $s \cdot A_{max}$ bemessen werden. Da jedoch $A_{min} = 0$ ist, muss keine Zugbeanspruchung der Stütze berücksichtigt werden. Bei einer noch so geringen Nutzlaststeigerung oder bei einer ungünstigen Abweichung in bezug auf das angenommene Eigengewicht (also bei einem kleinen Mehrgewicht des Kragarms) würde das Tragwerk einstürzen. Kein erfahrener Ingenieur würde im vorliegenden Fall die Stütze nur auf Druck bemessen, trotzdem dies nach Vorschrift (1) genügend wäre.

Leider sind aber nicht alle praktischen Fälle so augenscheinlich wie der vorliegende, so dass die Beziehung (1) zu unsicheren Resultaten führen kann.

Zum folgenden sei vorausgeschickt, dass sich die Betrachtungen ausschliesslich auf die Tragsicherheit einer Konstruktion beziehen.

2. Für statisch bestimmte Systeme sind die Schnittkräfte unabhängig von elastischen oder plastischen Formänderungen und somit jederzeit proportional der Belastung. Generell muss für den Sicherheitsnachweis folgende Beziehung gelten:

$$(2) \quad s_g S_g + s_p S_p \leq \frac{S_{gr}}{s_m}$$

Darin bedeutet:

- S = Schnittbeanspruchung im massgebenden Schnitt.
- S_g = Beanspruchung infolge Eigengewicht.
- S_p = Beanspruchung infolge Nutzlast in ungünstigster Stellung.
- S_{gr} = Grenzwert des Widerstandes im massgebenden Schnitt.
- S_{fl} = Beanspruchung, für welche nominell Fliessen einsetzt.
- S_{pl} = Beanspruchung, bei welcher der Querschnitt voll plastifiziert ist (z. B. plast. Moment M_{pl})
- g = Eigengewicht.
- p = Nutzlast in ungünstigster Stellung.
- s_g = Sicherheitsfaktor zur Berücksichtigung einer Abweichung im Eigengewicht.

s_p = Sicherheitsfaktor zur Berücksichtigung einer Ueberbelastung.

s_m = Sicherheitsfaktor zur Berücksichtigung einer Variation der Festigkeitseigenschaften des Materials, der Qualität der Ausführung usw. s_m sei konstant über das ganze Tragwerk angenommen.

g^* = tatsächliches Eigengewicht.

S_{pl}^* = tatsächliche Schnittbeanspruchung, bei welcher der Querschnitt plastifiziert wird.

Zur Veranschaulichung können etwa folgende Werte angenommen werden:

$$s_g = 0,95 \text{ oder } 1,05$$

d. h. es muss sowohl die Möglichkeit einer Unter- wie einer Ueberschreitung des in Rechnung gesetzten Wertes des Eigengewichtes angenommen werden.

$$s_p = 2,0 \text{ und schliesslich}$$

$$s_m = 1,2$$

Der letzte Faktor entspricht einer Festigkeitsverminderung um rd. 17 %. Der Einfachheit halber sei er als konstant über das ganze Tragwerk angenommen.

Für die Wahl von S_{gr} bestehen zwei Möglichkeiten:

a. $S_{gr} = S_{fl}$, d. h. der Widerstand ist durch den nominellen Fließbeginn begrenzt. Damit lautet die Beziehung (2):

$$(3) \quad s_g S_g + s_p S_p \leq \frac{S_{fl}}{s_m}$$

bei s_m konstant über das ganze Tragwerk

$$(4) \quad s_m s_g S_g + s_m s_p S_p \leq S_{fl}$$

b. $S_{gr} = S_{pl}$, d. h. der Widerstand ist durch volle Plastifizierung begrenzt. Dann lautet die Beziehung (2):

$$(5) \quad s_m s_g S_g + s_m s_p S_p \leq S_{pl}$$

3. In einem *statisch unbestimmten System* hängen die Schnittkräfte von den Formänderungen ab. Daher müssen zwei Fälle unterschieden werden:

a. Bestimmung der Schnittkräfte nach der Elastizitätstheorie.

Die Beanspruchung im massgebenden Schnitt (nur einer) wird beschränkt durch die Bedingung, dass die Spannungen überall kleiner sind als die Fließspannung σ_{fl} . Die Schnittkräfte bleiben im elastischen Bereich proportional der Belastung. Somit gilt die Beziehung:

$$(6) \quad s_m s_g S_g + s_m s_p S_p \leq S_{fl}$$

b. Bestimmung der Schnittkräfte nach der Plastizitätstheorie.

Die Beanspruchungen in den massgebenden Schnitten (mehrere, so dass ein Mechanismus eintritt) müssen kleiner als der plastische Widerstand S_{pl} sein. Die Bedingung unter Berücksichtigung der nicht linearen Abhängigkeit der Beanspruchungen von der Belastung lautet:

$$(7) \quad S(s_g g ; s_p p) \leq \frac{S_{pl}}{s_m}$$

oder bei $s_m = \text{const.}$ über ganzes Tragwerk

$$(8) \quad S(s_m s_g g ; s_m s_p p) \leq S_{pl}$$

Es soll hier mit Nachdruck auf den Unterschied zwischen Gleichung (6) und (8) hingewiesen werden. Durch Ersetzen von S_{fl} in Gleichung (6) durch S_{pl} wird nicht Gleichung (8) erhalten. Somit kann mit einer elastisch durchgeführten Rechnung keine Aussage über die Tragfähigkeit eines statisch unbestimmten Tragwerkes gemacht werden.

Durch Vergleich der Beziehungen (1) mit (5), die nur Gültigkeit haben für statisch bestimmte Systeme, ist ersichtlich, dass die beiden Formeln nur übereinstimmen, wenn $s_p = 1$ und $s_g = 1$ ist. Die Beziehung (1) liegt den Sicherheitsvorschriften der S. I. A.-Normen zugrunde. In dieser Formel finden wir also keine Sicherheitsfaktoren gegen Ueberbelastung und keine gegen eine ungünstige Wirkung des Eigengewichtes. Die möglichen Folgen einer solchen Tatsache hat das einleitende Beispiel gezeigt.

4. Der Versuch von Opfikon:

Im Versuch von Opfikon wurde der Sicherheitsbeiwert s_p für die Nutzlast experimentell bestimmt nach der Beziehung

$$(9) \quad S(g^* ; s_p p) \leq S_{pl}^*$$

Vergleichen wir diese Beziehung mit Gleichung (7), so sieht man, dass $s_g \cdot g$ durch g^* und S_{pl}/s_m durch S_{pl}^* ersetzt werden. Im Versuch sind natürlich die Unsicherheiten bezüglich der Verteilung des Eigengewichtes in g^* bereits enthalten. Ebenso sind allfällige Materialunsicherheiten bereits in S_{pl}^* berücksichtigt.

Zum Schluss soll nochmals betont werden, dass die Anwendung der Plastizitätstheorie zur Bestimmung der statischen Tragfähigkeit nicht einer Herabsetzung der Sicherheit gleichkommt, wie sehr oft irrtümlicherweise geglaubt wird. Vielmehr erlaubt sie erst eine Berechnung derselben.

R. Wolfensberger, dipl. Ing., Assistent für Baustatik und Massivbau an der ETH, Zürich.

III

In den «Randbemerkungen» ist der Eindruck entstanden, dass die Plastizitätstheorie nicht in der Lage wäre, eine ausgeglichene Bemessung zwischen Zugstiel und Brückenhauptträger zu erreichen. Dies muss ein Missverständnis sein, denn die Zugkräfte der Zugstiele würden nach der Methode der Plastizitätstheorie (bei vernachlässigbaren Stielsteifigkeiten) folgendermassen bestimmt:

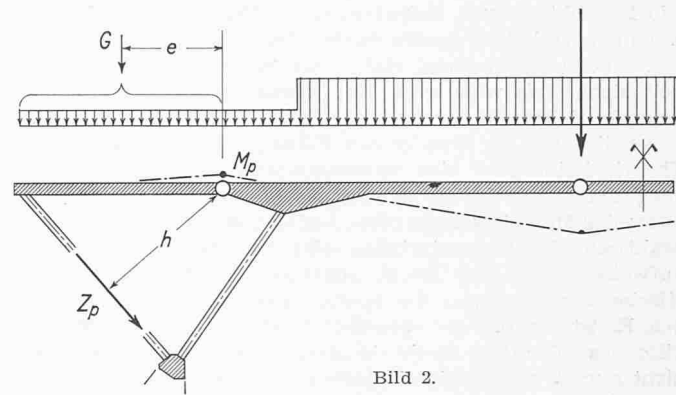


Bild 2.

Da Mittelfeldbelastung für das Versagen eines Zugstieles massgebend ist, wird sich für beliebige Mittelfeldbelastung dieser Brücke ein Bruchmechanismus einstellen, der stets ein Fließgelenk im meistgefährdeten Querschnitt eines der beiden Endfelder enthält (Bild 2). Die Zugstielkraft Z_p und das Eigengewicht G des verbleibenden Endfeldteiles müssen daher stets das Biegemoment M_p aufbauen, also

$$Z_p h + G e = M_p$$

oder

$$Z_p = \frac{M_p - G e}{h}$$

Daraus ist ersichtlich, dass die Methode der Plastizitätstheorie eine ausgeglichene Bemessung liefern kann. Die erforderliche Zugkraft des Stieles ist nun direkt ausgedrückt durch die Festigkeit des Brückenträgers.

Betrachtungen dieser Art sind sicher nützliche Ergänzungen der Elastizitätstheorie.

Dr. Konrad Basler, dipl. Ing., Südstrasse 1090, Egg b. Zürich

IV

In den Randbemerkungen wurden Ansichten geäußert, die nicht unbeantwortet bleiben sollen:

1. In der Durchführung und Auswertung der Versuche an der Brücke in Opfikon wurde meines Erachtens der grösste Teil der Anstrengungen auf eine Untersuchung der Brücke unter rechnerischer Gebrauchslast verwendet. Das Bauwerk wurde zwei Millionen mal der vollen Nutzlast unterworfen. Die Auswirkungen wurden durch statische Zwischenversuche eingehend kontrolliert, sowohl bezüglich der Durchbiegungen als auch der Rissebildung. Weiter wurden ausführliche Untersuchungen über das Schwingungsverhalten im Gebrauchszustand angestellt.

Erst nachdem das Verhalten unter Nutzlast eingehend abgeklärt war, wurde zu einer Steigerung der Belastung geschritten. Es wäre geradezu eine Nachlässigkeit gewesen, sich keine Informationen über die Tragreserven der Brücke zu beschaffen. Nach erfolgtem Ermüdungsbruch ermöglichte eine kleine Reparatur der gerissenen Zugstütze die Durchführung eines statischen Bruchversuches. Dieser Sachverhalt kann sicher nicht dahin ausgelegt werden, die Planung sei einseitig orientiert gewesen mit dem Ziel, nur das plastische Verhalten der Brücke zu demonstrieren.

2. Die Bedeutung der plastischen Berechnungsverfahren versuchte ich in meinem Vortrag an der letztjährigen Fachtagung «Neuere Methoden der Baustatik» am 12. Nov. 1960 zu umschreiben. Ich möchte daraus nur folgende Sätze anführen (SBZ 1961, Hefte 48 und 49):

Seite 863: «Einen ganz wesentlichen Faktor in der rechnerischen Bestimmung der Sicherheit bildet aber die Berechnung der statischen Tragfähigkeit einer Konstruktion. Leider muss festgestellt werden, dass gerade in dieser Beziehung unsere klassischen elastischen Methoden sehr wenig leistungsfähig sind. Es drängt sich ganz natürlich das Suchen nach einem neuen Verfahren auf, das auf einfache und zuverlässige Weise die Tragfähigkeit berechnen lässt. Es sei hier deutlich betont, dass die anderen Kriterien bezüglich der Sicherheit [Ermüdung, untolerierbare Verformungen wie Durchbiegungen, Schwingungen, Risse usw. *)] keineswegs ausgeschaltet werden dürfen. Im Hochbau, für den Fall von ruhender Belastung, stellt aber die statische Tragfähigkeit sicher das wichtigste und meistens auch ausschlaggebende Kriterium dar.»

Seite 864: «In allen diesen Fällen, für die die elastische Theorie keine oder eine unverantwortlich komplizierte Lösung liefert, wird sehr grosszügig die sogenannte «Selbsthilfe» des Materials angerufen. Auf Grund der Tatsache, dass praktisch alle Baumaterialien eine beträchtliche Zähigkeit aufweisen, wird mit Recht angenommen, dass durch plastische Verformungen die Spannungsspitzen abgebaut werden. Es ist das Ziel der «plastischen Methoden», diese Selbsthilfe des Materials direkt in Rechnung zu stellen und sie nicht nur als notwendige Entschuldigung zu gebrauchen.»

Seite 880: «Die plastischen Methoden werden die klassischen elastischen Methoden in der Bemessung von Tragwerken nicht verdrängen. Vielmehr stellen sie eine notwendige Ergänzung dar, die es erlaubt, das Verhalten über der Elastizitätsgrenze zu untersuchen und die statische Tragfähigkeit zu berechnen.»

Damit sei wenigstens angedeutet, dass die Anwendung der plastischen Berechnungsverfahren nicht mehr mit der Bemerkung abgetan werden kann, es sei «eine Methode, bei der es nicht darauf ankommt, ob ein 100-t-Spannkabel mit 10, 50 oder 100 t vorgespannt wird...»

Prof. B. Thürlimann

* Die in der Klammer aufgezählten Kriterien sind in der Einleitung des zitierten Aufsatzes, S. 863, angeführt.

Mitteilungen

Dampfstrahl-Kälteanlage auf einem Tanker. Der mit Dieselmotoren angetriebene Tanker «Esso Danmark» ist nach einer Mitteilung in der «Motortechnischen Zeitschrift» 1961, Heft 11, S. 441, von der Firma G. W. Ventilation, Kopenhagen, mit einer Klimaanlage ausgerüstet worden, deren Betriebswasser von einer Dampfstrahl-Kältemaschine der Firma R. O. Meyer, Hamburg (ROM) auf $+10^{\circ}\text{C}$ gekühlt wird. Bild 1 zeigt das Schema. Der Kessel 11, der durch die Auspuffgase der Antriebs-Dieselmotoren geheizt wird, erzeugt Dampf von 10 atü, der bei kaltem Wetter für die Raumheizung und bei warmem Wetter für die Strahlapparate der Klimaanlage verwendet wird, was eine gute Ausnutzung erlaubt. Im Verdampfer 1 herrscht hohes Vakuum (0,012 ata), so dass das aus der Klimaanlage zurückkommende Wasser von etwa 15°C , das durch eine Brause in feine Strahlen aufgelöst wird, teilweise verdampft und sich dabei auf $+10^{\circ}\text{C}$ abkühlt. Pumpe 7 führt es dann den Luftkühlern

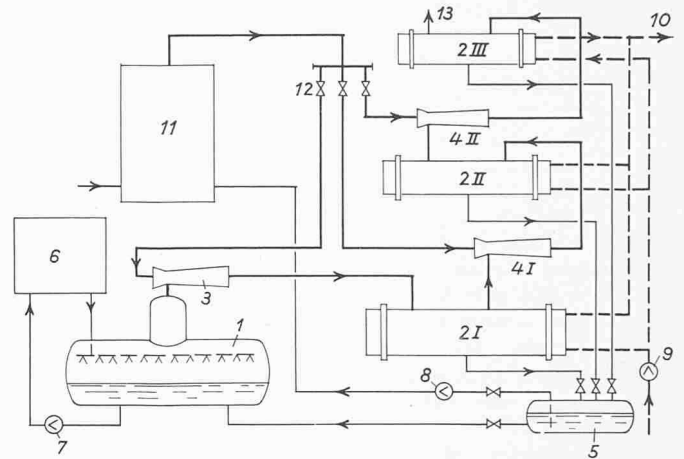


Bild 1. Prinzipschema der ROM-Dampfstrahl-Kühlanlage auf dem Diesel-Tanker «Esso Danmark»

der Klimaanlage wieder zu. Der mit Frischdampf aus 11 betriebene Strahlapparat 3 saugt den in 1 gebildeten Dampf ab und fördert ihn in den Kondensator 2 I, dessen Rohre von Meerwasser durchströmt werden und wo sich der Dampf aus 3 bei einem Druck von etwa 0,08 ata niederschlägt. Das Kondensat fließt nach dem Sammler 5 ab, von wo ein Teil nach 1 zurückfließt, um die durch 3 abgesogene Menge zu ersetzen; den andern Teil fördert die Pumpe 8 in den Kessel 11. Ein weiterer Strahlapparat 4 I saugt die Luft, die sich in 2 I sammelt, ab und fördert sie in zwei Stufen (Kondensatoren 2 II und 2 III sowie Strahlapparat 4 II) bei 13 ins Freie. Das Meerwasser fließt bei 10 ab. Die Anlage erreichte bei einer Meerwassertemperatur von 35°C eine grösste Kälteleistung von 285 000 kcal/h; der Dampfverbrauch betrug 1287 kg/h (Druck 10 atü) und der Stromverbrauch für die Pumpen 27,5 kW. Die Anlage soll sich auf der ersten Reise durch das Rote Meer nach Kuwait und zurück gut bewährt haben.

Eidg. Technische Hochschule. Anlässlich des ETH-Tages vom 18. November dieses Jahres verkündigte Rektor Prof. Dr. W. Traupel die folgenden Ehrenpromotionen: Ing. *Daniel Gaden* (Genf) «en témoignage d'admiration pour sa belle contribution aux recherches scientifiques dans le domaine des réglages des installations hydro-électriques et des grands réseaux, et pour avoir appliqué avec succès ses connaissances théoriques à la réalisation pratique des organes de réglage»; Prof. *Georges de Rahm* (Lausanne) «en témoignage d'admiration pour son œuvre sur les variétés différentiables qui a initié une suite de développements d'importance fondamentale et dans laquelle se manifeste, par la plus belle synthèse d'analyse, de géométrie et d'algèbre, l'unité organique des mathématiques»; Dr.-Ing. *Gustav Schneider* (Freiburg i. Br.) «in Würdigung seiner Leistungen auf dem Gebiete des Flussbaues und beim Ausbau der Schifffahrt und der Kraftnutzung auf dem Oberrhein zum Wohl aller Beteiligten und insbesondere auch der Schweiz»; Prof. *Eugen Wiedemann* (Baden AG) «in Würdigung seiner hervorragenden Leistungen als Konstrukteur im Elektromaschinenbau, insbesondere im Gebiete der Turbogeneratoren grosser Leistung».

Persönliches. Ing. *J. F. Büchi* in Strasbourg hat für seine Arbeiten auf dem Gebiet des Eisenbetonbaues die Auszeichnung «Chevalier de l'Ordre du Mérite pour la Recherche et l'Invention» erhalten und ist zum Delegierten für die Förderung von Forschung und Erfindung ernannt worden.

Nekrologe

† **Carl Breyer**, Arch. S. I. A., geboren am 16. Juli 1892, ist am 18. Oktober 1961 anlässlich einer Preisgerichtssitzung für die Wettbewerbsarbeiten zur Erstellung von Schulhausneubauten in Rorschach einem Herzschlag erlegen. Es entspricht ganz dem Wesen des Verstorbenen, dass er mitten aus seiner Arbeit zum Wohle der Jugend abberufen wurde.