

Sind die Grundlagen der Baustatik von Ingenieuren geschaffen worden?

Autor(en): **Straub, Hans**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **117/118 (1941)**

Heft 10: **G.e.P.-Generalversammlung St. Gallen**

PDF erstellt am: **17.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-83511>

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.

Grundfläche von 90 m², eine mittlere Höhe von 8,50 und wiegt mit der Erdauffüllung rd. 1100 t. Er müsste allfälligen Schub der Brücke, der wegen des Längsgefälles infolge plastischer Deformation des Bauwerkes entstehen könnte, aufnehmen.

Die Stützmauern in Verlängerung der Brückenköpfe Winkeln und Bruggen sind als Rippen-Stützmauern erstellt und weisen Dilatationsfugen in Abständen von etwa 15 m auf. Daran schliesst sich noch eine Winkelstützmauer.

Das Hauptbauwerk, der aus zwei Eisenbetonrippen gebildete *grosse Bogen* hat eine theoretische Spannweite von 134 m und eine Pfeilhöhe von 44,90 m, sein Scheitel liegt rd. 60 m über dem Wasserspiegel der Sitter. Die Beschreibung mit Abbildungen und statischer Berechnung dieses bedeutenden Bauwerkes findet man in der «SBZ» Bd. 116, August/Okt. 1940.

Bei den Anschlussviadukten ruht der Fahrbahnkasten (Abb. 3) auf ein- bis dreistöckigen zweistieligen Querrahmen. Die Spannweiten betragen beim Bogenaufbau 20,00 und 20,50 m. Bei den Anschlussviadukten variieren sie von 15,00 bis 22,00 m. Aus ästhetischen Gründen werden die Spannweiten mit steigendem Gelände, d. h. mit fallender Viadukthöhe kleiner. Die zwischen den einzelnen Rahmen von drei und vier Feldern eingehängten freilaufenden Träger weisen Spannweiten von 10,80 bis 13,20 m auf (Abb. 4 und 5).

Die Stiele der Querrahmen haben prismatoide Form (Abb. 5). In der Querrichtung beträgt der Anzug der äusseren Pfeilerfläche wie bei den Bogenrippen 1,6‰, die inneren Pfeilerflächen sind vertikal. In der Ansicht der Brücke variiert der beidseitige Anzug von 0,7‰ bei den höchsten Rahmen bis auf 2‰ bei den niedrigsten, und entsprechend die oberen Breiten der Pfeiler von 0,70 bis 1,20 m. Durch diese Ausbildung der Stiele wird ein schlankeres Aussehen der Konstruktion erzielt. Der oberste Querriegel, der den Fahrbahnkasten trägt, weist durchgängig 1,80 m Höhe auf. Seine Breite variiert von 70 cm bis 1,20 m wie die der Pfeiler je nach Spannweite des Fahrbahnkastens. Die Zwischenriegel sind 1,40 m hoch und gegenüber Ausserkantsiel um 20 cm zurückgesetzt. Aus ästhetischen Gründen ist bei den mittleren Querriegeln nur eine untere Voute angeordnet.

Fundation. Zur Aufschliessung des Baugrundes wurden Probebohrungen bis zu 12 m Tiefe ausgeführt. Der Untergrund für den Brückenbau besteht aus Nagelfluh, Sandstein und Mergel der oberen Süsswassermolasse (Stufe des Tortonien); die Schichten fallen mit 18 bis 20° nach NNW und streichen N 60° E. Eine Nagelfluhbank von 3 bis 4 m Mächtigkeit, die sich auf dem ganzen Gebiet schön verfolgen lässt, wurde bei den Rahmen R 1, R 2 und R 3 in der Fundamentgrube angetroffen, sodass die Pfeiler P 7 bis P 12 auf diese abgestellt werden konnten. Die übrigen Pfeiler der Rahmen und die Bogenwiderlager sind auf den Mergel fundiert. Die Bodenbeanspruchungen betragen bei den Rahmen für zentrische Belastung 3 kg/cm², bei Berücksichtigung aller Exzentrizitäten 5 kg/cm². Beim Bogenwiderlager Bruggen erreichen diese Beanspruchungen 3,3 bis 3,9 kg/cm². Das Bogenwiderlager Winkeln wurde nachträglich gegenüber dem Projekt vergrössert und die Beanspruchung auf etwa 3 kg/cm² herabgesetzt, da dort der Mergel etwas weichere Beschaffenheit zeigte als am Widerlager Bruggen. Entsprechend dem Schichtenverlauf weist das Widerlager Winkeln einen trapezförmigen Grundriss auf. Sämtliche Fundamente sind ringsum durch Drainage-Leitungen entwässert. Etwa 5 m südlich des Bogen-Widerlagers Bruggen wurde zudem ein bis auf die Fundamentsohle reichender Entwässerungsgraben erstellt. Der Kräzernbach ist durch den nördlichen Teil des Widerlagers Winkeln in Vianiniröhren von 1 m Durchmesser hindurch geführt. Diese Vianiniröhren sind im Stollen des Kräzernbaches weiter geführt, um einer Infiltration des Bodens in der Nähe des Widerlagers vorzubeugen.

Die Fundation des grossen Bogens und der Querrahmen R 0 bis 2 erfolgte in Stampfbeton, der mittels Eisenbahnschienen armiert wurde, die Querrahmen R 3 sind mit Eisenbetonbanketten ausgeführt. Die Einzelfundamente der Querrahmen sind durch Traversen von gleicher Höhe wie die Fundamente selbst verbunden. Das Erdbaulaboratorium der Versuchsanstalt für Wasserbau der E.T.H. hat den angetroffenen Mergel eingehend untersucht und für das Widerlager Winkeln die im Laufe der Zeit zu erwartenden Verschiebungen und Drehungen berechnet. Diese Untersuchungen ergaben:

	Raumgewicht	Wassergehalt	Porosität
Kohlenmergel	2,37 t/m ³	11,7 %	19,6 %
Sandiger Mergel	2,29 t/m ³	9,9 %	21,5 %
Toniger Mergel	2,29 t/m ³	11,9 %	22,5 %
Mittel aus der Verschiebung der 4 Fundamentecken:	Totale Vertikalverschiebung 20 mm	Totale Horizontalverschiebung 10 mm	

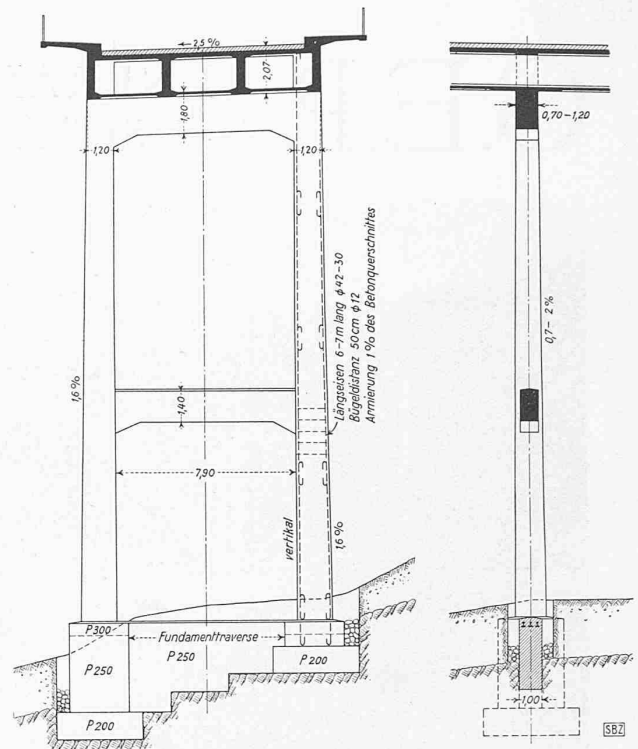


Abb. 5. Zweistöckiger Querrahmen der Anschlussviadukte. — 1:300

Diese Grössen haben auf die Beanspruchungen im Bogen einen geringen Einfluss. Bis zum 18. Okt. 1940 wurden folgende Verschiebungen beobachtet:

Widerlager Winkeln	Setzung	Verschiebung
Nordecke	5,60 mm	5,00 mm nach W
Südecke	4,20 mm	5,00 mm nach W
Widerlager Bruggen		
Nordecke	2,00 mm	0,00 mm
Südecke	3,20 mm	3,00 mm nach O

Die Brücken-Aussenkanten liegen in den entsprechenden Kurven, während die Hauptträger als in die entsprechenden Kurven eingeschriebene Polygone ausgeführt sind.

Entwässerung und Belüftung der Brücke. Die Entwässerung der Isolierschicht geschieht alle 7,50 m an beiden Plattenrändern durch kupferne Entwässerungstrichter, die in der Fahrbahnplatte eingelassen sind. Das Oberflächenwasser wird durch Strassensammler in je 50 m Entfernung aufgenommen. Zur Aufnahme des Regenwassers ist in dem nördlichen Gang eine Eternitleitung von 15 bis 20 cm Ø eingebaut, die alle 100 m durch einen Einsteigschacht zugänglich ist. — Zur Lüftung des Innern im Fahrbahnkasten sind in jedem Rahmenfeld in der untern Platte je eine vergitterte Oeffnung von 60 × 60 cm, in den äusseren Hauptträgern eine solche von 30 × 30 und in den Stegen der innern Hauptträger eine solche von 60 × 60 cm ausgespart.

Das schmiedeeiserne Geländer mit Handschiene wiegt 45 kg/m und ist 1,15 m hoch. Im Geländer sind die Lichtmaste in einem Abstand von 34 m angebracht, gegenseitig verschränkt.

(Forts. folgt)

Sind die Grundlagen der Baustatik von Ingenieuren geschaffen worden?

Von Dipl. Ing. HANS STRAUB, G.E.P., Rom

In einem eingehenden, sieben Spalten umfassenden Aufsatz befasst sich die römische Monatschrift «Annali dei Lavori Pubblici»¹⁾ mit dem in der «SBZ», Bd. 116, S. 201 (2. Nov. 1940) zum Abdruck gekommenen Vortrag von Prof. Dr. F. Stüssi «Baustatik vor 100 Jahren — die Baustatik Naviers». Die Besprechung setzt sich besonders mit der von Stüssi aufgestellten These auseinander, nach der Navier insofern als der eigentliche Schöpfer der Baustatik zu betrachten sei, als er als erster wissenschaftliche Forschungsergebnisse auf praktische Bauaufgaben angewandt habe, während seine Vorgänger sich mehr aus theoretisch-mathematischem Interesse mit den Grundproblemen der Statik und Festigkeitslehre beschäftigt hätten, ohne auf die praktischen

¹⁾ 79. Jahrgang, Nr. 2, S. 159, Febr. 1941.

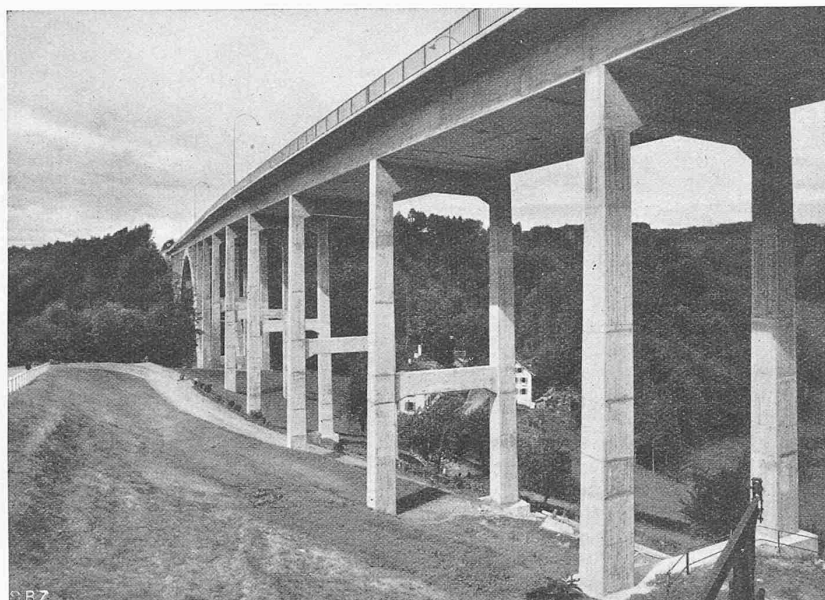


Abb. 4. Oestlicher Anschlussviadukt

Bew. 21. VIII. 1941, lt. B.R.B. 3. X. 1939

Bedürfnisse des Bauwesens einzugehen. Die Ansicht, schreibt der Kritiker, dass zwischen den Methoden und Absichten von Navier und denen seiner Vorläufer ein tiefer und grundsätzlicher Unterschied bestanden habe, sei unrichtig; in Wirklichkeit hätten die Untersuchungen von Galilei, Jakob Bernoulli, Euler, Leibniz und Lagrange sich weit weniger vom Gebiet des Ingenieurwesens unterschieden als ein summarisches und oberflächliches Urteil vermuten liesse.

Für die Beantwortung dieser, für die Geschichte der Mechanik und im besonderen für die Entwicklung des Ingenieurwesens interessanten Frage ist es nun recht bezeichnend, dass unter den Männern, die von der Schwelle des 16. bis in die erste Hälfte des 18. Jahrhunderts die Grundlagen geschaffen haben, auf denen sich später die Baustatik aufbauen sollte, sich kein einziger Architekt oder Brückenbauer befindet. Im Zusammenhang mit den Fragen, die man gewissermassen als das Grundproblem der Statik und die wichtigste Aufgabe der Festigkeitslehre ansprechen kann, die im genannten Zeitraum ihre grundsätzliche Lösung erfuhren, nämlich der *Zusammensetzung der Kräfte* und dem *Problem der Biegung*, begegnen uns u. a. die Namen von Leonardo da Vinci (1452 bis 1519), Stevin (1548 bis 1620), Galilei (1564 bis 1642), Roberval (1602 bis 1675) und Varignon (1654 bis 1722) für die Frage der Kräftezusammensetzung; für jene des Biegungsproblems, ausser einigen der bereits genannten, Mariotte (1620 bis 1684), Hooke (1635 bis 1703), Jakob Bernoulli (1654 bis 1704), Leibniz (1646 bis 1716), Parent (1666 bis 1716) und andere.

Die meisten dieser Männer waren von Beruf Physiker und Mathematiker, ihrer äusseren Stellung nach entweder Lehrer der Mathematik an einer höheren Schule oder Universität, oder sie bezogen, mit oder ohne Lehrverpflichtung, eine Besoldung von Seiten ihres Landesfürsten. In seiner Eigenschaft als Hofmathematicus mag wohl der eine oder andere mit staatlichen Tiefbauten zu tun gehabt haben; Leonardo und Stevin beispielsweise haben sich mit Wasser- und Kanalbauten²⁾, Leibniz mit dem Bergwesen befasst. Doch ihre Beschäftigung mit Fragen der Statik und Festigkeitslehre ist wohl kaum durch diese, ihre amtliche Tätigkeit bedingt worden, sondern der Antrieb dazu ist eher allgemeinem Erkenntnisdrang und wissenschaftlichem Interesse zuzuschreiben. Was im besonderen Leonardo und Leibniz anbelangt, so gibt es wohl kaum ein Gebiet, dem sich der Forschungstrieb dieser universalen Geister nicht zugewandt hätte. «Naturalmente li omini boni desiderano sapere»³⁾ äussert sich Leonardo einmal in einer Notizbucheintragung.

²⁾ Es ist kein Zufall, dass die frühesten überlieferten Beispiele einer Beziehung von Wissenschaftlern für praktische Bauaufgaben sich auf Wasser-, speziell Kanalbauten beziehen. Kuppeln und Brücken konnten intuitiv, nach dem statischen Gefühl konstruiert werden; für den Bau von Kanälen waren gewisse Kenntnisse der Hydraulik unerlässlich und genaue Nivellierungen und Trassierungen nicht zu umgehen, die, wenn auch mit primitiven Instrumenten, nur von mathematisch geschulten Geometern ausgeführt werden konnten.

³⁾ Vgl. E. Carusi, *Come studiava Leonardo*, Ann. d. L. P. 1939, S. 462.

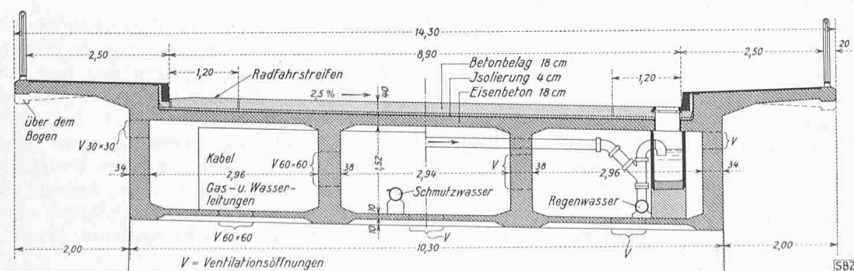


Abb. 3. Querschnitt des Fahrbahn-Kastenträgers. — Masstab 1 : 120

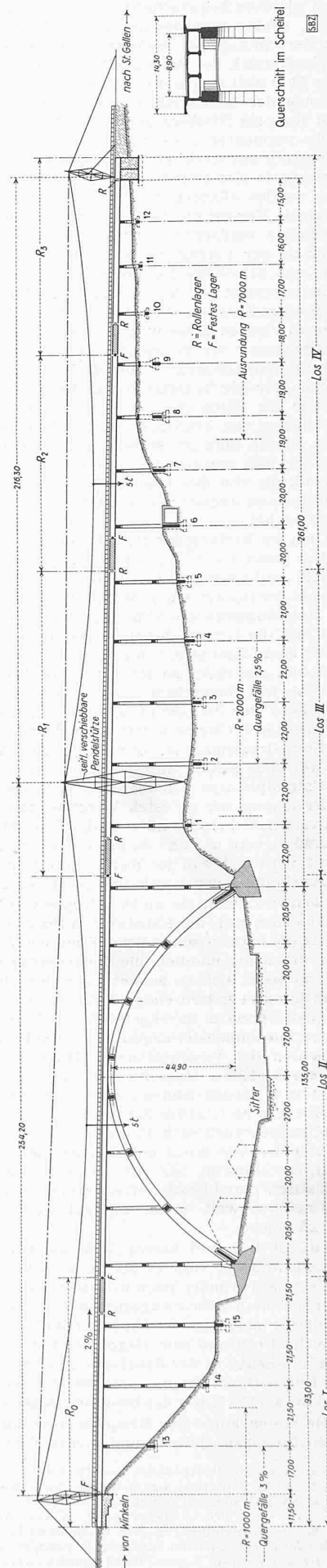


Abb. 9 Längsschnitt in Brückenaxe mit den eingehängten Trägern bei den Dehnungsfugen zwischen den Rahmen R_{60} , dem Bogen, E_{10} , R_{20} und E_{30} , sowie Kabelkran. — Maststab 1 : 2000; Scheitelschnitt 1 : 800

Im gleichen Zeitabschnitt, in dem die obengenannten Männer wirkten, sind weitgespannte Gewölbebauten errichtet worden, deren Berechnung und Bemessung heute ohne weiteres in den Aufgabenbereich des Bauingenieurs fallen würde — man denke an die 42 m weit gespannte Peterskuppel in Rom (1588 bis 1590), die Tonne der Michaelskirche in München (1583 bis 1597), die ovalen Kuppeln Fischers von Erlach; die Beispiele liessen sich beliebig vermehren⁴⁾ — ohne dass zwischen den betreffenden Baumeistern und Architekten und den Theoretikern der Mechanik nennenswerte Beziehungen oder gar Beeinflussungen nachgewiesen werden könnten. Die Praktiker der Baukunst waren hervorragende Konstrukteure, denen neben einem aussergewöhnlich entwickelten statischen Gefühl höchstens gewisse Erfahrungssgrundsätze zur Verfügung standen, die von Architekturtheoretikern, wie beispielsweise Leo Battista Alberti, in Zahlenregeln zusammengefasst worden waren. Wenn für den Architekten von jeher gewisse Kenntnisse in Mathematik und Mechanik notwendig waren, so dienten diese wohl kaum zur statischen Berechnung und Bemessung der Tragwerke, sondern vielmehr als mathematische Kompositionsregeln für die Entwurfsgestaltung und Proportionen, für das Trassieren und Ausmessen des Bauwerks und allenfalls als Hilfsmittel für die praktische Ausführung, zur Konstruktion von Transport- und Hebemaschinen u. dgl., und in diesem letzten Sinn ist es wohl zu verstehen, wenn der Uebersetzer der 1634 erschienenen französischen Ausgabe von Galileis Mechanik die von ihm beigegebenen Zusätze und Erweiterungen als «utiles aux Architectes, Fonteniers, Philosophes et Artisans» bezeichnet hat.

Auch im Verlauf des 18. Jahrhunderts ändern sich die Verhältnisse noch nicht grundsätzlich. Die Bernoulli, Euler (1707 bis 1783) und Lagrange (1736 bis 1813), um nur die wichtigsten Förderer der theoretischen Mechanik zu nennen, waren in erster Linie Mathematiker, und wenn jene Zeit auch zahlreiche Probleme gelöst hat, die für den heutigen Bauingenieur von grösster Bedeutung sind (elastische Linie, Knickformel, Plattentheorie u. a.), so geschah das nicht so sehr um praktisch-technischer Zwecke willen, als aus theoretisch-wissenschaftlichem Interesse. Besonders beliebt war die Lösung aller möglichen physikalischen und mechanischen Probleme mittels Zurückführung auf eine Maximal- und Minimalrechnung (Isoperimeterproblem, Variationsrechnung); Euler vor allen sah in den zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten des Minimalprinzips den metaphysisch-theologischen Grundsatz der Erreichung der grössten Wirkung mit dem kleinsten Aufwand verwirklicht: «Da nämlich die Einrichtung der ganzen Welt die vorzüglichste ist, und da sie von dem weisesten Schöpfer her stammt, wird nichts in der Welt angetroffen, woraus nicht irgend eine Maximum- oder Minimeigenschaft hervorleuchtet»⁵⁾.

Auch wenn man die andere Gruppe von Vorarbeiten betrachtet, auf denen sich die Baustatik aufbaut, oder genauer, die die Anwendung baustatischer Erkenntnisse auf praktische Aufgaben erst ermöglicht, nämlich die Festigkeits- und Elastizitätsversuche, so bietet sich im wesentlichen das gleiche Bild. Schon im 17. Jahrhundert hatten einige Physiker, wie Mariotte und Hooke, Festigkeitsversuche durchgeführt; im 18. wurden bereits tabellarische Zusammenstellungen von Druck-, Zug- und Biegezugfestigkeiten der verschiedensten Materialien veröffentlicht, so von Parent (1708), Musschenbroek (1729), dem Naturhistoriker Buffon u. a. Kennzeichnend für die keine unmittelbar praktischen Zwecke verfolgende Einstellung von Forschern wie Mariotte und Musschenbroek ist z. B. die verhältnismässig wichtige Stelle, die unter den von ihnen untersuchten Materialien das Glas einnimmt, ein Material, das sich zwar vorzüglich zur Beobachtung der elastischen und Festigkeitseigenschaften eignet, aber in jenem Zeitalter noch weit davon entfernt war, als Baumaterial eine Rolle zu spielen.

Aus all dem geht hervor, dass die Mathematiker, Physiker und Naturforscher vom 16. bis 18. Jahrhundert, auf die sich das Werk Naviers gründet, doch wohl kaum als Ingenieure, jedenfalls nicht als Bauingenieure angesprochen werden können, auch wenn sie, wie der eingangs erwähnte Artikel der «Annali» ausführt, zahlreiche Probleme zum Gegenstand ihres Forschens gemacht haben, die heute in der Baustatik unmittelbare Anwendung finden. Durch Beschäftigung mit der Mechanik könnten Einzelne höchstens als Vorläufer des heutigen Maschineningenieurs gelten.

Die ersten konkreten Beispiele einer Zuhilfenahme von theoretisch-statischen Überlegungen, der Verwendung somit eines

der unmittelbaren Anschauung sich entziehenden, abstrakten Hilfsmittels für die Beurteilung der Standfestigkeit eines ausgeführten oder auszuführenden Bauwerks sind uns aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts überliefert. Schon um die Jahrhundertmitte waren drei Wissenschaftler, die Jesuiten Lesueur, Jacquier und Boscovitch beauftragt worden, Vorschläge zur Sicherung der durch Risse gefährdeten Peterskuppel in Rom zu machen. Berühmt geworden sind sodann die ausführlichen Festigkeitsversuche, die Ende des Jahrhunderts von Soufflot, Rondelet und Gauthey im Zusammenhang mit den Sicherungsarbeiten der Kuppel des Pantheons in Paris durchgeführt wurden.

Der wichtigste Vorläufer von Navier auf dem Gebiete der Baustatik ist indessen Coulomb (1736 bis 1805), der als Genieoffizier beim Bau von Befestigungsanlagen in der französischen Kolonie Martinique das statische Verhalten von Tragwerken, besonders von Balken und Gewölben, sowie von Stützmauern genau untersuchte und mathematisch bearbeitete. Der Wortlaut des Titels der kleinen inhaltreichen Schrift, in der Coulomb die Ergebnisse seiner Untersuchungen zusammengefasst hat, «Essai sur une application des règles de maximis et minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture» (1776) ist bezeichnend: obgleich der Verfasser diesmal ein Ingenieur ist, erscheint immer noch, wie in der ähnlich betitelten Abhandlung von Euler⁶⁾, die Anwendung der Maximal- und Minimalrechnung als die Hauptsache, und nicht die Lösung der baustatischen Aufgaben. So fand denn auch die Arbeit, wie Saint-Venant schon 1864 bemerkt hat, in den Kreisen der Baufachwelt nicht die Beachtung, die sie verdient hätte, umso mehr, als Coulomb sich in späteren Jahren mehr andern Gebieten der Physik zugewandt hat.

Es blieb somit tatsächlich Navier vorbehalten, die zerstreuten Erkenntnisse seiner Vorgänger auf dem Gebiete der angewandten Mechanik und Festigkeitslehre zu einem einzigen grossen Lehrgebäude zusammenzufassen und den praktischen Aufgaben des Bauwesens anzupassen, was er, wie in dem zu Beginn dieser Betrachtungen erwähnten Vortrag von Prof. Stüssi dargestellt worden ist, mit solcher Meisterschaft durchgeführt hat, dass er mit Recht als der eigentliche Schöpfer der Baustatik und als einer der ersten grossen Bauingenieure in modernwissenschaftlichem Sinne angesprochen werden darf.

Die EMPA-Hauptabteilung C in St. Gallen

Am 22. Mai 1937 wurde die bisherige «Schweiz. Versuchsanstalt» in St. Gallen als neue Hauptabteilung der Eidg. Materialprüfanstalt dem Bund in Obhut übergeben. Damit ging ein seit Jahren immer wieder vorgebrachter Wunsch der zuständigen Behörden, der Institutsleitung und einzelner Fachkreise in Erfüllung und unserer Industrie konnte eine gut ausgestaute, modern eingerichtete und leistungsfähige Prüfanstalt zur Verfügung gestellt werden.

Gründung und Entwicklung der «Schweiz. Versuchsanstalt» St. Gallen erfolgten in engstem Zusammenhang mit Industrie und Handel, von denen die Initiative ausgegangen war und die bis heute durch freiwillige Beiträge ihr Interesse am Ausbau der einzelnen Abteilungen bekundet haben. Am 1. Juli 1885 errichtete das Kaufmännische Direktorium gemeinsam mit dem Industrieverein der Stadt St. Gallen und dem Schweiz. Zwirner-Verein eine Kontrollstelle für Baumwollgarne. Den Anlass zu jener Gründung gab eine im Frühjahr des gleichen Jahres eingereichte Petition von 17 Zwirnereien, die eine neutrale, öffent-

⁶⁾ «Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes» mit Anhang «De curvis elasticis» (1744).

⁴⁾ Auch an die Holzbrücken von Grubenmann, dargestellt in «SBZ», Bd. 78, S. 140 (17. Sept. 1921) mag in diesem Zusammenhang erinnert werden.

⁵⁾ Euler 1744, deutsch zitiert nach Mach: «Die Mechanik in ihrer Entwicklung», 9. Aufl. 1933. — Bezeichnend ist auch die Vorliebe für gewisse paradoxe Problemstellungen, wie beispielsweise in Eulers Abhandlung «De altitudine columnarum sub proprio pondere corruentium» (Ueber die Höhe der unter ihrem Eigengewicht zusammenbrechenden Säulen).

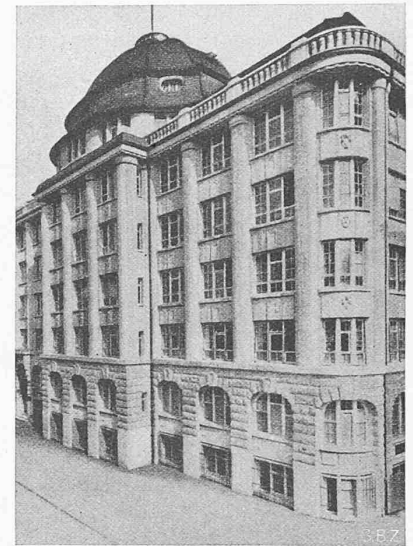


Abb. 1. Hauptabteilung C der EMPA