

Meilensteine in der Geschichte des Brückenbaus: die Gestaltung von Brücken ehedem und heute

Autor(en): **Hart, Franz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **97 (1979)**

Heft 38

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85530>

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.

rung von Fachtagungen, Unterstützung bei der Suche nach geeigneten Referenten, Vermittlung von technisch-wissenschaftlicher Beratung. Sie ist bereit, die internationalen Gremien (UNESCO, UN-University usw.) in ihren Programmen für Entwicklungsländer zu unterstützen.

- Sie bemüht sich, das *internationale Ansehen des Berufsstandes*, der *grossen Bedeutung des Bauwesens für alle Lebensbereiche* entsprechend, zu *heben und zu fördern*, indem sie ihre Veranstaltungen in einem gesellschaftlich angemessenen Rahmen durchführt und auch Vertreter der Behörden und Verwaltungen dazu einlädt. Durch begleitende kulturelle

Veranstaltungen und Vorträge von Fachreferenten aus anderen Wissenschaften und den schönen Künsten sucht sie, ihren Mitgliedern auch Anregungen über den engeren Fachbereich hinaus zu bieten.

- An ihren Veranstaltungen soll der *persönliche Kontakt* zwischen den Mitgliedern und Familienangehörigen der verschiedenen Länder gefördert werden. Durch das direkte Kennenlernen anderer Kulturen, Weltanschauungen, Wirtschaftssysteme soll das gegenseitige Verständnis und die gegenseitige Achtung vertieft werden. Dadurch möchte die IVBH auch einen Beitrag zur friedlichen Verständigung unter allen Völkern und Rassen leisten.

Die IVBH ist stolz auf ihre Mitglieder und die Leistungen der ersten 50 Jahre. Wir haben uns auch für die Zukunft ein anspruchsvolles Ziel gesetzt. Um es zu erreichen, brauchen wir die wohlwollende Unterstützung aller unserer Mitglieder, besonders aber die gegenseitig stimulierende Mitarbeit der in den verschiedenen Gremien der Vereinigung aktiv tätigen Mitglieder. Für diese Unterstützung möchte ich allen schon im voraus recht herzlich danken.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. B. Thürlimann, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH-Hönggerberg, 8093 Zürich.

Meilensteine in der Geschichte des Brückenbaus: Die Gestaltung von Brücken ehemals und heute

Von Franz Hart, München

Zunächst werden einige für die Entwicklung von der Antike bis zum 18. Jh. wichtige Brücken vorgestellt. Mit der industriellen Revolution geht die Einheit von Architektur, Städtebau und Brückenbaukunst verloren. Die neuen Brückenkonstruktionen aus Stahl, Stahlbeton und Spannbeton sind für den Laien nicht ohne weiteres verständlich; auch unter den Fachleuten gibt es Kontroversen in der Entscheidung für die eine oder andere Bauweise. In Beispielen wird versucht, diese Problematik aufzuzeigen und positive Entwicklungslinien herauszuarbeiten.

The paper opens with a survey of some major bridges from classical times to the eighteenth century, when with the advent of the Industrial Revolution, the unity combining architecture, city planning and the art of bridge building disappears. The new bridge structures of steel, reinforced concrete and prestressed concrete are for the lay population not readily comprehensible; even among the specialists controversies arise over the choice of one or another construction method. This paper attempts through examples to point out the dilemma and to offer positive lines of approach.

Le rapport mentionne quelques ponts importants de l'antiquité au 18^e siècle. A partir de la révolution industrielle l'unité qui jusqu'alors régnait entre l'architecture, l'urbanisme et la construction de ponts disparut. Les nouvelles constructions de ponts en acier, en béton armé et en béton précontraint sont peu compréhensibles pour le public; même les spécialistes se disputent sur le choix d'une méthode de construction. Ce rapport essaie - à l'aide d'exemples - de montrer le dilemme et de suggérer de nouvelles possibilités de développement.

Die Geschichte des Brückenbaus auch nur in Stichworten anzudeuten, ist in einem Kurzreferat unmöglich. Selbst wenn wir uns auf das *Abendland beschränken* und die *Holzkonstruktionen* ebenso *beiseite lassen wie die Stege und Seilbrücken der Naturvölker*, müssen wir unter den «Meilensteinen» eine enge Auswahl treffen.

Römerbrücken

Beginnen wir bei den Römern, also etwa mit dem Beginn unserer Zeitrechnung. Viele Brücken der Kaiserzeit die-

nen heute noch dem Verkehr; sie haben die Jahrhunderte besser überdauert als die Tempel und Paläste, und sie zählen zu den eindrucksvollsten Zeugnissen antiker Baukunst. Brücken gehörten *damals noch uneingeschränkt in den Bereich der Architektur*; in dem Architekturlehrbuch von Vitruv sind sie ausführlich behandelt, einschliesslich der schwierigen *Fundierungsverfahren* - *Senkkasten* und *Pfahlrost* -, die im Prinzip heute noch gebräuchlich, aber längst in die Kompetenz des Bauingenieurs übergegangen sind.

Stellen wir dem *Ponte Milvio in Rom* die ein paar hundert Meter tiberaufwärts um 1930 erbaute, mit Marmor verklei-

dete Stahlbetonbrücke gegenüber. Über beide Brücken sind im letzten Krieg dreimal die Panzerkolonnen hinweggerollt; die neue Brücke hat dabei eine deutlich sichtbare Verformung erlitten, während dem *Ponte Milvio* die ungewohnte enorme Mehrbelastung buchstäblich keinen Eindruck machte - abgesehen von einigen Defekten an der Geländerbrüstung. Hier zeigt sich ein charakteristischer Unterschied nicht nur in der Statik, sondern in der Bauauffassung überhaupt zu unseren heutigen Konstruktionen: Die gewaltige Baumasse, bei der die Nutzlast im Verhältnis zum Eigengewicht keine Rolle mehr spielt, die dem Bauwerk eine heute nicht mehr erreichbare monumentale Ausdruckskraft und Lebensdauer sichert. Auffallend gering für unsere heutigen Vorstellungen ist die Breite der römischen Brücken (6,7 m beim *Ponte Milvio*). Noch schmaler sind die Bogen bei den grossen Aquädukten: so wirkt die Reihe der bis zu 21 m weit gespannten Bogen des *Pont du Gard* besonders kühn - nicht weniger eindrucksvoll und monumental als etwa die *dreigeschossige Bogenstellung am Kolosseum in Rom* - obwohl od. vielleicht gerade weil dem Aquädukt als Zweckbau die plastische Bereicherung durch eine vorgesetzte repräsentative Säulen- und Gebälkkordnung fehlt. Die *vollkommene Übereinstimmung von Ingenieurkonstruktion und architektonischem Ausdruck* wird vielleicht noch deutlicher, wenn wir zwei römische Brücken von bescheideneren Dimensionen betrachten, die eine verfeinerte Gestaltungsabsicht erkennen lassen: Der *Ponte Fabrizio in Rom* mit seiner betonten, sorgfältig proportionierten und modellierten Durchflusssöffnung über dem Mittelpfeiler und die unter Kaiser Augustus begonnene *Brücke in Rimini*, wo an die Stelle des für die Römerbrücken typischen Sekundärbogens ein reines Architektur-

motiv tritt – eine flache Nische, eingefasst von Lisenen und Gebälk, und wo durch ein kräftiges Konsolgesims die massive Brüstung von der eigentlichen Brücke abgesetzt erscheint, ähnlich wie die Attika auf den römischen Triumphbogen.

Bogenbrücken des Mittelalters

Die Bogenbrücken des Mittelalters zeigen eine grössere Vielfalt und Freiheit in den Bogenformen und in der Differenzierung der Spannweiten innerhalb des Bauwerkes. Die Wölbprofile entfernen sich z.T. entschieden vom römischen Halbkreis, neben überhöhten – gestelzten oder parabelähnlichen – Wölbungen treten weitgespannte flache Segmentbogen auf, wie beim *Ponte Vecchio in Florenz* und bei der berühmten *Brücke von Avignon*. Die *Skaliger-Brücke in Verona* wächst mit ihren zinnenbekrönten Wandungen unmittelbar aus der Skaligerburg heraus; der Flachbogen ihrer Hauptöffnung übertrifft mit etwa 50 m Spannweite die weiteste römische Brückenwölbung um fast 20 m. Die Brückenbauten der *Renaissance- und der Barockzeit* bringen keine neuen Rekordspannweiten, aber eine Verfeinerung in der geometrischen und stereometrischen Durchbildung und im Zusammenhang damit den Übergang zu sehr flachen elliptischen oder Korbogenvölbungen. Ein wichtiger Schritt in dieser Richtung ist der schon von den Zeitgenossen als Meisterwerk bewunderte *Ponte Santa Trinita in Florenz* vom Architekten *Ammanati* (um 1560). Einen Höhepunkt erreicht die Kunst des Brückenbaus mit den Werken von *J. R. Perronet*, der von 1747 an 50 Jahre lang die *Ecole des Ponts et Chaussées* in Paris leitete – die erste Pflanzstätte des modernen Bauingenieurberufs. Die Disziplin der *Stereotomie*, des *Steinschnittes*, die hier entwickelt wurde und die einen Anstoss zur Erfindung der darstellenden Geometrie bildet und damit den Übergang von der rein handwerklichen zu einer wissenschaftlichen Ausbildung und Berufsauffassung einleitet, spielt auch in der klassischen französischen Architektur des 17. und 18. Jh. eine wichtige Rolle, und somit bleibt im Städtebild die Einheit von Architektur und Brückenbau noch gewahrt. Die praktische Ausführung und Baustellenorganisation der grösseren Brückenbauten stellt aber nunmehr so hohe Anforderungen, dass sich der Brückenbauer bereits als Spezialist ausbilden und betätigen muss. Die Glanzleistung von Perronet, der *Pont de Neuilly*, zeichnete sich aus durch ein besonders flaches Wölbprofil – Pfeilhöhe $f = \frac{1}{12} L$ – und durch eine besonders geringe Breite der Pfeiler – $b = \frac{1}{12} L$ –. Bei diesen extrem flachen Wölbungen war es für die

Standfestigkeit des Bauwerkes entscheidend, dass das tragende Lehrgerüst in sämtlichen Öffnungen gleichzeitig und ganz gleichmässig abgesenkt wurde – in Neuilly ging das Ausrüsten innerhalb von 15 Minuten vor sich. Diese Leistung ist um so erstaunlicher, als die Brücke die damals noch ungewöhnliche Breite von 15 m hatte. Gewölbte Massivbrücken wurden noch bis in unser Jahrhundert hinein gebaut, um 1920 erreichte man mit einer Stampfbeton-Wölbung in Frankreich beinahe die 100-m-Marke.

Als Abschluss des knappen Überblicks über die Vorgeschichte des modernen Brückenbaus seien drei Bauwerke erwähnt, die dartun, dass bis zur industriellen Revolution, also etwa bis 1800, die Brücke ein in Konstruktion und Material gleichartiges, im repräsentativen Anspruch gleichwertiges oder vorrangiges Werk der monumentalen Architektur war und damit vielfach auch zum festen Bestandteil des Stadtbildes zum Wahrzeichen wurde: Die *Römerbrücke in Salamanca*, die *steinerne Brücke in Regensburg* und am Ende schliesslich der *Ponte Vittorio Emanuele in Turin*.

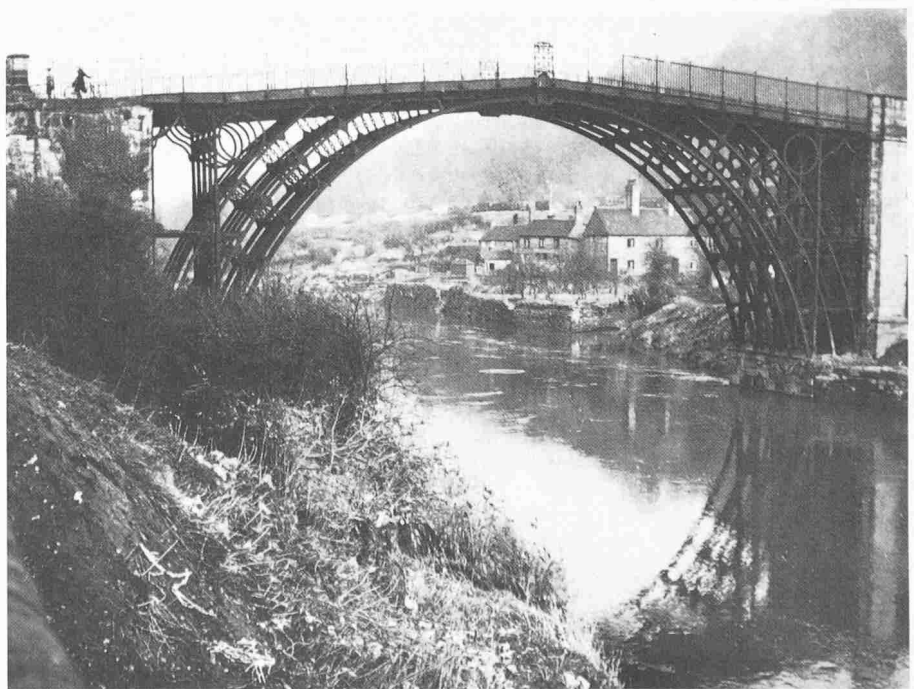
Eisen und Stahl als Primärbaustoff

Mit der Einführung von Eisen bzw. Stahl als Primärbaustoff, anstelle von Stein und Holz, hebt eine *neue Epoche* an – nicht nur im Brückenbau, sondern in der Baukunst überhaupt. An ihrem Beginn steht ein eisernes Tragwerk von 100 Fuss Spannweite – die *gusseiserne Brücke über den Severn bei Coalbrookdale*, erbaut 1779 von *A. Darby*, dem Inhaber jener Eisenhütte, in der 50 Jah-

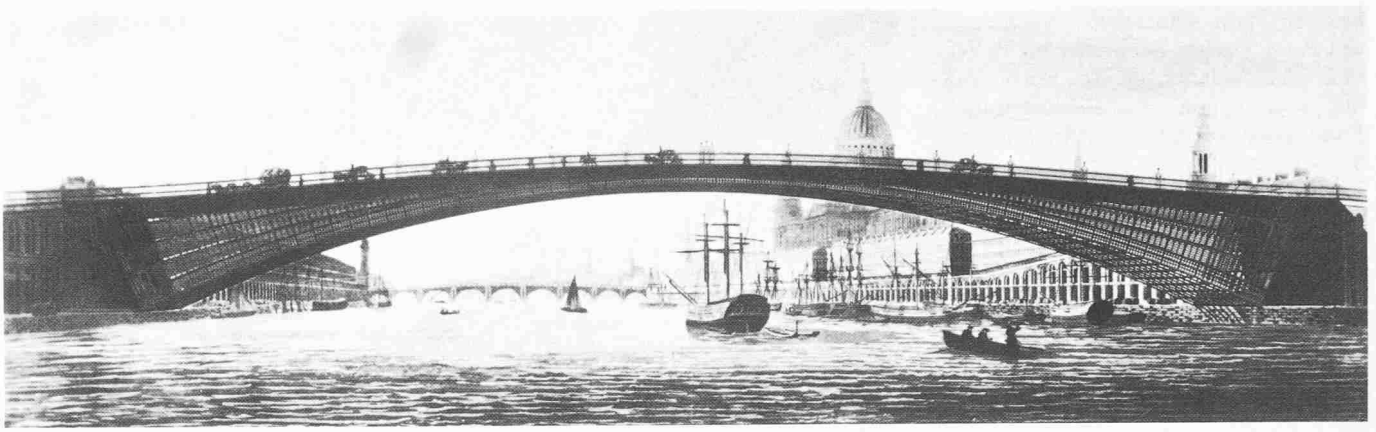
re vorher der erste Kokshochofen in Betrieb gesetzt worden war. Da das *Material keine Zugfestigkeit* hat, sind die *Gusseisenbrücken im Prinzip ähnlich konstruiert wie die steinernen Bogenbrücken*. Ihre Zeit reicht in England bis gegen die Mitte des 19. Jh. – bis das Gusseisen aus den Tragkonstruktionen verdrängt wurde vom Schmiedeeisen, das seit der Einführung des Puddelverfahrens in ausreichenden Mengen geliefert werden konnte.

Das phantastische *Projekt einer 600 Fuss weit gespannten gusseisernen Bogenbrücke über die Themse in London*, von *Th. Telford*, (1802) ist leider wegen der Schwierigkeiten des Grunderwerbs für die ausgedehnten Auffahrtsrampen *nicht zur Ausführung gekommen*. Der Kupferstich, in dem es überliefert ist, zeigt wie ein Traumbild *noch ein letztes Mal die bezwingende Einheit von Architektur, Städtebau und Brückenbaukunst*. *Th. Telford* war kein Architekt oder was wir heute darunter verstehen; er war einer von den handwerklich geschulten, wagemutigen englischen Pionier-Ingenieuren, die Brücken ebenso entwarfen und ausführten wie Strassen, Kanäle, Eisenbahnen, hatte aber noch keine wissenschaftlich-theoretische Ausbildung; wie ja auch die Konstruktion der Gusseisenbrücke noch nicht auf einer exakten statischen Berechnung beruhte.

Der Berechnung eher zugänglich und schon bald unterworfen, war der zweite Typ von Eisenbrücken, die *Hängebrücke*, die den *zugfesten Baustoff Schmiedeeisen* zur Voraussetzung hat. Die ersten Hängebrücken, unter ihnen die grossartige, 175 m weit gespannte *Mennai-Brücke* von *Telford* (1826), in England und Amerika waren noch als *Ket-*



Coalbrookdale-Brücke (1779), erste eiserne Brücke über den Severn in England



Projekt einer Brücke über die Themse in London (Thomas Telford, 1801)

tenbrücken ausgebildet. Der französische Ingenieur *M. Seguin* ersetzte die geschmiedeten, durch Bolzen verbundenen Kettenglieder durch *Kabel aus gezogenen Stahldrähten*. Unter den Rhonebrücken, die er gebaut hat, bietet die von *Donzère* dem Passanten ein Brückenerlebnis von besonderer Intensität: eine sehr schmale Fahrbahn, schlanke Hausteinpylonen mit hoher Bogenöffnung, das Geflecht der Kabel und Hänger, die überstehenden hölzernen Querträger mit der Geländerabsteifung – alle Teile sind sichtbar und zum Greifen nahe; und wenn der scharfe Mistral bläst, dann spürt man körperlich die Schwingungsbeanspruchung einer reinrassigen Hängebrücke.

Die Hängebrücke hält von nun an über 60 Jahre die Spannweiten-Rekorde: Der *Grand Pont in Fribourg* 273 m, die *Eisenbahnbrücke über den Niagara* 317 m und schliesslich die *Brooklynbrücke in New York* 486 m (1883). Die letzte, konstruiert und erbaut durch den

Ingenieur *H. Roebling*, wirkt mit ihrem vierfachen Netz von Hänge- und Versteifungsstäben heute noch sensationell.

Der Technologie ihrer Zeit am weitesten voraus ist die *erste vollwandige Balkenbrücke aus Schweisseisen*: die 141 m weit gespannte *Britannia-Brücke* von *R. Stephenson* (1850) – ein etwa 9 m hoher und etwa 4 m breiter geschlossener Kastenträger, durch den die Eisenbahn wie durch einen Tunnel fährt. Die Nebenspannungen – Torsion, Beulen, Temperatureinflüsse usw. – dieses Tragwerks exakt zu berechnen, war bei dem damaligen Stand der Theorie noch nicht möglich. Stephenson war sich dieser Unzulänglichkeit bewusst und versuchte sich mit Modellversuchen ein Bild von den zu erwartenden Verformungen zu machen; vorsorglich versah er die gemauerten Pylonen mit einem Aufsatz, der als Auflager für ein Hängekabel gedacht war, für den Fall, dass die Träger nachgeben sollten.

Fachwerk-Brücken

Als vierter Typ von Eisen- bzw. Stahlbrücken tritt mit dem Ausbau des Eisenbahnnetzes der *Fachwerkträger* in den Vordergrund. Vorläufer sind die in der ersten Hälfte des 19. Jh. in den USA gebauten Fachwerkbrücken – *zunächst noch ganz in Holz*, dann mit *eisernen Zugstäben anstelle der Pfosten* ausgeführt (*Howe-Träger*).

An der *Trentbrücke bei Newark in England* (1851) sind gusseiserne Druck- und schmiedeeiserne Zugstäbe mit Bolzengelenken verbunden. Auf dem Kontinent beginnt die Entwicklung mit den *Gitterbrücken* – der Kasten der *Britannia-Brücke* erscheint hier sozusagen in ein Netzwerk von Flacheisenstäben aufgelöst –, so bei den *Talbrücken* von *G. Eiffel* im *französischen Zentralmassiv*, bei der 1940 zerstörten alten *Weichselbrücke in Dirschau*.

Die «klassischen» *Fachwerk-Balken-*



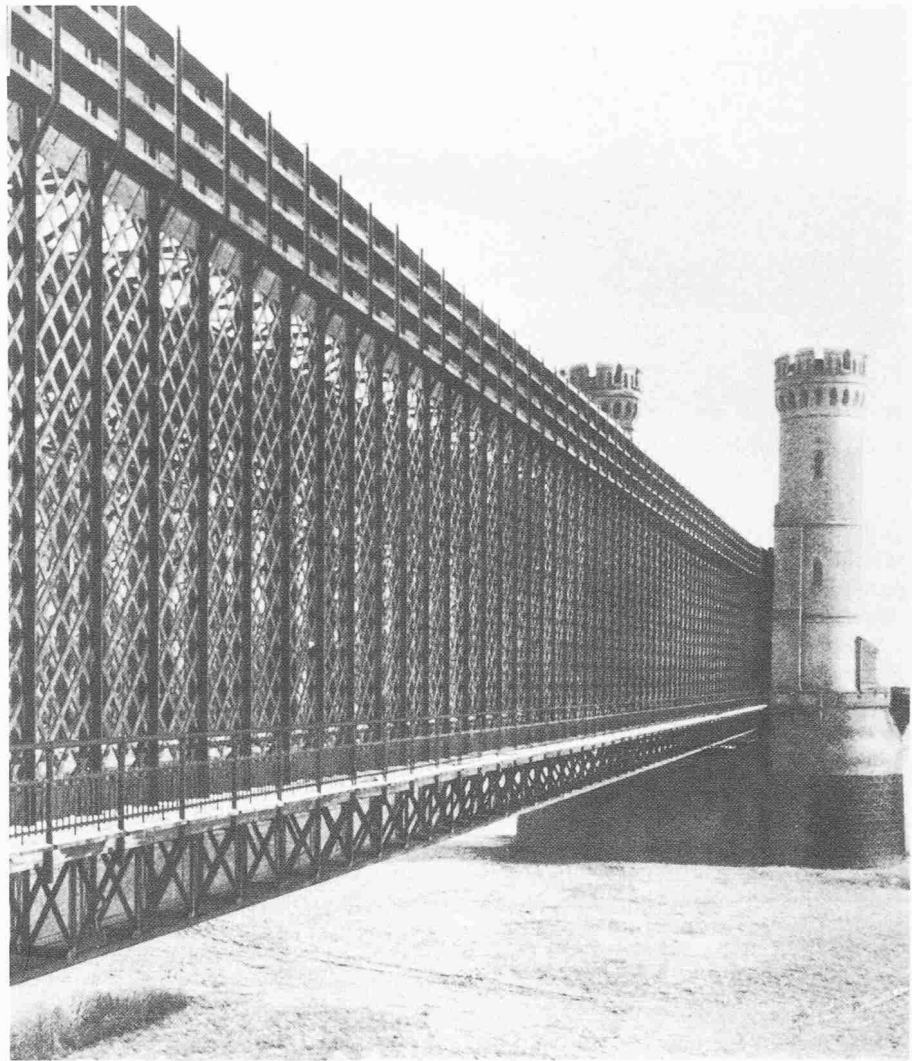
Brooklynbrücke in New York (1883). Spannweite 486 m

brücken, von deutschen Ingenieuren wie *Pauli, Gerber, Schwedler* zur Perfektion entwickelt, zeigen eine reiche Vielfalt von Typen (Parallel-, Parabel-, Fischbauch-Träger usw.), die mit Hilfe der fortgeschrittenen *graphischen Statik aus einem theoretischen Kalkül* – möglichst vorteilhafte Verteilung der Zug- und Druckkräfte in den Gurten und Füllstäben – entwickelt sind und die in den historischen Brückenkonstruktionen keine unmittelbaren Vorbilder mehr haben. Damit war eigentlich die *Trennung von Architektur und Brückenkonstruktion besiegelt*. Für unser heutiges Verständnis einigermaßen bizarr sind speziell die Formen des Auslegerträgers (cantilever), nach seinem Erfinder auch *Gerber-Träger* genannt.

Die imposante *Firth-of-Forth-Brücke* in Schottland (1890) hat mit ihren 520 m Spannweite der *Cantilever-Fachwerk-konstruktion* für 40 Jahre den Weltrekord gesichert. Bemerkenswert und aktuell ist sie auch als die erste grosse Fachwerkbrücke mit Druckgliedern aus Flusstahlrohren, eine Bauart, die hier ebenso wie die Dimensionierung der gewaltigen Pfeiler und Kragarme im Hinblick auf die enorm hohe Windbeanspruchung gewählt wurde.

Dass die Brückenbauer der Fachwerkera mit sichtlichem Ehrgeiz auch eine der *Umgebung des Bauwerks angepasste, ästhetisch befriedigende Gestaltung* anstrebten, zeigt sich in der zunehmenden Beliebtheit der Fachwerkbogenbrücke. Bei der ersten Vertreterin dieser Gattung in Deutschland, der *Rheinbrücke in Koblenz-Pfaffendorf* (1864), waren es national-romantische Assoziationen, die über dem Rheinstrom einen Bogen verlangten. Der Fachwerkbogen erfährt je nach der Topographie eine Fülle von Abwandlungen in der Anordnung der untergehängten oder aufgeständerten Fahrbahn, im Übergang von der Stromöffnung zu den Flutöffnungen usw.. Diese formalen Lösungen sind für den interessierten Laien funktionell einleuchtender als die in einer statischen Spekulation ausgeklügelten Stabkombinationen des Fachwerkbalkens. Trotzdem bleibt auch bei den eindrucksvollsten Bogenfachwerkbrücken des ausgehenden 19. Jh. etwas, was den Zeitgenossen unerklärlich bleiben musste. So ist z. B. nicht ohne weiteres erkennbar, warum bei der *Garabit-Brücke* von *Eiffel* die Form des an den Auflagern nadelscharf zugespitzten Zweigelenkbogens gewählt wurde, während die *Wuppertal-Brücke* bei *Müngsten* umgekehrt als eingespannter Bogen ausgeführt wurde, der zum Scheitel hin unwahrscheinlich dünn wird.

In welchen *Widerspruch von ästhetischer Ambition und konstruktiver Gewaltlösung* die Brückenkonstrukteure um die Jahrhundertwende geraten konnten, bedingt durch den für die ge-



Weichselbrücke bei Dirschau. Erste deutsche eiserne Grossbrücke (1857). Stützweite 131 m. 1940 zerstört

steigerten Anforderungen noch unzulänglichen Stand der Berechnungsmethoden, zeigt sich in den Vorprojekten für die Brücke über den Hudson in New York, die sich über 20 Jahren hinstreckten – ganz abstruse Kombinationen aus Hängeseil, Fachwerkbalken, Sichelträger, Cantilever, kurzum aus dem ganzen Repertoire, das die Ingenieure im 19. Jh. erarbeitet hatten. Die ausgeführte *Georg-Washington-Brücke*, vom Schweizer Ingenieur *O. H. Ammann*, mit der schliesslich 1931 die 1000-m-Grenze bezwungen wurde, ist demgegenüber von einer strahlenden Klarheit der Form – das Ergebnis nicht einer besonderen Gestaltungsabsicht, sondern einer echten Ingenieurleistung; nur durch die weit vorangetriebene rechnerische Erfassung und Beherrschung aller Kräfte und Verformungen war es möglich geworden, die zeitlose Form der reinen Hängebrücke in einer unerhörten Dimension zu verwirklichen und ihre Sicherheit zu garantieren.

Architekt und Ingenieur

Wie weit hier der Ingenieur den Architekten hinter sich gelassen hatte, das

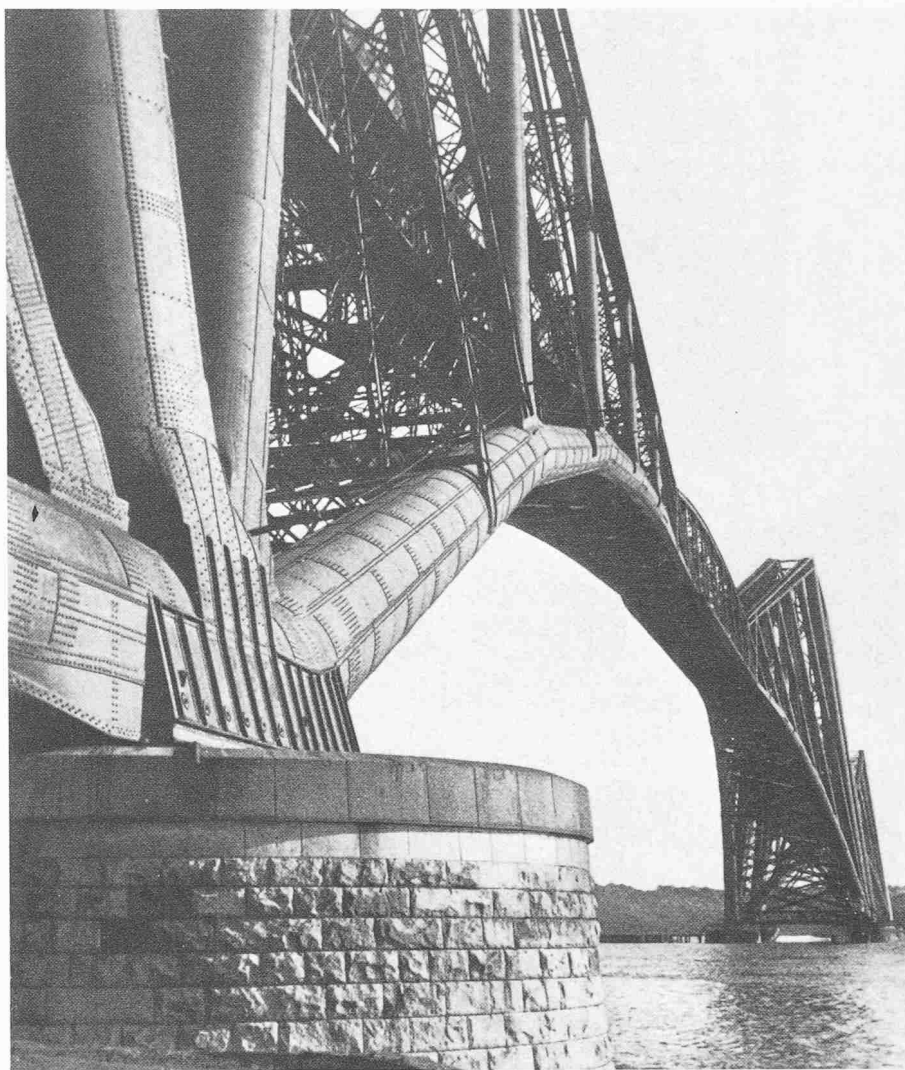
wird deutlich, wenn man den als stählernes Raumfachwerk ausgebildeten New Yorker Pylon vergleicht mit dem nur wenige Jahre später von prominenten deutschen Architekten ausgearbeiteten Entwürfen für den massiven, ca. 160 m hohen Pylon der von Hitler geplanten utopischen Elbe-Hochbrücke in Hamburg – sie muten uns z.T. heute noch wie *Operndekorationen* an, obwohl inzwischen die internationale Architektur insgesamt einen Trend zum Opernhäuslichen angenommen hat. Gegenüber diesen Projekten wirken die *Tortürme der Conway-Castle-Brücke* von 1826 bezaubernd einfach. *Telford* hat sie ganz unbefangen von der benachbarten Burg übernommen – im Denkmalreiz stehen sie dem Original nicht nach. Der aus Granitquadern aufgeführte Pylon der Brooklyn-Brücke in New York hat eine ähnliche Überzeugungskraft, *Roebeling* hat mit der Wahl des Spitzbogens für die verdoppelte Durchfahrtsöffnung der zweibahnigen Strassenbrücke einen sicheren Instinkt bewiesen – ein verdoppelter Rundbogen hätte unweigerlich komisch gewirkt.

Als ein *Tiefpunkt in der oft beklagten «Kluft» zwischen Architekt und Ingenieur* ist der *Torturm der Nibelungen-*

brücke in Worms (1897) anzusehen. Hier könnte das böartige Scherzwort der Bauingenieure entstanden sein «Architektur ist das, was man weglassen kann». Das Portal der *Elbebrücke in Hamburg* (1887) hatte sich noch eher mit der Stahlkonstruktion der schlängelförmig gekrümmten «Lohse-Träger» verbunden, die zu einem Wahrzeichen Hamburgs geworden sind. Der Architekt legte vorsorglich sein Brückenportal zweitörig an. Die zweite Töröffnung wies lange Zeit ins Leere, die Verdoppelung der Fahrbahn liess 40 Jahre auf sich warten.

Dass die Mitwirkung von Architekten an Brückenbauwerken aber nicht auf applizierte, mehr oder weniger mittelalterliche Türme beschränkt blieb, sondern dass sich schon um die Jahrhundertwende eine echte Zusammenarbeit mit dem Ingenieur anbahnte, dafür ist die *Rheinbrücke von Mainz-Kastel* ein schönes Beispiel; hier hat der Architekt *F. v. Thiersch* das Verhältnis der Spannweiten und die feine Kurve der Brückenfahrbahn bestimmt; sie galt mit Recht damals als die schönste deutsche Stahlbrücke (1898).

Bei der *Hindenburg-Brücke in Köln* (1916), einer Kettenbrücke, wo für die Traglieder zum erstenmal *Nirostastahl* verwendet wurde, hat ein Architekt nicht nur beim Entwurf des Tragwerks, sondern auch bei der Detaildurchbildung der Stahlkonstruktion mitgewirkt. Die *Köln-Deutzer-Brücke*, die nach dem Krieg an der gleichen Stelle entstand, konstruiert vom Altmeister der Inge-



Eisenbahnbrücke über den Firth of Forth in Schottland (1890)



George Washington-Brücke in New York (1931)



Nibelungenbrücke bei Worms (1897)

nieurbaukunst, *F. Leonhardt*, zeigt in der Schlankheit ihrer vollwandigen Stahlträger und in ihren eleganten Konturen einen bemerkenswerten Fortschritt gegenüber den bei den Autobahnbrücken des Dritten Reiches mit einer gewissen Einseitigkeit bevorzugten, streng geradelinigen und parallelflanschigen Blechträgerbrücken. Die Luftaufnahme von Köln dokumentiert eindrucksvoll das erfolgreiche Bemühen um die gute Einfügung der neuen Brücken in das Stadtbild – die *Severinsbrücke* mit dem A-förmig gespreizten Pylon ist die bekannteste Leistung des Brückengestalters *G. Lohmer*; doch lässt sich dieses Bild nicht mit den früher gezeigten historischen Stadtbildern vergleichen. Man spürt, dass diese Brückenkonstruktionen einer lebhaften und anhaltenden Entwicklung entsprungen und unterworfen sind und keinen Anspruch auf ewige Dauer erheben.

Neben Köln und Hamburg ist wohl *Köln* die für die Geschichte des Brückenbaus ergiebigste deutsche Stadt. Die *Balduinbrücke über die Mosel*, im 14. Jh. erbaut, gehört mit *Regensburg* und *Würzburg* zu den grossartigen mittelalterlichen, ehemals mit Türmen bewehrten Brückenanlagen. Sie wurde 1880 verbreitert – man setzte schmale Fussgängerstege mit einem Parallelfachwerkträger aus Stahl auf die Vorsprün-

ge der Stropfweiler – eine Behelfsmassnahme, die sich als langlebig erwies und die heute schon einen gewissen Denkmalreiz hat.

Stahlbeton und Stahl

Für eine neue *Strassenbrücke über die Mosel* wurde 1929 ein Firmenwettbewerb ausgeschrieben – ein spannendes Kapitel in dem zähen Wettbewerb zwischen Stahlbeton- und Stahlkonstruktion, der für die damalige Entwicklungsstufe des Brückenbaus charakteristisch ist. Der Wettbewerb wurde zweimal wiederholt – in der letzten Runde lagen ein Stahl- und ein Stahlbetonprojekt dicht beieinander an der Spitze. Dass schliesslich der Stahlbeton den Sieg davontrug, das lag an der personellen Besetzung des Preisgerichts. Amüsant ist es im Protokoll zu lesen, dass... «die Eisenbetonbrücke mit ihren schlanken Bogen das Stadtbild gefällig rahmend... reizvoll offen lässt» und besser mit der *Balduinbrücke* harmoniert als «das einförmig hohe Band des Stahlbalkens», das «schwer auf dem Strom lastet».

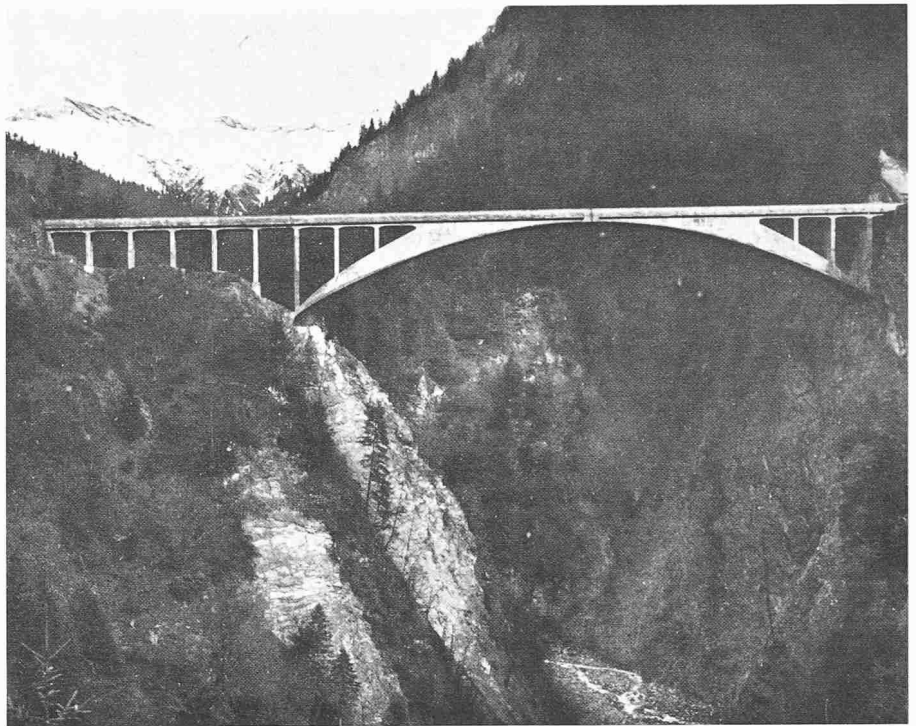
Die im Jahre 1934 fertiggestellte *Kölnener Moselbrücke* ist ein Markstein in der Entwicklung des Stahlbetonbaus. Der mittlere von den Dreigelenkbogen

war 120 m weit gespannt, die Aufständigung der Fahrbahn war verdeckt durch eine massive Wandung in den Bogenwickeln. Auch mit dieser «massiven» Brücke wurden die Bomben fertig und als man sie 1953 neu aufbaute, war der Spannbeton soweit gediehen, dass man sie genau in der alten Form, aber nun konstruktiv eleganter und sinnvoller als einen gewaltigen Kastenträger ausbilden konnte, der von den Pfeilern zu den Scheitelpunkten hin auskragt. An dieser Umbaumassnahme werden die Vorzüge der Spannbetonbauweise, Wegfall des Lehrgerüsts und der Schwierigkeiten im Ausgleich der Horizontalschübe evident.

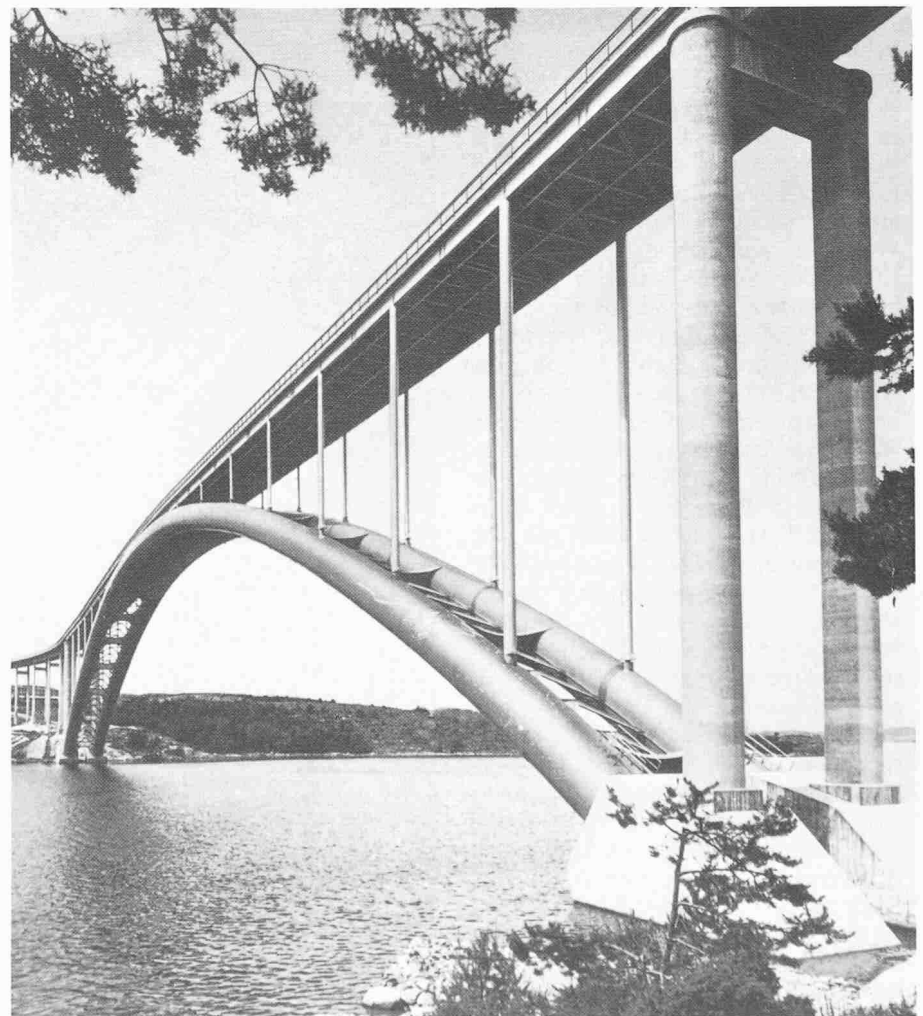
In der Geschichte des Brückenbaus, etwa von 1930 an, ist es erstaunlich, dass sowohl der Stahlbetonbau, der schon 1916 mit der *Langwieser Brücke* in der Schweiz die 100-m-Marke erreicht hatte, ebenso wie der Stahlbau noch weit in die 60er Jahre hinein an der Bogenbrücke festhielt – mit technisch wirtschaftlichen Gesichtspunkten allein ist dies kaum zu erklären.

Als schöpferische Leistungen sind die *Stahlbeton-Dreigelenkbogen- und Stab-bogenbrücken* des Schweizer Ingenieur-Architekten *Maillart*, Bauten wie die *Salginatobel-* oder die *Schwandbachbrücke* (1930, 1933), unübertroffen. Die Erste ist ein Beispiel dafür, wie unge- wohnt neue Tragwerkformen auch für

Fachleute lange Zeit geblieben sind: Die Aufsichtsbehörde zwang Maillart, eine massive Geländerbrüstung aufzusetzen, die den Eindruck der rassigen, insektenhaften Schlankheit abschwächt; man fürchtete, das «statische Gefühl» des Betrachters könnte verletzt werden. Auch die Stahlbauer vollbrachten vor allem in den USA noch einige Glanzleistungen von Fachwerkbogen: Die *New Yorker Kill-von-Kull-Brücke* mit der Rekordspannweite von 496 m (1931) und die *Glen Canyon-Brücke in Arizona* (1958). Besonders eindringlich zeigt sich das Ringen um die kühnste Brückenlösung in der Gegenüberstellung der beiden grossen schwedischen Bogenbrücken: Die aus einem gewaltigen Zwillings-Stahlrohr über 288 m frei vorgebaute *Tjörn-Brücke* (1960) und die 269 m weit gespannte *Sandöbrücke*, die auf einem eingeschwommenen hölzernen Lehrgerüst betoniert werden sollte, das während des Bauvorganges aus ungeklärten Gründen einstürzte (1939) und achtzehn Arbeitern das Leben kostete. Mit dieser Katastrophe hatte die auf *Vollschalung gegossene Stahlbetonwölbung* wohl ihre innere Berechtigung verloren. Welch enormer Aufwand ein solches Schalungsgerüst darstellt, das kommt suggestiv zum Ausdruck in dem Bild von der Einrüstung der *Aglio-Brücke* in der *Autostrada del Sole* – sie ist imposanter als die ausgeführte Brücke. Das bekannte Bild der *Autobahnbrücke in Limburg* (1938/41), die als die schönste deutsche Autobahnbrücke galt, wirkt leise antiquiert und ich glaube, wir können hier ein Kriterium für die heutige Gestaltung von Brücken ableiten, worin diese sich von der Architektur unterscheidet: Das Ingenieurbauwerk muss nicht nur die Einheit von Funktion, Konstruktion und Form spüren lassen, sondern darüberhinaus die Ökonomie, d. h. ein optimales Verhältnis von Aufwand und Wirkung, und zwar realisiert mit den fortgeschrittenen technischen Errungenschaften seiner Entstehungszeit. Wenn es diesen Kriterien standhält, dann veraltet es nicht, sondern behält die Frische der Errungenschaft. Dies trifft in höherem Masse zu z. B. für den *Göltzschtal-Viadukt in Sachsen* (1850) oder für den etwa gleichzeitig entstandenen *Chaumont-Viadukt in Frankreich* – beide Bauwerke brauchen den Vergleich mit dem Pont du Gard nicht zu scheuen. Die Bogen der Limburger Brücke sind im Krieg zerstört worden und wurden zunächst durch eine Behelfskonstruktion aus Stahlfachwerk-Trägern ersetzt. Die heutige Brücke, als Spannbetonkonstruktion im Freivorbau mit Abspannung ausgeführt (1963), lässt nun wirklich das Lahntal «reizvoll offen», lastet nicht auf der Landschaft und harmonisiert besser mit dem Limburger Dom, weil sie ihm nicht mehr Konkurrenz macht.



Salginabrücke bei Schiers von Robert Maillart (1930)



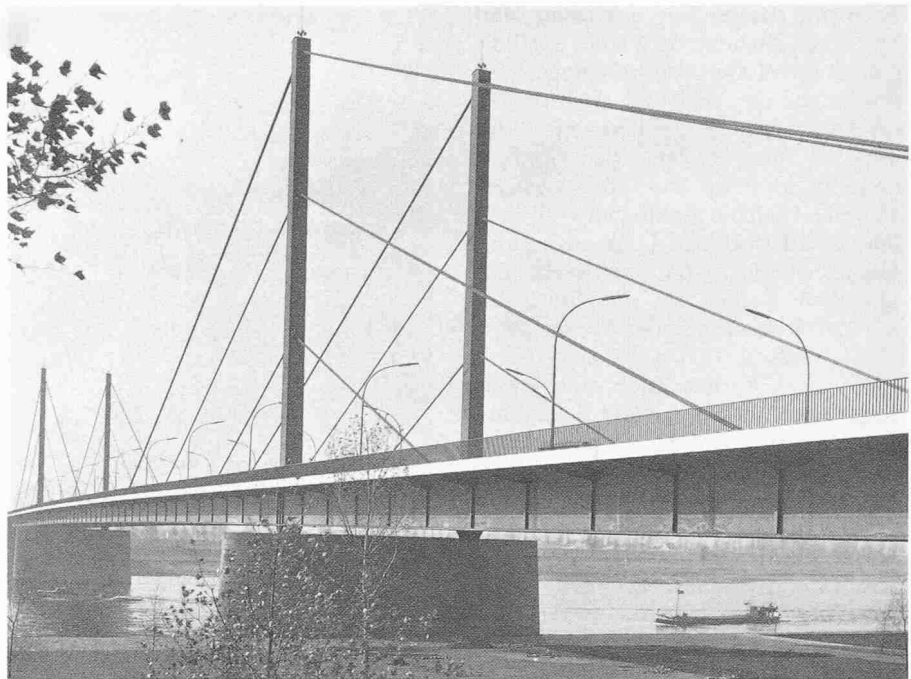
Tjörnbrücke in Schweden (1960)

Neuere Entwicklungen

Abschliessend ein summarischer Überblick über neuere Entwicklungen – soweit sie mir für eine gewandelte Auffassung von Brückengestaltung wichtig erscheinen: Im *Stahlbrückenbau* ist, nachdem die 1000-m-Grenze auch in Europa verschiedentlich überschritten wurde, an die Stelle der Hängebrücke bei mittleren Spannweiten die *Schrägseilbrücke* getreten. Ein schönes und frühes Beispiel ist die *Nordbrücke in Düsseldorf*, mitgestaltet von dem Architekten *Tamms* (1958). Die sogenannte *Mittelträgerbauweise*, bei der die parallelen oder konvergierenden Seile nur in einer Ebene zwischen den beiden Fahrbahnen angeordnet sind (*Leverkusen, Bonn-Nord*) und die zum erstenmal 1937 bei dem Wettbewerb um die *Elbe-Hochbrücke* in einer der rivalisierenden Stahlbauanstalten als Alternativvorschlag konzipiert wurde, leuchtet mir persönlich nicht recht ein; ich sehe darin eine gewisse Verarmung in der räumlichen Qualität. Interessanter und wohl auch für die Quer- und Torsionssteifigkeit der Fahrbahn günstiger erscheinen mir die Lösungen, bei denen zwei Seilebenen in Verbindung mit einem A-förmigen Pylon sich gegeneinander neigen. Noch überzeugender ist diese räumliche Wirkung bei den «*Nielsen-Rohrbrücken*» mit untergehängter Fahrbahn, z. B. bei der bekannten, 250 m weit gespannten *Fehmarnsund-Brücke* (1963). Das *Vordringen der Rohrprofile* ist ein unverkennbarer Trend in der Stahlkonstruktion, der sich neuerdings auch im Hallen- und Hochbau stark bemerkbar macht.

Wie rasch man sich an den reizvollen Effekt der *Nielsen-Bauweise* gewöhnt hat, zeigt der Verbesserungsvorschlag, den der Kollege *Tiedje* für eine Strassenüberführung in Stahlbeton über die Autobahn gemacht hat – die konventionelle Lösung mit zwei parallelen Bogen wirkt dagegen ausgesprochen langweilig. Vergleicht man diesen Gestaltungsvorschlag mit einer etwa zehn Jahre jüngeren Lösung der gleichen Aufgabe in Spannbeton, die *Wegüberführung Sonnenberg bei Wuppertal*, so wirkt dieses Jonglier-Kunststück mit der Aufständischerung der vom Tragbogen losgelösten Fahrbahn unangenehm und unzeitgemäss.

Eine echte Ingenieurleistung und -lösung, wie die *Po-Brücke bei Cremona* (1958) mit ihren vierbeinigen Tischpfeilern und den eingehängten Fertigbalken, mag, verglichen mit klassischen Brückenschöpfungen, auf den ersten Blick spröde und primitiv erscheinen, sie hat aber in der Entschiedenheit, mit der sie den gebieterischen Forderungen der konstruktiven Rationalität nachkommt, etwas Grossartiges, und sie wird ihre Ausdruckskraft für die von



Nordbrücke in Düsseldorf (1958), Teil der Stadtautobahn

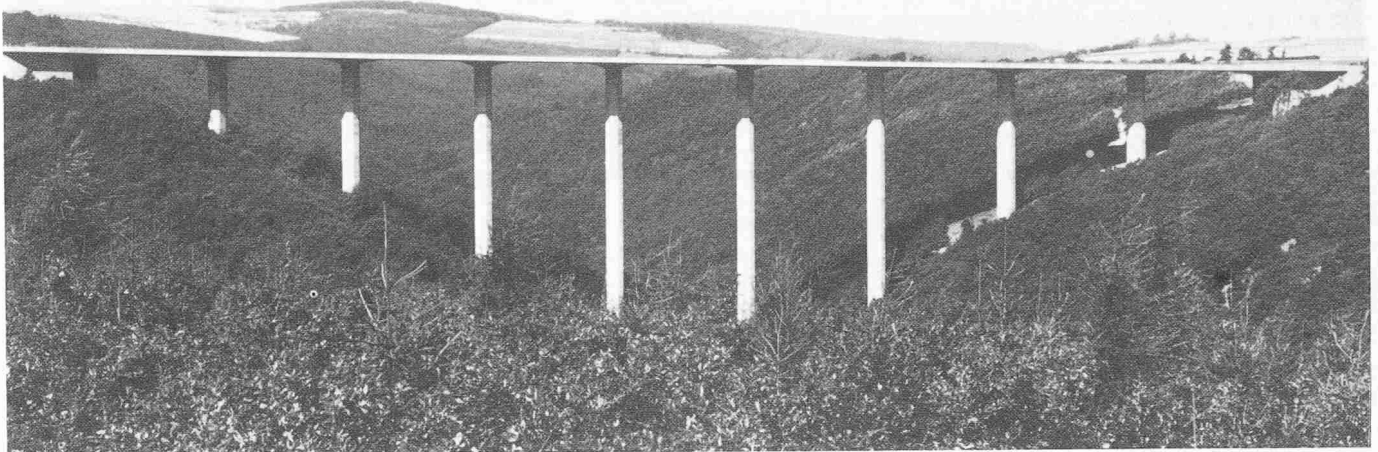
ihr zu erwartende Lebensdauer behalten.

Der *Spannbeton* hat einen entscheidenden Antrieb erfahren und findet seinen überzeugendsten Formausdruck in den neuartigen Aufgaben, die sich von den Massstäben und Zielsetzungen der alten Brückenbaukunst weit entfernen – die städtischen Hochstrassen und Verkehrskreisel, die kilometerlangen Tal-

übergänge und Gebirgsstrecken der Autobahn, die Übergänge über Meerengen und Meeresbuchten. Hier kommt es nicht mehr auf die Rekordspannweite an, hier haben wir keine in sich geschlossenen überschaubaren Bauwerke mehr vor uns mit einem ausgewogenen Verhältnis von Weite und Höhe, von Pfeiler und Öffnung, sondern ein *breites Verkehrsband*, das sich durch die



Brücke über den Fehmarnsund (1963)



Elztalbrücke (1965). Spannbeton-Pilzkonstruktion mit Vorschubgerüst

Gegend oder über das Wasser spannt und das rationell und mit möglichst geringen Eingriffen in die Topographie unterstützt werden muss. Dabei spielt in der Wirtschaftlichkeit wie für die Schonung der Landschaft der Freivorbau die entscheidende Rolle: die Fahrbahn schiebt sich selbst vor; die *Brücke ist also Bauwerk und Gerüst in einem und sie gewinnt dadurch eine neue Dimension im formalen Ausdruck*. Einige neuere Brückenbauwerke, ein kleines, ein mittleres und zwei grosse, mögen dies verdeutlichen: Der *Fussgängersteg in Durham*, von *O. Aarup*, der – aus

zwei am Ufer aufgestellten Y-förmigen Fertigteilen zusammengedreht – in der Straffheit seiner Erscheinung ausgezeichnet mit dem Vierungsturm der Kathedrale harmoniert; die *Elztalbrücke* mit ihren bis zu 100 m hohen Stützen, wo sich das Prinzip der Pilzdecke mit dem Freivorbau verbindet; die *Siegtalbrücke Eiserfeld* mit den charakteristischen Pfeilerköpfen für die Vorschubrüstung und schliesslich die *Brücke über den See von Maracaibo* in *Venezuela* von *R. Morandi*.

Wenn diese im wahren Sinne des Wortes funktionelle Entwurfsauffassung –

die Form als eindeutiges markantes Ergebnis von zeitgerechter Konstruktion und rationeller Fertigung – auch im Hochbau sich durchsetzen würde, so könnte man die alte Einheit von Architektur und Brückenbaukunst vielleicht wiedergewinnen oder wenigstens ihr näher kommen.

Adresse des Verfassers: Prof. *F. Hart*, Dr. ing. E.h., Institut für Baukonstruktion, Lehrstuhl für Hochbaukonstruktion und Baustoffkunde, Technische Universität, Aresstr. 21, D-8 München 2.