Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 83 (1965)
Heft: 20

Artikel: Moderne Stahl- und Betonbrücken: Vortrag
Autor: Leonhardt, F.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-68156

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: 26.07.2025

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

ORGAN DES SCHWEIZERISCHEN INGENIEUR- UND ARCHITEKTEN-VEREINS S.I.A. UND DER GESELLSCHAFT EHEMALIGER STUDIERENDER DER EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE G.E.P.

Moderne Stahl- und Betonbrücken

DK 624.21

Von Professor Dr.-Ing. **F. Leonhardt,** Stuttgart

Vortrag gehalten am 17. Oktober 1964 an der ETH anlässlich der Studientagung über aktuelle Ingenieurprobleme, durchgeführt von der S. I. A.-Fachgruppe der Ingenieure für Brückenbau und Hochbau

1. Einleitung

In den letzten Jahren ist die Zahl der jährlich zu bauenden Brücken durch die Erfordernisse des Verkehrs enorm gewachsen. Brücken entstehen dabei nicht nur für neue, sondern in erster Linie durch den Um- und Ausbau alter Verkehrswege für die heutigen Anforderungen im Hinblick auf kreuzungsfreie und zügige Linienführung. Die dabei gestellten Aufgaben sowie der ständige Wettbewerb im Entwerfen und bei der Bauausführung führten zu einer raschen und interessanten Entwicklung mit beachtlichen Fortschritten, die im folgenden skizziert werden soll.

Im grossen gesehen ist die Entwicklung wie folgt gekennzeichnet:

1. Es werden fast nur noch *Balkenbrücken* gebaut, weil sich die Bogenbrücke infolge des erhöhten Arbeitsaufwandes meist als teurer erweist. Die Schweiz macht darin eine Ausnahme, weil in engen Gebirgstälern die Voraussetzungen für Bogen oder Sprengwerke besonders günstig sind. Hängebrücken bleiben auf sehr grosse Spannweiten von z. B. über 300 m beschränkt.
2. Für die kleinen und mittleren Spannweiten hat sich der Spannbeton gegenüber dem schlaff armierten Stahlbeton und gegenüber Stahl durchgesetzt.
3. Die Stahlbrücken eignen sich für die grossen Spannweiten von etwa 100 m an. Sie werden auch dann gerne gewählt, wenn z. B. für die Überquerung von Eisenbahnen Gerüste vermieden werden müssen.

2. Spannbetonbrücken

2.1. *Die Entwicklung der Tragsysteme*

Bei den Balkenbrücken aus Spannbeton ist eine gewisse Entwicklung vom Trägerrost der Plattenbalken zur *Hohlplatte* bzw. zum *Hohlkasten* festzustellen (Bild 1). Diese erlauben eine grosse Schlankheit, wie man sie früher bei dem schweren Baustoff Beton gar nicht für möglich hielt. Mit Spannbeton kann man schlankere Balken bauen als mit Stahl, ohne hinsichtlich der Durchbiegungen und der Schwingungen in Schwierigkeiten zu geraten. Die Hohlplatten oder Hohlkasten eignen sich ausserdem für gekrümmte Brücken, die häufig vorkommen, weil sich die Brücke heute den Erfordernissen der Linienführung unterordnen muss. Die Eignung für gekrümmte Balken beruht auf der Torsionssteifigkeit der Hohlkasten, die auch dazu benützt wird, den Balken nur entlang seiner Mittelaxe abzustützen und so den Raum unter der Brücke weitgehend frei zu halten, was bei den städtischen Hochstrassen von Vorteil ist.

Die untere Platte der Hohlkasten vermindert zudem die Gurtspannung unter Eigengewicht und ergibt daher eine kleinere Verformung, vor allem eine kleinere Kriechverformung (Bild 2). Manche Spannbetonbrücke, insbesondere in Frankreich, zeigte im Lauf der Zeit erhebliche Kriechverformungen, so dass die Ebenheit der Fahrbahn sichtbar beeinträchtigt wurde, was für moderne Strassen untragbar ist. Man muss daher allzu hohe einseitige Eigengewichtsspannungen vermeiden, wie sie bei Plattenbalken mit ihrem schwachen Zuggurt gerne auftreten. Diese dauernden Spannungen sind besonders hoch und schädlich, wenn man das Bauwerk für sogenannte volle Vorspannung bemisst, bei der keine Zugspannungen unter voller Verkehrslast zugelassen sind.

Es steht heute eindeutig fest, dass für Strassenbrücken die beschränkte Vorspannung richtiger ist, bei der die Druckspannungen im überdrückten Zuggurt unter Eigengewicht mässig, aber immerhin so gross sind, dass bei den häufig vorkommenden Verkehrslasten, die je nach Spannweite und Strassenart zwischen 30 und 50% der vollen Verkehrslasten liegen mögen, noch keine Zugspannungen auftreten, während für Vollast, die ja nur äusserst selten oder nie zur Wirkung kommt, Zugspannungen und vielleicht sogar feine Haarrisse unbedenklich sind, wenn die erforderliche Bruchsicherheit gegeben ist.

Wenn Hohlkasten stark auf Torsion beansprucht werden, dann ist es nötig, die schiefen Hauptzugspannungen mit engen Bewehrungsnetzen zu decken, was bis zu hohen Spannungswerten von etwa 0,1 β_w nicht schwierig ist. Die Grenze der Torsionsspannungen wird nicht durch die Zugkomponente, sondern durch die Druckkomponente gegeben. Dabei ist zu beachten, dass die tatsächlichen schiefen Druckspannungen in den Betonstreben zwischen den Torsionsrissen wesentlich grösser werden können als die für Zustand I gerechneten. Dies wurde bei Versuchen am Otto-Graf-Institut festgestellt, über die *R. Walther* auf dieser Tagung kurz berichtet hat[1]).

2.2. *Zur Fertigungstechnik*

Durch die steigenden Löhne gewinnt die Fertigungstechnik einen zunehmenden Einfluss auf den Entwurf der Spannbetonbrücken. Man versucht mehr und mehr, die Brücken so zu gestalten, dass bei der Ausführung gleiche Arbeitsgänge im Taktverfahren möglich werden. Dabei kann man entweder Teilstücke vorfertigen oder auch das Taktverfahren bei Ortbeton anwenden. In Mitteleuropa hat sich im Brückenbau das Bauen mit Ortbeton gut behauptet, während in manchen anderen Ländern, vorzugsweise in Frankreich, den USA und in Russland, das Bauen mit Fertigteilen im Vordergrund steht. Die Entscheidung darüber, welche der beiden Bauarten zu wählen ist, sollte man rein von der Wirtschaftlichkeit abhängig machen. Der Wettbewerb zwischen den beiden Bauarten ist zudem für die Begrenzung

[1]) Vortrag von Dr. R. Walther veröffentlicht in SBZ 1965, H. 1, S. 4 und H. 2, S. 13.

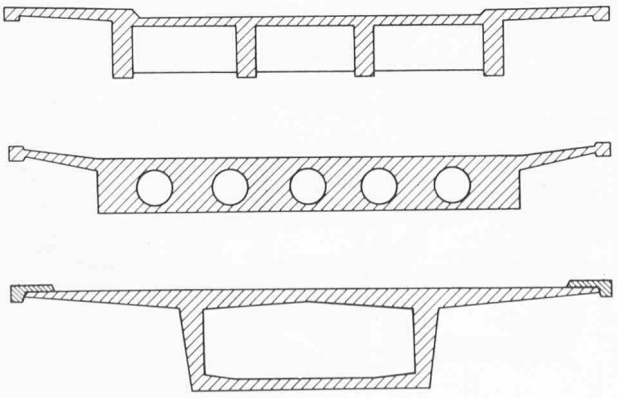


Bild 1. Die Entwicklung der Brückenquerschnitte vom Trägerrost zur Hohlplatte und zum Hohlkasten

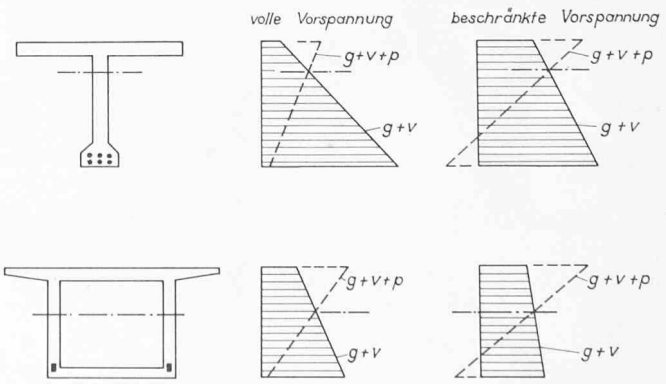


Bild 2. Hohlkasten zeigen kleinere ständige Druckspannungen und damit kleinere Kriechverformungen

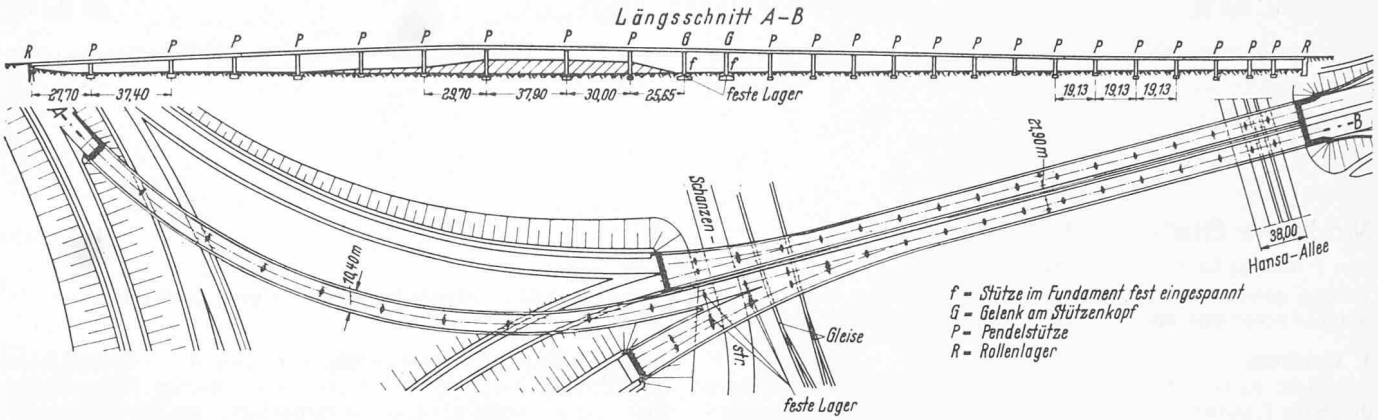


Bild 3. Grundriss einer verzweigten Hochstrassenbrücke mit kontinuierlichen Trägern über 34 Oeffnungen hinweg (Prinzenallee, Düsseldorf)

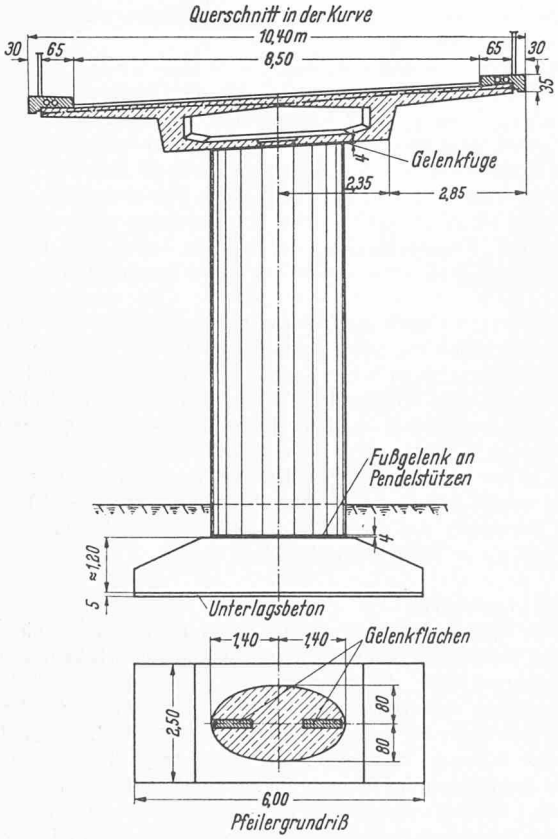


Bild 4. Querschnitt: Hohlkasten auf Pendelstützen

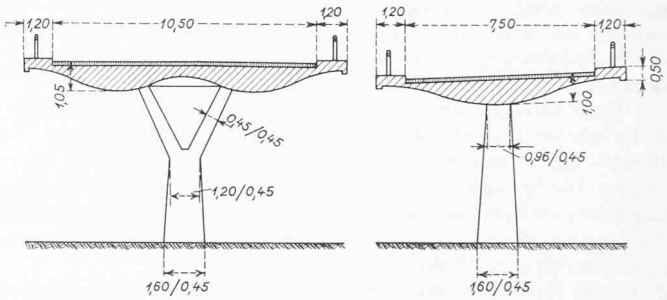


Bild 5. Querschnitte der Hochstrasse am Jahn-Wellem-Platz in Düsseldorf

Bild 7. Gegenbeispiel: amerikanischer Hochstrassen-Slum unter den Brücken (Los Angeles)

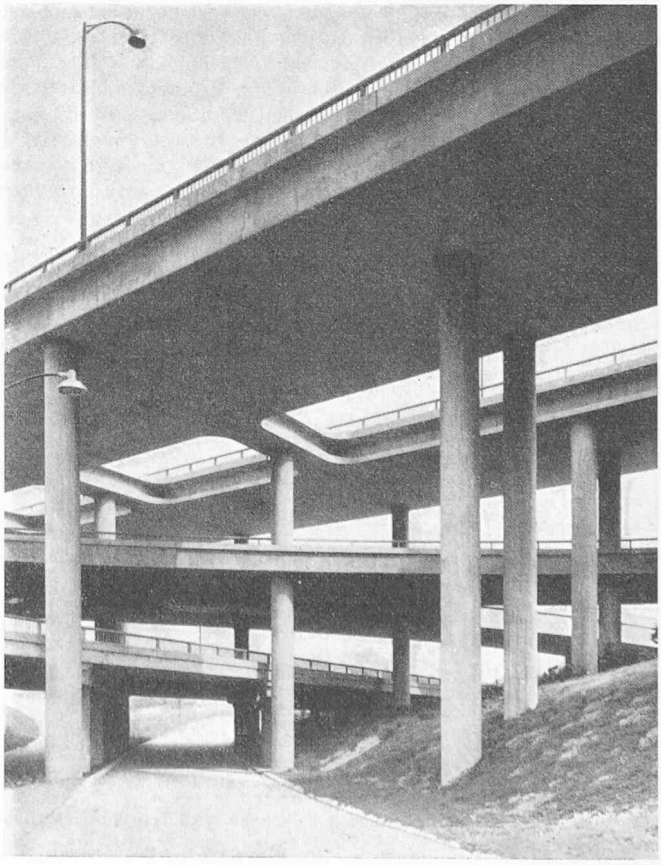
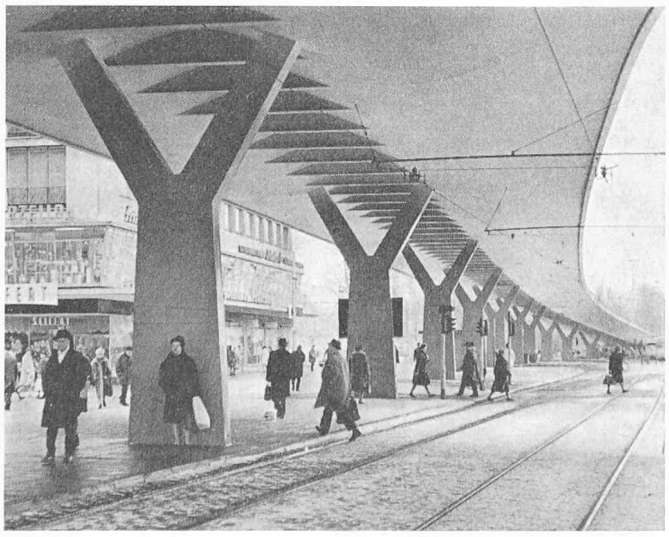


Bild 6 Die Jahn-Wellem-Platz-Brücke beeinträchtigt das städtische Leben des Platzes kaum



der Baukosten förderlich. Dieser Wettbewerb hatte dazu geführt, dass das Bauen mit Ortbeton weniger lohnintensiv geworden ist.

Erstens wurden Rüstung und Schalung stark rationalisiert, indem typisierte Geräte und oftmals wieder verwendbare grossformatige Teile entwickelt wurden. Ich erwähne hier besonders die Lehrgerüste aus Stahlrohren. Selbst bei hölzernen Lehrgerüsten sind grosse Lohnersparnisse durch arbeitstechnische Vorrichtungen und durch Typisierung erzielt worden. Der Lohnaufwand für Rüstung und Schalung konnte gegenüber den vor 15 Jahren noch üblichen handwerklichen Bauarten zum Teil bis auf ein Drittel verringert werden.

Der zweite Grund für die erfolgreiche Verteidigung des Ortbetons ist in den vollautomatischen Betonieranlagen zu sehen, die mit geringem Aufwand an den Baustellen installiert werden können, so dass die Herstellung des Betons am Ort kaum teurer wird als in einer Fabrik.

Dies führte dazu, dass sich bei uns Vorfertigung nur dann lohnt, wenn eine grosse Stückzahl gleicher Teile herzustellen ist, was jedoch bei uns selten vorkommt, weil die beengten Verhältnisse fast regelmässig wechselnde Spannweiten, Schiefwinkligkeit und Kurven bedingen. Grosse Verwaltungen könnten allerdings erreichen, dass wenigstens die kleineren Brücken genormt werden, so dass die hierfür nötigen Balken aus Spannbeton serienmässig hergestellt werden können. Die Deutsche Bundesbahn hat ein entsprechendes Programm für Überführungsbauwerke, die im Zuge der Elektrifizierung notwendig wurden, mit Erfolg durchgeführt.

Bei den *Hochstrassenbrücken*, die in den Städten in zunehmender Zahl gebaut werden müssen, hat sich der über viele Felder kontinuierliche Balken durchgesetzt, der meist Feld um Feld auf Rüstung gebaut wird. Dabei werden die Spannglieder etwa in den Fünftelpunkten der Spannweite gekoppelt. Auf diese Art wurden z. B. in Düsseldorf Hochstrassenbrücken von insgesamt 840 m Länge über 34 Öffnungen hinweg selbst durch Kurven hindurch kontinuierlich gebaut, wobei die Längsbeweglichkeit durch Pendelstützen erreicht wurde (Bilder 3, 4). Anstelle der anfänglich noch breiten eliptischen Pfeiler hat man dabei mehr und mehr schlanke Rundsäulen in der Brückenaxe gewählt und die Anordnung der Stützen in der Kurve zur Aufnahme der Torsionsmomente benützt.

In Düsseldorf war man besonders bemüht, die Hochstrassenbrücke am Jahn-Wellem-Platz so leicht wie möglich erscheinen zu lassen. Man hat dazu den im Bild 5 gezeigten Querschnitt mit wellenförmigem Untergurt gewählt, an dem die Bauhöhe der Brücke gar nicht mehr abzulesen ist. Die äusserst schlanken Stützen wurden aus dicken Stahlblechen geschweisst, so dass die Brückentafel tatsächlich mehr oder weniger über dem städtischen Platz schwebt (Bild 6). Der Brückenbauer ist damit in der Lage, das notwendige Übel solcher Verkehrsanlagen für den Menschen noch erträglich zu gestalten. Manche gegenteiligen Beispiele zeigen, dass man durch ein hässliches Brückengewirr das darunterliegende Gebiet vollkommen unbrauchbar machen kann (Bild 7).

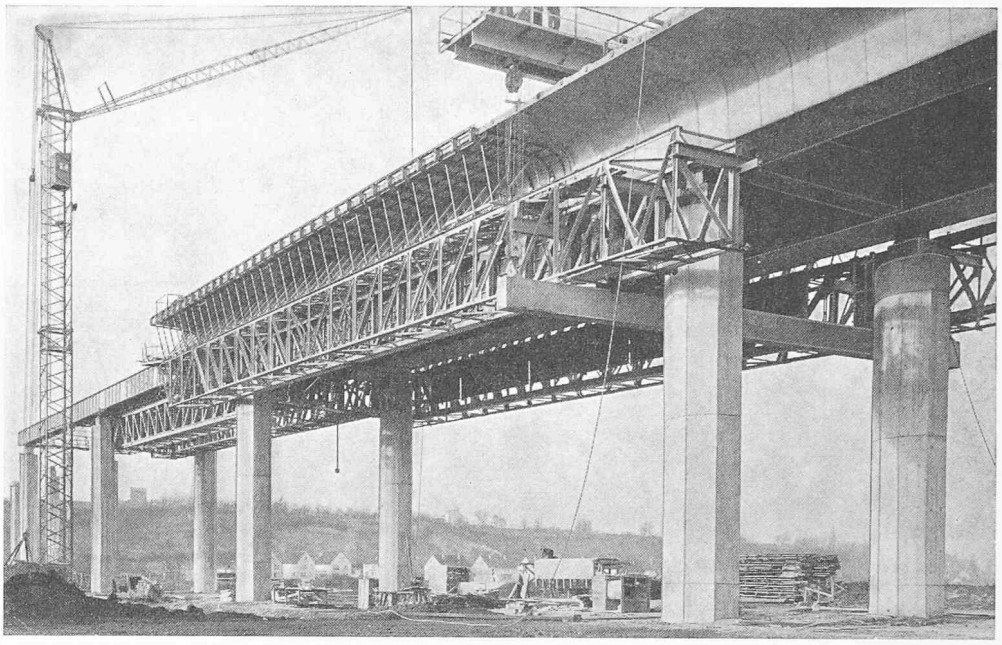


Bild 8. Brückenbaugerät der Strabag Bau AG zur feldweisen Herstellung kontinuierlicher Balken

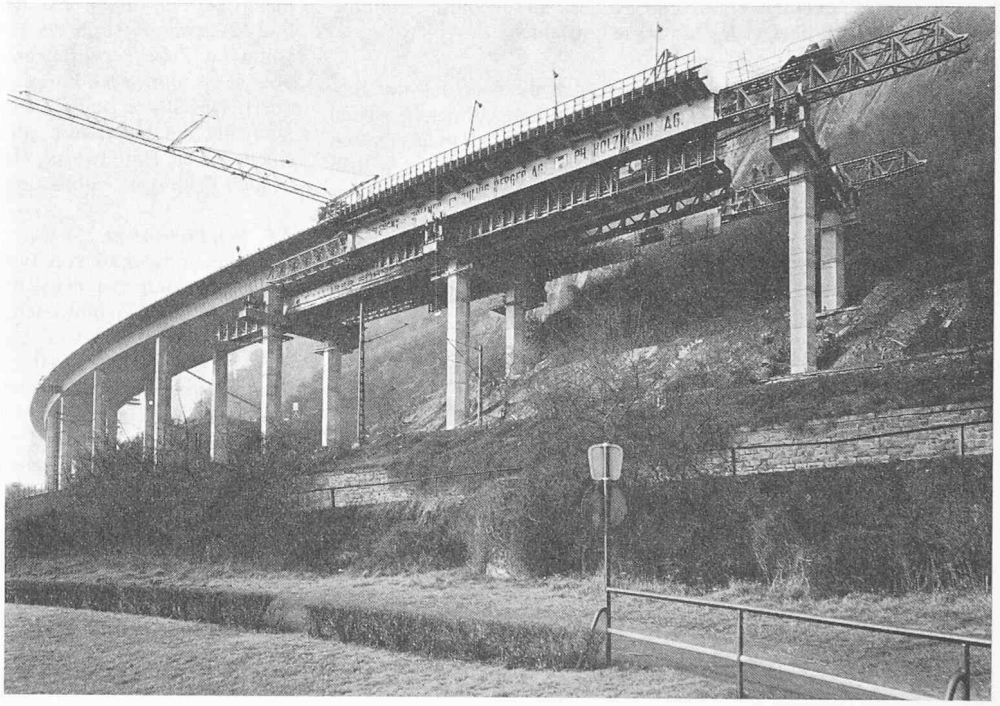


Bild 9. Die verfahrbare Rüstung und Schalung der Polensky & Zöllner AG im Einsatz bei der Kranbergbrücke am Rhein

Hochstrassen oder flache Talübergänge werden heute gerne mit freitragendem stählernem Gerüst gebaut, das man von Öffnung zu Öffnung vorfahren kann. Das erste Beispiel dieser Art, das die Strabag-Bau AG entwickelt hat, zeigt Bild 8[2]). Mit dieser Brückenbaumaschine kann man eine 30 bis 40 m lange Brückenöffnung innerhalb von zwei Wochen herstellen. Schalung und Gerüst wird dann in die nächste Öffnung gefahren. Die Firma Polensky und Zöllner hat eine etwas einfachere Maschine (Bild 9) entwickelt, die für die Brücke am Kranberg-Hang im Rheintal bei Königswinter erstmalig eingesetzt wurde. Auch hier ruht die ganze Rüstung auf den endgültigen Brückenpfeilern, so dass für das freitragende Lehrgerüst keine besondere Gründung nötig wird. Die beiden Maschinen sind bereits laufend im

[2]) Beschreibung der Baumethode in SBZ 1961, H. 6, S. 82, sowie H. 8, S. 122.

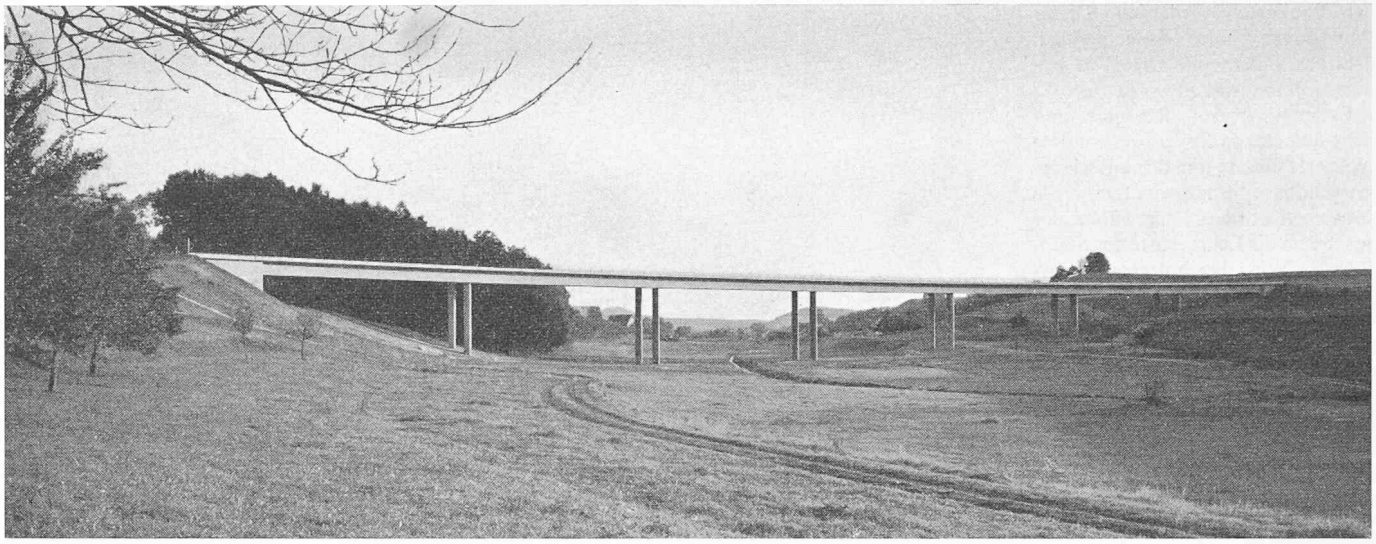


Bild 10. Talbrücke auf schlanken Rundstützen bei Bad Waldsee

Einsatz, so dass sich die nicht unerhebliche Investierung lohnt. Mit diesem «Feld-um-Feld-Bauen» erzielt man ein Taktverfahren und behält die Vorteile des Ortbetons, bei dem der Querschnitt monolitisch hergestellt wird. Mit den koppelbaren Spanngliedern werden dabei die Einzelöffnungen aneinandergespannt, so dass ein fugenloses, kontinuierliches Tragwerk über viele Öffnungen entsteht.

2.3. Die Stützen

Eine interessante Entwicklung zeigt auch die Stützung der Balkenbrücken. Die kräftigen Natursteinpfeiler älterer Brücken passen zweifellos hervorragend in eine gebirgige Landschaft und machen einen sehr vertrauenerweckenden und soliden Eindruck; sie sind jedoch teuer und erfordern den Antransport einer grossen Menge von Baustoffen. Es ist daher nicht zu verwundern, dass der Brückeningenieur, der seine Aufgabe mit einem Minimum an Aufwand leisten will, mehr und mehr zu schlanken Einzelstützen übergeht. In gestalterischer Hinsicht ist es dabei erwünscht, im Querschnitt mit wenigen Stützen, z. B. mit einem Stützenpaar auszukommen, wie dies eine kleine Talbrücke in Oberschwaben zeigt (Bild 10), bei der die schlanke Balkenbrücke mit wenigen Rundstützen über dem Wiesental schwebt. Der Ehrgeiz der Brückenbauer geht nun neuerdings noch weiter, indem bei der Illtalbrücke im Saargebiet ein Querschnitt (Bilder 11 und 12) gewählt wurde, der es erlaubt, mit nur einer schlanken Mittelstütze im Zuge der Brückenaxe auszukommen, obwohl die Brücke über sechs Öffnungen hinweg in gerader Linienführung das Tal überquert. Die Stütze ist immerhin noch so breit, dass sie die Torsionsmomente des Überbaues aufnehmen kann. Der Überbau zeigt nur einen dicken Hauptträger, und die Fahrbahn ist mit seitlich ausladenden Fachwerken abgestützt, die einen Hohlkasten bilden.

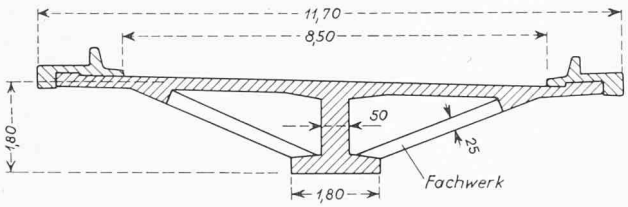
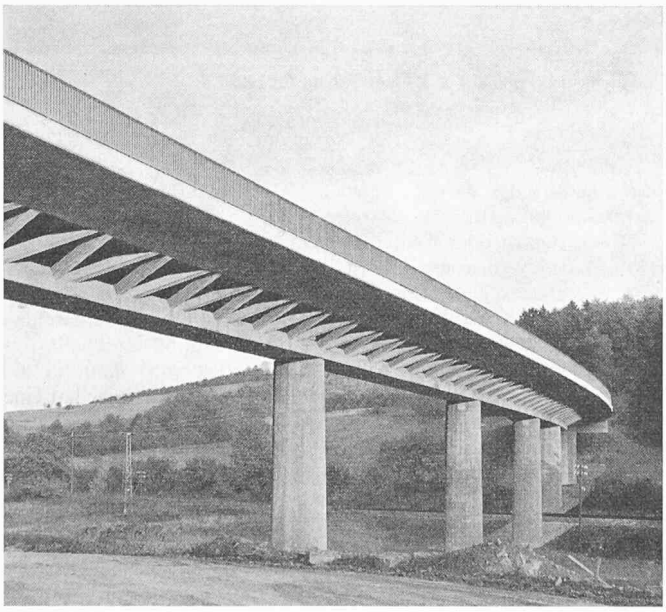


Bild 11. Illtalbrücke im Saargebiet: Querschnitt

Bild 12. Ansicht der Illtalbrücke



2.4. Der Freivorbau

Der Freivorbau von Balkenbrücken aus Spannbeton, mit dem schon frühzeitig bei der Rheinbrücke Worms und bei der Moselbrücke Koblenz Spannweiten bis rund 120 m erzielt wurden, hat weitere Fortschritte gemacht. Das Vorbaugerät, mit dem die Schalung für den nächsten Brückenabschnitt über das bereits fertige Brückenteil hinaus ausgekragt wird, konnte weiter vereinfacht werden. Statt wie früher am Gegengewicht, wird das Kraggerüst nunmehr am fertigen Balkenteil verankert. Mehr und mehr werden auch parallelgurtige Balken im Freivorbau hergestellt (Bild 13), indem die vorkragenden Abschnitte mit Schrägseilen über Hilfspylonen aufgehängt werden. Mit dieser Methode kann man Durchlaufträger von einer Seite her fortschreitend bauen, indem man mit den Schrägseilen das Momentenbild jeweils so beeinflusst, dass die für die endgültige Brücke nötigen Spannglieder auch beim Freivorbau ausreichen. Hierzu müssen natürlich die Bauzustände sorgfältig durchgerechnet sein, und die Kräfte der Schrägkabel sowie die Verformungen des Balkens bedürfen einer ständigen Kontrolle.

Als Beispiele dieser Bauart mit Ortbeton aus jüngerer Zeit seien die Berliner Brücke in Duisburg, die lange Rampenbrücke zur neuen Rheinbrücke in Köln (Zoo-Brücke), sowie die Altrheinbrücke in Mannheim erwähnt. Bei der Berliner Brücke wurden selbst im Bergsenkungsgebiet kontinuierliche Balken aus Spannbeton angewandt, weil Untersuchungen ergeben haben, dass die Gefahr bleibender Schäden durch Bergsenkungen bei Spannbeton geringer ist als bei Stahl. Dank der hohen Elastizitätsgrenze der Spannstähle ertragen schlanke Spannbetonbalken kurzfristig grössere Verformungen als Stahlbrücken, und die Tragfähigkeit leidet nicht, wenn man diese Verformungen innerhalb kurzer Zeit rückgängig macht. Entsprechend wurde die Duisburger Brücke über dem Meidericher Stadtpark mit leicht bedienbaren Nachstellvorrichtungen ausgerüstet (Bild 14), die es erlauben, eingetretene Bergsenkungen in kurzer Zeit auszugleichen. Die Stützen sind im Überbau eingespannt und stehen unten auf nachstellbaren, in allen Richtungen beweglichen Rollenlagern. Die Brücke steht also gewissermassen auf Rollschuhen, so dass nicht nur Setzungen, sondern auch Zerrungen des Untergrundes vor sich gehen können, ohne der Brücke zu schaden. Die kontinuierliche Balkenbrücke hat zudem den Vorteil, dass die Verformungen im Überbau stetig sind. Es entstehen nämlich keine Knicke in Fugen oder dergleichen, so dass der Verkehr aufrechterhalten werden kann.

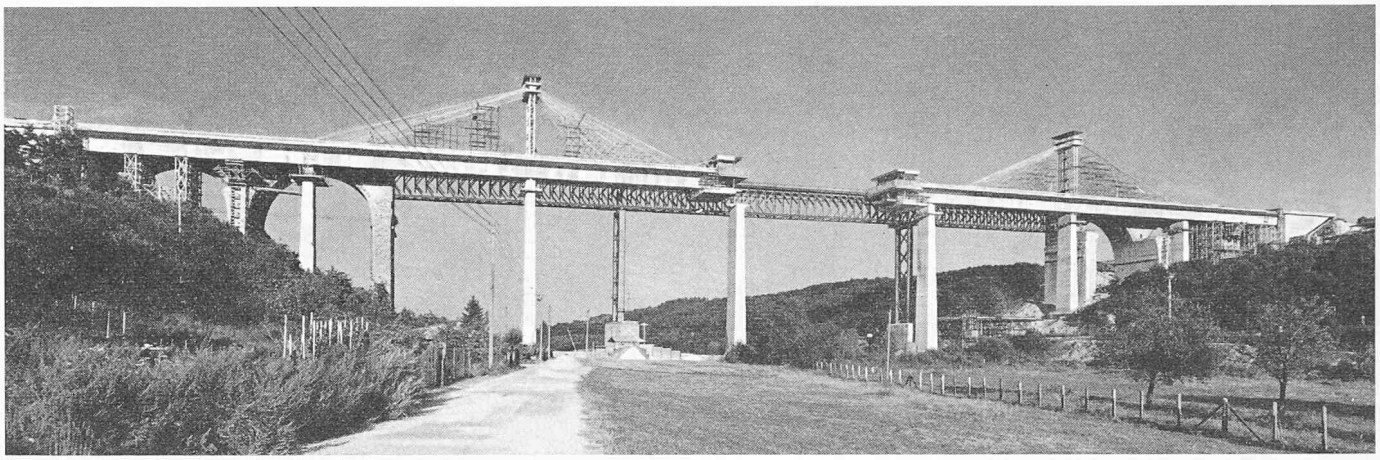


Bild 13. Freivorbau parallelgurtiger Balkenbrücken mit Seilabspannung. Hier Wiederaufbau der Lahntalbrücke, im Hintergrund Fachwerk-Behelfsbrücke zur Aufrechterhaltung des Verkehrs

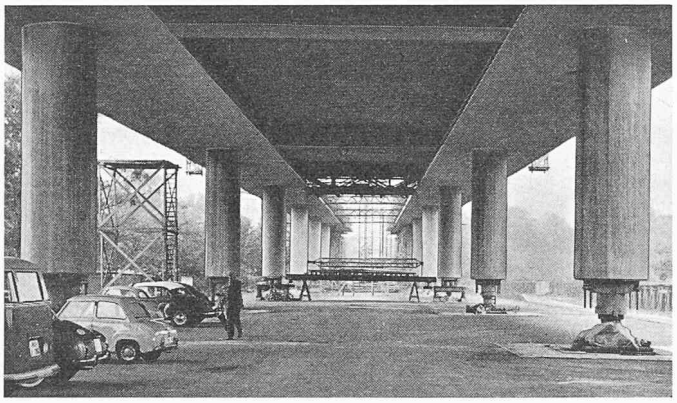


Bild 14. Kontinuierliche Brücke über den Meidericher Stadtpark (bei Duisburg) auf nachstellbaren, allseits beweglichen Fusslagern zum Ausgleich von Bergsenkungen

Das bedeutendste Spannbetonbauwerk, das zur Zeit im Freivorbau errichtet wird, ist die Rheinbrücke bei Bendorf mit 205 m Spannweite (Entwurf und Ausführung Dyckerhoff und Widmann, Gestaltung Architekt Dr. Ing. e. h. G. Lohmer; Bild 15), bei der wohl etwa die Grenze des mit dem Dywidag-Spannverfahren in konstruktiver Hinsicht Durchführbaren erreicht ist. Die obere Fahrbahnplatte musste zur Unterbringung der Spannglieder an den Stützen schon bis auf 50 cm Dicke verstärkt werden. Es besteht jedoch kein Zweifel, dass mit anderen Spannverfahren und insbesondere mit der Einführung von hochfestem Leichtbeton, wie er in den USA bereits üblich ist (B 450 mit Raumgewicht 1800 kg/m³), noch grössere Spannweiten der reinen Balkenbrücken aus Beton erzielt werden können.

Der Freivorbau mit grossen Spanneinheiten, z. B. 100-t-Spanngliedern, bei denen die Drahtbündel nachträglich in vorbereitete Rohre eingefädelt werden, wurde bei der 140 m weit gespannten Mainbrücke Bettingen vorgeführt (Firma Polensky und Zöllner), wenngleich dort aus patentrechtlichen Gründen die fahrbare Vorbaurüstung nach dem Baugrund abgestützt war. Die Engländer haben mit der Medway Brücke bei London ebenfalls im Freivorbau eine Spannweite von 150 m erreicht. Auch die Russen haben bereits in den Jahren 1958 bis 1959 eine Brücke über die Moskwa mit 120 m Spannweite im Freivorbau errichtet, wobei die Spannkabel in oben offene Kanäle in der Fahrbahn eingelegt wurden.

In arbeitstechnischer Hinsicht ist der Freivorbau deshalb vorteilhaft, weil er ein echtes Taktverfahren darstellt, bei dem sich die Arbeitsgänge etwa alle drei Tage wiederholen. Er erfordert aber eine grosse Sorgfalt, vor allem hinsichtlich der Vorausberechnung der von der Witterung und dem Klima beeinflussten Verformungen.

2.5. Die Vorfabrikation

Bei der *Vorfertigung von Brücken* muss man das Tragwerk in Teilstücke unterteilen, die sich noch befördern lassen. Man unterscheidet dabei die Teilung durch Längsfugen und durch Querfugen, sowie die noch weiter gehende Unterteilung durch Fugen in beiden Richtungen. Die Längsteilung eignet sich bei Spannweiten bis zu 50 oder 60 m, wobei vorgefertigte Einzelträger als frei aufliegende Balken nebeneinandergelegt werden. Je nach dem Gewicht kann die Montage noch mit Kranen vorgenommen werden. Bei den grösseren Brücken hat man jedoch meist eine über zwei Öffnungen hinweg reichende Fachwerkbrücke zur Montage der Balken benützt, die auf der Rampe

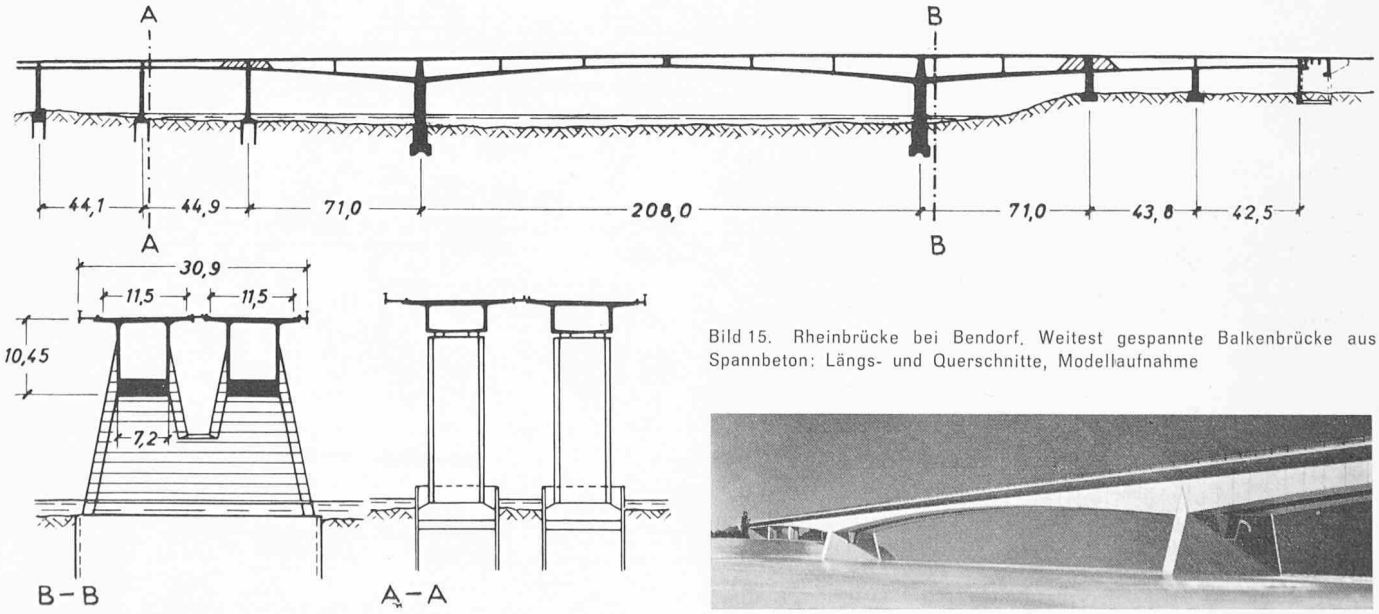


Bild 15. Rheinbrücke bei Bendorf. Weitest gespannte Balkenbrücke aus Spannbeton: Längs- und Querschnitte, Modellaufnahme

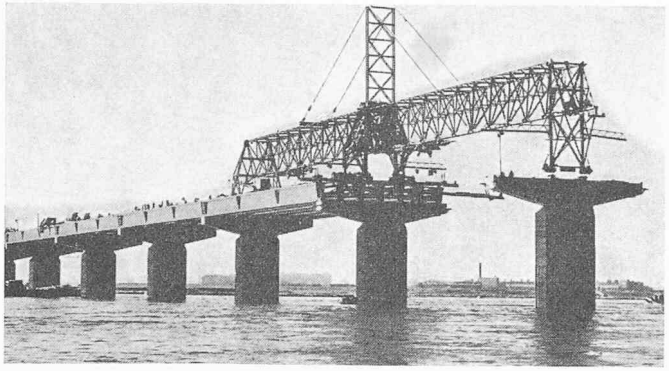


Bild 16. Stählerne Fachwerkbrücke zur Montage von Spannbetonbalken für die St. Lawrence River-Brücke, Kanada

bzw. auf dem fertigen Brückenteil angefahren und dann von Hebezeugen innerhalb der Fachwerkbrücke übernommen und über ihre Öffnung verlegt werden. Eines der grossen Beispiele hierfür aus der letzten Zeit ist die Brücke über den St. Lawrence River in Canada mit 52 m weiten Öffnungen (Bild 16). Die Einzelbalken wogen dabei 180 t.

Eine einfachere Montageart hat die Firma Nenning, Luxemburg (Bilder 17, 18) entwickelt, indem sie die Balken auf leichten stählernen Vollwandträgern bereits in ihrer endgültigen Höhenlage vorfährt. Der Montageträger liegt dabei in einem Schlitz des Pfeilers. Nenning hat dabei auch die Bewegung der schweren Balken mit kleinstem Aufwand gelöst, indem er einen Vorschubwagen mit einer langen hydraulischen Presse benützt, für die ein 3,5 PS-Motor genügt. Diese frei aufliegenden Balken haben den Nachteil, dass an den Pfeilern Fugen verbleiben, die wir bei unserem Klima mit Schnee und Eis im Winter nicht schätzen. Es ist nun nicht schwierig, die hintereinander versetzten Träger mit Spanngliedern so zusammenzuspannen, dass im endgültigen Tragwerk eine vollwertige Kontinuität entsteht. Der Verfasser hat eine vielfeldrige Brücke mit je 56 m Spannweite hierfür durchgearbeitet (Bild 19). Trotz einem Trägerabstand von 3,6 m genügen dabei 140 t schwere Balken, die in 3 Stufen mit insgesamt 10 Spanngliedern zu je 70 t zusammengespannt werden, indem die Spannglieder im Stützenbereich oben gekoppelt werden. Für die Montage der Balken sind dabei zunächst nur drei der Spannglieder gespannt.

Für die Vorfertigung mit Querteilung sind Hohlkasten besonders geeignet. Das erste Beispiel dieser Art war die vom Verfasser und seinem Mitarbeiter *W. Baur* entworfene Agerbrücke am Nordende des Attersees in Österreich mit Spannweiten bis zu 94 m (Bild 20). Dabei wurde das Hohlkastentragwerk in etwa 9 m lange Teilstücke unterteilt, die in einer feststehenden Schalung hergestellt und mit ihren 180 t Gewicht auf einer hölzernen Gleitbahn verschoben wurden, so

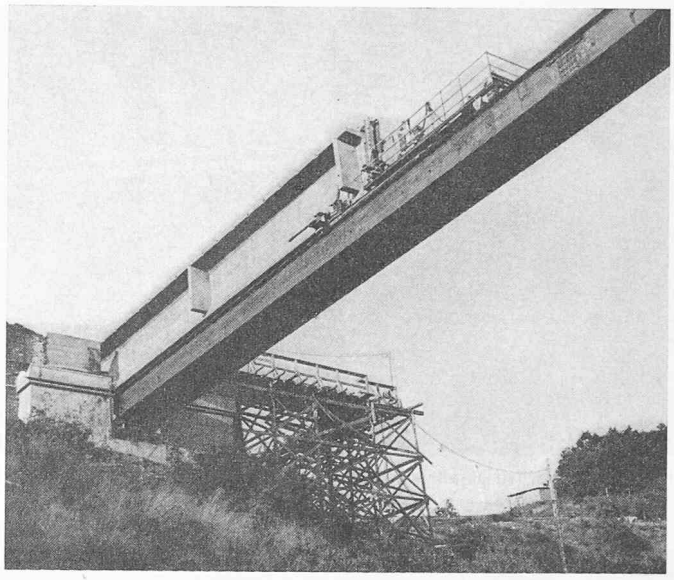
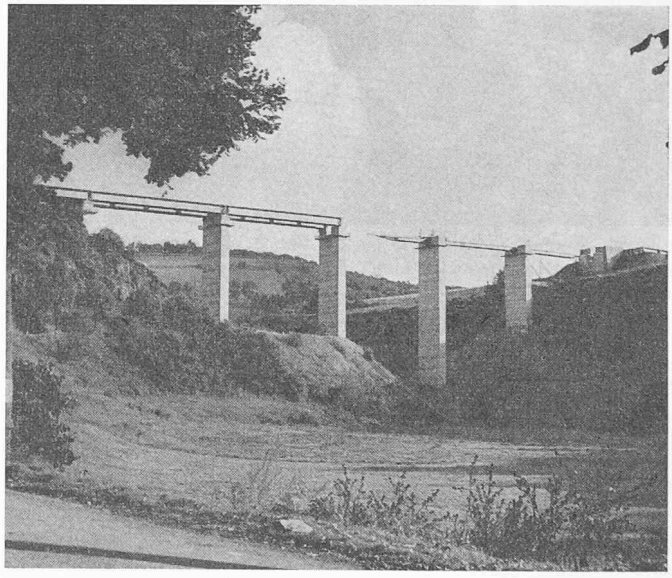


Bild 17. Einfache Montageart für Spannbetonbalken nach Nenning, Luxemburg. Fahrbahnträger passiert die Montagebrücke

Bild 18. Der in die Brückenhälfte rechts hinübergewechselte Montageträger ist zu weitern Transporten bereit



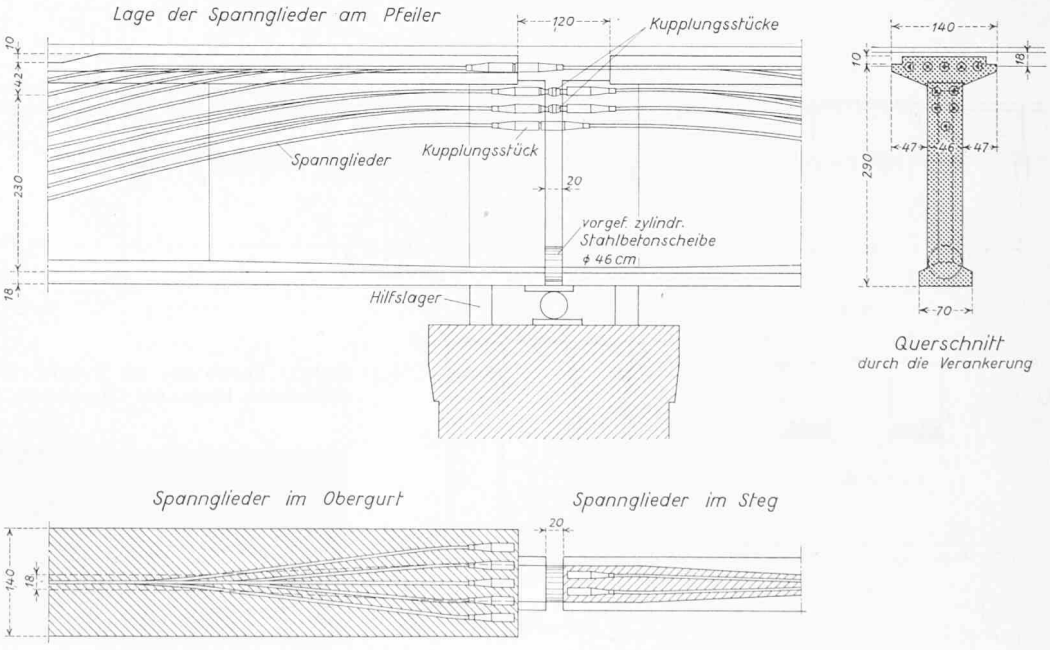
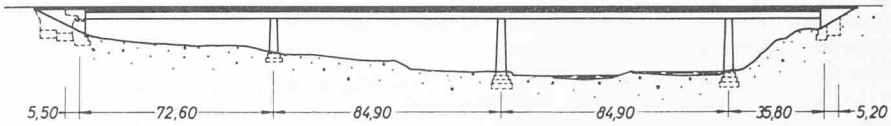
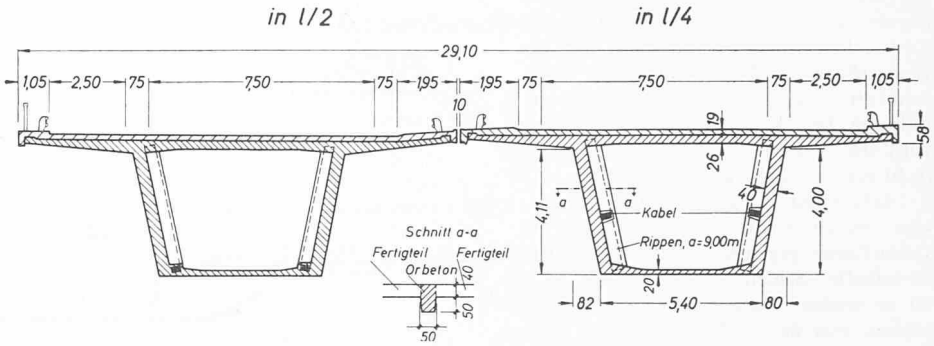


Bild 19. Herstellung der Kontinuität zwischen vorgefertigten Einfeldbalken von 56 m Spannweite (Entwurf Leonhardt)

Bild 20. Agerbrücke der Autobahn Salzburg—Linz: Ansicht und Querschnitt





dass wiederum ein Taktverfahren entstand (Bild 21). Die Spannkabel wurden erst eingelegt, nachdem die Teilstücke auf einem Gerüst in ihre endgültige Lage gebracht waren. Die weiteren Einzelheiten dieses Bauverfahrens sind veröffentlicht.

Auf Grund der günstigen Erfahrungen bei der Agerbrücke wurde inzwischen die Brücke über den Rio Caroni in Venezuela (Bild 22) mit 96 m weiten Öffnungen und einer Gesamtlänge von rd. 500 m in ähnlicher Weise errichtet, indem 9,6 m lange Teile des gesamten Hohlkastenquerschnittes auf einer Gleitbahn hintereinandergesetzt wurden. Die riesigen Wassermengen dieses Flusses bei Hochwasser und insbesondere die hohe Strömungsgeschwindigkeit machten es unmöglich, ein Verschubgerüst im Fluss zu errichten. Man beschränkte sich daher auf je einen Hilfspfeiler zwischen den endgültigen Pfeilern und spannte die ganze Brücke am Ufer zunächst zentrisch zusammen. Anschliessend wurde der 500 m lange und insgesamt rd. 10000 t schwere Überbau mit hydraulischen Pressen über den Fluss vorgeschoben (Bild 23), wobei die im Büro des Verfassers entwickelten neuen Gummitopf-Teflonlager als Gleitlager verwendet wurden. Diese neue Lagerart ist eine grosse Hilfe, da sie das langsame Gleiten grosser Lasten auf billige Art ermöglicht.

Auch in der Schweiz wurden inzwischen einige Brücken aus vorgefertigten Hohlkastenstücken zusammengebaut, so zum Beispiel die 320 m lange Brücke über die Grenzacherstrasse bei Basel (Bild 24). Dort wurden 5 bis 6 m lange Hohlkastenstücke mit einem Gewicht bis zu 50 t durch einen Portalkran auf ein leichtes Gerüst verlegt und mit durchgefädelten Spanngliedern zusammengespannt. Die Bauart hat sich auch dort als wirtschaftlich erwiesen.

In Anwendung der guten Erfahrungen bei der Ager- und Caroni-Brücke wurde im Büro des Verfassers das sog. «Takt-Schiebeverfahren» (Bild 25) ausgearbeitet, bei dem die Hohlkastenstücke direkt aneinanderbetoniert werden, damit die lästigen Fugen entfallen. Der Brückenstrang wird von der Betonierstelle aus über wenige Hilfsjoche hinweg hydraulisch vorgeschoben und erst in seiner endgültigen Lage längs vorgespannt. Dieses Verfahren verspricht erhebliche Vorteile für gerade oder gleichmässig gekrümmte Brücken mit Spannweiten über 40 m.

Bild 21. Agerbrücke: 9 m lange vorgefertigte Hohlkastenstücke auf der hölzernen Gleitbahn

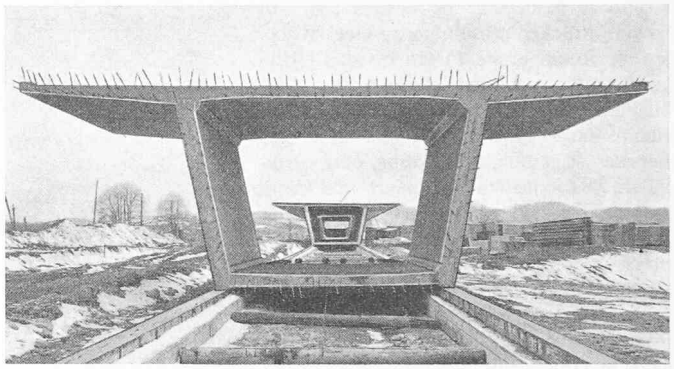


Bild 22. Brücke über den Rio Caroni, Venezuela

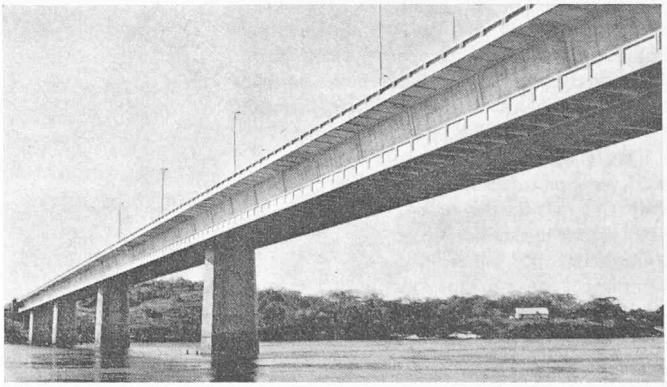


Bild 23. Caroni-Brücke: Vorschieben des am Ufer aus Hohlkastenstücken zusammengespannten 500 m langen und rund 10 000 t schweren Brückenzuges auf Teflongleitlagern. Im Vordergrund der 17 m lange Vorbauschnabel

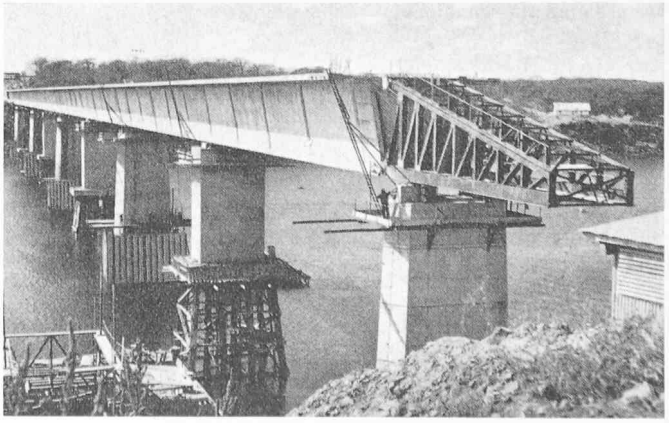
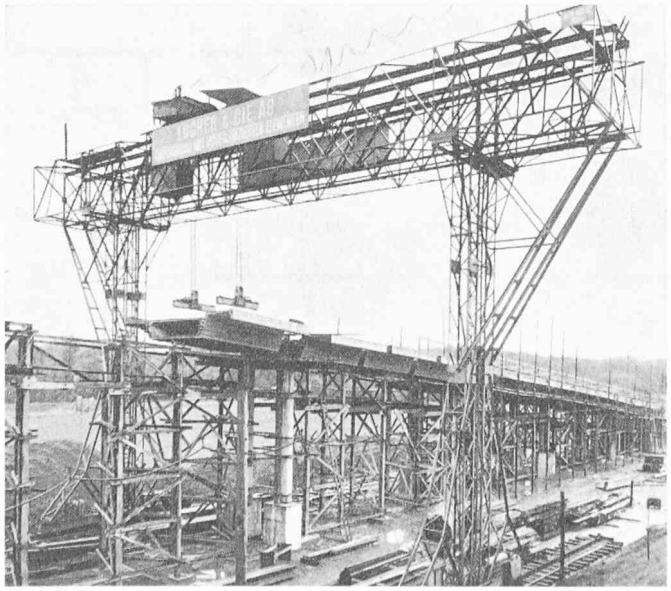


Bild 24. Versetzen vorgefertigter Hohlkastenstücke mit Portalkran; Brücke über die Grenzacher-Strasse bei Basel



Dass man mit solchen vorgefertigten Hohlkastenstücken auch Brücken im Freivorbau errichten kann, ist selbstverständlich. Der Verfasser hatte Gelegenheit, beim Entwurf einer Brücke für Helsinki mit mehreren 70-m-Öffnungen diese Bauart durchzuarbeiten. Dabei sollten die Hohlkastenstücke auf dem Wasserweg bis zur Einbaustelle gebracht und dann mit den Hubgeräten des Lift-Slab-Verfahrens[3]) hochgehoben werden, so dass für die Hubvorrichtung fast kein Gewicht erforderlich wird (Bild 26). Der Entwurf kam jedoch nicht zur Ausführung.

Die Holländer bauen zurzeit im Haringsvliet ein zu den Schutzmassnahmen des Delta-Planes gegen die Nordsee gehöriges riesenhaftes Schleusenbauwerk, mit 16 je 60 m weiten Wehren. Die Wehrschütze stützen sich in der Öffnung gegen einen Spannbeton-Hohlkasten mit dreieckförmigem Querschnitt (Bilder 27, 28). Diese Hohlkasten waren für ungewöhnlich grosse Kräfte zu bemessen. Sie werden aus 2 m langen Stücken zusammengesetzt, wobei jeweils 50 cm breite Fugen für das Übergreifen der schlaffen Bewehrung offenbleiben. Die Hohlkastenstücke werden mit einem 400 t-Portalkran auf ein stählernes Lehrgerüst gesetzt, die Spannglieder eingefädelt, die Fugen ausbetoniert und dann zusammengespannt. Die grosse Zahl der Fugen bedingt natürlich ein erhebliches Stück Arbeit mit Ortbeton, das bei so kurzen Fertigteilstücken ziemlich ins Gewicht fällt und die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigt. Ein noch eindrucksvolleres Bauwerk in Holland ist die 5 km lange Osterscheldebrücke mit 100 m-Öffnungen. Hierbei werden grosse vorgefertigte Hohlkastenstücke an eine stählerne Montagebrücke angehängt und nach dem Schliessen der Fugen zusammengespannt (Bild 29). Eine so schwere Montagebrücke lohnt sich natürlich nur bei oftmaligem Einsatz für die vielen gleichen Öffnungen.

Das grösste Brückenbauwerk aus Spannbeton ausserhalb Europas ist die Brücke über den Maracaibo-See in Venezuela mit einer Gesamtlänge von 8,6 km. Das Bauwerk stellt eine grossartige Leistung dar, vor allem hinsichtlich der ungewöhnlich kurzen Bauzeit, die trotz schwierigster Gründungsverhältnisse erreicht wurde. Für Einzelheiten sei auf die inzwischen erschienenen Publikationen hingewiesen[4]).

Schluss folgt

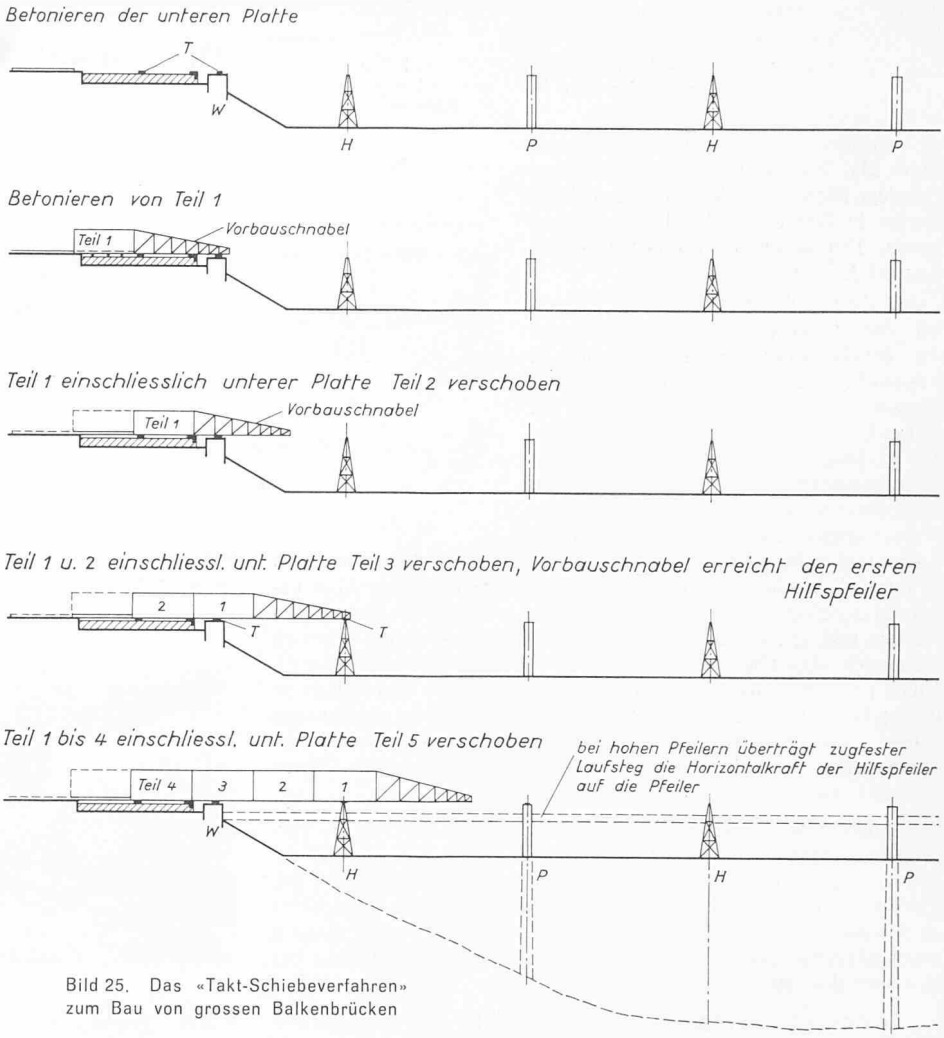


Bild 25. Das «Takt-Schiebeverfahren» zum Bau von grossen Balkenbrücken

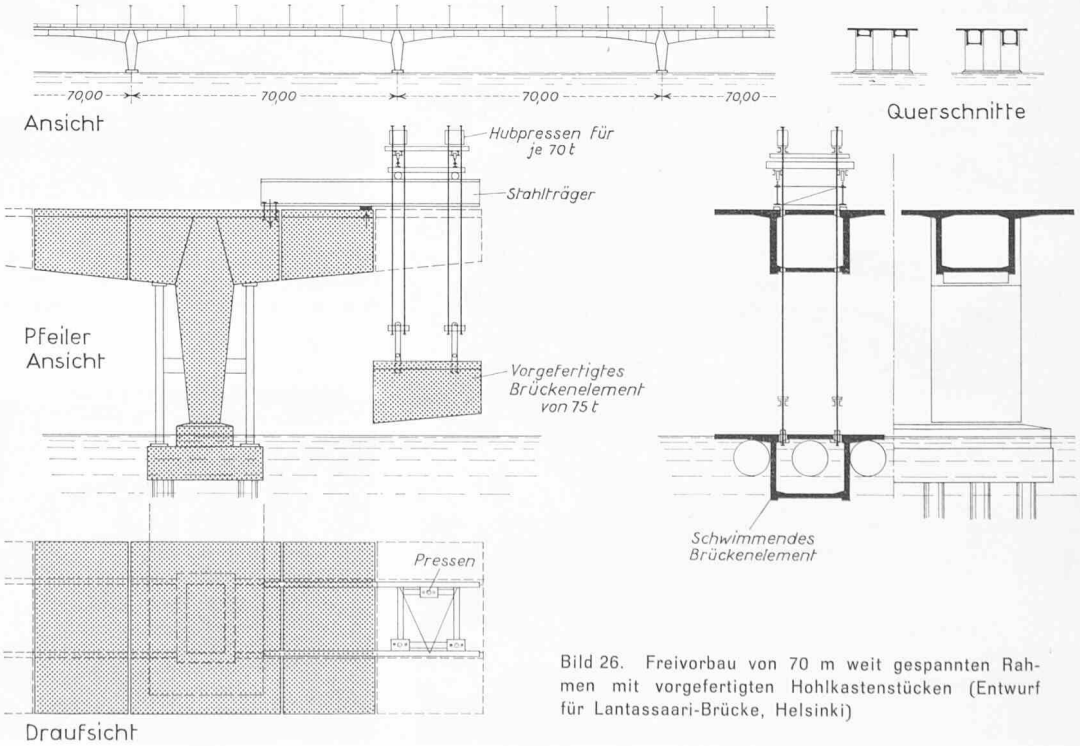


Bild 26. Freivorbau von 70 m weit gespannten Rahmen mit vorgefertigten Hohlkastenstücken (Entwurf für Lantassaari-Brücke, Helsinki)

[3]) SBZ 1957, H. 40, S. 641

[4]) SBZ 1960, H. 42, S. 670 und SBZ 1963, H. 52, S. 914

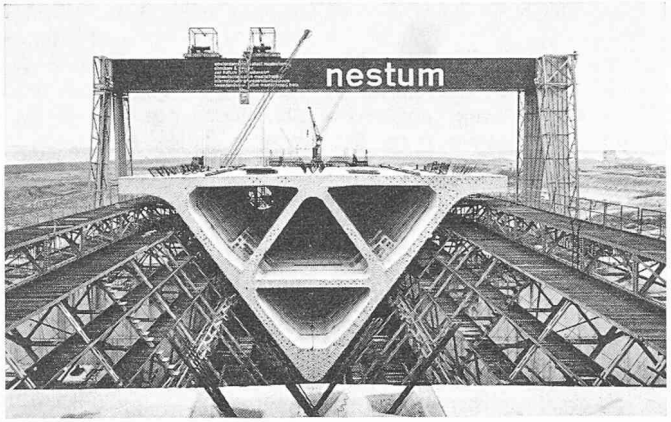


Bild 27. Schleusenbrücke Haringsvliet, Holland, aus vorgefertigten 2 m langen Stücken zusammengebaut

Bild 28. Brücke Haringsvliet: Versetzen der 2 m langen Stücke

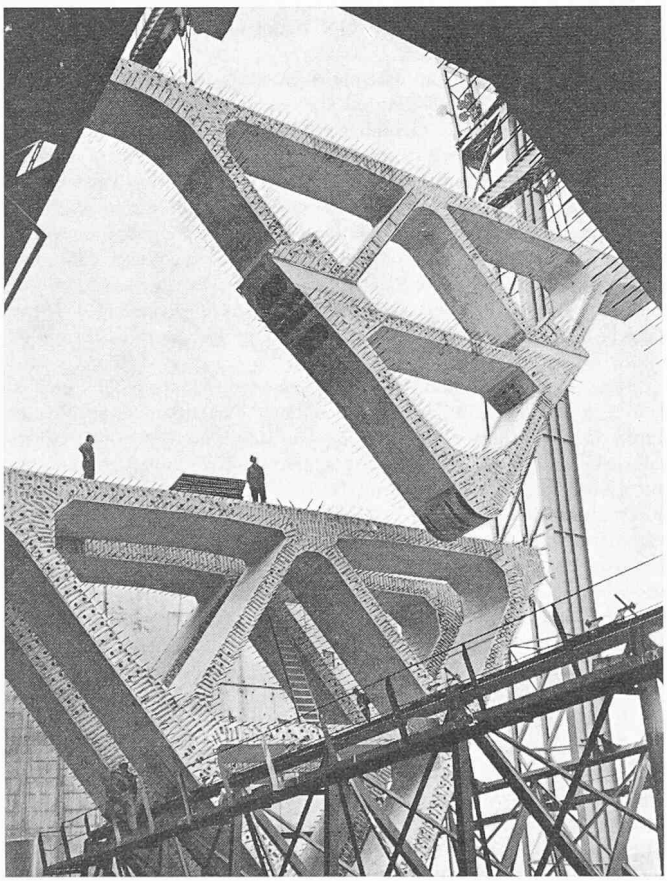
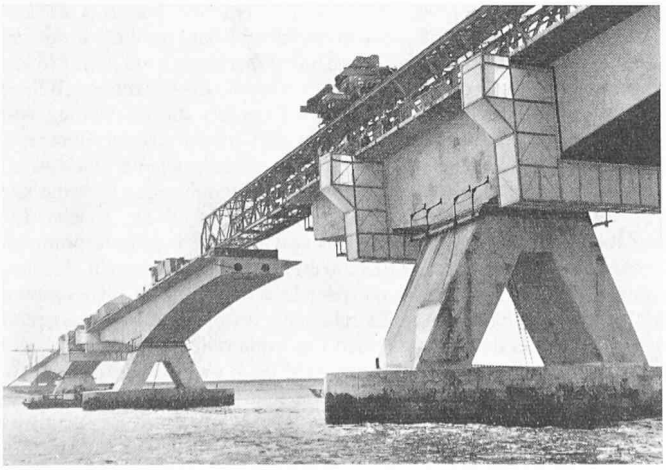


Bild 29. Osterscheldebrücke, Holland. Hohlkastenstücke wurden an stählerne Fachwerkbrücke angehängt und zusammengespannt



Kritische Betrachtung zur Normalisierung der Schnittholz-Querschnitte

DK 691.11:389.6

Im Holzwirtschaftlichen Kolloquium an der Mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Unterabteilung XII B an der ETH (Leitung: Prof. Dr. *H. Hch. Bosshard*, Prof. Dr. *H. Tromp*, Arch. *H. Kühne*, EMPA) wurden am 30. November 1964 Probleme der Normalisierung der Schnittholz-Querschnitte aus der Sicht des Sägers, des Zimmermeisters und des Projektierenden behandelt. Einleitende Kurzreferate hielten *F. Häring*, Holzindustrieller, Pratteln, *J. Furter*, Zimmermeister, Dottikon, und Prof. *H. Hauri*, ETH, Zürich. Die sich hinsichtlich der Schnittholz-Normung für den Produzenten, Holzbearbeiter und Verbraucher ergebenden Gesichtspunkte sind nachstehend kurz zusammengefasst. Red.

Standpunkt des Sägers (F. Häring)

Mangel an Arbeitskräften zwingt zur Rationalisierung. Das Baugewerbe wird zur Bauindustrie. Dieser Strukturwandel stellt auch an das zu verarbeitende Material andere Anforderungen.

Um die Vorteile der maschinellen Verarbeitung voll zu nützen, müssen möglichst grosse Mengen in gleichen Dimensionen zur Verfügung stehen. Dies ruft nach der Normalisierung der Schnittholzquerschnitte. Andere Baustoffe sind auf dem Gebiete der Normalisierung bereits weiter fortgeschritten als das Holz. Backsteine und Stahl, als homogene Stoffe von gleicher Güte, lassen sich formen und giessen bzw. walzen. Holz aber ist ein Naturprodukt, das in den verschiedensten Längen und Durchmessern und ausserdem in unterschiedlicher Qualität auf den Markt kommt. Letztere kann erst beim Einschnitt des Stammes endgültig beurteilt werden.

Die Normalisierung der Schnittwaren wird erschwert durch die grosse Streuung der Rundholzquerschnitte, die Unsicherheit in der Beurteilung der Qualität und durch die Konizität des Rundholzes.

In Ländern, wo die Holzquerschnitte bereits normalisiert wurden, bestehen teils andere Voraussetzungen, so in den Vereinigten Staaten auf Grund der grossen Stammdurchmesser bei tiefen Einstandspreisen und geringer Schnittholzausbeute, während in Skandinavien eine sehr geringe Streuung der Holzdurchmesser und gleichmässige Qualität des Rohstoffes vorherrschen.

In der Schweiz kennen wir bereits seit 1942 die Kantholznormung. 69 Kantholzquerschnitte wurden damals festgelegt. Durch den Strukturwandel im Baugewerbe hat dieses Sortiment aber seit 20 Jahren an Bedeutung eingebüsst. Auch die Lieferung ab Lager hat sich als nicht wirtschaftlich erwiesen. Qualitätsholz für den Ingenieur-Holzbau kann nur durch Einschnitt in kleine Querschnitte und Zusammenfügen mit Leim oder andern Bindemitteln rationell erzeugt werden. Trotz Schwierigkeiten ist aber die Normalisierung der Schnittholzquerschnitte anzustreben, was voraussetzt, dass die festzulegenden Dimensionen in allen Qualitäten verwendbar sind, die Brettstärken ohne Verlust in schwächere Dimensionen teilbar und Querschnitte auch in den Längen zusammensetzbar sein müssen. Dazu braucht aber die Holzwirtschaft an Fichte/Tannen-Rundholz vor allem gesundes Holz in Durchmessern von 20 bis 40 cm.

Normalisierte Schnittholzquerschnitte sind nicht billiger. Geringe Einsparungen sind bei der Verarbeitung des Rundholzes möglich, werden aber durch den grösseren Anfall an Nebenprodukten mehr als aufgewogen. Dagegen bringen sie dem Weiterverarbeiter Vorteile in Form vereinfachter Lagerhaltung und besserer Lieferungsbereitschaft sowie Verbilligung bei der Bauausführung. Im Interesse der Konkurrenzfähigkeit des Schnittholzes ist eine Normalisierung unbedingt anzustreben.

Standpunkt des Zimmermeisters (J. Furter)

Zweck der Normung ist, Herstellung und Verwendung eines Produktes zu erleichtern und zu lenken. Unter den bis heute vorhandenen Normen umschreibt Norm 163 des S.I.A. (1951) das Bauholz in 3 Güteklassen zwar genau, sieht aber dabei 67 verschiedene Querschnitte vor. Norm 122 für Zimmerarbeiten enthält für das Bauholz die gleichen Bedingungen hinsichtlich Qualitäten und Dimensionen, weicht jedoch mit den Qualitätsbezeichnungen für Bretter Ia und Ib usw. ab von den in den «Schweizerischen Handelsgebräuchen für Schnittholz» enthaltenen Qualitätsbezeichnungen. Die 1946 vom Kriegs- Industrie- und Arbeitsamt publizierte «Kantholz-Normung» (mit Dimensionierungstabellen) arbeitet mit 47 Querschnitten und hat damit einen vom heutigen Standpunkt der Normung aus eher zaghaften Anfang gemacht. Die auf Grund der Normung möglich werdende raschere und leichtere Materialbeschaffung, vereinfachte Planung und zeitsparende Verarbeitung – bei vermehrter Winterarbeit – lassen vor