

Wechselbeziehung von Entwurf und Baumethoden bei Talbrücken

Autor(en): **Menn, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht**

Band (Jahr): **9 (1972)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9533>

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.

IV

Wechselbeziehung von Entwurf und Baumethoden bei Talbrücken

Interrelation between Design and Methods of Construction for Viaducts

Influences réciproques entre le projet et les méthodes d'exécution pour viaducs

C. MENN

Dr. sc. techn., dipl. Ing. ETH
Chur, Schweiz

Der Bau von Autobahnen und Express-Strassen nahm in den letzten 10-15 Jahren mit der intensiven Entwicklung des Motorfahrzeugverkehrs einen ausserordentlich starken Aufschwung. Gestreckte Linienführung, ausgeglichene Nivellete und niveaufreie Kreuzungen erforderten die Erstellung zahlreicher grosser Brücken. Der Kostenanteil der Brücken an den Gesamtbaukosten einer Autobahn beträgt ca. 25 % und von der Gesamtprojektierungsarbeit beanspruchen die Brückenprojekte etwa die Hälfte. Für die Auftragserteilung führt die Bauherrschaft - normalerweise die öffentliche Hand - bei grösseren Bauwerken entweder einen Projekt- oder einen Submissionswettbewerb durch. Beim Projektwettbewerb wird der beste Entwurf anschliessend öffentlich zur Ausführung ausgeschrieben, beim Submissionswettbewerb erfolgt die Auftragserteilung dagegen gleichzeitig für Projektierung und Ausführung. Nur Projekte für kleinere Brücken werden im Direktauftrag vergeben, wobei aber auch hier durch Variantenstudien oder durch Sonderentwürfe bei der Bauausschreibung verschiedenartige Lösungsmöglichkeiten gegeneinander abgewogen werden. Der Ingenieur hat damit die Möglichkeit, durch geschickte neuartige Konzeptionen und Vorschläge den Projektierungs- oder Ausführungsauftrag zu erwerben, was den Brückenbau besonders interessant macht und Konkurrenz und Entwicklung in hohem Masse fördert.

Bei der Projektierung einer Brücke sind - abgesehen von der rechnerischen Sicherheit, die immer gewährleistet sein muss - folgende Faktoren zu berücksichtigen und in zweckmässigster Art miteinander zu kombinieren:

- Ausführungsrisiken
- Konstruktive Ausbildung und Dauerhaftigkeit
- Erstellungskosten und Aufwand für normalen Unterhalt
- Aesthetik

Die Beurteilung verschiedenartiger Entwürfe ist ausserordentlich schwierig. Sie erfordert umfangreiche Sachkenntnis und Erfahrung, weil die einzelnen Faktoren von Fall zu Fall verschieden gewertet werden müssen und in ihrem Einfluss sehr schwer zu überblicken sind.

Die rechnerische Sicherheit betrifft einerseits das Tragverhalten im Gebrauchszustand, umschrieben durch zulässige Spannungen und Verformungen, und andererseits die eigentliche Bruchsicherheit, die im allgemeinen als Produkt von Last- und Querschnittsfaktor mit 1.8 festgelegt ist. Diese rechnerische Sicherheit ist weitgehend ein akademisches Problem, das in den diesbezüglichen Vorschriften der Normen seinen Niederschlag findet und in der Praxis kaum zu Diskussionen Anlass gibt.

Mit Ausführungsrisiken - vermehrtem Unterhalt und ev. Reparaturarbeiten - muss vor allem bei der Verwendung neuer, zu wenig erprobter Baumaterialien gerechnet werden. Heikle, empfindliche und unübersichtliche Tragsysteme oder Baumethoden, die grosse, nicht korrigierbare Verformungen zur Folge haben können und dadurch Aesthetik und Fahrkomfort beeinträchtigen, sind ebenfalls mit Ausführungsrisiken verbunden.

Die konstruktive Ausbildung wirkt sich einerseits auf die Sicherheit und andererseits auf die Dauerhaftigkeit eines Tragwerkes aus. Es sind konstruktive Probleme bei der Systemwahl, bei der Querschnittsausbildung und bei der Bewehrung zu unterscheiden.

Im Gesamtsystem ist die Anordnung und Ausführung der Lager, Gelenke, Dilatations- und Betonierfugen von entscheidender Bedeutung für Unterhalt und Dauerhaftigkeit. Gerberträger-Gelenke können zum Beispiel schon nach wenigen Jahren bei Salz- und Frosteinwirkungen schwerste Schäden aufweisen, die wegen der Unzugänglichkeit der Lager und wegen der Spanngliedverankerung in den Nocken der Gerberträger kaum mehr zu reparieren sind.

Bei der Querschnittsausbildung ist vor allem darauf zu achten, dass alle Oberflächen, wenn möglich auch das Innere eines Hohlkastens, jederzeit zugänglich, kontrollier- und reparierbar sind. Der Einfluss der Zwängungen infolge ungleicher Temperatur oder unterschiedlichen Schwindens ist besonders bei breiten Tragwerken sorgfältig zu untersuchen. Die Querschnittsabmessungen müssen der vorgesehenen Bewehrung entsprechend genügend stark sein. Zu knappe Abmessungen oder überarmierte Tragwerksteile erschweren die einwandfreie Verarbeitung des Betons. Die Folgen davon sind: schlechtere Betonqualität, kleinere Haftfestigkeit der Stahleinlagen, Schwierigkeiten bei der Spanngliedinjektion, Oberflächenschäden und Rostbildung an Stahleinlagen mit zu geringer Betonüberdeckung. Diese Mängel können zwar bei sorgfältiger Ueberwachung der Bauarbeiten zum Teil behoben werden. Die Dauerhaftigkeit eines Tragwerks ist deshalb auch abhängig von der Qualität der Bauleitung und der Bauunternehmung.

Das Ziel einer guten konstruktiven Bewehrung besteht in einem günstigen Verhalten des Tragwerks bei Ueberbelastungen und Zwängungen. Zwängungen entstehen bei Setzungen, verschiedenartigem Schwinden der Querschnittselemente und bei ungleichmässigen Temperaturänderungen; der Einfluss gleichmässiger Verformungen infolge Schwinden und Temperatur kann durch entsprechende Systemlagerung weitgehend eliminiert werden. Während Ueberlastungen relativ selten vorkommen, ist bei den meisten Tragwerken mit Ueberbeanspruchungen durch Zwängungen zu rechnen. Diese Ueberbeanspruchungen sind zwar im allgemeinen von geringem Einfluss auf die Tragwerkssicherheit; sie verursachen jedoch Risse, die nur mit einer guten konstruktiven Bewehrung so klein gehalten werden können, dass sie die Dauerhaftigkeit nicht wesentlich vermindern.

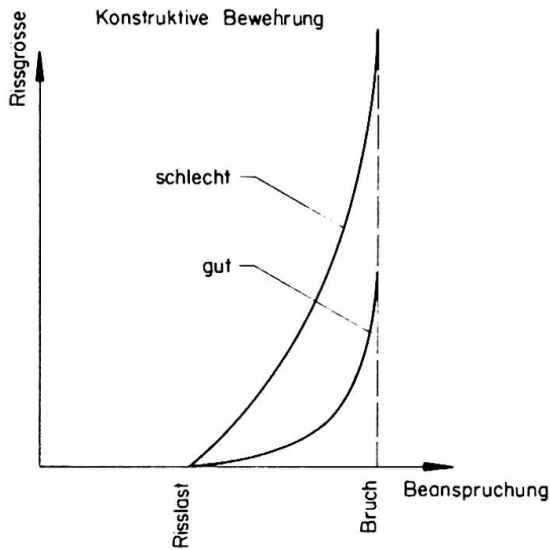


Bild 1.

Die Lebensdauer einer Brücke sollte bei normalem Unterhalt (systematische Kontrolle der Lager, Fugen und Entwässerung sowie periodische Revision und Erneuerung des Belages) mindestens 100 Jahre betragen und während dieser Zeit auch den zunehmenden chemischen Einwirkungen standhalten. Dies betrifft insbesondere Streusalze, die im Wasser

gelöst durch Undichtigkeiten in Belag und Isolation die eigentliche Tragkonstruktion angreifen. Für umfangreiche Reparaturarbeiten, die zur Gewährleistung der Sicherheit erforderlich sind und für eine kürzere Lebensdauer, sind im allgemeinen konstruktive Mängel verantwortlich. Gesamtwirtschaftlich betrachtet, spielt somit die konstruktive Ausbildung eine ausserordentlich wichtige Rolle.

Die effektiven Baukosten sind bei der Projektbeurteilung meistens von ausschlaggebender Bedeutung und es besteht oft die Gefahr, dass nie im Vergleich zu den konstruktiven Gesichtspunkten, die allerdings ungleich schwieriger zu beurteilen sind, überbewertet werden.

Der normale Unterhalt besteht - wie bereits angedeutet - im wesentlichen aus der Kontrolle der Lager, Fugen und Entwässerungen und der periodischen Erneuerung des Belages. Bei den üblichen Konstruktionen sind diesbezüglich kaum wesentliche Unterschiede festzustellen; eine Ausnahme sind allerdings im Freivorbau hergestellte Träger aus vorgefertigten, geklebten Elementen. Da hier die empfindlichen Spannglieder in der Fahrbahnplatte durch die unbewehrten Elementfugen durchgezogen werden, ist die absolute Wasserundurchlässigkeit der Isolation von entscheidender Bedeutung, d.h. derartige Konstruktionen erfordern eine häufigere Erneuerung des Belages als Ortsbetonkonstruktionen.

Die Aesthetik hat, je nach Standort des Bauwerks, eine verschieden grosse Bedeutung. Auch wenn sich jede Brücke als Kunstbau in einem Verkehrsweg durch Formvollendung und harmonische Proportionen auszeichnen sollte, ist es verständlich, wenn die Bauherrschaft bei weniger exponierten Bauwerken mehr Wert auf Wirtschaftlichkeit als auf Aesthetik legt. Bei städtischen oder durch einen ganz besonderen Standort ausgezeichneten Brücken sollten dagegen Mehrkosten für aesthetisch gute Lösungen in Kauf genommen werden, da Brücken als Kulturdenkmäler immer eine grosse Rolle spielten. Andererseits ist aber nicht zu verkennen, dass der Begriff der Aesthetik wandelbar ist und dass demzufolge technisch und konstruktiv einwandfreie Lösungen immer auch aesthetisch überzeugend wirken.

Die Entwicklung der Brückenbautechnik wurde in den letzten Jahren durch neue Erkenntnisse auf folgenden Gebieten beeinflusst:

- Genauere Berechnung des Spannungszustandes
- Bessere Erfassung des Sicherheitsbegriffes
- Abklärung der Materialeigenschaften
- Konstruktive Verbesserungen durch Versuche
- Erfahrungen an ausgeführten Bauwerken
- Verbesserung und Rationalisierung der Ausführungsmethoden.

Die Berechnungsmethoden haben seit der umfassenden Verwendung von Rechenautomaten eine grundlegende Wandlung erfahren. Es ist heute ohne weiteres möglich, komplizierte Systeme sehr genau zu berechnen - entsprechende Programme werden allen Ingenieuren von den Rechenzentren zur Verfügung gestellt - und mehrere Varianten in kurzer Zeit miteinander zu vergleichen. Schwierige mathematische Ableitungen sind für den praktisch tätigen Ingenieur nicht mehr interessant; ihn interessieren nur noch einfachste Näherungsmethoden, die ihm erlauben, die erforderlichen Querschnittswerte in erster Näherung abzuschätzen. Gegenüber den allgemein zur Verfügung stehenden Möglichkeiten lassen sich durch spezielle Verfeinerungen kaum wirtschaftliche Vorteile erzielen. Es ist deshalb erstaunlich, dass in der Fachliteratur immer noch vorwiegend Berechnungsprobleme behandelt werden.

Am Sicherheitsbegriff hat in den letzten Jahren nicht viel geändert. Die genauere Erfassung der einzelnen Sicherheitskoef-

fizienten auf statistischer Basis - insbesondere bei der Bewertung des Lastfaktors - erbrachte wohl geringfügige Verbesserungen; die zu erwartenden Änderungen am Sicherheitsbegriff dürften jedoch so klein sein, dass davon keine neuen Impulse auf die Brückenbautechnik zu erwarten sind.

Von wesentlich grösserer Bedeutung ist die Abklärung der Materialeigenschaften, wobei ganz besonders die Untersuchungen und Massnahmen zur Beschleunigung der Betonerhärtungszeit, die Versuche mit Leichtbeton und Kunststoffen und die Fortschritte in der Stahlherstellung und -Verwendung zu nennen sind.

Die Massnahmen für konstruktive Verbesserungen - Untersuchungen über Zwangungen, zweckmässige Anwendung der Bewehrung etc. - sind ebenfalls ausserordentlich wichtig. Sie wirken sich zwar weniger auf die Herstellungskosten aus, sind aber für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion und somit gesamtwirtschaftlich von grosser Bedeutung. Auf diesem Gebiet haben die Materialprüfanstalten der Hochschulen wertvolle Beiträge geleistet.

Ueber Erfahrungen an ausgeführten Bauwerken, insbesondere über schlechte Erfahrungen, wird leider viel zu wenig bekannt. Es ist zu bedauern, dass die gleichen Fehler immer wieder gemacht werden, weil hierüber fast nie etwas veröffentlicht wird. Es wäre ausserordentlich interessant und wertvoll, wenn Unterhalts- und Reparaturprobleme in grösserem Umfang behandelt würden.

Der weitaus grösste Beitrag zur Senkung der Herstellungskosten wurde durch die Verbesserung und Rationalisierung der Baumethoden geleistet. Die scharfe Konkurrenz zwang den Ingenieur, in direkter enger Zusammenarbeit mit dem Unternehmer, zur Ausschöpfung aller bautechnischen Möglichkeiten und zur Anpassung seiner Projekte an die Markt- und Preisentwicklung.

Im folgenden werden einige interessante, neue Baumethoden und die damit zusammenhängenden Probleme beschrieben.

Die Herstellungskosten einer Brücke setzen sich im wesentlichen aus folgenden Positionen zusammen:

- Baustelleneinrichtungen und Arbeitsgeräte
- Lehrgerüste
- Schalungsarbeiten

- Bewehrung
- Beton

An Beton und Bewehrung lassen sich bei gleichen Spannweiten und gleicher Bauhöhe nur geringe Einsparungen erzielen. Bei den lohnintensiven Positionen - Lehrgerüst und Schalung - können dagegen die Baukosten mit einem geschickten Projekt, das auf einen rationellen Bauvorgang abgestimmt ist, stark gesenkt werden. Es ist sogar in vielen Fällen interessant, auf Kosten von Beton und Bewehrung den Aufwand für Gerüst und Schalung zu vermindern. Die Kosten für die Miete und den Unterhalt der Baustelleneinrichtungen und Geräte können vor allem durch einen raschen Bauvorgang gesenkt werden. Die Anwendung von Taktverfahren lohnt sich insofern, als durch Wiederholungen die Arbeitsleistung gesteigert und die Abschreibung für Gerüst und Schalung erhöht werden kann.

Feldweise Herstellung des Brückenträgers:

Mit durchgehenden Lehrgerüsten und Schalungen auf der ganzen Länge werden heute nur noch kleinere Brücken oder Träger mit weniger als vier Spannweiten ausgeführt, da dieses Verfahren den Einsatz von zuviel Gerüst- und Schalungsmaterial erfordert. Bei der feldweisen Herstellung in Ortsbeton auf konventionellem Gerüst werden normalerweise zwei Felder eingerüstet und eines dieser Felder - mit Kragarm im Nachbarfeld - eingeschalt und betoniert. Unmittelbar nach dem Betonieren und teilweisen Vorspannen wird das Gerüst dieses Feldes demontiert und neu aufgebaut, sodass die Schalungs-, Armierungs- und Betonierarbeiten in kontinuierlichem Ablauf fortgesetzt werden können. Die Feldweite kann bei diesem Verfahren verschieden lang sein; ein fester, den Gerüstträgern entsprechender Raster ist allerdings vorteilhaft. Der Querschnitt - als Platte, Plattenbalken oder Hohlkasten ausgebildet - sollte im Hinblick auf die Wiederverwendung der Schalungselemente unverändert beibehalten werden. Die Spannlieder werden am Ende des Kragarms zum Teil abgespannt und zum Teil mit Gleitkupplungen versehen oder im Kasteninnern herausgezogen und verankert. Wenn das Absenken des Gerüsts sehr früh und bei teilweiser Vorspannung erfolgt, müssen die voll vorgespannten Spannlieder in Verbund wirken, d.h. injiziert sein.

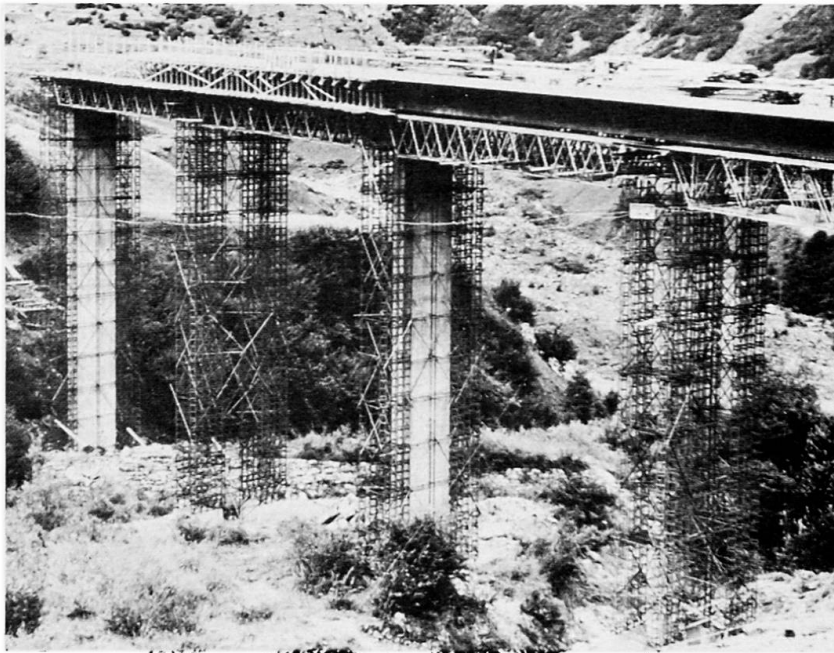
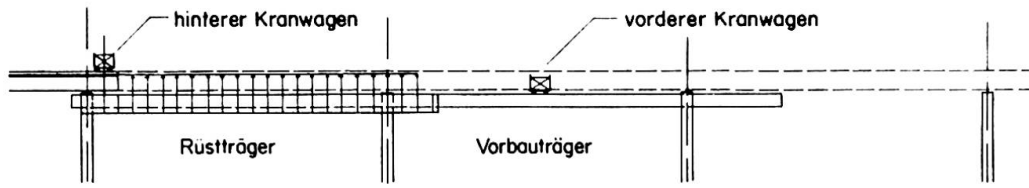


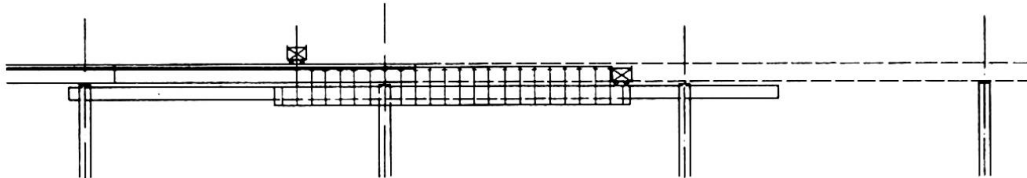
Bild 2. Feldweise Herstellung mit konventionellem Gerüst

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass verhältnismässig wenig Gerüstmaterial (2 Felder) notwendig ist, dass die Schalung durch mehrfache Wiederverwendung weitgehend abgeschrieben und die Arbeitsleistung durch Wiederholung des gleichen Arbeitsganges gesteigert werden kann. Da das mehrfache Ummontieren des Gerüstes sehr lohnintensiv ist, werden mit Vorteil normierte Gerüstjoche mit relativ weitgespannten Gerüstträgern verwendet. Bei kleineren Spannweiten können die Gerüstmontage und sämtliche Arbeiten für das in Ausführung begriffene Feld mit einem Kran, der sich auf dem fertiggestellten Teil der Brücke befindet, durchgeführt werden. In besonders günstigen Fällen - ebenes Terrain und kleine Brückenhöhe - ist die Verwendung fahrbarer Gerüste interessant.

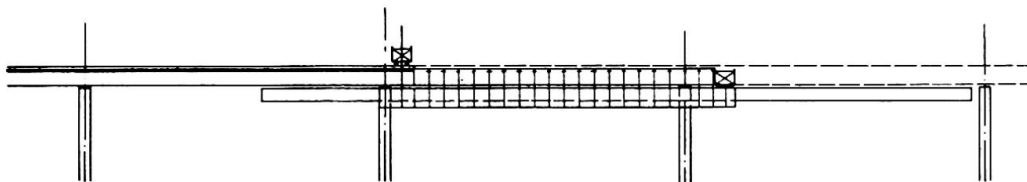
Eine wesentliche Rationalisierung konnte bei langen Brücken mit Vorschubgerüsten erzielt werden. Der eigentliche Gerüstträger dient zur Herstellung eines Feldes und ist normalerweise nur bei den Brückenpfeilern abgestützt. Die Gerüstträger befinden sich über oder unter der Brückenfahrbahn. Die äussere Schalung ist als Bestandteil des Vorschubgerüstes ausgebildet. Da die Schalungsarbeiten dadurch weitgehend entfallen, ist der Arbeitsfortschritt ausserordentlich rasch. Das Vorschieben des Rüst-



a) Rüstträger in Betonierstellung



b) Vorfahren des Rüstträgers



c) Vorfahren des Vorbauträgers

Bild 3. Vorschubgerüst mit Vorbauträger

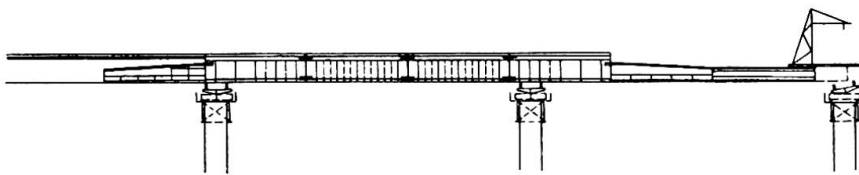


Bild 4. Vorschubgerüst mit Vorbauschnabel

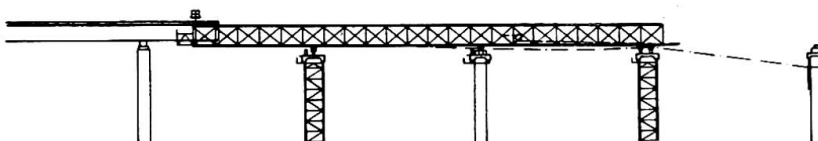


Bild 5. Vorschubgerüst mit Zwischenstütze

trägers von Feld zu Feld erfolgt entweder nach dem "Rechenschieberprinzip" mit einem speziellen Vorbauträger (zwischen den Rüstträgern), einem festen oder horizontal beweglichen Vorbauschnabel oder über einer Hilfszwischenstütze. Ohne Zwischenabstützungen können mit freitragenden Vorschubgerüsten Feldweiten bis ca. 60 m ausgeführt werden. Gleichbleibende Spannweiten auf der ganzen Brückenlänge sind vorteilhaft. Der Querschnitt sollte, wenn irgend möglich, nicht geändert werden, da der Umbau der Schalung - wenn überhaupt durchführbar - äusserst aufwendig ist. Bauverfahren mit Vorschubgerüsten weisen somit folgende Vorteile auf:

- Nach der Erstmontage sind nur noch unwesentliche Montagearbeiten erforderlich-
- Die Schalarbeiten entfallen weitgehend, da die Schalung fest mit dem Gerüst verbunden ist.
- Der Baufortschritt ist ausserordentlich schnell.

Nachteilig sind die hohen Investitionskosten und die grossen Aufwendungen für Transport, Erst- und Demontage, die den Einsatz dieser schweren Geräte nur bei Brückenlängen über etwa 400 m gestatten. Schwierigkeiten entstehen auch bei starken Krümmungen oder Auf- und Abfahrten, die Querschnittsänderungen zur Folge haben.



Bild 6. Krahlenberg-Brücke bei Andernach. 1)
(Werkfoto Polensky & Zöllner)

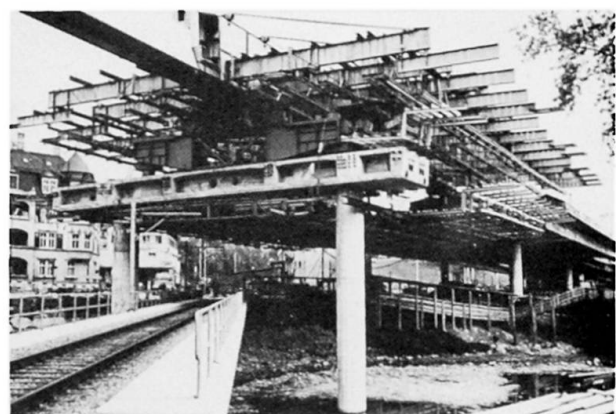
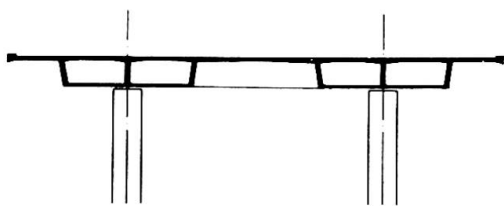


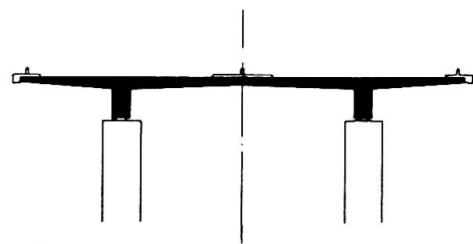
Bild 7. Sihlhochstrasse Zürich; obenliegendes Gerüst.
(Foto Tiefbauamt, Zürich)

Die ersten Brücken, die mit Vorschubgerüsten hergestellt wurden, weisen den statisch günstigen Kastenquerschnitt auf. Da die Herstellung der inneren Kastenschalung jedoch viel Zeit in Anspruch nimmt und separat transportiert werden muss, wird heute der zweistegige, querträgerlose Plattenbalken-Querschnitt vorgezogen, obwohl diese Querschnittsform einen grösseren Materialverbrauch erfordert. 2) 3) 4). Dies ist ein typisches Beispiel dafür, wie auf Kosten von Stahl und Beton Zeit und teure Arbeitsvorgänge gespart werden können. Ähnliche Zeiteinsparungen liessen sich bei Hohlkastenquerschnitten nur durch Vorfabrikation der oberen und unteren Kastenplatten erzielen.

Bei der feldweisen Herstellung eines Brückenträgers ist ein genauer Arbeitsplan für einen Bauabschnitt erforderlich. Zur Vermeidung von Unterbrüchen im Arbeitsablauf muss die Erhärtungszeit des Betons auf das Wochenende eingeplant werden. Bis zum Vorspannen und Ausrüsten eines Feldes stehen somit höchstens 60 Stunden zur Verfügung. Die genaue Kenntnis der Betoneigenschaften in diesem frühen Stadium (Festigkeit, Elastizitätsmodul, Kriech- und Schwindwerte etc.) ist deshalb unerlässlich.



a) Hohlkastenquerschnitt für Autobahnbrücken



b) Plattenbalkenquerschnitt für Autobahnbrücken bis 30m Breite; Konsolaufladung bis 7.5m

Bild 8. Querschnitte

Weitere Probleme sind die Bestimmung der günstigsten Kragarmlänge, unter Berücksichtigung des Platzbedarfes für die Spanngliedverankerungen, der Spanngliedlage, der Verformungen und der Statik, die Berechnung der Ueberhöhungen - vor allem bei teilweiser Vorspannung - und die Ermittlung der Kräfteumlagerungen infolge Kriechen.

Die feldweise Herstellung einer Brücke mit vorfabrizierten Trägern ermöglicht ebenfalls einen raschen Baufortschritt und beträchtliche Einsparungen an Gerüst- und Schalungsarbeit. Der Trägereinbau erfolgt entweder mit einem vorfahrbaren Verlegegerät mit Zutransport über den fertiggestellten Teil der Brücke oder, bei günstigen Verhältnissen, von unten mit Hilfe von Pneukranen. Die Fahrbahnplatte wird meistens in Ortsbeton hergestellt, wobei als Schalung zwischen den Trägern dünne, vorfabrizierte Betonbretter verwendet werden. Sie kann aber auch direkt durch den Trägerflansch (ohne Ueberbeton) gebildet werden oder aus grossen vorgefertigten Tafeln bestehen, die durch nachträglich ausgegossene Aussparungen mit den Trägern verbunden werden. Die beiden letztgenannten Verfahren stellen hohe Anforderungen an die Herstellungsgenauigkeit (elastische und plastische Trägerverformungen).

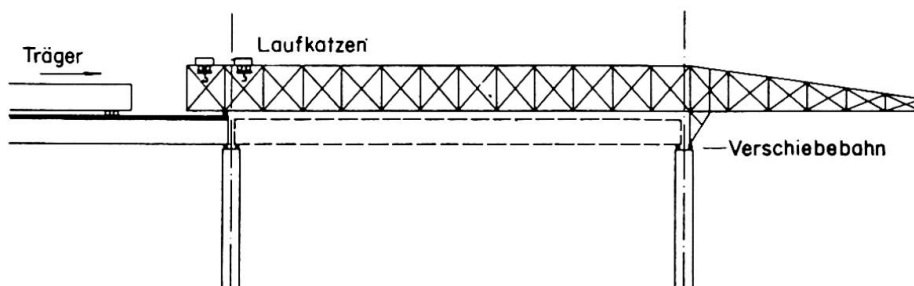


Bild 9. Längs- und querverschiebliches Einbaugerät für Fertigträger

Als Tragsystem werden Balkenketten oder Durchlaufträger mit Spannweiten bis zu 50 m ausgeführt. Das Verfahren ist wirtschaftlich bei mehreren gleichen Spannweiten mit gleichbleibendem Querschnitt. Schiefe Lagerung oder starke Krümmungen im Grundriss wirken sich sehr erschwerend aus.

Der Hauptnachteil dieser Konstruktionsart besteht in der starken Querschnittsgliederung und in der Verbindung der vorfabrizierten Elemente, die - je nach Ausführung - eine beträchtliche Einbusse an Dauerhaftigkeit zur Folge haben können.

Ein heikles Problem ist die Verbindung der Träger über den Stützen. Bei Balkenketten werden die Träger über den Stützen entweder durch eine Fuge vollständig voneinander getrennt - eine teure und fahrtechnisch unerwünschte Lösung - oder durch eine Uebergangsplatte miteinander verbunden. Die Uebergangsplatte wird mit Betongelenken an die Trägerenden angeschlossen; der Belag kann in diesem Falle ohne Unterbruch durchgeführt werden. Bei Durchlaufsystemen werden die Träger der benachbarten Felder mit einem in Ortsbeton hergestellten Querträger über der Stütze verbunden. Die Aufnahme der negativen Stützmomente erfolgt mit schlaffer Bewehrung in der Ortsbetonplatte mit Durchschubkabeln oder bei vorfabrizierten Fahrbahntafeln durch Vorspannen der Platte über der Stütze.



Bild 10. Bünzthal-Brücke, Nationalstrasse N1 Zürich - Bern

Ein wichtiges Problem ist bei dieser Baumethode die Berechnung der Zwängungsspannungen infolge Schwinden, Kriechen und ungleichmässiger Temperatur, wenn die vorgefertigten Träger nur teilweise vorgespannt sind. Da die bekannten Berechnungsmethoden 5) 6) für Verbundkonstruktionen gleichbleibende Steifigkeit für Platte und Träger voraussetzen, sind sie in diesem Falle nicht anwendbar. Weitere Probleme sind bei Durchlaufsystemen die Schubverbindung zwischen Träger und Ortsbeton-Querträger über den Stützen und der Einfluss des Systemwechsels auf den Bruchnachweis.

Freivorbau.

Der Freivorbau ermöglicht die wirtschaftliche Herstellung grosser Spannweiten ohne Lehrgerüstabstützungen und ist deshalb das interessanteste Bauverfahren im Grossbrückenbau. Besonders geeignet für die Herstellung im Freivorbau sind Voutenträger mit Hohlkastenquerschnitt. Die günstige Massenverteilung (schwerer Querschnitt in Auflagernähe, leichter Querschnitt in Trägermitte) ergibt als statischen Vorteil minimale Stützmomente infolge Eigengewicht und die variable Trägerhöhe ermöglicht die durchgehend volle Ausnützung einer gegen die Trägermitte hin gleichmässig abgestuften Vorspannung.

Ortsbetonkonstruktionen mit grossen Spannweiten weisen bei diesem Bauverfahren vor allem folgende herstellungstechnische Vorteile auf:

- Relativ kleine Aufwendungen für das Vorbaugerüst
- Mehrfache Wiederverwendung der Schalung
- Lohneinsparungen durch taktmässige Wiederholung des gleichen Arbeitsvorganges.

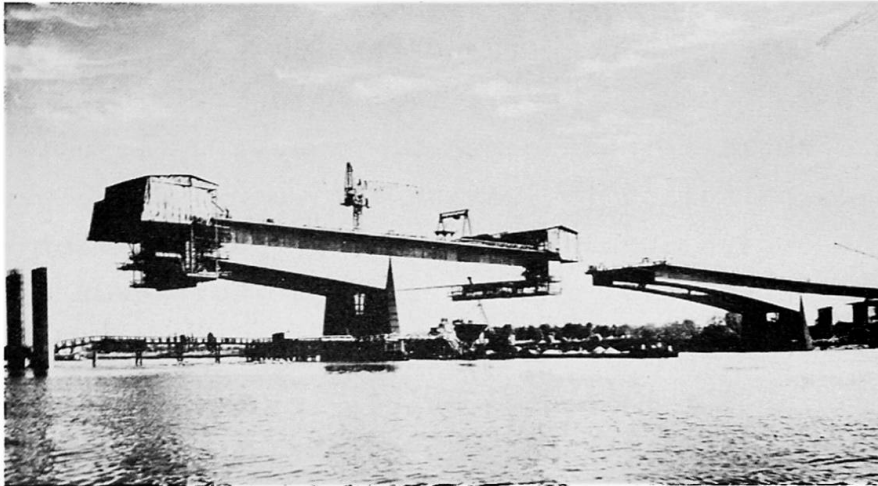


Bild II. Rhein - Brücke bei Bendorf. 7)
(Foto Stiebel, Koblenz)

Das schwierigste Problem beim Freivorbau ist die Gewährleistung der Brückennivellete, da der als Konsole hergestellte Träger äusserst verformungsempfindlich ist. Voraussetzung für die Berechnung der Ueberhöhungen ist die sorgfältige Bestimmung der Schnittkräfte aus Eigengewicht und Vorspannung und die genaue Kenntnis des zeitlichen Verlaufes der klimaabhängigen Materialeigenschaften (Elastizitätsmodul, Schwind- und Kriechbeiwerte) und Vorspannverluste. Ausserdem spielen auch die von der Armierung und Plattenstärke abhängigen, unterschiedlichen Schwind- und Kriechverformungen der oberen und unteren Hohlkastenplatten eine wesentliche Rolle. Da die Vorbauabschnitte im allgemeinen schon nach 2-3 Tagen vorgespannt und ausgerüstet werden, ist die Herstellungstemperatur von entscheidender Bedeutung für die Betonqualität bei Belastungsbeginn. Der spätere zeitliche Verlauf der Betoneigenschaften wird ebenfalls durch die saison- und standortbedingten klimatischen Verhältnisse (Luftfeuchtigkeit, Temperatur, Sonnenbestrahlung etc.) beeinflusst. Vorversuche zur Abklärung des elastischen und plastischen Verhaltens des Betons sind deshalb sehr aufwendig. Es wäre ausserordentlich wertvoll, wenn aus einem Versuchsprogramm an 3-7-tägigen Probekörpern - unter Berücksichtigung der zu erwartenden klimatischen Einflüsse - auf den gesamten zeitlichen Verlauf der Betoneigenschaften geschlossen werden könn-

te. Während der Trägerherstellung kann die Verformungsberechnung durch Messungen laufend überprüft und für die Ausführung der folgenden Etappen – wenn nötig – korrigiert werden. Die Kontrollmessungen werden zur Elimination des Einflusses unterschiedlicher Temperaturverhältnisse im Querschnitt vor Sonnenaufgang ausgeführt. Die besondere Schwierigkeit besteht aber in der Interpretation der Messungen bzw. in der richtigen Korrektur der zahlreichen Verformungsparameter.

Beim Betonieren der Vorbauabschnitte ist der Verformung des Gerüsts bzw. deren Korrektur grösste Aufmerksamkeit zu schenken. Bei grösseren Durchbiegungen während der Herstellung der Fahrbahnplatte können in den Abschnittsfugen Ablöserisse auftreten, die eine Verminderung der Schubtragfähigkeit zur Folge haben; ein Problem, das vor allem dann zu beachten ist, wenn die Spannlieder aus konstruktiven Gründen nur in der Fahrbahnplatte verankert werden.

Als statisches System wird bei Freivorbaubrücken entweder der Kragträger mit einem Gelenk in Feldmitte oder der Durchlaufträger verwendet. Die Ausführung als Kragträger ist konstruktiv und herstellungstechnisch einfacher, hat aber den wesentlichen Nachteil, dass die Verformungen durch einen Knick im Gelenk stärker in Erscheinung treten. Die Ausbildung der Querkraftgelenke in Feldmitte erfolgt neuerdings oft mit vorgespannten Betongelenken. Sie hat den Vorteil, dass der Belag ohne Unterbruch durchgezogen werden kann.

Eine interessante und bei sehr grossen Spannweiten wirtschaftliche Lösung besteht darin, dass der Mittelabschnitt in Leichtbeton hergestellt wird.

Wie bei den feldweise hergestellten Trägern stellt sich auch bei gelenklosen Freivorbau-Brücken das Problem der Kräfteumlagerungen durch den Systemwechsel und die damit zusammenhängenden Sicherheitsfragen.

Bei Brücken auf hohen Stützen ist die Ausführung von Vouten-Trägern aus ästhetischen Gründen im allgemeinen nicht erwünscht. Dem Parallel-Träger wird in diesem Fall der Vorzug gegeben. Bemerkenswerte Beispiele für die Ausführung von Parallel-Trägern im

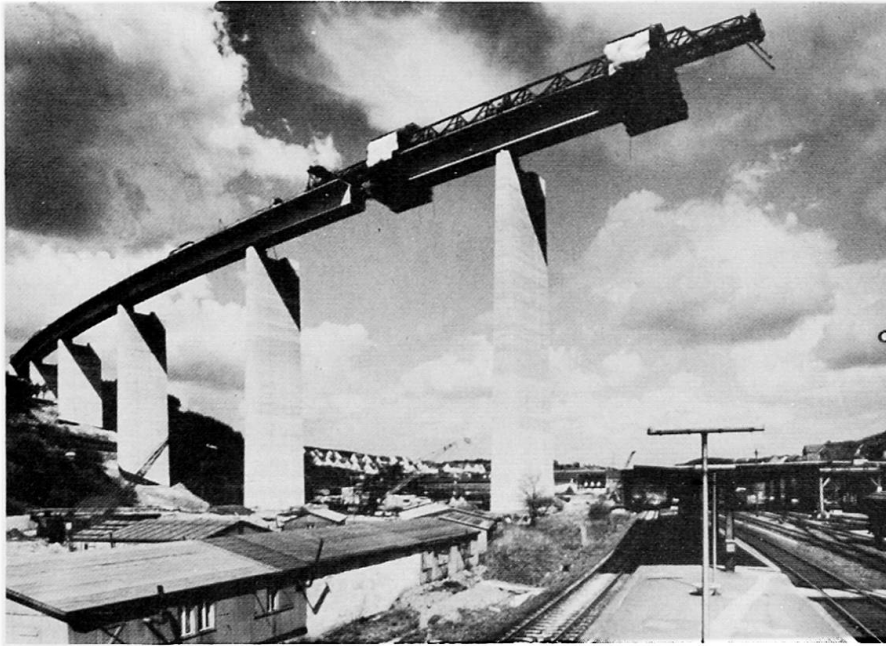


Bild 13. Siegtal-Brücke Eiserfeld. 8)
(Werkfoto Polensky & Zöllner)

Freivorbau sind die Siegtal-Brücke Eiserfeld und die Lahntal-Brücke bei Limburg in der Bundesrepublik Deutschland. Bei der Siegtal-Brücke wurde ein Gerüstträger verwendet, der zur Stabilisierung des auszuführenden Bauabschnittes und zur Aufhängung der Vorbauschalung diente. Der Vorbauabschnitt umfasste je eine halbe Feldlänge beiseits einer Stütze. Die grossen Vorteile dieses Verfahrens liegen darin, dass das Baumaterial immer über den fertiggestellten Teil der Brücke zutransportiert werden kann, dass der Gerüstträger ohne Ummontage in den nächsten Vorbauabschnitt vorgeschoben werden kann und dass zur Stabilisierung der

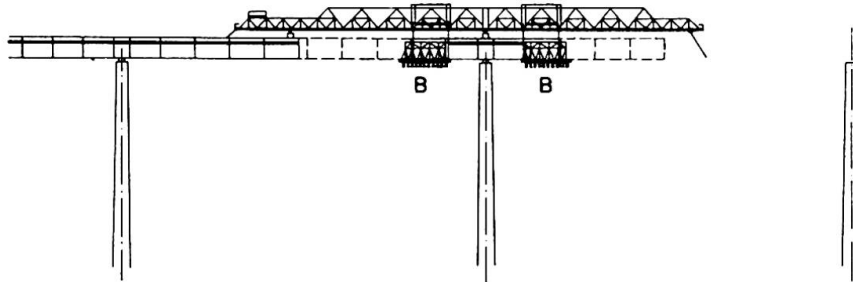


Bild 12. Rüstträger der Siegtal-Brücke, B = fahrbare Arbeitsbühnen

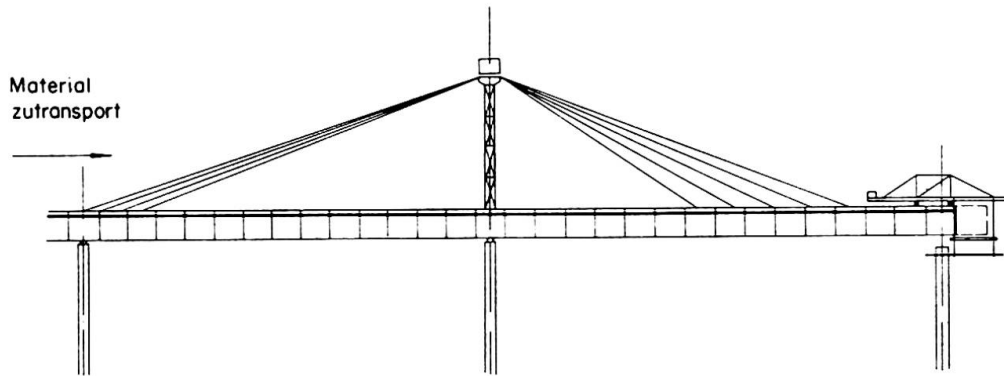


Bild 14. Freivorbau mit Abspannpylon

Vorbauabschnitte keine zusätzlichen Vorrichtungen erforderlich sind. Bei der Lahntal-Brücke Limburg wurde die ganze Feldlänge im Freivorbau erstellt 9). Zur Verminderung der Stützmomente war jedoch ein Abspannpylon erforderlich. Auch bei dieser Methode erübrigt sich eine Ummontage des Vorbaugerüstes und das Baumaterial kann ebenfalls immer über die fertige Brücke zu transportiert werden. Da die Stützenköpfe erst nach der Ausführung des unmittelbar darüber liegenden Trägerstückes fertiggestellt werden, erfährt der Vorbaurythmus überhaupt nie einen Unterbruch. Diese grossen Vorteile müssen allerdings auf Kosten der beträchtlichen Aufwendungen für das Erstellen und Ummontieren der Abspannpylone erkaufte werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Herstellung von Parallelträgern im Freivorbau besteht darin, dass im Mittelabschnitt des Feldes auf eine Länge von 25-30 m ein Gerüst eingehängt wird. Im Hinblick auf die Momentenumlagerungen beim Systemwechsel ist es vorteilhaft, diesen Teil in Leichtbeton auszuführen und bereits nach dem Betonieren der Trägerrippen (ohne Fahrbahnplatte) teilweise vorzuspannen. Dieses Verfahren setzt allerdings voraus, dass die im Freivorbau erstellten Abschnitte des Trägers zum Beispiel durch Doppelstützen im Bauzustand einwandfrei stabilisiert sind.



Bild 15. Viaducs de Chillon. 10) Nationalstrasse N9 Lausanne - Sion
(Foto Germond, Lausanne)

Beim Freivorbau in Vorfabrikation werden in einer zentralen Anlage Querschnittselemente hergestellt, die auf dem Wasser oder über die bereits fertiggestellte Brücke zum Einbauort transportiert werden. Ein spezielles Einbaugerät, das den gesamten Vorbauabschnitt überbrückt und sich auf dem fertiggestellten Träger und dem benachbarten Pfeiler abstützt, bringt die Querschnittselemente in die Einbauposition. Die Elementfugen werden mit einem Kunststoffmörtel versehen und nach dem Einziehen der Spannglieder in symmetrischer Reihenfolge an den Vorbauabschnitt an-

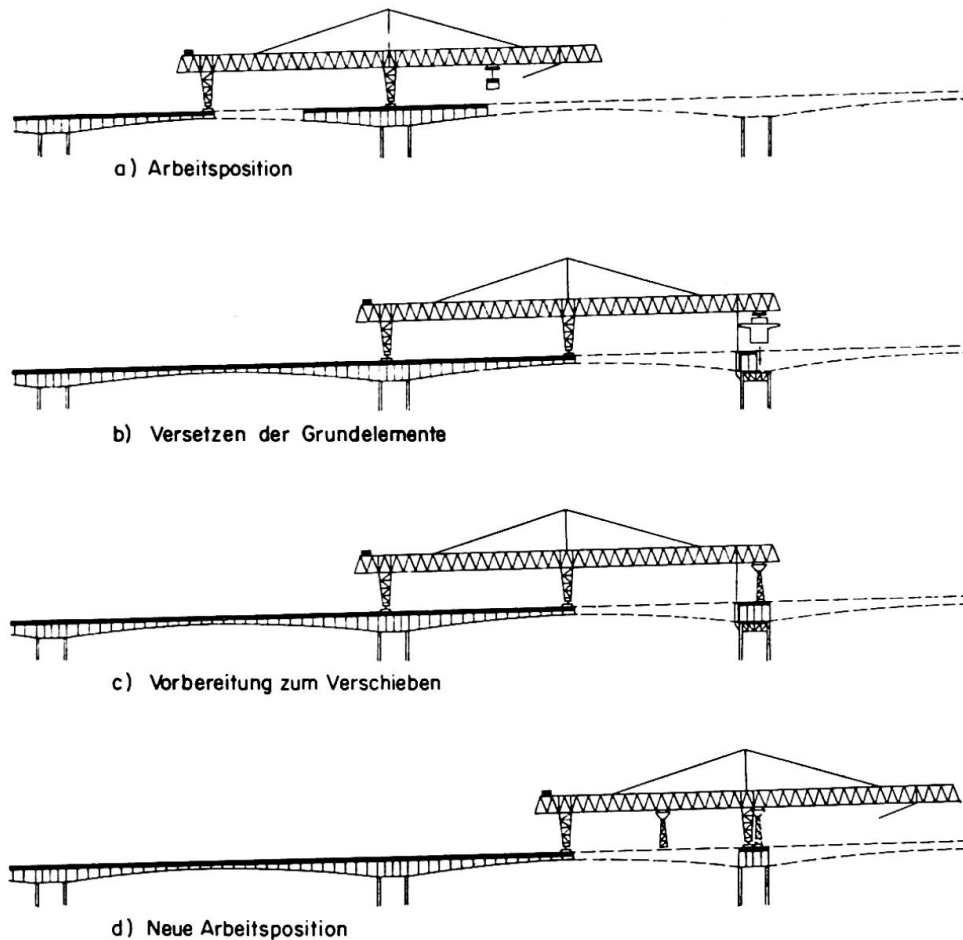


Bild 16. Viaducs de Chillon, Versetzgerät für die Querschnittselemente

gefügt. Wegen der grossen Aufwendungen für die Fertigungsanlagen ist dieses Verfahren nur bei sehr langen Brücken wirtschaftlich; es hat aber den Vorteil, dass die Vorbauabschnitte in ausserordentlich kurzer Zeit hergestellt werden können. Bei den "Viaducs de Chillon" wurden pro Monat bis zu 290 m Brückenlänge fertiggestellt.

Neben den vielfältigen Problemen bei der ausserordentlich genauen Herstellung der Elemente, (Vorausbestimmung der Verformungen, sehr genaue Fixierung der Basiselemente, (Korrekturfugen beim Vorbau sind sehr unerwünscht), besteht die Hauptschwierigkeit in der Ausbildung der geklebten Elementfugen und in der einwandfreien Abdichtung der Spanngliedkanäle in den Elementfu-

gen. Die exponierte Lage der Haupt-Spannglieder, die - in der Fahrbahnplatte angeordnet - unverroht die geklebten, unbewehrten Elementfugen durchziehen, erfordern eine einwandfreie, absolut wasserdichte Fahrbahnisolation. Ein weiteres Problem, das sich beim Freivorbau mit Fertigelementen stellt, ist die Sekundärbeanspruchung der Spannglieder in den Elementfugen. Bei zu geringer Längsvorspannung können durch lokale Beanspruchung der Fahrbahnplatte in den Fugen Knickwinkel entstehen, die in den Spanngliedern Zusatzbeanspruchungen auslösen.

Taktschiebeverfahren.

Ein neueres Verfahren, das ebenfalls Einsparungen an Gerüst- und Schalungsaufwand ermöglicht, ist das Taktschiebeverfahren. Vorläufer dieses Verfahrens sind die Ager-Brücke in Oesterreich und die Caroni-Brücke in Venezuela. Bei der Ager-Brücke 11) wurden fertige Querschnittselemente auf ein stationäres Gerüst eingeschoben, durch Ausbetonieren von 50 cm breiten Fugen miteinander verbunden und vorgespannt. Bei der Caroni-Brücke 12) wurde dagegen der gesamte Brückenträger hinter dem Widerlager betoniert, vorgespannt und dann gesamthaft eingeschoben. Beim Taktschiebeverfahren, wie es heute zum Beispiel bei



Bild 17/18. Taubertal - Brücke
(Werkfoto Beton- und Monierbau)

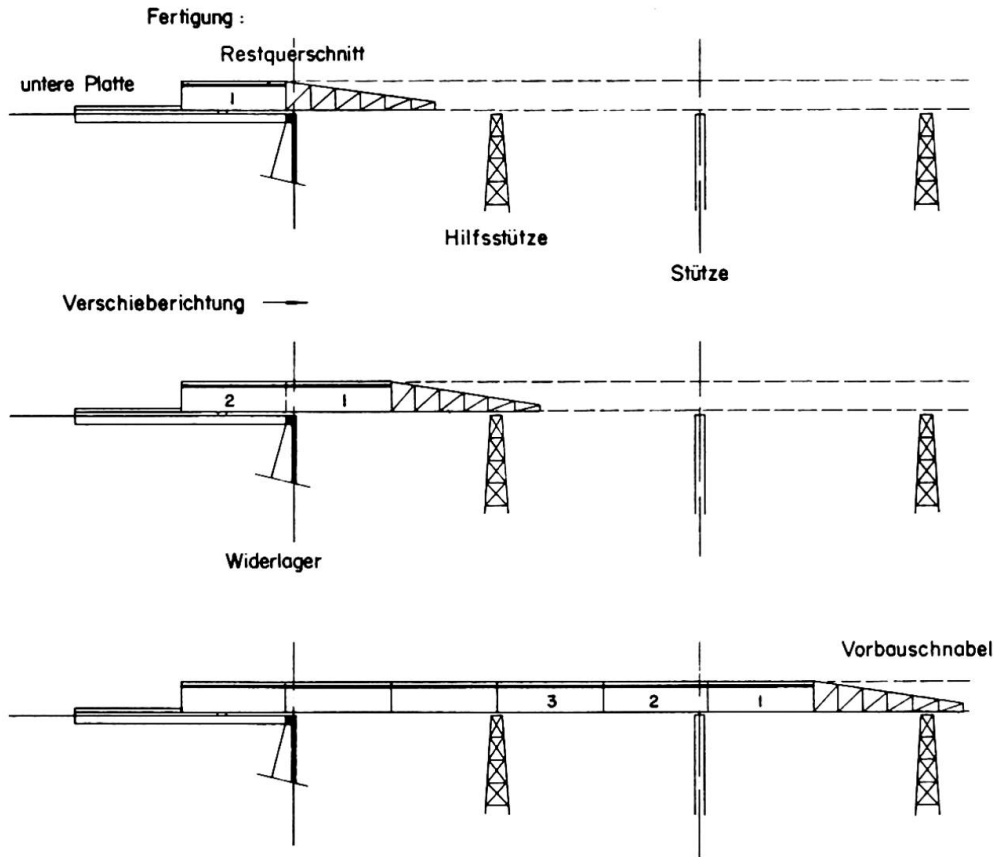


Bild 19. Taktschiebeverfahren

der Taubertal-Brücke 13) angewendet wird, werden unmittelbar hinter dem Brückenwiderlager 10-20 m lange Trägerabschnitte in einem fünftägigen Arbeitstakt hergestellt und nach einer Erhärtungszeit von 2 Tagen vorgeschoben. Die Aussenschalung bleibt dabei an Ort, während die Innenschalung des Kastenquerschnitts zunächst mitverschoben und nach dem Betonieren der unteren Kastenplatte zurückgefahren wird. Die einzelnen Trägerabschnitte werden monolithisch zusammenbetoniert und während des Verschiebevorganges zentrisch vorgespannt. Der Träger gleitet beim Widerlager und den Stützen auf Teflonplatten über Verschiebelager mit polierten Chromnickelstahl-Blechen. Die Verschiebepressen befinden sich beim Widerlager. Zur Abminderung der Kragmomente ist die Spitze des Trägers mit einem Vorbauschnabel verlängert. Bei grossen Spannweiten sind zudem Zwischenjoche erforderlich. Die Hauptvorspannung wird erst nach dem vollständigen Einschleiben des Trägers mit einem durchgehenden, konzentrierten Vorspannkabel aufgebracht.

Mit diesem Verfahren können selbstverständlich nur gerade bzw. im Grund- und Aufriss gleichmässig gekrümmte Brücken gebaut werden. Grösste Aufmerksamkeit ist bei der Anwendung des Taktschiebeverfahrens der genauen Lage der unteren Kastenplatte zu schenken. Die Betonierfläche muss absolut stabil sein und darf während des ganzen Bauvorganges keine Setzungen erfahren. Wie bei allen neuen Baumethoden spielen auch hier die mit der raschen Betoniererhärtungszeit zusammenhängenden Probleme eine wichtige Rolle.

Etappenweise Herstellung des Querschnitts.

Bei breiten Brücken ist es vorteilhaft, den Querschnitt in mehreren Etappen zu erstellen, da auch dieses Verfahren die Wiederverwendung von Gerüst und Schalung am gleichen Bauwerk ermög-

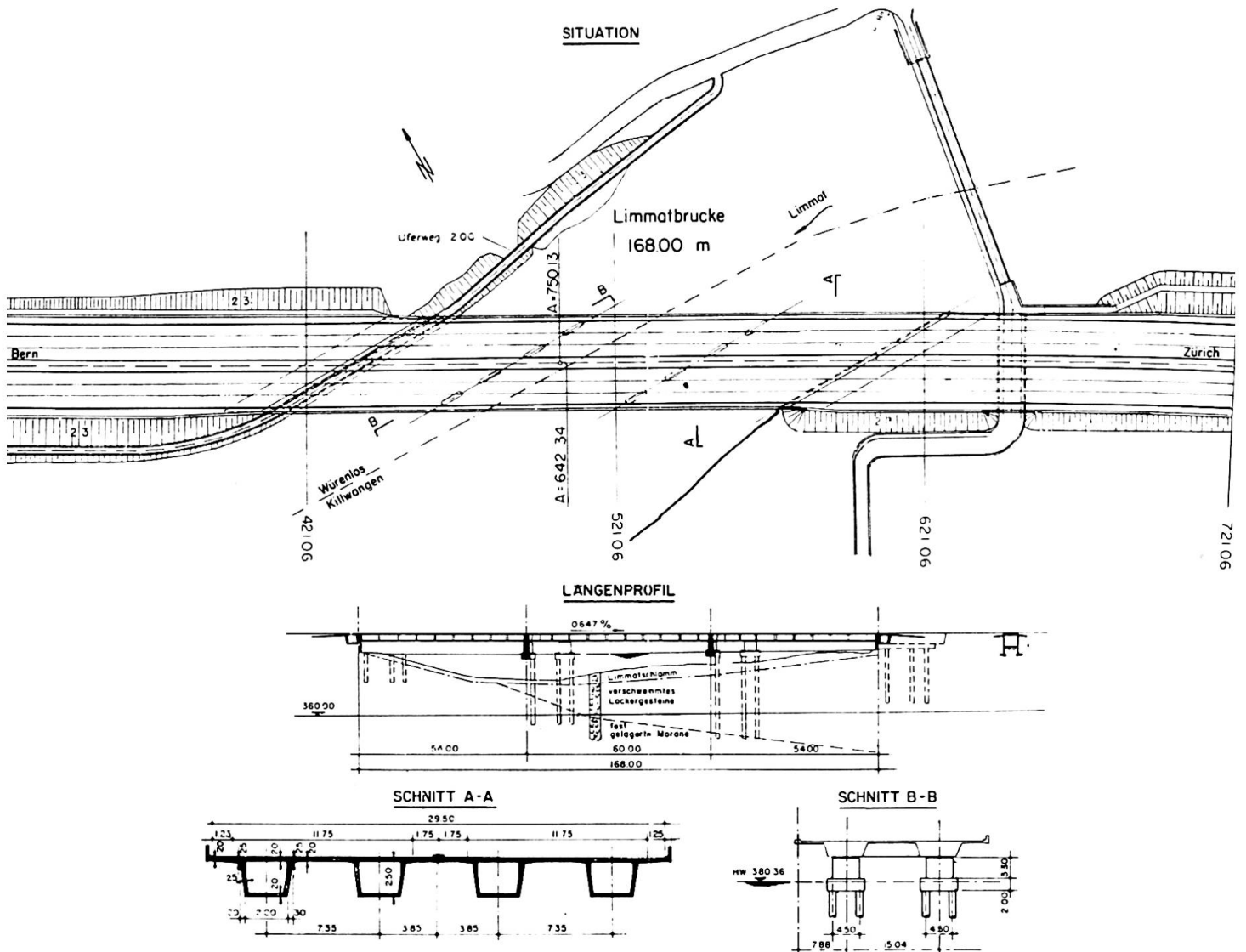


Bild 20. Limmat - Brücke Würenlos, Nationalstrasse N1 Zürich-Bern

licht. Für den Bau von Autobahn-Zwillingsbrücken wird normalerweise das Lehrgerüst querverschoben. Wenn die Fundationsverhältnisse jedoch sehr ungünstig sind, ist es wirtschaftlicher, anstelle des Gerüsts Teile des Brückenträgers zu verschieben. Bei der Limmat-Brücke Würenlos der Autobahn Zürich-Bern wurde in Anwendung dieses Verfahrens der gesamte Brückenquerschnitt in vier genau gleiche Hohlkastenträger aufgelöst. Diese Träger wurden nacheinander auf einem relativ schmalen Lehrgerüst mittelst einer längsverschieblichen Zugschalung in Elementen von ca. 15 m Länge betoniert. Nach dem Betonieren des Trägers wurden Spannkabel eingezogen und teilweise vorgespannt. Das Lehrgerüst konnte nun um wenige Zentimeter abgesenkt und der Träger auf einer über Pfeiler bzw. Widerlager verlaufenden Verschiebebahn in die endgültige Lage gebracht werden. Das Verfahren für die Trägerherstellung ist - die gleichen Schalungselemente konnten ca. 40-mal wiederverwendet werden - ausserordentlich rationell. Das Verschieben 170 m langer Träger mit sehr schiefen Auflagern und wechselndem Quergefälle erfordert jedoch umfangreiche Vorbereitungsarbeiten und eine aussergewöhnliche Sorgfalt und Genauigkeit.

Eine weitere Möglichkeit zur etappenweise Herstellung des Querschnitts besteht darin, dass weitausladende Konsolen erst nach dem Ausrüsten des Trägers betoniert werden. Dieses Verfahren weist folgende Vorteile auf: Das Gerüst muss nur für einen Drittel der Brückenbreite und etwa zwei Drittel des Trägergewichtes bemessen werden. Der Materialzutransport zur Herstellung der Konsolen erfolgt über die fertige Brücke direkt zum Verwendungsort. Die Konsolen werden auf einem relativ leichten, fahrbaren Gerüst im Taktverfahren hergestellt. Die Trägerhöhe kann, ohne die Aesthetik zu beeinträchtigen, sehr hoch gewählt werden und ermöglicht damit Einsparungen an Spannstaahl. Bei der 26 m breiten Birs-Brücke der Nationalstrasse N 2 in Basel beträgt die Ausladung der Konsolen je 9 m. Mit dem fahrbaren Konsolgerüst konnten pro Woche beidseits je zweimal 4 m lange Konsolabschnitte (Plattenbalkenquerschnitt in Ortsbeton) hergestellt werden. Das Verfahren ist sehr wirtschaftlich und hat sich ausgezeichnet bewährt.

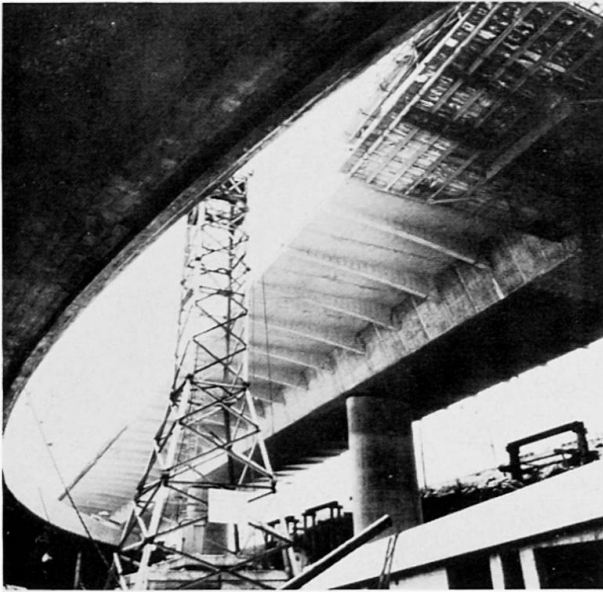


Bild 21/22. Birs-Brücke, Basel Nationalstrasse N2
(Foto Hoffmann, Basel)

Das wichtigste Problem dieser Methode ist das Zusammenwirken der nachträglich betonierten Konsolen mit dem bereits vorgespannten und ausgerüsteten Träger. Im übrigen spielen auch hier - wie bei allen anderen Herstellungsverfahren - die Beton-eigenschaften im Frühstadium eine wesentliche Rolle.

Literatur-Verzeichnis

- 1) Wittfoth, H.: Die Krahenbergbrücke bei Andernach
Beton- und Stahlbetonbau 1964, H. 7 u. 8
- 2) Thul, H.: Internationaler Spannbeton-Kongress
Brückenbau. Vorlandbrücke Obereisesheim
Beton- und Stahlbetonbau 1966, H. 5
- 3) Mayer, L.: Talbrücke Sechshelden, Konstruktion und Herstellung
Beton- und Stahlbetonbau 1969, H. 4
- 4) Lessing, A.: Brücke Welkers. Vorträge Betontag 1969
Deutscher Beton-Verein E.V.
- 5) Sattler, K.: Theorie der Verbundkonstruktionen, 2. Aufl.
Verlag Ernst & Sohn, Berlin 1969
- 6) Birkenmayer, M.: Berechnung von Verbundkonstruktionen aus
Beton und Stahl.
Verlag Lesmann, Zürich 1969

- 7) Finsterwalder, U. und Schambeck, H.:
Die Spannbetonbrücke über den Rhein bei Bendorf,
Los I
Beton- und Stahlbetonbau 1965, H. 3
- 8) Wittfoth, H.: Die Autobahnbrücke über das Siegtal in
Siegen-Eiserfeld.
Bauingenieur 1966, H. 2
- 9) Henne, W. und Bay H.:
Der Bau der Autobahnbrücke über die Lahn
bei Limburg.
Bauingenieur 1965, H. 3
- 10) Piguet, J.C. und Hofer, R.:
Viaducs de Chillon
Strasse und Verkehr 1967, H. 7
- 11) Leonhardt, F. und Baur, W.:
Die Ager-Brücke, eine aus Gross-Fertigteilen
zusammengesetzte Spannbetonbrücke.
Bautechnik 1963, H. 7
- 12) Leonhardt, F. und Baur, W.:
Brücke über den Rio Caroni, Venezuela.
Beton- und Stahlbetonbau 1966, H. 2
- 13) Thul, H.: Internationaler Spannbeton-Kongress
Brückenbau. Taubertal-Brücke.
Beton- und Stahlbetonbau 1970, H. 5
- 14) Woywod, E.: Der Brückenbau für die Nationalstrassen
Der Aargau baut, Nr. 3
Verlag Aargauer Tagblatt, Aarau 1968

Zusammenfassung

Einleitend werden kurz die verschiedenen Gesichtspunkte erörtert, die bei der Projektierung einer Brücke zu berücksichtigen sind. Der folgende Abschnitt befasst sich mit den Faktoren, die in den letzten Jahren massgeblich zur Entwicklung der Brückenbau-Technik beigetragen haben und zeigt, dass die effektiven Baukosten vor allem durch die direkte Zusammenarbeit von Projektverfasser und ausführenden Unternehmung gesenkt werden konnten. Im Hauptkapitel werden anhand von Beispielen die modernen Baumethoden und die damit zusammenhängenden und am Kongress zu diskutierenden Probleme beschrieben.

Résumé

On situe pour commencer les différents points de vue entrant en ligne de compte pour la conception d'un pont. Le chapitre suivant traite des facteurs essentiels qui ont contribué ces dernières années au développement de la technique de la construction des ponts et montre que les coûts d'exécution pourraient être réduits, avant tout par une collaboration étroite entre l'auteur du projet et l'entreprise chargée des travaux. A l'aide d'exemples, on décrit dans le chapitre principal les méthodes modernes de construction, ainsi que les problèmes s'y rattachant qui seront discutés lors du congrès.

Summary

In the introduction the different aspects that have to be considered for the design of a bridge are mentioned. The following paragraph deals with the factors that contributed to the development the technique of bridge-building during the last few years and shows that effective building costs could be lowered by means of a direct cooperation of the structural engineer and the contractor. The main paragraph describes, with reference to several examples, the modern construction methods and the resulting problems that will be discussed during the congress.

Leere Seite
Blank page
Page vide