

Segmentbauweise

Autor(en): **Ganz, Hans Rudolf / Meyer, Max Ernst**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **115 (1997)**

Heft 26

PDF erstellt am: **24.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-79268>

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.

Hans Rudolf Ganz, Lyssach, und Max Ernst Meyer, Singapur

Segmentbauweise

Die Tendenz beim wirtschaftlichen Bauen, insbesondere bei Grossprojekten, führt zu einer weitgehenden Vorfabrikation von zusammensetzbaren Segmenten. Teure Lehrgerüste entfallen und die Ausführungskosten sinken. Eine Übertragung der Technologie auf Brückenunterbauten ist absehbar.

Als Segmentbauweise wird jene Bauweise verstanden, in der vorgefertigte Betonelemente mit Vorspannkabeln zu einem monolithischen Brückenüberbau zusammengespannt werden. Frühe Anwendungen dieser Baumethode wurden in Frankreich in den 40er Jahren z.B. mit der Luzancy-Brücke in der Nähe von Paris ausgeführt. Erste Match-Cast-Segmente wurden in den USA 1952 hergestellt. Die Entwicklung moderner Vorspannsysteme zu Beginn der 60er Jahre, in Verbindung mit Match-Cast-Segmenten und speziellen Versetzgerüsten für die Erstellung des Brückenüberbaus, ermöglichte erst eine effiziente Anwendung und die Industrialisierung dieser Bauweise. Frühe Beispiele dieser Phase umfassen die Projekte Choisy-le-Roy in Paris, den Oléron-Viadukt an der französischen Atlantikküste und den Chillon-Viadukt in der Schweiz. In der Mitte der 70er Jahre wurde die Bauweise von Frankreich in die USA exportiert. Spektakuläre Projekte wie die Florida-Key-Brücken (1979-1981), die Seven-Mile-

Brücke (1979-1982) und weitere Grossprojekte in Florida eröffneten eine starke Verbreitung der Segmentbauweise in den USA. Ende der 80er Jahre wurde sie in Südostasien (Bangkok, Hongkong, Indonesien, Malaysia) eingeführt, und heute hat sie sich weltweit etabliert. Selbst als konservativ bekannte Länder wie Japan sind heute daran, diese Bauweise einzuführen. Wesentlich zu diesem Durchbruch beigetragen hat der starke Anstieg des Verhältnisses der Lohn- gegenüber den Materialkosten, der eine Steigerung der Produktivität, kürzere Bauzeiten und eine Standardisierung der Tragwerke erfordert.

Einige ausgewählte Zahlen können diese Entwicklung weiter verdeutlichen:

- Das American Segmental Bridge Institute hat 194 Beton-Grossbrückenprojekte in Nordamerika identifiziert, die zwischen 1966 und 1993 erstellt wurden [1]. Sechzig Prozent dieser Projekte wurden in der Segmentbauweise erstellt.

- Der Staat Florida ist einer der massgeblichen Promotoren dieser Bauweise in den USA. In der Periode von 1979 bis 1989 wurden dort 31 Projekte mit einer Gesamtfläche von 370 000 m² ausgeführt [2].

- In Frankreich wurden zwischen 1982 und 1991 total 58 Projekte mit externer Vorspannung und mehr als 420 000 m² Brückenfläche dokumentiert [3]. Sechzehn Projekte in Segmentbauweise repräsentie-

ren 45% der Brückenfläche gegenüber 42 Projekten in Ortbeton mit 55% der Brückenfläche, was eine mittlere Grösse von 12 000 m² pro Segment-Brücke im Vergleich zu 5500 m² pro Ortbeton-Brücke ergibt.

- Zwischen 1990 und 1996 wurden alleine im Zentrum von Bangkok rund 40 km oder eine Million Quadratmeter Brückenfläche in Segmentbauweise erstellt. Gegenwärtig sind weitere 1,9 Mio. m² in Vorbereitung und Ausführung.

Im folgenden wird der Stand der Bautechnik der Segmentbauweise - mitunter auch, um einige häufig verwendete Ausdrücke zu definieren - erläutert. Danach werden drei ausgewählte Projekte aus den USA, Frankreich und Südostasien vorgestellt. Es handelt sich um zwei Strassen- und eine Eisenbahnbrücke. Die Beispiele erlauben auch, einige regionale Besonderheiten aufzuzeigen. Schliesslich werden einige Folgerungen, neuere Entwicklungen und ausgewählte Trends in der Segmentbauweise vorgestellt.

Stand der Bautechnik

Der vorliegende Artikel beschränkt sich auf Balkenbrücken, deren Überbau durch Schnitte quer zur Brückenachse in Segmente unterteilt wird. Diese Segmente werden in Fabriken gebaut, zur Baustelle transportiert und mit Kran beziehungsweise Versetzgerüst und Vorspannung zu selbsttragenden Spannweiten zusammengebaut. Zudem konzentrieren sich die folgenden Ausführungen auf Segmente, die im sogenannten Match-Cast-Verfahren hergestellt werden (Segment N dient beim Herstellen von Segment N+1 als Endschalung).

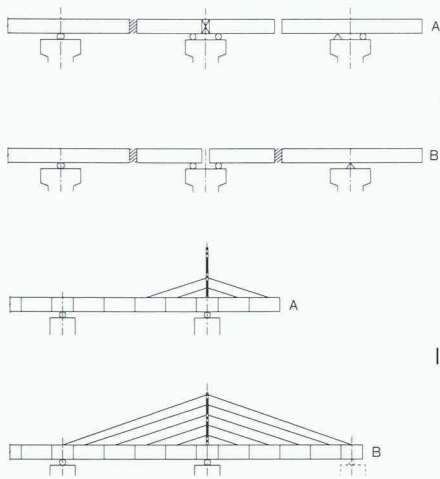
Klassifizierung

Brückenüberbauten, die in vorgefertigter Segmentbauweise erstellt werden, lassen sich am besten aufgrund der Baumethode, mit der die einzelnen Segmente im Feld zusammengebaut werden, klassifizieren. Das verwundert nicht, denn Hauptziel in der Segmentbauweise ist eine Optimierung des Bauverfahrens und nicht - wie sonst häufig üblich - das Bestreben, den Materialverbrauch für die permanente Struktur zu minimieren. Geometrische Abmessungen werden oft durch Anforderungen von temporären Bauzuständen bestimmt.

In Bild 1 werden drei Haupttypen von Brückenüberbauten bezüglich Spannweitenbereich, Artikulation, Längsvorspannung und Fugenausbildung verglichen. Beim Freivorbau (FCM) werden nach dem

1
Klassifizierung von Brückenüberbauten nach Bauweisen

	Typ I	Typ II	Typ III
	Freivorbau (FCM = free cantilever method)	feldweiser Zusammenbau und feldweise erste Vorspannung von Segmenten (SBS = span by span)	voll vorgefertigter Träger (FPD = fully precast deck)
Spannweitenbereich	~ 25-100 m	~ 25-50 m	~ 25-35 m
Artikulation			
- einfacher Balken		•	•
- Durchlaufträger	•	•	•
Längsvorspannung			
- intern	Kragträger/ Kontinuität	•	•
- extern	Kontinuität	•	
Fugen			
- trocken		•	
- geklebt	•	•	



2
Freivorbau in Segmentbauweise. I: symmetrisch, II: asymmetrisch

Versetzen des Stützensegments die Feldsegmente meist paarweise auf beiden Seiten auskragend angebaut und durch Kragträgervorspannung mit den bereits versetzten Segmenten zusammengespannt. Komplette Kragträger werden mit einem kurzen Ortbetonsegment in Feldmitte und durch eine Kontinuitätsvorspannung zu Durchlaufträgern verbunden.

Nebst diesem sogenannten symmetrischen Freivorbau ist es auch möglich, den Überbau eines Feldes in asymmetrisch auskragender Weise aus Segmenten zusammenzubauen, die - ausgehend von einem bereits erstellten Brückenfeld - sukzessive angefügt werden. Um die Kragträgerlänge zu verkürzen bzw. die Kragträgermomente im Überbau zu reduzieren, sind in diesem Fall entweder Hilfsstützen in Feldmitte oder temporäre Abspannungen mit einem Pylon erforderlich. Diese Variante des Freivorbau gelangt eher selten zur Anwendung. Beide erwähnten Bauweisen sind schematisch in Bild 2 dargestellt.

Beim zweiten Typ handelt es sich um den feldweisen Zusammenbau von Segmenten, bei dem die erste Vorspannetappe feldweise erfolgt (SBS). Träger können als einfache Balken oder als Durchlaufträger konzipiert sein. Im zweiten Fall sind zwischen Stützen- und Feldsegmenten kurze Ortbetonfugen erforderlich, die nach dem Zusammenbau der Segmente eines Feldes, aber vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe, betoniert werden müssen. Im Gegensatz zum Freivorbau, in dem ein Kran oder ein Versetzergerüst nur für das Versetzen eines einzelnen Segments ausgelegt werden muss, erfordert die SBS-Methode ein Versetzergerüst, das in der Lage sein muss, das Gewicht einer ganzen Spannweite abtragen zu können. Bauvorgänge und schematischer Verlauf der Längs-

vorpannung für diese Bauweise sind in Bild 3 dargestellt.

Der dritte Typ ist der über seine ganze Spannweite voll vorfabrizierte Brückenträger (FPG). Die Segmentlänge ist in diesem Fall gleich der Spannweite, und die Segmente sind somit a priori selbsttragend. Infolge ihrer grossen Abmessungen und ihres grossen Eigengewichts müssen solche Segmente über das bereits erstellte Deck zur Einbaustelle transportiert werden. Für das Versetzen der Träger sind spezielle Gerüste erforderlich.

Ausgewählte Aspekte

Im folgenden werden nun verschiedene Aspekte des Überbaus in Segmentbauweise diskutiert. Bei all diesen Ausführungen wird ersichtlich, dass Konzept, Bemessung und Detaillieren von Brücken in Segmentbauweise massgeblich vom Bestreben bestimmt werden, die Segmentproduktion und das Zusammenbauen der Segmente zu Brückenträgern effizienter und schneller zu machen.

Brückendeckgeometrie

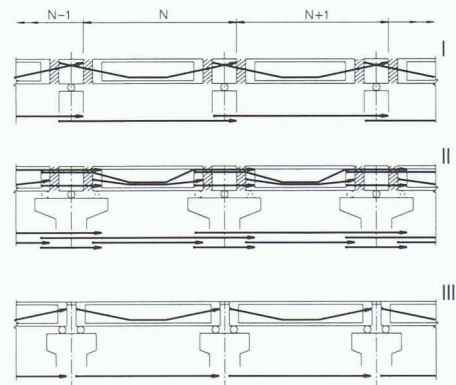
Die Fahrbahnplatte der Segmente sollte bezüglich Längsgefälle, Grundrisskrümmungen und den damit verbundenen Querschnittgefälleänderungen möglichst genau der geforderten Brückendeckgeometrie entsprechen. Damit ist der Rohbau der Brücke nach dem Versetzen der Segmente praktisch beendet. Nachfolgearbeiten wie das Erstellen der Konsolköpfe, Be-

lagsarbeiten usw. können unmittelbar danach beginnen. Im Gegensatz zu vorfabrizierten T- und I-Trägern ist die Segmentbauweise bezüglich veränderlicher Deckgeometrie sehr flexibel, da abgesehen vom Brückentyp III die Segmentlänge nur etwa drei Meter beträgt.

Lager

Bezüglich Lager gelten ähnliche Überlegungen wie für Dilatationsfugen. Die Anzahl soll minimal gehalten werden, und ein guter Zugang soll den Unterhalt und Ersatz ermöglichen. Der als einfacher Balken gelagerte Brückenträger erlaubt die schnellste Bauweise. Er hat aber den Nachteil, dass verglichen mit dem Mehrfeldträger fast doppelt so viele Lager erforderlich sind. Dieser Nachteil wird heutzutage besonders bei privatisierten Projekten oft in Kauf genommen. Die Anzahl der Lager ist zwar grösser, die geringeren Lagerkräfte und Dehnungswege erlauben aber meist den Einsatz von relativ billigen Elastomerlagern.

3
Feldweiser Vorbau in Segmentbauweise. Systeme I bis III mit Tabelle



System	Segmenttypen, Anzahl pro Feld				Hauptmerkmale	Anzahl Ortbetonfugen pro Feld
	Stütze	Anker	Feld	Feld mit Umlenksattel		
I	2	-	*	2-3	Biegesteife Verbindung des neuen mit dem vorangehenden Feld	2 während des Segmentversetzens
II	1	2	*	2-3	Segmente werden als einfache Balken auf temporären Lagern zusammengebaut. Biegesteife Kontinuität über Stütze in späterer Bauphase	2 nach dem Segmentversetzen
III	2	-	*	2-3	Segmente werden als einfache Balken auf permanenten Lagern zusammengebaut. Kontinuität für Längskräfte über Stütze in späterer Bauphase	1 Fahrplattenverbindung nach dem Segmentversetzen

* entsprechend Länge der Spannweite

Segmentierung/Querschnittsausbildung

Die Kunst des Segmentierens besteht darin, mit möglichst wenigen Segmenttypen auszukommen. Die Anzahl der Segmenttypen hat einen direkten Einfluss auf die Segmentproduktion. Weniger Segmenttypen bedeuten weniger Typen von Schalungen, somit kleinere Investitionen in die Vorfabrikationsanlage bzw. weniger Schalungsmodifikationen während der Produktion. Dies wirkt sich wiederum günstig auf Produktionszyklen und Arbeitsstunden aus.

Die äussere Geometrie der Segmente sollte möglichst konstant gehalten werden. Variationen sollten sich, falls erforderlich, auf Trägerhöhe und Länge der Fahrbahnplattenauskragungen beschränken.

Grundsätzlich gibt es immer zwei verschiedene interne Segmentgeometrien, nämlich eine für das Stützen- und eine für das Feldsegment. Bei den Stützensegmenten hat man zusätzlich zwischen internen Stützensegmenten (Überbau durchlaufend) und End- bzw. Dilatationsfugensegmenten zu unterscheiden. Bei kastenförmigen Feldsegmenten sollten die Fahrbahnplattenabmessungen konstant gehalten werden. Falls Variationen der Stegstärken und der unteren Kastenplatte unumgänglich sind, ist es vorteilhaft, diese stufenweise und nicht graduell zu ändern. Spezielle Beachtung muss den oben, unten und seitlich angeordneten internen Verankerungslisenen für die permanente und temporäre Vorspannung sowie den Umlenkstäben für die externe Vorspannung geschenkt werden. Die goldene Regel heisst hier, Anordnung und Abmessungen so zu konzipieren, dass die an einem Wagen angehängte innere Schalung von einer Seite her ein- und ausfahrbar ist.

Fugen

Die Fugen zwischen den Segmenten werden, wenn immer möglich, trocken ausgeführt. Trockene Fugen erfordern weniger oder sogar überhaupt keine temporäre Vorspannung. Die permanente Vorspannung verläuft extern zum Querschnitt und ist durch eine durchgehende Kunststoffhülle vor Korrosion geschützt. Bei der Verwendung einer internen Vorspannung erfordert das Abdichten der Kabelhüllrohrstösse hingegen normalerweise geklebte Fugen.

Stützenkopf

Der Stützenkopf muss oft vergrössert werden, um die Anordnung von temporären Lagern zu ermöglichen. Beim Freivorbau ist es sehr vorteilhaft, wenn der Kragträger während des Vorbaus auf hydraulischen Pressen ruht, die das Ausrich-

ten des ganzen Kragträgers vor dem Betonieren der Schlussfuge ermöglichen. Der Träger wird anschliessend auf die permanenten Lager abgesetzt.

Vorspannung

Als Vorspannung gelangen interne Kabel, externe Kabel oder eine Kombination von beiden zur Anwendung. Beim Freivorbau ergeben sich effiziente Lösungen mit einer Kombination von interner Kragträgervorspannung, die in der Fahrbahnplatte angeordnet und verankert wird, und externer Kontinuitätsvorspannung. Beim feldweisen Zusammenbau von Segmenten setzt sich die ausschliessliche Verwendung externer Kabel mehr und mehr durch. Eine solche Konfiguration vereinfacht die Produktion der Feldsegmente wesentlich. Es müssen keine Hüllrohre mehr verlegt werden, die Stege bleiben frei von Kabeln, die Fugen müssen nicht geklebt werden, und die Vorspannkabel sind jederzeit kontrollierbar.

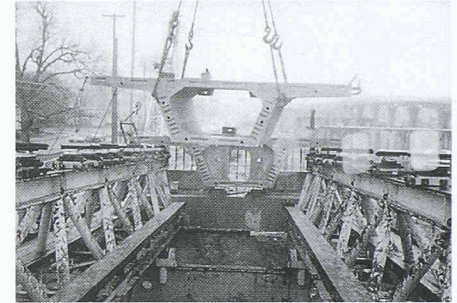
Vorfabrikation

Zwei Produktionsverfahren stehen im Vordergrund. Beim «short line»-Verfahren entspricht die Schalungslänge der Segmentlänge. Beim «long line»-Verfahren wird die untere Schalung über die Länge des Feldes oder der Kragträger ausgelegt. Die seitliche Aussen- und die Innenschalung sind auf eine Segmentlänge beschränkt und entlang der unteren Schalung verschiebbar. Bei beiden Verfahren werden Stützensegmente normalerweise im Zweitage- und Feldsegmente im Eintagesrhythmus erstellt. Solche Leistungen werden nur erreicht, wenn die Bewehrung ausserhalb der Schalung vorgängig vollständig vorgefertigt wird. Die «long line»-Methode eignet sich besonders für Brückenüberbauten ohne horizontale Krümmung und mit konstantem Längsgefälle. Die geometrische Kontrolle während der Segmentproduktion gestaltet sich dann sehr einfach. Am weitesten häufigsten kommt heutzutage jedoch die «short line»-Methode zur Anwendung.

Versetzen der Segmente

Beim Zusammenbau der Segmente kommen spezielle Versetzerüste zum Einsatz. Brückentyp, Funktionsweise des Gerüsts und Umfang der mechanischen Ausrüstung des Gerüsts bestimmen die erreichbaren Versetzeiten und die Grösse der Bedienungsmannschaft. In Thailand sind mit Hilfe eines unten liegenden Versetzerüsts 45 m lange, einfach gelagerte Kastenträger, bestehend aus 12 m breiten, vorgefertigten Segmenten, innerhalb von nur 20 Arbeitsstunden zusammengebaut worden. Beim Freivorbau sind solche kur-

zen Versetzeiten nicht erreichbar, da das Erstellen der Ortbetonschlussfuge inklusive Abhärten des Betons alleine schon mehr als 12 Stunden in Anspruch nimmt. Beim voll vorgefertigten Träger ist das Versetzen einer Spannweite pro Tag in einer normalen Arbeitsschicht die Regel.



4

San Antonio Y: Absetzen eines Segments auf das untenliegende Versetzerüst

Ausgewählte Projekte

San Antonio Y, Austin USA

Diese Strassenbrücke durch Austin, Texas, hat 206 Spannweiten zu 41 m und eine Brückenfläche von 121 000 m². Sie wurde zwischen Januar 1994 und April 1997 für Gesamtkosten von 71,3 Millionen US-Dollar oder 420 \$/m² errichtet.

Der Unterbau umfasst 260 Stützen in drei verschiedenen Typen. Ursprünglich waren die Stützen als vorgefertigte Elemente geplant. Der Unternehmer zog jedoch eine Variante in Ortbeton vor. Der Überbau besteht aus einem 17,7 m breiten Kastenträger für drei Fahrspuren. Der Kasten hat eine nur 4,9 m breite Bodenplatte und eine weit auskragende Fahrbahnplatte. Die Höhe des Kastens ist konstant und beträgt 2,1 m. Überlegungen betreffend Materialaufwand hätten einen durchlaufenden Überbau favorisiert. Aufgrund gesamtwirtschaftlicher Überlegungen, einfacherer Detaillierung und Ausführung wurde jedoch einem einfach gelagerten Brückenüberbau der Vorzug gegeben. Die Fahrbahnplatte ist über den Stützen durchlaufend ausgebildet, um die Anzahl Dilatationsfugen zu minimieren und den Fahrkomfort zu erhöhen. In jeder dritten Spannweite wurde eine Dilatationsfuge angeordnet. Die Vorspannung bestand aus internen Spannkabeln in der Bodenplatte des Kastenträgers und externen Kabeln im Kasteninnern. Der Überbau wurde in der SBS-Bauweise mit untenliegendem Versetzerüst erstellt. Die Fugen zwischen den Segmenten sind mit Epoxidharz verklebt. Der typische Bauzyklus einer Spannweite betrug zwei Tage. Bild 4 zeigt ein typisches

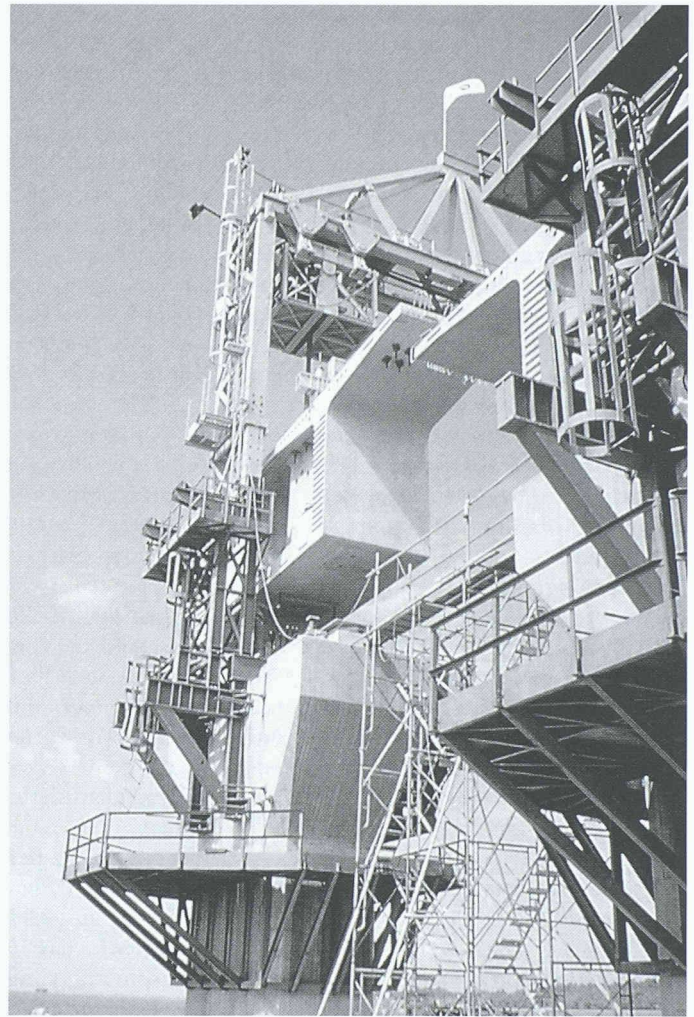
Segment beim Absetzen auf das untenliegende Versetzgerüst.

Rhone-Viadukt, Avignon (F)

Diese Brücke für den Hochgeschwindigkeitszug TGV überquert die Rhone bei Avignon. Es handelt sich um zwei parallele, 1,5 km lange Überbauten für je zwei Gleise. Die Vorlandbrücken haben Spannweiten von 40 bis 50 m, die Hauptbrücken solche von 100 m. Die 37 000 m² Brückenfläche werden in Segmentbauweise zwischen Dezember 1996 und Februar 1999 erstellt, die Gesamtkosten sind auf 565 Millionen Francs oder 15 400 Francs/m² veranschlagt.

Der Brückenunterbau der Hauptspannweiten besteht aus konischen Stützen mit variablem Durchmesser zwischen 8,5 und 5,0 m. Diese Stützen sind bis zu 50 m hoch und werden in Ortbeton ausgeführt. Sie ruhen auf einer Fundation aus Bohrpfählen des Durchmessers 2,2 m.

Der Überbau besteht aus einem 12,3 m breiten Kastenträger für zwei Gleise. Die Trägerhöhe der Hauptspannweiten beträgt an der Stütze 8,5 m. Sie wird über 28 m Länge parabolisch auf eine konstante Trägerhöhe im Feldbereich von 4,0 m reduziert. Der Überbau wird in bis zu 400 m Distanz vom Brückenfixpunkt kontinuierlich ausgebildet. Die Vorlandbrücken bestehen aus einfach gelagerten Balken mit konstanter Trägerhöhe (4,0 m). Der Kastenquerschnitt entspricht demjenigen im Feldbereich der Hauptspannweiten. Die Vorspannung besteht aus einer Kombination von internen Kabeln in den Kastenplatten und externen Kabeln im Kasteninnern. Externe Kabel bestehen aus bis zu 37 Litzen des Durchmessers 0,6". Der Überbau wird in der Free Cantilever-Methode mit geklebten Fugen ausgeführt. Pro



5
Second Crossing:
Versetzen des Pfeiler-
kopf-Segments

Tag ist der Einbau von zwei Segmenten mit einem über dem Kasten liegenden Versetzgerüst geplant. Im Schnitt ergibt dies eine Spannweite in zehn Tagen.

Die Rhone-Viadukte stellen gleich mehrere Innovationen und Rekorde für die Französischen Nationalbahnen dar. Sie sind die ersten Brücken in Segmentbau-

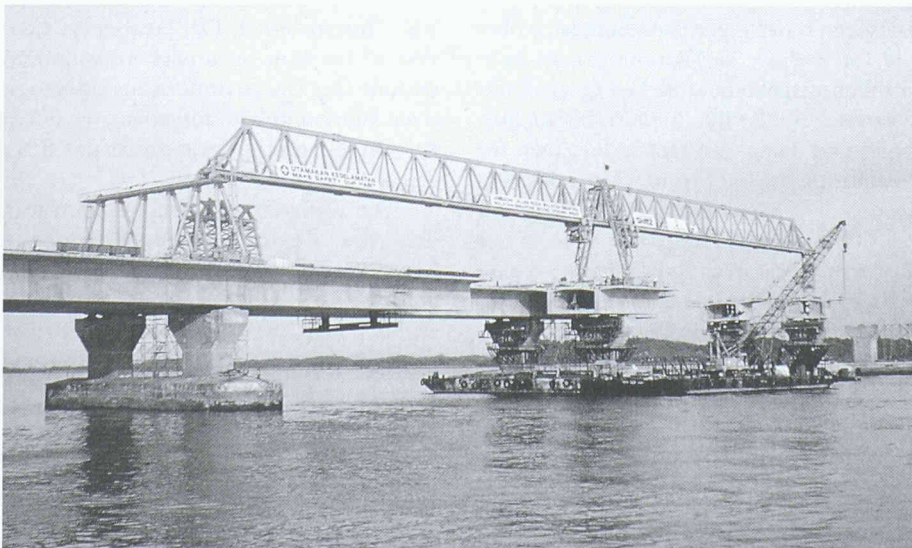
weise und mit externer Vorspannung, und zum ersten Mal auch gelangt ein hochfester Beton mit einer Zylinderfestigkeit von 52 MPa zum Einsatz.

Second-Crossing-Brücke zwischen Malaysia und Singapur

Eine zweite Strassenverbindung zwischen dem Stadtstaat Singapur und Westmalaysia ist zur Zeit im Bau. Kernstück dieser Verbindung ist eine 1,92 km lange Doppelbrücke in vorgespanntem Beton, welche die Straits von Singapur im Westen der Insel überquert. Projektierung und Bau der Brücke wurden in ein malaysisches und in ein singapurianisches Los aufgeteilt. In beiden Losen werden die Hauptbrücken in Ortbeton und im Freivorbau erstellt. Die Kosten für das 17,7 km lange malaysische Los der Brücke betragen 266 Mio. Malaysische Ringgit oder rund 2900 sFr./m².

Auf der malaysischen Seite werden die 1,2 km langen Vorlandbrücken sowie die beiden Verbindungsspannweiten zwischen den malaysischen und singapurianischen Hauptbrücken aus vorfabrizierten Segmenten hergestellt. Diese Brücken sind in der Regel Durchlaufträger über sechs Felder mit 70 m langen Innen- und 62 m langen Endfeldern. Eine 70 m lange

6
Second Crossing: Obenliegendes Versetzgerüst



Spannweite besteht aus einem Stützensegment und aus 20 Feldsegmenten. Die Segmente bestehen aus einem einzelligen Kastenquerschnitt, sind 3,6 m hoch und haben eine Länge von 2,5 bzw. 3,35 m sowie eine 14,5 m breite, in Querrichtung vorgespannte Fahrbahnplatte. Das schwerste Segment wiegt 145 Tonnen.

Die 840 Segmente werden in einer für dieses Projekt erstellten Vorfabrikationsanlage hergestellt, die 20 km von der Brückenbaustelle entfernt aufgebaut wurde. Die Segmente werden mit einem obenliegenden Vernetzgerüst im Freivorbau zu Brückenträgern zusammengesetzt, wobei eine Spannweite mit einer täglichen Arbeitsschicht in 15 Arbeitstagen erstellt wird. Die Vorspannung besteht aus einer Kombination aus interner und externer Vorspannung. Das Erstellen des Überbaus hat im Januar 1996 begonnen und wird Ende Juli 1997 abgeschlossen sein. Die neue Strassenverbindung wird im November 1997 dem Verkehr übergeben. Bilder 5 und 6 zeigen das zum Plazieren des Pfeilerkopfsegments und der Feldsegmente bereite Vernetzgerüst.

Folgerungen, neuere Entwicklungen und Trends

Die bisherigen Erfahrungen mit der Segmentbauweise stammen hauptsächlich vom Grossbrückenbau. Die Erkenntnisse betreffend Dauerhaftigkeit und Unterhalt dieser Projekte über die letzten zwanzig Jahre sind positiv:

In [4] werden die Unterhaltskosten von Brücken in Segmentbauweise jenen von Ort betonbrücken gegenübergestellt. Über eine Zeitspanne von zwanzig Jahren werden Unterhaltskosten von 0,6% für die Segment- und 2,5% für die Ort betonbauweise, bezogen auf die Erstellung, ermittelt. Dies entspricht im Mittel Unterhaltskosten von 0,1% der Erstellungskosten pro Jahr.

7
Channel Bridge: Einschieben eines Segments auf den Montage-Stahlträgern



Das American Segmental Bridge Institute stellte Inspektionsbefunde von 194 Brückenprojekten zusammen [1]. Die Projekte wurden mit einer Skala von Null (nicht mehr nutzbar) bis Neun (ausgezeichnet) bewertet. In diesen 194 Projekten rangierte keines unterhalb von Fünf (angemessen). 98% der Projekte wurden mit Sechs (befriedigend) oder besser bewertet. 84% der Projekte erhielten eine Sieben (gut) oder besser. Dieser Befund wurde als sehr ermutigend beurteilt.

Obige Resultate bewegten Befürworter der Segmentbauweise in den USA, einen Vorschlag zur Standardisierung von Abmessungen, Bemessung und Herstellung von kastenförmigen Brückensegmenten zu erarbeiten [5]. Ziel dieser Initiative ist das Angebot von Standard-Segmenten für Brückenüberbauten, die eine wirtschaftliche Anwendung der Segmentbauweise auch für kleine Projekte ermöglichen. Dieser Vorschlag ist analog zum Angebot von vorgefertigten I-Trägern aus Beton gemäss AASHTO-Standard oder von standardisierten Stahlprofilen zu bestehen.

Der Erfolg der Segmentbauweise für Brückenüberbauten soll nun auch auf Unterbauten ausgedehnt werden. Organisationen wie das Texas Department of Transportation und AASHTO arbeiten in den USA an einer Empfehlung für Segment-Unterbauten [6]. Beispiele von Projekten in den USA mit Segment-Unterbauten umfassen die Seven Mile-Brücke in Florida, die C & D Canal-Brücke in Delaware und den Bogen der Natches-Brücke in Tennessee.

In Frankreich wurde ein Standard-Querschnitt in Trogform für Autobahn-Überführungen in Segmentbauweise entwickelt, der nun in den USA unter dem Namen «Channel Bridge» vermarktet wird [7]. Der Trogquerschnitt besteht aus einer 300 mm starken Fahrbahnplatte, die quer zwischen Randträgern gespannt ist, wobei die Innenseiten der Randträger als Leitplanken ausgebildet sind. Der Querschnitt ist zwischen den Randträgern bis zu 20 m breit und kann als Durchlaufträger für Spannweiten von bis zu 35 m ausgelegt werden. Die Segmente sind 2,5 m lang und werden mit internen Spannkabeln in der Platte und in den Randträgern vorgespannt. Für den Einbau werden Stahlträger über die Autobahn eingestossen, die als Einschubbahn für die Segmente dienen. Wenn alle Segmente eingeschoben, ausgerichtet, die Fugen geklebt und die Kabel vorgespannt sind, kann die Überführung auf die Lager abgesenkt und die Stahlträger können herausgezogen werden. Die Vorteile dieser Bauweise liegen in der Stan-

dardisierung der Querschnitte und des Einbaus, die eine Wiederverwendung derselben Schalung und Geräte auf zahlreichen Objekten selbst mit unterschiedlicher Breite und Spannweiten ermöglichen. Dieser Querschnitt ist ebenfalls äusserst vorteilhaft beim Ersatz alter Überführungen, da die Träger über der Fahrbahn liegen und damit häufig eine grössere lichte Höhe als traditionelle Querschnitte anbieten. Bild 7 zeigt ein Segment dieser Bauweise beim Versetzen auf die Montage-Stahlträger.

Fortschritte in der Segmentbauweise, Schalungstechnologie und Betontechnologie ermöglichen auch im Betonbau die Leichtbauweise. In Frankreich ist gegenwärtig das Projekt «Viaduc de Boulonnais» in Ausführung. Der Brückenquerschnitt besteht aus massiven Fahrbahn- und Bodenplatten in Beton, der normalerweise massive Steg ist durch ein leichtes Raumfachwerk ersetzt. Die Fachwerkstäbe bestehen aus Stahlrohren, die mit Beton gefüllt sind. Vorgespannt wird durch eine Kombination aus internen Kabeln in den Platten und externen Kabeln im Raumfachwerk zwischen den Platten. Für den Viaduc de Boulonnais mit Spannweiten bis zu 110 m resultieren für eine variable Trägerhöhe von 5,5 bis 8,0 m eine mittlere Betonstärke des Überbaus von rund 500 mm, mithin weniger als 60% einer traditionellen Betonbrücke. Bilder 8 und 9 zeigen ein typisches Segment und das Erstellen einer Spannweite mit dem obenliegenden Vernetzgerüst. Dieses Projekt stellt eine Weiterentwicklung der Konzepte der Bubiyan- und der Sylans-Brücke dar.

Ebenfalls Gewichtseinsparung, jedoch verbunden mit massiven und einfachen Querschnittsformen für gute Dauerhaftigkeit, verfolgte die Schweizer Entwicklung der «Unterspannten Plattenbrücke». Das Konzept für diesen Brückenüberbau stammt von Christian Menn [8], und wurde später durch Peter Marti und VSL International für Strassenbrücken von 30 bis 40 m Spannweiten weiterentwickelt. Der Querschnitt ist aus einer massiven Fahrbahnplatte aufgebaut, die durch ein vorgespanntes, trapezoidal geführtes Zugband gestützt wird.

Die Weiterentwicklung besteht darin, dass das Zugband in vorgespanntem Beton ausgeführt wird, was eine erhöhte Steifigkeit des Überbaus auch ohne Steg ergibt. Die Querschnitte der Fahrbahnplatte und des Zugbands stellen äusserst einfach herstellbare Segmente dar. Mit diesem Querschnitt resultierte je nach Spannweite eine mittlere Betonstärke von 400 bis 470 mm. Dieser Segment-Überbau wurde für eine Brücke in Südostasien vorgeschlagen (Bild 10).

Literatur

[1]

Miller M.D.: Durability Survey of Segmental Concrete Bridges. American Segmental Bridge Institute, Phoenix, 1994, 24 pp.

[2]

Moreton A.J.: Segmental Bridge Construction in Florida - A Review and Perspective. PCI Journal, Vol 34, No 3, May/June 1989, pp 36-77.

[3]

External Prestressing. Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes - SETRA, Bagneux, February 1990, 120 pp.

[4]

Muller J.M.: 25 Years of Concrete Segmental Bridges - Survey of Behaviour and Maintenance Costs. Jean Muller International, San Diego, April 1990, 48 pp.

[5]

Proposed AASHTO - PCI - ASBI Segmental Box Girder Standards for Span-by-Span and Balanced Cantilever Construction. Precast/Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois; American Segmental Bridge Institute, Phoenix, September 1996.

[6]

Billington S.L.: Development of Proposed Standard Precast Segmental Substructures. ASBI Convention, Orlando, November 11/12, 1996

[7]

Evaluation Findings: The Segmental Concrete Channel Bridge System. Highway Innovative Technology Evaluation Center - HITEC, American Society for Civil Engineers - ASCE, New York, March 1996, 33 pp.

[8]

Menn C., Gauvreau P.: Externally Prestressed Concrete Slab Bridges: Model Test Results. External Prestressing in Bridges, ACI SP - 120, American Concrete Institute, Detroit, 1990, pp. 289-304



8

Boulonnais-Viadukt:
Segment mit Raum-
fachwerk

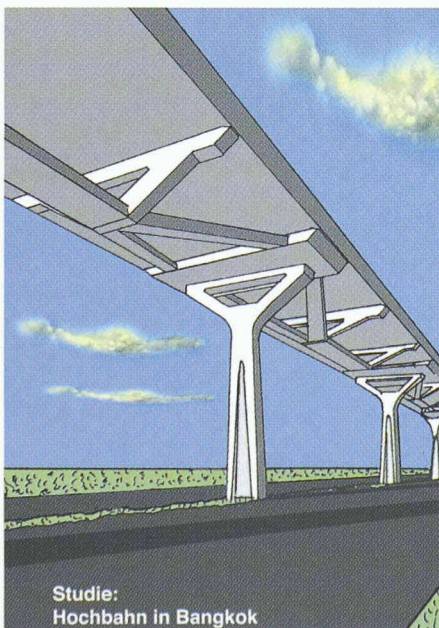


9

Boulonnais-Viadukt:
Obenliegendes
Versetzgerüst

10

Unterspannte Plattenbrücke. Vorschlag:
Prof. Peter Marti



Studie:
Hochbahn in Bangkok

Die rasante Ausbreitung der Segmentbauweise in den letzten Jahren hat zu einer Spezialisierung der ausführenden Unternehmungen geführt. Oft überlässt der Hauptunternehmer die Herstellung der Segmente und das Errichten der Überbauten Spezialfirmen, während er die Gesamtverantwortung für das Projekt behält. Da die Erstellung der Segment-Überbauten sehr eng mit dem Einbau der Vorspannung einhergeht, haben sich vermehrt Vorspannfirmer auf diese Aktivität spezialisiert. So kann die VSL-Gruppe für laufende und ausgeführte Projekte bereits mehr als eine Million Quadratmeter erstellter Brückenfläche in Segmentbauweise anführen.

Die Segmentbauweise kann auf eine noch relativ kurze, aber sehr erfolgreiche und rasante Entwicklung zurückblicken, deren Ende aus heutiger Sicht nicht abzu-

sehen ist. Eine Ausdehnung auf andere Teile von Brücken - z.B. Unterbauten - und eine Übertragung der Brückenbau-Technologie auf Anwendungen im Hochbau sind vor auszusehen.

Adresse der Verfasser:

Hans Rudolf Ganz, Dr. sc. techn., dipl. Bauing. ETH, VSL International AG, Bernstr. 9, 3421 Lyssach, und Max Ernst Meyer, dipl. Bauing. ETH, VSL Singapore Pte. Ltd., 75 Bukit Timah Road, Singapore 229833