

3 Internationaler Brückenbau – dargestellt anhand aktueller Ausführungsbeispiele der Bilfinger Berger AG

Dr.-Ing. Oliver Fischer
Bilfinger Berger AG,
Tragwerksplanung Ingenieurbau, Wiesbaden

Dr.-Ing. Michael Blaschko
Bilfinger Berger AG,
Niederlassung Brückenbau, Wiesbaden

3.1 Einleitung

Weltweit werden derzeit eine Vielzahl von Infrastrukturprojekten realisiert um den kontinuierlich wachsenden Individual- und Bahnverkehr in den Hauptwirtschaftsräumen mit leistungsfähigen Verkehrswegen aufnehmen zu können. Die Umsetzung dieser Projekte erfordert aufgrund der zu wählenden großzügigen Trassierungsparameter häufig größere Ingenieurbauwerke. So sind international eine Reihe großer Brückenbauwerke in der Ausführung. Darüber hinaus haben viele bestehende Brücken das Problem, dass sie die modernen Verkehrsströme aufgrund geänderter Lasten, ihrer beschränkten Breite, der Trassierung oder auch aufgrund des allgemeinen baulichen Zustandes nicht mehr aufnehmen können. In diesen Fällen entscheidet man sich – je nach den Randbedingungen – für eine Verstärkung / Sanierung oder aber auch für den Abriss und Neubau der Brücke. Neben dem grundsätzlichen Sachverhalt im Bauwesen und vor allem im Brückenbau, dass jedes Projekt entsprechend seinem Standort, seiner Funktion und den gestalterischen Vorgaben mehr oder weniger ein Unikat darstellt, besitzt jedes Land seine spezifischen Besonderheiten, die bei sowohl bei der Planung als auch bei der Ausführung zu beachten sind. Hier sind beispielsweise zu nennen: die Bemessungs- und Sicherheitsphilosophie, die Abläufe und Kontrollprozesse, die Rohstoffe oder aber auch klimatische Randbedingungen, die den Bau beeinflussen. Darüber hinaus kommen international teilweise Bauverfahren und -materialien zum Einsatz, die sich auf dem deutschen Markt wirtschaftlich oder technisch bisher nicht durchsetzen können. Insofern ist der internationale Brückenbau für uns als deutsche Firma nicht nur das reine Bauen im Ausland sondern er gibt uns auch Impulse und Erfahrungswerte für die Fortentwicklung des Bauens im Inland.

3.2 Aktuelle Ausführungsbeispiele

Im Folgenden werden zu verschiedenen Bauverfahren und Konstruktionsformen des Großbrückenbaus aktuelle internationale Ausführungsbeispiele vorgestellt und dabei auf die bauwerks- und länderspezifischen Besonderheiten und Randbedingungen hingewiesen. Nach Balkenbrücken im Freivorbau (Normal- und Hochleistungsbeton) werden die bei großen Infrastrukturprojekten häufig verwendeten Fertigteilbauweisen mit Überbauherstellung in querschnittsbreiten Segmenten (Straßenbrücken) und als Komplettfertigteile (Hochgeschwindigkeitsbahn; Full Span Launching Method) diskutiert. Anschließend werden ein weitgespanntes filigranes Bogentragwerk in Skandinavien sowie drei Beispiele der bei größere Spannweiten dominierenden Schrägseilbrücken aus Vietnam, Panama und den USA vorgestellt.



Bild 3.1: Die neue Rheinquerung bei Straßburg; Spannweite 205 m (Freivorbau in hochfestem Beton)

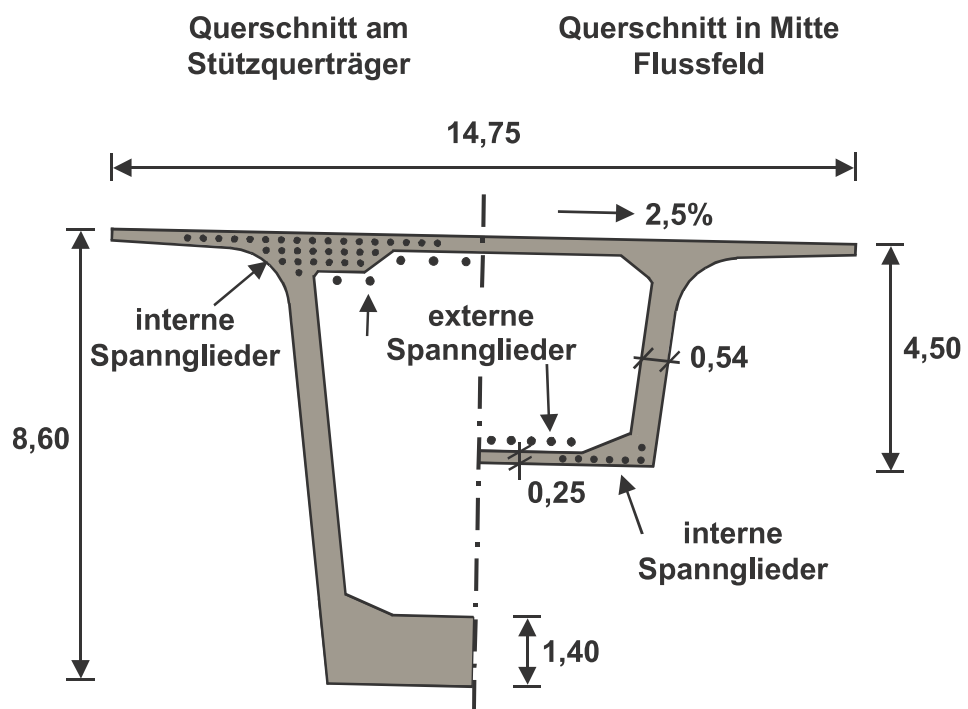


Bild 3.2: Querschnitte des Überbaus der Hauptbrücke im Stützen- und Feldbereich

3.3 Balkenbrücken im Ortbetonfreivorbau

Das Freivorbauverfahren in Ortbeton ist ein international weit verbreitetes Bauverfahren für Balkenbrücken zwischen etwa 80 und 200 m. Nachstehend wird über zwei aktuelle Beispiele berichtet, beide in Mischbauweise mit interner und externer Vorspannung in Längsrichtung.

3.3.1 Rheinbrücke Straßburg (Deutschland / Frankreich)

Die neue Rheinquerung zwischen dem deutschen Ort Altenheim und dem französischen Ort Eschau südlich von Straßburg besteht aus insgesamt drei Spannbetonbrücken, je einer Vorlandbrücke auf französischer und deutscher Seite sowie der Hauptbrücke (Bild 3.1) über den Rhein. Sie ist eines der zentralen Projektes des transeuropäischen Verkehrsnetzes TEN und dient zur Entlastung der Europabrücke zwischen Straßburg und Kehl. Die Überbauten dieser neuen Grenzbrücke nehmen bei einer Gesamtbreite von 14,75 m eine zweispurige Fahrbahn und einen Rad- und Gehweg auf. Unter Aufgabe des Radweges kann bei Bedarf alternativ auch eine vierstreifige Straße untergebracht werden. Erstmals wurde hier bei einem Bauwerk dieser Größenordnung systematisch Hochleistungsbeton im Überbau eingesetzt, eine zusätzliche besondere Herausforderung für die planenden und ausführenden Ingenieure. Die Vorlandbrücke auf der deutschen Seite mit einer Gesamtlänge von 295 m und wurde auf der Basis eines Staatsvertrages zwischen Frankreich und Deutschland von der BR Deutschland als Bauherr errichtet. Entsprechend kamen hier deutsche Vorschriften und Normen zur Anwendung. Die Vorlandbrücke auf der französischen Seite sowie die Hauptbrücke über den Rhein dagegen wurden von Frankreich als Bauherr errichtet. Diese Bauwerke waren daher unter Anwendung französischer Vorschriften und Normen zu planen und bauen. Die französische Vorlandbrücke mit einer Länge von insgesamt 215 m wurde im Taktschiebeverfahren hergestellt. Die Hauptbrücke mit 461,7 m Gesamtlänge besteht aus einem weitgespannten Mittelfeld von 205 m über der Schifffahrtsrinne und zwei Randfeldern mit 123,4 m und 133,3 m Länge. Die Ausführung dieser „französischen“ Brücken oblag einer Arbeitsgemeinschaft zwischen den Firmen Bilfinger Berger AG (technische Federführung) und Max Früh GmbH.

Die Rheinbrücke sollte aus wirtschaftlichen und aus ästhetischen Gründen möglichst schlank ausgebildet werden: Wirtschaftlich, um die Dammschüttungen und die erforderlichen Anrampungsbauwerke unter Beachtung der Durchfahrts Höhe für die Schifffahrt möglichst niedrig halten zu können, und ästhetisch, um den Eingriff in die flache Rheinebene optisch nicht zu markant wirken zu lassen. Im Vorfeld der Maßnahme wurden daher umfangreiche gestalterische Studien durchgeführt, um eine möglichst optimale Lösung für die Rheinquerung zu finden. Die dabei gewählte Bauweise mit einer sehr schlanken, gevouteten Spannbetonbrücke als Hauptbrücke wurde durch Verwendung von hochfestem Beton der Güte B 65 nach französischer Norm [1] sowie großen, hoch ausgenutzten Spanngliedereinheiten St 1860 im Überbau erreicht. Um weitere Vorteile des Hochleistungsbetons (z. B. verbesserte Dauerhaftigkeit) nutzen zu können, kam auch bei der französischen Vorlandbrücke ein B 65 [1] zum Einsatz. Bauwerkentwurf und Herstellung der Hauptbrücke Der gevoutete Überbau der Hauptbrücke wird durch einen einzelligen Kastenquerschnitt gebildet der längs und quer vorgespannt ist. Die Längsvorspannung besteht aus internen (Freivorbau) und externen Spanngliedern. Die Bauhöhe beträgt aufgrund des hochfesten Betons nur 8,60 m am Pfeiler und reduziert sich auf 4,50 m im Scheitel des Mittelfeldes. Die Randfelder verjüngen sich am Trennpfeiler zu den Vorlandbrücken auf 3,20 m. Bild 3.2 zeigt den Querschnitt im Feld- und Stützenbereich. Die Dicke der Bodenplatte ändert sich von 1,40 m über der Stütze auf 25 cm in Feldmitte, die Stegdicke beträgt konstant 54 cm.

Der Überbau der Hauptbrücke wurde im Freivorbauverfahren erstellt. Dazu wurde zunächst eine Anfangsetappe auf dem Flusspfeiler auf Traggerüst errichtet worauf dann die Freivorbaurüstung montiert wurde. Im Waagebalkensystem wurde dann vorgebaut, bis die Hälfte des Mittelfeldes erreicht war. Anschließend wurde im Randfeld eine Hilfsstütze gestellt, um einseitig im Freivorbau bis zu den Trennpfeilern vorbauen zu können. Die Abschnittslängen betragen zwischen 3,50 und 5,0 m, um bei variabler Überbauhöhe das Betonvolumen je Takt in etwa konstant zu halten. Insgesamt wurden in den Überbauten der Haupt- und Vorlandbrücke 10 000 m³ hochfester Beton verarbeitet. Die Sicherstellung der Wirtschaftlichkeit und des vorgegebenen engen Terminrahmens bis zur Verkehrsübergabe insbesondere bei der Anwendung von Hochleistungsbeton und den zahlreichen Einzelbetonagen erforderte in der Umsetzung besondere Maßnahmen. Nur durch eine umfassende Arbeitsvorbereitung und strikte Qualitätskontrolle bei gleichzeitig einer auf die baubetrieblichen Anforderungen hin optimierten Betonrezeptur war der erfolgreiche Abschluss der Baumaßnahme möglich.

3.3.2 Yarra River Bridge, Melbourne (Australien)

Ein weiteres Beispiel für eine internationale Freivorbaubrücke ist die Yarra River Bridge in Melbourne, Australien, die im Zuge der neuen Ringstraße „Melbourne Western City Link“ als Hauptbauwerk den Yarra River in unmittelbarer Nähe des Stadtzentrums überquert (Bild 3.3). Die Ringstraße ist im Vorlandbereich gekennzeichnet durch eine aufgeständerte Hochstraße bestehend aus zwei Überbauten für jeweils drei Fahrspuren in Segmentfertigteilbauweise mit externer Vorspannung. Die mit trockenen, unverklebten Fugen ausgeführten Segmentbrücken wurden mit obenliegender selbstfahrender Rüstung verlegt.



Bild 3.3: Ansicht der fertiggestellten Freivorbaubrücke über den Yarra River, Melbourne

Die Hauptbrücke in Ortbeton über den Fluss ist in Längsrichtung durch interne (Freivorbau) und externe Spannlieder im Sinne der Mischbauweise nationaler Brückenbauwerke vorgespannt. Dabei kommen analog zum vorherigen Beispiel der Rheinbrücke Straßburg externe Spannlieder mit bis zu 31 Litzen St 1860 und entsprechend hohen zulässigen Spannkraften von maximal etwa 6 MN zum Einsatz. Zu beachten sind in Australien u. a. auch die sehr hohen Verkehrslasten (400 Tonnen Lastzug) [2]. Als Besonderheiten bei diesem Bauwerk zu erwähnen ist auch die rein architektonisch, nicht nach der Tragwirkung gestaltete polygonale Unterkante des Überbaus mit örtlichem Knick im Feldbereich sowie die beiden „Mittelpylone“ (Bild 3.3) als dominantes gestalterisches Symbol ohne statischkonstruktive Wirksamkeit.

3.4 Balkenbrücken in Segmentfertigteilbauweise

Die Grundidee der Bauweise besteht darin, dass querschnittsbreite Segmente in einem Fertigteilwerk (oder Feldfabrik) vorproduziert werden, die die Brücke in Längsrichtung in etwa 2 bis 4 m lange Abschnitte unterteilen. Diese Fertigteile werden dann vor Ort aneinander gereiht und zusammengespannt. Die Herstellung der Überbausegmente kann bereits parallel mit der Herstellung der Unterbauten beginnen. Hinsichtlich des statischen Systems ergeben sich keine prinzipbedingten Zwänge; so werden Einfeld und Durchlaufträger und teilweise auch ganz monolithisch wirkende Brücken realisiert. Das Verlegen kann unabhängig vom Gelände erfolgen, zur Anlieferung der Segmente wird meist der bereits fertiggestellte Überbau verwendet. Dadurch ergeben sich neben einer Bauzeitverkürzung gerade bei beengten Platzverhältnissen in städtischer Bebauung oder bei schwer zugänglichem Gelände Vorteile. Durch die industrielle Fertigung lässt sich zudem eine gleichbleibende Qualität der Brückenfelder erzielen und schon vor dem Einbau kontrollieren. Ein wichtiger Detailpunkt ist die Ausbildung der Fugen. Im modernen Segmentbrückenbau werden diese als Passfugen hergestellt, die entweder mit Epoxidharz verklebt oder vollständig trocken ausgeführt werden. Ortbeton und Mörtelfugen kommen nur zum Ausgleich von Längentoleranzen und als Lückenschluss beim Freivorbau zum Einsatz. Die erforderliche hohe Passgenauigkeit wird durch die Herstellung im Match-Cast-Verfahren erreicht, bei dem jeweils ein neues Segment zwischen dem erhärteten Vorgängersegment und einer festen Stahlschalung betoniert wird. Zur Profilierung der Segmentfuge ist die Stirnfläche der Stahlschalung mit dem entsprechenden Negativmuster ausgebildet. Das Segment kann in allen drei Raumachsen ausgerichtet werden, so dass eine beliebige Brückengeometrie in Grund- und Aufriss möglich ist. Krümmungen werden so durch polygonale Kurvenzüge erreicht. Zudem ist eine variable Querschnittsgestaltung möglich und die Stützweiten können durch Variation der Segmentanzahl innerhalb gewisser Grenzen verändert werden. Insgesamt ist festzustellen, dass die Segmentbauweise in den letzten Jahren einen starken Aufschwung im internationalen Brückenbau erlebt hat. Dies ist vor allem zurückzuführen auf eine Reihe von weiträumigen innerstädtischen Hochstraßenprojekten, für die sich die Segmentbauweise anbietet, es haben sich aber auch Impulse ergeben durch den allgemeinen Trend in Richtung externe Vorspannung. In Deutschland konnte sich die Bauweise bisher im Wettbewerb nicht durchsetzen. Dies ist im Wesentlichen zurückzuführen auf die im Regelfall relativ geringen Brückenlängen sowie die Bemessungskriterien für Segmentbrücken und die im Vergleich zum Ausland höheren Anforderungen an die Bauweise und die externen Spannlieder. Durch die Bilfinger Berger AG wurden in den letzten Jahren eine Reihe internationaler Projekte mit einer Gesamtlänge von mehr als 100 km erfolgreich abgewickelt. Schwerpunkt der Bauaktivität sind dabei Asien, Australien und die USA.

3.4.1 Bang Na Expressway, Bangkok (Thailand)

Bang Na Expressway, Bangkok (Thailand) Das bekannteste und mit einer Gesamtlänge von 55 km größte Infrastrukturprojekt in dieser Bauweise ist der Bang-Na-Expressway in Thailand. Die Hochstraße erschließt den Südosten von Bangkok und verbindet einen Tiefseehafen sowie den neuen Großflughafen mit dem Stadtzentrum. Zur Produktion der insgesamt 40 000 Segmente wurde etwa in Streckenmitte ein eigenes Fertigteilwerk errichtet, das auf eine Wochenleistung von 450 Segmenten ausgelegt wurde. Für das Projekt wurden neuartige Segmente D6 entwickelt, die mit 27,20 m Breite alle sechs Fahrspuren der beiden Richtungsfahrbahnen aufnehmen. Die Segmentlänge beträgt 2,55 m für die Regelsegmente, die Fugen wurden in trockener Bauart ohne Verklebung ausgeführt. Eine Besonderheit der D6 Segmente sind die flach geneigten Stege und die diagonalen Streben, die in Segmentmitte die nur 20 cm dicke Fahrbahnplatte stützen [9]. Die Verlegung erfolgte feldweise mit einem untenliegenden Gerüst (Bild 3.4), das eine höhere Baugeschwindigkeit zulässt, aber auf eine relativ gerade Streckenführung wie beim Bang Na Expressway begrenzt ist. Die Herstellung eines Feldes dauerte etwa knapp zwei Tage (wegen der kurzen Bauzeit und der großen Streckenlänge waren gleichzeitig fünf Verlegegerüste im Einsatz). Sobald die Segmente eines Feldes verlegt sind, werden die Spannglieder eingefädelt und gespannt. Das Gerüst fährt dann selbständig zum nächsten Feld weiter.



Bild 3.4: Bang Na Expressway; 27,20 m breite Segmente für 6 Fahrspuren (D6; D = deck)

Die Vorspannung in Längsrichtung erfolgte hier ausschließlich durch externe Spannglieder mit bis zu 22 Litzen St 1860 und maximalen Spannkraften von etwas über 4 MN. In Querrichtung sind die Überbauten durch interne Spannglieder mit nachträglichem Verbund vorgespannt. Diese liegen zum einen „klassisch“ in der Fahrbahnplatte; zusätzlich besitzt jedes Segment zwei Spannstränge, die die Kragarme, die beiden Stege sowie die untere Platte des Hohlkastens durchlaufen. Dadurch werden insbesondere die Hauptzugspannungen im Stegbereich deutlich reduziert. Die Standardfelder haben Systemlängen von 44,40 m und bestehen aus 16 Feldsegmenten und zwei kräftigeren Stützensegmenten mit den Ankerelementen für die Spannglieder. Im Endzustand bilden die aneinander gereihten Seg-

mente Einfeldträgerketten. Der Gesamtentwurf für den stammt vom Büro Jean Mueller International. Neben theoretischen Untersuchungen wurde im Zuge des Projektes für die D6 Querschnitte auch ein Versuchs- und Messprogramm durchgeführt, mit Schwerpunkt auf dem Großbelastungsversuch an einem vollständigen Brückenfeld. Insgesamt wurde die Brücke dann im fünf Tage dauernden Versuch durch Bewehrungsbündel mit bis zu 18 000 kN belastet. Vor Beginn der Belastung wurde im Fertigteilwerk der sogenannte „Bowling-Effekt“ untersucht, ein durch unsymmetrische Temperaturprofile der Segmente (Abfließen von Hydratationswärme bei der Erhärtung) hervorgerufener Effekt, der bei der Herstellung schlanker Brückensegmente im Match-Cast-Verfahren zu beachten ist.

3.4.2 Four Bears Bridge, North Dakota (USA)

Ein ganz aktuelles Projekt in der Segmentbauweise ist die Four Bears Bridge, North Dakota in den USA. Hier zeigt sich, dass sich die Bauweise durchaus auch bei kürzeren Brückenzügen im Wettbewerb durchsetzen kann. Dies führt vor allem auch in den USA zu einer weiten Verbreitung von Segmentkonstruktionen. Die Planung ist mit der im eigenen Hause durchgeführten Verformungsberechnung und der Geometrieauslegung für die Segmentproduktion (casting coordinates) mittlerweile abgeschlossen und die Segmentherstellung hat begonnen. Hierzu kommt wiederum das Match-Cast-Verfahren zum Einsatz. Baubegleitend erfolgt nun die Geometriekontrolle und die inkrementelle Zurückführung auf die Sollkurve bei Abweichungen in der Herstellung. Der genauen Geometriebestimmung im Raum und der sicheren Verformungsprognose unter Berücksichtigung der späteren Bauabläufe und Spannvorgänge (einschließlich Kriechen, Schwinden, Relaxation) kommt im Segmentbrückenbau eine besondere Bedeutung zu, da nach der Segmentherstellung – anders als im Ortbetonbrückenbau – Korrekturen kaum möglich sind. Derzeit läuft bei dem Projekt die Herstellung der Unterbauten, die Segmentverlegung startet Anfang diesen Jahres.



Bild 3.5: Die Four Bears Bridge, North Dakota, als Segmentfertigteilbrücke im Freivorbau [10]

Die Four Bears Bridge ersetzt eine bestehende Stahlbrücke aus dem Jahr 1936 und hat eine Gesamtlänge von 1 371 m bei insgesamt 15 Brückenfeldern (13 Regelfelder mit Stützweiten von 96,3 m und zwei Randfelder). Die vorhandene Stahlbrücke war bereits das zweite Bauwerk an dieser Stelle und ist den Anforderungen des heutigen Straßenverkehrs aufgrund von Sicherheitsmängeln und durch die

mit 6,10 m nur geringe Fahrbahnbreite nicht mehr gewachsen. Nach umfangreichen Untersuchungen entschied das North Dakota Department of Transportation den Neubau der Brücke etwa 30 m nördlich des bestehenden Bauwerkes. Nach erfolgter Verkehrsübergabe im Jahr 2005 wird die alte Überführung rückgebaut. Die Herstellung der neuen gevouteten Überbauten erfolgt im freien Vorbau im Waagbalkenprinzip. Die Stabilisierung des Vorbaus erfolgt durch eine biegesteife Kopplung im Bauzustand am Pfeilerkopf. Die Segmente werden einzeln auf Schwimmpontons antransportiert und über ein Vorbaugerät mit Litzenheber in die Verlegeposition gebracht. Sämtliche Segmentfugen werden mit Epoxidharz verklebt. Der Lückenschluss in Feldmitte erfolgt nach Abschluss des Freivorbau durch eine unbewehrte Mörtelfuge. Zur Längsvorspannung des Überbaus kommen Spannglieder mit bis zu 19 Litzen zum Einsatz.

3.5 Balkenbrücken in Komplettbauweise



Bild 3.6: Taiwan High Speed Rail; Komplettfertigteile über 35 m Stützweite als Spannbetonhohlkasten

Bei Straßenbrücken ermöglicht die Verwendung von Segmenten, siehe 3.4, bereits einen sehr hohen Vorfertigungsgrad und kurze Bauzeiten ohne dabei Einschränkungen hinsichtlich einer variable Geometrie (Aufweitungen, Rampen, Klothoiden) hinnehmen zu müssen. Bei Hochgeschwindigkeitsbahnen in aufgeständerter Bauweise mit meist konstanter Querschnittsgeometrie und aufgrund der Geschwindigkeit großräumigen Trassierungsparametern lässt sich der Grad der Vorfertigung noch weiter steigern. Hier bietet sich das Verfahren der vollständigen Vorfertigung von Spannbetonüberbauten (Komplettbauweise) an, mit dem in kürzester Bauzeit sehr wirtschaftliche Brückenzüge erstellt werden. International kommt dieses Verfahren bisher vor allem in Italien und in Asien häufig zur Anwendung. Anfang des Jahres 2000 wurde die Bilfinger Berger AG als Federführer gemeinsam mit dem taiwanesischen Partner Continental Engineering Corporation (CEC) für die Planung und Ausführung von zwei Losen (Gesamtlänge von 79,4 km) der insgesamt 345 Kilometer langen Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke Taiwan High Speed Rail (THSR) beauftragt [8]. Dieses für die weitere industrielle Entwicklung Taiwans wichtige Verkehrsprojekt wird die Fahrzeiten zwischen den Zentren Taipeh und Kaohsiung von bisher etwa vier Stunden auf nur 90 Minuten reduzieren. In beiden Losen verläuft die Trasse mit ins-

gesamt 67,1 km im wesentlichen auf Brückenbauwerken. Die in den Streckenabschnitten liegenden Bahnhöfe werden analog der Hauptstrecke ebenfalls in aufgeständerter Bauweise errichtet. Aufgrund der äußerst kurzen Bauzeit wurde der weitaus größte Teil der Brücken als regelmäßiges Einfeldsystem mit vollständiger industrieller Vorfertigung der Überbauten konzipiert (Full Span Precast Method) und so ein sehr hoher Grad an Vorfertigung und Standardisierung erreicht.

Die bis zu 35 m langen und mehr als 850 Tonnen schweren längs vorgespannten Hohlkastenträger wurden in zwei Feldfabriken jeweils unmittelbar neben der Bahntrasse hergestellt, über die bereits verlegten Brückenfelder zum Einbauort verfahren und dort von einem Verlegekran auf die Pfeiler abgesetzt (Bild 3.6). Für Sonderbereiche kamen zusätzlich auch Ortbetonbauverfahren des Spannbetonbrückenbaus zum Einsatz wie das Taktschiebeverfahren, der Freivorbau und die Vorschubrüstung. Besondere technische Anforderungen ergaben sich im Projekt neben den allgemeinen Randbedingungen aus der Fahrdynamik einer Hochgeschwindigkeitsbahnstrecke (Entwurfsgeschwindigkeit 350 km/h) insbesondere durch das hohe seismische Potential der Region und die speziellen Baugrundverhältnisse entlang der Westküste Taiwans (z. B. Bodenverflüssigung). Das Projekt Taiwan High Speed Rail ist weltweit eine der größten Infrastrukturmaßnahmen unserer Zeit. Die Realisierung innerhalb engster Terminvorgaben stellt eine enorme ingenieurtechnische und logistische Herausforderung dar. Aufgrund der vielschichtigen Anforderungen und der komplexen Zusammenhänge ist umso mehr eine frühzeitige und intensive Zusammenarbeit aller planenden und ausführenden Ingenieure gefordert. So wurde der Entwurf und die Ausführungsplanung für die Standardbrücken durch die Tragwerksplanung Ingenieurbau der Bilfinger Berger AG im eigenen Hause durchgeführt. Nach extrem kurzer Bauzeit von 3 ½ Jahren konnte im Jahr 2003 die Ausführung der Brückenbauwerke termingerecht und wirtschaftlich erfolgreich abgeschlossen werden.

3.6 Weitgespannte Bogenbrücken

Ein aktuelles Beispiel zu kühnen Bogenbrücken stellt die neue Svinesundbrücke dar, die zur 100-jährigen Unabhängigkeit Norwegens im Jahr 2005 als weitgespannte Grenzbrücke über den Svinesundfjord eröffnet wird. Die neue Verbindung zwischen Schweden und Norwegen wird im Zuge des Autobahnausbaus E 6 von Göteborg nach Oslo realisiert. Der schwedische und norwegische Küstenbereich ist in diesem Bereich geprägt durch eine zergliederte, von eiszeitlichen Gletschern geriefte Struktur mit einer Reihe tief einschneidender Fjorde, deren Überwindung aufwändige Ingenieurbauwerke erfordert. In sehr engem Zeitrahmen für Planung und Ausführung entsteht hier ein äußerst filigranes Bogentragwerk als Stahlbetonhohlkasten mit knapp 250 m Spannweite bei nur 4 m Breite und 2,7 m Bauhöhe im Scheitel des Bogens. Die Bilfinger Berger AG erhielt im Sommer 2002 auf der Basis eines Nebenangebotes den Auftrag für die Planung und den Bau des Bauwerks. Besondere Anforderungen ergeben



Bild 3.7: Computeranimation der neuen Svinesundbrücke [3]

sich u. a. aus der architektonischen Gestaltung (Wettbewerbsentwurf), dem sehr komplexen, gekoppelten Tragwerkskonzept und der exponierten Lage im Fjord. Nach kurzem Planungsvorlauf sind derzeit die Arbeiten Bogenherstellung (abgespannter Freivorbau) in vollem Gange, der Bogenschluss erfolgt im Februar 2004. Die im Nachlauf erfolgende Herstellung der Überbauten als Stahlkonstruktion mit orthotroper Platte hat in den Vorlandbreichen bereits begonnen.

Das Bauwerk besitzt einen schlanken, sich nach oben verjüngenden einzelligen Massivbogen und zwei Stahlhohlkästen mit orthotroper Platte, die beidseits seitlich am Bogen vorbeilaufen und im Mittelbereich durch sechs vertikale Hängerpaare gehalten werden. Bedingt durch das Konstruktionsprinzip eines Mittelbogens verbleibt zwischen den beiden jeweils 11 m breiten Stahlüberbauten ein lichter Raum von 6,20 m. Die Einzelstützweiten der Überbauten betragen 68,0 m + 3 × 75,0 m + 70,23 m + 188,46 m + 70,23 m + 72,0 m (58,0 m für den westlichen Überbau). Das mit 188,46 m größte Feld im Bogenbereich wird durch die Bogenhänger zusätzlich in Abständen von 30,48 m + 5 × 25,5 m + 30,48 m unterstützt. An beiden Kreuzungspunkten mit dem Bogentragwerk sind die Überbauten jeweils unverschieblich und biegesteif mit dem Bogen verbunden, der eine Scheitelhöhe von 90 m über dem Wasserniveau aufweist. Wie im Bereich des aus Hochleistungsbeton K 70 (entspricht annähernd einem B 85 nach DIN) herzustellenden Bogens sind die beiden Überbauten auch an den fünf bis zu 48 m hohen Pfeilern exzentrisch außerhalb der Pfeilerumrisse angeordnet und geben ihre Lasten jeweils indirekt über kastenförmige Querträger an die Brückenlager bzw. Hängerpaare ab. Aus dieser von der Lastabtragung her ungünstigen Anordnung ergaben sich besondere Anforderungen an die statischkonstruktive Ausbildung der Bauteile.

Beauftragt wurde ein Nebenangebot, das vor allem hinsichtlich der Herstellung und der Montage des Bauwerkes eine optimierte Lösung vorsieht. Die Planungscoordination sowie die Ausführungsplanung für Unterbau und Bogen einschließlich sämtlicher Bauzustände und Baubehelfe erfolgen durch die überregionale Tragwerksplanung Ingenieurbau im eigenen Hause, die Planung der Stahlüberbauten er-



Bild 3.8: Herstellung des Bogens mit abgespanntem Freivorbau und Hilfspylonen

folgt durch das Büro Meyer & Schubart. Wegen der exponierten Lage, der schlanken Konstruktion und der großen Bogenspannweite wurden für das Bauwerk begleitend eigene Windkanalversuche durchgeführt, um die Annahmen der numerischen Rechnung zu verifizieren. Zur Bestimmung des grundsätzlichen Windprofils und der geländebedingten Turbulenzen im Fjordbereich wurden bereits vor der Ausschreibung eingehende winddynamische Analysen durch den Auftraggeber veranlasst. Neben den experimentellen Untersuchungen zur wirklichkeitsnahen Erfassung der Windlasten [4] sind auch dynamische Anprallversuche für das Brückengeländer durchzuführen. Besondere Anforderungen ergeben sich bei der Svinesundbrücke auch durch die anzuwendenden schwedischen Vorschriften, z. B. die BRO 94 [5] (allgemeine Regelungen), die BBK 94 [6] (Betonbauteile) und die BSK 99 [7] (Stahlkonstruktionen). Aufgrund der zusätzlich äußerst knappen Terminalsituation mit vorgesehener Verkehrsfreigabe am 07.06.2005 und damit weniger als drei Jahren für Planung und Ausführung dieser anspruchsvollen Maßnahme ist eine enge Abstimmung und kooperative Zusammenarbeit aller Beteiligten unabdingbar. Dieser erfolgsentscheidende Faktor ist beim Projekt Svinesundbrücke insbesondere auch in der entscheidenden Anlaufphase gut gelungen.

3.7 Schrägseilbrücken

Bei größeren Spannweiten (mittlerweile bis 800 m und darüber) kommen aufgrund der Vorteile in baubetrieblicher und statisch-konstruktiver Hinsicht meist Schrägseilbrücken zum Einsatz. In dieser Bauweise befinden sich international derzeit bei der Bilfinger Berger AG mehrere interessante Projekte in der Ausführung oder wurden vor kurzem dem Verkehr übergeben. Nachstehend werden drei Projekte mit Betonüberbauten unterschiedlicher Konzeption vorgestellt, als Rippenplatte sowie Kastenträger in Ortbeton- und Segmentbauweise.

3.7.1 My Thuan Bridge (Vietnam)

Die insgesamt 1 540 m lange Brücke über den Mekong, die einen wichtigen Teil der neuen Verkehrsverbindung zwischen der Hauptstadt und dem südlichen Mekong-Delta (Reiskammer des Landes) darstellt, wurde nach kurzer Bauzeit bereits dem Verkehr übergeben [11].

Das 660 m lange Hauptbauwerk der Schrägseilbrücke (Bild 3.9) besteht aus einem 350 m weit gespannten Mittelfeld und zwei jeweils 155 m langen Randfeldern. Daran anschließend führen zwei 440 m lange Vorlandbrücken mit regelmäßigen Stützweiten von 40 m die Fahrbahn wieder hinunter auf das Geländeneiveau. Die Vorlandbrücken wurden aus Längsträgerfertigteilen mit Ortbetongergänzung hergestellt. Der Überbau der für vier Fahrspuren und beidseitige Gehwege ausgelegten Hauptbrücke besitzt eine Breite von 23,60 m und ist als Betonrippenkonstruktion mit Ortbetonlängsträgern ausgebildet. Die Gesamtbauhöhe beträgt nur 2 m bei einer Fahrbahnplattendicke von 25 cm. Die Herstellung des Überbaus erfolgte im freien Vorbau mit untenliegender Rüstung und – entsprechend dem Abstand der Seilverankerungen – Vorbaulängen von 10,40 m. Die jeweils zwei Querrippen pro Bauabschnitt sowie die Verankerungselemente für die Schrägseile wurden als passgenaue Fertigteile in die Schalung eingehoben. Die Pylone nehmen jeweils zwei Seilebenen auf und sind in Doppel-H-Form ausgebildet. Sie geben ihre Lasten über eine massive Pfahlkopfplatte (60 × 15 × 5 m) auf je 16 bis zu 110 m lange Großbohrpfählen (Durchmesser 2,50 m) ab. Aufgrund der ungünstigen Baugrundverhältnisse im Flussbereich mit mächtigen gering tragfähigen Überlagerungen waren sehr aufwändige Spezialtiefbaumaßnahmen erforderlich um das weitgespannte Brückenbauwerk sicher und dauerhaft zu gründen.



Bild 3.9: My Thuan Bridge über den Mekong River



Bild 3.10: Zweite Querung des Panama Kanals als Schrägseilbrücke; Computersimulation [3]

3.7.2 Schrägseilbrücke über den Panama Kanal (Panama)

Eine beeindruckende, derzeit auf Hochtouren laufende Baumaßnahme ist die zweite Querung des Panama Kanals, die den Straßenverkehr in 80 m lichter Höhe in Form einer Schrägseilbrücke über die Wasserstraße führt. Die Computersimulation (Bild 3.10) zeigt das fertige Bauwerk mit Blickrichtung Südost.

Die Maßnahme wurde Anfang 2002 durch das Panama Ministry of Public Works an die Bilfinger Berger AG beauftragt. Die Ausführungsplanung erfolgt durch Leonhard, Andrä & Partner, die Tragwerksplanung Ingenieurbau stellt das Design Management. Die Brücke hat eine Gesamtlänge von 1 052 m und nimmt sechs Fahrspuren auf (Gesamtbrückenfläche 34 680 m²). Die Hauptbrücke über den Kanal mit einer Konstruktionsbreite von 34 m setzt sich zusammen aus zwei Randfeldern mit je 200 m und dem 420 m weit gespannten Hauptfeld; in Brückenmitte führt zusätzlich ein Gehwegstreifen über das Bauwerk. Der Überbau der Hauptbrücke wird durch Ortbetonkastenträger gebildet, die ausgehend von der Anfangsetappe im Pylonbereich mit Vorbauwagen im freien Vorbau errichtet werden. Die zwei 180 m hohen Mittelpylone (eine Seilebene), die im Kletterverfahren hergestellt wurden, sind aufgrund der unterschiedlichen geologischen Verhältnisse zu beiden Seiten des Kanals entsprechend unterschiedlich gegründet. Während auf der östlichen Seite tragfähiger Fels nur mit geringer Überdeckung unterhalb der Geländeroberkante anstand, waren auf der westlichen Seite Großbohrpfähle mit 1,80 m Durchmesser erforderlich. Die Herstellung der Unterbauten und der Pylone ist mittlerweile abgeschlossen und es beginnen die Arbeiten für die Überbauerstellung der Schrägseilbrücke. Die Lückenschluss der Hauptbrücke und die Fertigstellung der gesamten Überbauten erfolgt noch im Jahr 2004.

3.7.3 Maumee River Bridge, Ohio (USA); Schrägseilbrücke in Segmentfertigteilbauweise

Ein weiteres aktuelles Ausführungsbeispiel einer Schrägseilbrücke ist die derzeit im Bau befindliche Maumee-River-Bridge bei Toledo / Ohio. Dieses in unmittelbarer Nähe des Eriesees liegende Bauwerk soll mit jeweils 18 m breiten Richtungsfahrbahnen den durch eine bestehende Klappbrücke entstehenden Verkehrsengpass beseitigen. Das im Jahr 2002 beauftragte Gesamtbauwerk der Flussquerung besteht aus vier Rampenbrücken (Gesamtlänge 2 900 m; Stützweiten 26 bis 46 m, Kastenquerschnitt mit konstanter Bauhöhe 2,80 m), zwei Vorlandbrücken (Länge 1 020 und 1 215 m, 46 m Stützweite, Bauhöhe 2,80 m) und der seilabgespannten Hauptbrücke (Bild 3.11) über den Fluss [12], die mit einem in der Flussmitte stehenden zentralen Pylon (Gesamthöhe 133 m) zwei Felder von jeweils 187 m überbrückt. Der 80 m über das Brückendeck ragende Pylon verjüngt sich mit zunehmender Höhe und nimmt als Wahrzeichen für die Glasstadt Toledo – nachts beleuchtete – Glaselemente auf.

Sämtliche Überbauten werden als Spannbetondurchlaufträger in Segmentfertigteilbauweise mit externer Vorspannung ausgeführt und im Match-Cast-Verfahren mit Segmentlängen bis 3 m produziert. Im Bereich der Hauptbrücke beträgt das maximale Segmentgewicht etwa 100 t, die Vorlandsegmente erreichen im Bereich der maximalen Breite von 22 m Gewichte bis zu 140 t. Die Verlegung der Segmente erfolgt in den Vorland- und Rampenbrücken feldweise mit obenliegenden Verlegegeräten. Die Fugen der Regelsegmente werden als Passfugen verklebt, an den Brückenpfeilern dienen 20 cm dicke Ortbetonfugen dem Toleranzausgleich. Im Bereich der Hauptbrücke werden jeweils zwei Segmente durch Fertigteil-Deltarahmen verbunden und in Querrichtung durch nachträglich einzuführende Spannkabel zusammengespannt. Zusätzlich werden die Hohlkästen der beiden Segmente durch Fertigteilstreben ausgesteift. Ausgehend vom Pylon werden die beiden Hauptfelder der Brücke im Freivorbau mittels



Bild 3.11: Maumee River Bridge mit Hauptbauwerk, Vorlandbrücken und bestehender Klappbrücke; Computersimulation [12]

Derrickkran errichtet, der die vorbereiteten Segmente nacheinander von einem Schwimmponton mit Lizenheber auf das Brückenniveau anhebt. Der die beiden Überbausegmente verbindende Deltarahmen dient gleichzeitig zur Aufnahme der Schrägseile der in der Bauwerksachse geführten Seilebene. Die Vorspannung der über den Pylon umgelenkten Seile erfolgt jeweils an den Überbauten. Die insgesamt 20 Schrägseile bestehen aus bis zu 156 epoxidharzbeschichteten Litzen.

Literaturverzeichnis

- [1] NF P 18.406: *Bétons- essai de compression*. 1981.
- [2] AUSTRROADS: *Australian Bridge Design Code*. Sydney: 1992.
- [3] Vägverket, Region Väst: *Väg E 6 vid Svinesund, Ny Svinesundsbro*. Förfragningsunderlag (Ausschreibungsunterlagen).
- [4] Prof Sedlacek & Partner: *New Svinesund Bridge, Wind Tunnel Tests*. 2003.
- [5] Vägverket, BRO 94: *Allmän teknisk beskrivning för broar* (vergleichbar mit ZTV-K).
- [6] BBK 94: *Boverkets handbok om Betongkonstruktioner – BBK 94*. Boverket 09.2000 (Stahlbeton).
- [7] BSK 99: *Boverkets handbok om Stalkonstruktioner – BSK 99*. Boverket 12.2001 (Stahlbau).
- [8] Roth, S.: Taiwan High Speed Rail, Los 260 und 270 – Bauabwicklung.
In: *Tagungsband zum Beton- und Bautechniktage 2003*. S. 299–306.
- [9] Fischer, O.: Der Bang Na Expressway, Bangkok – Tragwirkung, Großversuch und Berechnung.
In: *Beton- und Stahlbetonbau* 93 (1998), Heft 2, S. 36–41.
- [10] NDDOT – North Dakota Department of Transportation (2004). *Four Bears Bridge*
(Internetpräsentation des Bauherrn). URL: www.fourbearsbridge.com (30.01.2004)
- [11] Venhorst, G.: My Thuan, Schrägseilbrücke über den Mekong in Vietnam.
In: *Tagungsband zum Beton- und Bautechniktage 2001*. S. 177–191.
- [12] Krenz, U.: Maumee River Bridge, Ohio – Eine Schrägseilbrücke in Segmentbauweise.
In: *Tagungsband zum Beton- und Bautechniktage 2003*. S. 321–330.