

Spannbeton-Hochstraße in Bangkok – Planung der Ausführung *

In weniger als zwei Jahren wurden in Bangkok rund 35 km Spannbeton-Überbauten für das derzeit größte Hochstraßen-System der Welt erstellt. Es werden die verschiedenen Phasen der Planung der Bauzustände und Bauausführung dieser in Segmentbauart hergestellten Hochstraßen beschrieben. Dabei wird auf die statisch-konstruktiven Fragen der Verlegetechnik und auf die Bauhilfsmaßnahmen eingegangen.

Prestressed concrete elevated roadway in Bangkok – Planning and construction. Over the space of less than two years, some 35 km of prestressed concrete superstructures were built in Bangkok for what is currently the world's biggest elevated roadway system. This paper describes the various phases of planning of construction phases and construction of these elevated roadways of segment design. It discusses the static and structural questions of the laying technology used and outlines ancillary construction measures employed.

Planification et construction d'une route surélevée en béton précontraint à Bangkok. En moins de deux ans, près de 35 km d'une route surélevée, en éléments de béton précontraint, ont été construits à Bangkok, constituant ainsi le plus grand système de chaussées sur piliers actuellement connu dans le monde. L'exposé décrit les diverses phases de la planification et de la réalisation de ce gigantesque projet, ainsi que les étapes successives de la construction de cette route à poutres segmentaires. Les problèmes de statique soulevés par cette construction et sa réalisation, ainsi que les mesures auxiliaires qui ont été prises, y sont traités en particulier.

* Nach einem Vortrag auf dem Deutschen Betontag 1993.

Dr.-Ing. Gerhard Girmscheid, Leiter der Gruppe Brückenbau im Technischen Büro Auslandsbereich der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Hauptniederlassung Ausland, Postfach 1509, 6200 Wiesbaden 1

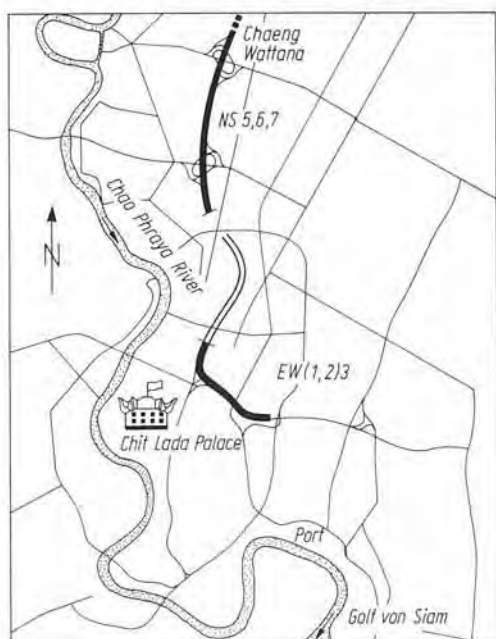


Bild 1. Projektübersicht

Fig. 1. Project layout

Fig. 1. Plan de l'ensemble du projet

1 Einführung

Zur Zeit wird neben anderen Großprojekten in Bangkok (Thailand) das sogenannte SES (Second Stage Expressway System) in Segmentbauart erstellt (Bild 1).

In den nächsten zehn Jahren erhält die Stadt ein umfangreiches Hochbahn- und Straßensystemnetz. Die Verkehrssysteme werden vom öffentlichen Verkehrsträger an private Finanziers als sogenannte BOT-Projekte (built-operate-transfer) vergeben. Nach Herstellung und mehrjähriger Betriebsphase wird das abgeschriebene Objekt der Stadt übergeben.

Das Fehlen eines öffentlichen Massenverkehrsmittels und ein nur bescheidenes öffentliches Transportangebot stehen in Bangkok einer Massierung des Individualverkehrs gegenüber. Das SES-Projekt wird von Bangkok Expressway Co. Ltd. gebaut und durch die japanische Gesellschaft Kumagai Gumi Co. Ltd. finanziert im Austausch für eine 30jährige Konzession. Zwei Gemeinschaftsunternehmen, bestehend aus der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Mannheim, und deren thailändischen Partnern Chor Karnchang, Expert Transport und Hicrete, sind mit einem nicht unerheblichen Anteil an der Bauausführung des Gesamtprojekts beteiligt. Dieser Anteil besteht (Bild 2) aus den Losen EW 3 (Herstellung von Brückenüberbauten mit etwa 230000 m² Fläche) sowie aus den Losen NS 5, NS 6 (Ausführung von Brücken Gründungen und Unterbauten) und NS 7 (Herstel-

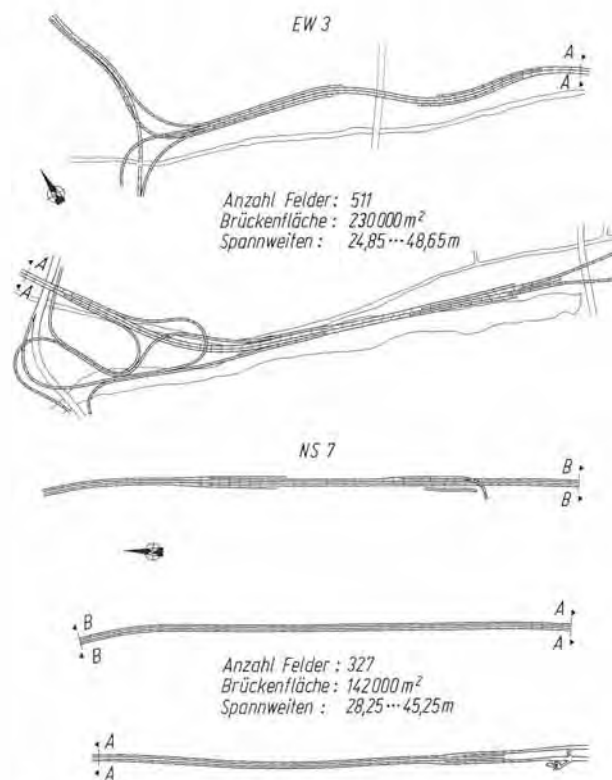


Bild 2. Übersicht Lose EW 3 und NS 7

Fig. 2. Layout of Lots EW 3 and NS 7

Fig. 2. Plan des lots EW 3 et NS 7

Tabelle 1. Leistungsdaten**Table 1.** Performance data**Tableau 1.** Chiffres de rendement

A Überbauherstellung					
Los	Felder Stück	Elemente Stück	Spannstahl (Längsvor- spannung) t	Bauzeit Kalender- wochen	
EW 3	511	6368	4200	70	
NS 7	327	4280	2820	75	
B Elementherstellung im Fertigteilwerk					
	Elemente Stück	Beton m³	Betonstahl t	Spannstahl (Quervor- spannung) t	Bauzeit Kalender- wochen
MS 6	14800	281000	36000	3000	106

lung von Brückenüberbauten mit 142000 m² Fläche. Zum Auftrag gehört auch die Fertigteilherstellung (Los MS 6) für das gesamte Projekt. Die Leistungsdaten sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Der planerische Gesamtentwurf für das Projekt stammt von Freeman Fox Intercon, Singapore. Das Ausführungsverfahren mit Verlegegerüsten ist eine Eigenentwicklung der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft.

Die Hochstraße wird durch Bangkok in einer Höhe von 4 bis 23 m über dem Grund hergestellt. Die größte Spannweite beträgt 48,65 m, das größte Gewicht eines Überbaufelds etwa 800 t. Die Einzelelemente bestehen aus Pfeiler-, Normal- und Umlenksegmenten, die durchschnittlich 3,40 m lang sind und deren durchschnittliches Gewicht 65 t beträgt. Das Längsgefälle der Brücke beträgt bis zu 6%, das Quergefälle bis zu 10%. Die Überbauten des Loses EW 3 sind besonders durch ihre engen Kurvenradien bis hinunter zu 85 m und eine Vielzahl von Rampen gekennzeichnet. Für den Bau der Spannbeton-Überbauten hat die Arbeitsgemeinschaft für das Los EW 3 sechs obenlaufende stählerne Fachwerkgerüste zum Verlegen der Stahlbetonsegmente in den stark geneigten Rampen und engen Kurven sowie zwei untenlaufende Verlegegerüste für die geraden Streckenabschnitte der NS 7-Überbauten verwendet.

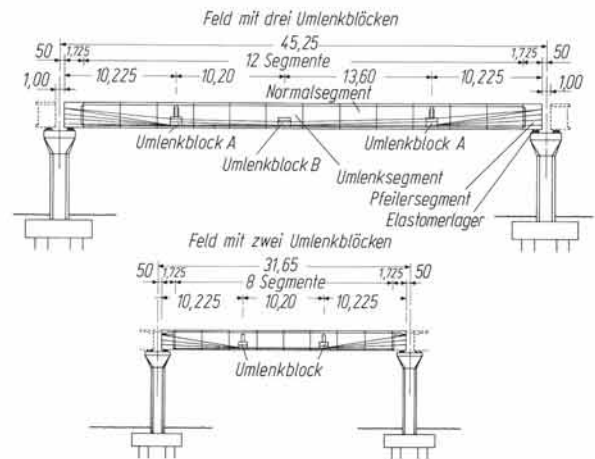
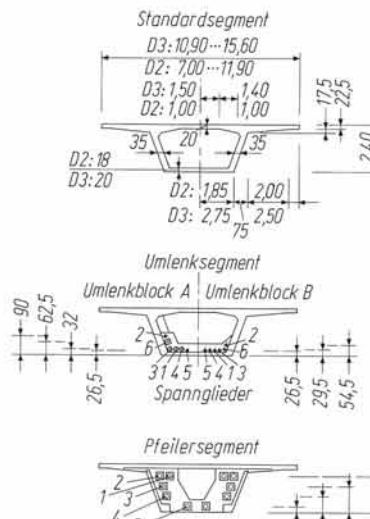
2 System und Querschnitt der Brücke

Das System der Brücke besteht aus einfeldrigen, einzelligen Segmenthohlkästen, die auf bewehrten Elastomerlagern gelagert sind (Bild 3).

Die Vorspannung wird innerhalb des Hohlkastens extern geführt und auf das einfeldrige System aufgebracht. Im Endzustand werden die Einfeldsysteme durch Federplatten zu drei- bis vierfeldrigen Systemen verbunden, so daß Fahrbahnübergänge nur dort notwendig sind.

Jedes Feld ist durch Erdbebenstopper (Knaggen), die mit Elastomer-Pufferplatten abgepolstert sind, mit den Pfeilern verzahnt. Im Erdbebenfall werden dadurch größere Relativverschiebungen zwischen Unter- und Überbau weitgehend verhindert.

Die Spannweiten der einfeldrigen Hohlkastenbrücken betragen zwischen 24,85 und 48,45 m. Die einzelligen Hohlkästen sind als zwei Standard-Querschnitte D2 und D3 konzipiert. Die Überbaubreiten liegen zwischen 7,00 m und 15,60 m (Bild 4). Die einfeldrigen Brückenlängssysteme setzen sich aus folgenden typischen Standardsegmenten zusammen (Bilder 3 und 4):

**Bild 3.** Überbau**Fig. 3.** Superstructure**Fig. 3.** Superstructure**Bild 4.** Hohlkasten, externe Vorspannung**Fig. 4.** Box section, external Prestressing**Fig. 4.** Poutres caissons, précontrainte externe

- Pfeilersegmente jeweils an den Enden eines jeden Felds mit dem Verankerungsschott für die Spannglieder.
- Normalsegmente zwischen den Pfeiler- und Umlenksegmenten.

Die Stege haben eine vergleichsweise geringe Wanddicke von 35 cm. Dies ergibt eine deutliche Gewichtsverminderung des Überbaus, da die Stegdicke nicht aus konstruktiven Gründen, sondern durch rein statische Erfordernisse (Betondruckstrebe) bestimmt ist.

- Umlenksegmente befinden sich ungefähr in den 1/3- bzw. 1/4-Punkten der Stützweite. An diesen Stellen werden die Vertikal- und Horizontalkomponenten der Umlenkkräfte aus der Vorspannung konzentriert eingeleitet.

3 Herstellungstechnik des Überbaus

Zum Verständnis der notwendigen statisch-konstruktiven Untersuchungen der Bauzustände wird die Verlegetechnik der Segmente erläutert. Diese wurden auf tiefliegenden, von je einer Zugmaschine gezogenen Flachbettwagen zum Verlegegerüst befördert. Dort wurden sie von einer Gerüstlaufkatze übernommen, zur Verlegestelle längs verfahren und an

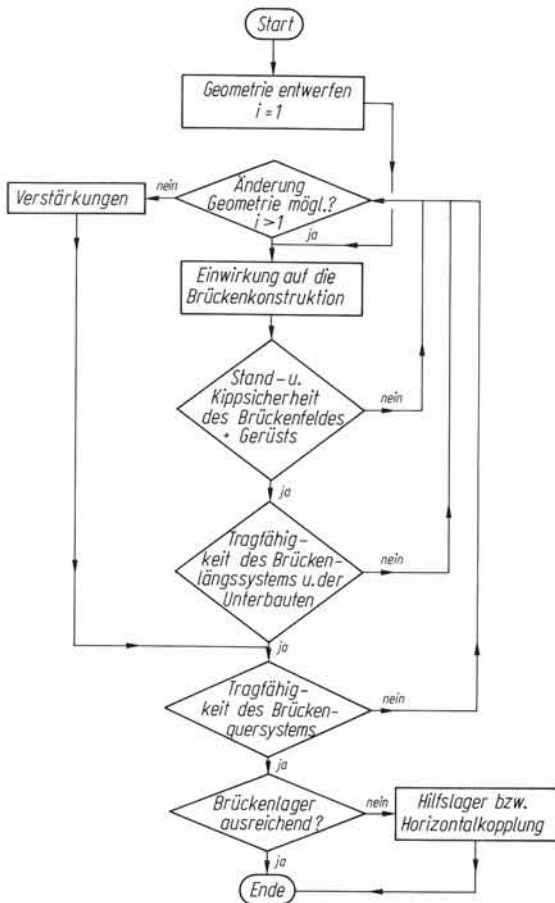


Bild 5. Entwurf der Bauhilfsmaßnahmen für Verlege- und Vorschubzustände.

Fig. 5. Design of operation concept for deck erection and launching of truss

Fig. 5. Etude des mesures de soutènement auxiliaire pour les poses et les lancements

das Gerüst mit Hängestangen St 835/1050, $\varnothing$ 32 mm, angehängt. Nach dem Einfahren aller Fertigteile eines Felds wurden diese ausgerichtet und durch eine leichte Hilfsvorspannung von 0,1 N/mm² zu einer Einheit gekoppelt. Die Elemente wurden trocken, ohne durchgängige Bewehrung, aneinandergesetzt und durch Schubnocken verzahnt. Danach wurden die Hüllrohre und Spannglieder der externen Längsvorspannung eingebaut und mit dem BBV-Spannsystem vorgespannt, das hier erstmals für die externe Vorspannung angewendet wurde.

Tabelle 2. Lastzustände und Einflußparameter

Table 2. Load cases and influence parameters

Tableau 2. Contraintes et paramètres d'influence

Lastzustände	Querschnitte D 2: 7,00...11,90 m D 3: 10,90...15,60 m	8 Spannweiten 24,85 bis 48,65 m	Kurvenradien 85,00 m bis ∞	Längsgefälle 0 bis 6%	Quergefälle 2% bis 10%	3 Gerüstlängen 77,00 bis 88,40 m	Anzahl der Nachweise
1 Montage				x		xx	6
2 Probebelastung	xx	xx	x	x		xx	6
3 Demontage			x	x		xx	6
4 Verlängern/Verkürzen	x	x	xx	x	x	x	20
5 Vorschubphasen	xx	x	xxx	x	x	x	
6 Verlegen	x	x	xx	x	x	x	200
7 Vorspannen/Absetzen	xx	xx	xx	x	x	x	200
8 Querverschub	xx	x	x	x	x	x	3

Der fertig vorgespannte Überbau wurde anschließend auf Hilfslager abgesenkt und das Gerüst über das fertiggestellte Überbaufeld ins nächste Feld verschoben. Hierzu wurden am Gerüst der Hilfsgleitstuhl mit Vorschubeinrichtung und der Nachlaufwagen benötigt.

4 Der Gerüsttyp

Die grundsätzliche Entscheidung für einen unten- bzw. obenliegenden Gerüsttyp ergab sich aus der Fahrgeometrie bzw. Zugänglichkeit der Trasse (siehe Bild 2).

Untenliegende Gerüste werden bei gerader Streckenführung und bei freier Zugänglichkeit der Pfeiler verwendet; diese ist notwendig für die Montage der Gleitbahnunterstützungen.

Obenliegende Gerüste werden bei den gekurvten Streckenführungen erforderlich.

Das untenliegende Gerüst ist einfacher, billiger und ist leichter zu verfahren.

Das obenliegende Gerüst läßt sich, unabhängig von der Zugänglichkeit der Pfeiler, mit tangentialer Verschiebung durch die Kurven verfahren. Dieser Gerüsttyp ist jedoch zwangsläufig aufwendiger hinsichtlich Fahrleistungen, Steuerungshydraulik und Handhabung. Das untenliegende Gerüst beansprucht die Unterbauten und stellt den Entwurfsingenieur vor vergleichsweise einfache Aufgaben. Das obenliegende Gerüst beansprucht dagegen während der Überfahrt die gesamte, endgültige Überbaukonstruktion. Zudem sind die während des Verfahrzustands eingetragenen Lasten an den Unterstützungen des Gerüsts häufig wesentlich schwerer als die Einzellasten aus den Verkehrslasten des Endzustands; dabei ist jedoch die Gesamtverkehrslast in der Regel größer als das Gesamtgewicht des Gerüsts.

5 Untersuchung der statisch-konstruktiven Bauhilfsmaßnahmen

Das Ziel umfangreicher statischer Untersuchungen (Bild 5) der Bauzustände war es, ein Konstruktions- und Betriebskonzept für das Gerüst zu entwickeln, ohne daß bleibende Zusatzverstärkungen für das Endsystem notwendig werden. Ein Betriebskorridor zum Verfahren des Gerüsts, die Randbedingungen und gegebenenfalls begrenzte, wiederverwendbare Hilfseinrichtungen waren festzulegen.

Für diese Nachweise mußten die in Tabelle 2 aufgeführten Last- und Betriebszustände unter Berücksichtigung aller Einflußparameter untersucht werden. Die Anzahl der zu führenden statischen Nachweise war erheblich.

6 Die Verlegetechnik

Die wiederkehrenden Abläufe beim Verlegen sind in Bild 6 dargestellt.

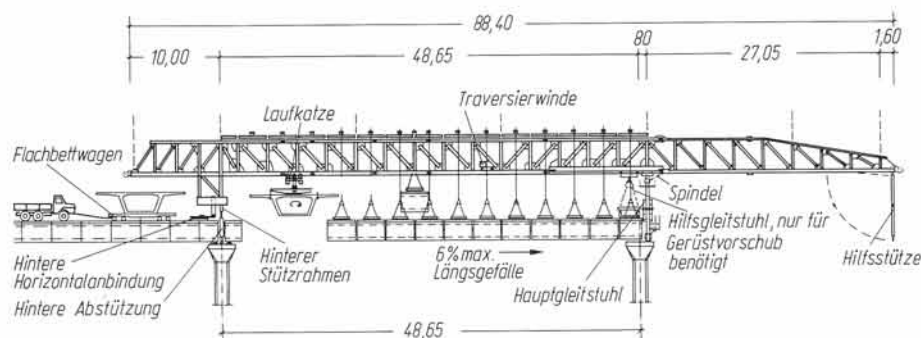
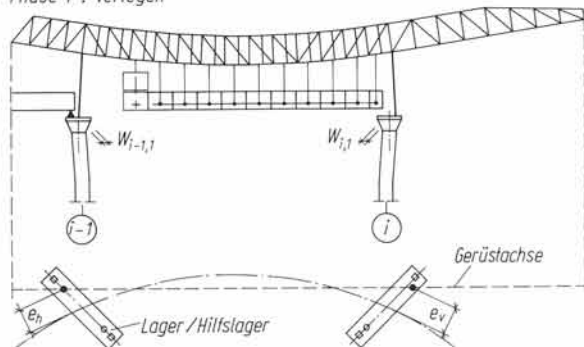


Bild 6. Vorschubgerüst in Verlegetstellung

Fig. 6. Launching truss in deck erection position

Fig. 6. Echafaudage d'avancée en position de pose

Phase 1: Verlegen



Phase 2: Absetzen

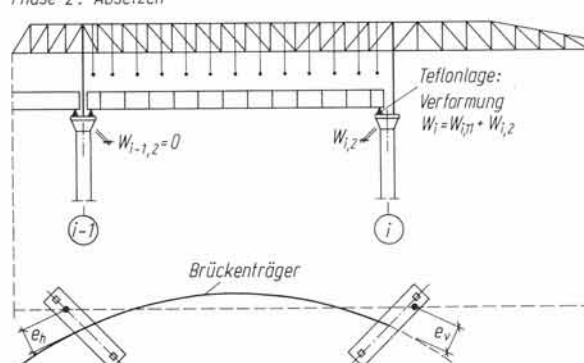


Bild 7. Verlegen: Einwirkung und Interaktion von Gerüst auf Über- und Unterbauten

Fig. 7. Deck Erection: Interaction between truss and sub- and superstructure

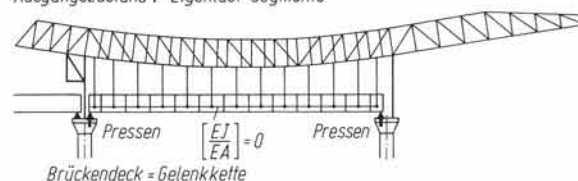
Fig. 7. Pose: influence et interaction des échafaudages sur les superstructures et l'infrastructure

Die Verlegetechnik untergliederte sich nach statischen Gesichtspunkten in drei Hauptssysteme:

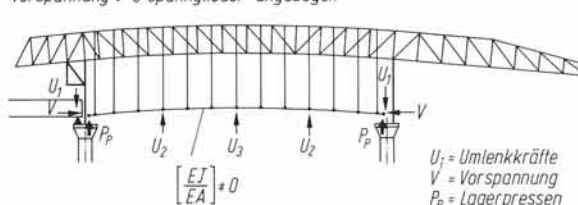
- Verlegetechnik — offenes statisches System,
- Vorspannen und Absetzen — statisches System mit veränderlicher Gliederung,
- Vorfahrzustände — geschlossenes statisches System.

Die Verlegetechnik des Gerüsts in bezug auf die Pfeilerachsen wurde so gewählt, daß die größte aufnehmbare ausmittige Normalkraft der in allen konstruktiven Abmessungen vorgegebenen Stütze ausgenutzt wurde (M_x , M_y , N -Interaktion). Die aufnehmbare Torsionsbeanspruchung des Gerüstträgers (Stahlfachwerkkasten) wurde genutzt, um die Beanspruchung der Stütze im Verlegezustand in der Größenordnung der Einwirkung aus Verkehrsbelastung und Eigenlast, allerdings unter Berücksichtigung des verminderten Lastfaktors im Bauzustand zu halten (Bild 7).

Ausgangszustand: Eigenlast Segmente



Vorspannung: 6 Spannglieder angezogen



Superposition: Segmente + Vorspannung + 10mm Pressenhub

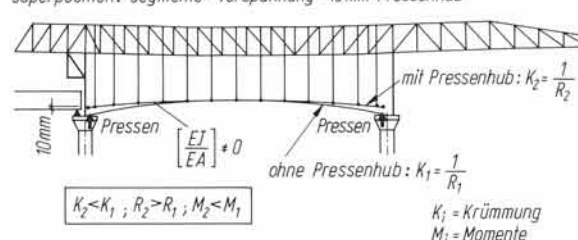


Bild 8. Statische Systeme während des Vorspannens

Fig. 8. Statical systems during prestressing

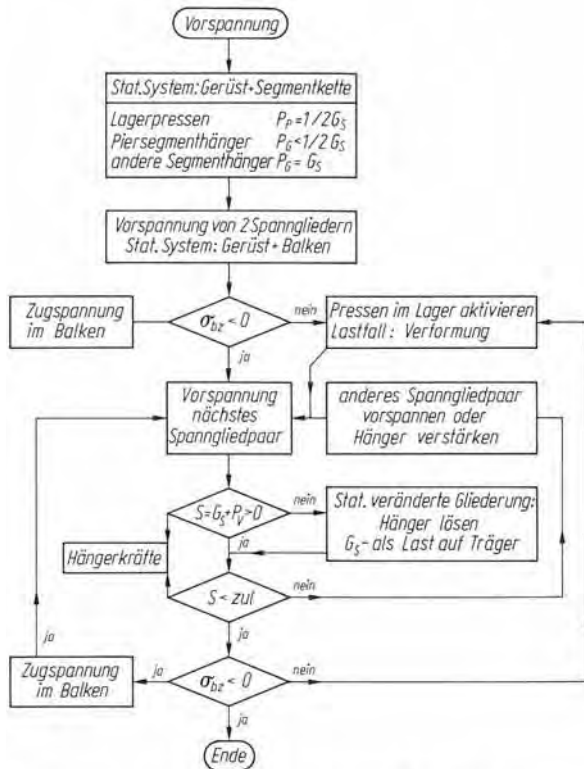
Fig. 8. Systèmes statiques durant la précontrainte

Ferner wurden die Maßnahmen zum Rückhängen bzw. Koppeln der Überbauten ermittelt, um die während des Bauzustands auftretenden Horizontalkräfte abzutragen.

Beim Vorspannen verhält sich der Brückenbalken wie ein Balken auf elastischer Bettung, hervorgerufen durch die elastisch federnde Wirkung des Gerüsts. Dabei ist zu beachten, daß es sich um ein System mit statisch veränderlicher Gliederung handelt (Bild 8).

Im Ausgangszustand ist der Brückenbalken noch eine Gelenkkette mit definierten Hängerlasten, die den Segmentgewichten und einer eingefrorenen Verformung des Gerüsts entsprechen.

Während des Vorspannens erhält der Brückenbalken seine Steifigkeit und entlastet die mittleren Hänger. Da die Gesamteigenlast jedoch gleich bleibt, wandert die Last während des Spannens zunehmend in die äußeren Hängestangen, so-



G_s = Einzelsegmentgewichte; P_v = Vorspanndruckkräfte im Hänger;
 P_g = Segmentgewicht im Hänger; σ_{bz} = Betonzugspannung im Balken
 S = resultierende Hängerkraft aus Balkeneigengewicht + Vorspannung

Bild 9. Entwurfsablauf der Vorspannung
Fig. 9. Design flow diagram for prestressing
Fig. 9 Déroulement prévu de la précontrainte

lange der Brückenbalken nicht abgesetzt wird. Dabei sind folgende Kriterien nach Superposition von Ausgangs- und Vorspannzustand zu beachten (Bild 9):

- Zulässige Last in den äußeren Hängern kontrollieren.
- Kein Hänger darf Druckkraft erhalten. Falls doch, wird der Hänger gelöst und die Eigenlast des Segments auf den Brückenbalken verlagert.
- Zugspannungen dürfen in der Betonkonstruktion während des gesamten Vorspannens nicht auftreten.

Für die danach anschließenden Verschiebezustände (Bild 10) war der zulässige Betriebskorridor für den Nachlaufwagen zu ermitteln. Die Radsätze des Nachlaufwagens waren so gespreizt, daß sie bei sehr hohen Lasten ungefähr über den Stegen der Elemente D2 fahren konnten. Das Verschieben in den Kurven erzwingt jedoch das Verlassen der Stegbereiche; die Räder gelangen auf die Fahrbahnplatte bzw. auf den Kragarm. Gleichzeitig vermindert sich jedoch die Auflagerkraft auf dem Nachlaufwagen, da der Schwerpunkt zum Hilfsgleitstuhl wandert (Phase 2 in Bild 11). Für das Brückenlängssystem mußten jeweils die größten aufnehmbaren Lasten ermittelt werden, um die Umsetzpunkte für das Gerät bei bestimmten Operationen zutreffend festlegen zu können.

Während all dieser Phasen mußten folgende Randbedingungen beachtet werden (Bild 12):

- Kippsicherheit des Brückenfelds;
- Tragfähigkeit der Lager bzw. Hilfslager;
- Kippsicherheit des Stahl-Gerüsts;
- geometrisches Erreichen des nächsten Pfeilers.

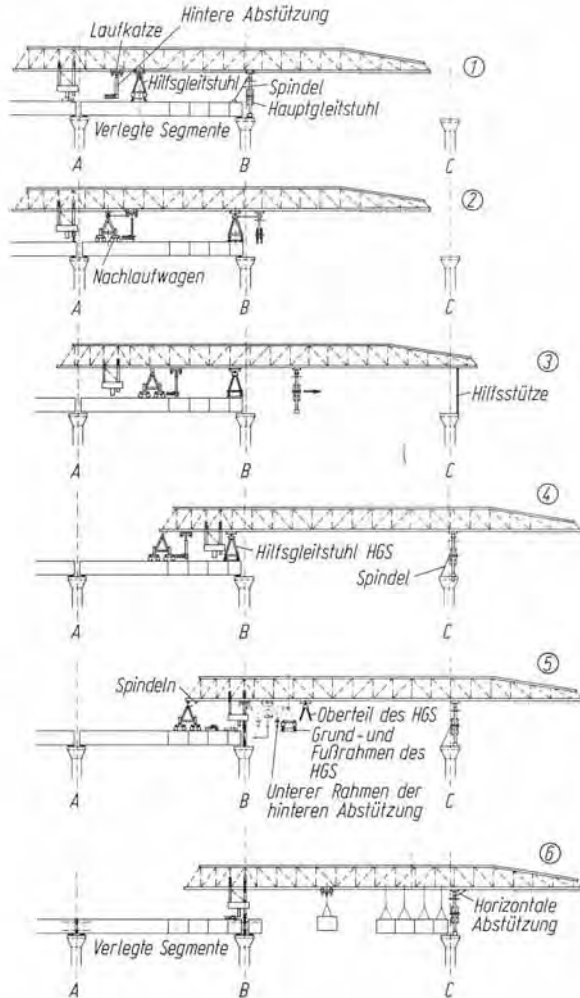


Bild 10. Vorschubzustände
Fig. 10. Launching of truss
Fig. 10. Etats d'avancée

Gleichzeitig war beim Verschieben der horizontale Festpunkt des Systems eindeutig festzulegen, besonders beim Verfahren der Gleitstühle bzw. beim Umsetzen der Lasten auf den Hauptgleitstuhl: Die Hangabtriebskräfte auf den Hilfsagern aus Längs- und Querneigung der Brücke waren mit den Reibungskräften aus dem Vorschub zu überlagern. Die auftretenden Kräfte mußten bis zur Gründung verfolgt werden und machten es teilweise erforderlich, mehrere Felder bzw. Pfeiler zu koppeln.

Beispielsweise sind die Lager auf dem Pfeiler i (Bild 11) beim Verschieben von Phase 2 nach 3 so stark belastet, daß sie durch vier Hilfspresenlager verstärkt werden mußten.

7 Die Bauhilfsmaßnahmen

Für eine wirtschaftliche, termingerechte Bauausführung war es unerlässlich, aufwendige Bauhilfsmaßnahmen auf ein Minimum zu vermindern. Wegen der Unzugänglichkeit vom vorhandenen Gelände aus kamen als Bauhilfsmaßnahmen nur Hilfslager und Rückhängungen als Lösung in Frage (Bild 13).

Bei wechselnder Geometrie, verschiedenen Feldweiten und unterschiedlichen Brückenquerschnitten D2 und D3 mußten für jedes Feld Vorschubgeometrie und Endstellung des Gerüsts neu ermittelt werden.

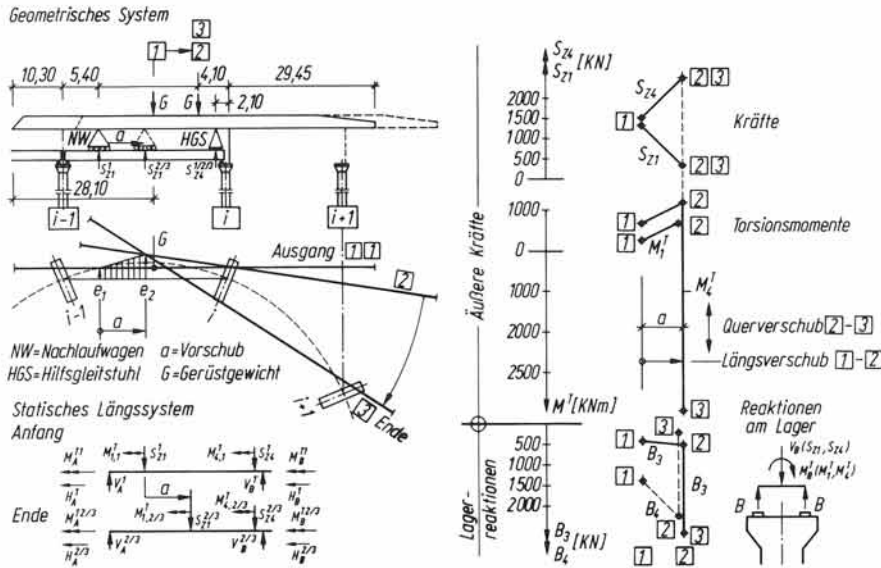


Bild 11. Vorschubzustände – Einwirkungen auf Über- und Unterbauten

Fig. 11. Launching phases – loads

Fig. 11. Etats d'avancée: influences sur les superstructures et l'infrastructure

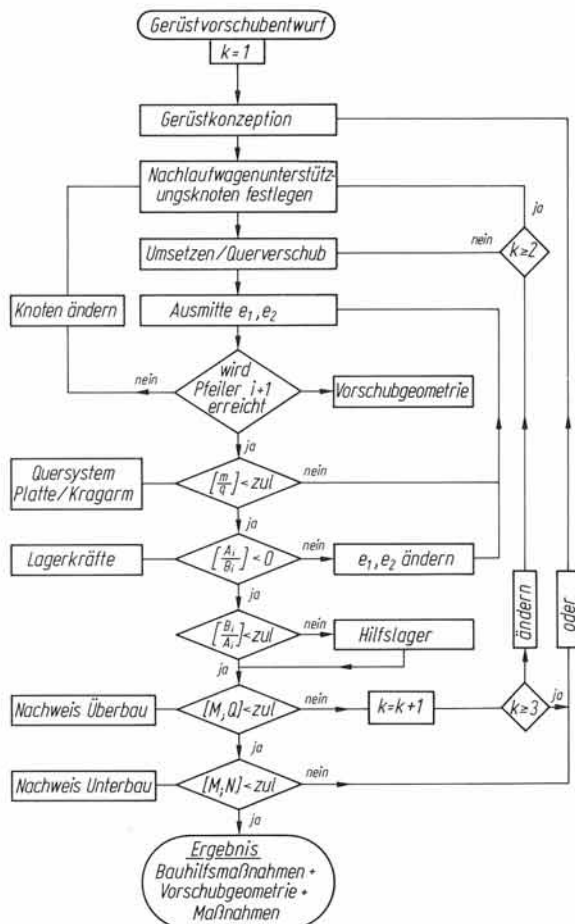


Bild 12. Entwurfsplanung der Vorschubphasen

Fig. 12. Design of launching phases

Fig. 12. Etude des diverses phases d'avancée

8 Zusammenfassung

Rund 35 km Spannbetonüberbauten wurden von einem deutsch-thailändischen Gemeinschaftsunternehmen unter Federführung der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft in weniger als zwei Jahren in Bangkok erstellt. Die Baustelle

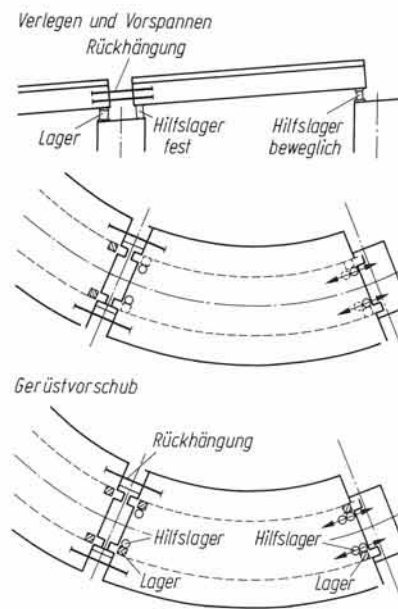


Bild 13. Bauhilfs- und Stabilisierungsmaßnahmen

Fig. 13. Auxiliary measurements during construction

Fig. 13. Mesures auxiliaires de construction et de stabilisation

erreichte je nach Trassenführung einen zwei bis vier-Tage-Takt für die Fertigstellung eines Überbaufelds. Diese Leistung war nur möglich aufgrund der hohen Motivation der Mannschaft vor Ort einerseits und der guten interaktiven Planung zwischen Technischem Büro und Arbeitsvorbereitung in Deutschland andererseits. Die Erarbeitung der statisch-konstruktiven Lösung und die Optimierung des Bauablaufs mußten Hand in Hand geschehen.

Die Herausforderung in der Planung bestand nicht so sehr in der Schwierigkeit der statischen Aufgabe, sondern, bedingt durch die vielen wechselnden Einflußparameter und Felder, in der Logistik und Systematisierung der zahlreichen Nachweise. Durch Aufzeigen der Abhängigkeiten in Form eines umfassenden Entwurfs- und Verschiebekonzepts konnten die notwendigen umfangreichen Berechnungen gezielt durchgeführt werden. Die Ergebnisse mündeten in der Aufstellung eines Betriebshandbuchs, in welchem genaue Anweisungen für Verschieben, Verlegestellung, Vorspannen, Hilfsunterstützungen usw. für jedes Feld niedergelegt wurden.