



GERHARD GIRMSCHIED

Dr.-Ing., Leiter der Gruppe Brückenbau, Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Hauptniederlassung Ausland, Wiesbaden

Geboren 1949

Studium des Bauingenieurwesens an der Technischen Hochschule in Darmstadt. 1978 Diplom, 1984 Promotion, 1984 bis 1987 Technisches Büro für Brückenbau der Bilfinger + Berger Bau-AG, Wiesbaden. 1987 bis 1991 Design Manager der Fru-Con Corporation in St. Louis/USA. Seit 1991 Leiter der Gruppe Brückenbau der Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Hauptniederlassung Ausland.

Verschiedene Veröffentlichungen, u. a. zu Technischen Biegetheorien und geklebte Segmentfugen und Brückenbau. Verschiedene Vorträge, u. a. auf dem Betontag 1991.

Bangkok Expressway, Thailand – Bau einer 35 km langen Spannbeton- Hochstraße in „Segmentbauweise“

1 Einführung

Die moderne Mega-City Bangkok mit ihren 7,6 Millionen Einwohnern ist gekennzeichnet durch Zersiedlung, Wolkenkratzer-Skylines und sehr starkem Verkehr.

Der Verkehr ist ein Schlüsselproblem dieser Stadt. Neben den unzähligen Autos gibt es Legionen von Motorrädern, aber kein öffentliches Verkehrsmittel.

Zur Entspannung der Verkehrsprobleme und aus Platzgründen wurde das längste Hochstraßensystem der Welt, das Second Stage Expressway Project, für diese Stadt in Segmentbauweise errichtet.

Der Bau wurde vom öffentlichen Verkehrsträger an Bangkok Expressway Co. Ltd. als sogenanntes BOT(build-operate-transfer)-Modell vergeben und gebaut durch die japanische Gesellschaft Kumagai Gumi Co. Ltd. auf der Grundlage einer 30jährigen Konzession finanziert.

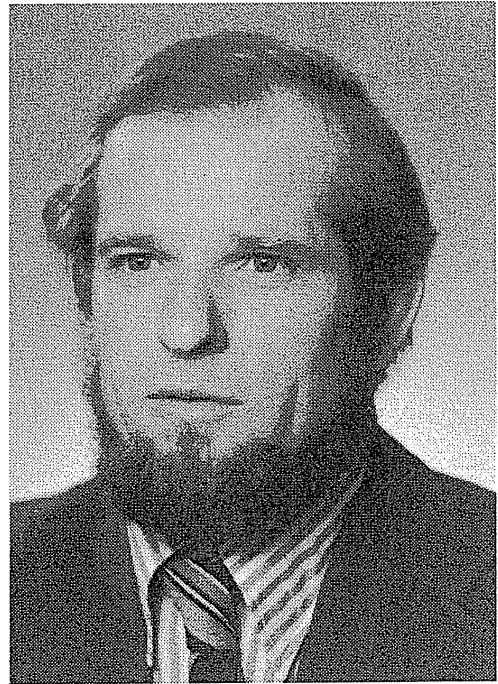
Das heißt, daß der private Betreiber alle Kosten für Planung, Finanzierung, Bau und Betrieb mit den Einnahmen des Betriebes decken muß.

WILFRIED PRADE

Bauingenieur, Gruppenleiter Schalung und Rüstung, Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Hauptniederlassung Ausland, Wiesbaden

Geboren 1936

Studium des Bauingenieurwesens an der Staatsbauschule in Stuttgart. 1962 Diplom. Anschließend bis 1964 Konstruktionsbüro Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft, Auslandsbereich Wiesbaden. 1964 bis 1967 Bauleitung Niederlassung Stuttgart. Seit 1967 Gruppenleiter Schalung und Rüstung im Technischen Büro, Auslandsbereich Wiesbaden.



Der Bauanteil der Arbeitsgemeinschaft Bilfinger + Berger Bauaktiengesellschaft und der drei thailändischen Partner Chor Karnchang, Expert Transport und Hicrete setzte sich wie folgt zusammen:

Los NS 7 – Herstellung von 327 Brückenüberbauten mit einer gesamten Brückenlänge von 14 km,

Los EW 3 – Herstellung von 511 weiteren Brückenüberbauten mit insgesamt 21 km Brückenlänge

sowie aus den

Losen NS 5, NS 6 – Ausführung der Gründungen und Unterbauten für Los NS 7.

Der Gesamtauftrag entsprach einer Brückenlänge von ca. 35 km, äquivalent der Entfernung von Hannover bis Braunschweig. Zudem wurden von der Arbeitsgemeinschaft die gesamten Fertigteile für die erste Ausbaustufe des Projekts produziert. Insgesamt waren es etwa 14 500 Fertigteile für rund 50 km Brückenlänge.

2 Ausgangssituation

Der Consultant Freeman and Fox war Verfasser des Bauentwurfes und hatte die Vorgaben des Bauherrn wie folgt umgesetzt:

- Die Hochstraße wird zwischen 4,00 m bis 23,00 m über Gelände geführt, so können bestehende Verkehrswege kreuzungsfrei überquert werden.
- Im dünnbesiedelten äußeren Bereich der Stadt – Los NS 7 – ist die gestreckte Trassenführung für das Projekt charakteristisch (Bild 1).

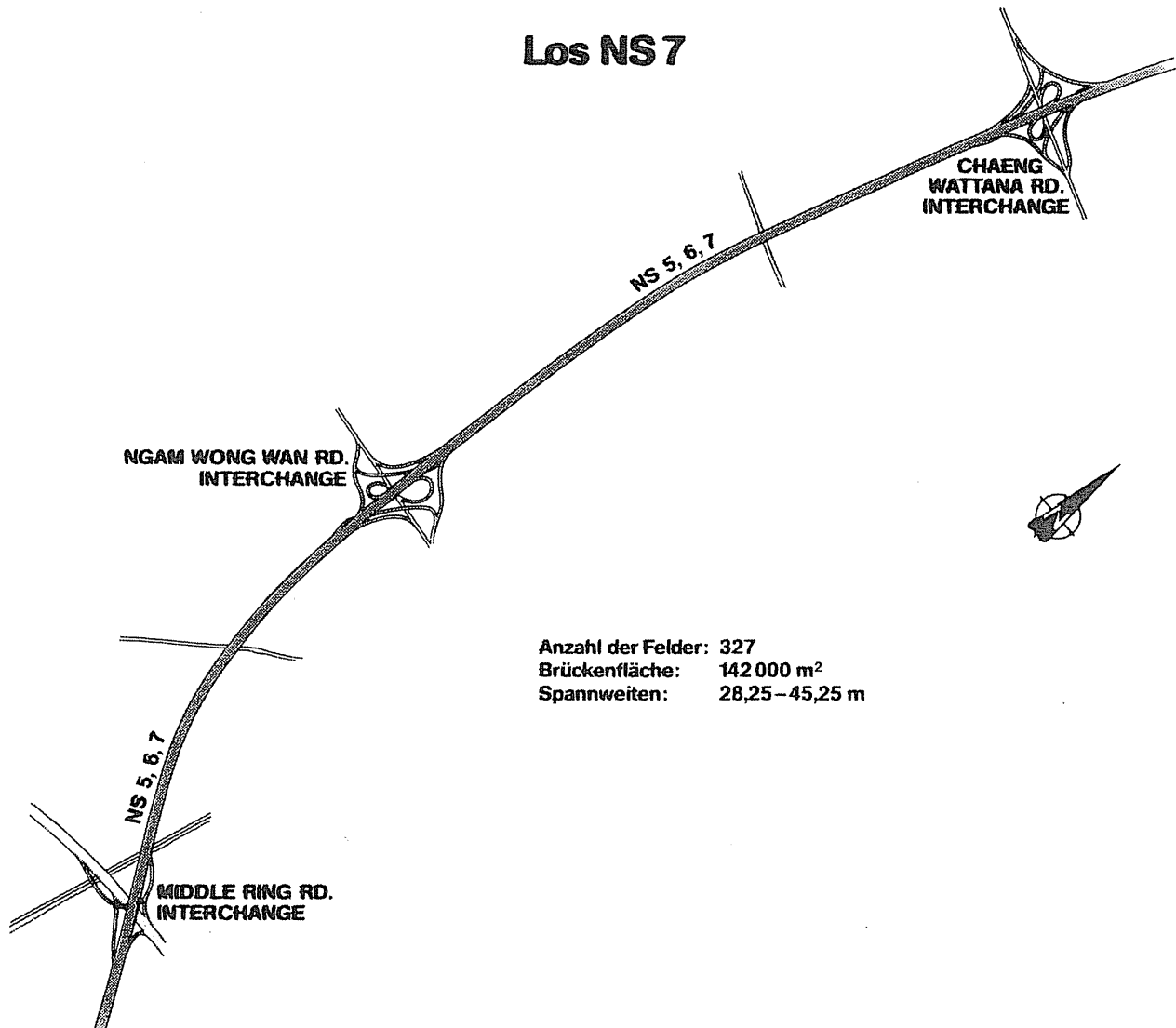


Bild 1. Streckenführung Los NS 7

- Für diesen Streckenabschnitt stellte die Anwendung der Segmentbauweise keine besondere Herausforderung dar, so daß nicht weiter auf dieses Los eingegangen wird.
- Zur Anbindung der dichtbesiedelten City-Peripherie an das neue Hochstraßensystem mußten im Bereich des Loses EW 3 umfangreiche kreuzungsfreie Anschlüsse an das bestehende Straßennetz geschaffen werden. Dieses Los war daher der anspruchsvollste und komplizierteste Teil der Bauausführung (Bild 2).

Los EW 3

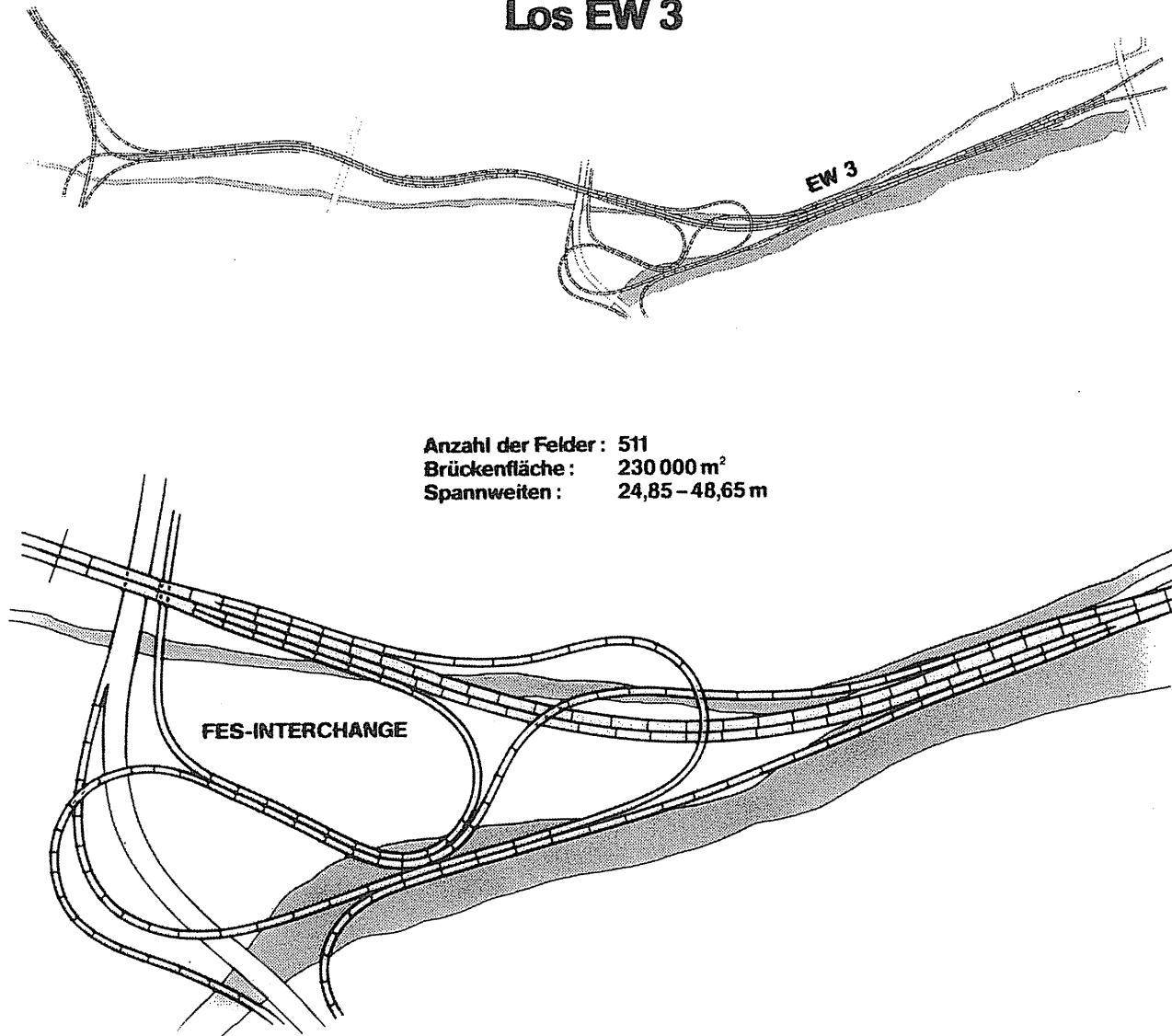


Bild 2. Streckenführung Los EW 3

Zahlreichen erschwerenden Entwurfsparametern war Rechnung zu tragen, wie:

- eine Vielzahl von Rampen mit bis zu 6% Längsgefälle,
- Einfädelungsschleifen und engen Kurven mit 85 m Radius und bis zu 10% Quergefälle,
- ständig unterschiedlichen Stützweiten,
- Kreuzungen in mehreren Ebenen sowie
- Überquerungen von Wasserarmen.

Der bauseitige Entwurf sah für beide Lose folgende Konstruktionssysteme vor (Bild 3):

- Einfeldrige Brücken, nachträglich verbunden durch Federplatten zu 3- bis 4feldrigen Systemen,

Typische D 2 und D 3 Elementhohlkastenbrücken mit externer Vorspannung

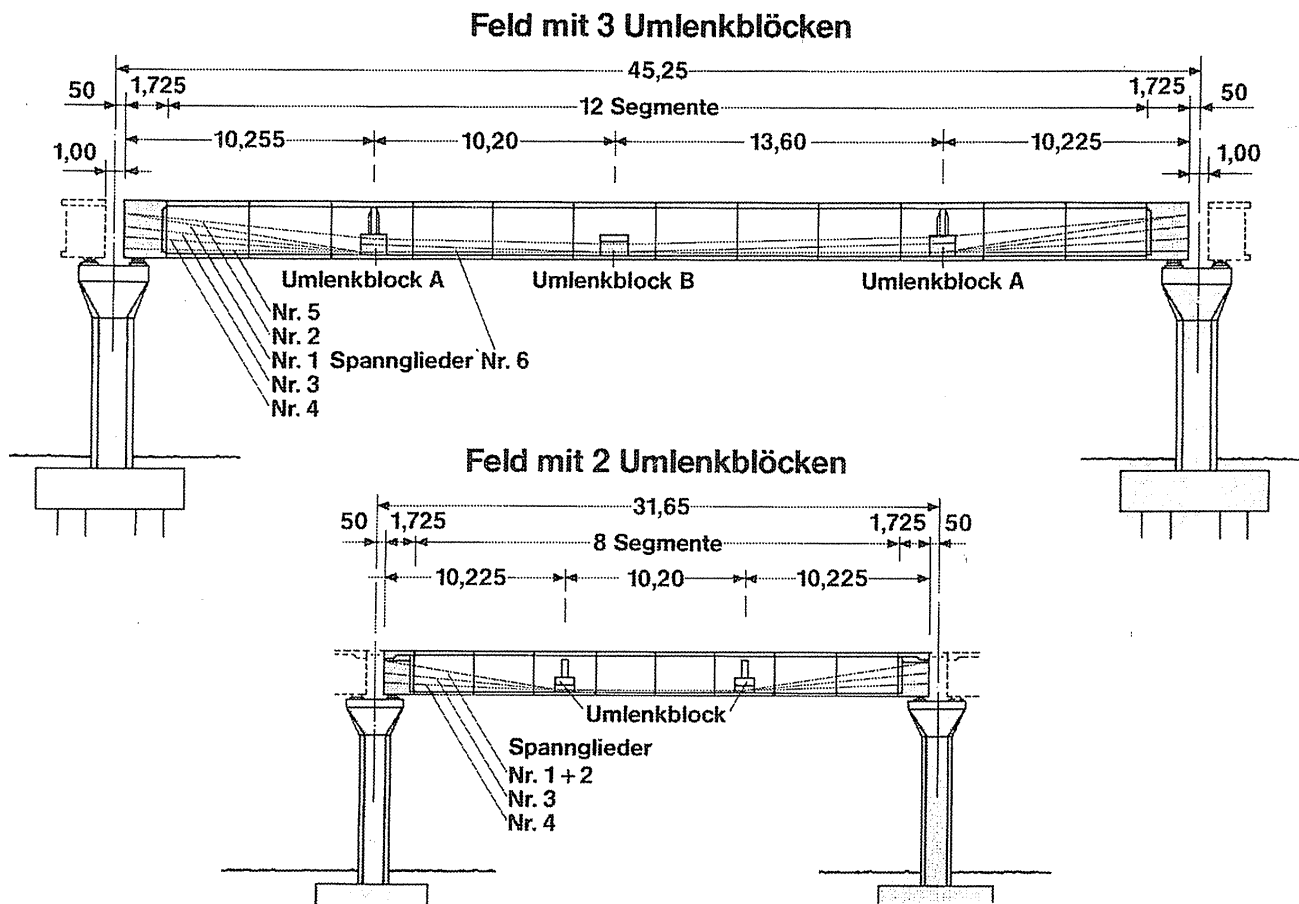


Bild 3. Überbau-Längssystem

- wechselnde Spannweiten zwischen 24,85 m bis 48,65 m,
- einzellige Hohlkästen, konzipiert durch zwei Standardquerschnitte D 2 und D 3 mit bis zu 11,90 m bzw. 15,00 m Breite,
- Segmentbauweise mit Trockenfugen und Vorfertigung der Brückenelemente zur Reduzierung der Bauzeit,
- externe Längsvorspannung aus Gründen der Dauerhaftigkeit.

Das Fertigteilssystem besteht aus den folgenden Elementen (Bild 4):

- Pfeilersegmente für die Verankerung der externen Längsspannglieder,
- Umlenksegmente ungefähr in den $\frac{1}{3}$ - bzw. $\frac{1}{4}$ -Punkten der Stützweite. An diesen Stellen werden die Vertikal- und Horizontalkomponenten der Umlenkkräfte aus Vorspannung konzentriert eingeleitet.
- Dazwischen befinden sich die Normalsegmente. Auffällig ist der dünne Steg, konstruktiv möglich durch die externe Vorspannung der Hohlkastenelemente, welcher zu deutlicher Gewichtsreduzierung führt.

Typische D 2 und D 3 Elementhohlkastenbrücken mit externer Vorspannung

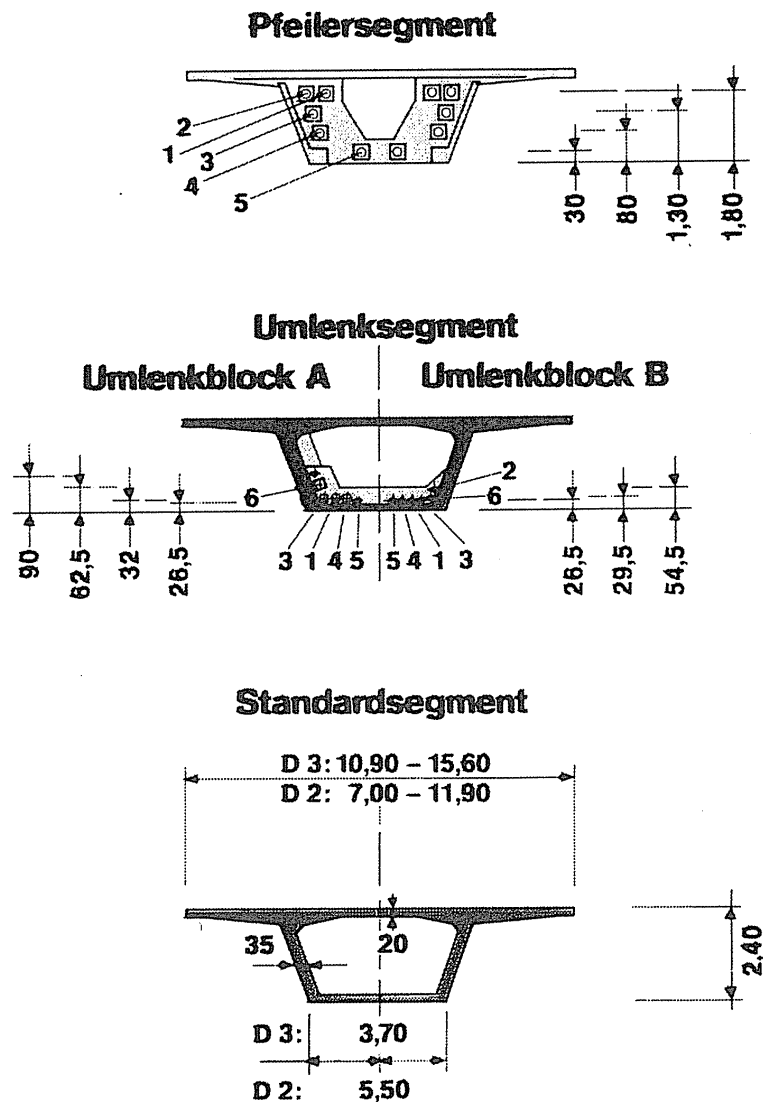


Bild 4. Überbauquerschnitte

Die Vorspannung wurde stets auf das einfeldrige System aufgebracht. Die Gesamtbauzeit war mit 24 Monaten zwingend vorgegeben.

Wegen dieser Vorgaben waren folgende Grundsatzentscheidungen für den baubetrieblichen Ablauf zu treffen:

- Welche Herstellungsmethode erlaubt die Fertigung variabler Fertigteilsegmente?
- Welche Verlegemethode ist nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten am geeignetsten, um die gewundene Streckenführung des Loses EW 3 mit seinen engen Kurven und großen Quer- und Längsgefällen herzustellen?

3 Herstellung der Segmente

Die einzelnen Segmente wurden nach der Match-Cast-Methode hergestellt. Wegen der variablen Strecken- und Gradientenführung wurde das Short-Line-Verfahren angewandt.

Bei diesem Verfahren werden jeweils nur einzelne Segmente hergestellt, wobei immer das zuletzt hergestellte Segment als Stirnabschalung verwendet wird und somit beim späteren Verlegen eine exakte Fugenpaßgenauigkeit gewährleistet.

Die Anpassung der Segmente an alle Entwurfselemente der Straßenplanung in der Gradiente und im Grundriß erfolgt polygonal durch entsprechende Winkelverdrehung des Anschlußsegmentes zur starren Schalungseinheit (Bild 5).

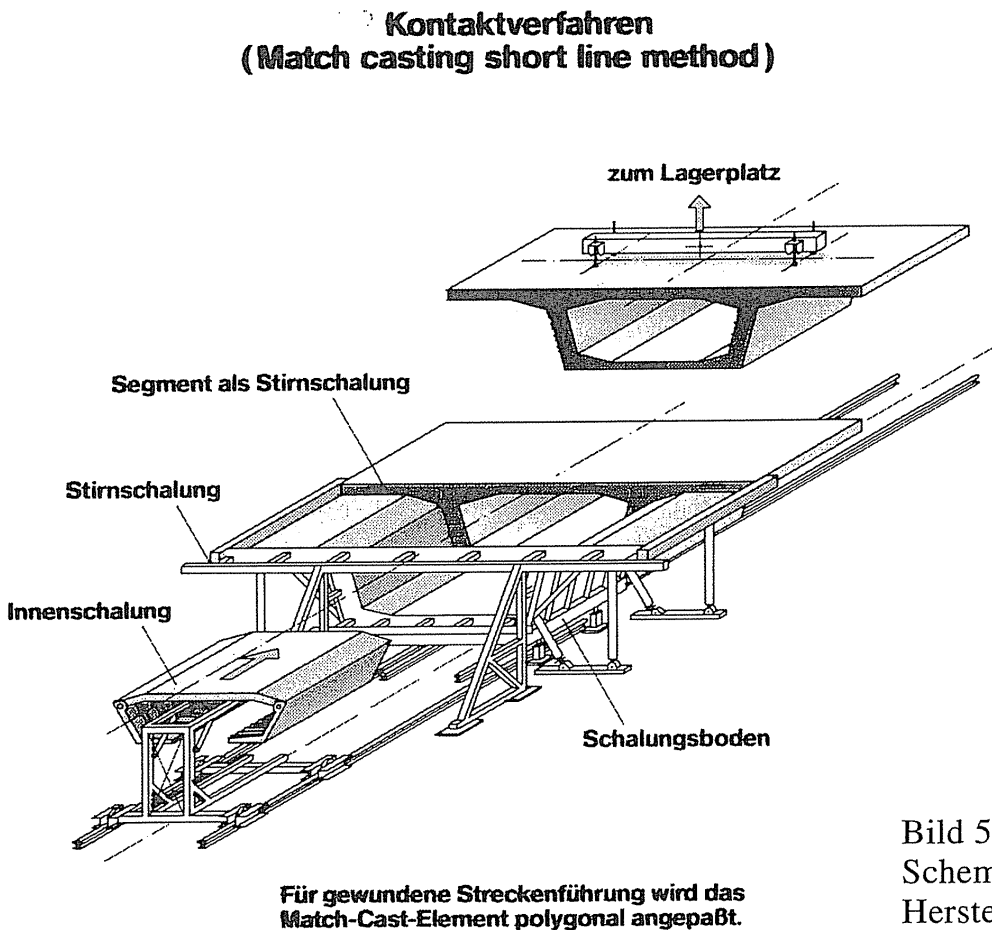


Bild 5.
Schematischer
Herstellungsablauf

Der Fertigteilplatz wurde für die Herstellung von 14 500 Segmenten geplant und ausgestattet. Für die Herstellung der Segmente wurden 48 Schalungssätze vorgehalten. Im einzelnen waren dies:

- 9 Schalungssätze für Endquerträger D 2
- 5 Schalungssätze für Endquerträger D 3

21 Schalungssätze für Normalsegmente D 2

13 Schalungssätze für Normalsegmente D 3

Wegen der Größe des Fertigungsplatzes konnten keine schienengebundenen Portalkräne eingesetzt werden. Aus diesem Grund wurden für das Umsetzen der Segmente von der Querträgerschalung zur Normalschalung und umgekehrt luftbereifte, lenkbare Portalkräne eingesetzt. Diese Portalkräne hatten außerdem die Aufgabe, die Segmente von der Fertigungsstelle zum Zwischenlager zu bringen und von dort wieder auf die Transportfahrzeuge zu verladen. Als Fertigungskapazität waren 775 Segmente pro Monat geplant. Nach einer Einarbeitungszeit wurden jedoch bis zu maximal 1000 Segmente pro Monat gefertigt. Somit konnte die Fertigungszeit drastisch verkürzt werden.

4 Verlegetechnik der Segmente in Los EW 3

4.1 Allgemein

Verlegt wurden die Segmente mit einem obenliegenden Verlegegerüst. Die Wahl dieses Gerüsttyps war das Ergebnis von Überlegungen, wie die Überbauten mit den engen Radien von bis zu 85 m sowie über Wasser verlegt werden konnten. Zur Verdeutlichung der extremen Vorgaben sei erwähnt, daß die seitliche Abweichung der Gerüstachse in der Verleigestellung zum nächsten Pfeiler ca. 16 m betrug. Der Bogenstich zur Sehne über zwei Felder beträgt ca. 5 m. Aufgrund dieser Fakten kam nur die Verwendung eines obenliegenden Gerüsts in Betracht.

Im Gegensatz dazu wurden in Los NS 7 zwei untenliegende Gerüste eingesetzt. Hier ist die Streckenführung nahezu geradlinig, und die maximale Pfeilerhöhe beträgt ca. 8,0 m über Gelände. Die Unterstützungskonsolen konnten somit problemlos mit einem Kran umgesetzt werden.

Die Konstruktion des obenliegenden Verlegegerätes bestand aus einem räumlichen Fachwerkträger mit den System-Abmessungen $3,0\text{ m} \times 3,75\text{ m} \times 85,0\text{ m}$. Die Oberkante des Gerüsts lag ca. 10 m über Oberkante Überbau. Die Abstützung des Fachwerkträgers erfolgte während des Verlegevorganges im hinteren Bereich durch einen biegesteif angeschlossenen Querrahmen und im vorderen Bereich durch eine Pendelscheibe. Die Horizontalkräfte in Brückenlängs- und Querrichtung wurden über eine Haltekonstruktion in den zurückliegenden Überbau abgeleitet.

Die Brückenquerneigung von bis zu max. 10% konnte durch die hintere und vordere Abstützung ausgeglichen werden. In Brückenlängsrichtung verlief der

Vorschubgerüst-Ansicht

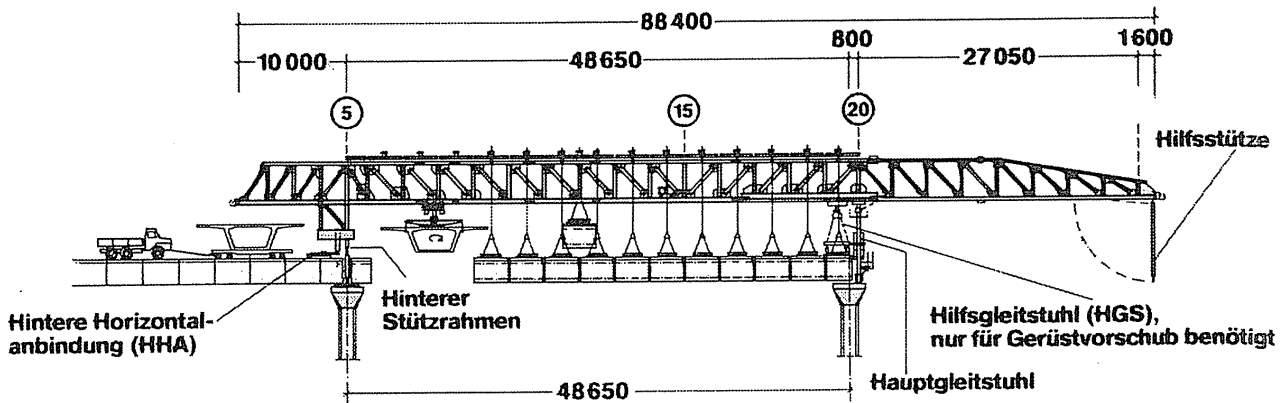


Bild 6. Ansicht Verlegegerät

Gerüstträger immer parallel zum Längsgefälle des Überbaus (bis zu max. 6%). Das Gewicht der gesamten Konstruktion eines Verlegegerätes betrug ca. 320 t. Insgesamt waren 6 obenliegende Gerüste im Einsatz (Bild 6 und Bild 7). Die Aufhängung der einzelnen Segmente erfolgte jeweils mit 2 Seilgehängen, die über einen Umlenksattel an eine Hängestange angeschlossen waren. Die

Vorschubgerüst-Querschnitte

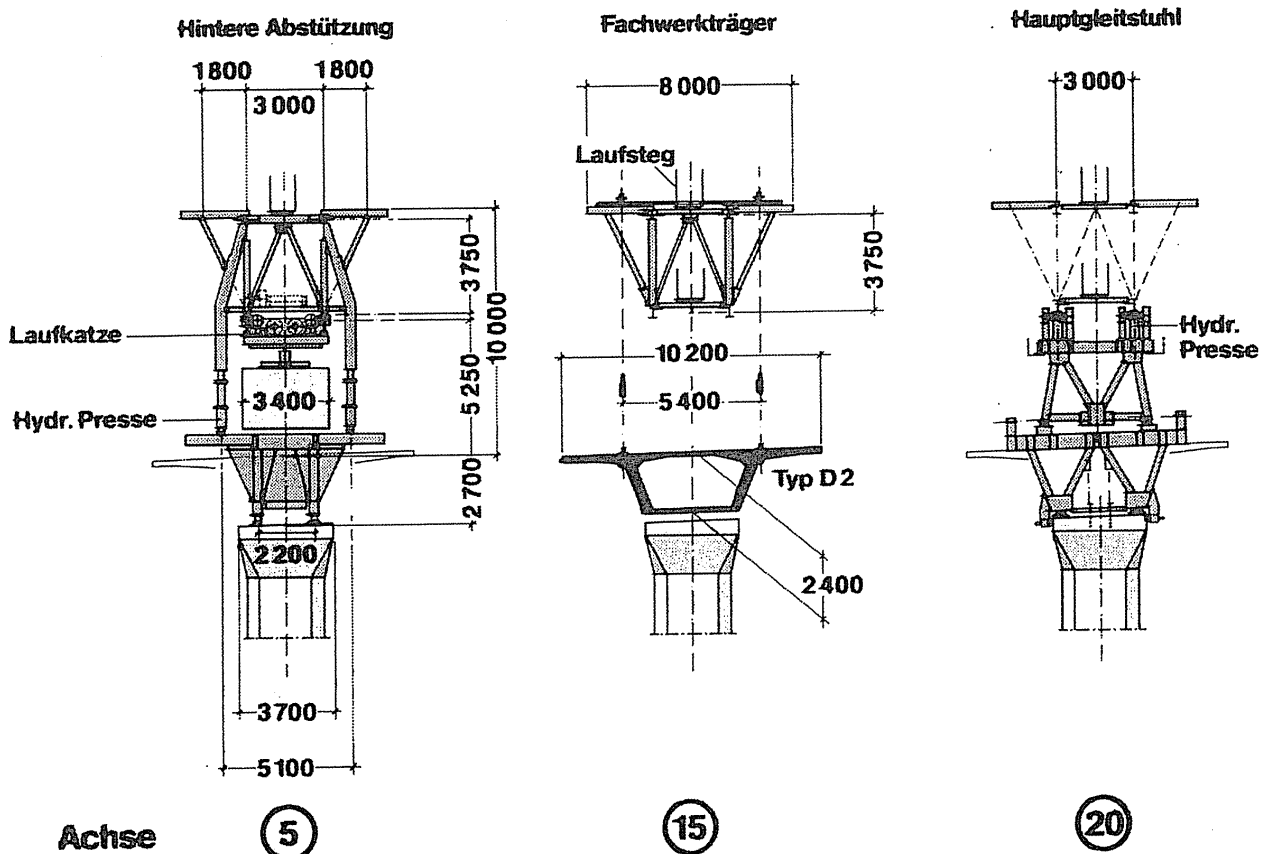


Bild 7. Querschnitte Verlegegerät

Hängestangen (Spannstahl St 835/1030, $\varnothing$ 36 mm) waren seitlich am Gerüst befestigt. Um jedes Segment lagemäßig ausrichten zu können, konnten die Aufhängepunkte der Hängestäbe in Quer- und in Längsrichtung verschoben und höhenmäßig mit Hohlkolbenpressen angehoben oder abgesenkt werden.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Feldweiten von 24,85 m bis 48,65 m mußte das Gerüst entsprechend verkürzt bzw. verlängert werden. Die Normallänge des Gerüstträgers betrug 85 m. Mit dieser Länge konnten Feldweiten von 38,45 m bis 45,25 m hergestellt werden. Für die Feldweite 48,65 m mußte der Rüstträger durch ein Zwischenstück von 3,40 m verlängert werden. Um die Feldweiten 24,85 m bis 35,05 m herzustellen, wurde der Träger um 13,60 m verkürzt.

Diese Maßnahme erfolgte jeweils im zuletzt verlegten Feld. Der Fachwerkträger wurde zusätzlich vor und hinter den zu öffnenden Montagestoßen unterstützt. Nach dem Öffnen der Schraubstöbe wurde beim Verkürzen des Trägers der Schuß von 13,60 m mit Hängestangen und 4 Hohlkolbenpressen abgesenkt und auf dem Überbau abgelegt (Bild 8). Der vordere Teil des Gerüsts wurde

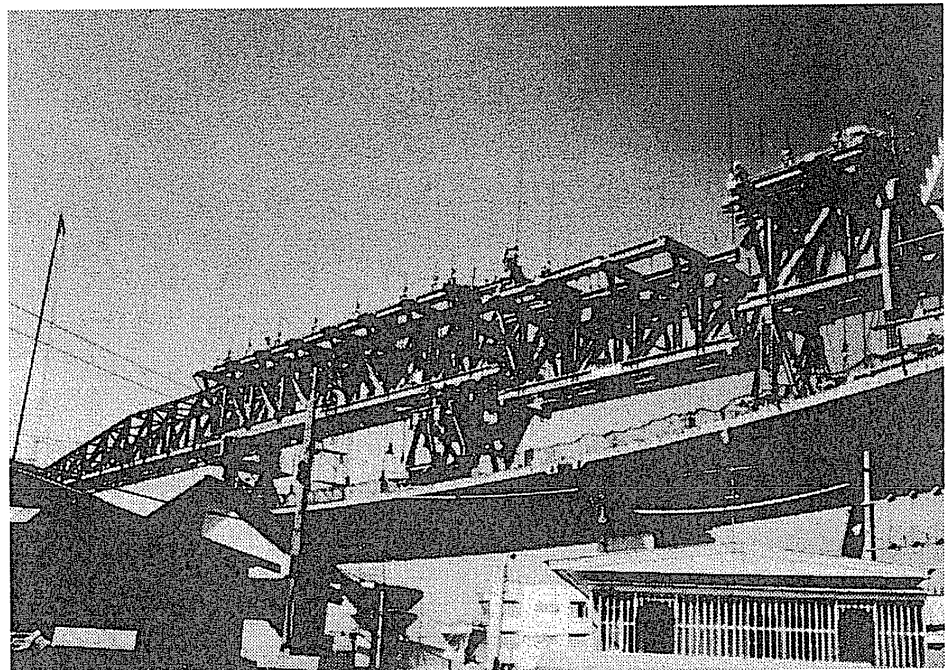


Bild 8. Verkürzen des Fachwerkträgers

dann zurückgeschoben, und der Stoß konnte wieder geschlossen werden. Beim Vorschub des Gerüsts fuhr dieses dann über den abgelegten Schuß hinweg bis in die nächste Verlegestelle. Dieser Schuß wurde dann zur Seite geschoben, um den Fahrweg für den Antransport der Segmente frei zu machen. Das Verlängern des Gerüsts erfolgte in umgekehrter Reihenfolge. Ein Verlängerungs- bzw. Verkürzungsvorgang dauerte ca. 1 Woche. Insgesamt mußten 20 Verlängerungen bzw. Verkürzungen durchgeführt werden.

4.2 Segmentverlegung

Das Verlegen der Segmente erfolgte so, daß jeweils ein Segment nach dem anderen mit einem Flachbettwagen unter den hinteren Bereich des Verlegegerüsts geschoben und von einer Unterflanschlaufkatze übernommen wurde. Das Segment wurde dann mit der Laufkatze nach vorne gefahren, um 90° gedreht und abgesenkt. Beim Erreichen der ungefähren Sollhöhe wurde das Segment an zwei Hängestangen angeschlossen, und die Laufkatze konnte entlastet werden. Die Reihenfolge der Segmentverlegung erfolgte so, daß zunächst das hintere Pfeilersegment verlegt und mit dem zurückliegenden Überbau verankert wurde. Dann wurden das vordere Pfeilersegment und alle anderen Segmente von vorn nach hinten aufgehängt und provisorisch ausgerichtet, bis das letzte Segment eingefahren, gedreht und abgesenkt war. Danach erfolgte in umgekehrter Richtung von hinten beginnend das genaue Ausrichten der einzelnen Segmente.

Jedes Segment wurde mit der zuvor beschriebenen Aufhängung ausgerichtet und mit 4 innenliegenden Spannstäben $\varnothing$ 15 mm gegen das zurückliegende Segment gespannt, um somit einen kraftschlüssigen Fugenkontakt zu gewährleisten.

Die Vermessung der einzelnen Segmente erfolgte vom zurückliegenden Überbau aus über zuvor festgelegte Koordinatenpunkte auf den Segmenten. Auf diese Weise wurden 511 Überbauten problemlos eingemessen, ohne daß nachträglich Korrekturen vorgenommen werden mußten.

Nach dem Ausrichten aller Segmente konnten die HDPE-Hüllrohre verlegt und die Spannstahl-Litzen eingeschossen werden. Sobald ca. zwei Drittel der Vorspannkraft aufgebracht war, wurde das Verlegegerät abgelassen, so daß alle Aufhängungen frei waren und gelöst werden konnten. Es folgten Vorbereitungen für den nächsten Vorschub.

5 Vorfahren des Verlegegerätes

Nachdem der Überbau voll vorgespannt war, konnte das Gerüst in das nächste Feld verschoben werden.

Für diese Maßnahme wurde zunächst ein Hilfsgleitstuhl eingefahren und hinter der vorderen Pendelstütze abgesetzt. Im hinteren Auflagerbereich wurde ein fahrbarer Nachlaufwagen vorgesehen. Diese beiden zusätzlichen Auflagerpunkte übernahmen dann die Gerüstkonstruktion, so daß die zuvor belasteten Unterstützungen frei wurden.

Das Verschieben des Gerüsts erfolgte, indem die Fachwerkkonstruktion über den Hilfsgleitstuhl hinwegrollte und der Nachlaufwagen hinterhergezogen wurde, bis die Schnabelspitze mit der Hilfsabstützung den nächsten Pfeiler erreicht hatte.

Dann wurde der Hauptgleitstuhl am Gerüst hängend vorgefahren und auf dem nächsten Pfeilerkopf abgesetzt und verankert.

Der weitere Vorschub des Gerüsts erfolgte über eine Dreipunktlagerung, bis der Gerüstschwerpunkt vor dem Hilfsgleitstuhl lag und der Nachlaufwagen frei war. Danach vollzog sich der Resteinschub mit Auflagerung auf Hilfs- und Hauptgleitstuhl (Bild 9), Umlagerung der hinteren Abstützung vom Hilfsgleitstuhl auf den Abstützrahmen und Einbau der Horizontalhalterung. Anschließend erfolgte das Lösen der provisorischen Abstützung am Hauptgleitstuhl, um die Pendelwirkung zu erreichen, und danach das Anheben des Gerüstträgers in die Verlegestellung.

Geometrie der Vorschubphasen

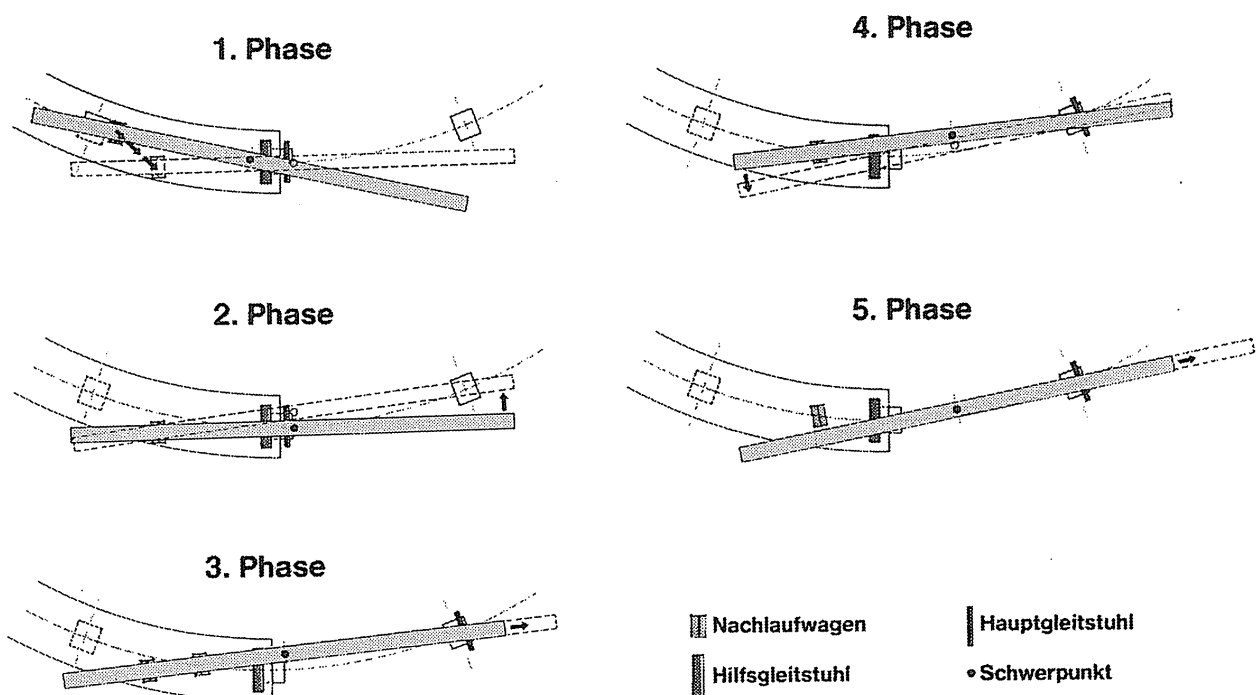


Bild 9. Vorschubphasen – Gerüst

Bei extrem engen Kurven wurde der Nachlaufwagen zwischen hinterem Abstützrahmen und dem Schwerpunkt des Gerüsts angeordnet, um so eine möglichst kurze Distanz zum vorderen Auflagerpunkt zu erreichen. Während des Vorschubs konnte der Nachlaufwagen entsprechend gelenkt und der Hilfsgleitstuhl in Querrichtung verschoben werden. Somit bestand die Möglichkeit,

die Gerüstachse zu verschwenken, indem der Nachlaufwagen in Richtung Kurvenaußenrand fuhr und der Hilsgleitstuhl zum Kurveninnenrand verschoben wurde. Mit dieser Gerüstverdrehung konnte der Gerüstschnabel den nächsten Pfeilerkopf erreichen.

6 Besondere baubetriebliche Herausforderungen

Nach einer kurzen Einarbeitungszeit wurde das Betreiben der Gerüste zur Routine.

Nun galt es, alle weiteren baubetrieblichen Belange zu lösen und in die Tat umzusetzen.

Ein besonderes Problem ergab sich daraus, daß zwei der Gerüste von einem Einsatzort zum anderen, durch eine vom Verkehr überquellende Innenstadt, zu transportieren waren. Die Route führte über zahlreiche Wasserwege und unter bestehenden Brückenbauwerken hindurch.

Für das Umsetzen der Gerüste innerhalb der Brückentrasse konnte auf die bereits gewonnenen Erfahrungen und auf die Hilfsgeräte des Stadttransports zurückgegriffen werden.

Die schwierigste Aufgabe war, ein Gerüst auf der bereits hergestellten Brücke über 4 Überbauten hinweg querzuverschieben und dann in kompletter Länge um 180° zu drehen. Der Drehvorgang erfolgte auf einem Drehkranz mit 7 m Durchmesser und dauerte ca. 2 1/2 Std.

7 Zusammenfassung

Das Bauwerk wurde im Februar 1993 dem Auftraggeber übergeben. Trotz der großen Aufgabe in einem neuen Land, mit neuen Partnern und unbekanntem Markt wurde die Bauzeit um ca. 7 Monate unterschritten. Statt den vorgegebenen 24 Monate Bauzeit wurden nur 17 Monate benötigt (Bild 10).

Diese Leistung war nur möglich durch die hohe Motivation der Baustellenmannschaft und die gute interaktive Planung zwischen Technischem Büro und Arbeitsvorbereitung. Die ausgewogene Erarbeitung der technischen Lösung einerseits und die Optimierung des Bauablaufs andererseits waren die Grundlage des Erfolges.

Das Bauwerk wird einen wesentlichen Beitrag zur Verbesserung der Verkehrssituation in Bangkok leisten.

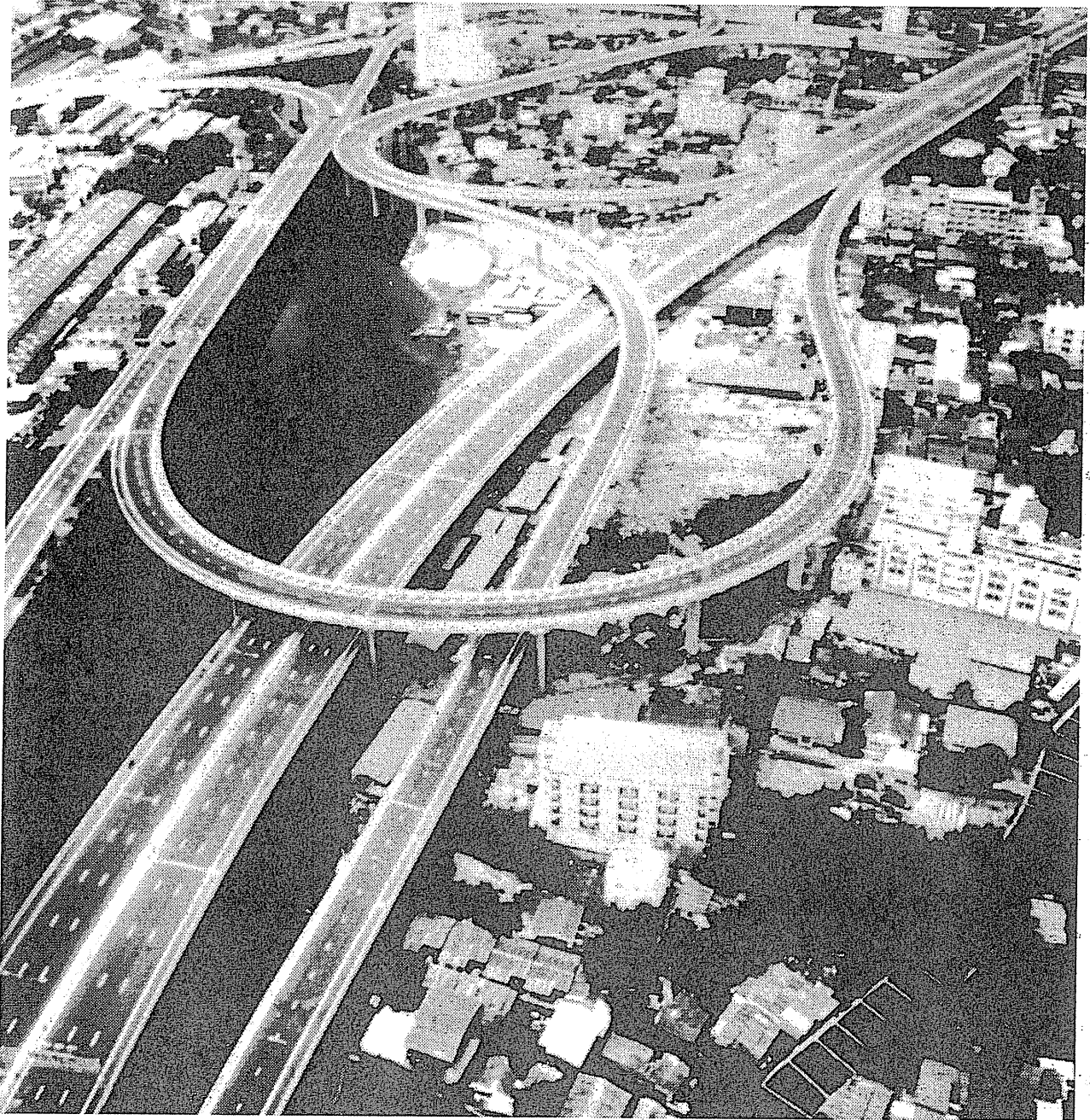


Bild 10. Teilansicht des fertigen Bauwerks