

# Grossbrückenbauten zwischen Saudi-Arabien und Bahrein

Autor(en): **Van Tongeren, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **104 (1986)**

Heft 4

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-76064>

## **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.

# Grossbrückenbauten zwischen Saudi-Arabien und Bahrein

H. Van Tongeren, Amsterdam

## Vorgeschichte

Das Emirat Bahrein liegt auf einer Insel im Arabischen Golf vor der Küste des Königreichs Saudi-Arabien (Bild 1). Im Jahre 1984 erfolgte eine Ausschreibung des Finanzministeriums in Riyadh für eine technische und wirtschaftliche Studie einer Strassenverbindung zwischen den beiden Staaten. Eine dänische Gruppe, unter anderem mit Christiani & Nielsen und Kampsax International, in Zusammenarbeit mit einer saudi-arabischen Firma beratender Ingenieure, Saudi-Danish Consultants benannt, war erfolgreich, und 1975/1976 wurden zwei Vorprojekte für eine vierspurige Autobahn von 25 km Länge mit Brücken und Dämmen ausgearbeitet.

Für diese Vorprojekte wurden 22 präqualifizierte Arbeitsgemeinschaften zur Offertstellung eingeladen. Die Ausschreibung erlaubte den Unternehmungen,

Alternativprojekte für die Brücken zu offerieren. Mitte 1980 erfolgte die Offertabgabe, und im Juli 1981 der Zuschlag an die holländische Baufirma Ballast-Nedam N.V. für eine von ihr ausgearbeitete Alternative zum Preis von 564 Millionen US \$. Mit der Bauleitung wurden die Saudi-Danish Consultants beauftragt.

Ende September 1981 erfolgte die Übergabe des Baugeländes mit der Verpflichtung, die Autobahn bis spätestens am 20. Januar 1986 fertigzustellen. Für das Detailprojekt und die Bauausführung standen insgesamt nur 225 Wochen zur Verfügung. Es liefen daher in wenig mehr als 4 Jahren zahllose Abläufe für Detailentwurf und Ausführung nebeneinander her und beeinflussten sich gegenseitig.

Gegenwärtig werden jährlich zwischen Saudi-Arabien und Bahrein rund 170 000 Passagiere und 60 000 t Fracht

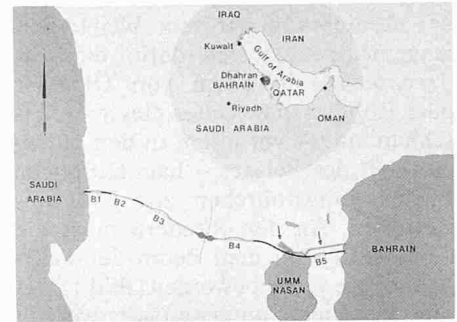


Bild 1. Geographische Situation der Autobahnverbindung

befördert. Nach der Fertigstellung der Autobahn wird eine Erhöhung auf über 5 Millionen Personen und 600 000 t Fracht angenommen.

## Die Ausarbeitung des Alternativprojektes

Die Autobahn mit einer totalen Länge von 25 km umfasst fünf Brücken mit einer Gesamtlänge von 12,5 km und Einzellängen zwischen 950 m und 5150 m. Alle Brücken weisen zwei getrennte Überbauten für je zwei Fahrspuren mit einem Zwischenabstand von 80 cm auf.

Aus den für das Projekt massgebenden Randbedingungen resultierten die folgenden wichtigsten Grundlagen für den Entwurf und die Ausführung der 25 km langen Einzelbrücken:

- Konsequenter Einsatz von Vorfabrikation und Vorspannung
- Grosse Serien schwerer, vorgefertigter Bauteile
- Beton höchster Qualität und Dauerhaftigkeit
- Standardbrücken mit relativ kurzen Regelspannweiten
- Versetzen von vorgefertigten Pfählen in vorgebohrte Löcher (anstelle von Rammpfählen)
- Transport und Montage der vorgefertigten Bauteile mit speziell entwickelten Einrichtungen und schwimmenden Grossgeräten

Die Spezifikationen verlangten in 3 Brücken Schiffahrtsöffnungen von 18 m lichter Höhe und für eine Brücke eine Hauptnavigationsöffnung mit einer freien Durchfahrtsbreite von 90 m und einer Höhe von 28,5 m.

Für die *Standardbrücken* fiel der Entscheidung zugunsten eines Gerberträgers mit 50 m Regelspannweite, der auf schlanke, zylindrische Einzelpfeiler ab-

Bild 2. Standardbrücken in verschiedenen Montagestadien



gestützt ist. Die Standardbrücken weisen auf 60% der Brückenlänge eine konstante Höhe von 5 m über dem Wasserspiegel auf (Bild 2); für die Schiffsöffnungen erhöht sich das Brückenniveau entsprechend.

Die Gerberträger bestehen im Querschnitt aus einem Hohlkasten von 12,30 m Breite und 2,52 m Höhe. Bei einer *Regelspannweite* von 50 m ergeben Längen von 66 m für die Kragträger und 34 m für die Einhängeträger eine optimale Momentenverteilung.

Die verstärkten Querschnitte am Ende des Kragträgers und des Einhängeträgers beim Gerbergelenk waren für Entwurf und Konstruktion äusserst wichtig, da diese Zonen sehr hoch beansprucht sind.

Alle Hohlkastenträger sind längs mit BBR CONA-Kabeln (19 Litzen  $\varnothing$  15,7 mm) vorgespannt, und zwar pro Steg 6 Kabel in den Kragträgern und 4 in den Einhängeträgern. Für die Querverspannung der Fahrbahnplatte kamen BBRV-Kabel (19 Drähte  $\varnothing$  7 mm) zur Anwendung. Diese Kabel sind abwechselungsweise an einem Ende mit einem spannbaren Anker und auf der Gegenseite mit einem festen Anker versehen.

Die Gerberträger von mindestens 6 Spannweiten zu 50 m werden durch eine Kontinuitätsplatte aus Ortbeton miteinander verbunden, was einem minimalen Abstand zwischen den Dehnfugen von 300 m entspricht. In den relativ schlanken Pfeilern würden die exzentrischen Lasten von einfachen Balken – wie in der Projektstudie ursprünglich vorgesehen – zu unerwünschten Zugspannungen führen,



Bild 4. Freivorbaubrücke als Hauptnavigationsöffnung

was mit Gerberträgern vermieden werden kann.

Je nach Höhe der Brücken über dem Wasserspiegel mussten drei verschiedene Varianten für den *Unterbau* entworfen werden. Es gelang, fast für die gesamte Brückenlänge mit einem *einheitlichen Pfahldurchmesser* von 3,50 m auszukommen. Wegen der variablen Fundationstiefe musste allerdings eine Anpassung der Pfahlänge leicht möglich sein, was besondere Anforderungen an das Vorfabrikationssystem und die Montagegeräte stellte.

Die Standardlösung mit einem freistehenden Pfeiler kommt, abhängig von der Wassertiefe und den Bodenverhältnissen, bis zu einer maximalen Höhe der Brücken von 10 m über Wasserspiegel zur Anwendung.

Ein Querträger zwischen den Pfeilerköpfen benachbarter Brücken erlaubt eine Höhe bis zu 20 m über Wasser, wiederum in Abhängigkeit von Wassertiefe und Bodenverhältnissen.

Für noch grössere Brückenhöhen wird ein weiterer Querträger unmittelbar unter dem Wasserspiegel notwendig, der seinerseits auf Rohrpfeilern von 3,5 m Durchmesser steht (Bild 3).

Die drei erwähnten Varianten kamen für ungefähr 90% der totalen Brückenlänge zur Anwendung.

Für höhere Pfeiler als 20 m werden, anstelle der Wind- und Verkehrslasten, die vorgeschriebenen Erdbebenlasten massgebend. Auch für die Erdbebenlasten treten keine Zugspannungen in den durch Vorspannung überdrückten

Bild 3. Brückenpfeiler Typ 2

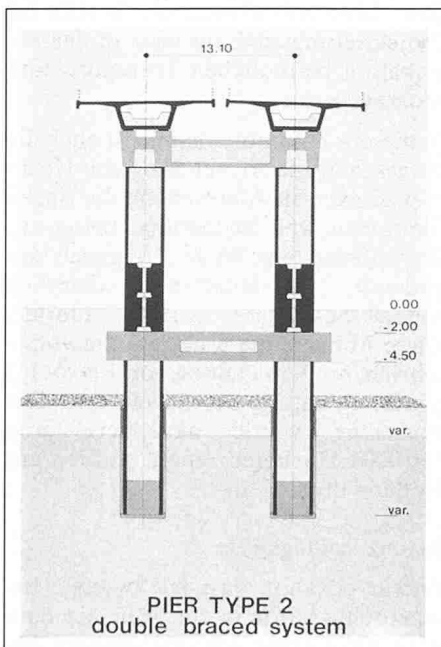
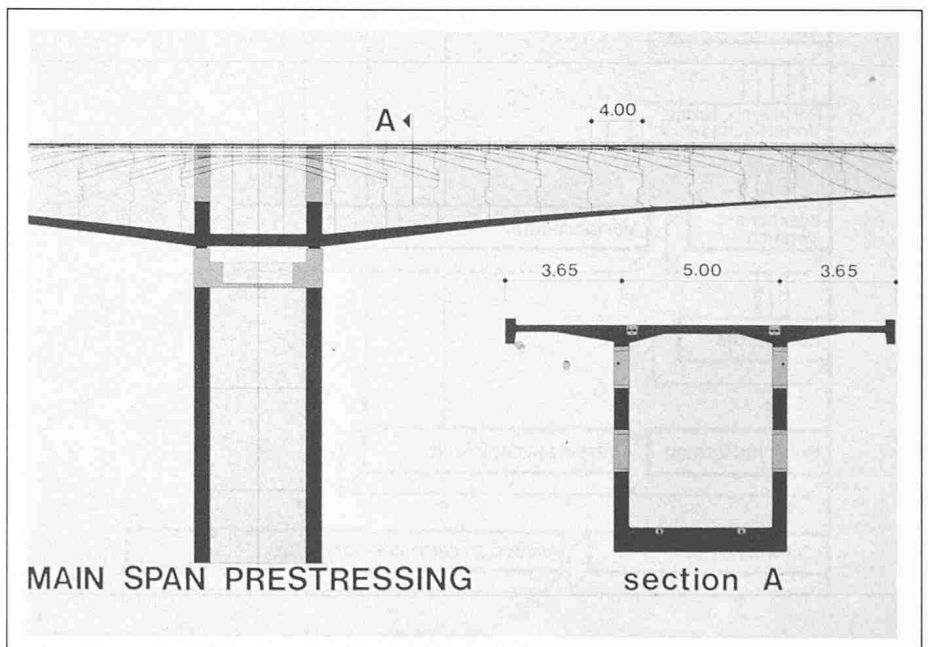


Bild 5. Längs- und Querschnitt der Freivorbaubrücke mit Verlauf der Vorspannkabel



Pfeilerfugen auf, und die Verformungen bleiben zulässig.

Für die Brücke zwischen Bahrein und der Insel Umm Nasan kamen ebenfalls Pfeiler mit 3,50 m Durchmesser zur Anwendung, die in diesem Fall nicht in Bohrlöcher, sondern in vorgängig installierte Caissons versetzt wurden. Diese Anpassung war notwendig wegen des Vorhandenseins von Grundwasserschichten, die für die Wasserversor-

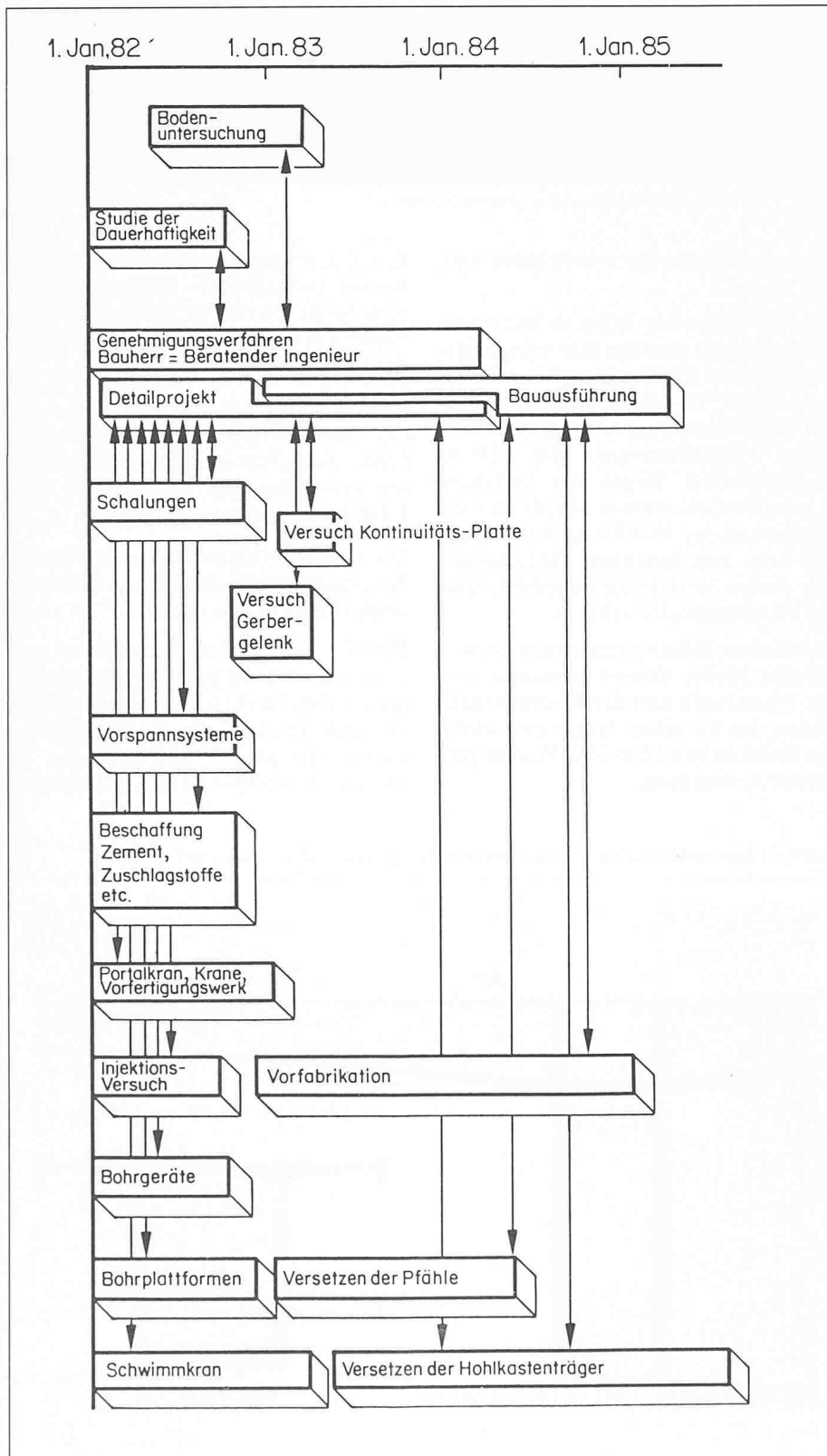
gung von Bahrein lebenswichtig sind. Das Risiko der Durchdringung dieser Schichten beim Bohren wurde vom Bauherrn als zu hoch erachtet. Alle vorgefertigten Pfähle wurden mit 14 BBR CONA-Kabeln (7 Litzen  $\varnothing 15,7$  mm) längs vorgespannt.

Anfänglich war eine *Hauptnavigationsöffnung* von 90 m in der Brücke zwischen der Zollinsel und der Insel Umm Nasan gefordert. Später jedoch wurde

die Hauptöffnung in eine andere Brücke verlegt und gleichzeitig die Durchfahrtsbreite auf 135 m erhöht. Bei einer Höhe über Wasser von 28,5 m ergab sich die Notwendigkeit eines von der Standardbrücke vollständig abweichenden Systems.

Die Wahl fiel auf eine *Freivorbaubrücke* mit einer Hauptspannweite von 150 m, bestehend aus vorgefertigten Betonelementen mit Kunststoff-Klebefugen (Bild 4). Der Hohlkasten-Querschnitt in der Mitte der Hauptöffnung hat eine Höhe von 3,50 m und über den Stützen eine solche von 8,00 m (Bild 5). Die Pfeiler sind in den Fundationen eingespannt, und deren Dimensionen ermöglichten einen Vorbau in beiden Richtungen ohne zusätzliche Vorkehrungen für das unausgeglichene Biegemoment beim Vorbau eines Segments am Kragarmende.

Für die Längsvorspannung kamen auch hier BBR CONA-Kabel (12 Litzen  $\varnothing 15,7$  mm) zum Einsatz. Bis zum achten Segment sind pro Steg zwei, in den folgenden Segmenten je ein Kabel verankert.



## Spezielle Untersuchungen und Versuche

### Dauerhaftigkeit des Bauwerks

Zu Beginn der Detailprojektierung wurde eine Arbeitsgruppe für das Studium der Dauerhaftigkeit des Bauwerkes gebildet. Während die Projektierung in grosser Eile vorangetrieben wurde, ergaben sich laufend Änderungen aufgrund der Resultate dieser Studien. Zum Beispiel zog eine Erhöhung der Betonüberdeckung eine Gewichtszunahme der vorgefertigten Bauteile nach sich. Dies beeinflusste die bereits im Projektierungsstadium oder in der Fabrikation befindlichen Transport- und Montagegeräte.

In diesem Zusammenhang war auch die vorgeschlagene Anwendung von Hochofenzement, in Abweichung der Spezifikationen, von Bedeutung. Beton aus Hochofenzement ist im Vergleich mit anderen Zementarten wesentlich widerstandsfähiger gegen Chloride. Diese Massnahme erübrigte die vorgeschriebene Verwendung von Epoxy für die Beschichtung der Bewehrung. Der Vorschlag wurde akzeptiert, und 160 000 t Hochofenzement wurden aus Holland importiert.

### Betonzuschlagstoffe

Es war bekannt, dass hochwertige Betonzuschlagstoffe in der Nähe der Baustelle nicht erhältlich sind. Nähere Ab-

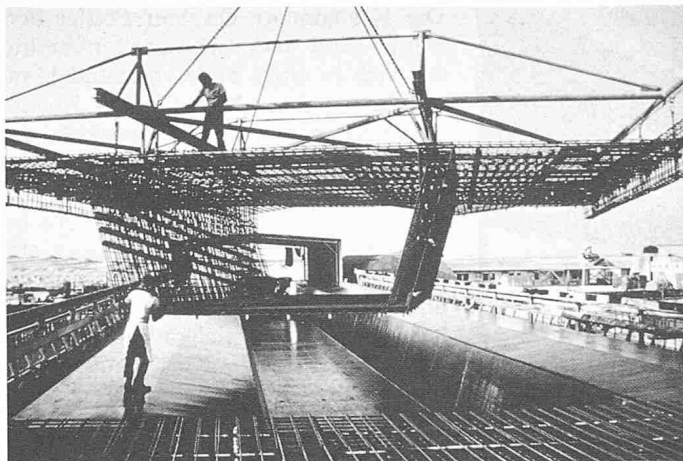


Bild 6. Vorgefertigtes Bewehrungssegment beim Einbringen in die Stahlschalung der Standard-Brückenträger



Bild 7. Versetzen eines Standard-Brückenträgers mit Spezial-Hubschiff

klärungen führten schliesslich zur Beschaffung von Zuschlagstoffen aus den Vereinigten Arabischen Emiraten. Es zeigte sich aber, dass das Raumgewicht des entsprechenden Basaltgesteins so hoch lag, dass der Beton nach der Verarbeitung um 7,5% schwerer war, als der Projektierung zugrunde gelegt wurde, und dies 9 Monate, nachdem die Detailprojektierung begonnen hatte! Dies führte natürlich wiederum zu einer Anzahl Änderungen im Entwurf und bei den Hebegeäten.

### Bewehrung

Die Bewehrung der Betonbauteile wurde von Anfang an für eine konsequente Vorfabrikation ausgelegt. Trotzdem zeigten die ersten Erfahrungen auf der Baustelle, dass die Arbeitsmethoden für eine rationelle Herstellung verbessert und als Folge davon die ganze Bewehrung vereinheitlicht und neu entworfen werden musste.

### Fabrikations- und Montagegeräte

Fabrikations-, Transport- und Montagegeräte für die Herstellung und das Versetzen der schweren Vorfabrikationselemente mussten innerhalb von 9 Monaten entworfen, hergestellt und betriebsbereit sein.

Zum Beispiel wurde beschlossen, die Hohlkastenträger der Standardbrücken als vollständige Einheit mit einem selbstangetriebenen, schwimmenden Hebeschiff zu transportieren und zu montieren. Das heisst, dass Gewichte bis zu 1350 t zu bewältigen waren.

Gleichzeitig mussten die selbsthebenden Plattformen für die Bohrmaschinen und die Lehren für das Versetzen der Pfähle entworfen werden. Längen und Gewichte der Pfähle, die aufgrund der laufenden Bodenuntersuchungen und Projektierung zu erwarten waren, beeinflussten den Entwurf dieser Plattformen in hohem Masse.

### Gerbergelenke

Um mehr Sicherheit für die Dimensionierung der Gerbergelenke zu erhalten, wurde beschlossen, einen Belastungsversuch in natürlicher Grösse durchzuführen. Gleichzeitig wurde die Gelegenheit wahrgenommen, die Herstellmethode kritisch zu studieren. Die Versuchsergebnisse bestätigten die Ergebnisse der Detailprojektierung weitgehend und führten lediglich zu kleinen Änderungen der Bewehrung.

### Pfähle

Für die Krafteinleitungen der Vorspannung in die nur 35 cm starken Wandungen der Rohrpfähle wurden an einem Pfahlabschnitt Versuche in natürlicher Grösse durchgeführt.

Für die Injektion des Hohlraums zwischen der Pfahlwandung und dem Bohrloch mit den Durchmesser 3,50 m respektive 3,90 m sowie für die Zusammensetzung des Mörtels mussten ebenfalls Versuche unternommen werden.

### Kontinuitätsplatte

Die Zuverlässigkeit der Kontinuitätsplatte aus Ort beton, mit der sechs Spannweiten des Gerberträgers kontinuierlich gemacht werden, musste durch eine international anerkannte Versuchsanstalt nachgewiesen werden.

### Bauausführung

Für die Vorfabrikation der Brückenelemente stand ein Areal von 300×800 m zur Verfügung, welches bei der kleinen Zwischeninsel Umm Nasan im Meer aufgeschüttet wurde.

Die Hohlkastenträger der Standardbrücken wurden feldweise als vollständige Einheiten von 34 m beziehungs-

weise 66 m Länge in Stahlschalungen gefertigt. Die Endblöcke mit der hochbeanspruchten Auflagerkonstruktion für die Krag- und Einhängerträger und den Ankerplatten für die Spannkabel wurden getrennt vor-vorfabriert und beidseitig in die Schalung versetzt.

Die Bewehrung wurde zusammenschweisst und als vorgefertigte Segmente in die Aussenschalung eingebracht (Bild 6). Anschliessend zog eine Seilwinde die zusammenklappbare Innenschalung in die Aussenschalung ein.

Insgesamt sind 30 000 BBRV und 5000 BBR CONA-Kabel eingebaut; die letzteren wurden mit einer 500-t-Pressen vorgespannt.

Aus Gründen des Korrosionsschutzes wurden die Ankernischen für einen besseren Verbund sandgestrahlt und bewehrt sowie die Ankerköpfe mit Epoxy beschichtet.

Pro Tag wurde je ein Fundationspfahl und ein Standardbrückenträger vorfabriert und vorgespannt. Der Transport der bis 1350 t schweren Hohlkastenträger auf dem Werkareal erfolgte mit einem Portalkran.

Ein spezielles Hubschiff mit einer Kapazität von 1400 t transportierte und versetzte die Hohlkastenträger der Standardbrücken auf die zylindrischen Pfähle (Bild 7).

Die bis zu 6 m langen Rohrschüsse für die Pfähle wurden stehend betoniert und im Bereich des Portalkrans auf die jeweils erforderliche Länge mit BBR CONA-Kabeln zusammengespannt. Insgesamt waren dafür 7500 Kabel notwendig.

Die Pfähle sind bis 40 m lang bei einem Gewicht von maximal 350 t. Ein Ponton transportierte die Pfähle vom Vorfabrikationsareal zur Brückenstelle.

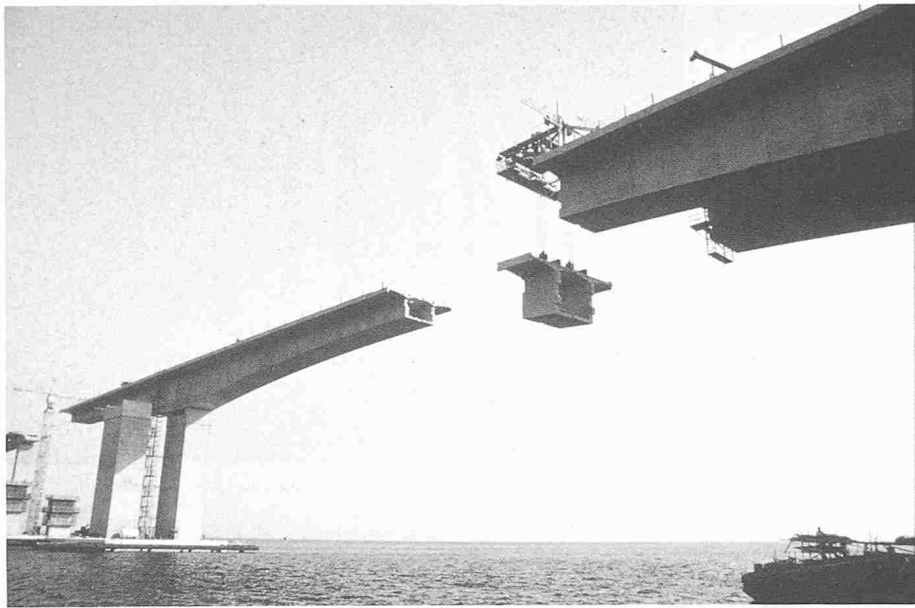


Bild 8. Versetzen eines Hohlkastenelementes der Freivorbaubrücke

Mit zwei grossen schwimmenden Plattformen, die mit je zwei Bohrmaschinen bestückt sind, wurden Löcher mit einem Durchmesser von 3,90 m in den Meeresgrund gebohrt, in welche die Pfähle versetzt wurden. Der Hohlraum rund um den Pfahl wurde über ein System von einbetonierten Injektionsrohren mit Mörtel verfüllt.

Zur Verstärkung des Rohrpfahls wurde jeweils der unterste Rohrschuss sowie derjenige auf der Höhe der Wasserlinie voll mit Beton ausgefüllt. Die Spritzwasserzone wurde aussen mit Epoxy beschichtet.

Die Brücke für die Hauptnavigationsöffnung wurde unter Verwendung vorfabrizierter Hohlkastenelemente erstellt, die im freien Vorbau mit Kunststoff verklebt und zusammengespannt wurden.

Die 12 m langen Grundelemente wurden ebenfalls vorgefertigt und auf die 10 m breiten Pfeiler auf zwei Reihen von Gummilagern versetzt.

Die anschliessenden 4 m langen Segmente wurden auf einem speziellen Fundamentbett, das der Untersicht der Brücke entspricht, im Werk vorgefertigt und mit BBRV-Kabeln (19 Drähte  $\varnothing 7$  mm) quer vorgespannt. Die Fugen der genau aufeinander passenden Kontaktflächen mit Schubnocken wurden mit Epoxyharz verklebt. Anschliessend erfolgte die Längsvorspannung mit total 400 BBR CONA-Kabeln, die in vorverlegte Rohre eingezogen wurden (Bild 8).

Im Gegensatz zu den Pfeilern der Standardbrücken wurden die Pfeiler der Hauptnavigationsöffnung mit Gleitschalungen an Ort betoniert.

Die Fundamente der vier Pfeiler der Haupt- und Seitenspanweiten befinden sich in einer Tiefe von rund 12 m und bestehen aus Massbeton. Massive Fundamente wurden gewählt, da Kräfte beim Anprall von Schiffen von 56 000 und 28 000 kN auf die Hauptbeziehungswise Nebenpfeiler zu berücksichtigen waren. Als Fundationstiefe wurde eine genügend tragfähige Schicht gewählt. Eine 3 m starke Schicht aus natürlichen Steinen auf einem Filtertuch dient als Schutz gegen Unterspülung. Im Gegensatz zu allen anderen Brückenpfeilern befindet sich die Oberkante der Pfeilerfundamente 2 m über dem Wasserspiegel.

## Zusammenfassung

Der Auftrag für den sogenannten «Saudi Arabia-Bahrein Causeway» wurde der holländischen Ballast-Nedam-Gruppe aufgrund eines Alternativprojektes gegen scharfe internationale Konkurrenz erteilt. Detailprojektierung und Ausführung des gigantischen Projektes standen von Anfang an unter einem enormen Zeitdruck. Durch äusserst sorgfältige Planung und Konzentration aller verfügbaren Kräfte ist es gelungen, das Bauprogramm von nur etwas über 4 Jahren einzuhalten, so dass die Autobahn bereits am 16. Dezember 1985, einem nationalen Feiertag in Bahrein, dem Bauherrn übergeben werden kann.

Schweizerische Vorspanntechnik in Form von rund 10 000 t BBRV- und BBR CONA-Spanngliedern hatte an diesem Projekt einen massgebenden Anteil; die Zuverlässigkeit dieser Verfahren leistete einen wichtigen Beitrag zum reibungslosen Bau von durchschnittlich 500 m Brücke pro Vertragsmonat.

**Bauherr:**  
Ministry of Finance and National Economy of Saudi-Arabia

**Ingenieurberatung und Bauleitung:**  
Saudi Danish Consultants

**Projektverfasser und Generalunternehmer:**  
Ballast-Nedam Groep N.V. Holland

**Vorspannung:**  
Spanstaal B.V. Holland

**Termine:**  
Offertabgabe: Juni 1980  
Auftragserteilung: Juli 1981  
Beginn der Bauarbeiten: November 1982  
Fertigstellung: Ende 1985

### Kennzahlen

**Massenauszug**

Beton	350 000 t
Hochofenzement	160 000 t
Bewehrungsstahl	47 000 t
Vorspannstahl	10 000 t

### Arbeitskräfte

Europäer	200
Asiaten	1200
Total	etwa 1400

**Gesamtkosten**  
etwa 1,5 Mia. SFr.

Adresse des Verfassers: H. Van Tongeren, dipl. Ing., Direktor Engineering, Ballast-Nedam Groep N.V., P.O. Box 500, NL-1180 BE Amstelveen.

Nach einem Vortrag vom 9. Mai 1985 an der ETH, veranstaltet von den Zürcher Sektionen des SIA und des STV.