Great Belt, Dänemark, 1997/1998

Autor(en): **[s.n.]**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Werk, Bauen + Wohnen**

Band (Jahr): **84 (1997)**

Heft 9: **Ingenieur formt mit = L'ingénieur participe à la mise en forme = The engineer as co-designer**

PDF erstellt am: **19.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-63619

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.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Great Belt, Dänemark,
1997/1998

Die Bahn- und Autobrücke über den grossen Belt in Dänemark kostete rund 12 Milliarden Franken; sie besteht aus niedrigen Brückenteilen, Tunnels und Hängebrücken und verbindet die dänische Insel Seeland mit dem europäischen Festland und Schweden. Zwischen Kopenhagen und Aarhus fährt man heute über vier Stunden Zug, nachher werden die mit 180 Stundenkilometern rasenden IC-Züge noch zweieinhalb benötigen.

Wassereinbrüche und Brände verzögerten den Bau um zwei Jahre und verteuerten ihn um 500 Millionen Schweizer Franken. Die Mehrkosten sollen – eine Entscheidung des dänischen Parlamentes – durch die Verteuerung des Fliegens beziehungsweise die Verbilligung des Zugfahrens um je 10 Prozent ausgeglichen werden.

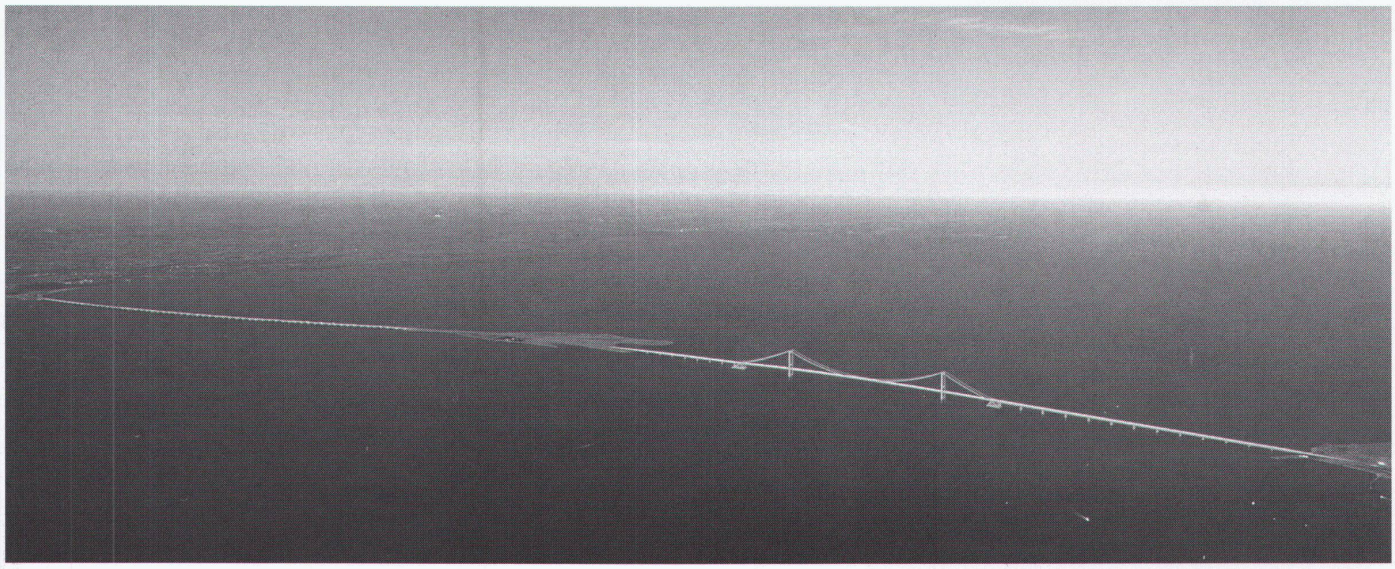
18 Kilometer lang ist die Brücke und hat etwa in der Mitte – als extremste bau- und ingenieurtechnische Leistung – eine Hängekonstruktion, die zwischen zwei 250 Meter hohen Pylonen über 1600 Meter überspannt. Die Hauptkabel sind 10 000 Tonnen schwer und aus 150 Kilometern Stahldraht zusammengesetzt.

Die Pylone

Die Senkkasten für die Pylonfundamente wurden gegossen und ungefähr 70 Kilometer zur Brückenbaustelle geflösst. Ein 19 Meter hoher, 35 Meter breiter und 78 Meter langer Senkkasten wiegt 32 000 Tonnen.

An ihrem Bestimmungsort wurden die Senkkasten dann durch grosse Seilwinden in Position manövriert und, nachdem lose Erdschichten entfernt und durch ein verdichtetes Schotterbett ersetzt worden waren, auf den Meeresgrund abgesenkt. Da das obere Ende des Senkkastens jeweils 6 Meter unter der Meeresoberfläche lag, wurde jeder Senkkasten mit einem stählernen Kofferdamm (wasserdichte, nach oben offene Umschliessung) versehen. So erhielt man eine trockene Baugrube für den Guss des 21 Meter über die Meeresoberfläche reichenden Pylonfundaments.

Die zwei Standbeine des Pylons wurden bis zum Pylonkopf auf 254,1 Meter über Meereshöhe als Kletterschalung gegossen. 12 Meter hohe Querträger verbinden die Pylonbeine jeweils auf 125 und auf 240 Meter Höhe.



Aufgrund der grossen Spannweite und der Wirtschaftlichkeit eines relativ grossen Kabeldurchhangs sind die Pylone sehr hoch (26 Meter höher als bei der Golden Gate Bridge).

Verankerungen

Die Senkkasten für die Verankerung wurden gegossen und zur Brückenbaustelle geflösst. Jeder der 16 Meter hohen, 55 Meter breiten und 122 Meter langen Senkkasten wiegt 55000 Tonnen.

Einmal in Position, wurde jeder Senkkasten auf zwei keilförmige Steinschüttungen abgelassen, die eine einwandfreie Krafteinleitung in den gewachsenen Baugrund sicherstellen.

Nach der Installation ragten die Senkkasten vier Meter über Meer. Der Rest der zwei Verankerungen, inklusive der speziellen Gewölbekammern, in welchen die Hauptseile verankert sind, wurden vor Ort bis auf eine maximale Höhe von 63,4 Meter über Meer gegossen.

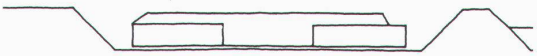
Das klassische Hängebrückendesign erfordert, dass die Hauptseile an grossen Verankerungsblöcken am Ende der Seitenöffnung verankert werden. Solche Blöcke sind oft sehr massive und dominierende Elemente, die einen unglücklichen Kontrast zu den sonst eher schmalen Elementen der Hängebrücke selbst bilden.

Aufgrund einer Analyse von Alternativen wurden die Verankerungsblöcke in separate Elemente aufgebrochen – in dreieckige Seilverankerungsgerüste und einen vertikalen Pfeilerschaft, der die Auffahrtsfelder trägt.

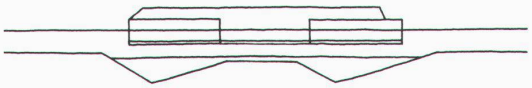
Brückenpfeiler und Widerlager

Die Widerlager der East Bridge in Halsskov und auf Sprogø sowie der erste Brückenpfeiler des Widerlagers von Halsskov wurden vor Ort gegossen.

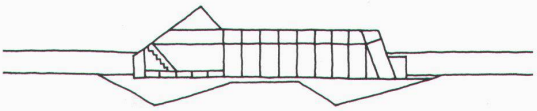
18 vorgefertigte Brückenpfeiler wurden in Kalundborg gegossen und dann per Schiff zur Montage bis an die Brückenbaustelle transportiert. Jeder Brückenpfeiler besteht aus den folgenden Elementen: unten ein Senkkasten, der den unteren Pfeilerschaft aufnimmt und wie ein Pyramidenstumpf ausgebildet ist, und oben ein Pfeilerschaft mit leicht abgeschrägten Seiten. Die Brückenpfeiler wiegen durchschnittlich 6000 Tonnen.



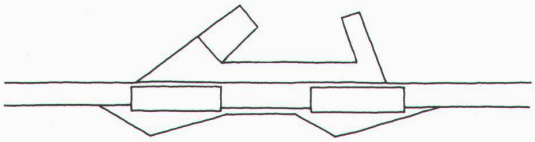
Bau einer Verankerung: der Senkkasten wird in einem Trockendock gegossen.
■ Construction d'un ancrage: le caisson est bétonné dans un bassin de radoub.
■ Construction of anchor block: the caisson is cast in a dry dock.



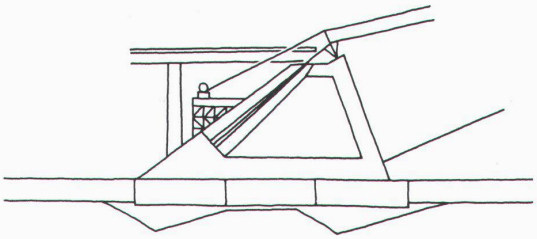
Das Trockendock wird geflutet und der Senkkasten bis zur Brückenbaustelle geflösst, wo bereits eine Lage Schotter aufgebracht wurde.
■ Le bassin de radoub est coulé et le caisson remorqué jusqu'au chantier du pont où un lit de ballast est déjà mis en place.
■ The dry dock is flooded and the caisson floated to the bridge site where a layer of gravel has already been deposited.



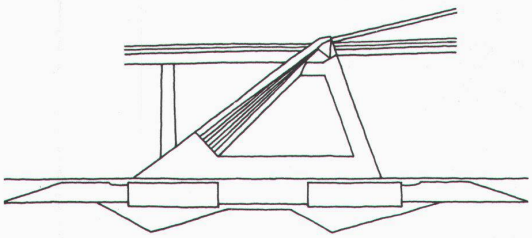
Nun wird Mörtel zwischen die Schotterschicht und das untere Senkkasten-Ende gespritzt. Verankerungskammern für die Seile usw. werden gegossen und der Ballast angebracht.
■ Du mortier est ensuite injecté entre le ballast et la face inférieure du caisson. Des chambres d'ancrage pour les cables, etc., sont coulées et placées dans le ballast.
■ Mortar is injected between the layer of gravel and the bottom of the caisson. Anchor chambers for cables, etc. are cast. Ballast is positioned.



Die Beine der Verankerungen werden gegossen.
■ Les jambes de force des ancrages sont coulées.
■ The legs of the anchor blocks are cast.



Die Seile werden montiert.
■ Les cables sont mis en place.
■ Cables are mounted.



Die Verankerung ist fertig. Um die Verankerung wird ein Ausschlämmschutz angebracht.
■ L'ancrage est achevé. Une protection de débourbage est placée autour de l'ancrage.
■ The anchor block is completed. Scour protection is placed around the anchor block.

Oberbau

Die Vorfertigung der Brückenträger begann in Livorno, Italien, wo die ausgesteiften Platten geschweisst wurden. Alle Platten wurden daraufhin nach Sines, Portugal, verschifft und dort zu ungefähr 40 Meter langen Brückenteilen zusammengefügt. Dann wurden sie 2500 Kilometer weit in eine Montagewerft in Aalborg, Dänemark, transportiert, wo jeweils vier oder fünf Teile zu einem ganzen Brückenfeld für die Auffahrtsfelder zusammengeschweisst wurden. Die Teile für das Hauptfeld wurden in Sines und im süditalienischen Taranto zusammengefügt. Alle Teile für das Hauptfeld wurden bis zu ihrem Transport zur Brückenbaustelle und ihrer Montage in Aalborg zwischengelagert.

Beim Seilsystem handelt es sich um das konventionelle Hängebrückensystem mit parabolischen Hauptseilen und vertikalen Hängern.

Im Verlauf der Optimierung des Brückenentwurfs stellte sich heraus, dass das Pfeilverhältnis von 9:1 (Spannweite zu Seildurchhang) vorteilhafter war als das konventionelle von 10:1 oder 12:1 wie bei anderen neuen Hängebrücken. Dies führte zu Pylonen, die 20 Meter höher als üblich sind – nämlich insgesamt 258 Meter, inklusive Seilsattel und Seil.

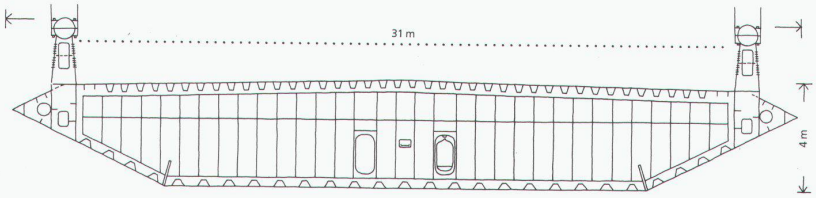
Die Hängebrücke

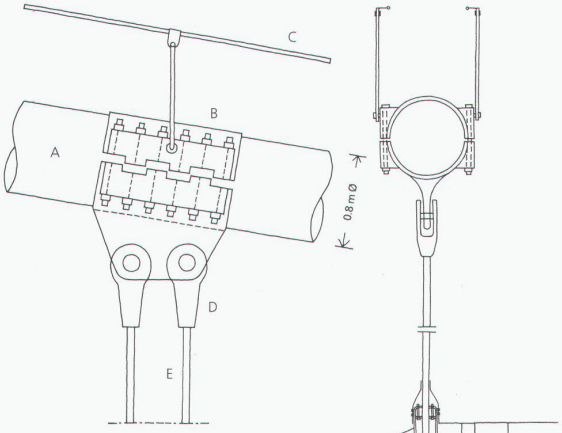
Beim Stahlbrückenträger – der bei Hängebrücken Versteifungsträger genannt wird – wurde beschlossen, die Dilatationsfugen (die die Bewegungen der Brücke bei Temperaturschwankungen absorbieren) nicht, wie dies bei den meisten grossen Hängebrücken geschieht, an den Pylonen anzubringen. Statt dessen wurden die Versteifungsträger zu einem einzigen 2,7 Kilometer langen Teil zusammengeschweisst und Dilatationsfugen nur bei den Verankerungsstellen, beim Übergang zu den Auffahrtsfeldern, plaziert, wo sie beträchtliche Bewegungen auffangen müssen (+/– 1m).

Wie bei vielen anderen modernen Hängebrücken wurde der Trägerteil stromlinienförmig gestaltet, damit er grossen Windstärken widerstehen kann.

Analysen der Verformungscharakteristika der Hängebrücke mit Verkehr zeigten, dass eine längs unverschiebliche Verankerung des Hauptseils in

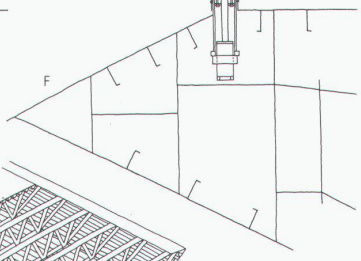




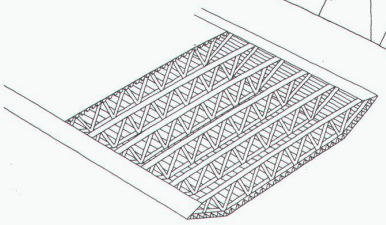


Querschnitt des Brückenträgers im Hauptfeld
■ Coupe transversale sur un longeron dans la travée centrale
■ Cross-section of the bridge girder at the main span centre

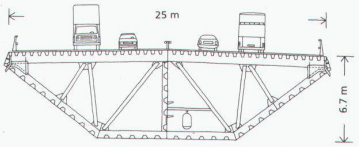
Typische Seilklemmen:
A: Hauptseil
B: Klemme
C: Geländer
D: Hängerverankerung
E: Hänger
■ Serrage de cable typique:
A: cable principal
B: collier
C: garde-corps
D: ancrage de suspente
E: suspente
■ Typical cable clamp:
A: main cable
B: clamp
C: railing
D: hanger socket
E: hanger



Typische Verankerung des Hängers am Hauptfeld und Verbindung zum Hauptfeld
F: Verkleidungen
Beachten Sie die schmale Vorkragung.
■ Ancrage de suspente typique dans la travée centrale et assemblage au tablier
F: revêtements
On remarque le léger porte-à-faux.
■ Typical anchoring of hanger to main span and connection to main span
F: fairings
Notice the small overhang.



Anordnung der Verstrebungen des Hauptfeldträgers
■ Disposition des entretoises du longeron principal
■ Arrangement of the bracing of the main span girder



Querschnitt des Auffahrtfeldes
■ Coupe transversale sur la rampe d'accès
■ Cross-section of approach span

Feldmitte die Durchbiegung unter asymmetrischen Verkehrslasten positiv beeinflussen würde.

Die Hauptseile sind deshalb in Feldmitte mit extrastarken Seilklemmen am Versteifungsträger befestigt, der sich seinerseits mit grossen hydraulischen Stossdämpfern auf die Ankerblöcke abstützt. Diese Stossdämpfer lassen langsam erfolgende, durch Temperaturschwankungen verursachte Bewegungen zu, schliessen jedoch schnelle, durch den fahrenden Verkehr verursachte aus.

Die hydraulischen Stossdämpfer an den Verankerungen verringern auch die Bewegungen an den Dilatationsfugen und begrenzen so die Abnutzung dieser Bauteile. Zudem unterdrücken die Stossdämpfer, zusammen mit den Seilklemmen in der Mitte des Felds, einen Teil der vom Wind verursachten Schwingungen.

Schliesslich wurde der Schnittpunkt zwischen dem Versteifungsträger und dem Pylon so gestaltet, dass nur seitlich einwirkende Kräfte übertragen werden können, während sich der Träger vertikal und in Längsrichtung der Brücke frei bewegen kann.

Hauptseile

Die Hauptseile wurden nach dem Kabelspinnverfahren hergestellt, wobei jeweils vier Drähte von 5 Millimeter Durchmesser in einem Arbeitsgang verlegt wurden. Die weitgehend gleiche Methode wurde bereits vor mehr als hundert Jahren für Hängebrücken verwendet, unter ihnen die 1883 entstandene Brooklyn Bridge in New York. Jedes der zwei Hauptseile ist 3 Kilometer lang und weist einen Durchmesser von etwa 85 Zentimetern auf. Jedes Seil umfasst überdies insgesamt 18648 Stränge. Bevor das Seilspinnen begann, wurden temporäre Laufstege, sogenannte «catwalks», montiert. Das Seilspinnen erfolgte während 24 Stunden pro Tag, und die beleuchteten Catwalks waren von weit her zu sehen.

Seitenfelder

Der Stahloberbau der Seitenfelder umfasst einen durchgehend geschweissten Kastenträger mit einer konstanten Trägertiefe von 6,7 Metern, einer Breite von 25 Metern und einer normalen Spannweite von 193 Metern. Der Querschnitt zeigt die gleiche Flügelform wie der Hauptfeldträger, allerdings in einer etwas «klobigeren» Ausbildung.

Aufgrund der grossen Spannweite und Fahrbahnbreite wurde der Hohlkastenquerschnitt mit einem mittleren Längsträger versehen.

Die Stahlträger, die alle ungefähr 2300 Tonnen wiegen, wurden in ihrer gesamten Länge in Aalborg aus jeweils vier oder fünf der in Portugal hergestellten Teile zusammengefügt. *Red.*