Paralleldrahtkabel für die Brücke Farø-Falster, Dänemark

Autor(en): **Müller, Hans Rudolf**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **103 (1985)**

Heft 43

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75911

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

Paralleldrahtkabel für die Brücke Farø-Falster, Dänemark

Von Hans Rudolf Müller, Zürich

Am 4. Juni 1985 wurden die Farø-Brücken und die Umfahrung Vordingborg - Teil «Vogelfluglinie» - dem Verkehr übergeben. Von internationaler Bedeutung ist das Kernstück der über 3 km langen Brücken über den Storstrømmen, die Schrägkabelbrücke Farø-Falster. Sie hat eine Mittelspannweite von 290 m. 36 Paralleldrahtkabel tragen das imposante Bauwerk. Die Herstellung der Kabel erfolgte in der Schweiz. Erstmals konnte die statische Bruchprüfung eines Tragkabels mit 277 Drähten ∅ 7 mm an der EMPA durchgeführt werden. Besonderes Gewicht wurde auf die Qualitätsprüfung während der Kabelherstellung gelegt.

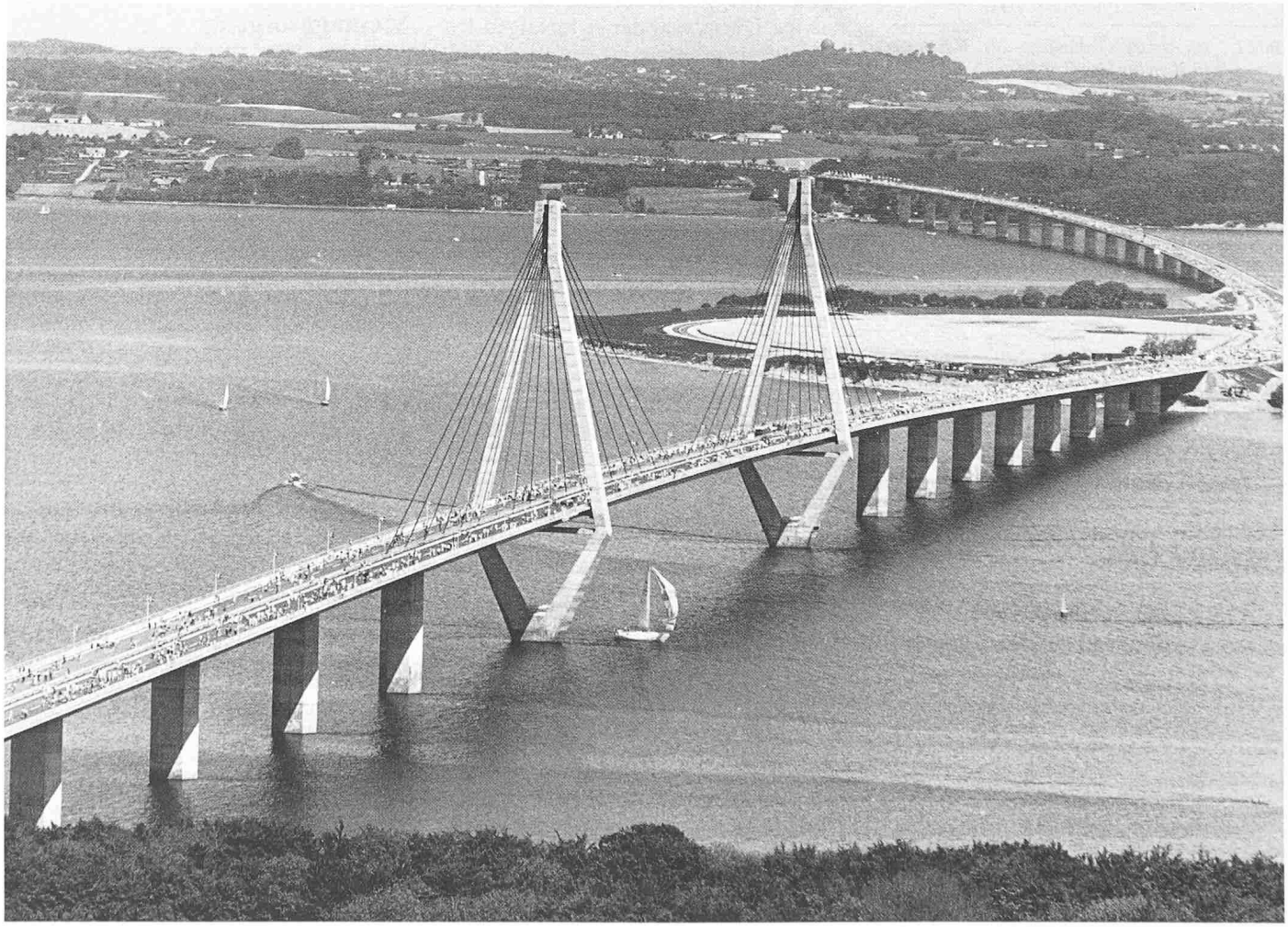
Verkehrstechnische Bedeutung der Farø-Brücken

Die kürzeste Verbindung zwischen der Bundesrepublik Deutschland und Südschweden, die sog. «Vogelfluglinie», führt von Puttgarden mit einer Fährenverbindung von 17 km Länge zu den dänischen Inseln und verlässt diese in Helsingør mit einer weiteren Fähre von 5 km Betriebslänge und erreicht Schweden bei Hälsingborg (Bild 1). Das dänische Parlament beschloss 1976, bis zum Jahre 1990 die bestehenden Engpässe auf dieser Hauptverkehrsader auszumerzen. Der Brückenzug über den Storstrømmen bei Vordingborg mit einer Fahrbahnbreite von nur 5,6 m und einer einspurigen Eisenbahntrasse bildet beim heutigen Verkehrsvolumen von bis zu 18 000 Fahrzeugen pro Stunde das eigentliche Nadelöhr dieser Linie (Bild 2). Am 4. Juni 1985 konnte, nach fünfjähriger Bauzeit für die Brükken, die neue grosszügige Umfahrung von Vordingborg mit einer vierspurigen Autobahn eröffnet werden. Kernstück des neuen, 3 km langen Brückenzuges über den Storstrømmen bildet die Schrägkabelbrücke Farø-Falster mit einer Mittelspannweite von 290 m und einer Schiffahrtsöffnung von 260 m Breite und 26 m lichter Höhe (Bild 3).

Beschreibung der Brückenkonstruktion

Die Verbindung der beiden Hauptinseln Falster und Seeland über den Meeresarm «Storstrømmen» erfolgt mit einer Brückenkonstruktion aus Stahl über die kleine Zwischeninsel Farø. Der nördliche Brückenteil weist 20 Öff-

Bild 3. Die Schrägkabelbrücke Farø-Falster



Kabel No.	Länge m	n ø 7	d_a mm	S_{max} kN	P_u kN
0	56,7	145	160	4018	8928
4	97,1	175	160	4850	10776
8	156,0	277	200	7680	17056

Tabelle 1. Abmessungen der Paralleldrahtkabel

Anker No.	Aussen ø	Länge		Mutter ø
		Festanker	bew.Anker	
	mm	mm	mm	mm
0	275	450	530	350
4	300	485	590	380
8	380	605	730	475

Tabelle 2. Abmessungen der Verankerungen

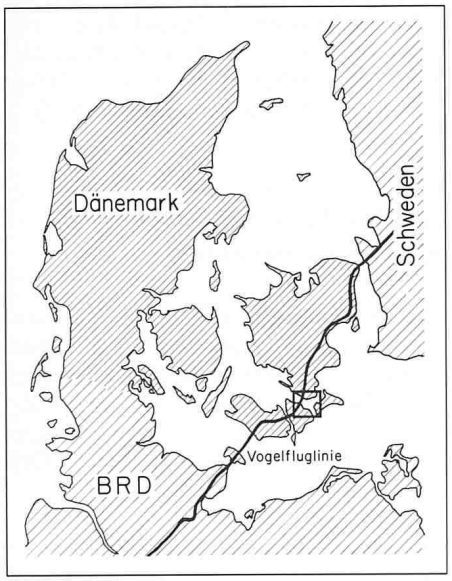
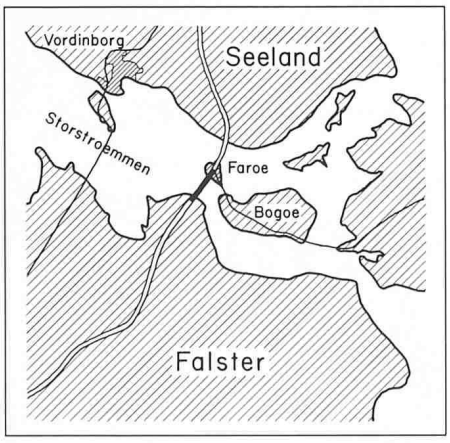


Bild 1. Die Strassenverbindung zwischen Mitteleuropa und Skandinavien führt über die «Vogelfluglinie» in Dänemark. Die Farø-Brücken liegen innerhalb des markierten Quadrates

Bild 2. Kernstück der Umfahrung Vordingborg ist die Verbindung Farø-Falster



nungen von je 80 m Spannweite auf, der südliche Teil besteht im Zentrum aus der Schrägkabelbrücke Farø–Falster mit den Spannweiten 120 m–290 m – 120 m und links und rechts anschliessenden 7 bzw. 8 Öffnungen von wiederum je 80 m Spannweite (Bild 4). Die Trägerhöhe beträgt durchgehend 3,5 m. Der als Hohlkasten mit trapezförmigem Querschnitt ausgebildete Brückenträger ist in der Regel 21,4 m breit, im Bereich der Schrägkabelbrücke zur Aufnahme der Tragkabelbefestigung in Brückenmitte um 1 m erweitert. Damit wird eine konstante Nutzbreite von 18,6 m erreicht.

Die Fahrbahn ruht auf einer orthotropen Stahlplatte. Seitenwände und untere Platte des Kastenträgers sind ebenfalls mit Längs- und Querstreifen versehen. Der Abstand der vollwandigen Querträger beträgt einheitlich 4 m auf der ganzen, über 3 km langen Brückenkonstruktion. Auf die industrielle Fertigung der Stahlkonstruktion wurde besonderer Wert gelegt (Bild 5).

Insgesamt sind 36 Tragkabel (je 18 pro Pylon) vom Typ BBR-Hi-Am eingebaut. Zur Aufnahme der negativen Auflagerkräfte an den Pfeilern der Seitenöffnungen wurden je 4 Niederhaltekabel von derselben Bauart angeordnet.

Die Brückenpfeiler und die Pylonen bestehen aus schlaff armiertem Beton, nur die Querriegel der A-förmigen Pylonen sind vorgespannt. Sowohl die beiden Pylone als auch die Pfeiler der Hauptbrücke sind auf Pfählen gegründet. Die einzelnen Pfahlschäfte bestehen aus einem gerammten Stahlrohr von 70 cm Durchmesser, welches nach dem Abteufen mit Armierung und Beton verfüllt wurde. Die Pfahllänge variiert zwischen 21 m und 33 m. Die Stahlbetonarbeiten sind in [1] beschrieben (Bild 6).

Wahl der Schrägkabel

Der Ausschreibungsentwurf hatte ursprünglich die gesamte Konstruktion der über 3 km langen Brücken in vorgespanntem Beton vorgesehen, auch die Schrägkabelbrücke, deren Spannweiten mit 120 m – 290 m – 120 m vorgegeben waren. Im Zusammenhang mit den Voruntersuchungen für den Bau der Brücken über den grossen Belt wurden im Auftrag der Strassenverwaltung verschiedene Ausführungen von Schrägkabeln an der Technischen Universität Kopenhagen [2] untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass Paralleldrahtkabel mit BBR-Hi-Am-Verankerung, wie sie in [3, 4] beschrieben sind, sich besonders durch hohe Ermüdungsfestigkeit auszeichnen. An einer Serie von 10 Modellkabeln mit 19 ∅ 7 mm parallelen Drähten wurden bei $2 \cdot 10^6$ Lastwechseln Schwingweiten von 265 bis 320 N/mm² festgestellt. Ausgehend von diesen Resultaten wurden der Ausschreibung solche Kabel zu Grunde gelegt (Bild 7).

Das ausführende Konsortium hatte als Variante den Überbau in Stahl offeriert und dadurch den Zuschlag erhalten. Auch dieser Wahlvorschlag sah Paralleldrahtkabel vor. Mit der Herstellung, Lieferung und Montageüberwachung wurde die Stahlton AG, Zürich, betraut.

Entsprechend den erforderlichen Kräften können Paralleldrahtkabel sehr fein abgestuft werden. Die Tabellen 1 und 2 vermitteln die technischen Daten typischer Kabel und Verankerungen.

Montagevorgang

Die Tragkabel sind in der Mittelebene der Brücke angeordnet. Ihr Abstand im Brückendeck beträgt einheitlich 16 m, im Pylonbereich 20 m. Damit konnte nach Montage des Mittelstücks bei den Pylonen und dessen Stabilisierung mit jeweils 2 Kabeln links und rechts des Pylons mit dem Freivorbau in Abschnitten von jeweils 16 m Richtung Brückenmitte fortgeschritten werden (Bild 8). Die im Werk hergestellten Kabel wurden auf grossen Transporttrommeln mit dem maximalen Aussendurchmesser von 4,15 m auf dem Land- und Seeweg zur Baustelle transportiert. Dabei waren Stückgewichte bis zu 17 t zu bewältigen. Vor dem Hochziehen des Kabelendes wurden die Kabel auf dem Brückendeck abgerollt und für die Montage vorbereitet. Dazu gehört die

Bild 4. Längsschnitt mit den Hauptspannweiten 120 m – 290 m – 120 m und den anschliessenden Feldern. Gesamtlänge des Brückenzuges Farø-Falster 1726 m

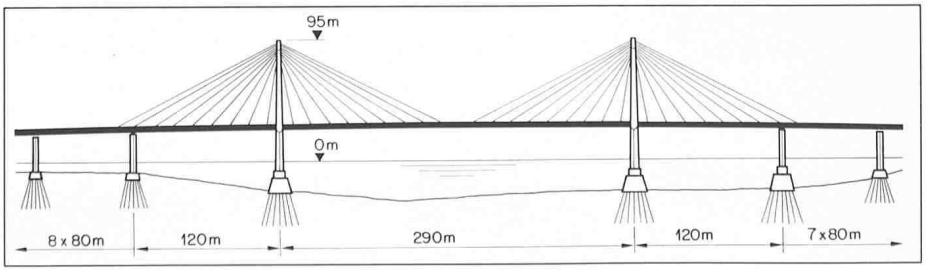
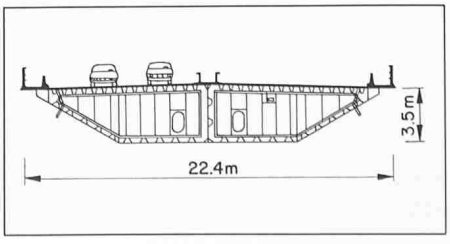


Bild 5. Querschnitt Hauptbrücke. Stählerner Hohlkastenträger mit orthotropen Platten. Der Abstand der vollwandigen Querträger beträgt 4 m



Schweissung der PE-Rohrverbindungen und die Befestigung der Hilfseinrichtungen (Einlaufsättel, Seilzüge, Vorspanneinrichtungen). Vorerst wird das Kabel im Pylonkopf befestigt und einseitig verankert. Anschliessend wird das bewegliche Kabelende über einen Sattel auf das Brückendeck gezogen. Nach Erreichen des erforderlichen Einlaufwinkels erfolgt die Ankoppelung der Spannvorrichtung an den beweglichen Ankerkopf (Bild 9). Die Ziehwege betrugen bei den längsten Kabeln etwa 5 m. Die Blockierung der Kabelanker erfolgt mit Muttern. Es ist jederzeit möglich, die Kabelkräfte dem Baufortschritt anzupassen und zu regulieren. Die vorausberechneten Kräfte und deren Einstellung beim ersten Spannvorgang waren im Falle der Farø-Brücken so genau, dass die Nachregulierung der Kabel nurmehr eine Kontrolle des erwarteten Zustandes bedeutete. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Deformationen der Paralleldrahtkabel mit dem Verformungsmodul des Stahldrahtmaterials identisch sind und keine Unsicherheiten bezüglich Verdrillung und Seilreck bestehen.

Nach Montage sämtlicher Kabel und Brückenteile erfolgte das Auspressen der Kabel mit einem Spezialmörtel (kunststoffvergüteter Portlandzement). Alle Spezialarbeiten wurden von der Lieferfirma der Kabel begleitet.

Statische Bruchversuche

Über das Verhalten der Hi-Am-Paralleldrahtkabel liegen eine Reihe von Ermüdungsversuchen und statischen Bruchversuchen vor [5]. Auf Grund der Versuche mit Modellkabeln in Dänemark [2] verzichtete der Bauherr auf weitere, kostspielige dynamische Versuche, verlangte aber den Nachweis der statischen Bruchfestigkeit des grössten bei Farø zur Anwendung kommenden Kabels. Die Anzahl der Drähte betrug 277 ∅ 7 mm. Die Gesamtbruchlast dieser Kabel sollte 17 056 kN erreichen. Vorgängig der Herstellung der Brükkenkabel wurden zwei Prüfkabel mit einer Gesamtlänge von 5 m und den zugehörigen festen und beweglichen Ankerköpfen hergestellt und in der Seilprüfstelle Bochum untersucht. Zu jenem Zeitpunkt (1983) standen weder in Dänemark noch an der EMPA Dübendorf entsprechende Prüfanlagen zur Verfügung.

Neben der Feststellung der Gesamtdehnung des Systems und der aufnehmbaren Höchstlast galt das Interesse des Auftraggebers den Deformationen der Ankerhülsen und Stützmuttern während und nach der Lastaufgabe. Zusätz-

Literatur

[1] Bau der Farø-Falster-Brücke in Dänemark. Schweizer Baublatt Nr. 91, 1983, S. 38–42

[2] Storebæltgruppen (Cowiconsult, B. Højlund Rasmussen, Rambøl & Hannemann). Fatigue tests with Cable models 1st series of tests, 1979. Techn. Universität Kopenhagen

[3] *F. Leonhardt, W. Zellner, R. Saul:* Zwei Schrägkabelbrücken für Eisenbahn- und Strassenverkehr über den Rio Paraná (Argentinien). Der Stahlbau 8 (1979), S. 225–236

[4] *H.R. Müller:* Schrägkabelbrücken in Jugoslawien und Argentinien. Schweizer planen und bauen im Ausland. SIA-Dokumentation 30, 1978, S. 17–26

[5] *M. Birkenmaier, R. Narayanan:* Ermüdungsversuche von Paralleldrahtkabeln grosser Tragfähigkeit (in englischer Sprache). IABSE Kolloquium Lausanne 1982, S. 663–672

[6] *T.H. Erismann:* ELS – eine revolutionäre Prüfmaschine der EMPA. Schweizer Ingenieur und Architekt 40/84, S. 757–760

[7] «Recommendations for acceptance and application of post-tensioning systems». FIP/5/9, 15.724, 1981

[8] *W. Andrä, R. Saul:* Die Festigkeit, insbesondere Dauerfestigkeit langer Paralleldrahtbündel. Die Bautechnik 56 (1979), S. 128–130

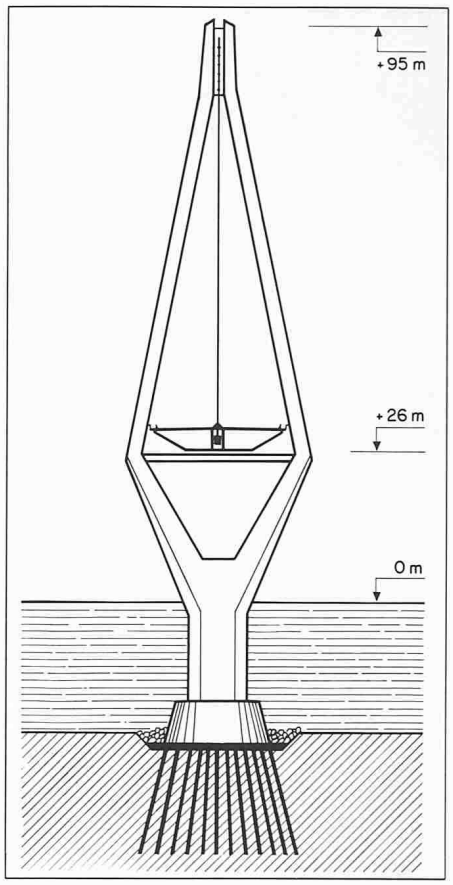


Bild 6. Pylon aus Stahlbeton. Die Tragkabel befinden sich in der Mittelebene

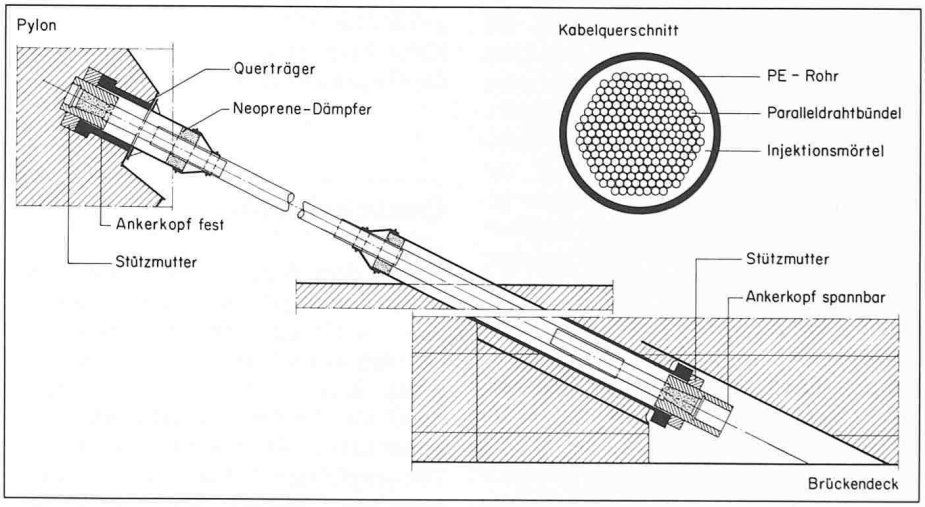
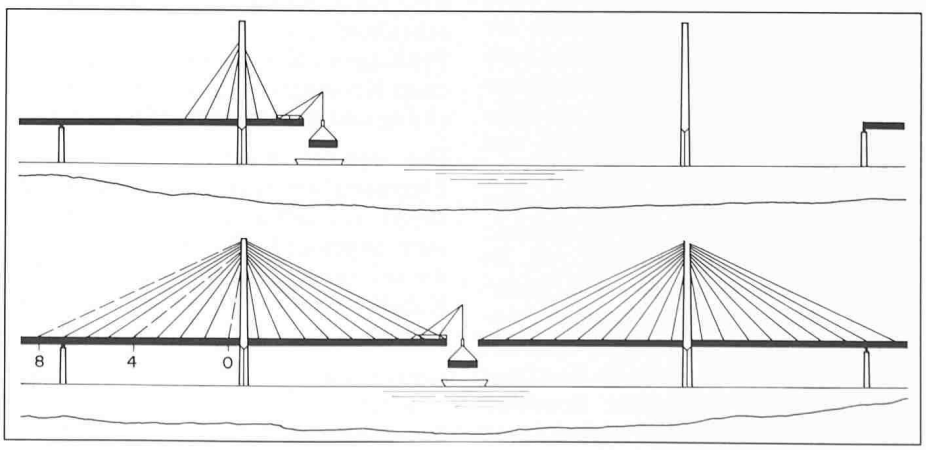
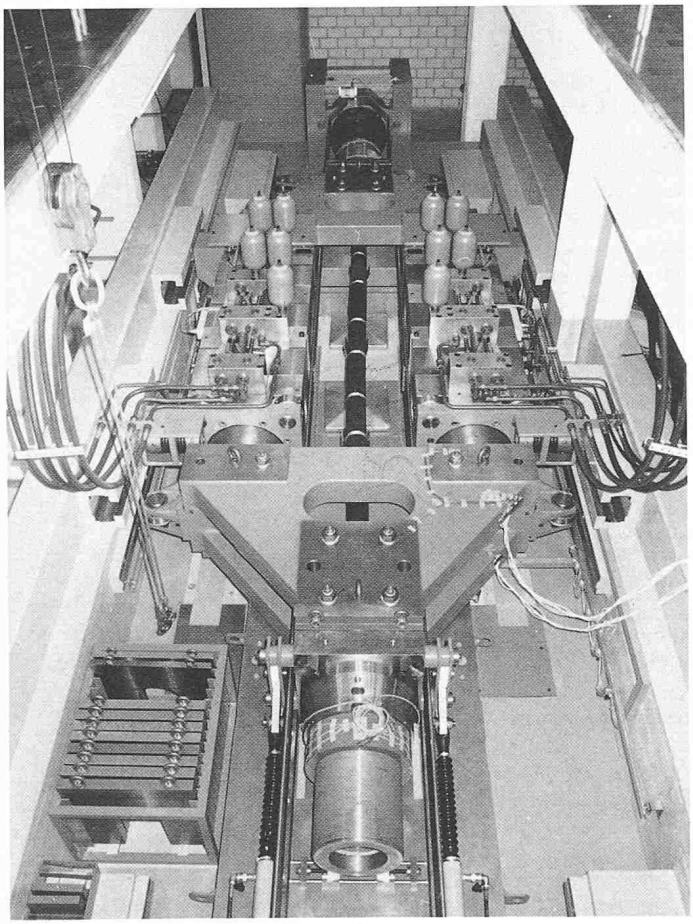


Bild 7. Grundsätzliche Anordnung der Paralleldrahtkabel BBR-Hi-Am. Feste Verankerung im Pylonkopf, spannbare Anker im Brückendeck. Verankerungen mit Stützmuttern

Bild 8. Montagevorgang, oben: Ausgehend vom stabilisierten Mittelstück im Pylonbereich, freier Vorbau mit Montagelängen von jeweils 16 m; unten: Hochheben des Schlussstückes der Hauptöffnung





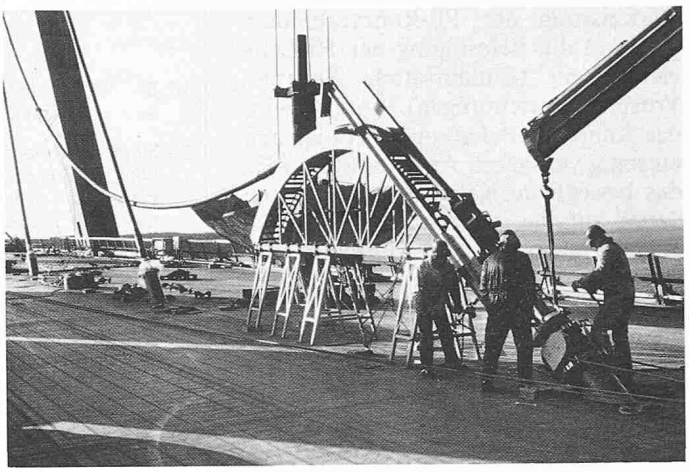


Bild 9. Montage eines Paralleldrahtkabels. Zustand während des Ziehens über den Sattel auf dem Brückendeck. Anpassen des Einlaufwinkels durch den verschiebbaren Vorderteil des Sattels

Bild 10. Paralleldrahtkabel mit 277 ∅ 7 mm, eingebaut in die neue Zugprüfmaschine ELS der EMPA, Dübendorf. Die Bruchlast im Versuch erreichte 18 070 KN

lich wurden die Verschiebungen am Vergusskonus gemessen. Die Resultate der Messungen lagen im erwarteten Rahmen. Sie führten zur Erkenntnis, dass der Epoxidharzverguss mit Stahlkugeln abgestufter Durchmesser die Verfüllung der Verankerungszone gegenüber der früheren Praxis erleichterte. Die Produktion der Kabel erfolgte daher mit diesem modifizierten Rezept.

Nach Abschluss der Kabelproduktion (1984) stand an der EMPA Dübendorf die neu entwickelte Prüfmaschine ELS [6] zur Verfügung. Es lag deshalb im Interesse aller Beteiligten, sowohl die Prüfmaschine in Dübendorf als auch das verbesserte Herstellungsverfahren des Hi-Am-Vergusses auszutesten. Tabelle 3 enthält die Resultate der statischen Erstprüfung eines Hi-Am-Kabels mit 277 ∅ 7 mm in der Schweiz (Bild 10). Dabei ist zu bemerken, dass der Bruch des ersten Drahtes und damit die Höchstlast eines Bündels erfahrungsgemäss auf Grund der kleinsten ertragbaren Dehnung des Drahtmaterials und nicht auf Grund der geringsten Bruchfestigkeit erfolgt. Kabelverankerungen und Drahtmaterial sollen bei Höchstlast eine minimale Dehnung von 2% des Prüfkabels erbringen. Die Mehrzahl der Brüche soll ausserhalb der Ankerzonen liegen, und das Verhältnis zwischen effektiv gemessener Bruchlast und theoretisch ermittelter Bruchlast (Mittelwert der Drahtfestigkeit) soll grösser als 0,95 sein [7]. Beim geprüften Kabel betrug dieses Verhältnis 0,98 und die Gesamtdehnung 3,6%.

Qualitätskontrollen

Neben dem Brückenträger und seinen Fundationen gehören die Tragkabel zu den wichtigen Bauelementen der Schrägkabelbrücken. Die Gewährleistung ihrer Tragfunktion ist entscheidend für die Gebrauchsfähigkeit und Lebensdauer der Gesamtkonstruktion. Die sorgfältige Abklärung der technologischen Eigenschaften der Abspannungen mittels Bruch- und Ermüdungsversuchen an ganzen Kabeln ist wohl eine der Voraussetzungen zur Bewertung der Gebrauchseigenschaften, entscheidend aber ist die Auswahl und Prüfung der Komponenten der eigentlichen Kabellieferung und die Überwachung und Kontrolle der Herstellung.

Für den Nachweis der geforderten Eigenschaften wurde vom Kabelhersteller ein umfangreiches Kontrollsystem angewandt. Dieses lehnte sich an die bei verschiedenen vorausgehenden Kabellieferungen erprobten Verfahren an.

Gemeinsam mit dem Auftraggeber, welcher die Materialkontrollen und den Zusammenbau im Lieferwerk mit seinen eigenen Prüfingenieuren laufend verfolgte, wurden Pflichtenheft und Nachweisverfahren vorausgehend festgelegt.

Ankerköpfe und Stützmuttern

Jede Charge des geschmiedeten Materials wurde mit Festigkeits- und Zähigkeitsproben überprüft. Ermittelt wurden:

- Zugfestigkeit
- Streckgrenze
- Dehnung nach Bruch
- Einschnürung
- Kerbschlagzähigkeit bei −20°

Die Probenentnahme erfolgte an den bereits geschmiedeten Rohlingen. Alle Ankerhülsen und alle Stützmuttern wurden nach der mechanischen Vorbearbeitung mit Ultraschall auf Ungänzen überprüft. Fehlerhafte Stücke hätten auf Grund dieser Prüfung ausgeschieden werden können. Alle Stücke waren intakt.

Draht

Beim Hersteller der Kabel lagen umfangreiche Erfahrungen für die Prüfung von kaltgezogenem hochfestem Stahldraht für Spannbeton vor. Sämtliche 500 Drahtringe wurden sowohl beim Drahtlieferanten als auch beim Kabelhersteller untersucht und die erhaltenen Resultate pro Charge statistisch ausgewertet und verglichen (Bild

Versuchskabel für Faroe – Falster	
Technische Daten:	
Kabellänge	5,75 m
Anzahl der Drähte	277 ø 7 mm
Ankerköpfe	Typ Hi Am, fest u. beweglich
Kabelquerschnitt	10659 mm²
Drahtmaterial	aus Charge 640025
mittl. Zugfestigkeit	fm = 1724 N/mm²
5% – Fraktile	1679 N/mm²
Versuchsdurchfürung	30.3.84 EMPA
Versuchsresultate:	
Erreichte Höchstlast	18070 kN
rechn. Zugfestigkeit bei Höchstlast	f versuch 1695 N/mm²
Wirkungsgrad $\eta = \frac{f\ versuch}{fm} = \frac{1695}{1724} = 0{,}98$	
gemessene Dehnung bei Höchstlast	3,6%

Tabelle 3. Resultate des Bruchversuches am stärksten Paralleldrahtkabel für die Farø-Brücke

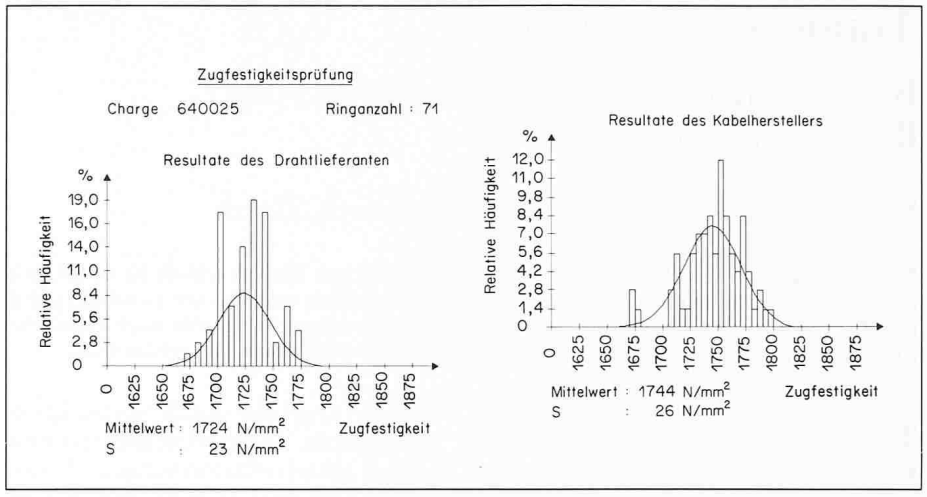


Bild 11. Histogramme der Zugfestigkeitsprüfung des Drahtlieferanten im unabhängigen Vergleich mit den Prüfungen des Kabelherstellers an einer Charge mit 71 Drahtringen (35 t Stahldraht)

11). Dabei zeigte sich die sehr gute Übereinstimmung der Prüfresultate der beiden unabhängigen Prüfungen. Die Differenz der Mittelwerte, z.B. bei der Zugfestigkeitsprüfung, betrug etwa 1,2%.

Bei Schrägkabeln ist der Schwingfestigkeit besonderes Augenmerk zu schenken. Diese bildet bei Brückenkonstruktionen der Bauart Farø in der Regel das wichtigste Dimensionierungskriterium. Das Pflichtenheft für den Nachweis der Ermüdungsfestigkeit verlangte die Prüfung jedes 20. Ringes (1 Prüfung pro 10 t Drahtmaterial). Es wäre wohl möglich gewesen, für jede Probe die vorgegebenen Minimalgrenzen mit einer Lastwechselzahl von 2 Mio. zu fahren. Die Resultate dieser Prüfung hätten aber keine Aussage über die tatsächlich im Gesamtlos vorhandene Schwingfestigkeit erlaubt. Die Überprüfung wurde so geplant, dass auf verschiedenen vorgewählten Spannungsniveaus die Anzahl der Brüche und Durchläufer (für 2 Mio. Lastwechsel) bestimmt wurde. Die im Wahrscheinlichkeitsnetz eingetragenen Bruchwahrscheinlichkeiten gestatten dann die Bestimmung ausgewählter Fraktilenwerte der Schwingweite (Bild 12). Die angewandte Probenlänge betrug 200 mm. Ausgehend von der Berechnungsmethode Andrä/Saul [8] kann die Schwingweite langer Kabel bestimmt werden. Die gemessenen Werte führen für ein Kabel von 156 m Länge auf eine geschätzte Schwingweite von 65% der 200-mm-Probe, hier etwa 265 N/mm² als 5%-Fraktile.

HiAm-Kugelkunststoffverguss

In der Regel wurden pro Verguss 2 Ankerköpfe verfüllt. Die einzelnen Vergusskomponenten, bestehend aus Epoxidharz und Härter, Zinkstaub und Stahlkugeln, sind mit Werkstattesten von den Lieferanten ausgewiesen. Für jeden Verguss wird ein Protokoll erstellt, in welchem die angewandten Temperaturen und die Aushärtungszeit aufgezeichnet sind. Die Gewichtsbilanz der Zuschlagstoffe gibt Auskunft über die genaue Zusammensetzung der einzelnen Vergussstufen. An separat vergossenen Probeprismen wird die Druck- und Biegezugfestigkeit ermittelt.

PE-Rohre

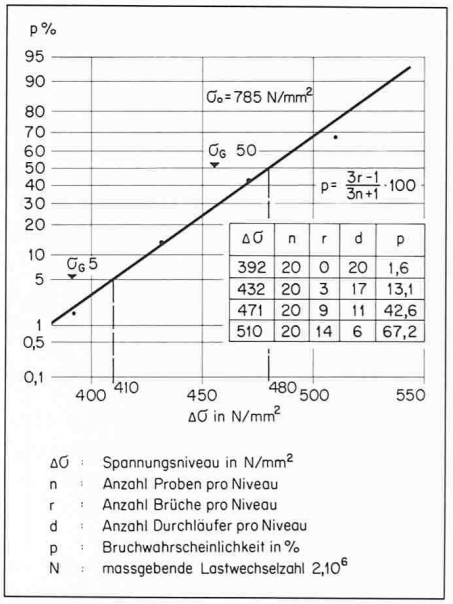
Jede Rohrcharge wurde mit Zeitstandinnendruckversuchen überprüft. Zudem wurden der Schmelzindex bestimmt und die Masshaltigkeit untersucht.

Injektionsmörtel

Eingehende Vorversuche in Dänemark gaben Aufschluss über die zu wählende Rezeptur des Mörtels. Dabei sind Zementqualität, Anmachwasser und Kunststoffzusätze sorgfältig gegeneinander abzustimmen. Die Viskosität der Mörtelmischung wurde mit dem Fliesskonus überwacht und die Druckfestigkeiten an separat abgefüllten Proben bestimmt.

Internationale Zusammenarbeit

Die Farø-Brücken gehören zu den bedeutendsten Bauwerken Europas. Sie sind mit grossem Verständnis für die ästhetische Gestaltung entworfen und mit hoher Sorgfalt unter internationaler Beteiligung erbaut worden. Die gute Zusammenarbeit mit dem Hauptunternehmer ist besonders hervorzuheben.



Δσ	n	r	d	p
392	20	0	20	1,6
432	20	3	17	13,1
471	20	9	11	42,6
510	20	14	6	67,2

Bild 12. Resultate der Schwingfestigkeitsprüfung an 80 Drahtproben, gleichmässig verteilt auf das Gesamtlos von 250 t für die Brücke Farø-Falster. 5% Fraktile für Δσ = 410 N/mm², Probenlänge 200 mm

Die Beteiligten

Bauherr:
Dänisches Transportministerium
Strassenverwaltung

Entwurf und Bauüberwachung:
Fundation, Stahlbeton:
Christiani + Nielsen A/S
Oberbau und Schrägkabelbrücke:
Cowiconsult AS

Architektonischer Berater:
E. Villefrance, M.A.A.

Hauptunternehmer:
- ☐ Fundation, Stahlbeton:
  Consortium Farø (Højgaard & Schultz A/S, Kampsax A/S, Campenon Bernard Cetra, Polensky & Zöllner)
- ☐ Oberbau und Schrägkabelbrücke:
  Monberg & Thorsen A/S
- ☐ Herstellung, Montageüberwachung der Paralleldrahtkabel: Stahlton AG, Zürich

Adresse des Verfassers: *H.R. Müller*, dipl. Ing. ETH, Direktor der Stahlton AG, Riesbachstrasse 57, 8034 Zürich.