Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 13 (1988)

Artikel: Weitgespannte Schrägseilbrücken anstelle von Hängebrücken

Autor: Kindmann, Rolf

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-13094

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

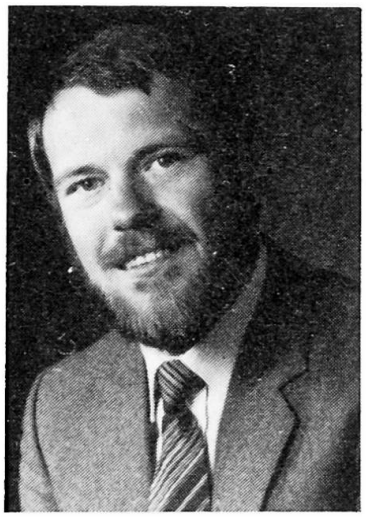
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Weitgespannte Schrägseilbrücken anstelle von Hängebrücken

Wide Span Cable-Stayed Bridges instead of suspension bridges

Ponts haubanés de grande portée au lieu de ponts suspendus

Rolf KINDMANN
Dr.-Ing.
Thyssen Engineering GmbH
Dortmund, Bundesrep. Deutschland



Rolf Kindmann, geboren 1947, promovierte als Bauingenieur an der Ruhr-Universität Bochum. Er arbeitete in der Industrie als Statiker und Projektleiter im Stahlbrückenbau sowie in Forschung und Entwicklung. Seit drei Jahren ist er Leiter des Technischen Büros Brückenbau.

ZUSAMMENFASSUNG
Schrägseilbrücken dringen immer mehr in Stützweitenbereiche vor, die früher Hängebrücken vorbehalten waren. Der derzeitige Entwicklungsstand sowie die technischen und wirtschaftlichen Vorteile, die für den Bau von weitgespannten Schrägseilbrücken sprechen, werden aufgezeigt. Stützweiten bis etwa 1500 m sind durchaus technisch und wirtschaftlich ausführbar.

SUMMARY
Cable-stayed bridges are intruding more and more into ranges of span previously reserved for suspension bridges. The present state of development as well as technical and economical merits of construction of wide span cable-stayed bridges, are indicated. From both the technical and economical point of view, spans of up to around 1,500 m are absolutely feasible.

RÉSUMÉ
Les ponts haubanés sont réalisés pour des portées qui, autrefois, étaient réservées aux ponts suspendus. L'état actuel du développement, ainsi que les avantages techniques et économiques en faveur de la construction de ponts haubanés à grande portée, sont indiqués. Du point de vue technique et économique, des portées de 1.500 mètres sont absolument réalisables.

1. EINLEITUNG

Weitgespannte Brücken werden gemäß dem heutigen Entwicklungsstand in der Regel als Hänge- oder Schrägseilbrücken ausgeführt. Auch wenn in der Vergangenheit einige Bogen- und Fachwerkbrücken mit einer größten Stützweite von etwas über 500 m gebaut worden sind, so läßt sich doch allgemein feststellen, daß ab etwa 300 m größter Spannweite in der Regel die Schrägseilbrücke die wirtschaftlichere Alternative ist. Bei deutlich größeren Stützweiten dominiert zur Zeit noch die Hängebrücke.

Der häufigste Anwendungsfall für weitgespannte Brücken ist die Überquerung von Wasserstraßen in Form von Hochbrücken. Die freie Durchfahrt von Seeschiffen erfordert dabei die Hochlage der Brücke, so daß die Fahrbahn etwa 60 m über dem Wasserspiegel liegt. Die örtlichen Randbedingungen im Bereich der Brückentrasse beeinflussen entscheidend die Wahl des Brückentyps und der Konstruktion. Bei günstigen Voraussetzungen, geringe Wassertiefen und niedrige Geländehöhen, kann auch die Anordnung einer beweglichen Brücke als Kern eines Brückenzuges mit niedrigem Niveau Vorteile bieten, [1].

Beim Bau von Hochbrücken zeigen die Entwicklungstendenzen, daß Schrägseilbrücken gegenüber Hängebrücken in vielen Fällen technische und wirtschaftliche Vorteile bieten. Auch bei sehr großen Stützweiten lassen sich Schrägseilbrücken häufig kostengünstiger bauen. Sie sind außerdem steifer und aerodynamisch sicherer als Hängebrücken, [2]. Es ist daher zu erwarten, daß selbst dort wo zur Zeit noch Hängebrücken die Planungsgrundlage bilden, in vielen Fällen Schrägseilbrücken zur Ausführung kommen werden.

2. ENTWICKLUNGSSTAND

2.1 Hängebrücken

Die Brücke mit der größten Stützweite (1410 m) aller in Betrieb befindlichen Brücken ist die Hängebrücke über den Humber (Fig. 1) an der Nord-Ostküste von England, [3]. In Japan befinden sich zur Zeit mehrere Hängebrücken im Bau, von denen eine fast 2000 m als größte Stützweite erreichen wird.

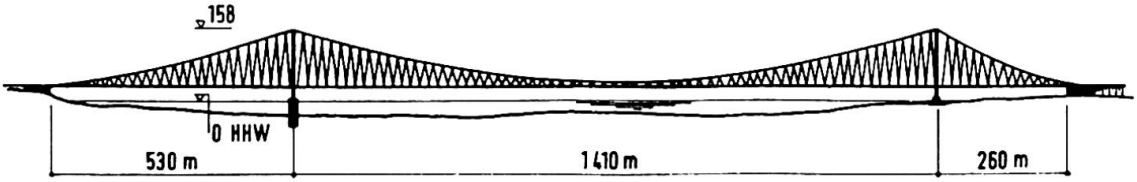


Fig. 1 Ansicht der Humber Brücke

Verschiedene Untersuchungen, siehe z. B. [4] und [5], zeigen auf, daß Bauwerke mit Stützweiten bis etwa 3500 m technisch realisierbar scheinen. Diese Extremwerte kommen aber schon aus Kostengründen nur für einige wenige Projekte mit besonderen Randbedingungen in Frage, wie z. B. bei der Meerenge von Messina oder der Straße von Gibraltar.

Die Tragkabel der neueren, großen Hängebrücken bestehen aus einer Vielzahl von verzinkten Einzeldrähten, deren Durchmesser bei etwa 5 mm liegt. Die Montage erfolgt vor Ort im sogenannten Luftspinnverfahren. Dazu werden auf die bereits fertigen Pylone Schleppseile montiert, an denen sich die Spinnräder ständig zwischen den beiden Widerlagern hin und her bewegen. Wegen der aufgefächerten Verankerung in den Gründungskörpern wird jeweils eine gewisse Anzahl von Einzeldrähten zu Strängen gebündelt. Der Zeitbedarf für das Luftspinnen ist relativ groß. Je nach Länge der Tragkabel und Anzahl der Einzeldrähte werden mehrere Monate benötigt. Bei ungünstigen Witterungsverhältnissen, z. B. starken Wind, müssen die Arbeiten unterbrochen werden.
Die Hänger werden senkrecht oder schräg angeordnet. Bei schrägen Hängern sind

die Durchbiegungen der Brücke etwas geringer, die innere Dämpfung gegen Schwingungen etwas erhöht und die Biegemomente im Versteifungsträger kleiner. Bezüglich der Materialermüdung liegen jedoch bei den schrägen Hängern ungünstigere Beanspruchungen vor, [4]. Die Tendenz scheint zur Zeit etwas mehr die Ausführung von vertikalen Hängern zu sein. So hat z. B. die erste Brücke über den Bosporus in Istanbul (max. l = 1074 m) schräge Hänger. Die zweite Bosporusbrücke (max. l = 1090 m), die zur Zeit im Bau ist, erhält dagegen vertikale Hänger. Bei der zweiten Bosporusbrücke liegen übrigens sehr günstige Voraussetzungen für den Bau einer Hängebrücke vor. Die Gründungsverhältnisse für die Pylone und Verankerungskörper der Tragkabel sind sehr gut (Fels). Außerdem ist nur zwischen den Pylonen eine Brückenkonstruktion erforderlich und keine Vorlandbrücken. In den Vorlandbereichen kann die Straße in Einschnitten auf festem Untergrund gebaut werden.

Für die Querschnitte der Versteifungsträger von Hängebrücken werden strömungsgünstige Formen gewählt, da die Brücken überwiegend in exponierter Lage gebaut werden, wo hohe Windgeschwindigkeiten auftreten können. Darüber hinaus kann die Bauhöhe wegen der geringen Hängerabstände klein gehalten werden. Fig. 2 zeigt mit der ersten Bosporusbrücke einen typischen Querschnitt, [6].

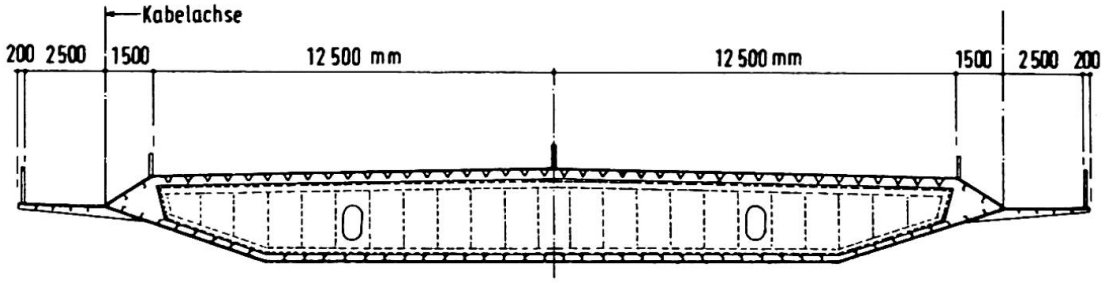


Fig. 2 Querschnitt der ersten Bosporusbrücke

2.2 Schrägseilbrücken

Bei der Ausführung von Schrägseilbrücken sind bisher max. fast 500 m als größte Stützweite erreicht worden. Viele Projektstudien belegen aber, daß auch deutlich größere Stützweiten mit diesem Brückentyp wirtschaftlich realisiert werden können.
Die Entwicklung im Schrägseilbrückenbau ist in den letzten beiden Jahrzehnten stürmisch verlaufen. Dies belegen die vielen technischen Lösungen, die aufgrund der jeweiligen Anforderungen für die Ausführung entwickelt worden sind. Neben der Vielfalt der Konstruktionen für die Versteifungsträger fallen insbesondere folgende Unterscheidungsmerkmale auf:

- eine oder zwei Seilebenen,
- einhüftige Lösungen oder zwei Pylone,
- Anordnung der Seile als Fächer oder Harfen sowie zahlreiche Variationen,
- Wahl der Materialien und Bauarten für Pylone, Seile und Versteifungsträger.

Ein Ausführungsbeispiel zeigt Fig. 3.

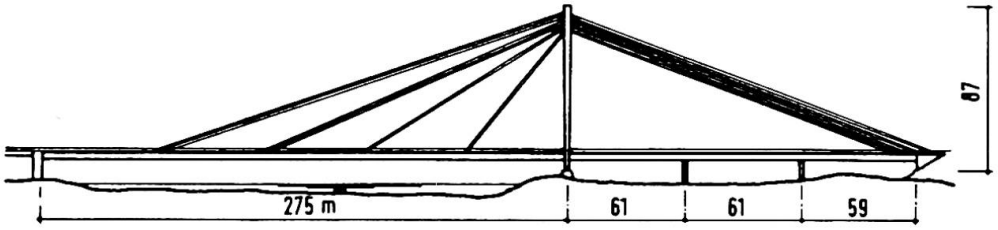


Fig. 3 Einhüftige Schrägseilbrücke über den Rhein bei Speyer

Als Seile werden vollverschlossene Spiralseile oder Paralleldrahtbündel eingesetzt. Die Verankerung erfolgt i. d. R. im Versteifungsträger und den Pylonen mit zylindrischen Seilköpfen. Der Seilkopf an jeweils einem Seilende hat dabei meist ein Außengewinde und ein Innengewinde. Auf das Außengewinde wird die Stützmutter geschraubt. Das Innengewinde dient zur Befestigung der Anspannvorrichtung.
Die Montage des Versteifungskörpers und der Seile erfolgt überwiegend im Freivorbau von den Pylonen aus, etwa symmetrisch zu beiden Seiten hin. Dabei werden jeweils sukzessive die Fahrbahnschüsse des Versteifungsträgers und die zugehörigen Seile montiert.

3. EINSATZ WEITGESPANNTER SCHRÄGSEILBRÜCKEN

3.1 Vorbemerkungen

Der im vorhergehenden Abschnitt grob skizzierte Entwicklungsstand für Hänge- und Schrägseilbrücken gibt bereits erste Anhaltspunkte für den vermehrten Einsatz von Schrägseilbrücken. Anstelle der in Fig. 4 dargestellten Hängebrücke über den Rhein in Köln-Rodenkirchen würde bei einem heutigen Neubau sicherlich eine Schrägseilbrücke zur Ausführung kommen. Dies wird offensichtlich, wenn man z. B. die einhüftige Schrägseilbrücke über den Rhein bei Speyer quasi symmetrisch ergänzt, siehe Fig. 5.

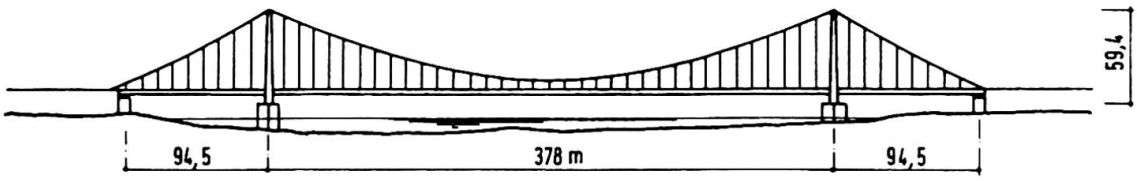


Fig. 4 Hängebrücke über den Rhein in Köln-Rodenkirchen

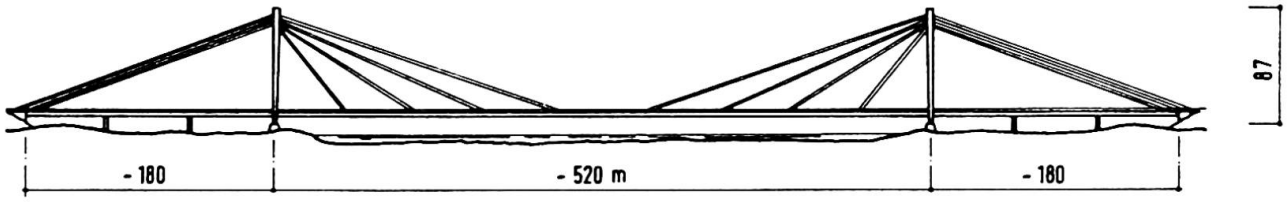


Fig. 5 Fiktive Ergänzung der Rheinbrücke Speyer

Andere ausgeführte, einhüftige Schrägseilbrücken belegen, daß Stützweiten von ca. 700 m ohne weiteres erreichbar sind. Bei günstiger Wahl des Tragsystems können aber durchaus auch die besonders großen Stützweiten realisiert werden, bei denen bisher Hängebrücken gebaut worden sind.

3.2 Systemwahl

Zum Erreichen großer Stützweiten ist die Anordnung von zwei Pylonen mit jeweils zwei Seilebenen erforderlich. Als Pylonform empfehlen sich der A-Bock oder das auf den Kopf gestellte Y. Mit diesen Pylonformen und einer Verankerung der Seile an den äußeren Rändern des Versteifungsträgers sind die Seile auch im Grundriß leicht geneigt, was sich günstig auf das Verformungs- und Schwingungsverhalten auswirkt. Die Schrägseile sollten als Vielseilsystem aufgelöst werden, damit der Versteifungsträger in möglichst engen Abständen gestützt wird und die Bauhöhe klein gehalten werden kann. Die Anordnung der Seile als Fächer, d.h. mit einer Konzentration der Seilverankerungen am Pylonkopf, gewährleistet große Vertikalkomponenten der Seile und daher große Stützkräfte für den Versteifungsträger. Darüber hinaus sind bei möglichst steiler Führung der Seile die Druckkräfte im Versteifungsträger geringer. Die Seile sollten nicht flacher als 1 : 3 geneigt

werden, damit ausreichend große vertikale Seilkraftkomponenten aktiviert werden können.
Wenn man große Stützweiten erreichen will, sind höhere Pylone als bei einer vergleichbaren Hängebrücke erforderlich. Mit zwei etwa 300 m hohen Pylonen, einer maximalen Seilneigung von 1 : 3 und der Annahme, daß die Fahrbahn ca. 60 m über dem Wasserspiegel liegt, läßt sich eine Stützweite von etwa 1400 m erreichen (siehe Fig. 6). Rechnerische Untersuchungen zeigen, daß diese Lösung technisch realisierbar und wirtschaftlich ist.

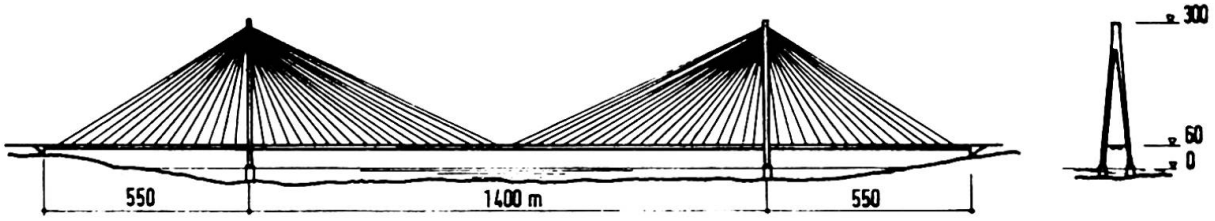


Fig. 6 Schrägseilbrücke als Vielseilsystem mit einer Stützweite von 1400 m

3.3 Materialeinsatz

Mit dem Vielseilsystem der Schrägseilbrücke kann der Versteifungsträger in ähnlichen Abständen gehalten werden wie bei der Hängebrücke durch die Hänger. Für beide Brückentypen kann prinzipiell die gleiche Querschnittsform verwendet werden, z. B. nach Fig. 2. Damit liegt die Gesamttonnage für den Versteifungsträger bis auf die Einflüsse aus den Seilverankerungen und Querschnittabstufungen aufgrund der jeweiligen Schnittgrößen in gleicher Größenordnung.
Große Unterschiede ergeben sich aber beim Materialbedarf für die Seile und Kabel. Während das Vielseilsystem der Schrägseilbrücke eine sehr gute Anpassung an den Schnittgrößenverlauf bietet, ist eine "Abstufung" bei den Tragkabeln der Hängebrücke nicht möglich. Daraus resultieren erhebliche Einsparungen bei der Schrägseilbrücke, die insbesondere deshalb ausschlaggebend sind, weil die Materialkosten für Seile und Kabel sehr hoch sind.

3.4 Bauzustände und Montage

Die Montagekosten haben bei jeder Brückenbaumaßnahme einen besonders großen Anteil. Hinzu kommt, daß die Bauzustände und das Montageverfahren aus wirtschaftlichen Gründen möglichst geringen Einfluß auf den Materialbedarf für das Brükkenbauwerk haben sollten. Dies wird durch die in Abschnitt 2 beschriebenen Montageverfahren bei Hänge- und Schrägseilbrücken in vergleichbarer Weise gewährleistet. Auch die Montagekosten für die Versteifungsträger bleiben in ähnlicher Größenordnung.
Die Montagekosten für die Tragkabel einer Hängebrücke sind aber extrem hoch. Dies ist leicht vorstellbar, wenn man bedenkt, daß ein Tragkabel (je nach Größe der Brücke) aus etwa 10000 bis 30000 Einzeldrähten im Luftspinnverfahren auf der Baustelle hergestellt werden muß. Dagegen werden die Seile bei der Schrägseilbrücke während der Montage im Freivorbau sukzessive mit eingezogen.
In den Material- und Montagekosten für Seile bzw. Kabel liegen daher auch in erster Linie die wirtschaftlichen Vorteile der Schrägseilbrücke begründet.

3.5 Verformungsverhalten und Windeinflüsse

Die vertikalen Durchbiegungen unter Verkehrslasten sind bei Schrägseilbrücken deutlich geringer als bei Hängebrücken. Aber nicht nur vertikal, auch in Querrichtung verhält sich die Schrägseilbrücke steifer, was zu geringeren Verformungen führt.
Dies wirkt sich besonders bei schmalen Brückenquerschnitten günstig aus, da dann die Windlasten in Brückenquerrichtung großen Einfluß auf die Bemessung haben.
Durch eine planmäßige Schrägstellung der Seile im Grundriß und die weitere Schrägstellung durch die Verformungen in Querrichtung (Theorie II. Ordnung) wird

der Versteifungsträger gut in seiner Sollage gehalten. Der Einfluß der Querschnittsform bezüglich der Windeinflüsse wird hier nicht weiter betrachtet, da, wie bereits erwähnt, für Hänge- und Schrägseilbrücken die selben Formen gewählt werden können.
Vergleichende, rechnerische Untersuchungen zum Schwingungsverhalten haben gezeigt, daß sich Schrägseilbrücken aufgrund der inneren Dämpfung sehr günstig verhalten.
Bei beiden Brückentypen können aber die Bauzustände von ausschlaggebender Bedeutung sein. Diese müssen daher in jedem Einzelfall im Detail untersucht werden.

3.6 Bauwerksunterhaltung und Korrosionsschutz

Seile bzw. Kabel bilden das Herz der Schrägseil- bzw. Hängebrücken. Da die Brükken für mehrere Jahrzehnte gebrauchsfähig bleiben müssen, ist der dauerhafte Schutz dieser Tragglieder besonders wichtig. Die Verwendung verzinkter Drähte gehört heute zum Stand der Technik. Die Entwicklung bezüglich der Beschichtungen, Umhüllungen oder Auspressen von Zwischenräumen ist dagegen noch nicht abgeschlossen.
Die Hängebrücke hat einige systembedingte Nachteile. Die Anschlüsse der Hänger an die Tragkabel bilden Störstellen, die die Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzes beeinträchtigen. Darüber hinaus ist das Auswechseln der Tragkabel bei Schäden praktisch kaum durchführbar. Die einzelnen Seile der Schrägseilbrücke können dagegen ohne weiteres ausgetauscht werden.
Im Sinne der Bauwerksunterhaltung sind stets gute Besichtigungsmöglichkeiten erforderlich, damit kleine Schäden frühzeitig erkannt und ausgebessert werden können. Für die Schrägseilbrücken in Deutschland wurde daher vor kurzem ein Brückenseilbesichtigungswagen entwickelt, von dem aus auch kleinere Ausbesserungsarbeiten vorgenommen werden können, [7].
Weitere kritische Punkte sind bei den Hängebrücken die Sattellager auf den Pylonen und die Verankerungen in den Gründungskörpern. Auch hier sind die konstruktiv einfachen Verankerungen mit zylindrischen Seilköpfen bei den Schrägseilbrücken wesentlich günstiger zu beurteilen.

LITERATURVERZEICHNIS

1. KINDMANN R., Movable bridges - an alternative economic solution instead of elevated bridges. Thyssen Technische Berichte, Heft 2/88, Duisburg 1988.
2. LEONHARDT F., Developments in bridge design. International Symposium on strait crossings, Tapir-Verlag, Trondheim, Norwegen 1986.
3. HOTZ R., Humber Brücke - Weitestgespannte Brücke der Welt. Der STAHLBAU 50 (1981), S. 129 - 133.
4. FISCHER M., Stahlbrückenbau. Stahlbau Handbuch, Band 2, Stahlbau-Verlagsgesellschaft, Köln 1985.
5. HERZOG M., Das Projekt einer Hängebrücke über die Meerenge von Messina mit 3500 m Spannweite. Der STAHLBAU 51 (1982), S. 33 - 36.
6. SCHRÖTER H.-J., Zum Bau der Bosporus-Brücke. Der STAHLBAU 42 (1973), S. 87 - 91.
7. BOUÊ P., In-situ inspection device for cable-stayed bridges. International conference on cable-stayed bridges, Bangkok, Thailand 1987.