

Brückenseile

Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 98

bast

Brückenseile

Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen

von
Heinz Friedrich

Die Bundesanstalt für Straßenwesen
veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse
in der Schriftenreihe Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen. Die Reihe
besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter
dem Namen der Verfasser veröffentlichten
Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des
Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe,
auch auszugsweise, nur mit Genehmigung
der Bundesanstalt für Straßenwesen,
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen können
direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH,
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen,
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre
Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im
Informationsdienst Forschung kompakt berichtet.
Dieser Dienst wird kostenlos angeboten;
Interessenten wenden sich bitte an die
Bundesanstalt für Straßenwesen,
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen
BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt F1100.221200:
Brückenseile – Vergleich von vollverschlossenen
Seilen und Litzenbündelseilen

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-XXX-XXX-X

Bergisch Gladbach, April 2014

Kurzfassung · Abstract

Während bei Schrägseilbrücken in Deutschland bis 2004 nahezu ausschließlich vollverschlossene Spiralseile (VVS) verwendet wurden, kommen bei den jüngsten Bauwerken mitunter spezielle Zugelemente zum Einsatz, die den Spanngliedern im Spannbetonbau ähneln. Sie werden aus einzelnen geschützten Litzen hergestellt und infolgedessen als Litzenbündelseile (LBS) bezeichnet.

Im Rahmen des vorliegenden Beitrags werden die Vor- und Nachteile der beiden Bauarten dargestellt, um den Straßenbauverwaltungen der Länder eine Entscheidungshilfe für zukünftige Ausschreibungen zur Verfügung zu stellen. Die gesamte Betrachtung beschränkt sich daher auf die in Deutschland vorgesehenen Systeme und Ausführungsdetails.

Nach einer Analyse der beiden Bauarten werden die Systeme gegenübergestellt und verglichen. Die Analyse erfolgt für beide Seiltypen analog. Nach einer technischen Beschreibung und einer Erläuterung der maßgeblichen Regelwerke werden beide Systeme anhand von Anwendungen in der Praxis veranschaulicht: die vollverschlossenen Spiralseile am Beispiel eines Seilaustauschs an der Rheinbrücke Flehe und die Litzenbündelseile am Beispiel des Neubaus der Rheinbrücke Wesel. Anschließend wird jeweils auf entscheidende Leistungsmerkmale von Brückenseilen eingegangen. An diesen Leistungsmerkmalen ist daraufhin auch die Gegenüberstellung der beiden Bauarten ausgerichtet. Im Einzelnen stehen hier folgende Aspekte im Mittelpunkt: Sicherheit/Redundanz, Schwingungsverhalten, Dauerhaftigkeit, Erhaltung und Ertüchtigung sowie Wirtschaftlichkeit.

Als Ergebnis wird deutlich, dass sowohl VVS als auch LBS höchsten Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit genügen und dass Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit von projektspezifischen Rahmenbedingungen abhängen.

Bridge Ropes for Road Bridges – Comparison between Fully Locked Coil Ropes and Bundles of Parallel Strands

Until 2004 *fully locked coil ropes* were almost the only kind of bridge ropes to be applied for cable stayed bridges in Germany. However the latest structures have been built by the use of special tension-elements similar to tendons for prestressed concrete constructions. Assembled by several individually coated strands they are defined as *bundle of parallel strands*.

Within the present contribution the advantages and disadvantages of both types of construction are described in order to provide decision support for future projects. The whole examination is focused on the specific systems and details performed in Germany.

Subsequent to an analysis of both types the two systems are juxtaposed for the sake of comparison. The analysis is performed for both in a similar manner. After a technical description and survey of the relevant regulations both systems are exemplified by practical applications: the fully locked coil ropes by the example of the rope-replacement at the bridge Flehe and the bundles of parallel strands by the example of the new construction of the bridge Wesel. Subsequently the crucial performance characteristics of bridge ropes are focused. These performance characteristics are also the basis for the comparison of both types. The main points are: safety/redundancy, vibration characteristics, durability, maintenance and retrofitting as well as economic efficiency.

As a result it is obvious that fully locked coil ropes as well as bundles of parallel strands fulfill the highest requirements respecting load-carrying capacity and durability. Differences in their economic efficiency depend on the specific project-conditions.

Inhalt

- 1. Einleitung**
- 2. Ziel und Aufgabenstellung**
 - 2.1 Ziel
 - 2.2 Aufgabenstellung
- 3. Vollverschlossene Spiralseile**
 - 3.1 Technische Beschreibung
 - 3.2 Regelwerk
 - 3.3 Beispiel: Rheinbrücke Flehe
 - 3.4 Leistungsmerkmale
- 4. Litzenbündelseile**
 - 4.1 Technische Beschreibung
 - 4.2 Regelwerk
 - 4.3 Beispiel: Rheinbrücke Wesel
 - 4.4 Leistungsmerkmale
- 5. Gegenüberstellung**
 - 5.1 Sicherheit / Redundanz
 - 5.2 Schwingungsverhalten
 - 5.3 Dauerhaftigkeit
 - 5.4 Erhaltung und Ertüchtigung
 - 5.5 Wirtschaftlichkeit
 - 5.6 Regelwerk
- 6. Schlussfolgerungen**
- 7. Literatur**



Bild 1: Theodor-Heuss-Brücke Düsseldorf

1 Einleitung

Die Entwicklung moderner Schrägseilbrücken, wie sie heute in der ganzen Welt gebaut werden, begann in den 50er Jahren in Deutschland. Eine der ersten der großen Brücken dieser neuen Bauart war die 1957 dem Verkehr übergebene Theodor-Heuss-Brücke in Düsseldorf mit einer Spannweite von 260 m und einer Gesamtlänge von 914 m (Bild 1). Die meist ästhetisch ansprechenden Bauwerke repräsentieren den entwicklungstechnisch gesehen jüngsten Brückentyp.

Das System der Schrägseilbrücken hat in den letzten 50 Jahren eine ungeahnt rasante Entwicklung erlebt, die auch heute noch andauert. Dank der mannigfaltigen gestalterischen Möglichkeiten wurde dabei eine große Formenvielfalt geschaffen. Bestand die Theodor-Heuß-Brücke noch aus vier Pylonen, wurden später auch Brücken mit zwei oder nur einem Pylon gebaut (Bild 2).

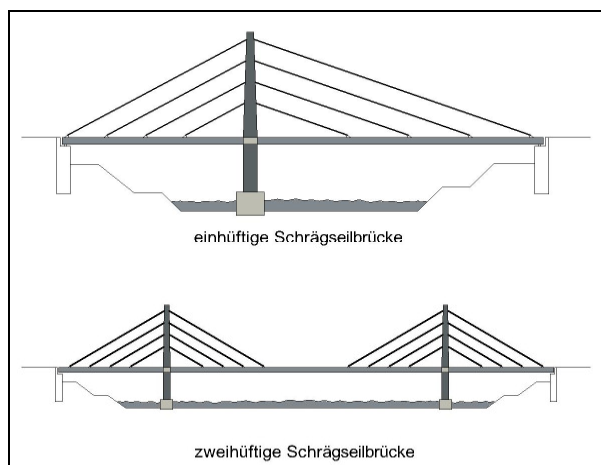


Bild 2: Schrägseilbrücken (mit einem und mit zwei Pylonen)

Weitere Variationsmöglichkeiten ergeben sich durch Anzahl und Ausrichtung der Seilebenen. Auch die geometrische Anordnung der Seile als „Harfe“, „Büschel“ oder „Fächer“ spielt eine entscheidende Rolle (Bild 3). Im Laufe der Zeit haben sich die Schrägseilbrücken als äußerst wirtschaftliches System für große Spannweiten (im Bereich zwischen 200 m und 1000 m) etabliert.

Wesentliche Elemente dieser Bauwerke sind die Schrägseile. Während bei Schrägseilbrücken in Deutschland bis vor kurzem ausschließlich vollverschlossene Spiralseile (VVS) verwendet wurden, kommen bei den jüngsten Bauwerken mitunter spezielle Zugelemente zum Einsatz, die den Spanngliedern im Spannbetonbau ähneln. Sie werden aus einzelnen geschützten Litzen hergestellt und infolgedessen als Litzenbündelseile (LBS) bezeichnet. Im Rahmen des hier beschriebenen Projekts werden beide Bauweisen betrachtet.

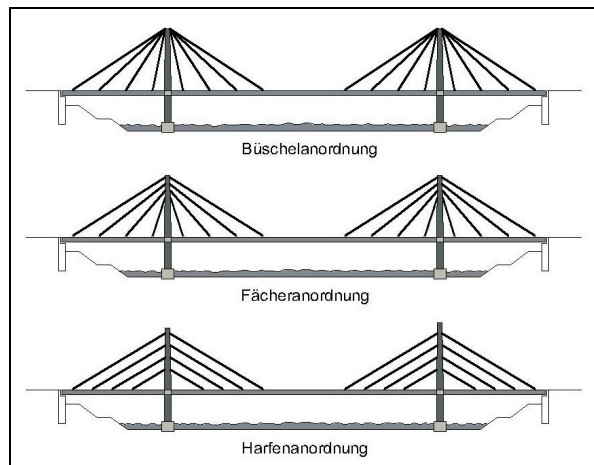


Bild 3: geometrische Anordnung der Seile

2 Ziel und Aufgabenstellung

2.1 Ziel

Aufgrund des vergleichsweise größeren Durchmessers wurden bei der neuen Rügenbrücke aus optischen Gründen zum ersten Mal im Zuge einer Bundesfernstraße Litzenbündelseile (LBS) eingesetzt (Bild 4). Auch der Neubau der Rheinbrücke Wesel erfolgte mit Litzenbündelseilen. Bei beiden Projekten lässt sich erkennen, dass die Verwendung von Litzenbündeln gegenüber dem Einsatz von herkömmlichen vollverschlossenen Seilen wirtschaftlich konkurrenzfähig sein könnte.

Um die Bauweise mit Litzenbündeln standardmäßig für deutsche Schrägseilbrücken einzuführen, erfolgt derzeit die Erarbeitung von entsprechenden Regelwerken (DIBt-Richtlinie für Schrägseilsysteme aus Litzenbündeln; ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 4). Da es sich hier jedoch um eine Bauweise handelt, über die bei den Straßenbauverwaltungen keine Erfahrungen vorliegen, wurde die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) beauftragt, die Baumaßnahmen bei der Rheinbrücke Wesel fachtechnisch zu begleiten und zu dokumentieren. Mit den resultierenden Erkenntnissen sollen die neue Bauweise mit Litzenbündelseilen (LBS) und die bewährte Bauweise mit vollverschlossenen Spiralseilen (VVS) gegenüber gestellt und verglichen werden.

Ziel des Projekts ist es, die Vor- und Nachteile der beiden Bauweisen darzustellen und so den Straßenbauverwaltungen der Länder eine Entscheidungshilfe für zukünftige Ausschreibungen zur Verfügung zu stellen.

2.2 Aufgabenstellung

Die Aufgabe besteht im Wesentlichen darin, die unterschiedlichen Merkmale beider Bauweisen für einen objektiven Vergleich systematisch zu strukturieren und in geeigneter Form darzustellen.

Zu diesem Zweck erfolgt eine Untergliederung in drei wesentliche Abschnitte:

- Analyse der vollverschlossenen Spiralseile
- Analyse der Litzenbündelseile
- Gegenüberstellung der beiden Systeme

Die Analyse erfolgt für beide Bauarten analog. Nach einer technischen Beschreibung und einer Erläuterung der maßgeblichen Regelwerke werden beide Systeme anhand von Anwendungen in der Praxis veranschaulicht: die vollverschlossenen Spiralseile am Beispiel eines Seilaustauschs an der Rheinbrücke Flehe und die Litzenbündelseile am Beispiel des Neubaus der Rheinbrücke Wesel. Anschließend wird jeweils auf entscheidende Leistungsmerkmale von Brückenseilen eingegangen. An diesen Leistungsmerkmalen ist daraufhin auch die Gegenüberstellung der beiden Bauarten ausgerichtet. Im Einzelnen stehen hier folgende Aspekte im Mittelpunkt: Sicherheit / Redundanz, Schwingungsverhalten, Dauerhaftigkeit, Erhaltung und Ertüchtigung sowie Wirtschaftlichkeit. Am Ende wird der Bericht mit Schlussfolgerungen abgerundet.

Die gesamte Betrachtung beschränkt sich auf die in Deutschland vorgesehenen Systeme und Ausführungsdetails. Weiterführende Informationen sind der einschlägigen Fachliteratur zu entnehmen.



Bild 4: Rügenbrücke (Foto: DEGES / René Legrand)

3 Vollverschlossene Seile

3.1 Technische Beschreibung

3.1.1 Allgemein

Vollverschlossene Spiralseile (VVS) sind Zugglieder, die aus Runddrähten und mindestens zwei Lagen Z-Profildrähten bestehen. Sie werden einschließlich ihrer Verankerung komplett im Werk hergestellt und einbaufertig zur Baustelle transportiert. Die Verseilung erfolgt vollkommen maschinell, wobei die einzelnen Drahtlagen jeweils alternierende Richtungen der Schraubenlinie erhalten [1]. Sie wurden früher häufig auch als patentverschlossene Seile bezeichnet und werden seit Jahrzehnten im deutschen Brückenbau verwendet. Dennoch haben in den letzten Jahren noch technische Weiterentwicklungen stattgefunden [2].

3.1.2 Querschnitt

Bei vollverschlossenen Spiralseilen sind um einen inneren Kern aus mehreren Lagen von Runddrähten mehrere Lagen Profildrähte angeordnet (Bild 5). Um einen Kerndraht werden in der ersten Lage 6 Drähte in Form einer Schraubenlinie geschlagen. Die weiteren Drahtlagen werden in wechselnden Richtungen spiralförmig gruppiert (Gegenverseilung). Die äußeren Drahtlagen bestehen aus Z-Profildrähten, die sich ineinander verzahnen und eine geschlossene Seiloberfläche bilden. Das Eindringen von korrosiven Medien wird dadurch weitgehend vermieden. Der größte bisher gefertigte Seildurchmesser beträgt 174 mm. Früher waren zwischen den inneren Runddrähten und äußeren Profildrähten Keildrähte angeordnet. Dieser Seilaufbau hat sich aber hinsichtlich der Ermüdung nicht bewährt.

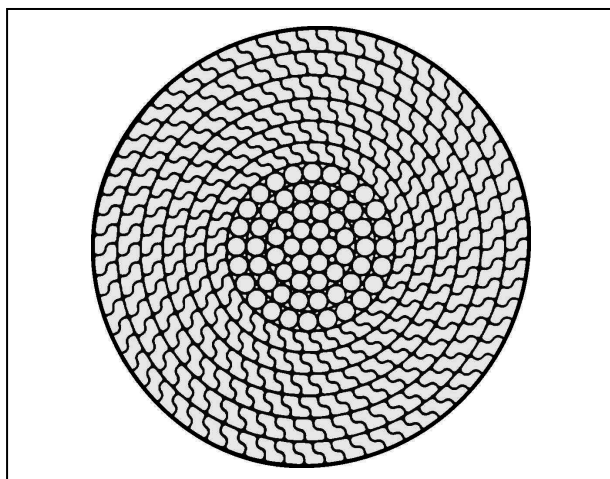


Bild 5: Querschnitt eines vollverschlossenen Seils

3.1.3 Zugfestigkeit

Die Herstellung des Stahldrahts erfolgt in einem zweistufigen Prozess (Warmwalzen und späteres Kaltziehen), wodurch eine sehr hohe Zugfestigkeit erreicht wird. Für Drähte von VVS beträgt die maximal zulässige Nennfestigkeit 1570 N/mm^2 [3], [4].

Aufgrund der in 3.1.2 erläuterten spiralförmigen Verseilung ist die wirkliche Bruchkraft etwa 7 % geringer als die rechnerische Bruchkraft.

Da unbelastete Drahtseile ein nicht lineares Kraft-Dehnungsverhältnis aufweisen, werden sie für den Belastungsbereich vorgereckt und die entsprechenden Längen im vorgespannten Zustand gemessen. Der Verformungsmodul von VVS ist gemäß TL/TP-VVS [5] für jedes Projekt im Zugversuch zu bestimmen.

3.1.4 Korrosionsschutz

Ein funktionierender Korrosionsschutz ist für Seile äußerst wichtig, wichtiger als im allgemeinen Stahlbau und auch im Stahlbrückenbau, da die hohe Drahtfestigkeit mit einer geringen Bruchdehnung, verstärkter Empfindlichkeit gegenüber Korrosion und geringen Querschnittsflächen verbunden ist [6]. Eine Reduzierung der Querschnittsfläche hat ungleich größere Auswirkungen als bei einem Bauteil, welches mehrfach redundant ist. Der Korrosionsschutz von vollverschlossenen Seilen wird durch das Konstruktionsprinzip mit einer weitgehend geschlossenen Oberfläche und durch die Kombination von drei Schutzsystemen gewährleistet:

- Feuerverzinkung der Drähte,
- Seilverfüllmittel,
- äußerer Korrosionsschutz.

Sämtliche Drähte müssen mit einer *Feuerverzinkung* versehen sein. Bei den Seilen der in den letzten Jahren gebauten Brücken wurden die Z-Drähte der beiden äußeren Lagen anstelle der herkömmlichen Feuerverzinkung mit einer Zink-Aluminium-Legierung (Zn95Al5) bestehend aus 95 % Zink und 5 % Aluminium überzogen. Häufig wird diese Verzinkungsart auch nach einem Markennamen als Galfan-Verzinkung bezeichnet. Sie sollte jedoch nicht mit der für die Drähte von Brückenseilen nicht zulässigen galvanischen Verzinkung verwechselt werden. Durch die veränderte Zinklegierung wird eine wesentliche Verbesserung der Schutzdauer und der mechanischen Beanspruchbarkeit für die Verzinkung erreicht. Im Rahmen unterschiedlicher Untersuchungen wurde eine ausreichende Haftung der Beschichtung auf der neuen Verzinkungsart

nachgewiesen [4] [7]. Ob bei VVS mit Galvanverzinkten Drähten zukünftig auf den äußeren Korrosionsschutz verzichtet werden kann, bedarf weiterer Forschungsarbeit.

Seilverfüllmittel dienen dem inneren Korrosionsschutz von VVS. Durch die direkte Zugabe bei der Verseilung werden damit die inneren Hohlräume zwischen den einzelnen Drahtlagen ausgefüllt. Bedingt durch Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz kommen heute anstelle der seit vielen Jahren verwendeten Leinöl-Bleimennige üblicherweise Zinkstaubfarben in Brückenseilqualität zur Anwendung. Auf eine Verfüllung der beiden äußeren Z-Drahtlagen wird in der Regel verzichtet, um das sogenannte Bluten der Seile, also der Austritt von Seilverfüllmittel an die Seiloberfläche, nach dem Spannen zu vermeiden. Alternative Seilverfüllmittel wie z.B. künstliche Wachse o.ä. haben sich nicht bewährt, da bei ihnen das Austreten aus dem Seil über Jahre nicht zum Stillstand kam.

Eine mehrlagige Beschichtung dient dem *äußeren Korrosionsschutz* (Bild 6). Hier haben sich Beschichtungssysteme bewährt, die aus einer Grundbeschichtung auf Epoxidharzbasis mit Eisenglimmer, sowie zwei Zwischenbeschichtungen und einer Deckbeschichtung jeweils auf Polyurethanbasis bestehen. Die Schutzdauer beträgt mindestens 25 Jahre. Zur Haftverbesserung ist vor der Applikation der Grundbeschichtung ein Sweep-Strahlen der Feuerverzinkung erforderlich. Durch die geeignete Wahl der Farbe der Deckbeschichtung kann Einfluss auf das Erscheinungsbild der Brücke genommen werden.

Damit kein Wasser in die untenliegende Verankerung gerät, ist eine Ableitung des am Seil herunterlaufenden Wassers notwendig. Dies wird durch die Verwendung von Neoprenhauben erreicht, die mit Edelstahlschellen am Seil und am Überbau wasserdicht befestigt werden (Bild 7).

Wenn das Ende der Schutzdauer der Beschichtungssysteme erreicht wird, ist nach dem heutigen Stand der Technik eine Vollerneuerung erforderlich. Zum Entfernen der vorhandenen Beschichtungen und für die Applikation der Neubeschichtung müssen in aller Regel statisch und konstruktiv anspruchsvolle Einhausungen und Gerüstkonstruktionen vorgesehen werden. Solche Maßnahmen unter laufendem Verkehr durchzuführen ist für alle Beteiligten eine große Herausforderung.



Bild 6: Mehrlagige Korrosionsschutzbeschichtung (auf einem vollverschlossenen Spiralseil)



Bild 7: Neoprenhauben

Als mögliche Alternative gegenüber herkömmlichen Beschichtungssystemen kommt das Umwickeln mit Butylkautschukbändern in Betracht, bei dem auf umfangreiche Gerüstbauarbeiten verzichtet werden kann, da die Oberfläche nicht gesweept werden muss [8]. Für dieses Verfahren gibt es eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung [9] und einen Erfahrungsbericht der BAST [10]. Für dieses Verfahren liegen aktuell drei Referenzprojekte vor. Im Bereich der Bundesfernstraßen wurde eine Pilotmaßnahme im Zuge von Instandsetzungsarbeiten an der Talbrücke Obere Argen ein Pilotprojekt realisiert.

3.1.5 Verankerung (Seilköpfe)

Um Seile als tragende Elemente einsetzen zu können, müssen sie mit dem Überbau und dem Pylon kraftschlüssig verbunden werden. Dies geschieht mittels vergossener Verankerungen. Hierfür wird das Seil an seinen Enden möglichst gleichmäßig zu einem Seilbesen aufgefächert, in einer Verguss-hülse mit konisch ausgebildetem Innenraum platziert und anschließend mit einer Metall-Legierung (Zamak Z 610) vergossen (Bilder 8 bis 10).



Bild 8: Aufgefächerter Seilbesen



Bild 9: Seilbesen in Vergusshülse [6]



Bild 10: Verguss mit einer Metalllegierung [6]

Das beim Vergießen verbrannte Seilverfüllmittel wird in der Seilwurzel durch eine Injektion ersetzt. Die Kraftübertragung in die Hülse erfolgt über Form-, Kraft- und Reibschluss. Der Formverschluss wird durch das Verkeilen des Vergusses im konischen Hülseinnenraum hervorgerufen [1]. Um diesen konusförmigen Teil herum können die Verankerungen frei gestaltet werden. Übliche Ausführungen sind Hammerkopf-Vergusshülsen (Bild 11) für den Festanker im Pylon und zylindrische Vergusshülsen mit Außen- und Innengewinde (Bild 12) für den Spannanker im Brückenüberbau. Die Kraftübertragung ins Bauwerk erfolgt über eine Stützmutter am Außengewinde [11], [12]. In dieser Literatur werden auch Angaben zu den Materialien und Abmessungen der Seilköpfe in Abhängigkeit vom Seildurchmesser gemacht.

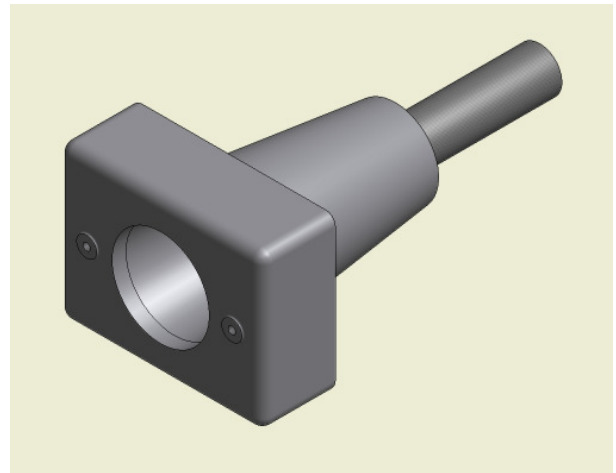


Bild 11: Hammerseilkopf (Bridon International GmbH)



Bild 12: Zylindrischer Seilkopf mit Innen- und Außengewinde (Bridon International GmbH)

3.1.6 Herstellung

Die Seile werden auf Seilmaschinen in großen Längen („endlos“) hergestellt und dann auf das für jedes Bauwerksseil ermittelte Maß abgelängt. Die Seildehnung unter ständigen Lasten wird dabei mit dem sogenannten Ablängmodul ermittelt, der die Belastungsgeschichte jedes einzelnen Seils berücksichtigt.

3.2 Regelwerk

Demnächst werden die bisherigen Vorschriften für VVS (TL-Seile, RKS.-Seile usw.) durch eine neue Generation von Regelwerken für Brückenseile ersetzt. Die maßgebenden Richtlinien und Normen für vollverschlossene Seile sind dann:

Bemessung:

- DIN EN 1993 Teil 1-11 [13] und der zugehörige nationale Anhang [14].

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten:

- ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 4 Brückenseile (hier sind auch ergänzende Hinweise zur Bemessung enthalten) [4],
- ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 5 Korrosionsschutz von Brückenseilen [15].

Technische Lieferbedingungen und technische Prüfvorschriften für Ingenieurbauten:

- TL/TP-VVS Technische Lieferbedingungen und technische Prüfvorschriften für vollverschlossene Seile [5],
- TL-KOR-VVS Technische Lieferbedingungen für den Korrosionsschutz von vollverschlossenen Seilen [16],
- TP-KOR-VVS Technische Prüfvorschriften für den Korrosionsschutz von vollverschlossenen Seilen [17].

3.3 Beispiel: Rheinbrücke Flehe

3.3.1 Allgemein

Am Beispiel der Instandsetzungsmaßnahme bei der Rheinbrücke Flehe im Zuge der BAB A 46 soll die Bauweise mit VVS veranschaulicht werden.

Die 1979 im Zuge der BAB A 46 erbaute Brücke ist mit einer Spannweite von 386 m eine der am weitesten gespannten Brücken am Niederrhein. Mit ih-

rem 145 m hohen Pylon in Form eines invertierten Y und Seilen, die in sieben parallel geführten Seilbündeln auf der Stromseite fächerförmig entlang des Mittelstreifens der Fahrbahn verlaufen, stellt sie ein markantes Wahrzeichen der Stadt Düsseldorf dar (Bild 13).

Die insgesamt 96 vollverschlossenen Seile mit Durchmessern zwischen 93 mm und 111 mm ergeben hintereinandergelegt eine Strecke von etwa 18 km. Bei der Hauptprüfung dieser Seile im Sommer 2003 wurden zahlreiche (zum Teil bereits bekannte) Drahtbrüche festgestellt, deren Ursache in einem mangelhaften äußeren Korrosionsschutz begründet liegt. Eine genaue Untersuchung der Drahtbrüche hat ergeben, dass sie durch wasserstoffinduzierte Spannungsrisskorrosion hervorgerufen wurden [18].



Bild 13: Rheinbrücke Flehe

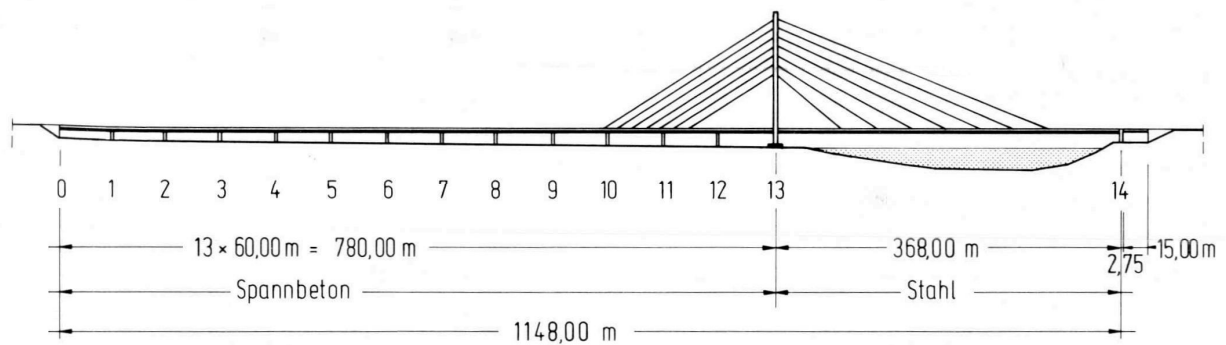


Bild 14: Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe [19]



Bild 15: Offene Drahtbrüche

Ursächlich war eine unterläufige und schlecht auf dem Seil haftende Beschichtung in Verbindung mit Beschädigungen der Feuerverzinkung beim Bau. Aufgrund dieser Schäden wurde beschlossen, neun der insgesamt 96 vollverschlossenen Seile auszutauschen und die Korrosionsschutzschichten aller Seile vollständig zu erneuern. Sowohl der Seilaustausch als auch die Korrosionsschutzarbeiten erfolgten entsprechend dem neusten technischen Stand. [2], [20]

3.3.2 Seilaustausch

Der Austausch jeweils eines Seils war bereits beim Neubau der Brücke statisch berücksichtigt worden und konnte unter vollem Verkehr durchgeführt werden. Die Arbeiten erfolgten im Vorlauf zur Korrosionsinstandsetzung ohne Einhausung.

Zum Ausbau eines alten Seils wurden erst der Spannanker im Überbau (Bild 16) und anschließend der Festanker am Pylon gelöst. Durch die Anordnung in Gruppen aus neun bzw. 12 Seilen konnte auf den Einsatz von großen Hebezeugen zum Ablassen des gelösten Seils verzichtet werden. Stattdessen wurde es auf Hilfskonstruktionen, die an den verbliebenen Seilen verfahrbar angehängt waren, abgelegt und in Abschnitten von etwa 30 m Länge nach unten transportiert (Bild 17).

Der Einbau des neuen Seils verlief in umgekehrter Reihenfolge. Nach dem Abrollen des Seils vom Coil und zwischenzeitlicher Lagerung auf gekoppelten Rollenböcken wurde der obere Seilkopf mit Hilfskran und Litzen in den Pylon eingezogen (Bilder 18 und 19) und mit einer Stützmutter verankert. Mit Hilfe von zwei Kränen wurde der untere Seilkopf in die Seilverankerungskonstruktion am Überbau eingefädelt und mit der unteren Stützmutter wieder abschließend verankert. [20]

3.3.3 Korrosionsschutz

Um einen neuen mehrlagigen Korrosionsschutz applizieren zu können wurde zunächst die noch vorhandene Beschichtung durch Strahlen mit Schmelzkammerschlacke entfernt. Die Applikation der einzelnen Korrosionsschutzschichten erfolgte mit Pinsel. Zum Schutze der Beschichtungsarbeiten vor Witterung und Feuchtigkeit wurden die Seile einer Seilgruppe jeweils vollständig eingehaust. [20]



Bild 16: Lösen der Stützmutter am Spannanker [6]



Bild 18: Einziehen des neuen Seils



Bild 17: Ablassen eines Seilstücks



Bild 19: Hochziehen eines neuen Seils

3.4 Leistungsmerkmale

3.4.1 Tragfähigkeit / Redundanz

Da durch die Verseilung die Zugkraft auf viele in etwa parallel wirkende Zugkräfte in den einzelnen Drähten aufgeteilt wird, besteht eine hohe Redundanz. Im Falle eines einzelnen Drahtbruchs ist der metallische Querschnittsverlust des Seils gering und wird durch die Sicherheitsfaktoren abgedeckt. Der große Vorteil der Verseilung besteht darin, dass der gebrochene Draht nach etwa drei Schlaglängen durch die innere Reibung zwischen den Drähten wieder voll mitträgt. Daher sind auch mehrere Drahtbrüche unproblematisch, wenn sie ausreichend gleichmäßig über die Länge des Seils verteilt sind.

Der Tragfähigkeitsnachweis erfolgt für VVS entsprechend DIN EN 1993-1-11:2010-12 [13]:

$$F_{Ed} / F_{Rd} \leq 1$$

$$F_{Rd} = F_{uk} / 1,5$$

$$F_{uk} = F_{min} k_e$$

Dabei ist

F_{Ed} der Bemessungswert der Seilkraft,

F_{Rd} der Bemessungswert der Beanspruchbarkeit unter Zugbelastung,

F_{uk} der charakteristische Wert der rechnerischen Bruchfestigkeit.

F_{min} Mindestbruchlast (nach EN 12385-2)

k_e Verlustfaktor Verankerung

Gemäß DIN-Fachbericht 103:2009-03 ist die Tragfähigkeit mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,65$ bezogen auf F_{min} nachzuweisen.

Bei der Bemessung des Tragwerks ist der Austausch von mindestens einem VVS als vorübergehende Bemessungssituation vorzusehen.



Bild 20: Dämpfer und Dichtungsmanschetten (Rheinbrücke Bonn-Nord)



Bild 22: Seilbefahrgerät



Bild 21: Seilkopplung (Rheinbrücke Beeckerwerth)

3.4.2 Schwingungsverhalten

Aus aerodynamischen Gründen können Seile durch unterschiedliche Effekte zum Schwingen angeregt werden. Ermüdungswirksame Doppelspannungsamplituden, die je nach Häufigkeit und Intensität zu Rissbildung führen können, entstehen bei VVS insbesondere durch wirbelerregte Querschwingungen und durch Regen-Wind-induzierte Schwingungen.

Da Seilschwingungen die Lebensdauer und die Gebrauchstauglichkeit des Tragwerks massiv beeinträchtigen können, müssen Maßnahmen zur Vermeidung solcher Schwingungen getroffen werden. Bei schwingungsanfälligen VVS kommen üblicherweise Schwingungsdämpfer oder Seilkopplungen zum Einsatz (Bilder 20 und 21).

3.4.3 Dauerhaftigkeit

Um die planmäßige Nutzungsdauer entsprechend der des Gesamtbauwerks zu erreichen, müssen VVS über einen ausreichend großen Widerstand gegen Ermüdung verfügen und mit einem möglichst guten Korrosionsschutz versehen sein.

Ermüdungsprobleme sind bei VVS, die nach dem aktuellen Stand der Technik gefertigt und eingebaut werden, nicht bekannt. Bei der Untersuchung unbeschädigter Teilstücke von den 30 Jahre alten Seilen der Rheinbrücke Flehe wurden keine signifikanten Festigkeitsverluste festgestellt [21]. Dennoch muss gemäß TL/TP-VVS [5] je Seildurchmesser an mindestens einem Probestück mit Original-Verankerung ein Ermüdungsversuch durchgeführt werden.

Der Korrosionsschutz von nicht erneuerbaren Komponenten oder nicht zugänglichen Bauteilen (z.B. Verankerungen) muss über eine Schutzdauer verfügen, die der Nutzungsdauer des Bauwerks entspricht. Bei erneuerbaren Komponenten beträgt die Schutzdauer mindestens 25 Jahre. Herkömmlichen Korrosionsschutzbeschichtungen müssen im Bereich der freien Länge rechtzeitig erneuert oder zumindest teilerneuert werden.

3.4.4 Erhaltung und Ertüchtigung

Während der Nutzungsdauer des Tragwerks müssen die VVS in regelmäßigen Abständen entsprechend DIN 1076 geprüft und überwacht werden. Darüber hinaus enthalten die Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken (RI-ERH-ING) [22] Hinweise für die Erhaltung von Brückenseilen.

Die Prüfung im Bereich der freien Länge kann ganz oder teilweise durch die Anwendung von zerstörungsfreien Prüfverfahren und den Einsatz von speziellen mit Kameras ausgestatteten Seilbefahrgeräten durchgeführt werden (Bild 22). Voraussetzungen dafür sind ein ausreichender Abstand der einzelnen Seile zueinander sowie die Demontage von ggf. vorhandenen Seilkopplungen. Zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren zählt insbesondere die magnetinduktive Prüfung, die zur Auffindung von Querschnittsminderungen infolge von Drahtbrüchen und/oder Korrosion auch im Inneren des Seils dient.

Bei den Seilendverbindungen erfolgt eine visuelle Prüfung der Verankerungen einschl. Seilköpfen, Verguss, und Seilwurzeln. Darüber hinaus lassen sich per Ultraschallprüfung Drahtbrüche bzw. Anrisse im Verankerungsbereich identifizieren.

Wenn bei der Seilprüfung erhebliche Mängel festgestellt werden, sind in aller Regel Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, um den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen. Hierzu zählen vor allem der Austausch des äußeren Korrosionsschutzes und der Austausch des kompletten VVS.

Der Erneuerungszyklus für herkömmliche Korrosionsschutzsysteme beträgt etwa 30 bis 35 Jahre. Das bedeutet, dass der äußere Korrosionsschutz (bei einer Lebensdauer des VVS von 100 Jahren) planmäßig zweimal erneuert werden muss. Zu diesem Zweck sind meist aufwändige Einrüstungen o.ä. erforderlich.

Schrägseilbrücken müssen so konstruiert sein, dass einzelne Seile ausgetauscht werden können. Dennoch stellt der Austausch eines kompletten VVS, insbesondere unter laufendem Verkehr, eine komplexe Aufgabe dar (Kap. 3.3). Im Regelfall muss die Nutzungsdauer der Brückenseile der des Gesamtbauwerks entsprechen, so dass planmäßig kein Austausch erforderlich ist.

3.4.5 Wirtschaftlichkeit

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit lassen sich zwei Phasen unterscheiden: die Erstellung und der Betrieb.

Ein wesentlicher Kostenfaktor sind die gemäß TL/TP-VVS [5] zur Gütesicherung erforderlichen statischen und dynamischen Seilversuche einschließlich der Bestimmung des Ablängmoduls. Da die Fertigung komplett im Werk erfolgt, müssen VVS als Ganzes zur Baustelle transportiert werden. Bei mehreren hundert Meter langen Seilen kann dies – abhängig vom Standort – eine verkehrstechnisch anspruchsvolle Aufgabe darstellen. Auf der Baustelle angelangt, können die VVS direkt montiert werden.

Während der Betriebsphase fallen insbesondere Kosten für die Seilprüfungen und Kosten für die Erneuerung des Korrosionsschutzes an.

4 Litzenbündelseile

4.1 Technische Beschreibung

4.1.1 Allgemein

Litzenbündelseile (LBS) sind Zugglieder, die aus zueinander parallelen Schrägeillitzen bestehen und mit einer äußeren Verrohrung versehen sind. Sie werden auf der Baustelle während der Montage aus einzelnen Komponenten zusammengesetzt. Sie wurden früher häufig auch als Parallellitzenbündel bezeichnet und kommen im deutschen Brückenbau erst seit 2004 zum Einsatz.

4.1.2 Querschnitt

Die einzelnen Schrägeillitzen bestehen aus 7 glatten Runddrähten, die von einem Polyethylen-Mantel umschlossen werden (Bild 23). Dabei sind jeweils sechs Drähte spiralförmig um einen Kerndraht angeordnet. Die Anzahl der Schrägeillitzen pro LBS kann variieren. Beispielsweise sind bei der Rheinbrücke Wesel sowohl Seile mit 34 als auch mit 52 Schrägeillitzen im Einsatz.

Die Litzen werden in einer Verrohrung geführt, die aus einem dickwandigen HDPE-Hüllrohr besteht und zum Schutz vor Witterungseinflüssen und mechanischer Beschädigung dient (Bild 23). Durch eine außen aufgebrachte Wendel lassen sich Regen-Wind induzierte Schwingungen vermeiden.

4.1.3 Zugfestigkeit

Litzenbündelseile bestehen aus kaltgezogenen Drähten, die eine sehr hohe Zugfestigkeit erreichen. Gemäß den ZTV-ING [4] beträgt ihre maximal zulässige Nennfestigkeit 1770 N/mm^2 . Bei einem Litzenquerschnitt von 150 mm^2 ergibt sich eine maximale Zugkraft von $265,5 \text{ kN}$ je Litze.

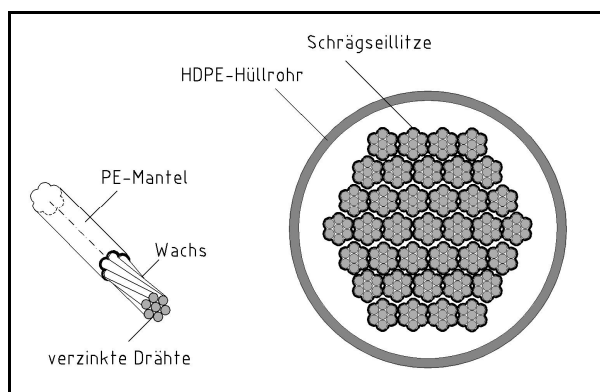


Bild 23: Litzenbündelseil (Einzellitze + Querschnitt)

4.1.4 Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz der Litzen wird durch die Kombination von drei Komponenten gewährleistet:

- Feuerverzinkung der Drähte,
- Hohlraumverfüllung mit Wachs,
- PE-Ummantelung

Sämtliche Drähte müssen mit einer *Feuerverzinkung* versehen sein, die eine unabhängige interne Korrosionsschutzbarriere bildet. Die Zinkschicht fungiert darüber hinaus auch als temporärer Korrosionsschutz des Spannstahls an den exponierten Enden im Verankerungsbereich während der Bauausführung, bevor diese Stellen den endgültigen Schutz erhalten (z.B. Ankerkappen).

Die Zwischenräume der Drähte untereinander sowie zwischen Drähten und PE-Mantel werden mit *Wachs* verfüllt. Dadurch gelingt es, sowohl das Risiko der Kondenswasserbildung in Hohlräumen zu minimieren als auch Wasserläufe entlang des Spannstahls zu vermeiden, falls Wasser in das System eindringt [23].

Auf jede Schrägeillitze wird ein *PE-Mantel* aufextrudiert, der als externe Barriere zum Schutz gegen das Eindringen von Wasser oder Dampf dient. Gleichzeitig stellt diese Ummantelung einen Schutz gegen mechanische Einwirkungen während der Bauphase dar.

4.1.5 Verankerung

Um Seile als tragende Elemente einsetzen zu können, müssen sie mit dem Überbau und dem Pylon kraftschlüssig verbunden werden. Im Regelfall erfolgt dies im Pylon mit einem Festanker und im Überbau mit einem Spannanker. Die einzelnen Schrägeillitzen werden jeweils mittels dreiteiliger, hochschwingfester Keile in einem massiven Ankerblock verankert (Bild 24 und 25).

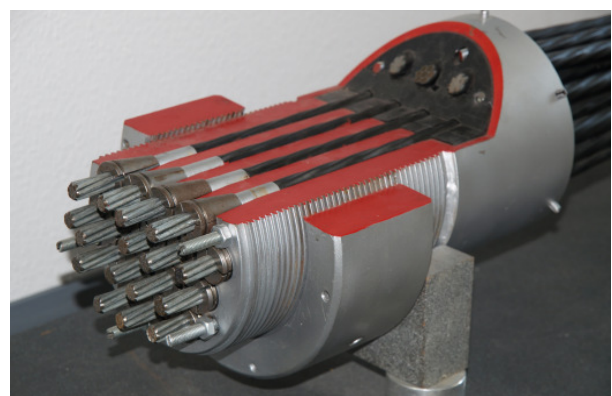


Bild 24: LBS-Verankerung (Modell Ankerblock)

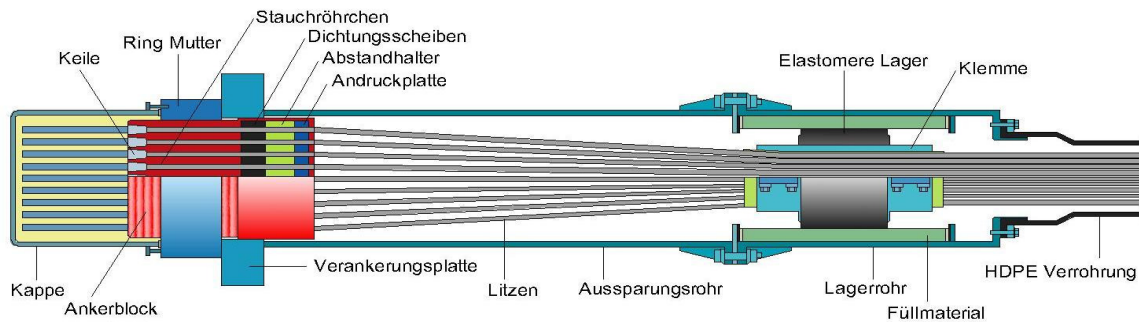


Bild 25: LBS-Verankerung (DYWIDAG Systems International GmbH)

Der Ankerblock des Spannankers ist mit einem Außengewinde versehen, auf das eine Ringmutter aufgeschraubt ist, die die Seilkraft über eine Verankerungsplatte in das Bauwerk abträgt [24]. Eine spätere Korrektur mittels Nachspannen (planmäßig nicht vorgesehen) oder eine Kontrolle der Seilkraft ist mit einer Gradientenpresse möglich. Dabei wird der gesamte Ankerkopf angehoben. Durch die auf den Ankerkopf geschraubte Ringmutter lässt sich eine Erhöhung oder Verringerung der Seilkraft einstellen. Die Lage der Keile zur Litze bleibt dabei unverändert

Der Festanker ist analog zum Spannanker aufgebaut, muss aber keine Ringmutter haben.

Direkt am Ankerblock ist eine Dichteinheit angeschlossen, mit der das Eindringen von Wasser verhindert wird. Zur Bündelung der Litzen und zum Abtragen von Querkräften ist vor jeder Verankerung ein Bündelungselement angeordnet (Bild 25).

4.1.6 Herstellung

Die Litzenbündelseile werden aus ihren einzelnen vorgefertigten Komponenten komplett auf der Baustelle hergestellt. Mit Montage der ersten Litze, auch Richtlitze genannt, werden die Hüllrohre an dieser hochgezogen und dann alle weiteren Litzen eingezogen und mit den relativ kleinen Litzenpressen gespannt. Durch einen ausgeklügelten Spannvorgang wird dafür gesorgt, dass alle Litzen eines Bündels die gleiche Kraft erhalten.

4.2 Regelwerk

Im Gegensatz zu den bisherigen deutschen Vorschriften sind in der neuen Generation von Regelwerken für Brückenseile auch LBS berücksichtigt. Die maßgebenden Richtlinien und Normen für Litzenbündelseile sind.

Bemessung:

- DIN EN 1993 Teil 1-11 [14] und der zugehörige nationale Anhang [14].

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten:

- ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 4 Brückenseile (hier sind auch ergänzende Hinweise zur Bemessung enthalten) [4],
- ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 5 Korrosionsschutz von Brückenseilen [15].

Regelungen des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt):

- Zulassungsgrundsätze für Schrägseillitzen zum Einsatz in Schrägseilsystemen aus Parallellitzenbündeln [25],
- Zulassungsgrundsätze für Schrägseilsysteme aus Parallellitzenbündeln [26].

4.3 Beispiel: Rheinbrücke Wesel

4.3.1 Allgemein

Am Beispiel des Neubaus der Rheinbrücke Wesel im Zuge der B 58n soll die Bauweise mit LBS veranschaulicht werden.

Die Fertigstellung und Eröffnung der Brücke erfolgte nach etwa 4-jähriger Bauzeit im Dezember 2009. Das insgesamt 773 m lange Bauwerk wurde als einhöftige Schrägseilbrücke mit einer Hauptöffnung von 335 m ausgeführt [27]. Mit dem 130 m hohen Pylon in Form eines invertierten Y prägt das Bauwerk die flache Rheinlandschaft nachhaltig (Bilder 26 und 27).

Die Seile sind mit 2 x 6 Seilgruppen in einer vertikalen Ebene entlang des Mittelstreifens angeordnet. Jede dieser Seilgruppen besteht aus sechs Einzelseilen, wobei jeweils zwei Seile nebeneinander und drei Seile übereinander positioniert sind.

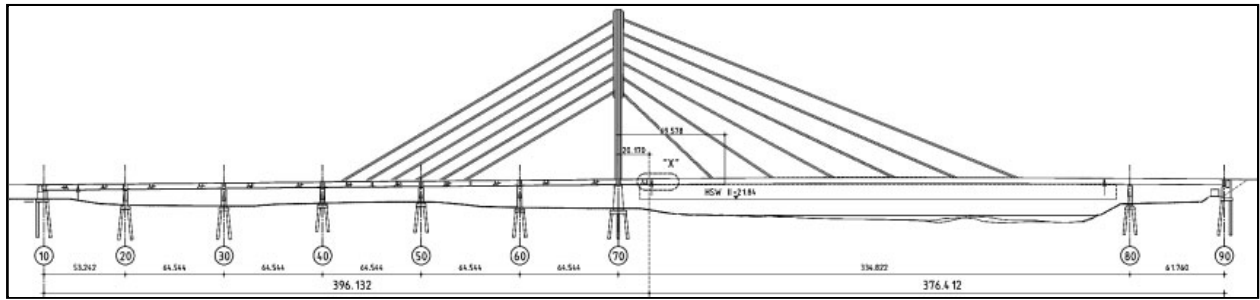


Bild 26: Rheinbrücke Wesel (Ansicht) [28]

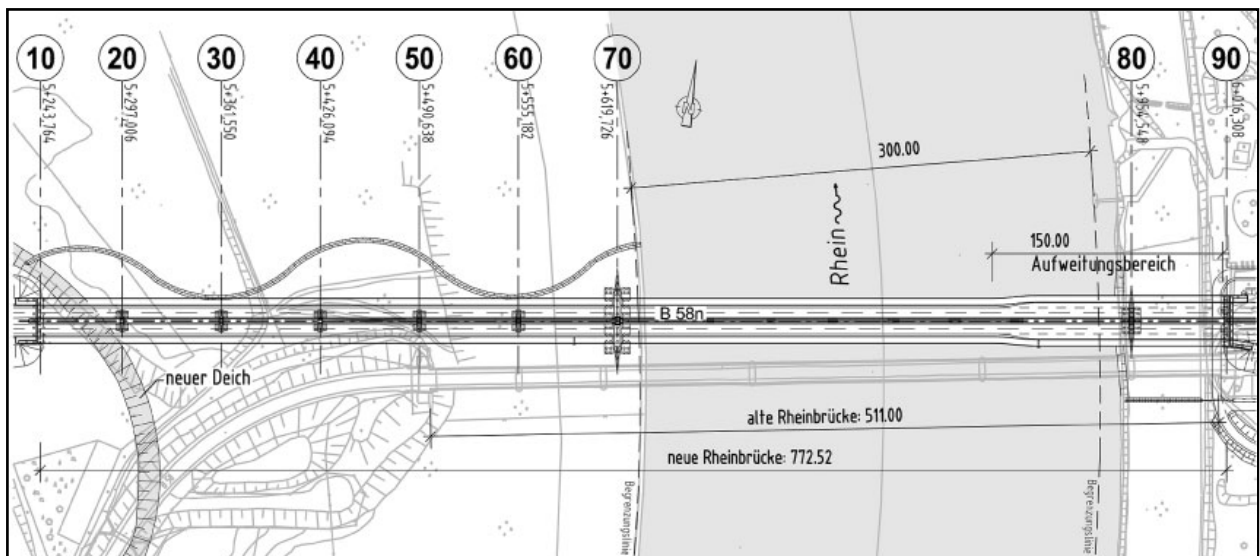


Bild 27: Rheinbrücke Wesel (Draufsicht) [28]

Obwohl der Entwurf auf dem Einsatz von vollverschlossenen Spiralseilen basiert kamen über ein Nebenangebot Litzenbündelseile zur Anwendung. Die längsten Seile sind ca. 285,3 m lang. Es werden Konstruktionselemente für zwei unterschiedliche LBS-Typen mit maximal 37 und 55 Litzen verwendet. Je nach statischem Erfordernis werden jedoch weniger als die maximal mögliche Litzenanzahl eingebaut. Die gesamte Litzentonnage beträgt 700 t. Die Außendurchmesser der Hüllrohre betragen 180 bzw. 200 mm.

4.3.2 Montage

Die rot eingefärbten HDPE-Hüllrohre werden auf der Baustelle aus ca. 12 m langen Einzelrohren mit einem Kunststoffschweißverfahren zusammengefügt. An der Außenseite ist eine Wendel aufextrudiert, um das Auftreten von Regen-Wind-induzierten Schwingungen zu vermeiden. Zu Montage und Prüfzwecken sowie zur Aufnahme von Einbautoleranzen und Temperaturbewegungen ist im unteren Bereich der Verrohrung eine teleskopartige Überschubmuffe angeordnet.

Die auf Coils gelieferten Schrägeilliten werden abgewickelt, mittels Winden durch die zuvor in eine schräge Lage eingehobene Verrohrung eingezogen und am unteren Ende auf die erforderliche Länge zugeschnitten. Die PE-Ummantelung wird an beiden Enden zum Zweck der späteren Verankerung entfernt. Die so vorbereiteten Schrägeilliten werden mit Monolitzenpressen entsprechend der Spannweisung in zwei Spannstufen einzeln gespannt (Bilder 28 bis 31).

Die Verankerung erfolgt pylonseitig über einen Festanker und überbauseitig mit einem Spannanker, bestehend aus einem Ankerblock mit verstellbarer Ringmutter. Mit Hilfe einer Gradientenpresse kann durch die Ringmutter eine Erhöhung bzw. auch eine Verringerung der Seilkraft eingestellt werden.



Bild 28: Einheben der Verrohrung [2]

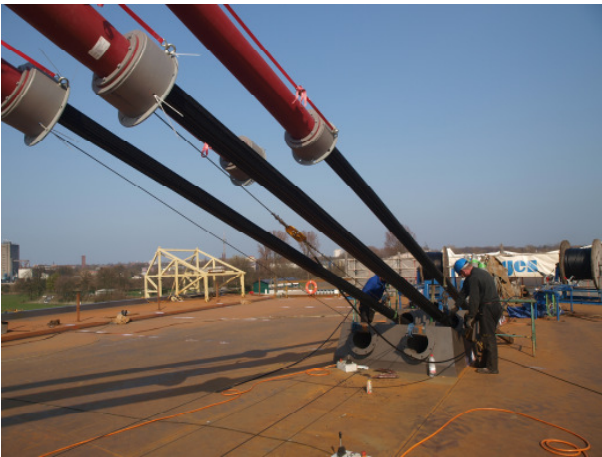


Bild 29: Einziehen der Litzen

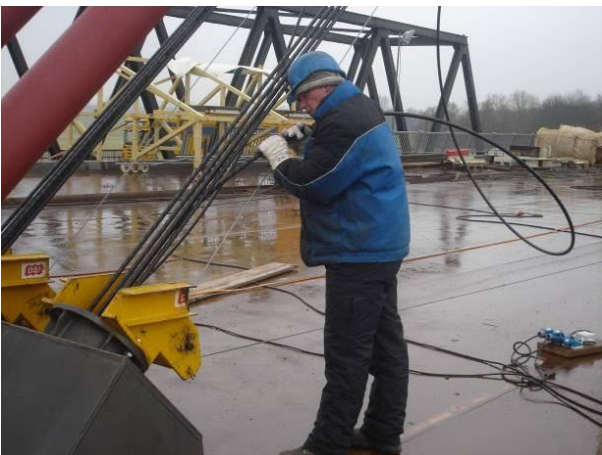


Bild 30: Einführen der Litzen in den Überbau [2]



Bild 31: Spannen mit einer Monolitzenpresse

4.4 Leistungsmerkmale

4.4.1 Tragfähigkeit / Redundanz

Da die Zugkraft auf viele einzelne Litzen aufgeteilt wird, besteht eine hohe Redundanz. Im Falle eines vollständigen Litzenbruchs fällt diese über die ganze Seillänge aus. Wenn es aus statischen Aspekten nicht notwendig ist, die Verankerungen mit der maximal möglichen Anzahl an Litzen zu belegen, steht dieser Platz für Reservelitzen zur Verfügung. So könnten beispielsweise im Falle von zukünftig notwendigen Verstärkungen zusätzliche Litzen eingebaut werden.

Die Tragfähigkeit ist ohne Berücksichtigung von Biegespannungen mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,55$ nachzuweisen. Wenn aus Bauwerksverformungen Verdrehwinkel von über $0,3^\circ$ auftreten, muss zusätzlich ein Tragfähigkeitsnachweis unter Berücksichtigung der Biegespannungen mit einem Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_M = 1,35$ geführt werden [4].

Bei der Bemessung des Tragwerks ist der Austausch von mindestens einem LBS als vorübergehende Bemessungssituation vorzusehen.

4.4.2 Schwingungsverhalten

Litzenbündelseile können genauso wie VVS durch unterschiedliche Effekte zum Schwingen angeregt werden. Regen-Wind-induzierte Schwingungen lassen sich aber durch eine Verrohrung mit einer geeigneten Oberflächenstrukturierung (z. B. Wendel) weitgehend vermeiden. Seilschwingungen können durch die Anordnung von Schwingungsdämpfern reduziert werden.

4.4.3 Dauerhaftigkeit

Die planmäßige Nutzungsdauer der LBS entspricht der des Gesamtbauwerks. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen LBS über eine ausreichende Ermüdungsfestigkeit verfügen und mit einem möglichst guten Korrosionsschutz versehen sein. Eine planmäßige Instandsetzung des Korrosionsschutzes der Schrägeillitzen ist nicht vorgesehen.

Die Beurteilung des Ermüdungsverhaltens von LBS erfolgt gemäß den „fib-Empfehlungen für die Anwendung von Schrägeilsystemen aus Spannstahl“ [23] anhand von Ermüdungs- und Zugfestigkeitsprüfungen, wobei entsprechende Wöhlerlinien als Referenz dienen. Diese Prüfungen sind sowohl im Rahmen einer Erst- bzw. Qualifikationsprüfung durchzuführen als auch im Rahmen einer projektspezifischen Eignungsprüfung. Bei den Versuchen wird zusätzlich zur axialen Belastung auch die Biegebeanspruchung berücksichtigt indem eine planmäßige Winkelverdrehung der Verankerungen von etwa $0,6^\circ$ erfolgt.

Der Korrosionsschutz bzw. die Dichtigkeit werden ebenfalls im Rahmen der Erst- bzw. der Qualifikationsprüfung getestet. Ziel des Versuchs ist es, die Wasserdichtigkeit der LBS-Verankerung unter veränderlichen Last- und Temperaturbeanspruchungen nachzuweisen.

Für die Verrohrung ist eine Lebensdauer von 100 Jahren nach dem heutigen Wissensstand nur schwer zu garantieren. Bei angemessener Wartung und ggf. Austausch des Hüllrohrs kann das System eine Lebensdauer von 100 Jahren erreichen [23].

4.4.4 Erhaltung und Ertüchtigung

Analog zu den VVS erfolgt die Prüfung und Überwachung von LBS gemäß DIN 1076. Ebenso gelten die Hinweise für die Erhaltung von Brückenseilen in den RI-ERH-ING [22].

Da aufgrund der Verrohrung eine handnahe bzw. visuelle Prüfung der Zugglieder im Bereich der freien Länge nicht möglich ist, sind zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie die magnetinduktive Prüfung, bei LBS unverzichtbar. Um den Aufwand in einem vertretbaren Rahmen zu halten, kann eine Verteilung über mehrere Hauptprüfungen vereinbart werden. Wenn beispielsweise alle 6 Jahre $1/3$ der Seile magnetinduktiv geprüft werden, beträgt der komplette Prüfzyklus (für alle Seile) 18 Jahre.

Bei den Seilendverbindungen erfolgt eine visuelle Prüfung der Verankerungen einschl. Bündelungselemente und PE-Mäntel. Darüber hinaus lassen

sich per Ultraschallprüfung Drahtbrüchen bzw. Anrissen im Verankerungsbereich identifizieren.

Wenn bei der Seilprüfung erhebliche Mängel festgestellt werden, sind in aller Regel Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, um den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen. Hierzu zählen vor allem der Austausch der HDPE-Verrohrung und der Austausch der Schrägeillitzen. Da ein Ersatz der Verrohrung durch das gleiche, geschlossene System nicht ohne weiteres möglich ist, sind hier alternative Lösungen gefordert (beispielsweise Halbschalen). Je nach Erfordernis können bei LBS einzelne, mehrere oder alle Schrägeillitzen ausgetauscht werden. Im Regelfall muss die Nutzungsdauer der Brückenseile der des Gesamtbauwerks entsprechen, so dass planmäßig kein Austausch erforderlich ist.

4.4.5 Wirtschaftlichkeit

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit kann genauso wie bei VVS wieder zwischen den beiden Phasen Erstellung und Betrieb unterschieden werden.

Bei der Erstellung ist insbesondere der Zeitaufwand für den Zusammenbau und die Montage der LBS auf der Baustelle zu berücksichtigen, wobei der Einbau mit leichtem Gerät erfolgen kann.

Während der Betriebsphase fallen vor allem Kosten für die Seilprüfungen an. Darüber hinaus ist möglicherweise mit Kosten für den Austausch der HDPE-Verrohrung zu rechnen.

5 Gegenüberstellung

5.1 Tragfähigkeit / Redundanz

Durch die höhere maximal zulässige Nennfestigkeit der Drähte können LBS mit einem geringeren metallischen Querschnitt ausgeführt werden. Bedingt durch den niedrigeren Verformungsmodul von VVS gegenüber dem E-Modul von LBS ergibt sich eine in etwa gleich große Steifigkeit EA für beide Bauarten. Dadurch kann die Vorbemessung des Brückenüberbaus unabhängig vom Seiltyp erfolgen [29].

Bei vereinzelt auftretenden Drahtbrüchen verfügen VVS über ein redundantes Tragverhalten. Bei LBS würde im Falle eines vollständigen Litzenbruchs diese über die ganze Seillänge ausfallen.

Unabhängig von der Bauart muss der Austausch von mindestens einem Brückenseil bei der Bemessung berücksichtigt werden (vorübergehende Bemessungssituation).

Zusammenfassend betrachtet, verfügen sowohl VVS als auch LBS über ein – gegenüber anderen Bauwerkskomponenten – sehr hohes Maß an Tragsicherheit.

5.2 Schwingungsverhalten

Aus aerodynamischen Gründen können Seile durch unterschiedliche Effekte zum Schwingen angeregt werden. Bei anfälligen Brückenseilen sind Maßnahmen zur Vermeidung dieser Schwingungen erforderlich.

Bei LBS lassen sich durch eine geeignete Oberflächenstrukturierung der Verrohrung (z. B. Wendel) Regen-Wind-induzierte Schwingungen weitgehend vermeiden.

Bei schwingungsanfälligen Brückenseilen beider Bauarten können die Schwingungen durch die Montage von Dämpfern auf ein vertretbares Maß reduziert werden – sowohl hinsichtlich der optischen Wirkung als auch vor dem Hintergrund der Ermüdungsbeanspruchung.

5.3 Dauerhaftigkeit

Die planmäßige Nutzungsdauer sowohl von VVS als auch von LBS entspricht der des Gesamtbauwerks. Um eine entsprechend hohe Dauerhaftigkeit zu erreichen, müssen beide Seiltypen über einen ausreichend großen Widerstand gegen Ermüdung verfügen und mit einem möglichst guten Korrosionsschutz versehen sein.

Der Widerstand gegen Ermüdung wird bei beiden Bauarten anhand von Ermüdungs- und Zugfestigkeitsprüfungen beurteilt. Gegenüber der rein axialen Belastung bei VVS wird bei den Versuchen mit LBS zusätzlich auch die Biegebeanspruchung berücksichtigt, indem eine planmäßige Winkelverdrehung der Verankerungen von etwa $0,6^\circ$ erfolgt. Vorausgesetzt, dass die Seile nach dem aktuellen Stand der Technik gefertigt und eingebaut wurden, sind bei beiden Typen keine Ermüdungsprobleme bekannt.

Beim Korrosionsschutz lassen sich der Bereich der freien Länge und der Bereich der Verankerung getrennt voneinander betrachten. Im Bereich der freien Länge sind die Komponenten für den Korrosionsschutz bei VVS und LBS prinzipiell ähnlich aufgebaut. Bei beiden Bauweisen kommen ausschließlich verzinkte Drähte zum Einsatz und die Hohlräume zwischen den Drähten werden verfüllt (bei VVS mit Verfüllmittel, bei LBS mit Wachs). Außen erhält der Spann Stahl eine permanente dichte Umhüllung (bei VVS eine mehrlagige Korrosionsschutzbeschichtung, bei LBS eine PE-Ummantelung der Litzen). VVS weisen darüber hinaus eine geschlossene Oberfläche auf, während LBS von einer äußeren Verrohrung umgeben sind. Im Bereich der Verankerung kommen unterschiedliche Maßnahmen zur Anwendung, um das Eindringen von Wasser zu verhindern. Während bei VVS-Verankerungen auf jahrzehntelange praktische Erfahrung zurückgegriffen werden kann, erfolgt der Eignungsnachweis bei LBS-Verankerungen anhand von Versuchen [23].

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass infolge des hohen Ermüdungswiderstandes und des hochwertigen Korrosionsschutzes bei beiden Bauweisen die Voraussetzungen für eine hohe Dauerhaftigkeit gegeben sind.

5.4 Erhaltung und Ertüchtigung

Während der Nutzungsdauer des Tragwerks müssen sowohl VVS als auch LBS in regelmäßigen Abständen entsprechend DIN 1076 geprüft und überwacht werden. Darüber hinaus enthalten die Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken (RI-ERH-ING) [22] Hinweise für die Erhaltung von beiden Seilarten.

Im Gegensatz zu herkömmlichen VVS ist bei LBS eine klassische handnahe Prüfung auf der freien Länge nicht möglich. Stattdessen kommen zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie die magnetinduktive Prüfung, zum Einsatz, die zur Auffindung von Querschnittsminderungen infolge von Drahtbrüchen und/oder Korrosion auch im Inneren des Seils dient. Aufgrund des geringeren Prüfaufwan-

des (insbesondere was die Dauer der Sperrung eines oder mehrerer Fahrstreifen betrifft) ist davon auszugehen, dass diese weitgehend automatisierten Verfahren zunehmend auch bei der Prüfung von VVS eingesetzt werden. Die Prüfung der Verankerungen erfolgt bei beiden Seiltypen sowohl visuell als auch per Ultraschall ohne signifikante Unterschiede.

Wenn bei der Seilprüfung erhebliche Mängel festgestellt werden, sind in aller Regel Ertüchtigungsmaßnahmen erforderlich, um den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen. Hierzu zählen die Erneuerung des äußeren Korrosionsschutzes bzw. der Verrohrung sowie ein Austausch der Zugglieder selbst. Während der äußere Korrosionsschutz bei VVS etwa alle 30 bis 35 Jahre einer Erneuerung bedarf, muss die HDPE-Verrohrung möglicherweise ein- bis zweimal während der Lebensdauer des LBS ersetzt werden. Bei einem Austausch der Zugglieder haben LBS den Vorteil, dass auch einzelne Litzen ersetzt werden können. VVS hingegen lassen sich nur komplett ersetzen. Dieser Aspekt ist jedoch nur von Bedeutung, wenn die Seile ihre planmäßige Nutzungsdauer unterschreiten.

In Bezug auf den erforderlichen Aufwand sowohl für die Bauwerksprüfung als auch für die vorhersehbaren Ertüchtigungsmaßnahmen lassen sich derzeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Seiltypen erkennen.

5.5 Wirtschaftlichkeit

Beim Vergleich der beiden Produkte fällt insbesondere der Unterschied im metallischen Querschnitt auf. Wegen der höheren Drahtfestigkeit und des geringeren Verseilverlustes können LBS mit etwa 20% weniger Stahl ausgeführt werden.

Während der Erstellungsphase muss bei VVS der, vor allem bei großen Seillängen, anspruchsvolle

Transport berücksichtigt werden, während bei LBS der erhöhte Zeitaufwand für die Montage zu beachten ist. Entscheidend für die Wirtschaftlichkeit sind hier die projektspezifischen Rahmenbedingungen.

Für die Betriebsphase lassen sich keine signifikanten Unterschiede erkennen. Angesichts der zunehmenden Automatisierung liegt der Aufwand für die Bauwerksprüfung bei beiden Seiltypen etwa in der gleichen Größenordnung. Die Kosten für die Erneuerung des Korrosionsschutzes bei VVS liegen voraussichtlich höher als die Kosten für den Austausch der HDPE-Verrohrung bei LBS. Allerdings werden für VVS derzeit alternative Korrosionsschutzverfahren erprobt, mit denen sich die Kosten (insbesondere für den Gerüstbau) deutlich reduzieren lassen.

Zusammenfassend betrachtet weisen die beiden Seiltypen wirtschaftlich relevante Unterschiede auf, die abhängig von den projektspezifischen Rahmenbedingungen beurteilt werden müssen. Derzeit liegen noch nicht genügend Erfahrungswerte für quantitative Aussagen vor.

5.6 Regelwerk

Im Zuge der Umstellung der Regelwerke im Straßenbrückenbau war es erforderlich, die bisherigen Vorschriften für VVS (TL-Seile, RKS-Seile usw.) durch eine neue Generation von Regelwerken für Brückenseile zu ersetzen. Bei der Erarbeitung wurden auch die Litzenbündelseile berücksichtigt, wodurch das Themengebiet „Brückenseile“ noch komplexer geworden ist als bisher. Vor diesem Hintergrund wurde im Interesse der Anwender besonderer Wert darauf gelegt, ein in sich konsistentes Regelwerk zur Verfügung zu stellen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Regelwerk für Brückenseile

	VVS	LBS
Bemessung	DIN EN 1993 Teil 1-11 + NA	
ZTV-ING „Zusätzliche technische Vertragsbedingungen“	Teil 4 Abschnitt 4 „Brückenseile“	
	Teil 4 Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“	
TL/TP-ING „Technische Lieferbedingungen“ „Technische Prüfvorschriften“ bzw. DIBt-Zulassungsgrundsätze	TL/TP VVS	Zulassungsgrundsätze für: <ul style="list-style-type: none"> • Schrägseillitzen • Schrägseilsysteme aus Parallellitzenbündeln
	TL-KOR VVS	
	TP-KOR-VVS	

6 Schlussfolgerungen

Bei fachgerechter Handhabung erfüllen sowohl VVS als auch LBS höchste Anforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit und Dauerhaftigkeit.

Bei beiden Bauarten können Seilschwingungen auftreten, die jedoch durch den Einsatz von Schwingungsdämpfern beherrschbar sind.

Infolge des hohen Ermüdungswiderstandes und des hochwertigen Korrosionsschutzes sind sowohl bei VVS als auch bei LBS die Voraussetzungen für eine hohe Lebensdauer gegeben.

Bezüglich des Aufwands für Erhaltung und Ertüchtigung lassen sich derzeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Seiltypen erkennen. Zukünftig ist davon auszugehen, dass verstärkt automatisierte, zerstörungsfreie Prüfverfahren zum Einsatz kommen.

Der zu erwartende Wettbewerb wird Unterschiede in der Wirtschaftlichkeit im Zusammenhang mit projektspezifischen Rahmenbedingungen deutlich machen.

Das neue Regelwerk repräsentiert den gegenwertigen Stand der Technik und ist so konzipiert, dass es parallel mit der zukünftigen Entwicklung fortgeschrieben werden kann.

Literatur

- [1] ROIK, K.-H. ALBRECHT, G., WEYER, U.: Schrägseilbrücken; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften; 1986
- [2] HAMME, M.: Neue Entwicklungen bei den Brückenseilen, Tagungsbeitrag zum Expertengespräch - Neue Entwicklungen im Stahlbrückenbau - der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Oktober 2008.
- [3] Technische Lieferbedingungen für vollverschlossene Brückenseile (TL-Seile), Fassung 1994; Verkehrsblatt-Verlag; Dortmund.
- [4] ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 4 „Brückenseile“; unveröffentlichter Entwurf (nach Fertigstellung kostenloser Download unter: www.bast.de); Bergisch Gladbach, Juli 2011
- [5] TL/TP-ING: TL/TP-VVS „Technische Lieferbedingungen und technische Prüfvorschriften für Vollverschlossene Seile; unveröffentlichter Entwurf (nach Fertigstellung kostenloser Download unter: www.bast.de); Bergisch Gladbach, Oktober 2011.
- [6] FRIEDRICH, H.; HAMME, M., HEMMERT-HALSWICK, A.; SAUL, R.: Brückenseile; Stahlbaukalender 2012; Ernst und Sohn Verlag; Berlin; 2012
- [7] HEINZ FRIEDRICH, MICHAEL STAECK: Brückenseile mit Galfan-Überzug - Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen; Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen
- [8] NÜTZEL, O.; SAUL, R.: Umwickeln mit Butylkautschukbändern – ein innovativer Korrosionsschutz für vollverschlossene Brückenseile; Stahlbau 79 (2010), Heft 3, S. 232 – 240.
- [9] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.11-41; 03.11.2010.
- [10] FRIEDRICH, H.: Umwicklung von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschutzbändern, Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), November 2010, unveröffentlicht.
- [11] WESTHOFF D.: Vollverschlossene Spiralseile für Brücken; Thyssen Technische Berichte, Heft 2/1988, S. 403 – 416.
- [12] WESTHOFF D.: Offene Spiralseile, Vollverschlossene Spiralseile für Brücken; Thyssen Draht AG; Gelsenkirchen 1992.
- [13] DIN EN 1993 Teil 1-11 „Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl“; Deutsche Fassung EN 1193-1-11:2006 + AC:2009; Deutsches Institut für Normung e.V.; Beuth Verlag GmbH, Berlin Dezember 2010.
- [14] DIN EN 1993 Teil 1-11/NA „Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl“; Deutsches Institut für Normung e.V.; Beuth Verlag GmbH, Berlin Dezember 2010.
- [15] ZTV-ING - Teil 4 „Stahlbau, Verbundbau“ - Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“; unveröffentlichter Entwurf (nach Fertigstellung kostenloser Download unter: www.bast.de); Bergisch Gladbach, Juli 2011.
- [16] TL/TP-ING: TL-KOR-VVS „Technische Lieferbedingungen für den Korrosionsschutz von Vollverschlossenen Seilen; unveröffentlichter Entwurf (nach Fertigstellung kostenloser Download unter: www.bast.de); Bergisch Gladbach, Oktober 2011.
- [17] TL/TP-ING: TP-KOR-VVS „Technische Prüfvorschriften für den Korrosionsschutz von Vollverschlossenen Seilen; unveröffentlichter Entwurf (nach Fertigstellung kostenloser Download unter: www.bast.de); Bergisch Gladbach, Oktober 2011.
- [18] BOUÉ, P.: Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe - Gutachterliche Stellungnahme zu den offenen Drahtbrüchen in der Seilgruppe R100, Darmstadt, Februar 2003, unveröffentlicht.
- [19] MODEMANN, J.; THÖNNIBEN, K.: Die neue Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe/Neuss Uedesheim - Planung und Entwurf, Bauingenieur 54 (1979), S. 59-66.

- [20] STEFAN GURTMANN, MARKUS HAMME, GERO MARZAHN, SVEN SIEBERTH: Seil-austausch unter Verkehr an der Rheinbrücke Flehe; Stahlbau 79 (2010), Heft 9
- [21] GERHARD SEDLACEK, MICHAEL PASCHEN, FRIEDRICH DÜRER, OLIVER GRONAU, CHRISTIAN KLESEN, FRIEDHELM RENTMEISTER: Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Spiralseilen mit Korrosionsschäden; unveröffentlicher Zwischenbericht, Aachen, Juli 2011
- [22] RI-ERH-ING Richtlinien für die Erhaltung von Ingenieurbauwerken, unveröffentlicher Entwurf des Kapitels Brückenseile, Bergisch Gladbach, Juli 2011
- [23] FIB TASK GROUP 9.2: Empfehlungen für die Anwendung von Schrägseilsystemen aus Spannstahl; Dezember 2006
- [24] OSWALD NÜTZEL: DYNA Grip® Schrägseile für die Rheinbrücke Wesel DMT Vortragsveranstaltung Parallellitzenbündel im Brückenbau; 06. November 2008]
- [25] Zulassungsgrundsätze für Schrägseillitzen zum Einsatz ins Schrägseilsystem aus Parallellitzenbündeln, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Entwurf vom 18.10.2007, unveröffentlicht.
- [26] Zulassungsgrundsätze für Schrägseilsysteme aus Parallellitzenbündeln, Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt), Entwurf vom 18.10.2007, unveröffentlicht.
- [27] GEORG GEBERT, STEFAN BOHM, PETER SPRINKE, MARKUS HAMME, HANS LÖCKMANN, HELMUT REINSCH: Die neue Rheinbrücke Wesel – Entwurfsplanung und Ausschreibung; Stahlbau 76 Heft 9; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften; 2007
- [28] CHRISTIAN ANISTOROAI, WOLFGANG EILZER, ROLF JUNG, MARTIN ROMBERG, ERIK SAGNER, PETER WALSER: Rheinbrücke Wesel – Konstruktion und statische Berechnung; Stahlbau 77 Heft 7; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften; 2008
- [29] WERNER BRAND, OSWALD NÜTZEL MATTHIAS SCHEIBE: Erstanwendung von Litzensträhseilen in Deutschland; 16. Dresdener Brückenbausymposium, 14. März 2006

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2003

- B 40: Schutzmaßnahmen gegen Graffiti von Weschpfennig € 11,50
- B 41: Temperaturmessung an der Unterseite orthotroper Fahrbahnplatten beim Einbau der Gussasphalt-Schutzschicht Eilers, Kückler, Quaas € 12,50
- B 42: Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes im Tunnelbau Städing, Krocker € 12,00
- B 43: Entwicklung eines Bauwerks Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz – Stufen 1 und 2 Haardt € 13,50
- B 44: Untersuchungen an Fahrbahnübergängen zur Lärminderung Hemmert-Halswick, Ullrich € 12,50

2004

- B 45: Erfahrungssamlungen: Stahlbrücken – Schäden – wetterfeste Stähle Seile
Teil 1: Dokumentation über Schäden an Stahlbrücken
Teil 2: Dokumentation und Erfahrungssammlung mit Brücken aus wetterfesten Stählen
Teil 3: Erfahrungssammlung über die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen und -kabeln
Hemmert-Halswick € 13,00
- B 46: Einsatzbereiche endgültiger Spritzbetonkonstruktionen im Tunnelbau
Heimbecher, Decker, Faust € 12,50

2005

- B 47: Gussasphaltbeläge auf Stahlbrücken
Steinauer, Scharnigg € 13,50

2006

- B 48: Scannende Verfahren der zerstörungsfreien Prüfung von Brückenbauwerken
Holst, Streicher, Gardei, Kohl, Wöstmann, Wiggenhauser € 15,00
- B 49: Einfluss der Betonoberflächenvorbereitung auf die Haftung von Epoxidharz
Raupach, Rößler € 13,50
- B 50: Entwicklung eines Bauwerks-Management-Systems für das deutsche Fernstraßennetz, Stufe 3
Holst € 13,50
- B 51: Hydrophobierungsqualität von flüssigen und pastösen Hydrophobierungsmitteln
Panzer, Hörner, Kropf € 12,50
- B 52: Brückenseile mit Galfan-Überzug – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen
Friedrich, Staack € 14,50
- B 53: Verwendung von selbstverdichtendem Beton (SVB) im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50
- B 54: Nachweis des Erfolges von Injektionsmaßnahmen zur Mängelbeseitigung bei Minderdicken von Tunnelinnenschalen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Rath, Berthold, Lähner € 12,50

2007

- B 55: Überprüfung des Georadarverfahrens in Kombination mit magnetischen Verfahren zur Zustandsbewertung von Brückenfahrbahnplatten aus Beton mit Belagsaufbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Krause, Rath, Sawade, Dumat € 14,50
- B 56: Entwicklung eines Prüfverfahrens für Beton in der Expositions-kategorie XF2
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Setzer, Keck, Palecki, Schießl, Brandes € 19,50
- B 57: Brandversuche in Straßentunneln – Vereinheitlichung der Durchführung und Auswertung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Steinauer, Mayer, Kündig € 26,50
- B 58: Quantitative Risikoanalysen für Straßentunnel
Sistenich € 14,50

2008

- B 59: Bandverzinkte Schutzplankenholme
Schröder € 12,50
- B 60: Instandhaltung des Korrosionsschutzes durch Teilerneuerung – Bewehrung
Schröder € 13,50
- B 61: Untersuchung von Korrosion an Fußplatten von Schutzplankenpfosten
Schröder, Staack € 13,00
- B 62: Bewährungsnachweis von Fugenfüllungen ohne Unterfüllstoff
Eilers € 12,00
- B 63: Selbstverdichtender Beton (SVB) im Straßentunnelbau
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Heunisch, Hoepfner, Pierson (†), Dehn, Orgass, Sint € 17,50
- B 64: Tiefenabhängige Feuchte- und Temperaturmessung an einer Brückenkappe der Expositions-kategorie XF4
Brameshuber, Spörel, Warkus € 12,50

2009

- B 65: Zerstörungsfreie Untersuchungen am Brückenbauwerk A1 Hagen/Schwerte
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Friese, Taffe, Wöstmann, Zoega € 14,50
- B 66: Bewertung der Sicherheit von Straßentunneln
Zulauf, Locher, Steinauer, Mayer, Zimmermann, Baltzer, Riepe, Kündig € 14,00
- B 67: Brandkurven für den baulichen Brandschutz von Straßentunneln
Blosfeld € 17,50
- B 68: Auswirkungen des Schwerlastverkehrs auf die Brücken der Bundesfernstraßen – Teile 1-4
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kaschner, Buschmeyer, Schnellenbach-Held, Lubasch, Grünberg, Hansen, Liebig, Geißler € 29,50
- B 69: Berücksichtigung der Belange behinderter Personen bei Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln
Wagener, Grossmann, Hintzke, Sieger € 18,50
- B 70: Frost-Tausalz-Widerstand von Beton in Brücken und Ingenieurbauwerken an Bundesfernstraßen
Tauscher € 14,50

2010

- B 71: Empfehlungen für geschweißte KK-Knoten im Straßenbrückenbau
Kuhlmann, Euler € 22,50
- B 72: Untersuchungen zur Dauerhaftigkeit von permanenten Anti-Graffiti-Systemen
Weschpfennig, Kropf, von Witzzenhausen € 13,50
- B 73: Brand- und Abplatzverhalten von Faserbeton in Straßentunneln
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Dehn, Nause, Juknat, Orgass, König € 21,00
- B 74: Verwendung von Anti-Graffiti-Systemen auf Mauerwerk
Müller € 14,00
- B 75: Sachstand Verstärkungsverfahren – Verstärken von Betonbrücken im Bestand
Schnellenbach-Held, Peeters, Scherbaum € 13,50

2011

- B 76: Instandsetzung und Verstärkung von Stahlbrücken unter Berücksichtigung des Belagssystems
Sedlacek, Paschen, Feldmann, Geßler, Möller, Steinauer, Scharnigg € 17,00
- B 77: Anpassung von DIN-Fachberichten „Brücken“ an Eurocodes
Teil 1: DIN-FB 101 „Einwirkung auf Brücken“
Teil 2: DIN-FB 102 „Betonbrücken“
Teil 3: DIN-FB 103 „Stahlbrücken“
Teil 4: DIN-FB 104 „Verbundbrücken“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Freundt, Böning, Maurer, Arnold, Gedwien, Müller, Schrick, Tappe, Kuhlmann, Rasche, Froschmeier, Euler, Hanswille, Brauer, Bergmann € 29,50
- B 78: Bemessung von Wellstahlbauwerken – Vergleich nach den bisherigen und den neuen Richtlinien
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Kuhlmann, Günther, Krauss € 18,50
- B 79: Untersuchungen zur Querkraftbemessung von Spannbetonbalken mit girlandenförmiger Spannliedführung
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.
Maurer, Kiziltan, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 15,50
- B 80: Lautsprecheranlagen und akustische Signalisierung in Straßentunneln
Mayer, Reimann, Löwer, Brettschneider, Los € 16,00
- B 81: Quantifizierung der Lebensdauer von Betonbrücken mit den Methoden der Systemanalyse
Müller, Vogel, Neumann € 14,50
- B 82: Verkehrslastmodelle für die Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand
Freundt, Böning € 16,00
- B 83: Konzeption zur Nachrechnung bestehender Straßenbrücken
Maurer, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg € 16,00
- B 84: Prüfung des Frost-Tausalz-Widerstandes von Beton mit dem modifizierten CDF-Verfahren (XF2)
Gehlen, Lowke, Milachowski € 15,00
- B 85: Entwicklung von Verfahren einer zuverlässigkeitsbasierten Bauwerksprüfung
Zilch, Straub, Dier, Fischer € 19,50
- B 86: Untersuchungen an Bauwerken aus hochfesten Beton
Nguyen, Freitag € 13,50

2012

- B 87: Vermeidung von Glättebildung auf Brücken durch die Nutzung von Geothermie
Feldmann, Döring, Hellberg, Kuhnhenne, Pak, Mangerig, Beucher, Hess, Steinauer, Kemper, Scharnigg € 17,00
- B 88: Anpralllasten an Schutzeinrichtungen auf Brücken – Anpassung der DIN-Fachberichte „Stahlbrücken“ und „Verbundbrücken“ an endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsrechnungen
Kuhlmann, Zizza, Günther € 15,50
- B 89: Nachrechnung von Betonbrücken zur Bewertung der Tragfähigkeit bestehender Bauwerke
Maurer, Heeke, Kiziltan, Kolodziejczyk, Zilch, Dunkelberg, Fitik € 19,50
- B 90: Fugenbewegung an der Ruhrtalbrücke Mintard
Eilers, Quaas, Staeck € 14,00

2013

- B 91: Priorisierung und Nachrechnung von Brücken im Bereich der Bundesfernstraßen – Einfluss der Einwirkungen aus Verkehr unter besonderer Berücksichtigung von Restnutzungsdauer und Verkehrsentwicklung
Freundt, Böning € 15,00
- B 92: Kriterien für die Anwendung von unbewehrten Innenschalen für Straßentunnel
Kaundinya € 14,00
- B 93: Querkrafttragfähigkeit von Fahrbahnplatten – Anpassung des DIN-Fachberichtes „Betonbrücken“ an die endgültige Eurocodes und nationale Anhänge einschließlich Vergleichsabrechnungen
Hegger, Reißen € 17,50
- B 94: Baulicher Brandschutz für Tunnel in offener Bauweise – Rechnerischer Nachweis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
Peter, Knief, Schreyer, Piazzola
- B 95: Erfahrungen mit selbstverdichtendem und hochfestem Beton im Brücken- und Ingenieurbau an Bundesfernstraßen
Tauscher € 17,00
- B 96: Geothermischen Anlagen bei Grund- und Tunnelbauwerken
Adam € 17,00
- B 97: Einfluss der veränderten Verkehrsführung bei Ertüchtigungsmaßnahmen auf die Bauwerksbeanspruchungen
Freundt, Böning € 15,00
- B 98: Brückseile – Gegenüberstellung von vollverschlossenen Seilen und Litzenbündelseilen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
Friedrich € 15,00

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.