
Korrosionsschutz von Brückenseilen

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Brücken- und Ingenieurbau Heft B 208

Korrosionsschutz von Brückenseilen

von

Heinz Friedrich, Sarah Windmann

Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen, Bergisch Gladbach

Berichte der Bundesanstalt für
Straßen- und Verkehrswesen
Brücken- und Ingenieurbau Heft B 208

Die Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen (BASt) veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen. 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 BASt, Stabsstelle Presse und Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG bezogen werden. Seit 2015 stehen sie zusätzlich als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung: <https://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 2216015
Korrosionsschutz von Brückenseilen

Fachbetreuung:
Sarah Windmann

Referat:
Stahlbau, Brückenausstattung

Herausgeber:
Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion:
Stabsstelle Presse und Kommunikation

Gestaltungskonzept:
MedienMélange:Kommunikation

Druck, Verlag und Produktsicherheit:
Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 0 | E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9293 | ISBN 978-3-95606-850-8 | <https://doi.org/10.60850/bericht-b208>

Bergisch Gladbach, April 2025

Kurzfassung · Abstract

Korrosionsschutz von Brückenseilen

Seilverspannte Brücken bilden nur einen geringen Anteil des gesamten Brückenbestandes im deutschen Straßen- und Wegenetz. Sie stellen aber wegen ihrer vielen Besonderheiten sowohl für den Entwurf und für die Bauausführung als auch für die Bauwerksprüfung eine besondere Herausforderung dar und bedürfen spezieller Fachkenntnisse. Auch für den Korrosionsschutz gelten bei Brückenseilen andere Rahmenbedingungen als bei herkömmlichen Stahlbauten.

Die große Vielfalt an existierenden Brückensystemen und Seiltypen machen in der Regel einen objektspezifischen Umgang mit Brückenseilen erforderlich. Weiterentwicklungen beim Korrosionsschutz und bei Seilprüfungen tragen zur zunehmenden Komplexität bei.

Da der Korrosionsschutz das maßgebende Kriterium für die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen darstellt, ist die regelmäßige Überprüfung des Korrosionsschutzes von besonderer Bedeutung. Im Rahmen der alle sechs Jahre durchzuführenden Hauptprüfung kommt eine Vielzahl an Prüfverfahren zum Einsatz. Einige davon sind den Seilspezialisten vorbehalten, da besondere Geräte und speziell dafür qualifiziertes Personal erforderlich sind. Es gibt jedoch auch Prüfverfahren, die von Personal durchgeführt werden können, das nicht auf Seilprüfungen spezialisiert sein muss.

Das vorliegende Dokument gibt einen Überblick über die in Deutschland relevanten Brückensysteme und die verschiedenen Seiltypen. Darauf aufbauend erfolgt für jeden Typ eine detaillierte Beschreibung der Varianten und Komponenten des jeweiligen Korrosionsschutzes. Abschließend wird das Thema Seilprüfung näher erörtert.

Corrosion protection of Bridge Ropes

Suspension bridges and cable-stayed bridges represent only a small proportion of the total number of bridges in the German road network. Due to their many special features, however, they prove to be challenging for design and construction as well as for structural testing and require special expertise. This also applies to the corrosion protection for bridge ropes.

The large variety of existing bridge systems and rope types usually requires a project-specific approach when handling with bridge ropes. Further developments in corrosion protection and rope testing contribute to the increasing complexity.

Since corrosion protection is the decisive criterion for the durability of bridge ropes, the regular inspection of corrosion protection is of particular importance. Within the framework of the main inspection, to be carried out every six years, numerous test methods are used. Some of these methods can only be carried out by rope specialists, as special equipment and qualifications are required.

However, there are also test procedures that can be carried out by personnel who do not need to be specialised in rope testing.

This document provides an overview about the relevant bridge systems in Germany and the various rope types. Based on this, a detailed description of the variants and components of the corrosion protection is given for each type. Finally, the subject of rope testing is dealt with.

Inhalt

1	Einleitung	7
2	Ziel und Aufgabenstellung	8
3	Seilverspannte Brücken	9
3.1	Allgemein	9
3.2	Hängebrücken	9
3.3	Schrägseilbrücken	10
4	Brückenseile	13
4.1	Allgemein	13
4.2	Vollverschlossene Spiralseile (VVS)	13
4.3	Kabel	16
4.4	Litzenbündelseile (LBS)	18
5	Korrosionsschutz von VVS	22
5.1	Allgemein	22
5.2	Feuerverzinkung der Drähte	22
5.3	Seilverfüllmittel	22
5.4	Äußerer Korrosionsschutz	23
5.4.1	Allgemein	23
5.4.2	Beschichtung	23
5.4.3	Umwicklung	25
5.4.4	Ummantelung	27

6	Korrosionsschutz von Kabeln	29
6.1	Allgemein	29
6.2	Freie Länge	29
6.3	Verankerung	29
7	Korrosionsschutz von LBS	31
7.1	Allgemein	31
7.2	Feuerverzinkung der Drähte	31
7.3	Verfüllung mit Wachs	31
7.4	PE-Ummantelung	31
7.5	Verankerung	31
8	Seilprüfung	32
8.1	Allgemein	32
8.2	VVS	33
8.3	Kabel	34
8.4	LBS	35
9	Schlussfolgerungen	37
	Literatur	38
	Bilder	40

1 Einleitung

Seilverspannte Brücken bilden nur einen geringen Anteil des gesamten Brückenbestandes im deutschen Straßen- und Wegenetz. Sie stellen aber wegen ihrer vielen Besonderheiten sowohl für den Entwurf und für die Bauausführung als auch für die Bauwerksprüfung eine besondere Herausforderung dar und bedürfen spezieller Fachkenntnisse. Auch für den Korrosionsschutz gelten bei Brückenseilen andere Rahmenbedingungen als bei herkömmlichen Stahlbauten.

Ein funktionierender Korrosionsschutz ist für Seile 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 [1]. Eine Reduzierung der Querschnittsfläche hat hier ungleich größere Auswirkungen als bei einem Bauteil, welches mehrfach redundant ist.

Die große Vielfalt an existierenden Brückensystemen und Seiltypen mit jeweils auch wieder konstruktiven Unterschieden machen meist einen objektspezifischen Umgang mit Brückenseilen erforderlich. Weiterentwicklungen beim Korrosionsschutz und bei Seilprüfungen tragen zur zunehmenden Komplexität bei.

2 Ziel und Aufgabenstellung

Da der Korrosionsschutz das maßgebende Kriterium für die Dauerhaftigkeit von Brückenseilen darstellt, ist die regelmäßige Überprüfung des Korrosionsschutzes von besonderer Bedeutung. Während bei Planung, Bau und ggf. Reparatur von Brückenseilen in aller Regel Spezialisten zu Rate gezogen werden, erfolgen sowohl Ausschreibung als auch Ausführung der Bauwerksprüfung mitunter durch Personen, die trotz ihrer Qualifikation im Bereich des Brückenbaus nur eingeschränkte Expertise im Bereich der Brückenseile mitbringen.

Ziel des vorliegenden Dokuments ist es, allen Beteiligten einen Überblick über die verschiedenen Seiltypen und deren Korrosionsschutzsysteme zu geben und eine Entscheidungshilfe für die Veranlassung und Durchführung von Seilprüfungen zur Verfügung zu stellen.

Zu diesem Zweck werden zunächst die relevanten Brückensysteme und die verschiedenen Seiltypen dargestellt. Darauf aufbauend erfolgt für jeden Typ eine detaillierte Beschreibung der Komponenten und Varianten des jeweiligen Korrosionsschutzes. Abschließend wird das Thema Seilprüfung näher erörtert.

Die gesamte Betrachtung beschränkt sich auf die in Deutschland üblichen Ausführungen.

3 Seilverspannte Brücken

3.1 Allgemein

Brücken mit hochfesten Zuggliedern können eingeteilt werden in

- Hängebrücken,
- Schrägseilbrücken,
- Bogenbrücken,
- Unterspannte Brücken,

wobei die einzelnen Systeme erdverankert oder in sich verankert sein können (Bild 3-1). Die beiden wichtigsten Typen sind die erdverankerte (echte) Hängebrücke und die in sich verankerte Schrägseilbrücke.

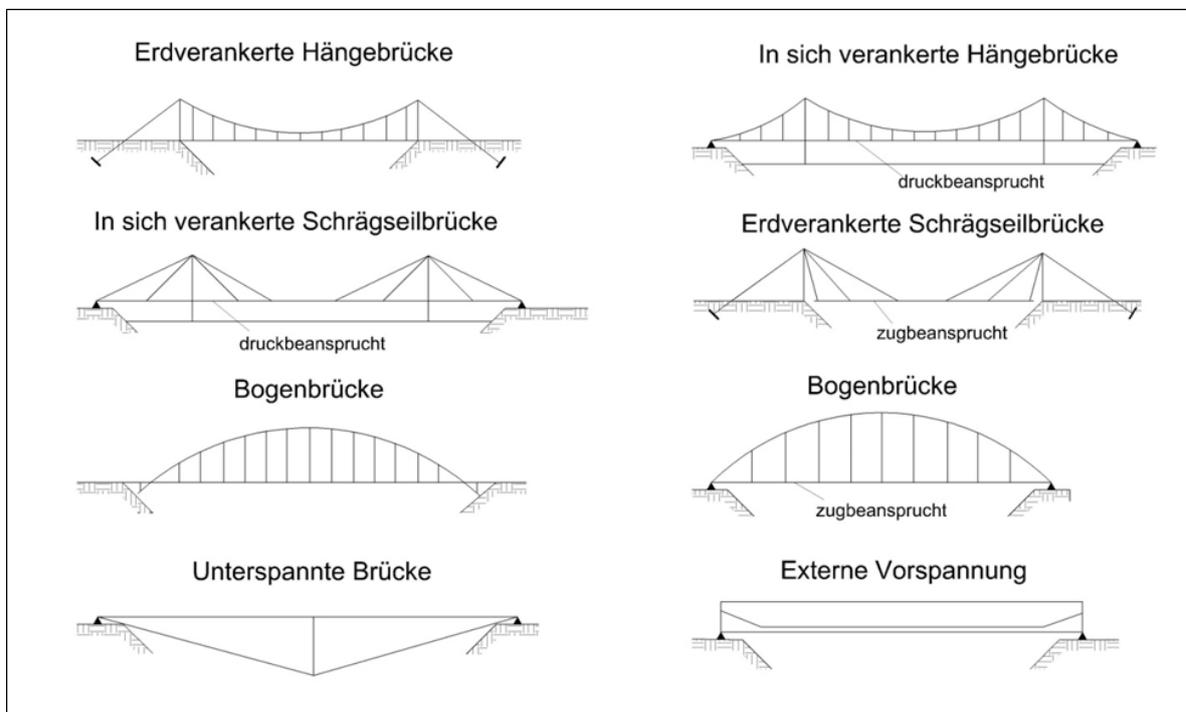


Bild 3-1: Seilverspannte Brücken, Übersicht

3.2 Hängebrücken

Hängebrücken sind das älteste System für weitgespannte Brücken; schon vor 3000 Jahren wurden in China Ketten-Hängebrücken und in Südamerika in präkolumbianischer Zeit Lianenhängebrücken gebaut. Der Bau moderner Hängebrücken begann mit der Erfindung des hochfesten Stahldrahtes in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Zunehmend mit der Drahtfestigkeit wuchsen auch die Stützweiten. Der Spannweitenrekord wird zurzeit von der Akashi Strait Brücke mit 1990 m gehalten, der Entwurf für die Brücke über die Straße von Messina hat eine Mittelöffnung von 3300 m.

Für die in Deutschland topografisch bedingten Spannweiten von maximal 500 m sind Hängebrücken gegenüber Schrägseilbrücken seit einiger Zeit wirtschaftlich nicht länger

konkurrenzfähig. Folglich ist mit dem Bau neuer Hängebrücken in Deutschland zukünftig nicht zu rechnen. Allerdings befinden sich einige solcher Bauwerke im Bestand und müssen regelmäßig geprüft und gewartet werden.

3.3 Schrägseilbrücken

Die Entwicklung moderner Schrägseilbrücken, wie sie heute in der ganzen Welt gebaut werden, begann in den 1950er Jahren in Deutschland.

Eine der ersten der großen Brücken dieser 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 3-2). Die meist ästhetisch ansprechenden Bauwerke repräsentieren den, entwicklungstechnisch gesehen, jüngsten Brückentyp. Ihre wesentlichen Vorteile gegenüber erdverankerten Hängebrücken sind:

- Anstelle des aufwendigen Widerlagers genügt ein einfacher Trennpfeiler,
- da Schrägseilbrücken in sich verankert sind, kann erforderlichenfalls die ganze Brücke verschoben werden,



Bild 3-2: Theodor-Heuss-Brücke Düsseldorf

- die Verformungen unter konzentrierten oder ungleichmäßig verteilten Lasten sind deutlich geringer als bei Hängebrücken, was vor allem bei Eisenbahnbrücken wichtig ist,
- bei Vielseilsystemen können die Seile einzeln ausgewechselt werden (Bild 3-3 und Bild 3-4),
- Schrägseilbrücken können auch als einhüftige Bauwerke mit nur einem Pylon gebaut werden (Bild 3-4 und Bild 3-5).

Mit der im Jahr 2000 fertig gestellten Stonecutters Brücke in Hong Kong wurde erstmals die 1000 m-Marke übersprungen.

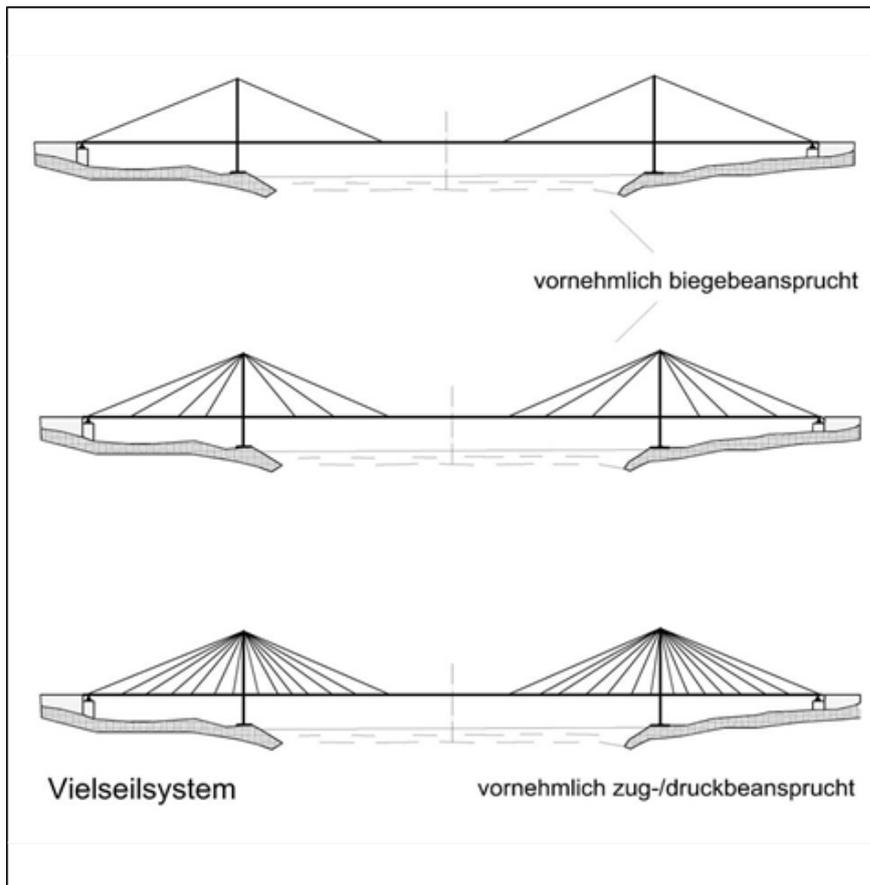


Bild 3-3: Entwicklung des Haupttragwerks von Schrägseilbrücken

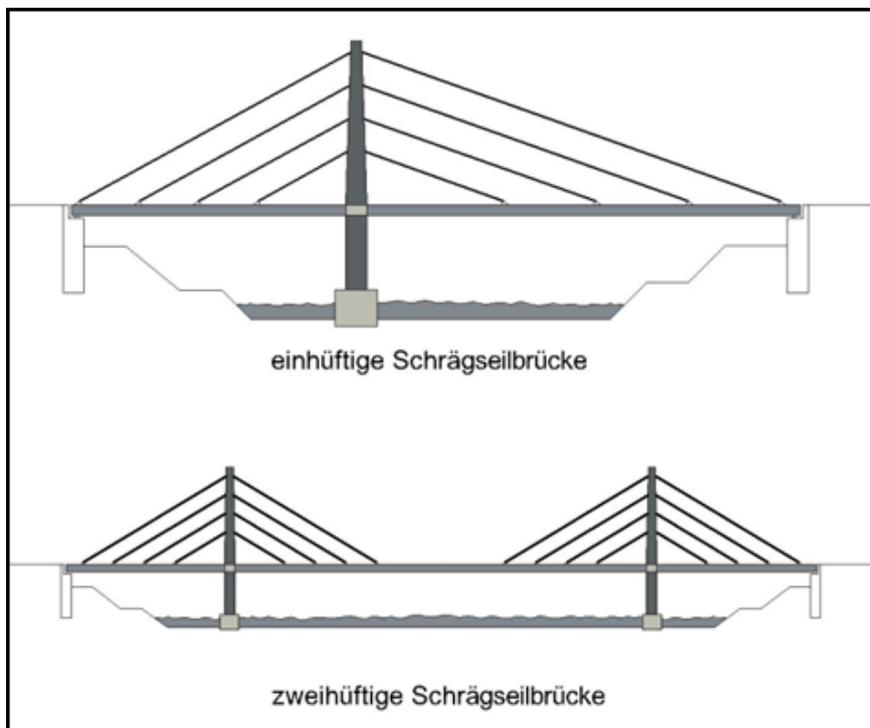


Bild 3-4: Schrägseilbrücken (mit einem und mit zwei Pylonen)



Bild 3-5: Einhüftige Schrägseilbrücke (Straßen NRW)

4 Brückenseile

4.1 Allgemein

Traditionell wurden in Deutschland vollverschlossene Spiralseile (VVS) benutzt, die in gebündelter Anordnung als Kabel bezeichnet werden. Bei den jüngsten Bauwerken kommen mitunter spezielle Zugelemente zum Einsatz, die den Spanngliedern im Spannbetonbau ähneln, sogenannte Litzenbündelseile (LBS).

4.2 Vollverschlossene Spiralseile (VVS)

Bei vollverschlossenen Spiralseilen sind um einen inneren Kern aus mehreren Lagen von Runddrähten mehrere Lagen Profildrähte angeordnet (Bild 4-1). Um einen Kerndraht werden in der ersten Lage sechs 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.

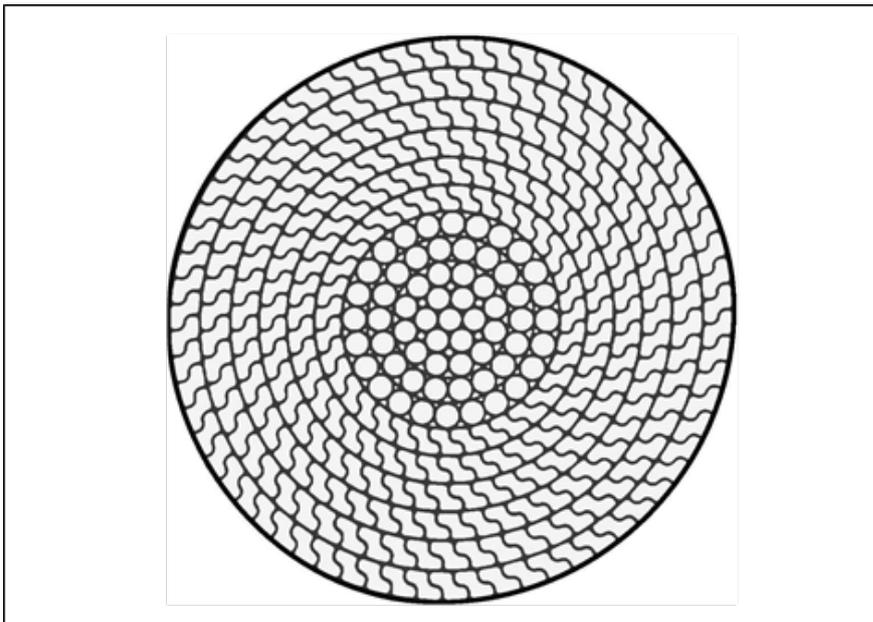


Bild 4-1: Querschnitt eines vollverschlossenen Seils

Darüber hinaus wird der Korrosionsschutz durch die Kombination von drei Schutzsystemen gewährleistet, die in Kap. 5 näher beschrieben werden:

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

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 [2].

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 Vergusshülse mit konisch ausgebildetem Innenraum platziert und anschließend mit einer Metall-Legierung vergossen (Bild 4-2 bis Bild 4-4).



Bild 4-2: Aufgefächertes Seilbesen

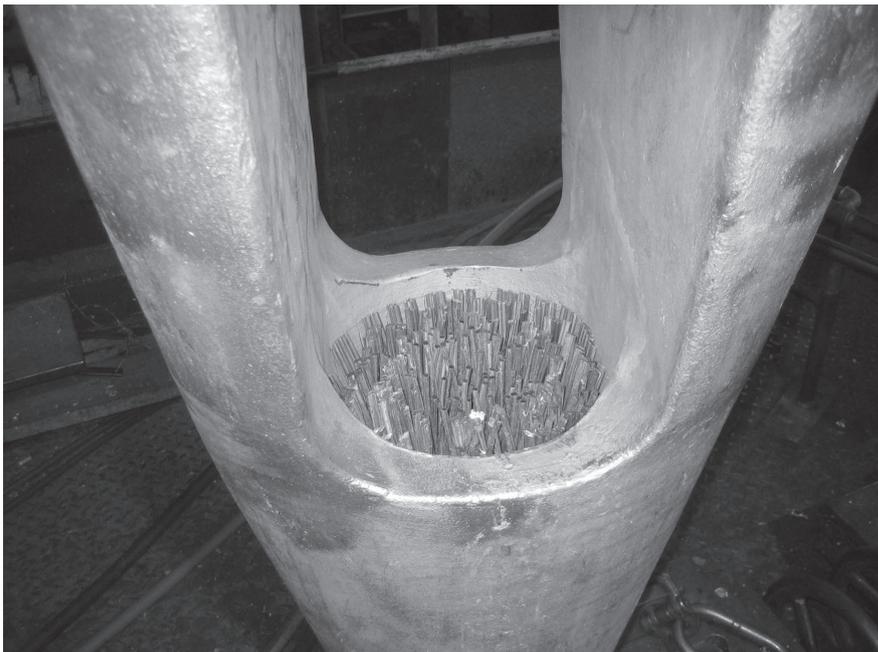


Bild 4-3: Seilbesen in Vergusshülse (Bridon-Bekaert)



Bild 4-4: Verguss mit Metalllegierung (Bridon-Bekaert)

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 [3]. Um diesen konusförmigen Teil herum können die Verankerungen frei gestaltet werden. Übliche Ausführungen sind Hammerkopf-Vergusshülsen (Bild 4-5) für den Festanker im Pylon und zylindrische Vergusshülsen mit Außen- und Innengewinde (Bild 4-6) für den Spannanker im Brückenüberbau.

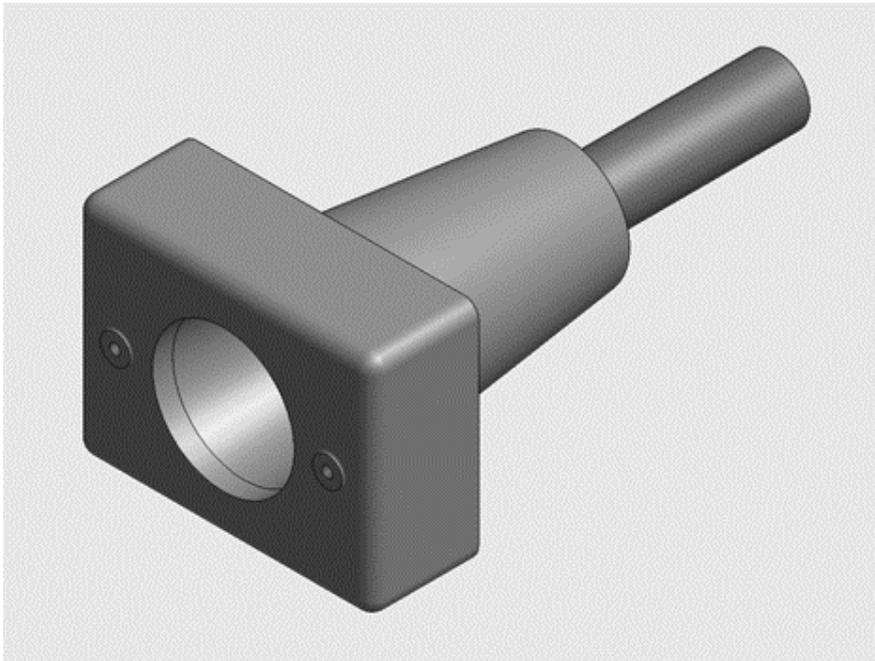


Bild 4-5: Hammerseilkopf

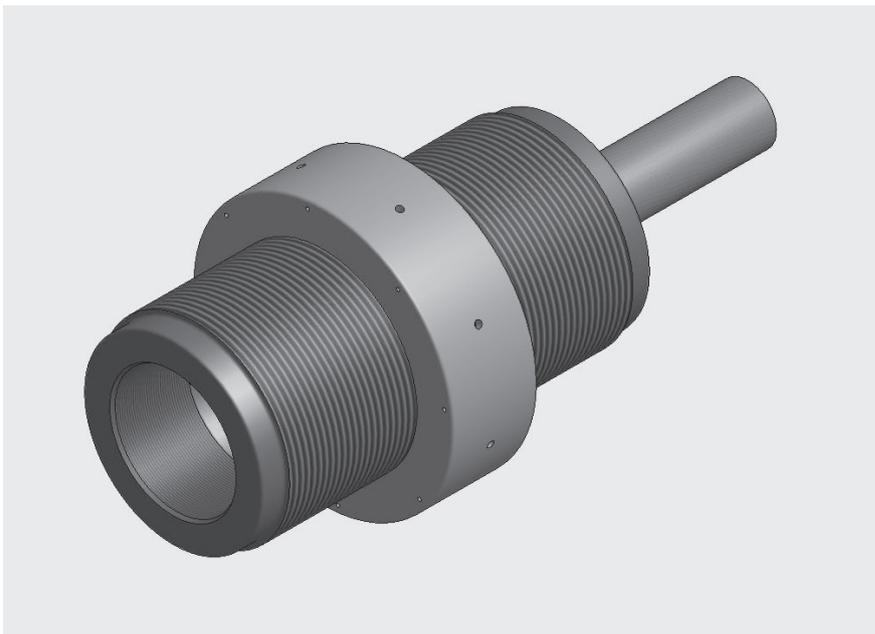


Bild 4-6: Zylindrischer Seilkopf

4.3 Kabel

Vollverschlossene Spiralseile in gebündelter Anordnung werden als Kabel bezeichnet. Obwohl diese Ausführungsart nicht dem aktuellen Stand der Technik entspricht und daher beim Neubau von Brücken in Deutschland keine Anwendung mehr findet, gibt es im Bestand einige Bauwerke mit Kabeln, die regelmäßig geprüft und gewartet werden müssen. Dabei handelt es sich um Haupttragkabel von Hängebrücken und um Kabel bei älteren Schrägseilbrücken, die noch nicht als Vielseilsystem konzipiert worden sind.

Anzahl und Anordnung der zu Kabeln gebündelten VVS können bauwerksabhängig sehr stark variieren. Die Kabel der alten Rheinbrücke Leverkusen bestehen beispielsweise aus 19 in einem Sechseck angeordneten VVS (Bild 4-7 und Bild 4-8).



Bild 4-7: Kabel im Querschnitt (Rheinbrücke Leverkusen)



Bild 4-8: Austrittsstelle Überbau (Rheinbrücke Leverkusen)

Um die vollverschlossenen Spiralseile eines Kabels verankern zu können, müssen sie gespreizt werden. Dies erfolgt in der Regel mittels einer Spreizschelle, mit der Umlenk radien gewährleistet werden, die den 30-fachen Radius des Seildurchmessers nicht unterschreiten (Bild 4-9). Die Verankerung der gespreizten VVS erfolgt schließlich über aufwändig konstruierte Traversen (Bild 4-10). In diesem Bereich sind Untersuchungen im Rahmen der Bauwerksprüfung nur sehr eingeschränkt möglich.

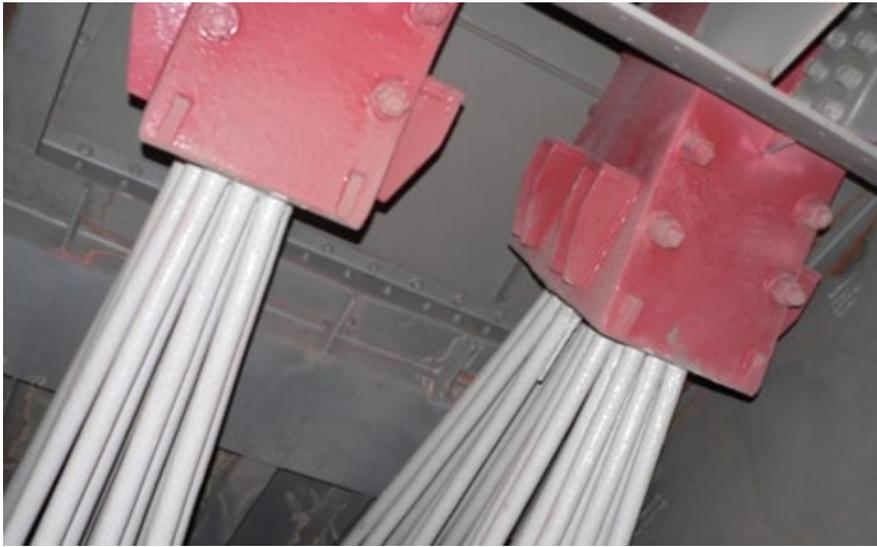


Bild 4-9: Spreizschelle; Hohlkasten (Rheinbrücke Leverkusen)



Bild 4-10: Verankerung; Seilkammer (Rheinbrücke Leverkusen)

4.4 Litzenbündelseile (LBS)

Litzenbündelseile (LBS) sind Zugglieder, die aus zueinander parallelen Schrägseillitzen 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.

Die einzelnen Schrägseillitzen bestehen aus 7 glatten Runddrähten, die von einem Polyethylen-Mantel umschlossen werden (Bild 4-11).

Dabei sind jeweils sechs Drähte spiralförmig um einen Kerndraht angeordnet. Die Anzahl der Schrägseillitzen pro LBS kann variieren. Bei der Rheinbrücke Wesel sind z. B. sowohl Seile mit 34 als auch mit 52 Schrägseillitzen im Einsatz.

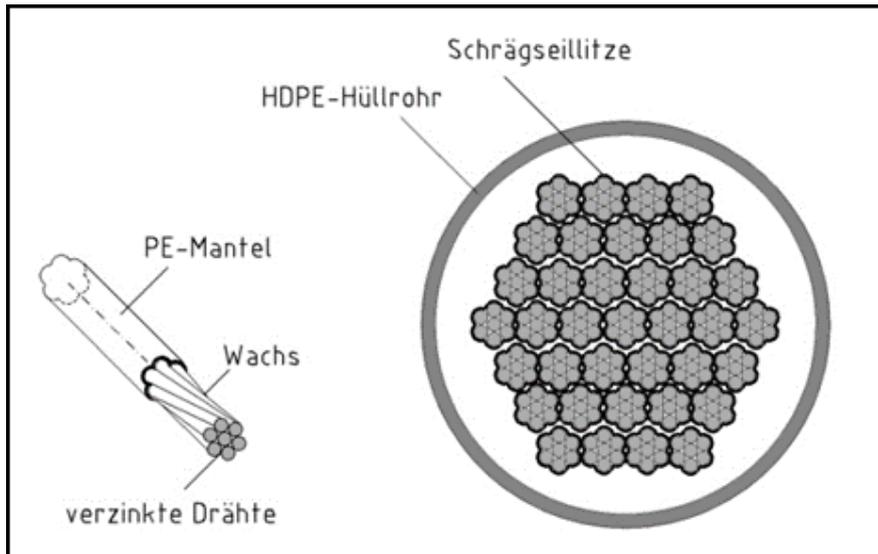


Bild 4-11: Litzenbündelseil (Einzellitze + Querschnitt)

Die Litzen werden in einer Verrohrung geführt, die aus einem dickwandigen HDPE-Hüllrohr besteht und zum Schutz vor Witterungseinflüssen und mechanischer Beschädigung dient (Bild 4-11). Durch eine außen aufgebrachte Wendel lassen sich Regen-Wind-induzierte Schwingungen vermeiden. Die Haupttragelemente sind kaltgezogene Drähte, die eine sehr hohe Zugfestigkeit erreichen. Gemäß den ZTV-ING 4-4 [2] beträgt ihre maximal zulässige Nennfestigkeit 1770 N/mm^2 .

Der Korrosionsschutz der Litzen wird durch die Kombination von drei Komponenten gewährleistet, die näher in Kap. 7 beschrieben werden:

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

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 Schrägseillitzen werden jeweils mittels dreiteiliger, hochschwingfester Keile in einem massiven Ankerblock verankert (Bild 4-12 und Bild 4-13). 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 [4]. 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, aber ohne Ringmutter.

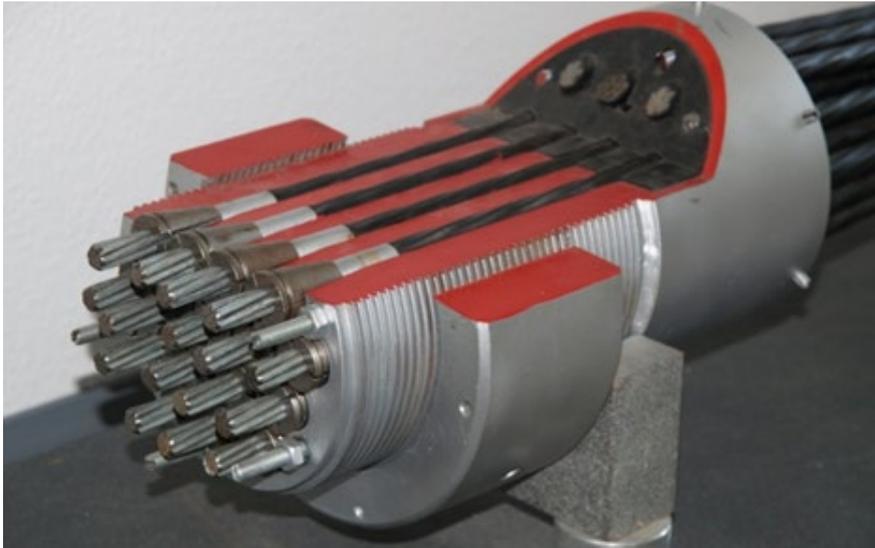


Bild 4-12: LBS-Verankerung (Modell Ankerblock)

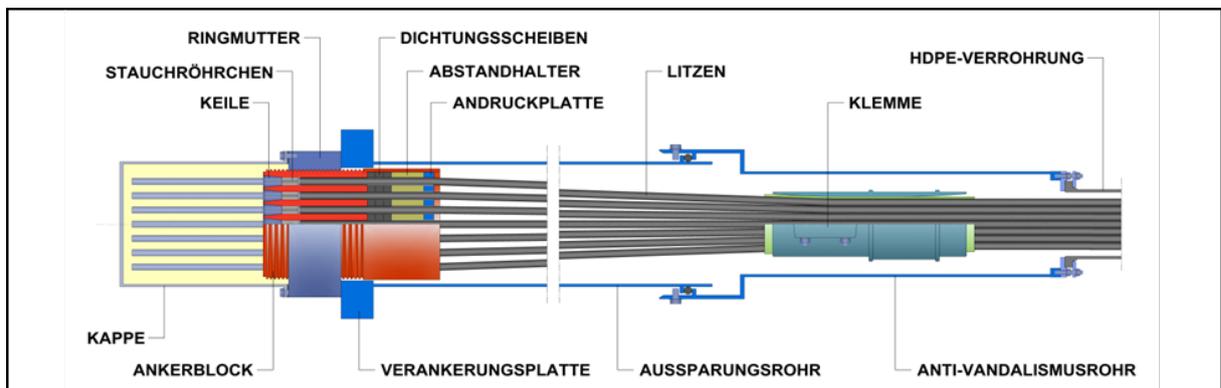


Bild 4-13: LBS-Verankerung (DYWIDAG Systems International GmbH)

Die Litzenbündelseile werden aus ihren einzelnen vorgefertigten Komponenten komplett auf der Baustelle hergestellt. Mit Montage der ersten Litze, auch Richtlitze genannt, werden die Hüllrohre mit dieser installiert (Bild 4-14) und dann alle weiteren Litzen eingezogen und mit den relativ kleinen Litzenpressen gespannt (Bild 4-15). Durch einen ausgeklügelten Spannvorgang wird dafür gesorgt, dass alle Litzen eines Bündels die gleiche Kraft erhalten.



Bild 4-14: Einheben der Verrohrung



Bild 4-15: Spannen mit einer Monolitzenpresse

5 Korrosionsschutz von VVS

5.1 Allgemein

Der Korrosionsschutz von vollverschlossenen Spiralseilen wird durch das Konstruktionsprinzip mit einer weitgehend geschlossenen Oberfläche und durch die Kombination von drei Schutzsystemen gewährleistet:

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

5.2 Feuerverzinkung der Drähte

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 gegenüber herkömmlichen Zink-Überzügen mindestens gleichwertige Haftung der Beschichtung auf der neuen Verzinkungsart nachgewiesen [5].

5.3 Seilverfüllmittel

Seilverfüllmittel sind viskos eingestellte Stoffe für die Verfüllung der Hohlräume in einem vollverschlossenen Seil. Sie werden beim Verseilvorgang in das innere Gefüge des Seils eingebracht (Bild 5-1) und dienen der Verminderung der inneren Reibung zwischen den Drähten (Schmierung) sowie einem dauerhaften, inneren Korrosionsschutz aller Drahtoberflächen. Die rheologischen Eigenschaften des Seilverfüllmittels sind so einzustellen und die Dosierung ist so vorzunehmen, dass alle Hohlräume im Seil vollständig verfüllt sind und dass es nach der Montage und Belastung des Seils aus dem Seilinneren möglichst nicht austritt.

Seilverfüllmittel müssen dem Prüfregime gemäß TL/TP VVS [6] entsprechen. Das damit nachgewiesene Leistungsvermögen umfasst folgende Aspekte und Anforderungsbereiche [7]:

- Fingerprint
- Schmierwirkung
- Alterungsbeständigkeit
- Korrosionsschutz
- Ausblutverhalten

Um das sogenannte Bluten der Seile, also den Austritt von Seilverfüllmittel an die Seiloberfläche, nach dem Spannen zu vermeiden wird in der Regel auf eine Verfüllung der beiden äußeren Z-Drahtlagen verzichtet.

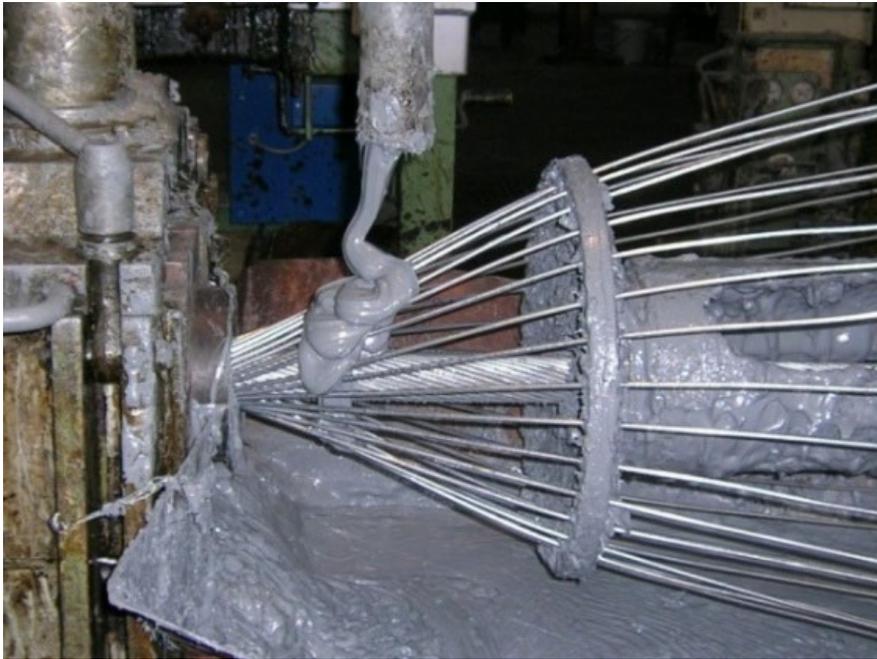


Bild 5-1: Einbringen des Seilverfüllmittels (Bridon-Bekaert)

5.4 Äußerer Korrosionsschutz

5.4.1 Allgemein

Neben dem bewährten Prinzip der Beschichtung gibt es mit der Umwicklung und der Ummantelung neuerdings auch alternative Verfahren für den äußeren Korrosionsschutz von VVS. Die Umwicklung wurde bereits bei mehreren Bauwerken erfolgreich eingesetzt und ist auch für die Erneuerung des äußeren Korrosionsschutzes bei bestehenden VVS mit Beschichtung geeignet. Die Ummantelung erfolgt werksseitig bei neuen VVS und befindet sich derzeit noch in der Erprobungsphase. Bei allen Verfahren wird insbesondere auch der Übergang zur Verankerung betrachtet.

5.4.2 Beschichtung

Beschichtungssysteme bestehen in der Regel aus einer Grundbeschichtung auf Epoxidharzbasis mit Eisenglimmer, sowie zwei Zwischenbeschichtungen und einer Deckbeschichtung jeweils auf Polyurethanbasis (Bild 5-2). Sie müssen den ZTV-ING 4-5 [8], den TL-KOR-VVS [9] und den TP-KOR-VVS [10] entsprechen. Die Schutzdauer beträgt mindestens 25 Jahre.



Bild 5-2: VVS mit äußerer Beschichtung

Die Applikation der Beschichtung erfolgt im eingebauten Zustand per Pinsel. Um die dafür erforderliche Zugänglichkeit zu gewährleisten, müssen Gerüste, Einhausungen o. ä. errichtet werden.

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 5-3).

Der Erneuerungszyklus für Beschichtungssysteme 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.



Bild 5-3: Neoprenhauben zur Abdichtung

5.4.3 Umwicklung

Bei der Umwicklung handelt es sich um ein Korrosionsschutzverfahren mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung (AbZ) für tragende Stahlseile [11].

Das Korrosionsschutzsystem besteht aus zwei Lagen von Butylkautschukbändern, die jeweils mit 50%iger Überlappung um das Seil gewickelt werden (Bild 5-4). Die äußere Butylkautschuklage weist eine UV-stabilisierte PE-Folie an der Oberfläche auf. Die Gesamtdicke beträgt etwa 2,6 mm. In den Überlappungsbereichen kommt es über die Schichtgrenzen hinweg durch Interdiffusion der Kautschukmoleküle zu einer Kaltverschweißung der Bänder.



Bild 5-4: Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschukbändern [3]

Dadurch entsteht eine geschlossene schlauchartige, mechanisch sehr widerstandsfähige und robuste Hülle, die praktisch undurchlässig für Wasserdampf und Sauerstoff ist. Die Bänder werden unmittelbar auf die trockene, von allen losen Bestandteilen befreite Seiloberfläche aufgebracht. Weitere Details zu den Butylkautschukbändern sind in [12] beschrieben.

Um die Überlappung günstig gegenüber dem natürlichen Lauf des Wassers auszurichten, sollen die Korrosionsschutzbänder stets von unten nach oben gewickelt werden. Die Wicklung wird also vom Anfangsbereich des Seils (Verankerung am Überbau) über die freie Länge zum Endbereich (Verankerung am Pylon) ausgeführt. Dabei ist grundsätzlich zwischen der freien Länge und dem Anfangs- und Endbereich der Brückenseile zu unterscheiden.

Auf der freien Länge werden die Korrosionsschutzbänder mit Hilfe eines Wickelroboters um die eingebauten Schrägseile gewickelt. Daher sind für die Applikation keine Gerüste, Hubsteiger oder Einhausungen notwendig, wodurch sich Kosten- und Zeitvorteile ergeben. Der Wickelroboter (Bild 5-5) ist Bestandteil eines Gerätesystems, das aus einem Befahrgerät und aus verschiedenen Zusatzmodulen besteht. Je nach Einsatzzweck kann das Befahrgerät mit einem visuellen Inspektionssystem, einem magnetinduktiven Prüfgerät, einer Polyethylen-Wendel-Schweißeinheit oder einem Wickelroboter ausgerüstet werden.



Bild 5-5: Wickelroboter (Talbrücke Obere Argen) [13]

Bei den Anschlüssen an den Verankerungen im Anfangs- und Endbereich der Seile werden die Korrosionsschutzbänder von Hand oder mit Hilfe eines Handwickelgerätes aufgebracht. Um eine optimierte Haftung der Bänder auf der Seiloberfläche zu erreichen, erfolgt hier in der Regel eine Grundbeschichtung mittels Primer.

Der Anschluss an den Verankerungen muss so ausgeführt werden, dass ein Eindringen von Feuchtigkeit ausgeschlossen ist. Dies kann z.B. durch die Ausbildung einer Kehlfuge mit dauerplastischem Material erfolgen (Bild 5-6) oder in Form eines Übergangs zwischen den Korrosionsschutzbändern und einer herkömmlichen Korrosionsschutzbeschichtung (Bild 5-7). Hier installierte Schwingungsdämpfer müssen ggf. entfernt und nach der Applikation neu montiert werden.



Bild 5-6: Anschluss mittels Kehlfuge (Fuß- und Radwegbrücke Kehl) [13]



Bild 5-7: Anschluss oberhalb des Brückendecks (Köhlbrandbrücke)

5.4.4 Ummantelung

Bei der Ummantelung handelt es sich um ein neues Verfahren zum äußeren Korrosionsschutz und UV-Schutz von Brückenseilen durch werkseitige Applikation einer Kunststoffumhüllung aus Hart-Polyethylen (HDPE). Die Ummantelung kann in einer oder in zwei Lagen erfolgen, wobei die Dicke einer Lage in Abhängigkeit vom Seildurchmesser zwischen 6 mm und 11 mm beträgt (Bild 5-8).

Bei HDPE-ummantelten VVS besteht die Notwendigkeit, die Verankerungen mittels Kaltverguss herzustellen, da ein Warmverguss aufgrund der thermischen Beanspruchung zur Schädigung / Beeinträchtigung der Ummantelung führen würde.

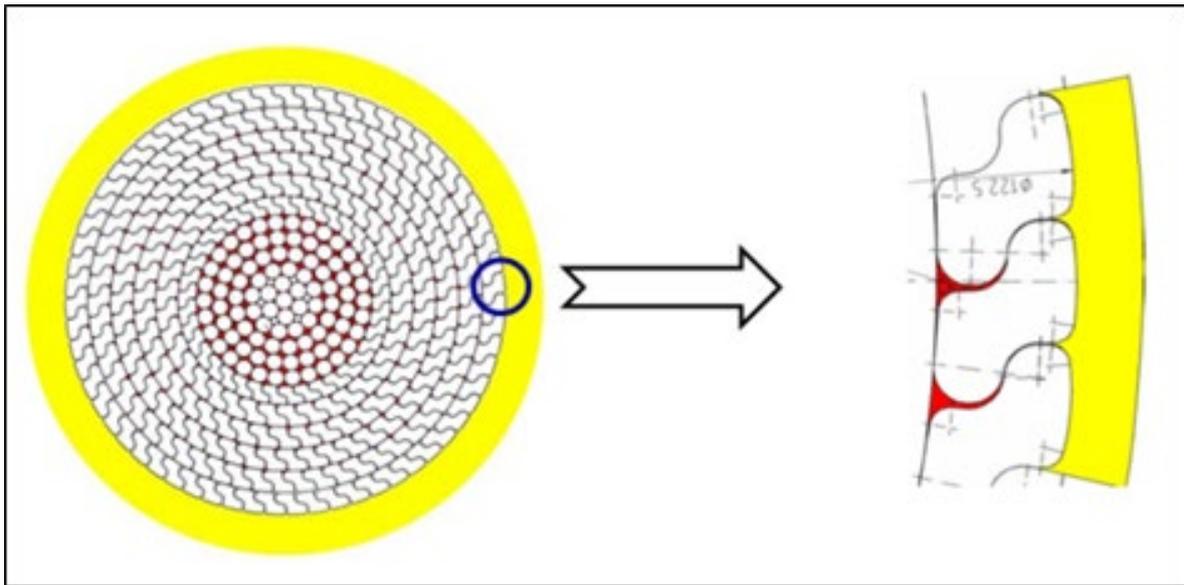


Bild 5-8: VVS mit einlagiger HDPE Ummantelung (Bridon-Bekaert)

Die Abdichtung des Übergangs von der freien Länge zur Verankerung erfolgt mit einer Übergangsmuffe.

Aktuell befindet sich die Ummantelung als neue Variante für den Korrosionsschutz von VVS in der Erprobungsphase. Pilotprojekte können mit einer Zustimmung im Einzelfall (ZiE) realisiert werden. Momentan befindet sich ein solches Projekt in der Umsetzung, so dass in absehbarer Zeit mit ersten Erkenntnissen zu rechnen ist.

6 Korrosionsschutz von Kabeln

6.1 Allgemein

Da Kabel im Gegensatz zu Einzelseilen nicht oder nur mit extremem Aufwand ausgetauscht werden können, ist hier der Korrosionsschutz von noch größerer Bedeutung. Der Korrosionsschutz von Kabeln muss den ZTV-ING 4-5 [8], den TL-KOR-VVS [9] und den TP-KOR-VVS [10] entsprechen.

6.2 Freie Länge

Die Kabel wurden zusätzlich oder anstatt der Beschichtung mit einem Mantel aus speziellen Dichtstoffen umhüllt. Die Hohlräume im Inneren zwischen den einzelnen Seilen wurden mit Injizierstoffen verpresst (Bild 6-1 bis Bild 6-3). Nach heutiger Erkenntnis muss festgestellt werden, dass der äußere Mantel nicht als dauerhafter Korrosionsschutz geeignet ist. Durch Undichtigkeiten oder Kondenswasser können Feuchtigkeitsansammlungen unter der Hülle entstehen, die Korrosion bewirken. [1]

6.3 Verankerung

Da die gespreizten Seile im Bereich der Verankerung meist nur schlecht zugänglich sind (Bild 4-10), wurden sie in vielen Fällen bereits vor dem Einbau beschichtet. Im Zuge einer Erneuerung des Korrosionsschutzes müssen jedoch alle zugehörigen Arbeiten auf engstem Raum durchgeführt werden.

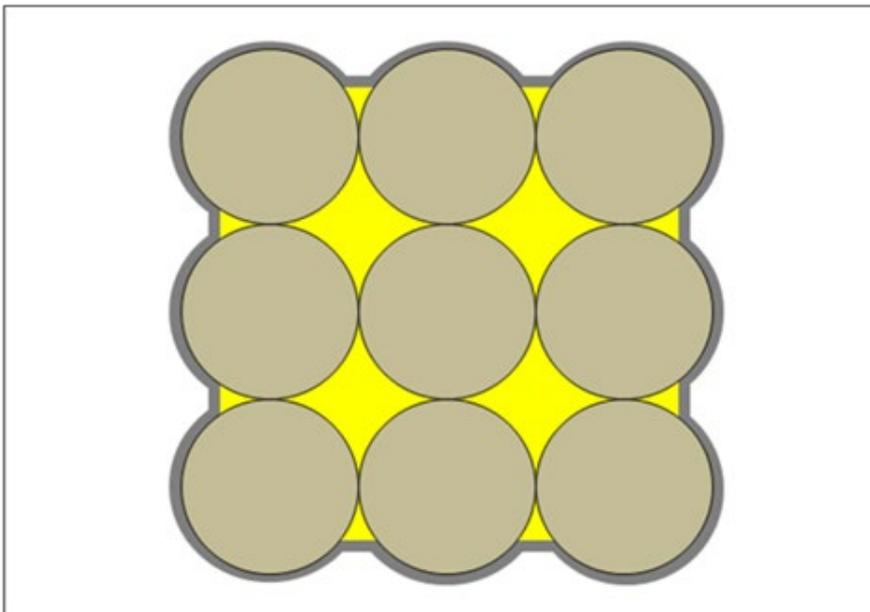


Bild 6-1: Kabelquerschnitt mit Injizierstoff in den Hohlräumen



Bild 6-2: Kabel im Bereich der Einleitung ins Brückendeck (Severinsbrücke)



Bild 6-3: Kabel nach Entfernen des äußeren Korrosionsschutzes im Anschlussbereich der Seilkopplung (Severinsbrücke)

Insbesondere die Ausführung von einwandfreiem Strahlen oder Sandstrahlen ist hier nahezu unmöglich. Um dennoch eine ausreichende Dauerhaftigkeit zu erreichen, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um das Eindringen von Feuchtigkeit im Verankerungsbereich zu vermeiden.

7 Korrosionsschutz von LBS

7.1 Allgemein

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

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

Gemäß den ZTV-ING 4-4 [2], dürfen nur LBS mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung (AbZ) oder entsprechender europäischer technischer Bewertung (ETA) plus allgemeiner Bauartgenehmigung verwendet werden. Hier sind unter anderem Anforderungen an den Korrosionsschutz enthalten.

7.2 Feuerverzinkung der Drähte

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).

7.3 Verfüllung mit Wachs

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 [14].

7.4 PE-Ummantelung

Auf jede Schrägseillitze 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.

7.5 Verankerung

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 4-12 und Bild 4-13).

8 Seilprüfung

8.1 Allgemein

Brückenseile müssen genauso wie das Gesamtbauwerk während der Nutzungsdauer in regelmäßigen Abständen entsprechend DIN 1076 alle sechs Jahre handnah geprüft werden. Aufgrund der schwierigen Zugänglichkeit ist die handnahe Prüfung bei Brückenseilen häufig nur mit Hilfe von aufwändigen Besichtigungsgeräten möglich. Deshalb bedeutet die Bauwerksprüfung von Brückenseilen für die zuständigen Baulastträger auch einen erheblichen Zeit- und Kostenaufwand. Außerdem ist die Prüfung der Seile meist mit starken Verkehrsbeeinträchtigungen verbunden, da zur Aufstellung der Besichtigungsgeräte häufig die Fahrbahnbreite eingeschränkt werden muss. Während die Prüfung der Seile von kleineren Brücken vom Hubsteiger aus erfolgen kann, müssen für große Brücken andere Besichtigungsgeräte eingesetzt werden. [1]

Die Prüfung im Bereich der freien Länge kann ganz oder teilweise durch die Anwendung von zerstörungsfreien Prüfverfahren und den Einsatz von Seilbefahrgeräten durchgeführt werden (Bild 8-1, Bild 8-2). Voraussetzung dafür ist insbesondere ein ausreichender Abstand der einzelnen Seile zueinander.



Bild 8-1: Seilbefahrgerät im Einsatz I



Bild 8-2: Seilbefahrgerät im Einsatz II

Die Seilbefahrgeräte können mit verschiedenen Modulen ausgestattet werden, wie z. B. mit Kameras oder Geräten zur magnetinduktiven Prüfung. Mit der magnetinduktiven Prüfung lassen sich Querschnittsminderungen infolge von Drahtbrüchen und/oder Korrosionserscheinungen auch im Inneren der Seile feststellen. Zu den zerstörungsfreien Prüfverfahren zählt darüber hinaus auch die Schwingungsuntersuchung mit Frequenzmessung. Über die Eigenfrequenzen kann die Seilkraft berechnet und mit den Sollwerten verglichen werden. Änderungen der Eigenfrequenz sind ein Indiz für veränderte Steifigkeiten im Seil und ein Hinweis auf eventuelle Drahtbrüche. Ein direkter Rückschluss auf Art, Ort und Umfang eventueller Schäden ist jedoch nicht möglich. Voraussetzung für die Anwendung ist eine sogenannte Nullmessung zum Vergleich. Diese sollte im Zusammenhang mit der Abnahme des Bauwerks bzw. mit der 1. Hauptprüfung durchgeführt werden.

Die Seilverankerungen lassen sich am besten handnah prüfen, wenn sie vom Überbau oder Pylon aus direkt zugänglich sind. Andernfalls sind auch dafür je nach Bauwerksgeometrie Brückenuntersichtgeräte, Hubsteiger oder Gerüste erforderlich. Gegebenenfalls kann auch der Einsatz von Industriekletterern hilfreich sein.

Im Anhang A der ZTV-ING 4-4 [2] sind Tabellen mit Hinweisen zu Prüfverfahren und Prüfmitteln enthalten.

8.2 VVS

Ein wesentlicher Bestandteil der Prüfung von VVS ist die visuelle Bauwerksprüfung. Sie erstreckt sich sowohl auf die freie Länge des Seils als auch auf die Verankerungspunkte und alle eventuellen weiteren Bauteile wie z. B. Dichtungsmanschetten, Dämpfer und Auskreuzungen.

Bei VVS dient die visuelle Prüfung auf der freien Länge zur Beurteilung des Zustandes der Korrosionsschutzbeschichtung und zum Auffinden von Drahtbrüchen in der äußeren Drahtlage (Bild 8-3).



Bild 8-3: Zwei Drahtbrüche in der äußeren Drahtlage

Um diese Prüfung auch ohne aufwändige Einrüstungen durchführen zu können, wurden mit mehreren Video-Kameras bestückte Seilbefahrergeräte entwickelt. Die Kameras sind so angeordnet, dass die gesamte Seiloberfläche lückenlos erfasst wird. Die Auswertung der Aufnahmen erfolgt derzeit noch nicht automatisiert mit einem Computerprogramm zur Schadenserkennung, sondern muss durch den Brückenprüfer im Nachhinein am Bildschirm erfolgen. Die Bildaufzeichnung kann während der Befahrung auf einem Monitor mitverfolgt werden. Für die Durchführung der Prüfung sind 2-3 Personen erforderlich. Hebezeug wird nicht benötigt, und die Verkehrsbeeinträchtigungen sind gering. Die so identifizierten potentiellen Schadstellen können dann am Objekt (z. B. mittels Hubsteiger) gezielt in Augenschein genommen und mit Hilfe der RI-EBW-PRÜF [15] bewertet werden. Bei der Bewertung von Drahtbrüchen sind die Anzahl der Drahtbrüche, der Abstand untereinander in Längsrichtung, die Lage im Querschnitt (äußerer oder innerer Bruch) und die zeitliche Schadensentwicklung zu betrachten.

Bei der visuellen Prüfung von Verankerungen stehen neben der Untersuchung auf mechanische Beschädigungen und Schlupf vor allem auch der Zustand des Korrosionsschutzes und die Prüfung auf Feuchtigkeitsansammlungen im Vordergrund. Darüber hinaus lassen sich per Ultraschallprüfung Drahtbrüche bzw. Anrisse im Verankerungsbereich identifizieren.

Mittels zerstörungsfreier Prüfverfahren, wie der magnetinduktiven Prüfung oder Schwingungsuntersuchungen können auch Drahtbrüche im Seilinneren identifiziert werden.

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

8.3 Kabel

Für die Wartung und Prüfung ist die Ausführung mit Kabeln von erheblichem Nachteil. Ein entscheidendes Defizit besteht in der Unzugänglichkeit des Kabelinneren sowohl für die Bauwerksprüfung als auch für eine Instandsetzung des Korrosionsschutzes. Im Rahmen der alle sechs Jahre durchzuführenden Hauptprüfung kann lediglich die Außenfläche der

Kabel untersucht werden. Zudem sind die marktüblichen Seilbefahrgeräte für Kabel nicht geeignet.

Um das Kabelinnere beurteilen zu können, müssen die einzelnen VVS gespreizt werden. Eine solche Kabelspreizung kann zu Prüfzwecken temporär erfolgen (Bild 8-4) oder auch dauerhaft vorgesehen werden (Bild 8-5).



Bild 8-4: Temporäre Kabelspreizung (Rheinbrücke Emmerich)



Bild 8-5: Dauerhafte Kabelspreizung (Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp)

8.4 LBS

Aufgrund der Verrohrung sind die Schrägeilliten von LBS auf der freien Länge nicht sichtbar und somit auch nicht visuell prüfbar. Es können lediglich Beschädigungen am Hüllrohr festgestellt werden. Daher sind zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie die magnetinduktive Prüfung oder Schwingungsuntersuchungen, bei LBS unverzichtbar.

Bei den Verankerungen erfolgt eine visuelle Prüfung einschl. Bündelungselemente und PE-Mäntel. Darüber hinaus lassen sich per Ultraschallprüfung Drahtbrüche bzw. Anrisse im Verankerungsbereich identifizieren. Eine Möglichkeit zur direkten Seilkraftbestimmung sind Lift-Off-Tests an einzelnen Litzen. Hierfür reichen verhältnismäßig kleine Kräfte und somit auch kleine Pressen aus.

Wenn bei der Seilprüfung erhebliche Mängel festgestellt werden, sind in aller Regel Er-tüchtigungsmaßnahmen erforderlich, um den ursprünglichen Zustand wiederherzustellen. Hierzu zählen vor allem die Reparatur der HDPE-Verrohrung und der Austausch der Schrägeillitzen.

9 Schlussfolgerungen

Infolge der in Deutschland vorherrschenden Topographie betragen die maximal zu überbrückenden Spannweiten nicht mehr als 500 m. In diesem Bereich haben sich Schrägseilbrücken im Vielseilsystem als bevorzugte Lösung durchgesetzt. Diese Bauwerke sind so konzipiert, dass die einzelnen Seile umfassend geprüft und ggf. auch ausgetauscht werden können.

Allerdings befinden sich im Bestand auch ältere Bauwerke mit Zuggliedern, bei denen die Prüfbarkeit mit Einschränkungen verbunden ist und ein Austausch, wenn überhaupt möglich, mit überproportional großem Aufwand verbunden wäre. Hierzu zählen vor allem Hängebbrücken und Schrägseilbrücken, bei denen die vollverschlossenen Spiraleile zu Kabeln gebündelt sind. Auch diese Bauwerke müssen regelmäßig geprüft und gewartet werden.

Hinzu kommen neue Entwicklungen beim Korrosionsschutz von Brückenseilen und bei der Seilprüfung, wodurch die Komplexität weiter zunimmt.

Folglich können bei der Prüfung der eher seltenen seilverspannten Brücken sehr unterschiedliche Seiltypen angetroffen werden, die mitunter wiederum verschiedene Varianten beim Korrosionsschutz aufweisen. Im Rahmen der alle sechs Jahre durchzuführenden Hauptprüfung kommt eine Vielzahl an Prüfverfahren zum Einsatz. Einige davon sind den Seilspezialisten vorbehalten, da besondere Geräte und speziell dafür qualifiziertes Personal erforderlich sind. Hierzu zählen insbesondere die magnetinduktive Prüfung und Schwingungsuntersuchungen. Es gibt jedoch auch Prüfverfahren, die von Personal durchgeführt werden können, das nicht auf Seilprüfungen spezialisiert sein muss. Hierzu zählen insbesondere die handnahe Prüfung des Korrosionsschutzes und die visuelle Prüfung der Verankerungen. Entscheidend für den Erfolg ist eine frühzeitige und umfassende Kommunikation zwischen allen Beteiligten.

Literatur

- [1] FRIEDRICH, H.; HAMME, M.: Brückenseile; Stahlbaukalender 2021; Ernst und Sohn Verlag; Berlin; 2021
- [2] ZTV-ING Teil 4 „Stahlbau, Verbundbau“ - Abschnitt 4 „Brückenseile“; Januar 2022. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/ZTV-ING-Gesamtfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=25 [Zugriff am 15.08.2024].
- [3] ROIK, K.-H. ALBRECHT, G., WEYER, U.: Schrägseilbrücken; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften; 1986
- [4] OSWALD NÜTZEL: DYNA Grip® Schrägseile für die Rheinbrücke Wesel DMT Vortragsveranstaltung Parallellitzenbündel im Brückenbau; 06. November 2008.
- [5] HEINZ FRIEDRICH, MICHAEL STAECK: Brückenseile mit Galfan-Überzug - Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen; September 2006. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen B 52, verfügbar unter: https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/searchtype/series/id/3/start/7/rows/25/author_facetfq/Friedrich%2C+Heinz/docId/23 [Zugriff am 15.08.2024].
- [6] TL/TP-ING: TL/TP- VVS „Technische Lieferbedingungen für Vollverschlossene Spiralseile“; Januar 2022 Jahr. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/TL_TP-Gesamt.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 15.08.2024].
- [7] JÖRG HÜBSCHER: Entwicklung eines leistungsorientierten Prüfrezimes für Brückenseilverfüllmittel; Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen B207, DOI: <https://doi.org/10.60850/bericht-b207>.
- [8] ZTV-ING Teil 4 „Stahlbau, Verbundbau“ - Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“; Januar 2022. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/ZTV-ING-Gesamtfassung.pdf?__blob=publicationFile&v=25 [Zugriff am 15.08.2024].
- [9] TL/TP-ING: TL-KOR-VVS „Technische Lieferbedingungen für den Korrosionsschutz von Vollverschlossenen Spiralseilen“; Januar 2022. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/TL_TP-Gesamt.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 15.08.2024].
- [10] TL/TP-ING: TP-KOR-VVS „Technische Prüfvorschriften für den Korrosionsschutz von Vollverschlossenen Spiralseilen“; Januar 2022. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: https://www.bast.de/DE/Publikationen/Regelwerke/Ingenieurbau/Baudurchfuehrung/TL_TP-Gesamt.pdf?__blob=publicationFile&v=5 [Zugriff am 15.08.2024].

- [11] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.11-41 vom 29. März 2016.
- [12] NÜTZEL, O.; SAUL, R.: Umwickeln mit Butylkautschukbändern – ein innovativer Korrosionsschutz für vollverschlossene Brückenseile; Stahlbau 79 (2010), Heft 3, S. 232 – 240.
- [13] HEINZ FRIEDRICH: Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern; Juli 2020. Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen B 154, verfügbar unter: https://bast.opus.hbz-nrw.de/frontdoor/index/index/searchtype/series/id/3/start/3/rows/25/author_facetq/Friedrich%2C+Heinz/docId/2401 [Zugriff am 15.08.2024].
- [14] FIB TASK GROUP 9.2: Empfehlungen für die Anwendung von Schrägseilsystemen aus Spannstahl; Dezember 2006
- [15] Richtlinien zur einheitlichen Erfassung, Bewertung, Aufzeichnung und Auswertung von Ergebnissen der Bauwerksprüfung nach DIN 1076 (RI-EBW-PRÜF), Februar 2017. Bundesministerium für Digitales und Verkehr, verfügbar unter: <https://www.bast.de/DE/Ingenieurbau/Fachthemen/b4-Bauwerkspruefung-RI-EBW-PRUEF/b4-Bauwerkspruefung-RI-EBW-PRUEF.html> [Zugriff am 15.08.2024].

Bilder

Bild 3-1: Seilverspannte Brücken, Übersicht

Bild 3-2: Theodor-Heuss-Brücke Düsseldorf

Bild 3-3: Entwicklung des Haupttragwerks von Schrägseilbrücken

Bild 3-4: Schrägseilbrücken (mit einem und mit zwei Pylonen)

Bild 3-5: Einhüftige Schrägseilbrücke (Straßen NRW)

Bild 4-1: Querschnitt eines vollverschlossenen Seils

Bild 4-2: Aufgefächerter Seilbesen

Bild 4-3: Seilbesen in Vergusshülse (Bridon-Bekaert)

Bild 4-4: Verguss mit Metalllegierung (Bridon-Bekaert)

Bild 4-5: Hammerseilkopf

Bild 4-6: Zylindrischer Seilkopf

Bild 4-7: Kabel im Querschnitt (Rheinbrücke Leverkusen)

Bild 4-8: Austrittsstelle Überbau (Rheinbrücke Leverkusen)

Bild 4-9: Spreizschelle; Hohlkasten (Rheinbrücke Leverkusen)

Bild 4-10: Verankerung; Seilkammer (Rheinbrücke Leverkusen)

Bild 4-11: Litzenbündelseil (Einzellitze + Querschnitt)

Bild 4-12: LBS-Verankerung (Modell Ankerblock)

Bild 4-13: LBS-Verankerung (DYWIDAG Systems International GmbH)

Bild 4-14: Einheben der Verrohrung

Bild 4-15: Spannen mit einer Monolitzenpresse

Bild 5-1: Einbringen des Seilverfüllmittels (Bridon-Bekaert)

Bild 5-2: VVS mit äußerer Beschichtung

Bild 5-3: Neoprenhauben zur Abdichtung

Bild 5-4: Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschukbändern [3]

Bild 5-5: Wickelroboter (Talbrücke Obere Argen) [13]

Bild 5-6: Anschluss mittels Kehlfuge (Fuß- und Radwegbrücke Kehl) [13]

Bild 5-7: Anschluss oberhalb des Brückendecks (Köhlbrandbrücke)

Bild 5-8: VVS mit einlagiger HDPE Ummantelung (Bridon-Bekaert)

Bild 6-1: Kabelquerschnitt mit Injizierstoff in den Hohlräumen

Bild 6-2: Kabel im Bereich der Einleitung ins Brückendeck (Severinsbrücke)

Bild 6-3: Kabel nach Entfernen des äußeren Korrosionsschutzes im Anschlussbereich der Seilkopplung (Severinsbrücke)

Bild 8-1: Seilbefahrgerät im Einsatz I

Bild 8-2: Seilbefahrgerät im Einsatz II

Bild 8-3: Zwei Drahtbrüche in der äußeren Drahtlage

Bild 8-4: Temporäre Kabelspreizung (Rheinbrücke Emmerich)

Bild 8-5: Dauerhafte Kabelspreizung (Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp)

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßen- und Verkehrswesen Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2023

B 186: Integration der Handlungsanweisungen Spannungsrisskorrosion und Koppelfugen in die Nachrechnungsrichtlinie

Zilch, Kriechbaum, Maurer, Heinrich, Weiher, Runtemund

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 187: Verstärkung des Deckblechs orthotroper Fahrbahnplatten durch Aufkleben von Stahlblechen

Friedrich

€ 18,00

B 188: Digitales Testfeld Autobahn – Intelligente Brücke – Untersuchungsprogramm

Butz, Rill, Freundt, Böning, Werner, Fischer, Lau

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 189: Weiterentwicklung der Nachrechnungsrichtlinie – Validierung erweiterter Nachweisformate zur Ermittlung der Schubtragfähigkeit bestehender Spannbetonbrücken

Fischer, Thoma, Hegger, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 190: Potenziale von Monitoringdaten in einem Lebenszyklusmanagement für Brücken

Morgenthal, Rau, Hallermann, Schellenberg, Martín-Sanz, Schubert, Kübler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 191: Building Information Modeling (BIM) im Tunnelbau

Thewes, Vollmann, Wahl, König, Stepien, Riepe, Weißbrod

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 192: Optimierung und Weiterentwicklung von Handlungshilfen zur Resilienzbewertung der Verkehrsinfrastruktur

Lindström, Zulauf, Rothenfluh, Bruns, Brunner, Roth, Caminada, Graf, Dahl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 193: Konzepte für das Datenmanagement der Intelligenen Brücke

Empelmann, Javidmehr, Rathgen, Hellenbrand, Ulbricht, Wagner, Kessel, Sietas

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 194: Möglichkeiten und Grenzen der zukünftigen Anwendung von ZfP-Verfahren an Brücken- und Tunnelbauwerken

Taffe, Vonk

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 195: Zukunftssicherheit der Ermüdungslastmodelle nach DIN EN 1991-2

Geißler, Kraus, Freundt, Böning

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2024

B 196: Zukünftige Einwicklung eines Tools für ein indikatorengestütztes, verkehrsträgerübergreifendes Lebenszyklusmanagement von Infrastrukturbauwerken

Hajdin, Schiffmann, Blumenfeld, Tanasić

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 197: Erfahrungssammlung Monitoring für Brückenbauwerke – Dokumentation 2021

Novák, Stein, Farouk, Thomas, Reinhard, Zeller, Koster

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 198: Erprobung einer geothermischen Bergwassernutzung am Grenztunnel Füssen

Moormann, Kugler

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 199: Zuverlässigkeitsbasierte Bauwerksprüfung – Feinkonzept

Hajdin, Fastrich

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 200: Konzeption zur Bestimmung von Lage und Anzahl asbesthaltiger Abstandhalter in Betonbrücken – Handlungsanweisung für den Umgang mit asbesthaltigen Hilfsbauteilen in Brückenbauwerken aus Stahlbeton

Hönig, Bossemeyer, Sanio, Thome

€ 16,00

B 201: Blockhinterlegung und Verpressverfahren zur Abdichtung von Tunnelinnenschalen

Thiener, Kessler, Brummermann, Tintelnot, Matsini, Handke, Lis, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 202: 10. BAST-Tunnelsymposium

€ 19,00

2025

B 203: Experimentelle und theoretische Untersuchungen zur Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Betonbrücken im Bestand

Hegger, Domes, Adam, Fischer, Lamatsch, Thoma, Maurer, Lavrentyev, Stakalies, Kerkeni, Teworte, Sharei, Stettner, Zilch(+), Tecusan

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 204: Erarbeitung eines Prüfverfahrens zur Feststellung der inneren Standsicherheit von Gabionen aus punktgeschweißten Drahtgittern

Heimbecher, Lengers, Thünemann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 205: Einfluss des Pannenbuchtenabstands auf die Tunnelsicherheit

Mayer, Brennerberger, Haack, Zimmermann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 206: Erfahrungsbericht zur Innenbeschichtung nach TL-Blatt 50 an der Brücke über den Petersdorfer See

Rüters, Schröder, Windmann, Lebelt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 207: Entwicklung eines leistungsorientierten Prüfregimes für Brückenseilverfüllmittel

Hübscher

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 208: Korrosionsschutz von Brückenseilen

Friedrich, Windmann

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <https://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG

Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen

Telefon (04 21) 3 69 03 - 0 · E-Mail: kontakt@schuenemann-verlag.de

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de

Alle Berichte, die nur in digitaler Form erscheinen, können wir auf Wunsch als »Book on Demand« für Sie herstellen.



ISSN 0943-9293
ISBN 978-3-95606-850-8
<https://doi.org/10.60850/bericht-b208>

www.bast.de