

Umwickeln mit Butylkautschukbändern – ein innovativer Korrosionsschutz für vollverschlossene Brückenseile

Herrn Dipl.-Ing. *Holger Svensson* zur Vollendung seines 65. Lebensjahres gewidmet

Die Oberfläche von neuen vollverschlossenen Brückenseilen und von Seilen im Bestand ist nach dem Regelwerk des BMVBW durch eine ca. 400 µm dicke Beschichtung gegen Korrosion zu schützen. Für die Vorbereitung der Seiloberfläche und die Applikation der Beschichtung im Streichverfahren müssen die Seile auf ganzer Länge mit Gerüsten oder Arbeitswagen zugänglich gemacht werden, was bei bestehenden Brücken zu erheblichen Verkehrsproblemen führen kann.

Die Anforderungen an die Vorbehandlung der Seiloberfläche können erheblich reduziert werden, wenn die Seile mit den vom Korrosionsschutz von Rohrleitungen her bekannten Butylkautschukbändern umwickelt werden. Diese Bänder können mit selbstfahrenden Wickelrobotern aufgebracht werden, womit die Verkehrsbeeinträchtigungen auf ein Minimum reduziert werden.

Es werden generelle Überlegungen zu diesem innovativen und kostengünstigen Korrosionsschutzsystem vorgestellt und über seine erfolgreiche Anwendung bei der Geh- und Radwegbrücke über den Rhein Kehl-Straßburg und bei der Köhlbrandbrücke in Hamburg berichtet.

Wrapping with butylcaoutchouc tapes – an innovative corrosion protection for locked coil ropes of bridges. *According to the codes of the German Ministry of Traffic, the surface of new locked coil ropes of bridges – and of existing ropes – has to be protected against corrosion by an about 400 µm thick layer of paint. For the preparation of the rope surface and for the application of the paint layers with a brush, access has to be granted over the entire length of the ropes by fixed or movable scaffoldings. In existing bridges, this may lead to considerable traffic jams.*

The requirements for the pretreatment of rope surface may be considerably reduced, if the ropes are wrapped with tapes of butylcaoutchouc which are well-known from the corrosion protection of pipelines. These tapes can be applied by automotive wrapping robots, so that the impact on the traffic may be reduced to a minimum.

General considerations on this innovative and economic corrosion protection are presented, and its successful application for the pedestrian and bicycle bridge across the Rhine Kehl-Straßbourg and the road bridge across the Köhlbrand in Hamburg is described.

1 Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Standes der Technik

Sowohl das geltende ([1], [2] und [3]) wie auch das zukünftige ([4] und [5]) Regelwerk des BMVBW für den äußeren Korrosionsschutz von vollverschlossenen Brückenseilen beschreiben – und erlauben damit, nach deutschem Verständnis von Vorschriften – ausschließlich eine Beschichtung mit zugelassenen Beschichtungsstof-

fen. Andere Korrosionsschutzsysteme sind in Ausnahmefällen – und wenn ihre Eignung durch eine Zustimmung im Einzelfall nachgewiesen wird – zulässig.

Diese Vorschriften gelten für neue Seile und für Seile im Bestand. Ihre wichtigsten Forderungen sind – Vorbereitung der Seiloberfläche durch Bürsten, Sweep-Strahlen oder Strahlen unter weitgehender Schonung der Verzinkung der Drähte

- vier Schichten bei verzinkten bzw. fünf Schichten bei unverzinkten Seilen
- Schichtdicke mindestens 410 µm (verzinkt) bzw. 460 µm (unverzinkt)
- aufbringen des Korrosionsschutzes in der Regel erst nach der Seilmontage
- aufbringen der Beschichtung im Streichverfahren
- Oberflächentemperatur der Seile beim Beschichten mindestens 3 K über der Taupunkttemperatur bei mindestens 5 °C Bauwerktemperatur

Diese Forderungen bedeuten, dass die Seile auf ganzer Länge mittels Gerüsten, Arbeitswagen etc. zugänglich gemacht werden müssen. Die Kosten dieser Gerüste machen einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten der Korrosionsschutzarbeiten aus, insbesondere bei einer komplexen Geometrie der Seile und bei hohen Pylonen.

1.2 Anlass für die Suche nach einem neuartigen Korrosionsschutz

Die Geh- und Radwegbrücke über den Rhein zwischen Kehl und Straßburg ist eine Schrägseilbrücke mit zwei voneinander getrennten Verbundüberbauten und Stützweiten von 43,72 m – 183,37 m – 43,72 m = 270,81 m und zwei schräggestellten Pylonen [6] (Bild 1).

Der Gehweg (Nutzbreite 2,5 m) verbindet die beiden Rheinufer. Er ist im Grundriss gerade und in der Ansicht gekrümmt, die Rückhalte-kabel sind erdverankert. Der auf der gegenüberliegenden Pylonseite geführte Geh- und Radweg (Nutzbreite 3 m) ist im Grundriss gekrümmt, in der Ansicht nahezu gerade und in sich verankert.

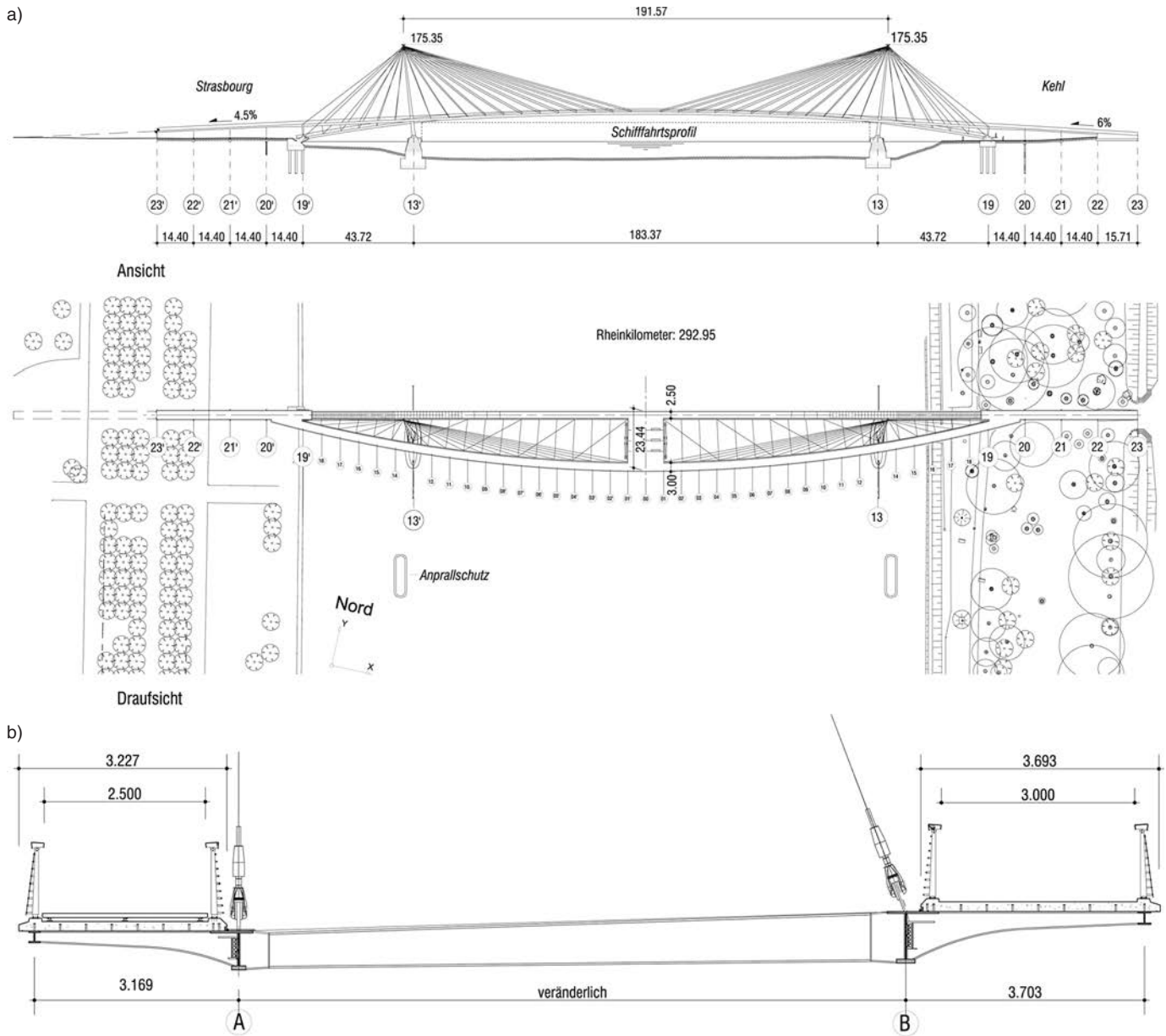


Bild 1. Geh- und Radwegbrücke Kehl-Strasbourg: a) Übersicht, b) Überbau-Querschnitt am Pylon
 Fig. 1. Pedestrian and bicycle bridge Kehl-Strasbourg: a) layout, b) deck cross-section at pylon

- Bedingt durch
- den Wunsch der Stadtverwaltung Straßburg, diese Brücke näher an die bestehenden Brücken zu legen als ursprünglich geplant, was zu einer Vergrößerung der Mittelöffnung um ca. 50 m führte,
 - eine Klage vor dem Verwaltungsgericht Mannheim wegen der vermeintlichen Gefahr des Vogelzugs und
 - eine Klage des Zweitbieters vor der Vergabekammer Stuttgart

standen für die Ausführungsplanung und den Bau der Brücke nur ca. 16 Monate zur Verfügung, da die Brücke gleichzeitig mit der Gartenschau auf beiden Seiten des Rheins am 23. April 2004 eröffnet werden sollte. Die Mon-

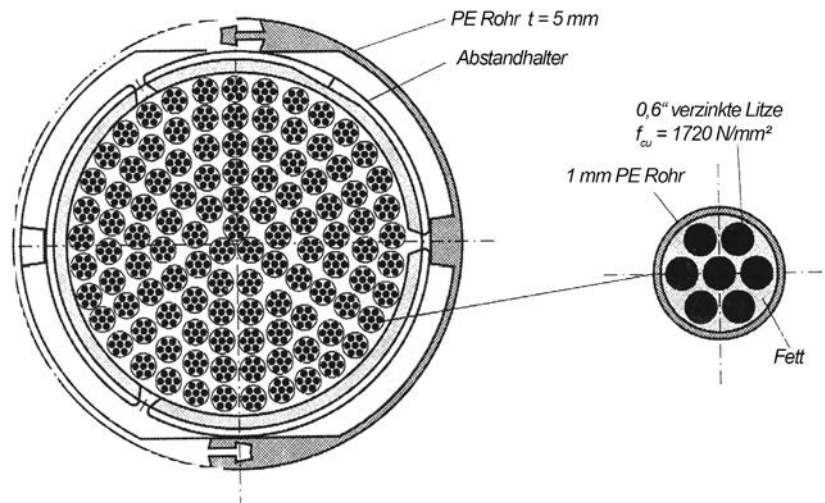


Bild 2. Paralleldrahtbündel der Kap Shui Mun Brücke in Hong Kong mit Halbschalen
 Fig. 2. Parallel strand cables of the Kap Shui Mun Bridge in Hong Kong with half PE-pipes

tage des Überbaus und der Seile fiel also in den Winter, womit eine Beschichtung der Seile während der Bauzeit unmöglich wurde.

Für die Beschichtung der Seile nach der Beendigung der Garten-schau legte der Auftragnehmer ein Angebot vor, das wesentlich höher war als die ursprünglichen Kosten und bei dem etwa 3/4 der Kosten auf Gerüste und nur 1/4 auf die Beschichtung entfielen. Deshalb wurde nach einer grundsätzlich anderen Lösung für den Korrosionsschutz der Seile gesucht. Zunächst wurde an zweigeteilte PE-Rohre gedacht, wie sie bei den Parallel-Litzenbündeln der Kap Shui Mun-Brücke in Hong Kong verwendet wurden ([7], Bild 2). Nach längerer Diskussion und umfangreichen Prüfungen kam dann aber die im Folgenden näher beschriebene Umwicklung mit Butylkautschukbändern zur Ausführung, die von der Firma DSI GmbH unter den Namen DYNA Protect zur Verfügung gestellt wurde.

2 Beschreibung und Prüfung des Korrosionsschutzes mit Butylkautschukbändern

2.1 Beschreibung

2.1.1 Aufbau

Das Korrosionsschutzsystem besteht aus zwei Lagen von Butylkautschukbändern ([8] bis [11]), die jeweils mit 50 %iger Überlappung um das Seil gewickelt werden (Bild 3). Die Gesamtdicke des Korrosionsschutzes beträgt ca. 2,6 mm, also das Fünf- bis Sechsfache einer Beschichtung.

In den Überlappungsbereichen kommt es über die Schichtgrenzen hinweg durch Interdiffusion der Kautschukmoleküle zu einer Kalt-



Bild 3. Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschukbändern

Fig. 3. Corrosion protection system with butylcaoutchouc tapes

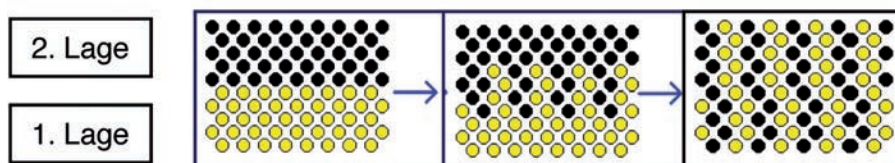


Bild 4. Kaltverschweißung der Butylkautschukbänder
Fig. 4. Cold welding of the butylcaoutchouc tapes

verschweißung der Bänder (Bild 4). 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. Strahlen oder Sweepen ist nicht erforderlich, vorhandene haftende Beschichtungen können überwickelt werden.

2.1.2 Details der Butylkautschukbänder

Die zum Einsatz gekommenen Korrosionsschutzbänder basieren auf den Butylkautschukbändern der Firma DENSO GmbH Leverkusen, die bereits seit mehr als vier Jahrzehnten im Einsatz sind und für diese spezielle Anwendung optimiert wurden.

Die dreischichtige schwarze Basislage (Bild 5), die unmittelbar mit der Seiloberfläche in Kontakt kommt, besteht aus einer stabilisierten Polyethylenfolie mit beidseitiger dauerplastischer Butylkautschukbeschichtung. Sie bildet eine Schutzhülle nach der DIN 30672 und der DIN EN 12068. Diese Lage bildet den eigentlichen Korrosionsschutz und schützt die Seile wirksam auch bei starker korrosiver Beanspruchung.

Die Butylkautschukmasse passt sich der Oberflächenstruktur des Seiles an und bildet durch Adhäsion und Verzahnung einen ausgezeichneten Haft- und Formschluss mit dem Untergrund (Bild 6).

Die zweischichtige Decklage (Bild 7), bestehend aus einer stabilisierten Polyethylen-Trägerfolie mit einseitiger dauerplastischer Butylkautschukbeschichtung, bildet eine zusätzliche Schutzhülle nach DIN 30672 und DIN EN 12068 und ist außerdem ein robuster mechanischer Schutz gegenüber äußeren Einwirkungen. Die Polyethylen-Trägerfolie ist in verschiedenen Farben lieferbar.



Bild 5. Aufbau des Korrosionsschutzbandes der Basislage

Fig. 5. Setup of the corrosion protection tape of the base layer



Bild 6. Haftung und Verzahnung der Basislage auf der Seiloberfläche

Fig. 6. Adhesion and gearing of the base lay on the rope surface

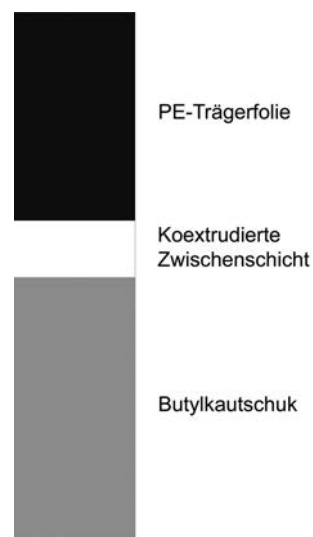


Bild 7. Aufbau des Korrosionsschutzbandes der Decklage

Fig. 7. Setup of the corrosion protection tape of the covering layer

2.1.3 Reparaturmöglichkeiten

Im Falle von Beschädigungen, wie sie zum Beispiel durch Vandalismus entstehen können, sind bei herkömmlichen Beschichtungen in der Regel aufwendige Maßnahmen hinsichtlich der Untergrundvorbereitung und der Neubeschichtung erforderlich. Diesen kosten- und zeitintensiven Nachteil vermeidet der Korrosionsschutz mit Butylkautschukbändern. Hier wird der beschädigte Teil ringförmig ausgeschnitten und entfernt und durch eine Neuwicklung ersetzt, die mit der bestehenden intakten Wicklung überlappt und von Hand ausgeführt wird (Bild 8). Zur Optimierung der Haftung der Bänder wird die Seiloberfläche mit Primer eingestrichen. Weitere Maßnahmen, wie zum Beispiel Strahlen, sind nicht erforderlich.



Bild 8. Reparatur einer beschädigten Stelle

Fig. 8. Repair of a damage

2.1.4 Langzeitüberwachung

Um im Rahmen der Brückenhauptprüfungen Materialproben entnehmen zu können ohne die Wicklung zu beschädigen, wird an ausgewähl-



Bild 9. Prüfstelle auf dem fertigen Korrosionsschutz

Fig. 9. Control strip on the finished corrosion protection

ten Seilen auf die bestehende Wicklung eine weitere von ca. 50 cm Länge aufgebracht, die sich durch spezielle Maßnahmen leicht wieder entfernen lässt (Bild 9). Damit wird dem Bauherrn die Möglichkeit gegeben, an Materialproben, deren Klima- und Umweltbelastung exakt den Verhältnissen für die Seile entspricht, die Dauerbeständigkeit des verwendeten Materials zu überprüfen, ohne dass dabei der Korrosionsschutz der Seile beeinträchtigt wird.

2.2 Applikation

2.2.1 Allgemeines

Die Korrosionsschutzbänder werden mit Hilfe eines Wickelroboters vollautomatisch um die eingebauten Schrägseile gewickelt. Dadurch sind keinerlei Gerüste, Hubsteiger, Einhausungen oder sonstige Maßnahmen notwendig, was zu einem erheblichen Kosten- und Zeitvorteil führt und die Verkehrsbeschränkungen auf der Brücke auf ein Minimum reduziert.

2.2.2 Wickelroboter

Von der Firma Alpin Technik und Ingenieurservice GmbH wurde ein Gerätesystem entwickelt, mit dem Schrägseile befahren, dabei visuell überprüft, dokumentiert und anschließend mit einem Korrosionsschutz versehen werden können. Basisgerät dafür ist ein patentiertes Befahrgerät, das mit drei Spezialfahrwerken und umfangreicher Steuerelektronik ausgerüstet ist und selbstständig am Seil entlangfährt. Entsprechend der unterschiedlichen Einsatzzwecke kann es mit verschiedenen Zusatzmodulen, wie zum Beispiel visuellem Inspektionssystem, Thermographiemodul, magnetinduktivem Prüfgerät, PESchweißeinheit, Wickelroboter etc. ausgerüstet werden (Bild 10).



Bild 10. Wickelroboter
Fig. 10. Wrapping robot

Mit Hilfe des Wickelroboters werden die Butylkautschukbänder, die vom Werk in 50 mm breiten Spulen geliefert werden, unter Zug auf die Seiloberfläche gewickelt, so dass eine gleichmäßige, faltenfreie Schicht ohne Lufteinschlüsse entsteht. Die entsprechend der verwendeten Bandlängen und Seildurchmesser erforderlichen Stöße auf der freien Seillänge werden mit elektronischer Steuerung des Wickelroboters ausgeführt, so dass auch hierfür planmäßig kein direkter Zugang für Personal zu den Seilen erforderlich ist.

2.2.3 Überwachung der Arbeiten

Mit Hilfe eines Monitors werden alle Wickelvorgänge vom Boden aus überwacht und bei Bedarf gespeichert, so dass eine lückenlose Überprüfung der durchgeführten Arbeiten auch für den Bauherrn möglich ist (Bild 11).



Bild 11. Überwachung der Wickelarbeiten am Monitor

Fig. 11. Control of the wrapping process on the monitor

2.3 Prüfungen

Am Otto-Graf-Institut der Universität Stuttgart wurden zur Überprüfung des Langzeitverhaltens der Butylkautschukbänder an umwickelten verzinkten und nicht verzinkten Stahlrohren (\varnothing 59 mm, l = 210 mm) die im Folgenden aufgeführten Untersuchungen durchgeführt. Die zu erzielenden Vorgaben wurden in Anlehnung an die vorhandenen Vorschriften festgelegt.

- Beständigkeit gegen Kondenswasser
- Einwirkung von Salzsprühnebel
- künstliche Bewitterung mittels Xenonbogenbestrahlung
- künstliche Bewitterung im Global-UV-Testgerät
- Widerstand gegen Wasserdampf

- Härteprüfung nach Shore D
- Untersuchung mit dem Lichtmikroskop
- Untersuchung mittels EDX-Analyse

In allen relevanten Prüfungen wurden positive Versuchsergebnisse erzielt und die Anforderungen an die Beschichtungen von vollverschlossenen Seilen erreicht – teilweise auch weit übertroffen.

3 Erstanwendung bei der Geh- und Radwegbrücke Kehl-Strasbourg

3.1 Seilprüfungen

Ab Juli 2008 wurden zunächst die Seile mit Kameras, die auf dem Befahrgerät montiert waren, befahren, visuell überprüft und die dokumentierte Oberfläche archiviert. Bei diesen Überprüfungen wurden keine Drahtbrüche gefunden, es wurden jedoch partielle Beschädigungen an der Verzinkung festgestellt, teilweise mit beginnender Korrosion der äußeren Drahtlage.

3.2 Ausführung der Arbeiten

3.2.1 Säubern

Nach dem Vorliegen der positiven Versuchsergebnisse gab der Bauherr grünes Licht für den Beginn der Arbeiten, mit denen Mitte August 2008 begonnen wurde. Zuerst wurde die Seiloberfläche entweder mit rotierenden Naturbürsten gereinigt, die an dem Befahrgerät befestigt wurden, oder von Hand mit Hilfe der Zugangstechnik mit Hilfsseilen, bei der zertifizierte Höhenarbeiter innerhalb weniger Minuten zu jeder Stelle des Seiles gelangen können (Bild 12).

3.2.2 Anschlüsse an den Verankerungen

Als erstes wurden die Anschlüsse an den Verankerungen am Überbau und am Pylon vorbereitet. Da aufgrund der Nutzung der Brücke durch Fußgänger mit Vandalismusschäden gerechnet werden muss, wurden die Seilbereiche oberhalb der Verankerungen auf ca. 1,20 m Länge mit einem Primer vorgestrichen, so dass hier die Haftung der Bänder auf der Seiloberfläche gesteigert wurde (Bild 13). Der Übergang zu der Verankerung wurde mit einer Kehlfuge aus dauerelastischem Material abgedichtet.



Bild 12. Zugang mit Hilfsseil
Fig. 12. Access with auxiliary rope



Bild 13. Anschluss an der Verankerung am Überbau
Fig. 13. Joining at the deck anchorage

In diesem Bereich wurden die Butylkautschukbänder mit Hilfe eines Handwickelgerätes aufgebracht, bis der vollautomatische Wickelroboter aufgrund der geometrischen Verhältnisse angesetzt werden konnte (Bild 14). In gleicher Weise wurde der Anschluss an den Seilverankerungen am Pylon ausgeführt.

3.2.3 Wickeln der Butylkautschukbänder

Die erste Generation des Wickelroboters, mit der die Seile auf der Kehler Seite der Brücke umwickelt wurden, erfüllte die Anforderungen zufriedenstellend. Sie war jedoch relativ zeitaufwendig in der Beschickung des Gerätes und im Wickelfortschritt. Deshalb wurde für die Straßburger Seite das Gerät neu konzipiert und zeigte im



Bild 14. Handwickelgerät an der Verankerung am Überbau
Fig. 14. Manual wrapping equipment at the deck anchorage



Bild 15. Wickeln der Butylkautschukbänder
Fig. 15. Wrapping of the butylcaoutchouc tapes

Verlauf der Arbeiten eine wesentlich vereinfachte Bedienung und die doppelte Wickelleistung (Bild 15).

Die ausgeführten Korrosionsschutzarbeiten wurden im Juni 2009 vom Bauherrn ohne Beanstandungen abgenommen (Bild 16). Die relativ lange Dauer der Arbeiten ist auf ausgedehnte Schlechtwetterperioden zurückzuführen, in denen ein Aufbringen der Wicklung nicht möglich war.



Bild 16. Geh- und Radwegbrücke Kehl-Straßburg vor und nach dem Umwickeln der Seile
 Fig. 16. Pedestrian and bicycle bridge Kehl-Straßbourg before and after wrapping of the cables

4 Köhlbrandbrücke Hamburg 4.1 Kurzbeschreibung und Vorgeschichte

Die in den Jahren 1969 bis 1974 erbaute Köhlbrandbrücke [13] bis [17] ist eine Schrägseilbrücke aus Stahl mit Stützweiten von 97,5 m – 325 m – 97,5 m. Der Überbau besteht aus einem Hohlkasten mit leicht geneigten Stegen. Er ist 17,8 m breit und liegt maximal 58 m über dem Wasser (Bild 17).

Die insgesamt 88 verschlossenen Seile hatten Durchmesser von 54 bis 104 mm. Da an den Drähten der Seile einer anderen Schrägseilbrücke Ende der sechziger Jahre einige Sprödbrüche aufgetreten waren, die auf die galvanische Verzinkung zurückgeführt wurden, wurde in der Ausschreibung der Köhlbrandbrücke das damals übliche Verzinken der äußeren Drahtlagen ausdrücklich ausgeschlossen. Der Korrosionsschutz der Seile bestand somit aus

- der inneren Verfüllung mit Bleimennige auf Leinölbasis
- zwei Grundanstrichen mit Bleimennige auf Phtalatharzbasis mit einer Schichtdicke von je 50 µm
- zwei Deckanstrichen mit Eisenglimmer auf Leinölbasis, ebenfalls mit Schichtdicken von 50 µm

Die Gesamtschichtdicke betrug somit nur 200 µm.

Bei Überprüfungen der Seile im Jahre 1976 wurden insgesamt 25 Drahtbrüche und zahlreiche Farbschubrisse

entlang der Berührungslinie zwischen zwei Drähten entdeckt, die auch auf Brüche hindeuteten. Wegen des Ausmaßes der Schäden nach nur zwei Jahren Betriebszeit wurde beschlossen, die Seile komplett auszuwechseln. Dies erfolgte dann im Zeitraum von September 1978 bis November 1979, wobei jeweils eine Fahrrichtung komplett gesperrt werden musste.

Der Korrosionsschutz der neuen Seile besteht aus

- einer Feuerverzinkung der drei äußeren Drahtlagen bzw. nach entsprechenden Versuchen, aller Drähte
- einer inneren Verfüllung mit Bleimennige auf Leinölbasis; die beim Vergießen der Seilköpfe verbrannte Innenverfüllung in der Seilwurzel wurde nachträglich durch Injizieren von der Rückseite der Seilköpfe her ersetzt
- einer 150 bis 200 µm dicken Grundbeschichtung aus Polyurethan-Zinkchromat
- zwei je 150 bis 200 µm dicken Deckbeschichtungen aus Polyurethan-Eisenglimmer

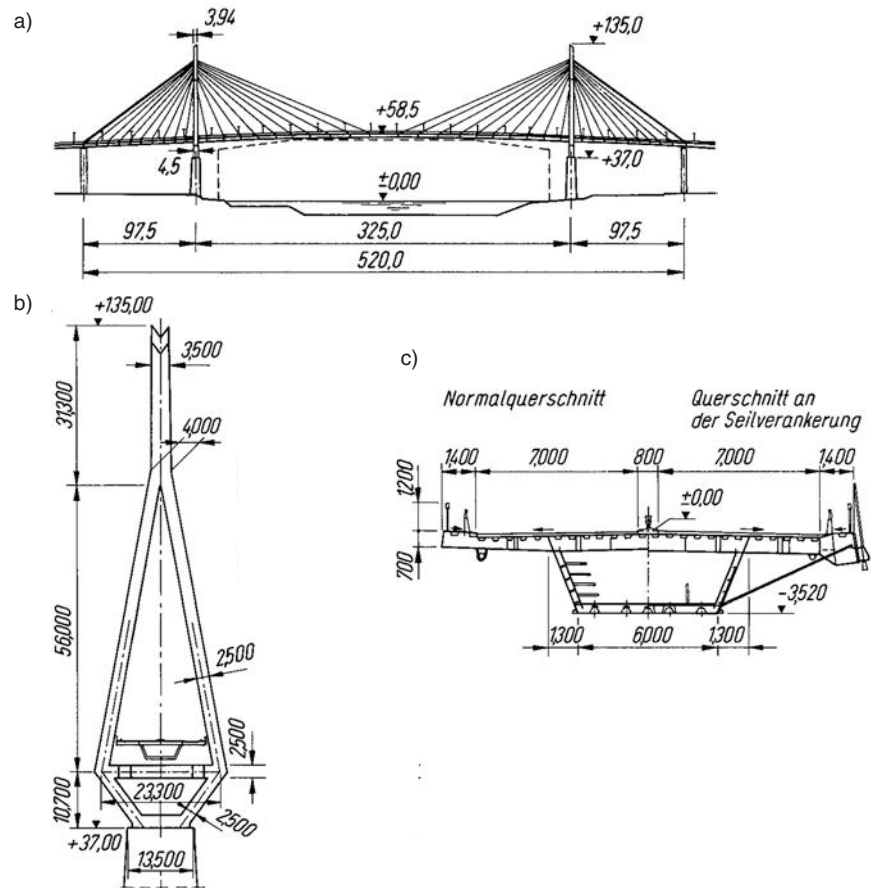


Bild 17. Köhlbrandbrücke Hamburg
 a) Ansicht, b) Pylone, c) Querschnitt des Überbaus
 Fig. 17. Bridge across Köhlbrand in Hamburg
 a) view, b) towers, c) section of the deck

Die Gesamtschichtdicke betrug also mindestens 450 µm. Die Beschichtung wurde vor dem Einbau der Seile auf der Baustelle in einem klimatisierten Zelt aufgebracht und mit Funkenbesen auf Porenfreiheit geprüft.

4.2 Verstärkung des Korrosionsschutzes der Seile

4.2.1 Vorgaben

Bei den üblichen Brückenüberprüfungen durch den Bauherrn Hamburg Port Authority (HPA) wurden immer wieder Schäden an der Beschichtung der Seile gefunden, die ausbessert werden mussten. Bei der letzten Untersuchung wurden an acht Seilen bereits Beschichtungs- und Korrosionsschäden festgestellt, die den Bauherrn veranlassten, eine umfassende Sanierung durchzuführen.

Erschwerend bei der Köhlbrandbrücke ist, dass sie die wichtigste Verbindung zum Hamburger Hafen darstellt und insbesondere durch Schwerlastverkehr äußerst stark beansprucht ist (Bild 18). Eine komplette Sperrung kam deshalb nicht in Frage. Aufgrund der Geometrie der Seilführung war auch der Einsatz von Gerüsten ausgeschlossen.



Bild 18. Verkehr auf der Köhlbrandbrücke

Fig. 18. Traffic on the Köhlbrand Bridge

4.2.2 Erster Bauabschnitt

4.2.2.1 Vergabe

Aufgrund von Veröffentlichungen und der guten Erfahrungen bei der Brücke Kehl-Straßburg nahm der Bauherr Kontakt mit der Firma Alpin Technik Leipzig auf, die einen Vorschlag ausarbeitete, der nach interner Prüfung angenommen wurde. Um die

Eignung des Verfahrens unter den erschwerten Bedingungen bei der Köhlbrandbrücke zu testen, wurde zunächst der Auftrag für die acht am stärksten geschädigten Seile vergeben. Dabei handelte es sich um Seile mit einem Durchmesser von 65 mm bis 120 mm und mit einer maximalen Länge von 164 m. Insgesamt waren ca. 290 m² Seiloberfläche zu schützen. Anstelle des bei der Brücke Kehl-Straßburg verwendeten weißen Bandes sollte an der Außenseite ein graues Band zum Einsatz kommen, das der bisherigen Farbgebung der Seile der Köhlbrandbrücke entsprach.

4.2.2.2 Vorarbeiten

Zuerst wurden die Seile mit dem Seilbefahrergerät visuell überprüft und dokumentiert. Anschließend wurde jedes Seil mit der magnetinduktiven Prüfung kontrolliert. Die Prüftechnik wurde von der DMT, Bochum gestellt. Aufgrund der Ergebnisse der visuellen Prüfung wurden alle losen Teile der alten Beschichtung von Hand entfernt, wobei wiederum die zertifizierte Seilzugangstechnik zum Einsatz kam.

4.2.2.3 Verankerungsbereiche

Wegen der engen Verhältnisse an den Verankerungen am Überbau war dort eine Umwicklung der Seile mit Bändern nur schwer auszuführen. Man entschloss sich deshalb, diesen Bereich in herkömmlicher Weise mit dem Sika Cable System so weit zu beschichten, bis es möglich war, die Butylkautschukbänder mit einer Überlappung zur Beschichtung von ca. 50 cm mit dem Wickelroboter aufzubringen (Bild 19). An den Verankerungen im Pylon wurde die Umwicklung bis ca. 30 cm in die Aussparung am Pylon geführt (Bild 20).

4.2.2.4 Zeitbedarf

Für die Durchführung der Arbeiten musste lediglich eine Fahrspur gesperrt werden. Um die Verkehrsbehinderungen so kurz wie möglich zu halten, wurde mit zwei Wickelrobotern und zwei Mannschaften gearbeitet. Die Wickelarbeiten begannen am 27. Juli 2009 und wurden bereits nach sieben Tagen erfolgreich beendet.



Bild 19. Anschluss des Korrosionsschutzes an der Überbauverankerung
Fig. 19. Joining of the tapes at the deck anchorage

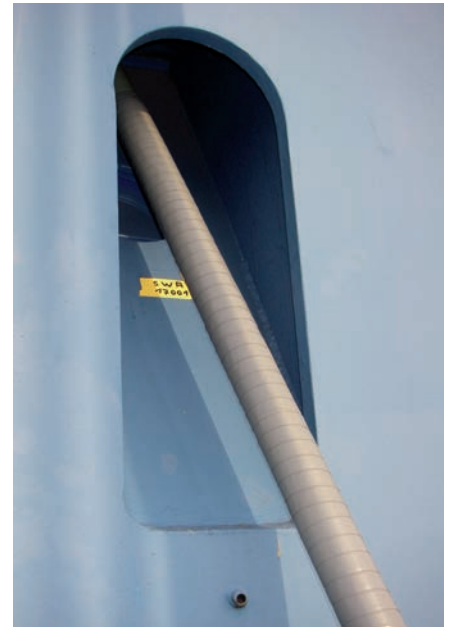


Bild 20. Anschluss des Korrosionsschutzes an der Pylonverankerung
Fig. 20. Joining of the tapes at the tower anchorage

4.2.3 Zweiter Bauabschnitt

4.2.3.1 Vorarbeiten

Aufgrund der guten Erfahrungen im ersten Bauabschnitt entschloss sich der Bauherr, auch den Korrosionsschutz der restlichen 80 Seile sowie die Nebenleistungen (visuelle und magnetinduktive Prüfungen) an Alpin Technik Leipzig zu vergeben. Vor dieser Entscheidung wollte der Bauherr allerdings noch überprüfen, ob die magnetinduktive Prüfung an den umwickelten Seilen zu den gleichen Ergebnissen führt wie bei der Prüfung ohne Umwicklung.

Die Untersuchungen wurden bei Temperaturen von ca. 30 °C durchgeführt. Selbst beim Einsatz des ca. 300 kg schweren Prüfgerätes, das für die Seile mit einem Durchmesser von

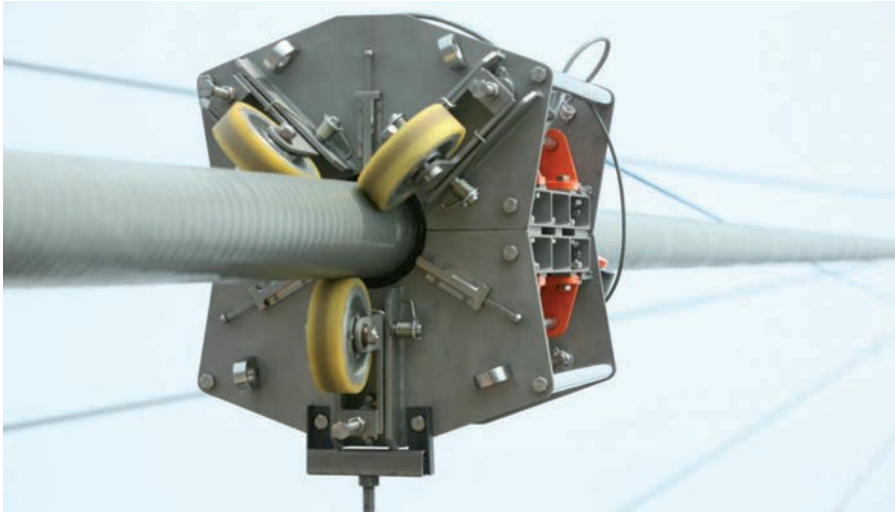


Bild 21. Magnetinduktive Prüfung des umwickelten Seils
Fig. 21. Magnetic induction test of the wrapped locked coil rope

120 mm erforderlich war, konnten keine Beschädigungen an der Wicklung durch das Befahren mit den Prüfgeräten festgestellt werden. Die Ergebnisse der Prüfungen selbst stimmten voll mit der Erstprüfung überein (Bild 21).

4.2.3.2 Ausführung

Der Gesamtauftrag wurde im September 2009 erteilt. Im Anschluss an die visuellen und magnetinduktiven Prüfungen der Seile, die im Oktober durchgeführt wurden, begann die Umwicklung der Seile. Sie soll planmäßig im zweiten Halbjahr 2010 beendet werden.

5 Zusammenfassung

Mit der hier vorgestellten Umwicklung mit Butylkautschukbändern steht sowohl für den Korrosionsschutz von neuen vollverschlossenen Brückenseilen als auch für die Erneuerung beziehungsweise Verstärkung des Korrosionsschutzes von vorhandenen Seilen ein Mittel zur Verfügung, das gegenüber der bisher üblichen Beschichtung die folgenden wesentlichen Vorteile aufweist:

Material

- praktisch undurchlässig für Wasserdampf und Sauerstoff
- stoff- und farbstabil

System

- aufbauend auf der seit Jahrzehnten bewährten DENSO-Korrosionsschutztechnologie

- erfüllt die relevanten Anforderungen der TL/TP-KOR-Seile beziehungsweise RKS-Seile; dies wurde in Versuchen am Materialprüfamt der Universität Stuttgart nachgewiesen
- mechanisch robustes System durch insgesamt ca. 2,6 mm Schichtdicke und außenseitiger Polyethylenträgerfolie
- Bildung einer schlauchartigen dichten Umhüllung infolge selbsttätiger Kaltverschweißung der Korrosionsschutzbänder in den Überlappungsbereichen
- sehr gute Haftung der Wicklung auf der Seiloberfläche
- optische Gestaltung des Bauwerkes durch die farbige außenseitige Polyethylenträgerfolie
- Anpassung an Seilverformungen durch elastisches Verhalten der Wicklung
- toleriert Austritt von Seilverfüllmittel ohne Abplatzungen und ohne Bildung von Rissen
- kaum Wartungsaufwand

Montage:

- einfache und preisgünstige Montage durch automatische Wickeltechnologie
- kurze Montagezeiten
- keine Einhausung, Gerüste o. ä. notwendig, daher geringste Beeinflussung des Baubetriebes und des Verkehrs
- weitgehend witterungsunabhängig; nur trockene Seiloberfläche erforderlich
- umweltfreundliche Montage durch Wegfall von Strahlarbeiten

Überwachung:

- Fremdüberwachung der Korrosionsschutzbänder durch den DVGW
- Qualitätssicherung des Wickelverfahrens nach ISO 9001 und SCC
- Monitoring der automatischen Wickelarbeiten vom Boden aus
- überfahrbar mit magnetinduktiven Prüfgeräten
- Brüche in der äußeren Drahtlage des Seiles durch Abbildung in der Wicklung erkennbar
- einfache Überprüfung auf eventuelle Beschädigungen durch visuelle Beobachtung oder durch automatische Befahrtechnologie
- Möglichkeit zur Materialprobenentnahme am Seil ohne Beeinträchtigung des Korrosionsschutzes
- schnelle Reparatur von eventuellen Beschädigungen durch einfaches Aufwickeln zusätzlicher Bandlagen

An den Arbeiten Beteiligte Rheinbrücke Kehl-Straßburg

Bauherr:

Stadt Kehl/

Communauté Urbaine de Straßburg

Prüfingenieur:

Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Reiner Saul

Bauüberwachung:

Leonhardt, André und Partner

GmbH, Stuttgart

Versuchsdurchführung:

Otto Graf- Institut Stuttgart,

Professor Ulf Nürnberger

Ausführung:

Suspa-DSI GmbH, Langenfeld

(Auftragnehmer der gesamten Sanierungsmaßnahmen, Bereitstellung des Korrosionsschutzsystems DYNA Protect)

Alpin Technik und Ingenieurservice

GmbH, Leipzig (visuelle Prüfungen

der Seile, Ausführung aller Arbeiten auf der Baustelle)

Köhlbrandbrücke, Hamburg

Bauherr:

Hamburg Port Authority

Ausführung des

ersten Bauabschnitts:

DSI GmbH, Langenfeld (Auftragnehmer der gesamten Sanierungs-

maßnahmen, Bereitstellung des Korrosionsschutzsystems DYNA Protect)

Alpin Technik und Ingenieurservice

GmbH, Leipzig (visuelle Prüfung der

Seile, Ausführung aller Arbeiten auf

der Baustelle)

DMT GmbH & Co. KG, Bochum

(magnetinduktive Prüfungen der Seile)

Ausführung des zweiten Bauabschnitts:
Alpin Technik und Ingenieurservice GmbH, Leipzig (Auftragnehmer der gesamten Sanierungsmaßnahmen, visuelle Prüfung der Seile, Ausführung aller Arbeiten auf der Baustelle)
DSI GmbH, Langenfeld (Bereitstellung des Korrosionsschutzsystems DYNA Protect)
DMT GmbH & Co. KG, Bochum (magnetinduktive Prüfungen der Seile)

6 Schlussbemerkung

Die Autoren danken allen Beteiligten, vor allen Dingen aber den Bauherren, für die konstruktive und erfolgsorientierte Zusammenarbeit und für ihre Aufgeschlossenheit, den beschriebenen innovativen Korrosionsschutz für vollverschlossene Brückenseile erstmals einzusetzen.

Sie sind überzeugt, dass mit dem Umwickeln der Seile mit Butylkautschukbändern ein System geschaffen wurde, das der bisher üblichen Beschichtung zumindest gleichwertig oder überlegen ist und das sich langfristig durchsetzen wird, wovon auch das Interesse im Ausland zeugt [16]. Mit diesem Verfahren können vor allem bei der Erneuerung des Korrosionsschutzes bestehender Seile erhebliche Einsparungen zugunsten des Bauherrn und des Steuerzahlers erzielt werden.

Holger Svensson hat sich schon früh mit der Problematik des Korrosionsschutzes von vollverschlossenen Seilen und Paralleldrahtbündeln bei Schrägseilbrücken beschäftigt [17].

Literatur

- [1] RKS-Seile: Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau. Ausgabe 1983.
- [2] ZTV-KOR-Seile: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau. Ausgabe 1998.
- [3] TLKS-Seile: Technische Lieferbedingungen für Beschichtungs-, Dicht- und Injizierstoffe an Seilen und Kabeln im Brückenbau. Ausgabe 1983.
- [4] ZTV-ING, Teil 4, Abschnitt 5: Korrosionsschutz von Brückenseilen.
- [5] TL/TP-ING, Teil 4, Abschnitt 4: Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für den äußeren Korrosionsschutz von vollverschlossenen Seilen und Kabeln (TL/TP KOR-VVS).
- [6] *Morgenthal, G., Saul, R.*: Die Geh- und Radwegbrücke Kehl-Straßburg. Stahlbau 74 (2005), H. 2, S. 121–125.
- [7] *Saul, R., Hopf, S.*: Die Kap Shui Mun-Brücke in Hong Kong – eine zweistöckige Schrägseilbrücke für Straßen- und Eisenbahnverkehr. Beton- und Stahlbetonbau 92 (1997), H. 10, S. 261–265 und H. 11, S. 308–312.
- [8] SUSPA -DSI: Faltblatt DYWIDAG Korrosionsschutzsystem DYNA Protect für Schrägseile und Abspannungen. Langenfeld und Unterschleißheim, undatiert.
- [9] Alpin Technik Leipzig: Faltblätter Geräte- und Produktbeschreibungen, undatiert.
- [10] *Nützel, O.*: DYNA Protect – ein neuartiges Korrosionsschutzsystem für Schrägseile und Abspannungen. Vortragsveranstaltung: Parallellitzenbündel im Brückenbau, DMT Bochum, 6.11. 2008.

- [11] *Kuhn, E.*: Automatisierte Methoden und Geräte für Inspektionen und Instandhaltungen an Brückenseilen. Vortragsveranstaltung: Parallellitzenbündel im Brückenbau, DMT Bochum, 6.11.2008.
- [12] Materialprüfungsanstalt Universität Stuttgart: Untersuchungsbericht „Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschuk für vollverschlossene Seile“. Stuttgart, 20.09.2007.
- [13] *Boué, P., Höhne, K.-J.*: Der Stromüberbau der Köhlbrandbrücke in Hamburg. Stahlbau 44 (1975), H. 6, S. 161–174 und H. 7, S. 203–211.
- [14] *Zellner, W., Saul, R.*: Über Erfahrungen beim Umbau und Sanieren von Brücken. Bautechnik 62 (1985), H. 2, S. 51–65.
- [15] *Höft, H.-D., Boué, P.*: Austausch der Tragseile an der Köhlbrandbrücke in Hamburg. Bauingenieur 65 (1990), S. 59–71.
- [16] *Russell, H.*: It's a Wrap. Bridge Design & Engineering 53 (2008), S. 44–45.
- [17] *Saul, R., Svensson, H.*: On the Corrosion Protection of Stay Cables. Stahlbau 59 (1990), H. 6, S. 165–176.

Autoren dieses Beitrages:

Dipl.-Ing. Dr.-Ing. E. h. Reiner Saul
Leonhardt Andrä und Partner GmbH
Heilbronner Straße 362
70469 Stuttgart
info@s.lap-consult.com

Dipl.-Ing. Oswald Nützel
Grellstraße 30, 81929 München
oswald.nuetzel@gmx