

Korrosionsschutz von Brückenseilen

Wickelverfahren mit
Korrosionsschutzbändern

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 154

The logo consists of the word "bast" in a bold, lowercase, green sans-serif font. The letters are slightly shadowed, giving it a 3D appearance. The logo is positioned in the bottom right corner of the page.

Korrosionsschutz von Brückenseilen

Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

von

Heinz Friedrich

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Brücken- und Ingenieurbau Heft B 154

bast

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 Kommunikation.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, 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 Kommunikation.

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: F1100.2212011
Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern für den Korrosionsschutz von Brückenseilen

Referat

Stahlbau, Korrosionsschutz, Brückenausstattung

Herausgeber

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

Redaktion

Stabsstelle Presse und Kommunikation

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
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 978-3-95606-519-4

Bergisch Gladbach, Juni 2020



Kurzfassung – Abstract

Korrosionsschutz von Brückenseilen Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

Für den äußeren Korrosionsschutz von vollverschlossenen Seilen werden üblicherweise ausschließlich für diesen Zweck zugelassene Beschichtungssysteme verwendet. Das hier beschriebene Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern stellt eine interessante Alternative dar, vor allem, wenn dadurch bei Bestandsbauwerken auf umfangreiche Rüstarbeiten verzichtet werden kann. Die wesentlichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung dieses Verfahrens werden am Beispiel von Erhaltungsmaßnahmen an der Talbrücke Obere Argen aufgezeigt.

Das Korrosionsschutzsystem besteht aus zwei Lagen von Butylkautschukbändern, die jeweils mit 50%iger Überlappung um das Seil gewickelt werden. Da die Applikation mit Hilfe eines Wickelroboters vollautomatisch erfolgt, sind keine Gerüste, Hubsteiger, Einhausungen oder sonstige Maßnahmen notwendig, wodurch sich erhebliche Kosten- und Zeitvorteile ergeben können. Bei den Anschlüssen an den Verankerungen im Anfangs- und Endbereich der Seile werden die Korrosionsschutzbänder mit Hilfe eines Handwickelgerätes aufgebracht. Um die Haftung der Bänder auf der Seiloberfläche in diesen Bereichen zu optimieren, erfolgt hier in der Regel eine Grundbeschichtung mittels Primer.

An 22 Schrägseilen der Talbrücke Obere Argen wurde der Korrosionsschutz mittels des Wickelverfahrens erneuert. Im Vergleich zu der bisher aufgetragenen Beschichtung stellt dies mindestens eine gleichwertige Alternative dar.

Aufgrund der guten Erfahrungen und in Anbetracht der möglichen Minimierung von Verkehrseinschränkungen wird eine entsprechende Fortschreibung der ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“ empfohlen. Solange jedoch die Umwicklung von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschutzbändern hier noch nicht geregelt ist, darf dieses Verfahren im Zuständigkeitsbereich des BMVI nur mit einer Zustimmung im Einzelfall erfolgen. Der vorliegende Bericht enthält Empfehlungen und Hinweise, die zur Vereinfachung und Beschleunigung dieses Prozesses beitragen sollen.

Wrapping locked coil ropes with corrosion protection tapes

For the corrosion protection of the exterior of full locked coil ropes only special coating systems may be applied. The described wrapping technology with corrosion-protection tapes constitutes an interesting alternative, especially as there is no major work on scaffolding required. The key requirements for a successful application are shown using the example of maintenance work at the bridge Obere Argen.

The corrosion protection consists of two layers butylcaoutchouc tape wrapped around the cable with 50% overlap, each. In the free length of the cables the corrosion-protection tapes are applied automatically by using a special wrapping-robot. Therefore no scaffolding, elevating platforms or enclosures are required, what might result in significant cost and time benefits. Close to the terminations the tapes are applied by the help of a hand-held device. In order to optimize the adhesion between tape and surface this area should previously be coated with a primer.

At 22 stay cables of the bridge Obere Argen the new corrosion protection has been applied by the use of wrapping technology. Compared with the previously used coating it can be considered as at least equivalent alternative.

Both good experience as well as the reduction of traffic restrictions lead to the recommendation to update the relevant regulations accordingly (ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“). As long wrapping with corrosion protection tapes is not included in the regulatory framework this technology may only be applied within the scope of an individual approval. The present report contains proposals and recommendations which may contribute substantially to simplification and acceleration of the process involved.

Inhalt

Abkürzungen	6
1 Einleitung	7
2 Ziele und Aufgabenstellung	7
3 Verfahren	7
3.1 Allgemein	7
3.2 Freie Länge	7
3.3 Anfangs- und Endbereich	8
4 Einsatzmöglichkeiten	9
4.1 Allgemein	9
4.2 Neue Brücken (Kehl-Straßburg)	9
4.3 Bestehende Brücken (Köhlbrandbrücke)	9
5 Voraussetzungen	10
5.1 Allgemein	10
5.2 Zustand VVS	10
5.3 Rahmenbedingungen	10
6 Pilotprojekt: Talbrücke Obere Argen	10
6.1 Allgemein	10
6.2 Baubeschreibung	12
6.3 Qualitätssicherung	12
6.4 Dauerhaftigkeit	13
6.5 Erhaltung	13
6.6 Seilprüfung	13
6.7 Wirtschaftlichkeit	14
7 Empfehlungen und Hinweise	14
Literatur	15
Bilder	15
Anhang A: Rechnerische Prozessdauer	16
Anhang B: Auszug Prüfmatrix	16

1 Einleitung

Gemäß den ZTV-ING 4-5 Korrosionsschutz von Brückenseilen [1] dürfen für den äußeren Korrosionsschutz von vollverschlossenen Brückenseilen ausschließlich für diesen Zweck zugelassene Beschichtungssysteme verwendet werden. Andere Korrosionsschutzsysteme sind nur mit einer Zustimmung im Einzelfall durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zulässig. Dies gilt sowohl für neue Seile als auch für Seile im Bestand.

Um die einzelnen Schichten üblicherweise im Streichverfahren auf die eingebauten Seile applizieren zu können, müssen diese auf ganzer Länge mittels Gerüsten, Arbeitswagen o.ä. zugänglich gemacht und gegen äußere Einflüsse geschützt werden. Die Kosten hierfür können einen wesentlichen Anteil an den Gesamtkosten der Korrosionsschutzarbeiten betragen, insbesondere wenn es sich um eine komplexe Geometrie der Seile oder besonders hohe Pylone handelt. Darüber hinaus können auf bestehenden Brücken erhebliche Beeinträchtigungen im Verkehrsablauf entstehen.

Eine Alternative zu den herkömmlichen Beschichtungssystemen stellt der Korrosionsschutz mit Butylkautschukbändern aus dem Bereich des Rohrleitungsbaus dar. Für die Applikation solcher Korrosionsschutzbänder auf Brückenseile wurde im Jahr 2008 eine Methode mit selbstfahrenden Wickelrobotern entwickelt, wodurch eine aufwändige Einrüstung o.ä. entfallen kann.

Nach dem erfolgreichen Einsatz der Umwicklung von vollverschlossenen Spiralseilen mit Korrosionsschutzbändern im kommunalen Bereich erfolgte die Pilotanwendung im Zuständigkeitsbereich des BMVI an der Talbrücke Obere Argen im Sommer 2012. Die Ergebnisse der im Jahr 2017 erfolgten Hauptprüfung geben Aufschluss über die erste Betriebsphase der Umwicklung.

2 Ziele und Aufgabenstellung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt „Talbrücke Obere Argen“ der Fachwelt und dabei insbesondere den Straßenbauverwaltungen der Länder sowie zukünftig der Infrastruktur-Gesellschaft Autobahn (IGA) zugänglich zu machen. Die Aufgabe besteht darin, das Verfahren zunächst allgemein zu beschreiben

und die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten aufzuzeigen. Darauf aufbauend erfolgen eine Beschreibung und Bewertung der an den Seilen der Talbrücke Obere Argen durchgeführten Instandsetzungsarbeiten. Abschließend werden dem potenziellen Auftraggeber Empfehlungen und Hinweise für die Planung und Durchführung der Umwicklung von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschutzbändern zur Verfügung gestellt.

3 Verfahren

3.1 Allgemein

Bei der beschriebenen Umwicklung handelt es sich um ein Korrosionsschutzverfahren mit allgemein bauaufsichtlicher Zulassung (AbZ) für tragende Stahlseile [2].

Das Korrosionsschutzsystem besteht aus zwei Lagen von Butylkautschukbändern, die jeweils mit 50%iger Überlappung um das Seil gewickelt werden (Bild 1). Die äußere Butylkautschuklage weist eine UV-stabilisierte PE-Folie an der Oberfläche auf. Die Gesamtschichtdicke beträgt etwa 2,6 mm. In den Überlappungsbereichen kommt es über die Schichtgrenzen hinweg durch Interdiffusion der Kautschukmoleküle zu einer Kaltverschweißung der Bänder. 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 [3] 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)

3.2 Freie Länge

Auf der freien Länge werden die Korrosionsschutzbänder mit Hilfe eines Wickelroboters voll- oder



Bild 1: Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschukbändern [3]

halbautomatisch 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 2) 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.

Die Applikation der Korrosionsschutzbänder erfolgt in mehreren Abschnitten entsprechend der verwendeten Bandlängen und der Seilgeometrie (Länge und Durchmesser). Bei der vollautomatischen Methode wird der Wickelroboter nach der Fertigstellung eines Abschnitts nach unten gefahren und mit neuen Bändern bestückt. Anschließend fährt er wieder an die ursprüngliche Endposition, um mit der Wicklung des nächsten Abschnitts zu beginnen. Die dabei erforderlichen Stöße lassen sich mit der elektronischen Steuerung des Wickelroboters ausführen, so dass hierfür planmäßig kein direkter Zugang für Personal zu den Seilen erforderlich ist. Die beiden Lagen Korrosionsschutzbänder werden hintereinander appliziert, so dass der beschriebene Prozess 2x durchlaufen werden muss. Bei der halbautomatischen Methode erfolgt die Applikation beider Bandlagen gleichzeitig. Durch den Einsatz von Seilzugangstechnikern ist es dabei nicht notwendig, den Wickelroboter herunterzufahren. Insbesondere bei großen Seillängen kann so eine deutlich höhere Applikationsmenge erreicht werden.

Anhang A enthält Hinweise zur rechnerischen Prozessdauer beim Einsatz vollautomatischer Geräte. Für die tatsächliche Prozessdauer sind zudem witterungsbedingte Pausen sowie Fristen für Wartung und Reparatur des Wickelroboters zu berücksichtigen. Gemäß Herstellerangaben können pro Wickelroboter und Tag (8 h) mit vollautomatischen Geräten etwa 20 m² und mit halbautomatischen Geräten bis zu 120 m² Seilfläche (jeweils zweilagig) aufgebracht werden.

3.3 Anfangs- und Endbereich

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 er-

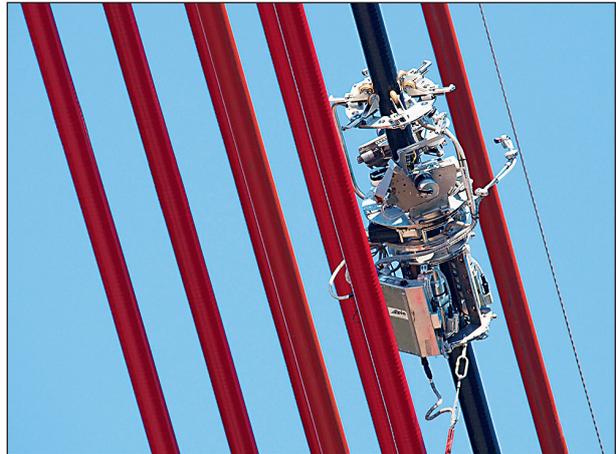


Bild 2: Wickelroboter



Bild 3: Anschluss mittels Kehluge (Kehl)



Bild 4: Anschluss oberhalb des Brückendecks (Köhlbrandbrücke)

reichen, 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 Kehluge mit dauerplastischem

Material erfolgen (Bild 3) oder in Form eines Übergangs zwischen den Korrosionsschutzbändern und einer herkömmlichen Korrosionsschutzbeschichtung (Bild 4). Hier installierte Schwingungsdämpfer müssen ggf. entfernt und nach der Applikation neu montiert werden.

Bei der Verankerung am Pylon ist es auch möglich die Wicklung der Korrosionsschutzbänder in den Pylon hineinzuführen (Bilder 5 und 6). Für Seile, die in den Überbau hineingeführt werden, lassen sich entsprechend den örtlichen Gegebenheiten weitere Lösungsmöglichkeiten entwickeln.

4 Einsatzmöglichkeiten

4.1 Allgemein

Die Beispiele der Geh- und Radwegbrücke „Passerelle des Deux Rives“ über den Rhein bei Kehl-Straßburg und der Köhlbrandbrücke in Hamburg zeigen, dass das Korrosionsschutzverfahren mit Butylkautschukbändern sowohl bei neuen als auch bei bestehenden Schrägseilbrücken eingesetzt werden kann. In beiden Fällen lag die Zuständigkeit bei den kommunalen Bauträgern.

4.2 Neue Brücken (Kehl-Straßburg)

Die Geh- und Radwegbrücke „Passerelle des Deux Rives“ über den Rhein bei Kehl-Straßburg dient als Beispiel für die Umwicklung neuer Seile mit Korrosionsschutzbändern. Nach der visuellen Dokumentation der Seiloberfläche mit dem Befahrgerät erfolgt die Applikation auf die gereinigten verzinkten Drähte der Außenlage. Anstelle einer Oberflächenvorbereitung durch Sweep-Strahlen wird die Reinigung von Hand per Seilzugangstechnik oder mit rotierenden Naturbürsten durchgeführt, die an dem Befahrgerät befestigt sind [3].

Die Anschlüsse an der Verankerung im Anfangs- und Endbereich werden jeweils auf die gleiche Art und Weise hergestellt. Auf einer Länge von etwa 1,20 m erfolgt eine Grundbeschichtung mit einem Primer, um die Haftung auf der Seiloberfläche zu steigern. Die Butylkautschukbänder werden an diesen Stellen mit einem Handwickelgerät aufgebracht. Die Abdichtung des Übergangs zur Verankerung erfolgt mittels einer Kehlfuge (Bild 3) [3].



Bild 5: Anschluss an die Verankerung am Pylon (Köhlbrandbrücke) [3]

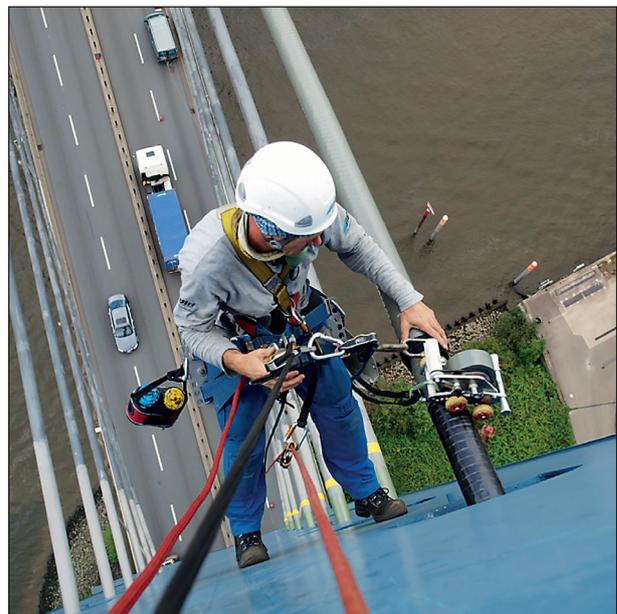


Bild 6: Wicklung wird in den Pylon hineingeführt.

4.3 Bestehende Brücken (Köhlbrandbrücke)

Die Köhlbrandbrücke in Hamburg dient als Beispiel für die Umwicklung bestehender Seile mit Korrosi-

onsschutzbändern. Da die Applikation auf der bereits bestehenden Korrosionsschutzbeschichtung erfolgt, ist im Vorfeld eine Reinigung der Seiloberfläche erforderlich. Zunächst werden eine visuelle und eine magnetinduktive Prüfung mit dem Seilbefahrergerät über die komplette Seillänge durchgeführt, um einerseits die schadhaften Stellen zu identifizieren und andererseits Referenzdaten für zukünftige Prüfungen zu generieren. Daraufhin erfolgt die Reinigung – von Hand per Seilzugangstechnik oder mit dem Seilbefahrergerät – über die gesamte Länge, um die losen Bestandteile der Beschichtung und grobe Verschmutzungen zu entfernen. Der Zugang hierzu erfolgt ebenfalls mittels Seilzugangstechnik. Die so vorbereiteten Seile können nun bei geeigneten klimatischen Voraussetzungen mit den Korrosionsschutzbändern umwickelt werden [3].

Der Anschluss an die Verankerung im Anfangsbereich liegt aufgrund der engen Verhältnisse oberhalb des Brückendecks (Bild 4). Das untere Ende des Seils ist mit einem herkömmlichen Beschichtungssystem versehen, wobei die Überlappung mit den Korrosionsschutzbändern etwa 50 cm beträgt. Der Anschluss an die Verankerung am Pylon liegt etwa 30 cm innerhalb der Aussparung und somit in einem vor Regen geschützten Bereich (Bild 5) [3].

5 Voraussetzungen

5.1 Allgemein

Um einen vollflächigen und dauerhaften Verschluss der Seile zu erreichen, müssen Voraussetzungen erfüllt sein, die sowohl den Zustand des vollverschlossenen Seils als auch die äußeren Rahmenbedingungen betreffen.

5.2 Zustand VVS

Das vollverschlossene Seil muss frei von groben Verschmutzungen oder losen Bestandteilen und trocken sein.

Da grobe Verschmutzungen oder lose Bestandteile die Haftung der Korrosionsschutzbänder reduzieren würden, müssen Verunreinigungen auf der Seiloberfläche entsprechend der Klasse 5 nach DIN EN ISO 8502-3:1999-06 gemäß der bei der Zulassungsstelle hinterlegten Arbeitsanleitung entfernt werden. Details und Vorlaufzeiten sind projektspezifisch festzulegen. Bei bestehenden Seilen ergibt

sich womöglich die Notwendigkeit, die alte Beschichtung zumindest partiell per Hand zu entfernen.

Das zweite entscheidende Kriterium ist, wie auch bei anderen Korrosionsschutzsystemen, den Einschluss von Feuchtigkeit unbedingt zu vermeiden. Das heißt, dass das Seil beim Beginn der Umwicklung trocken sein muss und dass auch während des Wickelprozesses keine Feuchtigkeit in den Seilkörper eindringen bzw. im Seilkörper entstehen darf. Dies kann durch Beachtung geeigneter Witterungsverhältnisse und durch Einhaltung eines ausreichenden Abstandes der Oberflächentemperatur zum Taupunkt gewährleistet werden (Abschnitt 5.3).

Die Anwendung von Schutzmaßnahmen hingegen erscheint unzweckmäßig, da der Vorteil des Wickelverfahrens darin besteht, dass auf eine Einrüstung und Einhausung der Seile verzichtet werden kann.

5.3 Rahmenbedingungen

Zu den äußeren Rahmenbedingungen zählen die Witterungsverhältnisse und die Zugänglichkeit.

Die Applikation der Korrosionsschutzbänder darf nur bei geeigneten Witterungsverhältnissen erfolgen. Um einen Ausschluss von Feuchtigkeit zu gewährleisten, ist zwischen der Objekt- und der Taupunkttemperatur der umgebenden Luft ein Sicherheitsabstand von mindestens 3 K einzuhalten. Auch für die maximal zulässigen Windgeschwindigkeiten und für die mögliche Spanne der Objekt- bzw. Lufttemperatur sind Grenzwerte entsprechend den örtlichen Gegebenheiten festzulegen.

Die Zugänglichkeit des zu umwickelnden Seils muss gegeben sein. Die üblichen Wickelroboter können z. B. nicht eingesetzt werden, wenn der lichte Abstand zwischen den einzelnen Seilen weniger als 20 cm beträgt.

6 Pilotprojekt: Talbrücke Obere Argen

6.1 Allgemein

Die Bundesautobahn BAB A96 zwischen Memmingen und Lindau überquert das Tal der Oberen Argen mit einer 730 m langen Brückenkonstruktion bestehend aus einem seilverspannten Stahlüberbau und

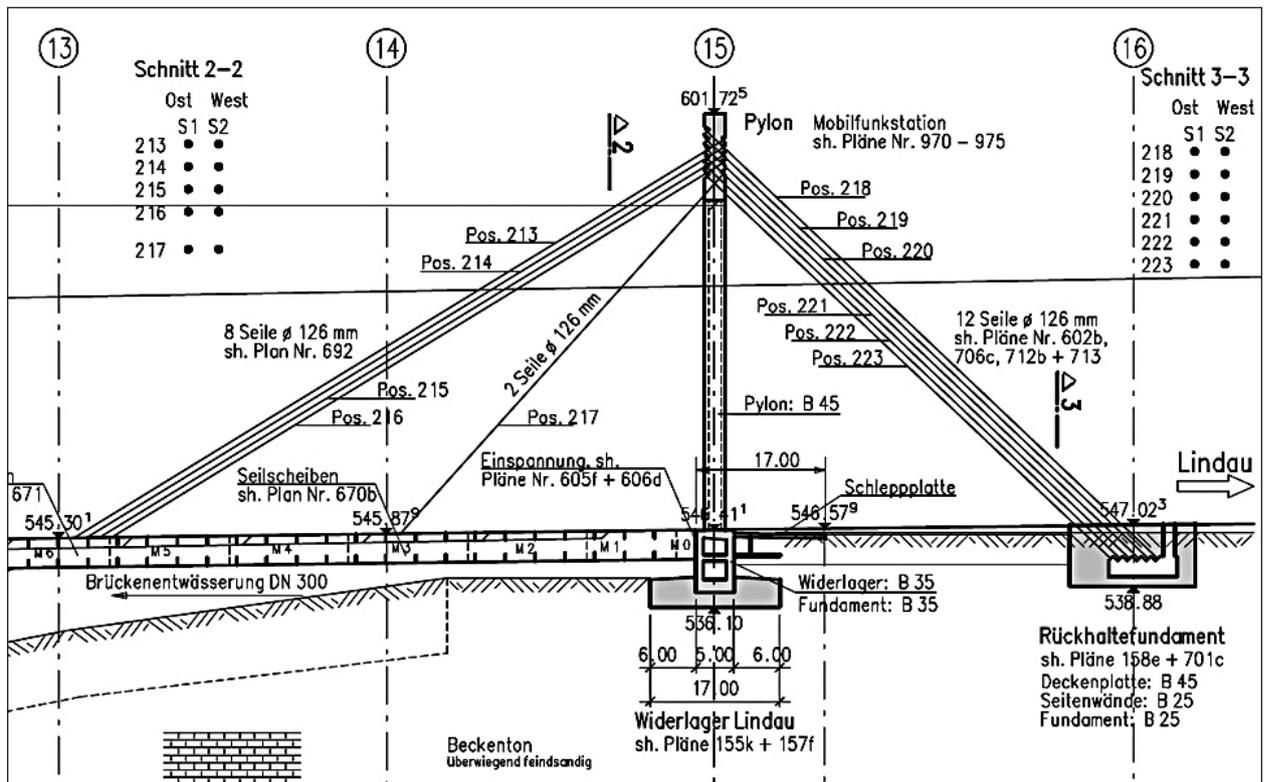


Bild 7: Längsschnitt der Talbrücke Obere Argen (Teil mit oberhalb der Fahrbahn liegenden Seilen)



Bild 8: Talbrücke Oberer Argen (Teil mit oberhalb der Fahrbahn liegenden Seilen)

zweier Spannbetonüberbauten. Entscheidend für die Wahl dieses Brückensystems sind die geologischen Verhältnisse mit einer für ein Gründungsbauwerk ungeeigneten Rutschmasse auf der Talseite Lindau. Daher wird der gesamten Rutschhang durch eine 349 m lange Stahlbrücke mit einer Seilüber- und unterspannung überbrückt.

Als Ergebnis einer im Jahr 2005 durchgeführten Seilprüfung wird die Vollerneuerung des Korrosionsschutzes der Seile bis spätestens 2010 als notwendig erachtet. Da bei der klassischen Vorge-

hensweise hohe Kosten und große Verkehrseinschränkungen entstehen, wird auf Basis einer entsprechenden Zustimmung im Einzelfall das Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern ausgeschrieben. Dabei waren Nebenangebote zugelassen mit der Bedingung, dass keine größeren Verkehrsbeeinträchtigungen entstehen als bei der Wickeltechnik.

Da die Seile unterhalb der Fahrbahn wegen des geringen Abstandes zueinander konventionell bearbeitet werden mussten, bezieht sich die folgende Beschreibung und Bewertung ausschließlich auf die Korrosionsschutzmaßnahmen an den Seilen oberhalb der Fahrbahn (Bild 7 und 8).

Im Rahmen der fachtechnischen Begleitung der Maßnahme werden neben einer allgemeinen Baubeschreibung insbesondere die folgenden Aspekte näher beleuchtet:

- Qualitätssicherung,
- Dauerhaftigkeit,
- Erhaltung und
- Wirtschaftlichkeit.

6.2 Baubeschreibung

Im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen wurde im Sommer 2012 neben anderen Erhaltungsmaßnahmen der Korrosionsschutz an den Brückenseilen erneuert. Bei den oberhalb der Fahrbahn liegenden Seilen erfolgte dies per Umwicklung mit Butylkautschukbändern auf der bereits vorhandenen, alten Beschichtung.

Im Vorfeld der Wickelarbeiten wurden grobe Verschmutzungen oder lose Bestandteile durch Seilzugangstechniker entfernt. Anschließend erfolgte eine visuelle und im Verankerungsbereich eine endoskopische Prüfung.

Zunächst wurden die Seile mittels Roboter mit der Basislage aus schwarzem Butylkautschukband umwickelt. Die für den Korrosionsschutz maßgebliche 50%ige Überlappung der Bänder zur Erlangung einer entsprechenden Dicke der Umwicklung wurde eingehalten [4]. Dann erfolgte die Umwicklung mit der roten Decklage (Bild 9).

Die Applikation der Bänder wurde von einer am Wickelroboter angebrachten Videokamera kontinuierlich aufgenommen/aufgezeichnet. Ebenso wurden Luft-, Oberflächen- und Taupunkttemperatur sowie die relative Luftfeuchte arbeitstäglich mehrmals gemessen und protokolliert [4].

Die Butylkautschukbänder wurden bis zu ihrer Verarbeitung in der Verpackung in einem trockenen, kühlen Raum der Brücke unterhalb des Pylons gelagert, so dass keine Beschädigungen, plastische Verformungen oder übermäßige Erwärmung der Bänder aufgetreten sind.

Neben den Arbeiten auf der freien Seillänge erfolgte auch eine Instandsetzung der Seilhauben (mit integrierten Elastomerdämpfern) in mehreren Arbeitsschritten:

- Freilegen des Dämpfers,
- Auftragen einer Skale zur Bestimmung der Spaltbreite zwischen Dämpfer und Haube,
- Anpassen von Blechstreifen aus nichtrostendem Stahl entsprechend der Spaltbreite,
- Entfernen der Seilhaube,
- Befestigung der Blechstreifen,
- Entrosten und Neubeschichtung der Seilhaube mit Zinkstaubfarbe,



Bild 9: Die Umwicklung mit der roten Decklage erfolgt auf die schwarze Basislage



Bild 10: Montage von Seilhaube und Dämpfer [4]

- Zusammenbau von Elastomerdämpfer und Seilhaube (Bild 10),
- Beschichten des Übergangs mit einem Butylkautschuk-Primer,
- Ausrunden der Kehlfuge mit dauerplastischem Butylkautschukkit,
- Umwickeln mit Butylkautschukband,
- Aufsetzen eines Neoprenüberzuges,
- Fertigstellen des Seilabschlusses per Handwicklung.

Durch den gewählten Aufbau wird der Zutritt von Wasser zu den Seilanschlüssen unterbunden [4].

6.3 Qualitätssicherung

Bei der Anwendung des Wickelverfahrens muss gewährleistet sein, dass eine mindestens gleichwertig hohe Ausführungsqualität erreicht wird wie bei her-

kömmlichen Korrosionsschutzarbeiten. Der Nachweis der Gleichwertigkeit bezüglich der Qualitätssicherung kann nach folgendem Schema erfolgen:

- Zusammenstellung der relevanten Qualitätskriterien,
- Erläuterung der vorgesehenen Maßnahmen, um diese Kriterien zu erfüllen,
- Darstellung des Überwachungskonzepts.

Als Grundlage dienen die Bestimmungen der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung [2]. Die Materialprüfungsanstalt der Universität Stuttgart wurde mit der stichprobenartigen Überprüfung der Arbeiten beauftragt. Diese Überprüfung fand an drei Ortsterminen statt. In der Gesamtbewertung wird das Wickelverfahren positiv beurteilt: „Der Korrosionsschutz erfüllt die Anforderungen der TL/TP-KOR-VVS und stellt somit im Vergleich zu der bisher aufgetragenen Beschichtung der vollverschlossenen Seile der Talbrücke mindestens eine gleichwertige Alternative dar“ [4].

6.4 Dauerhaftigkeit

Da bezüglich der Dauerhaftigkeit keine langfristigen Erfahrungswerte für mit Kautschukbändern umwickelte Brückenseile vorliegen, ist es erforderlich, die Lebensdauer des neuen Korrosionsschutzes anhand geeigneter Kriterien zu prognostizieren.

Im Rahmen einer Untersuchung der MPA Stuttgart wurde anhand von Prüfungen (Beständigkeit gegen Feuchtigkeit und Beständigkeit gegen Salzsprühnebel, usw.) die grundsätzliche Eignung des Korrosionsschutzsystems mit Butylkautschukbändern für vollverschlossene verzinkte Seile nachgewiesen [5]. Eine gesicherte Prognose der Dauerhaftigkeit lässt sich hieraus jedoch nicht ableiten. Von Herstellerseite wird allerdings davon ausgegangen, dass die Lebensdauer mehr als 60 Jahre beträgt [6].

6.5 Erhaltung

Im Interesse einer optimalen Erhaltung sollten die folgenden Aspekte bereits in der Planungs- und Erstellungsphase berücksichtigt werden:

- Erforderliche Untersuchungen im Rahmen der Bauwerksprüfung,

- Aufzeigen der Möglichkeiten einer Reparatur bzw. eines Austauschs und
- Vorgehen beim Rückbau und Entsorgung.

Spezifische Regelungen zur Bauwerksprüfung sind im „Prüfhandbuch für die Talbrücke Obere Argen“ enthalten [7]. Bezüglich der Seile oberhalb der Fahrbahn ist u. a. folgendes festgelegt: „Die optische Prüfung der umwickelten Seile kann [...] mit einem Hubsteiger stattfinden. Alternativ bietet sich auch eine Kamerabefahrung an. Bei Bedarf können die unklaren bzw. schadhaften Stellen mit einem Hubsteiger handnah geprüft werden. [...] Es können Beschädigungen am Wickelsystem erkannt werden [...]. Weiterhin wären Schädigungen am Drahtverbund [...] oder klaffende Fugen zwischen Außendrähten erkennbar.“ Im Rahmen der optischen Prüfung der Seileinleitung sollten „etwa 25% [der Manschetten] bei jeder Hauptprüfung geöffnet werden“. Der Anhang B beinhaltet die zugehörige Prüfmatrix.

Eine Arbeitsanleitung für Reparaturstellen ist beim Deutschen Institut für Bautechnik hinterlegt. Bezüglich Rückbau und Entsorgung wurden bislang keine Angaben gefunden.

6.6 Seilprüfung

Die umwickelten Seile wurden im Auftrag des Regierungspräsidiums Tübingen vor Ablauf der Gewährleistung im Mai 2017 geprüft. Die Prüfung umfasste u. a. die freie Seillänge zwischen Überbau und Pylon, sämtliche Verankerungen am Überbau und 6 von 22 Verankerungen am Pylon.

Auf der freien Länge erfolgte die Prüfung durch eine automatisierte Kamerabefahrung, bei der die Seiloberfläche zu 100 % erfasst wurde. Die Aufnahmen sind als Panoramabildabwicklung dokumentiert. Die Auswertung [8] ergab nur einige wenige Auffälligkeiten, die keinen Mangel hinsichtlich der Dauerhaftigkeit des Korrosionsschutzsystems darstellen:

- Punktuelle Ausbleichungen der Toplage nahe des Pylons,
- Zurückziehen bzw. Ablösen der Toplagenspitze an den Stößen um wenige Millimeter (Bild 11),
- an sieben Seilen längliche, radial verlaufende Erhöhungen infolge unbeabsichtigten Umschlagens der Basislage beim Einbau,

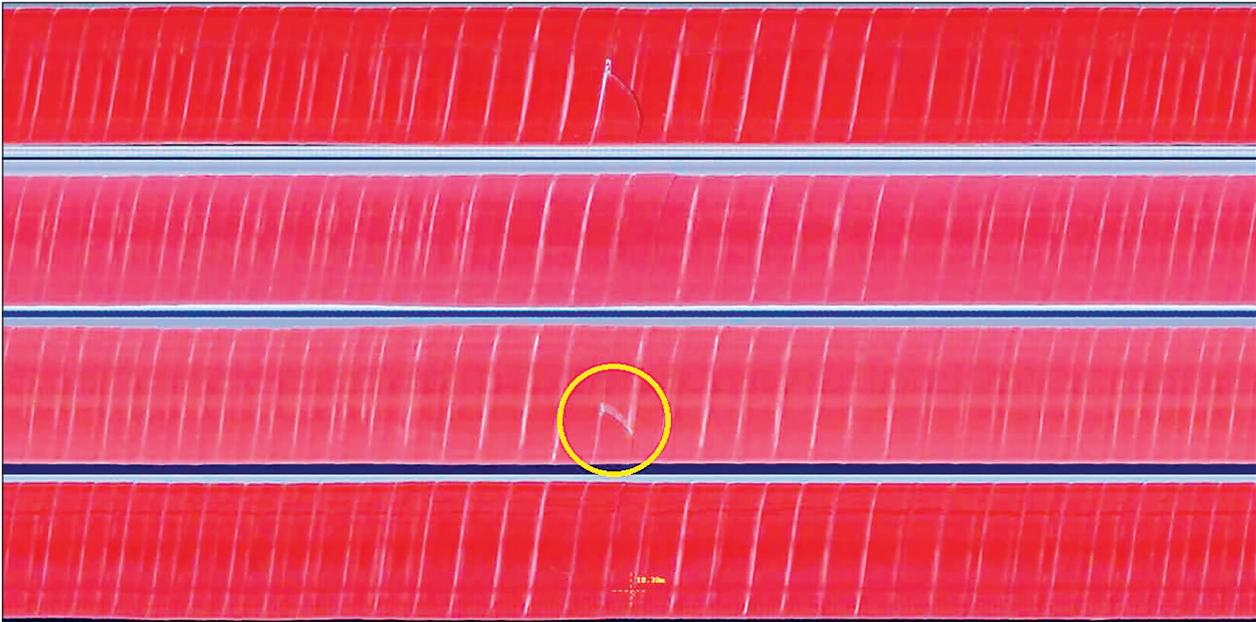


Bild 11: Ausschnitt Bilddokumentation nach Kamera-Befahrung: Stoß Toplage, Band zieht sich leicht zurück, unbedenklich [8]

- an einem Seil größere Überlappung als notwendig (35 mm anstelle der planmäßig erforderlichen 50%igen Überlappung von 25 mm) infolge nicht richtiger Geräteeinstellung beim Einbau,
- zwei Bereiche mit oberflächlichen Kratzern in der Toplage,
- leichte Farbunterschiede in der Toplage infolge der Verwendung unterschiedlicher Chargen der Korrosionsschutzbänder beim Einbau.

Bei den Verankerungen erfolgte die Prüfung im Durchdringungsbereich mittels Endoskop. Die Auswertung ergab, dass sich der Korrosionsschutz der Seile im Bereich des Überbaus allgemein in einem guten Zustand befindet. Im Durchdringungsbereich am Pylon sind einige Beschichtungsmängel der Seile mit stellenweise bereits vorhandener Korrosion aufgefallen, wobei ein Voranschreiten der „Schäden“ im Vergleich zur Inspektion aus 2012 nicht festgestellt werden konnte [8].

Ein Seilabschnitt wurde auf einer Länge von ca. 50 cm mit einer weiteren, zusätzlichen Wicklung versehen. Hier lassen sich zur weiteren Langzeitprüfung Materialproben entnehmen, ohne die eigentliche Wicklung zu zerstören.

6.7 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit der neuen Maßnahme ist anhand eines Vergleichs mit dem herkömmlichen Verfahren nachzuweisen.

Bei herkömmlichen Beschichtungssystemen haben die häufig aufwendigen Gerüstbauarbeiten und Sicherungsmaßnahmen maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtkosten. Ursprünglich waren 900.000,- € für das Gerüst und etwa 182.000,- € für die Korrosionsschutzbeschichtung kalkuliert. Darüber hinaus hätten die Gerüstbauarbeiten 40mal eine Vollsperrung mit den entsprechenden Verkehrsstörungen bedeutet [9].

Die Kosten für das Wickelverfahren betragen 978.000,- € einschl. Baustelleneinrichtung, Vorbereitung und Dokumentation. Das entspricht bei einer Gesamtseillänge von 1.700 m einem Betrag von 575,- € je m. [9]

7 Empfehlungen und Hinweise

Aufgrund der guten Erfahrungen und in Anbetracht der möglichen Minimierung von Verkehrseinschränkungen wird eine Fortschreibung der ZTV-ING Teil 4 Abschnitt 5 „Korrosionsschutz von Brückenseilen“ unter Berücksichtigung des Wickelverfahrens empfohlen. Solange jedoch die Umwicklung von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschutzbändern hier noch nicht geregelt ist, darf dieses Verfahren im

Zuständigkeitsbereich des BMVI nur mit einer Zustimmung im Einzelfall zum Einsatz kommen. Die folgenden Empfehlungen und Hinweise sollen zur Vereinfachung und Beschleunigung dieses Prozesses beitragen.

Die Ausschreibung kann auf Basis einer entsprechenden Zustimmung im Einzelfall direkt erfolgen, oder das Wickelverfahren wird im Rahmen einer konventionellen Ausschreibung für den Korrosionsschutz als Nebenangebot erlaubt. In beiden Fällen sollte eine europäische und/oder deutsche allgemeine bauaufsichtliche Zulassung für den Einsatz an tragenden vollverschlossenen Seilen vorliegen.

Auf der Grundlage einer solchen Zulassung können sowohl die Qualitätssicherung seitens des Auftragnehmers (bzw. des Herstellers) sowie eine ausreichende Dauerhaftigkeit als weitgehend gewährleistet angesehen werden (Abschnitte 6.3 und 6.4). Zur Gewährleistung der Qualitätssicherung seitens des Auftraggebers gehört vor allem eine effektive Baustellenüberwachung. Die für eine optimale Erhaltung relevanten Aspekte (Abschnitt 6.5) sollten bereits in der Planungs- und Erstellungsphase im Bauwerksbuch berücksichtigt werden. Die Wirtschaftlichkeit des Wickelverfahrens ist anhand eines Vergleichs mit der herkömmlichen Methode nachzuweisen (Abschnitt 6.7).

Literatur

- [1] ZTV-ING, Teil 4 Abschnitt 5: Korrosionsschutz von Brückenseilen
- [2] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung Z-30.11-41, 29.03.2016
- [3] SAUL, R.; NÜTZEL, O.; Umwickeln mit Butylkautschukbändern – ein innovativer Korrosionsschutz für vollverschlossene Brückenseile, Stahlbau 79 (2010), Heft 3
- [4] BEUL, W.; GRÜNER, F.; Untersuchungsbericht Nr. 902 3678 000/Beu, MPA Stuttgart, 27.08.2013
- [5] BEUL, W.; VOLLAND, G.; Untersuchungsbericht Nr. 901 8424 000/Beu, MPA Stuttgart, 27.05.2010
- [6] ATIS Cableskin; Korrosionsschutzverfahren für Seile, Kurzbeschreibung, Referenzliste, <https://www.alpintechnik.de/files/inhalte/downloads/de/kurzbeschreibungen/ATIS%20Cableskin%20Kurzbeschreibung%20Referenzliste.pdf>
- [7] Prüfhandbuch für die Talbrücke Obere Argen im Zuge der A 96 bei Wangen / Neuravensburg; BW-Nr. 8324 545 A, Regierungspräsidium Tübingen, Baden-Württemberg
- [8] ZIMMERMANN, C.; KÖHLER, M.; Prüfbericht Talbrücke Obere Argen, Automatisierte visuelle Seilprüfung und endoskopische Seilprüfung 10.-16.05.2017, Alpin Technik Leipzig, 21.08.2017
- [9] SCHMID, H.; Wickeln von vollverschlossenen Seilen an der Talbrücke Obere Argen, Expertengespräch Stahlbrückenbau am 23.9.2014, https://www.bast.de/BASSt_2017/DE/Ingenieurbau/Publikationen/Veranstaltungen/B2-2014-Stahlbruecken/Vortrag-Schmid.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Bilder

- Bild 1: Korrosionsschutzsystem mit Butylkautschukbändern [3]
- Bild 2: Wickelroboter
- Bild 3: Anschluss mittels Kehlfrage (Kehl)
- Bild 4: Anschluss oberhalb des Brückendecks (Köhlbrandbrücke)
- Bild 5: Anschluss an die Verankerung am Pylon (Köhlbrandbrücke) [3]
- Bild 6: Wicklung wird in den Pylon hineingeführt
- Bild 7: Längsschnitt der Talbrücke Obere Argen (Teil mit oberhalb der Fahrbahn liegenden Seilen)
- Bild 8: Talbrücke Oberer Argen (Teil mit oberhalb der Fahrbahn liegenden Seilen)
- Bild 9: Die Umwicklung mit der roten Decklage erfolgt auf die schwarze Basislage
- Bild 10: Montage von Seilhaube und Dämpfer [4]
- Bild 11: Ausschnitt Bilddokumentation nach Kamera-Befahrung: Stoß Toplage, Band zieht sich leicht zurück, unbedenklich [8]

Anhang

Anhang A: Rechnerische Prozessdauer

Die Länge eines Seilabschnitts l_A berechnet sich bei einer üblichen Bandlänge von 2×40 m für das innere Band und 2×140 m für das äußere Band in Abhängigkeit vom Seildurchmesser d [m] (bei 50 mm breiten Bändern mit 50%iger Überlappung):

$$l_{A(\text{innen})} = \frac{0,025 * 140}{d \pi} \quad l_{A(\text{außen})} = \frac{0,025 * 280}{d \pi}$$

Für ein Seil der Länge L beträgt die Anzahl A an Seilabschnitten:

$$A = 1 + \text{INT} \frac{L}{l_A}$$

Die Prozessgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Wickelvorgang und den Rüstzeiten. Die maximale Wickelgeschwindigkeit v_W , die derzeit erreicht werden kann, beträgt 60 Umdrehungen pro Minute. Die Fortschrittgeschwindigkeit am Seil v_S berechnet sich demnach in Abhängigkeit vom Seildurchmesser d [m] (bei 50 mm breiten Bändern mit 50%iger Überlappung):

$$v_S = 0,025 * 60$$

Für ein Seil der Länge L erfordert der reine Wickelvorgang einen Zeitraum t_W von:

$$t_W = \frac{L}{v_S}$$

Die Rüstzeit t_R ergibt sich aus der Summe mit

- den Fahrzeiten des Wickelroboters t_F ,
- dem Zeitbedarf für die Bestückung des Roboters mit neuen Bändern t_B und
- dem Zeitbedarf für die Herstellung der Stöße t_S :

$$t_R = t_F + t_B + t_S$$

Bei einer maximalen Fahrgeschwindigkeit des Roboters v_R von etwa 18 m/Minute kann die Gesamtfahrzeit t_F näherungsweise wie folgt berechnet werden:

$$t_F = A (A + 1) \frac{l_A}{18}$$

Die einmalige Bestückung des Roboters mit einem neuen Korrosionsschutzband dauert etwa 10 min. Bei der Anzahl von A Abschnitten ergibt sich ein Zeitbedarf t_B :

$$t_B = 10 A$$

Die Herstellung eines Stoßes dauert etwa 3 min. Bei der Anzahl von A Abschnitten ergibt sich ein Zeitbedarf t_S :

$$t_S = 3 (A - 1)$$

Die rechnerische Prozessdauer t_P für die Umwicklung der freien Länge eines Brückenseils mit zwei Lagen Korrosionsschutzband ergibt sich aus:

$$t_P = 2 * t_W + t_{R(\text{innen})} + t_{R(\text{außen})}$$

Für die tatsächliche Prozessdauer müssen zudem witterungsbedingte Pausen sowie Fristen für Wartung und Reparatur des Wickelroboters berücksichtigt werden. Gemäß Herstellerangaben können etwa 20 m² Seilfläche (zweilagig) pro Wickelroboter und Tag (8 h) aufgebracht werden. Dieser Wert basiert auf den bisherigen Erfahrungen.

Anhang B: Auszug Prüfmatrix

Prüfverfahren	Geräteeinsatz	Abstand der Prüfungen
Optische Prüfung der Seile	Kamerabefahrung und/oder Hubsteiger	6 Jahre
Optische Prüfung der Seileinleitung und der Endverankerung	Endoskop, Öffnen der Seilhauben auf Pylon und der Manschetten	6 Jahre
Magnetinduktive Messung	Messkopf mit Erregerspule	Nach Bedarf (bisher alle 6 Jahre)
Seilkraftbestimmung mit Frequenzmessung	Frequenzmessgerät	Nach Bedarf

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Brücken- und Ingenieurbau“

2015

B 112: Nachhaltigkeitsberechnung von feuerverzinkten Stahlbrücken

Kuhlmann, Maier, Ummenhofer, Zinke,
Fischer, Schneider € 14,00

B 113: Versagen eines Einzelelementes bei Stützkonstruktionen aus Gabionen

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

B 114: Intelligente Bauwerke – Anforderungen an die Aufbereitung von Messgrößen und ihrer Darstellungsform

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

B 115: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die sicherheitstechnische Ausstattung und den Brandschutz von Straßentunneln

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

B 116: Überwachungskonzepte im Rahmen der tragfähigkeitsrelevanten Verstärkung von Brückenbauwerken aus Beton

Schnellenbach-Held, Peeters, Brylka, Fickler, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 117: Intelligente Bauwerke – Prototyp zur Ermittlung der Schadens- und Zustandsentwicklung für Elemente des Brückenmodells

Thöns, Borrmann, Straub, Schneider, Fischer, Bügler
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 118: Überwachungskonzepte für Bestandsbauwerke aus Beton als Kompensationsmaßnahme zur Sicherstellung von Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Siegert, Holst, Empelmann, Budelmann
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 119: Untersuchungen zum Brandüberschlag in Straßentunneln

Schmidt, Simon, Guder, Juknat,
Hegemann, Dehn € 16,00

B 120: Untersuchungen zur Querkrafttragfähigkeit an einem vorgespannten Zweifeldträger

Maurer, Gleich, Heeke, Zilch, Dunkelberg
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 121: Zerstörungsfreie Detailuntersuchungen von vorgespannten Brückenplatten unter Verkehr bei der objektbezogenen Schadensanalyse

Diersch, Taffe, Wöstmann, Kurz, Moryson
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 122: Gussasphalt mit integrierten Rohrregistern zur Temperierung von Brücken

Eilers, Friedrich, Quaaas, Rogalski, Staeck
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

B 123: Nachrechnung bestehender Stahl- und Verbundbrücken – Restnutzung

Geißler, Krohn € 15,50

B 124: Nachrechnung von Betonbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Fischer, Lechner, Wild, Müller, Kessner
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 125: Entwicklung einheitlicher Bewertungskriterien für Infrastrukturbauwerke im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Kistner, Graubner, Knauf, Fischer, Schmidt-Thrö
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 126: Konzeptionelle Ansätze zur Nachhaltigkeitsbewertung im Lebenszyklus von Elementen der Straßeninfrastruktur

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

B 127: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-2-Schäden

Kuhlmann, Hubmann € 21,50

B 128: Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-3-Schäden

Ungermann, Brune, Giese € 21,00

B 129: Weiterentwicklung von Verfahren zur Bewertung der Nachhaltigkeit von Verkehrsinfrastrukturen

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

B 130: Intelligente Straßenverkehrsinfrastruktur durch 3D-Modelle und RFID-Tags

Tulke, Schäfer, Brakowski, Braun
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 131: Pilotstudie zum Bewertungsverfahren Nachhaltigkeit von Straßenbrücken im Lebenszyklus

Schmidt-Thrö, Mielecke, Jungwirth, Graubner, Fischer, Kuhlmann, Hauf
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 132: Pre-Check der Nachhaltigkeitsbewertung für Brückenbauwerke

Graubner, Ramge, Hess, Ditter, Lohmeier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 133: Anforderungen an Baustoffe, Bauwerke und Realisierungsprozesse der Straßeninfrastrukturen im Hinblick auf Nachhaltigkeit

Mielecke, Graubner, Ramge, Hess, Pola, Caspari
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 134: Nachhaltigkeitsbewertung für Erhaltungs- und Erüchtigungskonzepte von Straßenbrücken

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

2017

B 135: Wirksamkeit automatischer Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Kohl, Kammerer, Leucker, Leismann, Mühlberger, Gast
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 136: HANV als Verstärkung von Stahlbrücken mit Kategorie-1-Schäden

Stranghöner, Lorenz, Raake, Straube †, Knauff
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 137: Verstärkung von Stahlbrücken mit hochfestem Beton

Mansperger, Lehmann, Hofmann, Krüger, Lehmann € 14,50

B 138: Rückhaltesysteme auf Brücken – Einwirkungen aus Fahrzeuganprall und Einsatz von Schutzeinrichtungen auf Bauwerken

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

B 139: Unterstützung der Bauwerksprüfung durch innovative digitale Bildauswertung – Pilotstudie

Sperber, Gößmann, Reget, Müller, Nolden, Köhler, Kremkau € 16,50

B 140: Untersuchungen zum Beulnachweis nach DIN EN 1993-1-5

U. Kuhlmann, Chr. Schmidt-Rasche, J. Frickel, V. Pourostad
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 141: Entwurf von hydrogeothermischen Anlagen an deutschen Straßentunneln

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

B 142: Einsatz von offenporigen Belägen in Einhausungs- und Tunnelbauwerken

Baltzer, Riepe, Zimmermann, Meyer, Brungsberg, Mayer, Brennberger, Jung, Oeser, Meyer, Koch, Wienecke
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

B 143: Analyse des menschlichen Verhaltens bei Aktivierung von stationären Brandbekämpfungsanlagen in Straßentunneln

Mühlberger, Gast, Plab, Probst € 15,50

B 144: Nachrechnung von Stahl- und Verbundbrücken – Systematische Datenauswertung nachgerechneter Bauwerke

Neumann, Brauer € 16,50

B 145: 8. BAST-Tunnelsymposium vom 6. Juni 2018 in der Bundesanstalt für Straßenwesen Bergisch Gladbach – Tagungsband

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

2019

B 147: Vorbereitung von Großversuchen an Stützkonstruktionen aus Gabionen

Blosfeld, Schreck, Decker, Wawrzyniak
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2020

B 146: Beurteilung der Ermüdungssicherheit von vollverschlossenen Seilen mit Korrosionsschäden

Paschen, Dürrer, Gronau, Rentmeister
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 148: Übergreifungslängen von Betonstahlbewehrung Maßgebende Einflussparameter in den Grenzzuständen der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

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

B 149: Untersuchungen zum Einfluss von Modellparametern auf die Lebensdauerprognose für Brückenbauwerke

Keßler, Gehlen € 16,00

B 150: Beurteilung der Querkraft- und Torsionstragfähigkeit von Brücken im Bestand – erweiterte Bemessungsansätze

Hegger, Herbrand, Adam, Maurer, Gleich, Stuppak, Fischer, Schramm, Scheufler, Zilch, Tecusan
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

B 151: Verfahren und Modelle zur Quantifizierung der Zuverlässigkeit von dauerüberwachten Bestandsbrücken

Ralbovsky, Prammer, Lachinger, Vorwagner
In Vorbereitung

B 152: Bemessung von Kopfbolzendübeln in Randlage unter Vermeidung eines Versagens infolge Herausziehens

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

B 153: Kanalbrücke Berkenthin mit temperierter Fahrbahn – Pilotprojekt

Eilers, Friedrich, Quaas, Rogalski € 15,00

B 154: Korrosionsschutz von Brückenseilen – Wickelverfahren mit Korrosionsschutzbändern

Friedrich € 9,00

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel.+(0)421/3 69 03-53 · Fax +(0)421/3 69 03-48

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.