

Neue Entwicklungen bei Brückenseilen

Dr.-Ing. Markus Hamme

Landesbetrieb Straßenbau NRW

Gelsenkirchen

1 Einleitung

Seilverspannte Brücken sind markante Bauwerke mit oft sehr großen Stützweiten, die das Landschafts- oder Stadtbild nachhaltig prägen. Aufgrund ihres anspruchsvollen Erscheinungsbildes besitzen solche Bauwerke auch eine hohe Akzeptanz bei der Bevölkerung. Nicht wenige Hänge- oder Schrägseilbrücken sind zu regelrechten Wahrzeichen geworden. In Deutschland werden seit einigen Jahren wieder verstärkt Schrägseilbrücken gebaut. Die nachfolgende Liste enthält eine Zusammenstellung aktueller Schrägseilbrücken in Deutschland:

- A44, Flughafenbrücke (Rheinbrücke Ilverich), 2004 [1]
- Fuß- und Radwegbrücke Kehl-Straßburg (Mimram-Brücke), 2004 [2]
- Berliner Brücke (Halle), 2006 [3]
- B96, Rügenbrücke, 2007 [4, 5]
- A281, Hochstraße Bremen, 2008
- S84, Elbebrücke Niederwartha, 2008
- B58n, Niederrheinbrücke Wesel, im Bau [6, 7, 23]
- B246a, Elbebrücke Schönebeck, in Planung
- A30, Werrequerungen Ost und West, in Planung

An die aus hochfesten Spanndrähten gebildeten Seile werden bezüglich Trag- und Ermüdungssicherheit sowie Dauerhaftigkeit höchste Anforderungen gestellt. Mit der neuen Schrägseilbrückengeneration haben sich deshalb auch für die Seile neue Entwicklungen ergeben. Diese betreffen in erster Linie die für Straßenbrücken in Deutschland erstmalige Verwendung von Litzenbündelseilen (LBS) bei der Rügenbrücke und der Niederrheinbrücke Wesel. Aber auch bei den bislang üblicherweise verwendeten vollverschlossenen Seilen (VVS) gibt es einige technische Neuerungen.

Darüber hinaus hat neben dem Neubau auch die Instandsetzung von Brückenseilen zunehmend an Bedeutung gewonnen und wird deshalb hier auch mit betrachtet.

2 Neue Entwicklungen bei vollverschlossenen Seilen

2.1 Allgemeines

Vollverschlossene Seile haben sich seit ihrer Anmeldung zum Patent im Jahr 1886 stetig weiterentwickelt. Diese Entwicklung ist bis heute nicht abgeschlossen und hat gerade in den letzten Jahren wieder einige Neuerungen erfahren. Im Straßenbrückenbau werden VVS seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt.

2.2 Korrosionsschutzsysteme

Der Korrosionsschutz der modernen vollverschlossenen Seile wird durch eine Kombination der drei folgenden Einzelkomponenten gewährleistet.

- Beschichtung der Seile
- Feuerverzinkung der Drähte
- Verwendung eines Seilverfüllmittels mit Korrosionsschutzwirkung

Für die Beschichtung der Seile haben sich die Systeme gemäß den Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau (RKS-Seile) [8] bewährt. Bei feuerverzinkten Seilen besteht das Beschichtungssystem aus einer Grundbeschichtung auf Epoxidharzbasis mit Eisenglimmer, sowie zwei Zwischenbeschichtungen und einer Deckbeschichtung jeweils auf Polyurethanbasis. Zur Haftverbesserung ist vor der Applikation der Grundbeschichtung ein Sweepen der Feuerverzinkung erforderlich. Neueste Erfahrungen an den Seilen der Hochstraße Bremen, der Elbebrücke Niederwartha und der Berliner Brücke in Halle haben gezeigt, dass das Sweepen und die Applikation der Grundbeschichtung bereits vor der Seilmontage auf dem Brückendeck erfolgen kann.

An den Seilen der Fußgängerbrücke über den Rhein von Kehl nach Straßburg wird derzeit erstmalig ein neues Korrosionsschutzsystem appliziert. Das System basiert auf einer zweilagigen Umwicklung des Seils mit Korrosionsschutzbändern der Fa. Denso GmbH. Die Applikation erfolgt größtenteils automatisch mit dem von der Fa. Alpintechnik aus Leipzig entwickelten Seilbefahrgerät. Eine Oberflächenvorbereitung durch Sweepen ist nicht erforderlich. Die Seile müssen lediglich durch Bürsten gereinigt werden. Das neuartige Korrosionsschutzsystem wurde von den Fa. Suspa-DSI und Dywidag Systems International entwickelt und wird unter dem Markennamen DYNA Protect vertrieben. Eine Anwendung im Bereich der Bundesfernstraßen erfolgte bislang noch nicht.

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. Die Haftung der Beschichtung auf der neuen Verzinkungsart wurde im Rahmen der Planung des Seilaustausches für die Rheinbrücke Düsseldorf Flehe in Forschungsvorhaben bei der BAST [9] und durch Prof. Boué [10] untersucht. Als Ergebnis wurde festgestellt, dass auch hier zur Erzielung der optimalen Haftung ein Sweepen sinnvoll ist. Trotz der verbesserten Verzinkung wird eine zusätzliche Beschichtung derzeit noch für erforderlich gehalten, da ansonsten die angestrebte Nutzungsdauer von üblicherweise mindestens 100 Jahren nicht erreicht wird.

Bedingt durch Anforderungen an den Arbeits- und Gesundheitsschutz kann die seit vielen Jahren bewährte Leinöbleimenigge nicht mehr als Seilverfüllmittel, welches beim Produktionsprozess zwischen die einzelnen Drahtlagen eingebracht wird, verwendet werden. Stattdessen wird heute üblicherweise Zinkstaubfarbe in Brückenseilqualität als Seilverfüllmittel verwendet. Auf eine Verfüllung der beiden äußeren Z-Drahtlagen wird in der Regel verzichtet. Dadurch wird das sogenannte Bluten der Seile, also der Austritt von Seilverfüllmittel an die Seiloberfläche, nach dem Spannen weitgehend vermieden.

2.3 Ankerköpfe



Bild 1: Seilköpfe für die Hochstraße Bremen

Die verstärkte Ausführung von Schrägseilbrücken in Verbundbauweise führt wegen des größeren Eigengewichts gegenüber den reinen Stahlbrücken mit orthotroper Fahrbahnplatte zu größeren Seilen. Bei der Hochstraße Bremen im Zuge der A281 wurden Seile mit bis zu 158 mm Durchmesser notwendig. Die entsprechend großen Verankerungen sind bei den üblicherweise sehr beengten Platzverhältnissen im Pylon und im Überbau nur noch schwer zu realisieren und wirken sich nachteilig auf die Zugänglichkeit für die Brückenprüfung aus. Bei der Hochbrücke Bremen wurde deshalb für die Verankerungen der Seile ein höherfester Gussstahl verwendet. Anstelle des bislang üblichen Gussstahls GS-26 CrMo 4 wurde ein GS-14 NiCrMo 10 6 verwendet. Er besitzt eine höhere Streckgrenze und Zugfestigkeit bei gleichzeitig besseren Zähigkeitseigenschaften und ist deshalb auch für einen größeren Dickenbereich anwendbar. Beide Werkstoffe entsprechen

dem Stahl-Eisen-Werkstoffblatt SEW 685 und sind somit gemäß den technischen Lieferbedingungen für vollverschlossene Brückenseile, TL Seile [11] zugelassen. Durch die Ausnutzung der besseren Materialeigenschaften konnten die Abmessungen der Verankerungen verringert werden. Die damit verbundene Gewichtsreduktion beinhaltet auch eine Erleichterung für die Montage. Bei außerhalb des Pylonen bzw. des Überbaus liegenden Verankerungen ist eine Reduktion der Abmessungen auch aus gestalterischer Sicht von Vorteil.



Bild 2: Seilverankerung und Spannelement der Fußgängerbrücke Kehl-Straßburg

Moderne Gusstahltechnik lässt noch wesentlich höhere Materialfestigkeiten zu. Diese sind aber in den gültigen Regelwerken noch nicht enthalten und über die Anwendung bei Brückenseilen liegen auch noch keine Erfahrungen vor.

Bei der Fußgängerbrücke über den Rhein bei Kehl erfolgte die Verankerung der Seile sowohl am Überbau wie auch am Pylon mit Gabelseilköpfen. Das Vorspannen erfolgt durch ein in das Seil integriertes Spannelement. Erfahrungen an Straßenbrücken in Deutschland liegen hierzu noch nicht vor.

3 Litzenbündelseile

Bei der im Jahr 2007 in Betrieb genommenen Rügenbrücke und bei der zurzeit in Wesel im Bau befindlichen neuen Rheinbrücke wurden die ersten beiden Schrägseilbrücken mit Litzenbündelseilen im Zuge von Bundesfernstraßen realisiert. Die im Ausland schon seit vielen Jahren angewendete Bauart kam in Deutschland insbesondere wegen Bedenken gegen die Prüfbarkeit der Seile bislang nicht zur Anwendung. Über die Erstanwendung bei der Rügenbrücke wird in [4, 5] ausführlich berichtet.

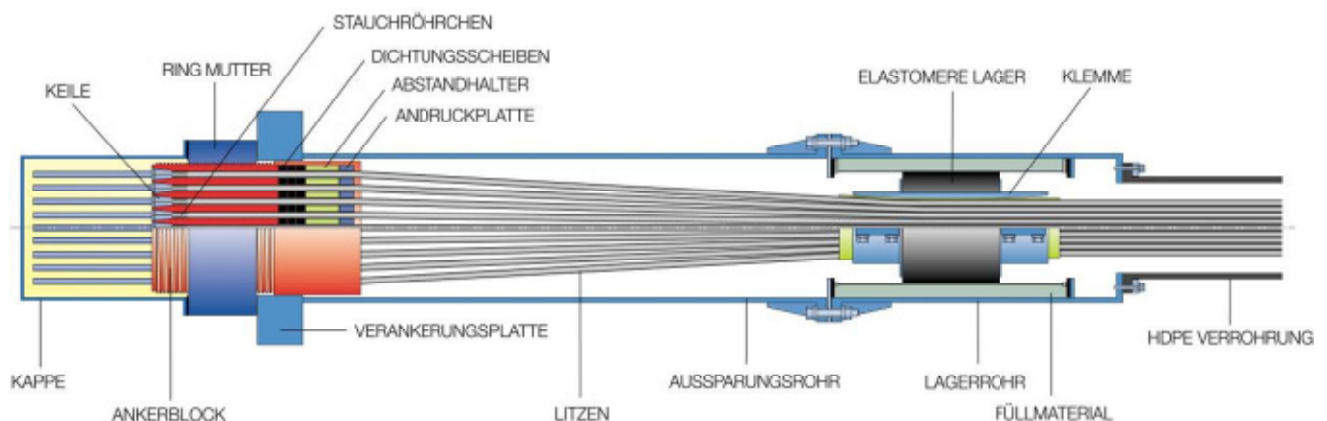


Bild 3: Spannanker für Litzenbündelseile

Litzenbündelseile bestehen im Wesentlichen aus 7-dräftigen Spannstahllitzen und speziellen Verankerungsbauteilen. Analog zu den Ausführungen bei vollverschlossenen Seilen erfolgt die Ausführung der Verankerungen im Pylon als Festanker und am Überbau als Spannanker.

An den Spannankern ist sowohl ein Spannen der einzelnen Litzen mit kleinen handlichen Spannpressen als auch ein Spannen des gesamten Litzenbündels mit einer großen Bündelpresse möglich. Bei Schäden oder für Prüfzwecke ist sowohl der Austausch einer Einzellitze wie auch eines ganzen Seils möglich.

Auf der freien Länge des Seils sind die Litzen durch einen HDPE-Mantel gegen äußere Beschädigungen und direkte Bewitterung geschützt.

Da es sich bei Litzenbündelseilen um eine bislang nicht geregelte Bauweise handelt, war für beide Projekte die Erteilung einer Zustimmung im Einzelfall erforderlich. Diese erfolgte hauptsächlich auf der Grundlage eines beim Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) erstellten Gutachtens. Wesentliche Voraussetzung war die erfolgreiche Durchführung von Zug- und Ermüdungsversuchen für die Einzellitzen und das Litzenbündel. Außerdem konnte die Dauerhaftigkeit in umfangreichen Tests nachgewiesen werden. Der Prüfumfang orientierte sich dabei an den fib-Empfehlungen [12].

Für die 7-dräftigen Spannstahllitzen mit einem Nenndurchmesser von 15,7 mm werden Spanndrähte mit einer Nennzugfestigkeit von 1770 N/mm² verwendet. Daraus ergibt sich eine maximale Zugkraft von 265,5 kN je Litze. Alle Drähte werden einzeln verzinkt und die Hohlräume mit Wachs verfüllt. Anschließend erfolgt eine Ummantelung mit einem PE-Mantel.

Bei der Niederrheinbrücke Wesel werden insgesamt 72 Seile eingebaut. Sie sind auf der Vorland- und der Stromseite in 6 Seilgruppen, die wiederum aus je 6 Einzelseilen bestehen, angeordnet [6, 7, 23].

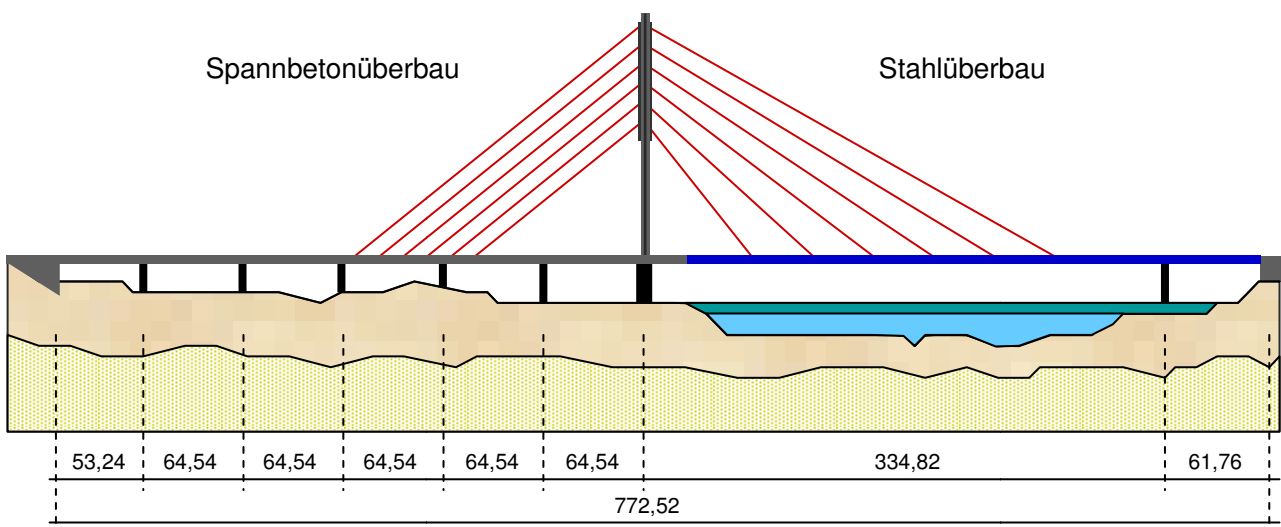


Bild 4: Niederrheinbrücke Wesel



Bild 5: Montage der Litzenbündelseile für die Niederrheinbrücke Wesel

Die längsten Seile sind ca. 285,3 m lang. Es werden zwei unterschiedliche Seilgrößen für maximal 37 und 55 Litzen verwendet. Je nach statischer Erfordernis werden jedoch weniger als die maximal mögliche Litzenanzahl eingebaut. Die gesamte Litzentonnage beträgt 700 to. Die Außendurchmesser der Hüllrohre betragen 180 bzw. 220 mm.

Die HDPE-Hüllrohre werden auf der Baustelle aus ca. 12 m langen Einzelrohren mit einem Kunststoffschweißverfahren zusammengesetzt. An der Außenseite ist eine Wendel aufextrudiert mit der das Auftreten von Regen-Wind induzierten Schwingungen vermieden werden kann. Um unverträgliche Schwingungen zu vermeiden werden die einzelnen Seile einer Gruppe zusätzlich noch in den Drittelpunkten miteinander gekoppelt.

4 Seilprüfung

Die notwendige Prüfung von Brückenseilen im Rahmen der Bauwerksprüfungen nach DIN 1076 ist bislang meist mit einem sehr großen technischen Aufwand, hohen Kosten und erheblichen Verkehrsbeeinträchtigungen verbunden. Dies ist vorwiegend durch die schwierige Zugänglichkeit der meist hoch über dem Brückendeck liegenden Seile für die visuelle Inspektion bedingt.

Um Schäden im Inneren der Seile zu erkennen, müssen besondere zerstörungsfreie Prüfmethoden eingesetzt werden.



Bild 6: Magnetinduktive Seilprüfung

Hierbei hat sich bei den vollverschlossenen Seilen die magnetinduktive Prüfung seit vielen Jahren bewährt. Bei der Rügenbrücke wurde die magnetinduktive Prüfung auch für die Litzenbündelseile mit bis zu 37 Litzen erfolgreich eingesetzt. Inwieweit auch eine Anwendung bei größeren Litzenbündelseilen (z.B. 55 Litzen bei der Niederrheinbrücke Wesel) möglich ist, wurde bislang noch nicht abschließend geklärt.



Bild 7: Seilprüfung mit dem Brückenseilbesichtigungsgerät

Für die handnahe Prüfung wird bislang, dass eigens für diesen Zweck entwickelte Brückenseilbesichtigungsgerät (BSG) des Bundes eingesetzt. Der Aufbau ist jedoch mit großem Aufwand und hohen Kosten verbunden. Der weitere Einsatz des BSG ist derzeit ungewiss, da das derzeitige Gerät nur noch bedingt den Sicherheitsanforderungen entspricht und voraussichtlich keine weitere

Verlängerung der Einsatzerlaubnis durch den TÜV erhält. Deshalb wird auf den Einsatz des BSG zunehmend verzichtet und die Prüfung wird stattdessen von Hubsteigern aus durchgeführt. Allerdings sind nicht die Seile aller Brücken ohne weiteres mit Hubsteigern prüfbar.

Für die visuelle Prüfung wurden von der Fa. Alpintechnik, Leipzig und von Prof. Boué, Darmstadt mit Kameras bestückte Seilbefahrergeräte entwickelt, die mit vergleichsweise geringem Aufwand und ohne große Verkehrsbeeinträchtigungen eingesetzt werden können. Die Geräte fahren direkt auf dem zu inspizierenden Seil und benötigen keine weiteren Hilfseinrichtungen. Die digital gespeicherten Daten stehen auch für Auswertungen zu einem späteren Zeitpunkt noch zur Verfügung. Je nach der vorhandenen Auswertungssoftware können Beschädigungen auch automatisch erkannt werden. Bei entsprechender Konzeption der Befahrergeräte können diese auch für andere Zwecke wie z.B. Korrosionsschutzausbesserungen oder magnetinduktive Prüfungen benutzt werden.



Bild 8: Visuelle Seilprüfung mit Seilbefahrergerät

Zur Bauwerksprüfung der neuen Litzenbündelseile wurden für die Erstanwendung an der Rügenbrücke umfangreiche Untersuchungen durchgeführt. Dabei hat sich gezeigt, dass bei Litzenbündeln insbesondere die Schwingungsanalyse als einfach anwendbare zerstörungsfreie Prüfmethode gut geeignet ist um Rückschlüsse auf eventuelle Schäden an den Seilen zu erhalten. Bei Auffälligkeiten in der Schwingungsanalyse sind weitere Prüfungen erforderlich. Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Seilprüfung an der Rügenbrücke sind in den Schlussbericht zu einem im Auftrag der BAST an der Universität Karlsruhe durchgeführten Forschungsvorhaben mit dem Titel „Verfahren zur Prüfung des Zustandes von externen Spanngliedern und Schrägseilen“ eingeflossen [13].

5 Instandsetzung von Brückenseilen (Vollverschlossene Seile)

5.1 Seilspreizungen

Bei mehreren älteren Brücken wurden die Seile als Verband aus mehreren dicht nebeneinander liegenden Seilen geführt. Häufig wird bei dieser Ausführungsart auch von Kabeln gesprochen. Für die Wartung und Prüfung der Seile ist diese Ausführungsart jedoch von erheblichem Nachteil. Deshalb wurden dauerhafte Seilspreizungen entwickelt, die eine Zugänglichkeit aller Seile für die visuelle Inspektion und die Erneuerung des Korrosionsschutzes ermöglicht. Erstmals wurde die dauerhafte Seilspreizung an der Donaubrücke Deggenau in den Jahren 1996 bis 1997 durchgeführt [14]. In den Jahren 2004 bis 2006 erfolgte die Ausführung bei der Rheinbrücke Duisburg Neuenkamp [15]. Durch den Einbau neuer Spreizschellen am Überbau und im Pylon und zusätzlicher Distanzschellen auf der freien Länge wird eine bleibende Zugänglichkeit aller Seile ermöglicht.

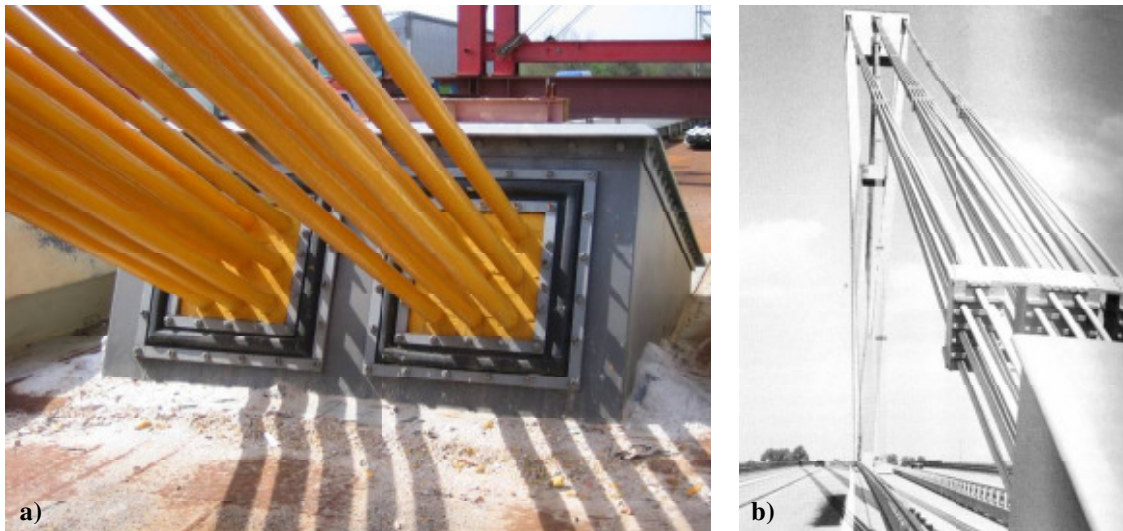


Bild 9: Seilspreizungen a) Rheinbrücke Duisburg Neuenkamp
b) Donaubrücke Deggenau [14]

5.2 Seilaustausch an der Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe

Aufgrund von Korrosionsschäden an den Tragseilen der Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe im Zuge der A46, die bei zwei Seilen zu offenen Drahtbrüchen geführt haben, mussten 9 der insgesamt 96 vollverschlossenen Spiralseile ausgetauscht werden [16, 17]. Die Durchmesser der auszutauschenden Seile betragen 111 und 105 mm. Die Seillängen variierten zwischen 222 und 314 m. Der Austausch jeweils eines Seils war bereits beim Neubau der Brücke statisch berücksichtigt worden und konnte unter vollem Verkehr durchgeführt werden. Die 3 Fahrstreifen je Richtung wurden nur zur Brückenaußenseite verschwenkt. An Probestücken der ausgebauten Seile wurden Untersuchungen durchgeführt um den Zustand der Seile im Inneren zu klären. Obwohl bei den

Seilen nur die beiden äußeren Drahtlagen verzinkt waren, haben die Untersuchungen keine Korrosionserscheinungen an den inneren Drähten gezeigt [18].



Bild 10: Austausch mehrerer Tragseile an der Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe

5.3 Korrosionsschutzinstandsetzung

Viele deutsche Schrägseilbrücken wurden zwischen 1960 und 1980 errichtet. Bei diesen Bauwerken wurden ausschließlich vollverschlossene Spiralseile verwendet. Die Schutzdauer der Beschichtungssysteme ist längst erreicht, so dass, insbesondere angesichts der Tatsache, dass bei älteren Brücken die Drähte noch unverzinkt sind, eine Vollerneuerung erforderlich wird. Solche Maßnahmen unter laufendem Verkehr durchzuführen ist eine große technische Herausforderung für die Planer und die ausführenden Firmen. Für die notwendigen Einhausungen zum Entfernen der vorhandenen Beschichtungen und die Neubeschichtung sind statisch und konstruktiv anspruchsvolle Gerüstkonstruktionen notwendig. Falls sich diese an den Seilen abstützen, ist eine sorgfältige Planung und aufwendige statische Berechnung unter Berücksichtigung der Seilverformungen erforderlich. Bei der Instandsetzung des Korrosionsschutzes an den Seilen der Rhein-



Bild 11: Gerüstkonstruktionen für die Korrosionsschutzerneuerung an den Seilen
 a) Rheinbrücke Duisburg Neuenkamp
 b) Rheinbrücke Düsseldorf Flehe

brücke Duisburg-Neuenkamp im Zuge der A40 wurde deshalb seitens der ausführenden Firmen ein freistehendes Gerüst ohne Anlehnung an die Seile ausgeführt. Bei der Donaubrücke Deggenau, sowie bei den Rheinbrücken Leverkusen und Düsseldorf-Flehe wurden anstelle von Standgerüsten direkt an den Seilen hängende Gerüströhren benutzt. Bei derartigen Gerüsten sind die zusätzlichen Belastungen und Verformungen für die Seile auch unter Berücksichtigung eventueller Schwingungsphänomene besonders zu beachten. Nachteilig ist, dass beim Verfahren der Gerüste, z.B. zum Ausbau, über die bereits neu aufgebraute Beschichtung gefahren werden muss. Eventuell entstehende Beschädigungen müssen nachgearbeitet werden.

Bei der Rheinbrücke Leverkusen wurde die vorhandene Umhüllung des aus mehreren Einzelseilen bestehenden Kabelverbandes entfernt und durch eine übliche Korrosionsschutzbeschichtung ersetzt. Die Umhüllungen haben sich als nicht geeignet herausgestellt, da es darunter zu Wasseransammlungen kommen kann, die zur Korrosion führen. Solche Schäden sind bei der Bauwerksprüfung nur mit erheblichem Zusatzaufwand erkennbar.

Bei der Rheinbrücke Neuwied wurde die Korrosionsschutzerneuerung von einer eigens entwickelten und von den Brückenseilen unabhängigen Seilbahn aus durchgeführt [19]. Zum Entschichten der Seile wurde nicht das sonst übliche Strahlen mit mineralischen Strahlmitteln verwendet, sondern es wurde das Hochdruck-Trockeneisstrahlen angewendet. Dies basiert auf der Verwendung von extrem tiefgekühlten CO₂-Pellets als Strahlmittel. Wesentlicher Vorteil des Verfahrens ist, dass die vorhandene Feuerverzinkung der Drähte nicht beschädigt wird. Eventuell vorhandene Korrosionsschäden müssen vor der Neubeschichtung durch zusätzliche Maßnahmen, z.B. Spot-Strahlen mit mineralischen Strahlmitteln, beseitigt werden.



Bild 12: Seilbahn zur Korrosionsschutzerneuerung an den Seilen Rheinbrücke Neuwied [19]

Bei der Rheinbrücke Ludwigshafen-Mannheim (Kurt-Schuhmacher Brücke) erfolgte die Applikation der Neubeschichtung mit einem eigens für diesen Zweck von der Fa. Litterer entwickelten Beschichtungsautomaten der sich an den Seilen bewegte. Die Aufstellung eines Gerüsts zur Einhausung der in Büschelform angeordneten Seile hätte einen sehr großen Aufwand bedeutet und wäre mit erheblichen Verkehrsbehinderungen verbunden gewesen.

6 Regelwerke

Die derzeit gültigen technischen Regelwerke für Brückenseile entsprechen zum Teil nicht mehr der aktuellen technischen Entwicklung und müssen deshalb überarbeitet oder neu erstellt werden.

Tabelle 1: Übersicht der Regelwerke für Brückenseile von Straßenbrücken

	Vollverschlossene Spiralseile	Litzenbündelseile
aktuell	<ul style="list-style-type: none"> - TL Seile, Technische Lieferbedingungen für vollverschlossene Brückenseile¹⁾, 1994 [11] - RKS-Seile, Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau²⁾, 1983 [8] - DIN Fachbericht 103 - Anhang A [21] 	<ul style="list-style-type: none"> - Zustimmung im Einzelfall
künftig	<ul style="list-style-type: none"> - ZTV-ING, Teil 4-4, Seile und Kabel - ZTV-ING, Teil 4-5, Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln - TL/TP-KOR-Seile, Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln - Eurocode 3, Teil 1-11, Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl³⁾ [22] 	
	<ul style="list-style-type: none"> - TL/TP-VVS, Technische Lieferbedingungen und Technische Prüfvorschriften für vollverschlossene Brückenseile - TL-Seilverfüllmittel, Technische Lieferbedingungen für Seilverfüllmittel 	<ul style="list-style-type: none"> - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Schrägseilssysteme aus Parallellitzenbündeln - Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen für Schrägseillitzen

1) Enthält als Anlage auch die Technische Lieferbedingungen für Seilverfüllmittel

2) Enthält als Anlage auch die Technische Lieferbedingungen für Beschichtungs-, Dicht- und Injizierstoffe an Seilen und Kabeln im Brückenbau

3) Bis zur Einführung der europäischen Normen gilt für VVS weiterhin DIN Fachbericht 103. Für LBS gilt ein Anhang zu ZTV-ING, Teil 4-4

Für LBS liegen derzeit überhaupt noch keine eingeführten Regelwerke vor, so dass eine Anwendung nur mit einer Zustimmung im Einzelfall möglich ist. Mit den beiden erfolgreichen Erstanwendungen für LBS an der Rügenbrücke und der Niederrheinbrücke Wesel hat sich das Bundesverkehrsministerium aber entschlossen diese Seilbauart auch als Regelbauweise bei Bundesfernstraßen zuzulassen und deshalb in die ZTV-ING [20] entsprechende Vertragsbedingungen und Richtlinien aufzunehmen. Diese finden Ihren Niederschlag in den demnächst erscheinenden neuen Teilen 4-4 und 4-5 der ZTV-ING. Beide neuen Teile der ZTV-ING gelten sowohl für VVS wie auch für LBS. Sie untergliedern sich deshalb in jeweils einen allgemeingültigen Teil und einen für die beiden Bauarten spezifischen Teil. Da für LBS keine Bauproduktnorm existiert, werden sie

künftig durch allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen des Deutschen Instituts für Bautechnik geregelt. Entsprechende Zulassungsgrundsätze liegen sowohl für die Schrägseillitzen wie auch das Schrägseilssystem vor.

Die bisher für VVS immer noch gültigen Regelwerke TL Seile [11] und RKS-Seile [8] werden an die neuen technischen Entwicklungen angepasst und in die allgemeine Struktur der Regelwerke des Bundes eingegliedert.

Mit dem Teil 1-11 des Eurocodes 3 [22] liegt ein Regelwerk zur Bemessung sämtlicher Bauarten von stählernen Zuggliedern vor. Der nationale Anhang befindet sich derzeit noch in der Bearbeitung durch die DIN-Ausschüsse Tragwerksbemessung und Stahlbrücken. In Deutschland werden für die Anwendung bei Brücken jedoch in naher Zukunft außer den VVS und LBS keine anderen Seilbauarten zugelassen werden.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Der Neubau von Schrägseilbrücken hat in Deutschland während der letzten Jahren einen neuen Schub erhalten. Dies hat auch eine Weiterentwicklung der Seile mit sich gebracht. Neben den VVS haben sich auch LBS für Straßenbrücken bewährt und finden deshalb auch Eingang in die Regelwerke. Diese werden zurzeit an die technischen Veränderungen angepasst. Eine vergleichende Untersuchung beider Bauarten wird derzeit im Rahmen eines Forschungsauftrages bei der BASt erstellt.

Neben dem Neubau haben sich auch durch Instandsetzungsmaßnahmen an älteren Brücken einige interessante Entwicklungen ergeben.

Die Weiterentwicklung von Prüfverfahren für die Bauwerksprüfung erlaubt künftig eine Reduktion des Prüfaufwandes und der damit verbundenen Kosten sowie der Verkehrsbeeinträchtigungen.

Forschungsbedarf besteht insbesondere noch hinsichtlich der Schwingungsanfälligkeit und des Ermüdungsverhaltens von Seilen. Von der BASt wurde hierzu kürzlich ein Forschungsauftrag zur Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von VVS unter Berücksichtigung von Vorschädigungen durch Korrosion oder Drahtbrüche vergeben. Dazu werden unter anderem Ermüdungsversuche an Seilproben von den ausgetauschten Seilen der Rheinbrücke Düsseldorf Flehe durchgeführt.

Weitere Entwicklungen sind auch für die Zukunft noch zu erwarten. So ist zum Beispiel mit der Verwendung noch größerer Seile und höherfester Spanndrähte zu rechnen. Für die Durchführungen von Zug- und Ermüdungsversuchen an sehr großen Seilen ist jedoch die Anschaffung neuer Prüfmaschinen erforderlich.

Voraussetzung für Weiterentwicklungen ist aber, dass der Bau von Schrägseilbrücken sowohl national wie auch international weiter voran geht.

Literaturverzeichnis

- [1] Prehn, W.; Mertens, M: Die Rheinquerung der A44 – Darstellung der Gesamtmaßnahme, Stahlbau 6/2002, S. 386-392
- [2] Morgenthal, G.; Saul, R.: Die Geh- und Radwegbrücke Kehl – Strasbourg, Stahlbau 2/2005, S. 121-125
- [3] [Brixner, S.; Mündelcke, M.; Gunkel, F.: Die neue Berliner Brücke in Halle - Erste deutsche Schrägseilbrücke in Verbundbauweise, Stahlbau 2/2007, S. 79-86
- [4] Kleinhanß, K.; Romberg, M.; Saul, R.; Schmidt-Hurtienne, B.: Die zweite Strelasundquerung mit der Schrägseilbrücke über den Ziegelgraben, Bauingenieur 4/2007, S. 159-169
- [5] Gläser, Ch.; Scheibe, M.; Zilch, K.: Die zweite Strelasundquerung - Erste deutsche Anwendung von Parallellitzenseilen, Bauingenieur 4/2007, S. 170-176
- [6] Hamme, M.; Löckmann, H., u.a.: Die neue Rheinbrücke Wesel - Entwurfsplanung und Ausschreibung, Stahlbau 9/2007, S. 657-670
- [7] Anistoroaiei, C.; Eilzer, W.; u.a.: Rheinbrücke Wesel - Konstruktion und statische Berechnung, Stahlbau 7/2008, S. 473-488
- [8] Richtlinien für den Korrosionsschutz von Seilen und Kabeln im Brückenbau (RKS-Seile), Ausgabe 1983, Verkehrsblatt-Verlag Dortmund
- [9] Friedrich, H.; Staeck, M.: Mit Galfan verzinkte Brückenseile – Untersuchung der Haftfestigkeit von Grundbeschichtungen, Schlussbericht zu Projekt Nr. 04 222 der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast), Bergisch-Gladbach, September 2004
- [10] Boué, A.; Müller, A.: Diagnosebericht Nr. 188.04, Versuche am Korrosionsschutz von Seilen mit ZA-vergüteter Oberfläche, Boué Ingenieure, Darmstadt, April 2004
- [11] Technische Lieferbedingungen für vollverschlossene Brückenseile (TL Seile), Ausgabe 1994, Verkehrsblatt-Verlag Dortmund
- [12] fib bulletin No. 30: Acceptance of stay cable systems using prestressing steels, International Federation for Structural Concrete, Lausanne 2005, ISBN: 978-2-88394-070-3
- [13] Kiefer, D.; Möller, J.; Siegel, S.: Verfahren zur Prüfung des Zustandes von externen Spannungsgliedern und Schrägseilen, Schlussbericht zum Forschungsvorhaben FE 15.410/2005/DRB des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe, 2008
- [14] Boué, P.: Erfahrungen und Versuchsergebnisse zur bleibenden Spreizung an der Donau- brücke Deggenau, Stahlbau 11/2000, S. 909-916

- [15] Brücken und Tunnel der Bundesfernstrassen 2007, Instandsetzung Rheinbrücke Duisburg-Neuenkamp, S. 125-139, Deutscher Bundes-Verlag, Hrsg. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn, Oktober 2007
- [16] Sieberth, S.: A46 Rheinbrücke Düsseldorf-Flehe - Seilaustausch und Korrosionsschutz der Seile, Tagungsunterlagen zum Fachtag Brückenbau des Deutschen Stahlbau-Verbandes DSTV, Wesel, November 2007
- [17] Marzahn, G.; Hamme, M.; Prehn, W.; Sieberth, S.: Seilaustausch unter Verkehr an der Rheinbrücke Flehe, Internationale Arbeitstagung Brücken- und Ingenieurbau – Tagungsband, Mainz, Mai 2008
- [18] Gronau, G.: Bericht Nr. 043/2008/01 über die visuelle Prüfung von 5 abgelegten VVS-Seilenden, DMT, Bochum, April 2008 (unveröffentlicht)
- [19] Frießem, H.: Innovative Seilentschichtung der Rheinbrücke Neuwied, Tagungsunterlagen zum Fachtag Brückenbau des Deutschen Stahlbau-Verbandes DSTV, Wesel, November 2007
- [20] Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten (ZTV-ING), Verkehrsblatt-Verlag, Dortmund
- [21] DIN-Fachbericht 103 – „Stahlbrücken“, Ausgabe 2003, Beuth-Verlag
- [22] Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten - Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl; Deutsche Fassung EN 1993-1-11:2006, Beuth-Verlag
- [23] Hamme, M; Löckmann, H.; Brand, W.: Entwurf und Bau der neuen Rheinbrücke Wesel im Zuge der B58n, VDI-Jahrbuch Bautechnik 2009, S. 201-220, VDI-Verlag, Düsseldorf 2008