



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Strassen ASTRA

Dokumentation

Ausgabe 2011 V1.00

Schrägseile und externe Spannglieder für den Brückenbau

**Normenwerk
Anforderungen bei Erhaltung und Neubau
Dauerhaftigkeit**

ASTRA 82 015

ASTRA OFROU USTRA UVIAS

Impressum

Autoren/Arbeitsgruppe

Manuel Alvarez	ASTRA, Abteilung Strassennetze, Bern (Vorsitz)
Peter Matt	Ingenieur-Beratung, Ittigen (Verfasser)
Laurent Meyer	ASTRA, Abteilung Strasseninfrastruktur, Bern
Urs Vollmer	ASTRA, Abteilung Strasseninfrastruktur, Zofingen

Herausgeber

Bundesamt für Strassen ASTRA
Abteilung Strassennetze N
Standards, Forschung, Sicherheit SFS
3003 Bern

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von www.astra.admin.ch herunter geladen werden.

© ASTRA 2011

Abdruck – ausser für kommerzielle Nutzung – unter Angabe der Quelle gestattet.

Vorwort

Auf Schweizer Strassen existieren heute um die hundert Schrägseilbrücken und Brücken mit externen Spanngliedern. Sie stellen eher seltene Brückenkonstruktionen dar, im Vergleich zu den viel zahlreicheren Brücken mit innenliegenden Spanngliedern im Verbund.

Sowohl Schrägseile als auch externe Spannglieder sind sehr wichtige Tragwerkselemente, deren Funktionstüchtigkeit von grösster Bedeutung für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit dieser Brückentypen ist. Bis anhin haben sich diese zwei Arten von vorgespannten Zuggliedern gut bewährt. Verschiedene Schadenfälle im Ausland und einige wenige bisherige in der Schweiz zeigen jedoch, dass schwerwiegende Mängel und Schäden an Schrägseilen und externen Spanngliedern auftreten können. Aufgrund des zunehmenden Alters der Brückenbauwerke sind vermehrte Korrosionsschäden an diesen exponierten Zuggliedern zu erwarten.

Zielsetzung der vorliegenden Dokumentation ist, die im In- und Ausland an Brücken mit Schrägseilen oder mit externen Spanngliedern gewonnenen Erfahrungen sowie die Grundlagen, Anforderungen und Massnahmen für den Neubau und die Erhaltung solcher Brücken darzulegen. Die Dokumentation richtet sich an Bauherren, Projektverfasser, Bauleiter und Ausführende.

Die Dokumentation wurde in einer Arbeitsgruppe unter Leitung des ASTRA konzipiert und von Hr. Peter Matt, Ittigen, verfasst. Für die ausgezeichnete Arbeit sei an dieser Stelle allen Beteiligten herzlich gedankt.

Bundesamt für Strassen

Dr. Rudolf Dieterle
Direktor

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	2
	Vorwort	3
1	Ausgangslage und Ziel	6
1.1	Zweck des Dokuments.....	6
1.2	Allgemeines zum technischen Regelwerk	8
1.3	Abgrenzung.....	8
2	Schrägseile	9
2.1	Entwicklung der Schrägseile im Brückenbau.....	9
2.2	Anwendung von Schrägseilen in der Schweiz.....	13
2.2.1	Merkmale der Schrägseilsysteme in der Schweiz	13
2.2.2	In der Schweiz verwendete Schrägseilsysteme	17
2.3	Schadenfälle	22
2.3.1	Korrosionsschäden an den Spannstählen	22
2.3.2	Mängel beim dauerplastischen Füllgut	24
2.3.3	Schäden am äusseren Schutzsystem	24
2.3.4	Aussergewöhnliche Einwirkungen	25
2.3.5	Schlussfolgerungen	26
2.4	Normgrundlagen	26
2.5	Neubau.....	35
2.6	Erhaltung.....	36
2.6.1	Allgemeines	36
2.6.2	Überwachung.....	37
2.6.3	Überprüfung	42
2.6.4	Massnahmen	42
3	Externe Spannglieder	45
3.1	Entwicklung der externen Spannglieder im Brückenbau	45
3.2	Anwendung von externen Spanngliedern in der Schweiz	51
3.2.1	Merkmale der externen Spanngliedsysteme in der Schweiz.....	51
3.2.2	In der Schweiz verwendete externe Spanngliedsysteme	54
3.3	Schadenfälle	54
3.3.1	Korrosionsschäden an den Spannstählen	54
3.3.2	Aussergewöhnliche Einwirkungen	56
3.3.3	Schlussfolgerungen	57
3.4	Normgrundlagen	57
3.5	Neubau.....	58
3.6	Erhaltung.....	59
3.6.1	Allgemeines	59
3.6.2	Überwachung.....	59
3.6.3	Überprüfung	60
3.6.4	Massnahmen	60
4	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	61
4.1	Zusammenfassung	61
4.2	Empfehlungen.....	61
	Anhänge	63
	Literaturverzeichnis	115
	Auflistung der Änderungen	117

1 Ausgangslage und Ziel

1.1 Zweck des Dokuments

Schrägseile und externe Spannglieder sind wichtige Tragwerkselemente für die Tragsicherheit Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Brücken.

Die vorliegende Dokumentation hat folgende Ziele:

- Erfassen des Stands der Normung in der Schweiz und im Ausland sowie des Stands der Technik in Bezug auf Neubau und Erhaltung
- Erfassen und Auswerten typischer Schadenfälle
- Festlegen der Anforderungen hinsichtlich Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Schrägseilen und externen Spanngliedern.

Schrägseile kommen vor allem im Neubau bei Schrägseilbrücken zum Einsatz. Als Beispiel zeigt Abb. 1.1 die 1998 fertiggestellte und 2005 eröffnete Sunnibergbrücke. Die moderne Schrägseiltechnik begann 1961 mit dem Bau des Schillerstegs in Stuttgart (Abb. 2.10 und Abb. 2.11). Sowohl im In- wie im Ausland mussten Schrägseile bei längerer Nutzungsdauer wegen mangelnder Dauerhaftigkeit oder Versagen auch schon ersetzt werden.



Abb. 1.1 Sunnibergbrücke als Beispiel für eine Schrägseilbrücke.

Externe Spannglieder werden in der Schweiz primär zur Verstärkung von vorgespannten Hohlkasten- oder Plattenbalkenbrücken verwendet, welche Defizite in Bezug auf Gebrauchstauglichkeit oder Tragsicherheit aufweisen. Als Beispiel zeigt die Abb. 1.2 die Brücke bei Wassen, welche 1987/1988 mit im Hohlkasten verlaufenden externen Spanngliedern instandgesetzt werden musste.



Abb. 1.2 Reussbrücke bei Wassen nach der Instandsetzung.

Im Gegensatz zu anderen Ländern wie beispielsweise Deutschland und Frankreich sind in der Schweiz externe Spannglieder im Brückenneubau bis anhin nur in Einzelfällen als Pilotprojekte eingesetzt worden. Als Beispiel zeigt Abb. 1.3 den Viadukt "Bois de Rosset" im Kanton Waadt an der A1, welcher 1990 fertiggestellt und 1996 in Betrieb genommen wurde. Es handelt sich dabei um eine Zwillingsbrücke in Verbundbauweise, mit je einem Stahlrog und einer quer vorgespannten Betonfahrbahnplatte. Der Verbundquerschnitt ist längs mit externen Spanngliedern vorgespannt. Weiter wurde in den Jahren 1987 bis 1989 die Betonhohlkastenbrücke "Preonzo-Claro" im Kanton Tessin mit externen Spanngliedern geplant und ausgeführt (Abb. 1.4).



Abb. 1.3 Viadukt "Bois de Rosset".



Abb. 1.4 Viadukt "Preonzo-Claro".

Die in der Schweiz eingesetzten Schrägseile und externen Spannglieder haben sich in der Regel gut bewährt. Allerdings steigt mit längerer Nutzungsdauer die Wahrscheinlichkeit, dass solche Zugelemente primär infolge Korrosion ihre Lebensdauer erreichen können. Bei Schrägseilen ist es in der Schweiz auch bereits zu Schadenfällen gekommen (Abschnitt 2.3).

Diese Dokumentation soll dazu beitragen, durch Aufklärung gravierende Schadenfälle zu verhindern. Sie richtet sich an die Fachleute des ASTRA, die Planer und die Ausführenden.

1.2 Allgemeines zum technischen Regelwerk

In Bezug auf die Regelungen für den Einsatz von Schrägseilen und externen Spanngliedern gelten grundsätzlich die Tragwerksnormen SIA 260 bis SIA 267, die seit 2003 in Kraft sind. Diese Normen sind auf der Grundlage des damaligen Standes der Eurocodes erarbeitet worden und stellen eine Beschränkung auf das Wesentliche dar, wie es der Schweizer Normentradition entspricht.

Die Normen SIA 260 bis SIA 267 enthalten in Bezug auf Schrägseile und externe Spannglieder nur einige grundsätzliche Hinweise sowie Verweisungen auf die relevanten CEN- und ISO-Normen sowie EOTA-Leitlinien. Die Erläuterungen zu diesen Regelwerken finden sich in der ASTRA-Dokumentation "Gesetzliches und technisches Regelwerk im Bauproduktbereich in Europa und der Schweiz – Auswirkungen auf die Tätigkeit des Bundesamts für Strassen ASTRA" [1].

In den Abschnitten 2.4 und 3.4 wird näher auf die Normgrundlagen für Schrägseile und externe Spannglieder eingegangen.

1.3 Abgrenzung

In der vorliegenden Dokumentation werden folgende Zugglied- und Brückentypen nicht behandelt:

- Vorgespannte Betonzugglieder (z.B. Ganterbrücke)
- Trogbrücken im Freivorbau (z.B. Brücken Riddes und Solothurn-West)
- Spannbandbrücken
- Unterspannte Balkenbrücken (z.B. die Brennobrücke bei Loderio und die Flazbrücken bei Samedan)
- V-Stielbrücken mit vorgespannten Betonzuggliedern im Boden
- Schrägseilbrücken in Holzbauweise (meist Fussgängerbrücken)
- Schrägseile aus faserverstärkten Kunststoffen (z.B. die Pilotanwendung Storchenbrücke, bei der zwei CFK-Seile eingebaut sind)
- Hängebrücken bzw. deren Haupttrag- und Hängerseile.

Folgende Aspekte werden nur teilweise behandelt:

- Hängerseile bei Brücken mit obenliegendem Bogen: Diese Seile werden in der Regel nicht vorgespannt, ihr Verhalten in Bezug auf die Dauerhaftigkeit ist aber ähnlich wie bei Schrägseilen.
- Zugglieder aus faserverstärkten Kunststoffen: Einzelne Pilotprojekte werden kurz erwähnt, auf das spezifische Werkstoffverhalten wird hingegen nicht eingegangen. In der Schweiz sind im Brückenbau sowohl gespannte wie auch ungespannte Zugglieder aus CFK-Drähten oder CFK-Lamellen bereits eingesetzt worden.

2 Schrägseile

2.1 Entwicklung der Schrägseile im Brückenbau

Erste Ideen für Schrägseilbrücken sind bereits aus dem 17. Jahrhundert bekannt, wobei als Zugelemente Eisenketten vorgesehen waren. Abb. 2.1 zeigt beispielsweise einen solchen Entwurf des Engländers Richard Mason Ordish um 1864 für eine (nicht realisierte) Eisenbahnbrücke über die Themse in London mit einer Spannweite von 250 m.



Abb. 2.1 Entwurf für eine Eisenbahnbrücke über die Themse in London.

Bereits im Jahr 1816 verwendete Richard Lees zum ersten Mal Drahtkabel für den Bau von Hängebrücken. Guillaume Henri Dufour führte 1823 – 1824 in Genf systematische Versuche mit Drähten und Seilen durch. Er baute verschiedene interessante Seilbrücken, darunter beispielsweise die Brücke Sainte Antoine mit zwei Spannweiten von je 40 m. Die Resultate seiner Versuche waren wegleitend für die Hängebrücke Grand Pont in Freiburg (Abb. 2.2), welche 1832 – 1834 vom französischen Ingenieur Joseph Chaley erbaut wurde. Mit einer Spannweite von 273 m blieb diese Brücke bis zu ihrem Rückbau 1923 die damals weitestgespannte Drahtseilbrücke Europas. Sie wies 4 Tragseile mit je 1056 Drähten \varnothing 3.1 mm auf.



Abb. 2.2 Grand Pont in Freiburg i. Ü. [2].

In der Folge wurden insbesondere in den USA einige grosse Seilbrücken gebaut, welche hybride Tragsysteme als Kombination von Hänge- und Schrägseilbrücke aufwiesen. Darunter stellt die 1870 – 1883 von John August Roebling und seinem Sohn Washington Roebling in New York erbaute Brooklyn Bridge, die heute noch in Betrieb ist, zweifelsohne ein Meisterwerk dar (Abb. 2.3).



Abb. 2.3 Brooklyn Bridge, New York, Hauptspannweite 486 m, hybrides Tragsystem mit Kombination von Haupttragseilen, Hängern und Schrägseilen [3].

Die Zugglieder von Seilbrücken bestehen in der Regel aus Stahldrähten. Die Technik des Kaltziehens von Metalldrähten ist seit dem 14. Jahrhundert belegt. Dabei wird der Draht durch eine Abfolge von Ziehösen gezogen, die immer kleinere Durchmesser aufweisen. Diese Kaltverformung hat eine Erhöhung der Zugfestigkeit der Stahldrähte zur Folge.

Die Abb. 2.4 bis Abb. 2.7 zeigen das Kaltziehen, das Aufwickeln auf Bobinen (coils), das Verzinken (Korrosionsschutz) und das Prüfen von Drähten im 19. Jahrhundert.

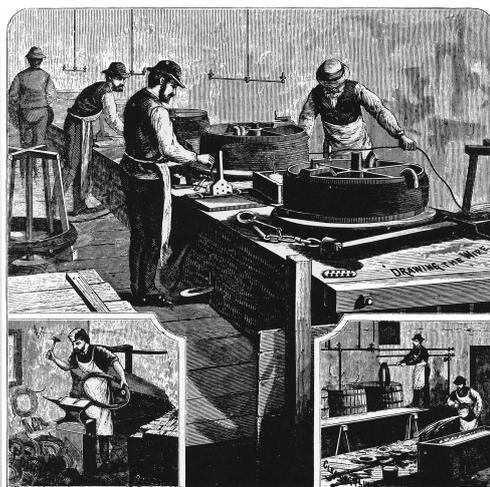


Abb. 2.4 Kaltziehen der Drähte [4].

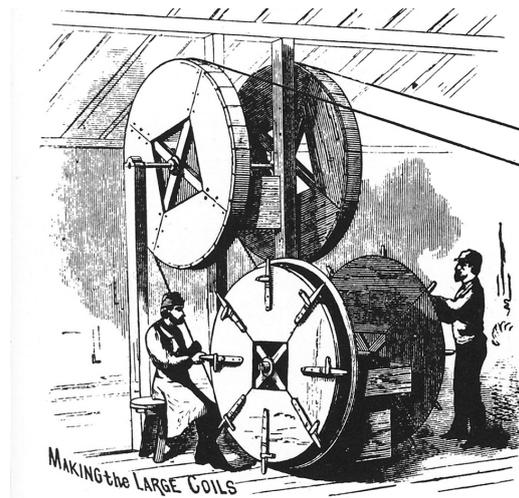


Abb. 2.5 Aufwickeln auf Bobinen [4].

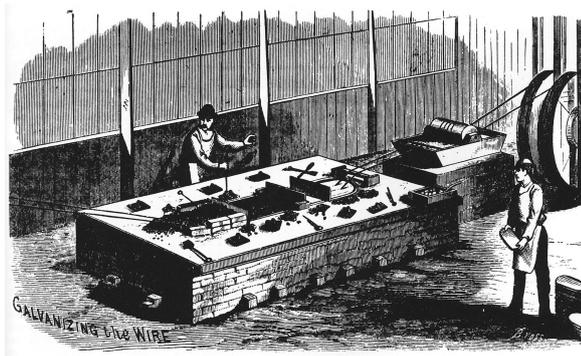


Abb. 2.6 Verzinken der Drähte [4].

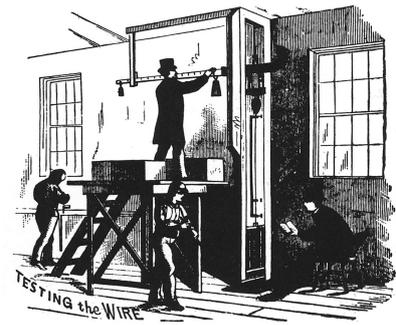


Abb. 2.7 Prüfen der Drähte [4].

Auch wenn sich die Herstellung von kaltgezogenen Drähten inzwischen weiterentwickelt hat, ist die Technologie im Grundsatz gleich geblieben.

Die Abb. 2.8 und Abb. 2.9 zeigen eine moderne Anlage zur Herstellung von Litzen, wie sie heute weltweit in vielen Ländern bestehen. In der Schweiz selbst wird seit Jahrzehnten kein Spannstahl mehr hergestellt. Er wird in der Regel aus europäischen Ländern wie Belgien, Deutschland, Frankreich, Italien oder Spanien importiert.



Abb. 2.8 Moderne Anlage zur Herstellung von 7-dräftigen Litzen aus kaltgezogenen Drähten; volle Drahtspulen neben der Anlage gelagert.



Abb. 2.9 Anlageteil, in welchem jeweils sieben Drähte zu einer Litze verseilt werden.

Wie in Abschnitt 2.2.1 gezeigt wird, sind gegen 90% der Schweizer Schrägseilbrücken mit Seilen aus Drähten oder Litzen aus kaltgezogenem Spannstahl ausgerüstet. Diese Stähle neigen in der Regel nicht zum gefährlichen Versagen infolge Spannungsrisskorrosion, unter ungünstigen Bedingungen kann diese Versagensart jedoch trotzdem auftreten.

Im 20. Jahrhundert wurde mit verschiedenen Ausführungen von Schrägseilbrückensystemen und Schrägseiltypen (Spirallitzenseile, Litzenseile, vollverschlossene Seile) experimentiert. Die grosse Entwicklung der Schrägseiltechnik setzte nach 1950 ein (z.B. Strömsundbrücke 1955 in Schweden und die Brücken über den Rhein in Deutschland ab 1957), [5].

Beim Bau der Fussgängerbrücke über die Schillerstrasse 1961 in Stuttgart (heute: Ferdinand-Leitner-Steg, meistens jedoch als Schillersteg bezeichnet) wurden weltweit erstmals Schrägseile eingesetzt, die aus der Vorspanntechnik entwickelt wurden (Abb. 2.10 und Abb. 2.11). Es handelt sich dabei um Paralleldrahtbündel mit 20 bis 90 Drähten \varnothing 6 mm, welche mit BBRV-Verankerungen versehen sind. Die Drahtbündel sind durch Kunststoffhüllrohre und Zementinjektion geschützt [6]. Die Brücke ist weiterhin in Betrieb.



Abb. 2.10 Schillersteg, Stuttgart.



Abb. 2.11 Schrägseile des Schillerstegs.

Neben Paralleldrahtseilen unterschiedlicher Bauart kamen mit der Zeit immer mehr auch Parallellitzenseile zum Einsatz. In der Folge verdrängten die aus der Vorspanntechnik entwickelten Seiltypen die vollverschlossenen Seile, die heute nur noch in wenigen Fällen verwendet werden (Abb. 2.12). Ebenfalls nur vereinzelt kamen Seile aus Einzelstäben oder aus Bündeln von parallelen Stäben zum Einsatz.

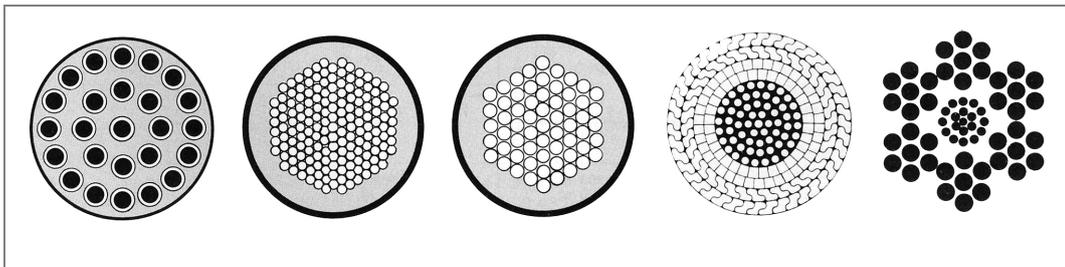


Abb. 2.12 Querschnitte verschiedener Arten von Schrägseilen: Parallel-Stabbündel, -Drahtbündel, -Litzenbündel, vollverschlossenes Seil, Litzenseil [7].

Während dem die Entwicklung bei den Schrägseilbrückensystemen vor allem in Bezug auf immer grössere Hauptspannweiten noch in vollem Gang ist (z.B. Stonecutters Brücke mit 1'018 m in Hongkong und Sutong Brücke mit 1'088 m in China), ist in der Schrägseiltechnik eine Konsolidierungsphase festzustellen. Diese Entwicklung dürfte primär damit zusammenhängen, dass mit der Herausgabe von Regelwerken neuerdings klare Anforderungen vorhanden sind (Abschnitt 2.4). In vielen Ländern kommen fast nur noch Schrägseile zum Einsatz, welche aus der Vorspanntechnik entwickelt wurden. Das bisher grösste eingebaute Schrägseil besteht aus 205 Litzen mit einer Gesamtbruchkraft von 54 MN.



Abb. 2.13 Stonecutters Brücke, Hongkong. Abb. 2.14 Sutong Brücke, China.

2.2 Anwendung von Schrägseilen in der Schweiz

2.2.1 Merkmale der Schrägseilssysteme in der Schweiz

Im Jahr 1962 wurde der Birskopfsteig als erste Schrägseilbrücke in der Schweiz zur Birsüberquerung für Fussgänger und Radfahrer zwischen der Stadt Basel und der Gemeinde Birsfelden erstellt. Es wurden Schrägseile analoger Bauart wie beim Schillersteig in Stuttgart verwendet. Im Jahr 2007 versagte eines der Schrägseile infolge Korrosion, worauf der Birskopfsteig rückgebaut werden musste (Abschnitt 2.3 und Anhang II).

Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation wurden im Verzeichnis der Brücken mit Schrägseilen und Hängern in der Schweiz (Anhang III) insgesamt 32 Schrägseilbrücken erfasst. Daneben enthält das Verzeichnis auch 6 Bogenbrücken mit Hängern, weil diese in ihrem Verhalten den Schrägseilen ähnlich sind. In den nachfolgenden Auswertungen sind diese 6 Bogenbrücken jedoch nicht einbezogen. Die Auswertung der erfassten Schrägseilbrücken ergibt ein mittleres Bauwerksalter von ca. 19 Jahren.

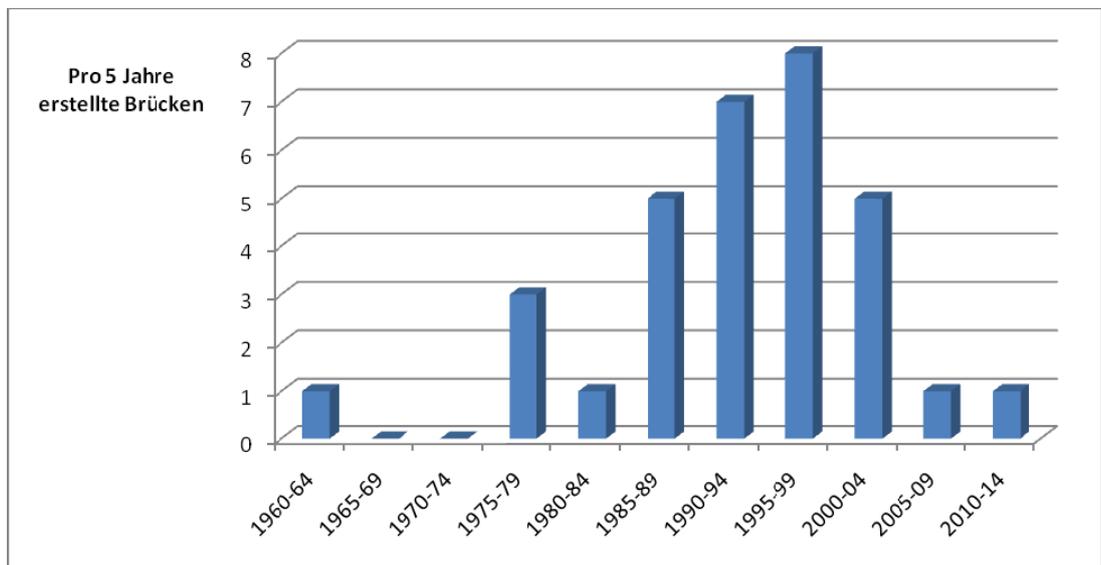


Abb. 2.15 Verteilung des Baujahrs der in der Schweiz erstellten Schrägseilbrücken bzw. Jahr der Auswechslung der Schrägseile.

Bemerkenswert ist, dass bei den drei ältesten Brücken die Schrägseile ihre Lebensdauer bereits überschritten haben (d.h. entweder versagt haben oder ersetzt werden mussten):

- Birskopfsteig:
Versagen eines Seils infolge Korrosion (nach 45 Jahren Nutzungsdauer)
- Brücke Honrainweg: Zweimaliger Ersatz der korrodierten Seile (nach 29 und 16 Jahren Nutzungsdauer)
- Restaurantbrücke Würenlos:
Ersatz der korrodierten Seile (nach 26 Jahren Nutzungsdauer)

Neben den im Verzeichnis im Anhang III erfassten Schrägseilbrücken gibt es in der Schweiz eine grössere Anzahl von Schrägseilbrücken in Holzbauweise für Fussgänger (z.B. Abb. 2.16 und Abb. 2.17), welche in der vorliegenden Dokumentation nicht weiter behandelt werden.



Abb. 2.16 Brücke über den Inn bei St. Moritz, Seitenansicht.



Abb. 2.17 Brücke über den Inn bei St. Moritz, Frontansicht.

Die Aufteilung der hier erfassten Schrägseilbrücken auf ihre Werkeigentümer ist in Abb. 2.18 dargestellt, wobei neben dem ASTRA und den Übrigen (Kantone, Gemeinden, Private) als dritte Kategorie Brücken aufgeführt sind, die nicht dem ASTRA gehören, aber die Nationalstrassen überqueren.

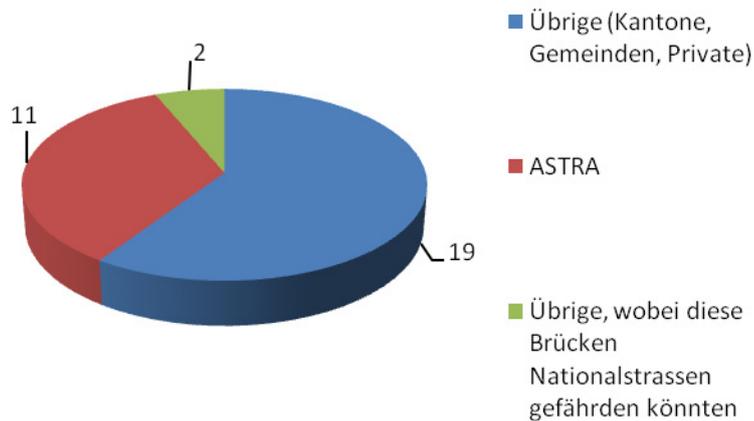


Abb. 2.18 Aufteilung der erfassten Schrägseilbrücken auf ihre Werkeigentümer.

Die Aufteilung in Bezug auf die Art der Nutzung ist in Abb. 2.19 dargestellt, wobei zwischen Strassen-, Fussgänger- und übrige Nutzungen unterschieden wird.

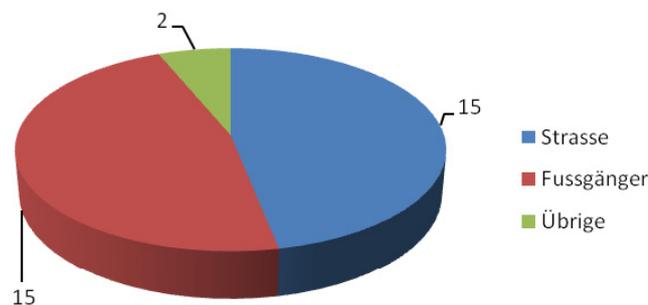


Abb. 2.19 Aufteilung der erfassten Schrägseilbrücken auf ihre Nutzungsart.

Die Aufteilung in Bezug auf den verwendeten Schrägseiltyp ist in Abb. 2.20 dargestellt.

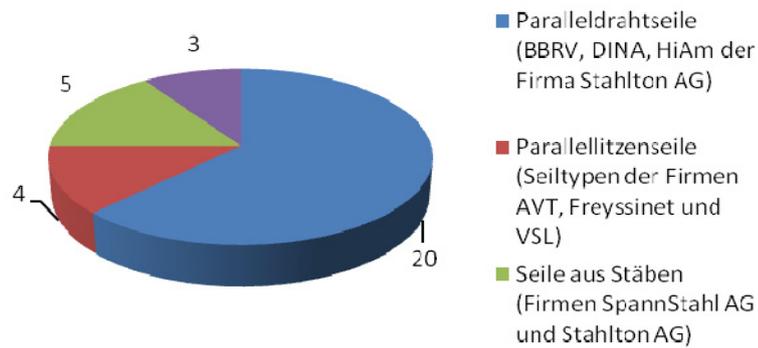


Abb. 2.20 Aufteilung der erfassten Schrägseilbrücken auf den verwendeten Schrägseiltyp.

Die Aufteilung in Bezug auf den verwendeten äusseren Korrosionsschutz der Schrägseile ist in Abb. 2.21 dargestellt.

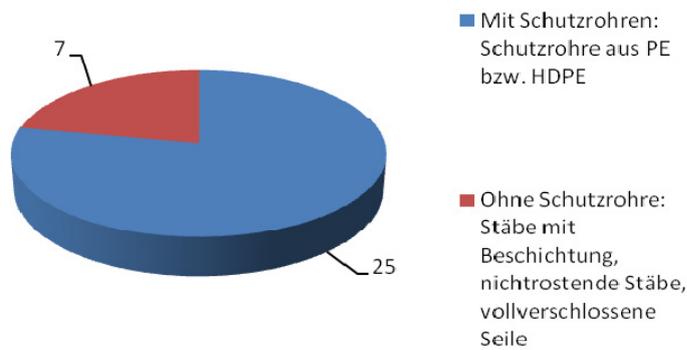


Abb. 2.21 Aufteilung der erfassten Schrägseilbrücken auf den verwendeten äusseren Korrosionsschutz der Schrägseile.

Für die 25 erfassten Schrägseilbrücken mit Schutzrohren ist die Aufteilung in Bezug auf den inneren Korrosionsschutz der Spannstähle in Abb. 2.22 dargestellt.

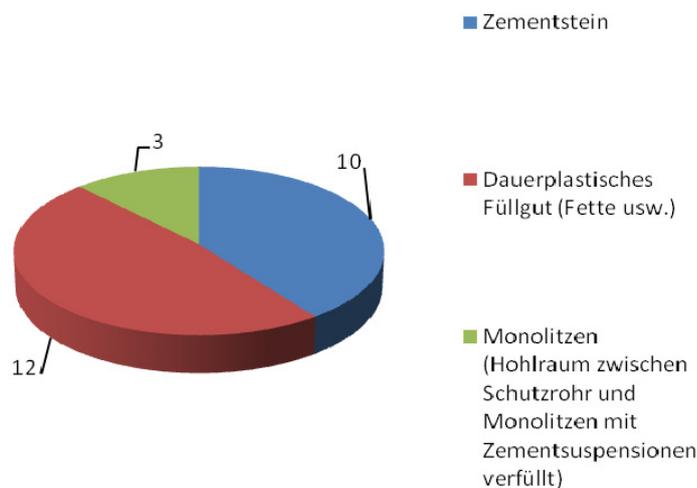


Abb. 2.22 Aufteilung der 25 erfassten Schrägseilbrücken mit Schutzrohren auf die Art des verwendeten inneren Korrosionsschutzes; bei 6 Brücken sind verzinkte Spanndrähte eingebaut.

Im Vergleich zum Ausland weisen die bisher in der Schweiz gebauten Schrägseilbrücken nur kleine bis mittlere Spannweiten auf. Die grössten Hauptspannweiten haben die Brücken Chandolines (1989) und Sunniberg (1998) mit je 140 m.

Zurzeit ist die Poya-Brücke in Freiburg mit 196 m Hauptspannweite im Bau (Abb. 2.23). Bei dieser Brücke sind Parallellitzenseile der neuesten Generation vorgesehen, welche die Anforderungen der SN EN 1993-1-11 [15] bzw. der fib-Empfehlung [16] erfüllen (Abschnitt 2.4).

Weiter ist eine Schrägseilbrücke über den Grimsensee mit 350 m Hauptspannweite in Planung (Abb. 2.24).



Abb. 2.23 Schrägseilbrücke La Poya, Freiburg (Visualisierung).

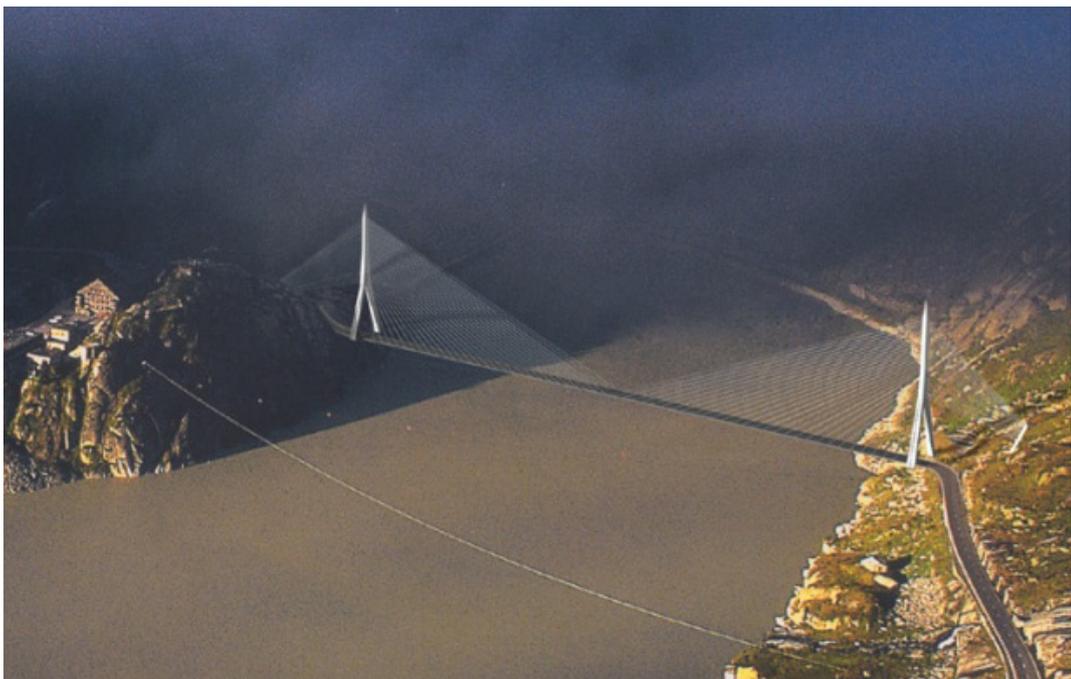


Abb. 2.24 Schrägseilbrücke über den Grimsensee (Visualisierung).

2.2.2 In der Schweiz verwendete Schrägseilsysteme

Paralleldrahtseile Typ BBRV, Stahlton AG (ab 1963 bis 1977):

Es handelt sich hierbei um Seile, deren Verankerungen fast identisch sind mit denjenigen der herkömmlichen BBRV-Spannglieder mit Verbund, die bei üblichen Spannbetonbrücken verwendet werden (Abb. 2.25).

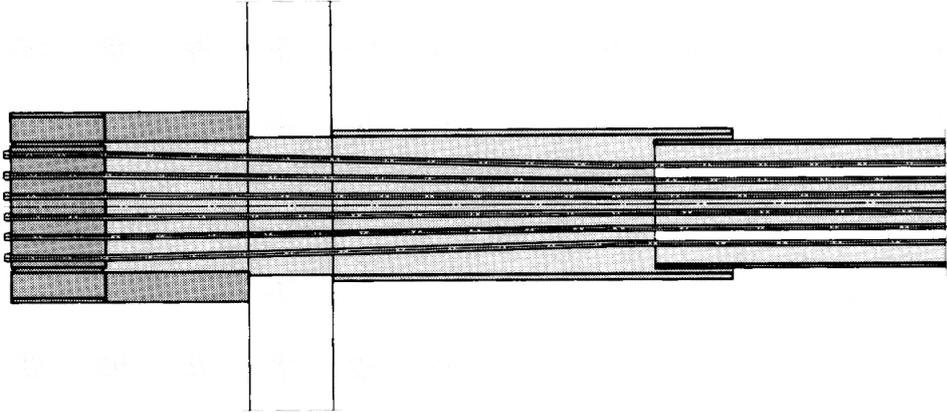


Abb. 2.25 Paralleldrahtseil mit Verankerung Typ BBRV [5].

Die Verankerung Typ BBRV besteht aus einem Ankerkopf, welcher im Normalfall mit einem Aussengewinde versehen ist. Die Ringmutter überträgt die Kabelkraft auf die Ankerplatte und ins Bauwerk. Die Drähte $\varnothing 6$ mm oder $\varnothing 7$ mm werden in den Ankerkopf eingefädelt und mittels Stauchkopf verankert (Abb. 3.13). Der BBRV-Stauchkopf wird am Ende der kaltgezogenen, hochfesten Spanndrähte kalt aufgestaucht und verankert diese bis zur vollen statischen Bruchkraft. Im Gegensatz zu den nachfolgend erläuterten Verankerungen Typ HiAm und Typ DINa, die von der gleichen Firma entwickelt wurden, weist die Verankerung Typ BBRV eine bedeutend geringere Ermüdungsfestigkeit von $\Delta\sigma_{\text{fat}} \leq 80 \text{ N/mm}^2$ auf (2 Mio Lastwechsel bei Oberlast $0.65 \cdot f_{\text{tk}}$). Dieser Verankerungstyp wurde deshalb nur bei Tragwerken mit geringen Ermüdungseinwirkungen wie beispielsweise Fussgängerbrücken eingesetzt.

Auf der freien Länge sind diese Seile mit einem Polyethylenhüllrohr versehen, welches zusammen mit der Verankerungszone in der Regel mit Zementsuspension verpresst wurde.

Zur Durchführung der Schrägseile durch den Brückenüberbau und den Pylon wurden in der Regel Aussparungsrohre aus Stahl (Trompeten) eingebaut. Bei einigen Anwendungen wurde das HDPE-Hüllrohr in das Aussparungsrohr geführt (Abb. 2.25) und der Übergang zwischen Stahlrohr und Hüllrohr in der Regel mit einer Dichtmanschette abgedichtet (Abb. 2.71). In anderen Fällen wurde das HDPE-Hüllrohr aussen über das Aussparungsrohr gestülpt.

Weitere Hinweise zu diesem Schrägseiltyp finden sich im Anhang II.

Paralleldrahtseile Typ HiAm, Stahlton AG (ab 1972):

Die HiAm-Verankerung (Abb. 2.26) besteht aus einer Ankerhülse mit Innenkonus, welche im Normalfall mit einem Aussengewinde versehen ist. Die Mutter überträgt die Kabelkraft auf die Ankerplatte und ins Bauwerk. Im Konus wird das Drahtbündel aufgefächert. Die Drähte sind in der Lochplatte mit Stauchköpfen verankert. Die Kraftübertragung von den Drähten in die Hülse erfolgt über Druckgewölbe, welche sich im Konusbereich in der HiAm-Vergussmasse aufbauen. Die speziell entwickelte Vergussmasse besteht aus Epoxydharz, Stahlkügelchen und Zinkstaub. Das Polyethylenhüllrohr wird im Anschlussrohr dicht eingegossen. Auf der freien Länge wird das Hüllrohr entweder mit Zementsuspension oder mit dauerplastischer Korrosionsschutzmasse (Fette, Wachse) verpresst.

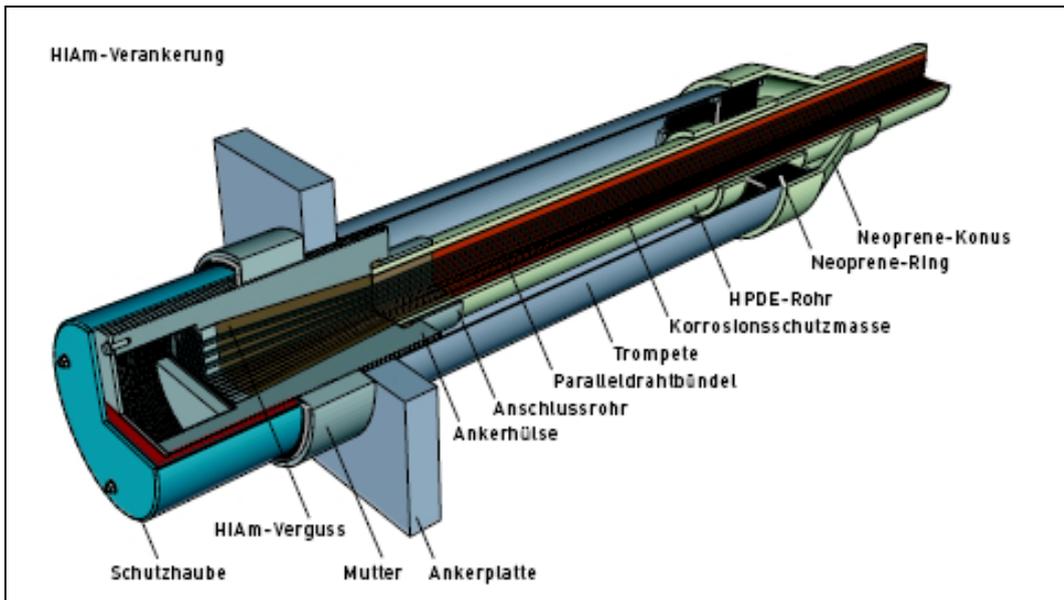


Abb. 2.26 Paralleldrahtseil mit Verankerung Typ HiAm [8].

Paralleldrahtseile Typ DIN A, Stahlton AG (ab 1982):

Bei der DIN A-Verankerung (Abb. 2.27) sind die Drähte analog zu den BBRV-Standardspanngliedern mittels Stauchköpfen im Grundkörper verankert. Das Vergiessen der Bohrungen im Grundkörper mit Epoxydharz verhindert den Zutritt von Sauerstoff und die Reibkorrosion, und es verbessert die Ermüdungsfestigkeit. Die Zughülse ermöglicht das Spannen der Verankerung und das Abstützen mittels Mutter auf die Ankerplatte. Im Bereich des Teleskoprohres werden die Drähte zu einem kompakten Bündel zusammengefasst. Das Teleskoprohr ist im Anschlussrohr dicht eingegossen. Auf der freien Länge wird das Hüllrohr entweder mit Zementsuspension oder mit dauerplastischer Korrosionsschutzmasse (Fette, Wachse) verpresst.

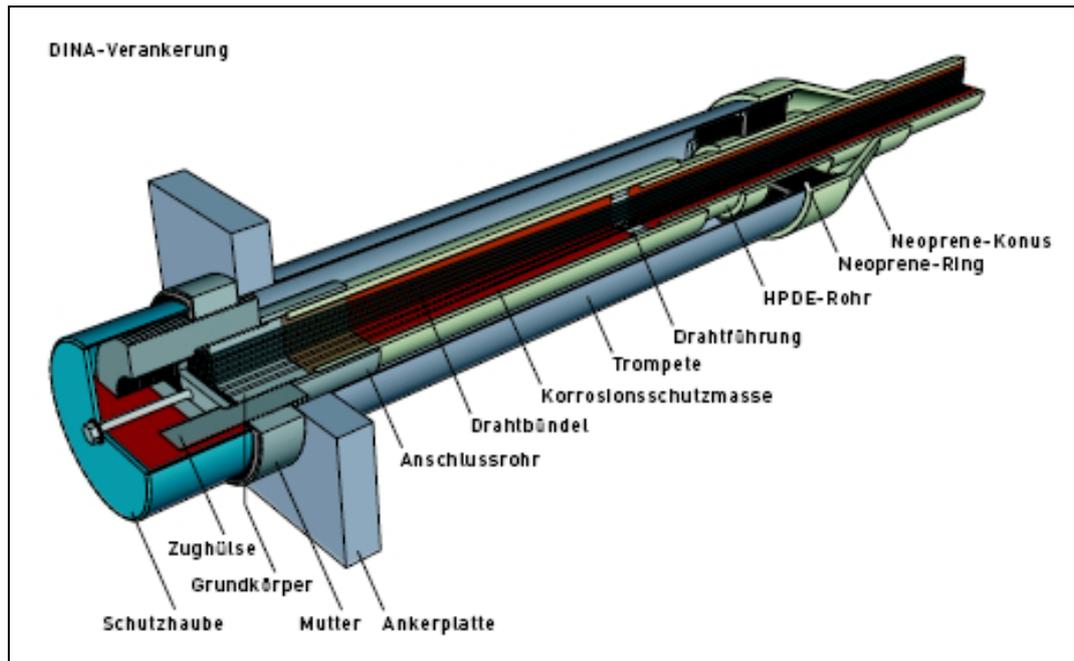


Abb. 2.27 Paralleldrahtseil Typ DIN A [8].

Parallellitenseile Typ VSL, VSL (Schweiz) AG (ab 1977):

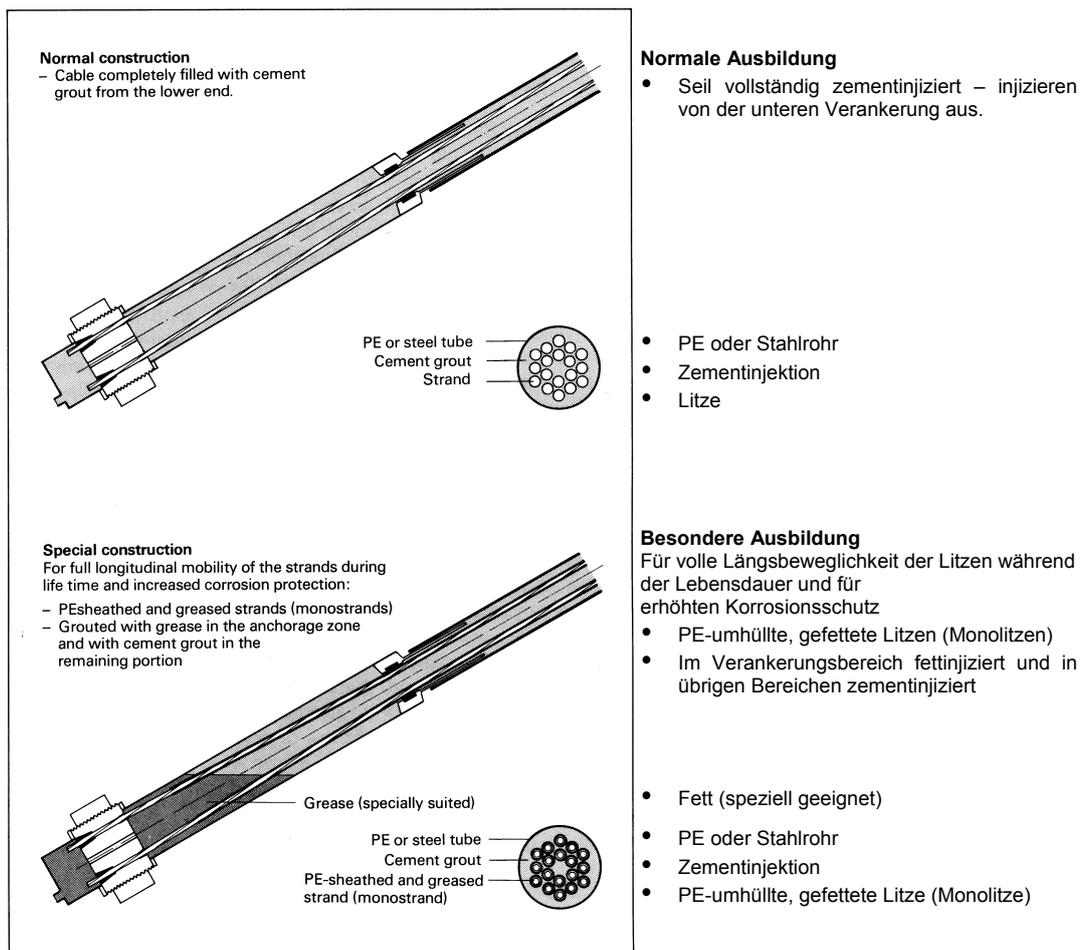


Abb. 2.28 Parallellitenseile Typ VSL [7].

Parallellitenseile Typ HD Freyssinet, Freyssinet AG (ab 2007):

Dieser Seiltyp der neusten Generation wird ab 2012 bei der Poya-Brücke in Freiburg eingebaut. Das Zugglied besteht aus parallel geführten Monolitzen, die innerhalb eines Schutzrohrs aus Kunststoff (HDPE) verlaufen. Im Bereich der Ankerbüchsen werden die Kunststoffhüllrohre der Monolitzen entfernt (Abb. 2.29). Um in diesem Bereich die blanken oder verzinkten Litzen vor Korrosion zu schützen, wird seilseitig ein Dichtelement ("Stuffing box") eingebaut, welches jegliches Eindringen von Wasser verhindern soll. Die freie Länge des Seils bleibt unverpresst. Sie ist unten mit einer Entwässerungsöffnung versehen, durch welche Kondenswasser austreten kann.

Es ist zu erwähnen, dass bereits vor Einführung dieses neuen Typs Parallellitenseile mit ähnlichem Aufbau wie in Abb. 2.28 gezeigt von demselben Hersteller verwendet wurden.

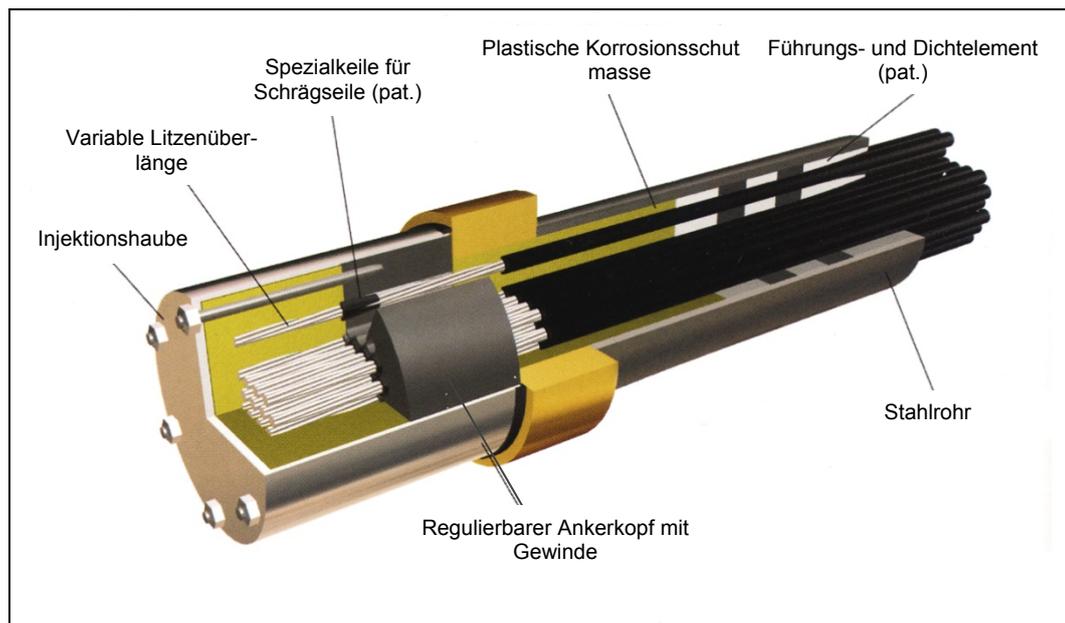


Abb. 2.29 Parallellitenseil mit Verankerung Typ HD Freyssinet [9].

Weitere Schrägseilsysteme neuer Bauart:

Andere Hersteller von Schrägseilen verfügen ebenfalls über Systeme, welche die heutigen Anforderungen erfüllen, beispielsweise die VSL Schrägseile Typ SSI 2000 (Abb. 2.30) und die DWIDAG Schrägseile DYNA Grip (Abb. 2.54).

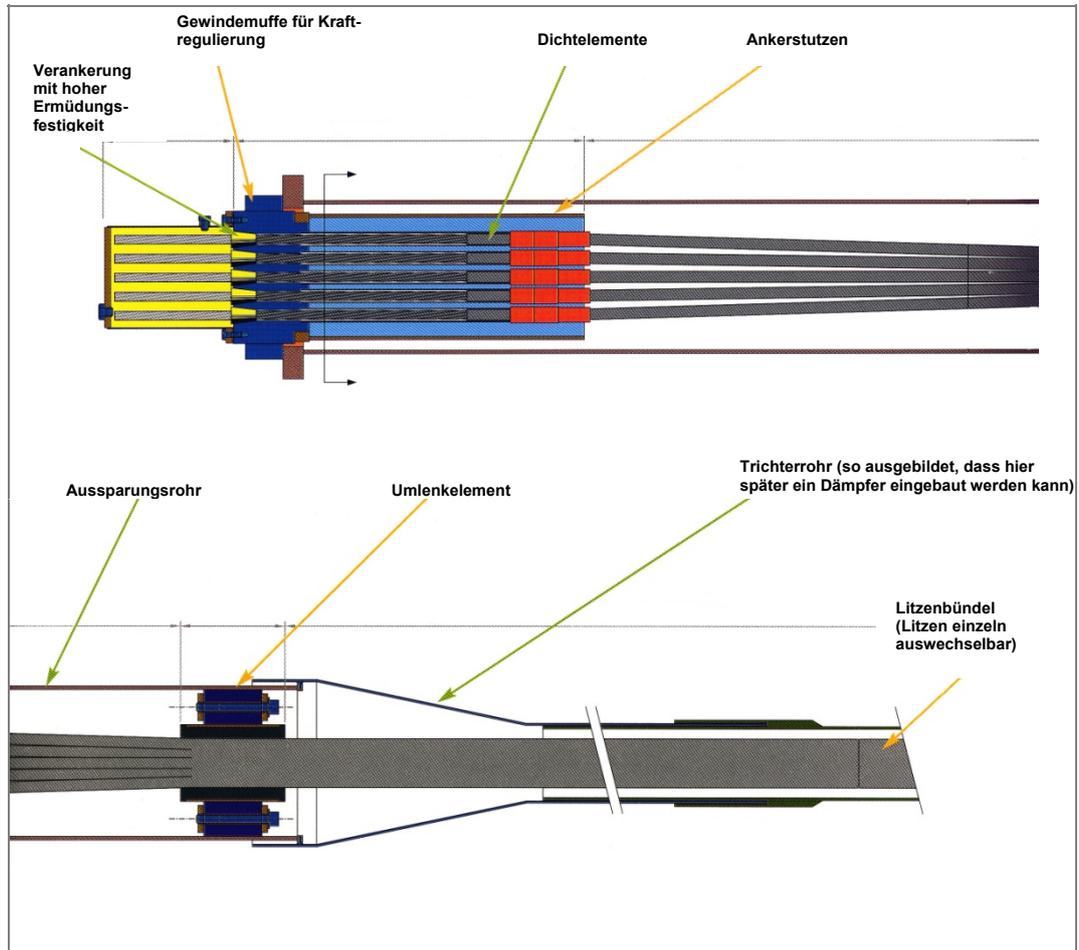


Abb. 2.30 Parallellitzenseil Typ VSL SSI 2000.

Schrägseilsysteme mit Stäben oder vollverschlossenen Seilen:

Da es sich bei den Anwendungen mit Stäben und vollverschlossenen Seilen um Einzelfälle handelt, wird auf deren Darstellung verzichtet.

2.3 Schadenfälle

2.3.1 Korrosionsschäden an den Spannstählen

Die Erkenntnisse aus den Schäden an Schrägseilen infolge Korrosion werden im ASTRA Forschungsbericht [10] umfassend dargestellt. Der Bericht kommt zusammenfassend zu folgenden Schlüssen:

Gemäss den Kenntnissen der Autoren gab es bisher wegen Korrosion – abgesehen von einer Hängebrücke wegen des vollständig vernachlässigten Unterhaltes – keine Einstürze von Seilbrücken. Ein wichtiger Grund für diese positive Bilanz ist die Tatsache, dass Schrägseilkonstruktionen in der Regel redundant sind und ein gleichzeitiger Ausfall mehrerer Schrägseile wegen Korrosion eher unwahrscheinlich ist. Ein Ausfall von so genannten Rückhalteseilen ("back stays") könnte jedoch zu einem Tragwerksversagen führen. Bei einigen Schrägseilanwendungen waren jedoch erhebliche Korrosionsschäden zu beheben oder gar die Schrägseile auszuwechseln.

Im Vergleich zu den Spannsystemen des Brückenbaus sind Schrägseile teilweise den gleichen, teilweise aber auch anderen bzw. zusätzlichen Einwirkungen ausgesetzt wie z.B. direkte Bewitterung, direkte Beaufschlagung durch (chloridhaltiges) Wasser, direkte Sonneneinwirkung (UV-Strahlung) und damit verbunden höhere Temperaturschwankungen und Längenänderungen sowie stärkere schwingende Belastung durch Verkehrslasten, Wind (Vibrationen) etc. Es traten daher auch weitere Gefährdungen auf (z.B. Ermüdungs- und Reibkorrosion).

Als Beispiel dafür, dass Schrägseile infolge ungenügender Dauerhaftigkeit ausgewechselt werden mussten, sei auf die Brücke Zárate-Brazo Largo in Argentinien verwiesen. Die Brücke wurde 1977 – 1978 erbaut und hat eine Hauptspannweite von 330 m (Abb. 2.31). Im November 1996 – d.h. nach nur 18 Jahren Nutzungsdauer – riss eines der Seile infolge Korrosions- und Ermüdungseinwirkungen. Es waren BBRV-Paralleldrahtseile mit 121 Drähten \varnothing 7 mm und HiAm-Verankerungen, die in der Schweiz gefertigt und auf die Baustelle geliefert wurden. Die Injektion mit Zementsuspension erfolgte auf der Baustelle. Fast alle Drähte des gerissenen Schrägseils hatten etwa 200 mm oberhalb der unteren Verankerung versagt (Abb. 2.32). Es erwies sich als notwendig, innert kürzester Frist sämtliche Seile zu ersetzen. Dabei kamen neu Parallellitenseile zur Anwendung.



Abb. 2.31 Ansicht der Schrägseilbrücke Zárate-Brazo Largo, Argentinien [11].

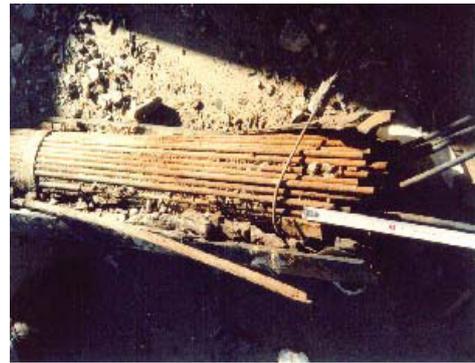


Abb. 2.32 Korrosionsschäden am gerissenen Schrägseil der Brücke Zárate-Brazo Largo [11].

Wie bereits im Abschnitt 2.2 erwähnt, kam es beim Birskopfsteig bei Basel zu einem gravierenden Schadenfall. Am 22. Juni 2007 versagte eines der sechs Schrägseile infolge Korrosion (Abb. 2.33 und Abb. 2.34). Dies bewirkte Brückenverformungen, welche die Brücke funktionsuntüchtig machten. Es kam jedoch glücklicherweise weder zu einem Einsturz noch zu Personenschäden. Der Hauptgrund für diesen Schadenfall war die Einwirkung von Wasser und Sauerstoff im nicht vollständig mit Zementinjektion verfüllten Bereich gerade unterhalb der Seilverankerung am Pylonkopf. Der verwendete Schrägseiltyp ist in Abb. 2.25 dargestellt.



Abb. 2.33 Birskopfsteig vor dem Versagen [12].



Abb. 2.34 Bruchstelle im Schrägseil Nr. 5 unterhalb des Pylonkopfs infolge Korrosion der Spanndrähte [12].

In der Folge wurden sämtliche sechs Schrägseile demontiert und seziiert. Dabei wurden weitere erhebliche Korrosionsschäden festgestellt (Anhang II).

Aus diesem Schadenfall allgemein verbindliche Schlüsse für andere Brücken zu ziehen ist schwierig. Immerhin versagte das Schrägseil Nr. 5 im Bereich des Hochpunktes, wo üblicherweise mit einer Schwachstelle gerechnet werden muss, da dort leider oft Hohlräume infolge ungenügender Injektion vorhanden sind. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, dass Hohlräume auch in anderen Bereichen auftreten können.

Während sich bei Spanngliedern im Verbund die Zementinjektion als Korrosionsschutz gut bewährt hat, sind bei Schrägseilen, welche den äusseren Einwirkungen viel stärker ausgesetzt sind, Zweifel angebracht. So kann es nicht nur zu Hohlstellen kommen, es ist auch bekannt, dass die Zementsteinsäule in der Regel in kurzen Abständen gerissen ist; wenn an solchen Stellen wegen undichten Stellen im Schutzrohr Wasser oder Feuchtigkeit eindringen kann, ist mit Korrosionsschäden zu rechnen.

2.3.2 Mängel beim dauerplastischen Füllgut

Um 1990 wurden in der Schweiz erstmals Schrägseile eingebaut, bei denen anstatt zementöses ein dauerplastisches Füllgut verwendet wurde. Über die Dauerhaftigkeit dieser Art von Schutzmassnahmen ist noch wenig bekannt. Es stellt sich auch hier die Frage, wie hoch der Füllgrad in der Praxis ist und ob es wie bei der Zementinjektion an den Hochpunkten zu Hohlraumbildung kommen kann.

Bei einigen Brücken wurde bereits nach kurzer Zeit festgestellt, dass bei den unteren Schrägseilverankerungen ein Gemisch aus Öl und Wasser austrat (Abb. 2.35 und Abb. 2.36). In Einzelfällen wurden im Gemisch auch Chloride gefunden. Diese stammen vermutlich von Tausalzablagerungen auf den Schutzrohren (Spritzwasser, Sprühnebel), die bei Regen gelöst und über undichte Stellen im äusseren Schutzsystem in den Verankerungsbereich gelangen konnten. Falls grössere Mengen ausgetreten sind, müssen sich im Schrägseil unzulässige Hohlräume gebildet haben. Es ist wichtig, dass solche Leckstellen durch geeignete Massnahmen abgedichtet und die Hohlstellen wieder aufgefüllt werden.



Abb. 2.35 Mit ausgetretenem Öl-Wasser-Gemisch verschmutzter Brückenfeiler.



Abb. 2.36 Schutzhaube, aus welcher Schutzfett austritt.

2.3.3 Schäden am äusseren Schutzsystem

Das äussere Schutzsystem der Schrägseile besteht in der Regel aus einem dickwandigen Kunststoffhüllrohr (PE bzw. HDPE), den Aussparungsrohren, den Dichtmanschetten und den Schutzhauben.

Es stellt sich die Frage nach der Dauerhaftigkeit der Kunststoffhüllrohre auf der freien Länge, welche den Umgebungseinflüssen ausgesetzt ist. In [13] wurde diese Frage bereits untersucht, und die Schlussfolgerung lautete:

Es kann deshalb angenommen werden, dass die Dauerhaftigkeit von PE-Rohren mit guter Qualität und sorgfältiger Ausführung derjenigen des Brückenbauwerks zumindest entsprechen wird.

Diese Aussage kann aus heutiger Sicht bekräftigt werden. Die ältesten Anwendungen beim Schillersteg in Stuttgart 1961 und beim Birkkopfsteig 1962 bestätigen dies. Beim letzteren wurde 2008 eine kunststofftechnologische Untersuchung der Hüllrohre durchgeführt [12]. Zusammenfassend kam die Empa zu folgendem Schluss:

Insgesamt kann also im Rahmen dieser Begutachtung die Aussage getroffen werden, dass mit Russ gefüllte und ausreichend stabilisierte Polyethylenhüllrohre mit genügend Wandstärke eine ausgezeichnete Witterungsbeständigkeit in unseren Breitengraden zeigen.

Wie im ersten Zitat aus [13] muss einschränkend festgehalten werden, dass die Rohre von guter Qualität sein müssen (kein rezykliertes Ausgangsmaterial) und dass die Ausführung sorgfältig erfolgen muss. Mechanische Verletzungen bei Transport und Einbau sowie unzulässiger Überdruck beim Injektionsvorgang sind zu vermeiden. Insbesondere die letztere Gefährdung kann zur Bildung von Längsrissen in den Hüllrohren führen (Abb. 2.37), was unbedingt zu vermeiden ist, weil dadurch die Dauerhaftigkeit des Seils massgeblich reduziert wird.

Ebenfalls entscheidend für die Dauerhaftigkeit sind die Übergangsstellen (Muffen, Dichtmanschetten usw.). Auch deren Funktionstüchtigkeit ist periodisch zu überprüfen (Abb. 2.38).



Abb. 2.37 Risse im Kunststoff-Hüllrohr.



Abb. 2.38 Gerissene Dichtmanschette.

2.3.4 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Brand:

Auf der Rheinbrücke Schaffhausen kam es am 17. August 2001 zu einem Fahrzeugbrand (Abb. 2.39). Ein mit Strohballen beladener Lastenzug brannte auf der Brücke. Die Feuerwehr konnte den Brand innerhalb einer halben Stunde löschen. Es kam zu verschiedenen Schäden. In [14] wird in Bezug auf die Schrägseile festgehalten, dass bei zwei Seilen an den HDPE-Hüllrohren Brandschäden (Riefen) und starke Rauch- und Russablagerungen sichtbar waren. Die nachfolgende Untersuchung zeigte, dass die Rohre glücklicherweise nur geringfügig beschädigt waren, sodass sie instandgesetzt werden konnten.

Das Tiefbauamt des Kantons Schaffhausen schlägt vor, dass die zuständigen Feuer- und Schadenwehren dahingehend zu informieren sind, dass im Brandfall Schrägseile mit Löschwasser geschützt bzw. gekühlt werden müssen.

Blitzeinschlag:

An der Rion-Antirion Brücke in Griechenland (Abb. 2.40) schlug im Januar 2005 ein Blitz ein, ungefähr im oberen Drittelpunkt des zuoberst angeordneten Schrägseils der ersten Spannweite. Dies löste einen solch starken Brand des äusseren Kunststoffhüllrohrs und der Kunststoffhüllen der Monolitzen aus, dass in der Folge die Litzen dieses Seils versagten. Das betroffene Schrägseil wie auch das darunter befindliche wurden ersetzt. Das Schadenereignis und die nachfolgende Instandsetzung verursachte grössere Verkehrsbehinderungen. Die Blitzschutzanlage wurde entsprechend den Erkenntnissen verbessert, indem auf sämtlichen zuoberst liegenden Seilen auf der ganzen Länge vierkantige Drähte aus nichtrostendem Stahl zur Blitzableitung montiert wurden.

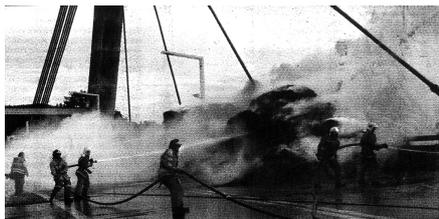


Abb. 2.39 Brandbekämpfung auf der Rheinbrücke Schaffhausen.



Abb. 2.40 Brücke Rion-Antirion, Griechenland.

2.3.5 Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung verschiedener Schadenfälle im Ausland, bei denen Schrägseile wegen gravierenden Schäden ausgewechselt werden mussten, und der in der Schweiz festgestellten Probleme besteht in der Schweiz Handlungsbedarf sowohl bei der Erhaltung von bestehenden Schrägseilsystemen als auch bei der Festlegung von Anforderungen für zukünftige Projekte. Weitere Hinweise hierzu sind in Abschnitt 4.2 enthalten.

2.4 Normgrundlagen

Die grundlegenden Anforderungen an Schrägseilbrücken bzw. deren Zugglieder aus Stahl sind in der Norm SN EN1993-1-11 [15] festgelegt:

Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl

Diese in der Schweiz übernommene Norm regelt die Bemessung und die Konstruktion von Zuggliedern aus Stahl, die aufgrund ihrer Anschlussausbildung nachstellbar und austauschbar sind. Die Norm schliesst ausdrücklich externe Spannglieder aus, "obwohl ein Teil der angegebenen Regeln anwendbar wäre" (siehe Kapitel 3 der Norm).

Die Norm gliedert sich in folgende Kapitel:

- 1 Allgemeines
- 2 Grundlagen für die Tragwerksplanung
- 3 Werkstoffe
- 4 Dauerhaftigkeit von Drähten, Seilen und Litzen
- 5 Tragwerksberechnung
- 6 Grenzzustände der Tragfähigkeit
- 7 Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit
- 8 Seilschwingungen
- 9 Ermüdung

Ausserdem enthält sie folgende informative Anhänge:

- Anhang A: Produkthanforderungen an Zugglieder aus Stahl
- Anhang B: Transport, Lagerung und Handhabung
- Anhang C: Glossar (Bezeichnung und Darstellung der Produktgruppen)

Abb. 2.41 ist die Einteilung der Zugglieder in Gruppen gemäss [15] dargestellt.

Abb. 2.41 Gruppen von Zuggliedern gemäss [15]

Gruppe	Hauptsächlicher Bestandteil bzw. Grundelement	Zugglied
A	Zugstab	Zugstabsystem, Vorspannstab
	Runddraht	Spiralseil
B	Rund- und Z-Draht	Vollverschlossenes Seil
	Rund- und Litzendraht	Litzenseil
C	Runddraht	Paralleldrahtlitze
	Runddraht	Paralleldrahtbündel
	Sieben-Drähte-(Vorspann-)Litze	Paralleldrahtbündel

Für Strassen- und Fussgängerbrücken kommen nur vollverschlossene Seile aus der Gruppe B sowie Paralleldraht- oder Parallellitzenbündel aus der Gruppe C in Frage. Da in der Schweiz für Strassenbrücken bis anhin keine Schrägseile der Gruppe B angewendet wurden und deren Einsatz auch zukünftig nicht zu erwarten ist, werden nachfolgend nur die Schrägseiltypen bzw. Zuggliedtypen der Gruppe C behandelt.

Im Weiteren unterscheidet die Norm [15] in Bezug auf die Dauerhaftigkeit Anforderungsklassen gemäss Abb. 2.42.

Abb. 2.42 Anforderungsklassen gemäss [15]

Ermüdungsbeanspruchung	Korrosionsbeanspruchung	
	äusseren Umwelteinflüssen nicht ausgesetzt	äusseren Umwelteinflüssen ausgesetzt
Keine signifikante Ermüdungsbeanspruchung	Klasse 1	Klasse 2
Ermüdungsbeanspruchung im Wesentlichen durch Längskräfte	Klasse 3	Klasse 4
Ermüdungsbeanspruchung durch Längskräfte und Biegung (Wind und Regen)	—	Klasse 5

Für Strassen- und Fussgängerbrücken kommt nur die Anforderungsklasse 5 in Frage. Die Anforderungen an den Korrosionsschutz bei Schrägseilen der Gruppe C gemäss [15] sind in Abb. 2.43 wiedergegeben:

- (1) Zugglieder der Gruppe C sollten üblicherweise ummantelt sein, wobei als Ummantelung in der Regel Stahlrohre oder Polyethylen-Rohre nach den maßgebenden Normen zu verwenden sind. Der Zwischenraum zwischen der Ummantelung und dem Kabel ist in der Regel mit geeigneten Korrosionsschutzmedien bzw. Zementmörtel zu füllen.
- (2) Es ist auch möglich, anstelle einer Außenummantelung jede Einzellitze oder jedes Einzelkabel mit einer Polyethylenhülle oder einer Epoxidbeschichtung zu versehen.
- (3) Die Ummantelung der Kabel ist in der Regel an der Verbindungsstelle zur Verankerung vollständig undurchlässig auszuführen. Die Enden und Stöße der Ummantelung sind in der Regel so auszulegen, dass diese bei der aufgebracht Zugbeanspruchung nicht brechen.
- (4) Zwischenräume sind in der Regel mit zusammenhängenden hydrophoben Materialien zu verfüllen, die keine schädigende Wirkung auf die Hauptzugglieder ausüben. Alternativ darf ein Kabel durch in der Ummantelung zirkulierende trockene Luft geschützt werden.

ANMERKUNG 1 Als zusammenhängend hydrophob gelten weiche Füllmittel, z. B. Fett, Wachs und weiche Harze, oder harte Füllmittel, z. B. Zement. Die Eignung der Füllmittel ist in der Regel durch Versuche nachzuweisen. Die Wahl des Füllmittels darf im Nationalen Anhang festgelegt werden.

Abb. 2.43 Anforderungen an den Korrosionsschutz gemäss [15] bei Zuggliedern der Gruppe C.

Wichtig ist der Schutz in den Übergangsbereichen bei den Anschlüssen. Es muss verhindert werden, dass an diesen Stellen Wasser in Verankerungen bzw. in Sättel eindringen kann. Die Eignung der getroffenen Massnahmen ist in einem Dichtheitsversuch mit Wassereinwirkung zu überprüfen. Dazu ist in der Regel eine Versuchsanordnung mit beschleunigter Alterung zu verwenden, mit der zyklische Veränderungen der Seilkraft, des Seilwinkels bei der Verankerung und der Temperatur simuliert werden können (siehe Abb. 2.50 und Abb. 2.51).

Die Norm [15] empfiehlt für Schrägseile die in Abb. 2.44 deklarierten Spannungsbegrenzungen für Montagezustände und für Betriebsbedingungen.

Neben der Dauerhaftigkeit (Korrosionsschutz) ist für Schrägseile auch wichtig, deren Ermüdungsverhalten zu kennen. Ein Ermüdungsversagen tritt bei Seilen in der Regel an Verankerungen oder Sätteln infolge von lokalen Phänomenen auf. Das Ermüdungsverhalten ist durch Versuche unter Berücksichtigung der wirklichen Verhältnisse in Bezug auf Biegeeffekte und Querdruck zu bestimmen. Im Falle von Ermüdungsbeanspruchung in Längs- und Querrichtung des Schrägseils sind am Bauwerk zusätzliche konstruktive Schutzmassnahmen erforderlich, um die Biegespannungen zu minimieren.

Der Anhang A der Norm [15] enthält weitere Produkteanforderungen, auf die hier nicht weiter eingegangen wird. In [15] wird zudem an einigen Stellen auf die Möglichkeit verwiesen, im Nationalen Anhang landesbezogene Festlegungen, beispielsweise in Bezug auf Leistungsklassen, zu treffen. Zurzeit ist der schweizerische Nationale Anhang nicht vorhanden und dessen Erarbeitung auch noch nicht geplant.

Abb. 2.44 Spannungsbegrenzungen gemäss [15]

Tabelle — Spannungsbegrenzungen f_{const} für die Montage	
Einbauphase	f_{const}
erste Zugglieder für nur wenige Stunden	0,60 σ_{uk}
nach Einbau weiterer Zugglieder	0,55 σ_{uk}

Tabelle — Spannungsbegrenzungen f_{SLS} für Betriebsbedingungen	
Belastungsbedingungen	f_{SLS}
Ermüdungsbemessung mit Berücksichtigung der Biegespannungen ^a	0,50 σ_{uk}
Ermüdungsbemessung ohne Berücksichtigung der Biegespannungen	0,45 σ_{uk}

^a Biegespannungen dürfen durch konstruktive Maßnahmen reduziert werden

Detailliertere Festlegungen zu den Anforderungen und den Prüfungen für Schrägseile finden sich in der fib-Empfehlung [16]:

fib Recommendation "Acceptance of stay cable systems using prestressing steels", Bulletin 30, January 2005

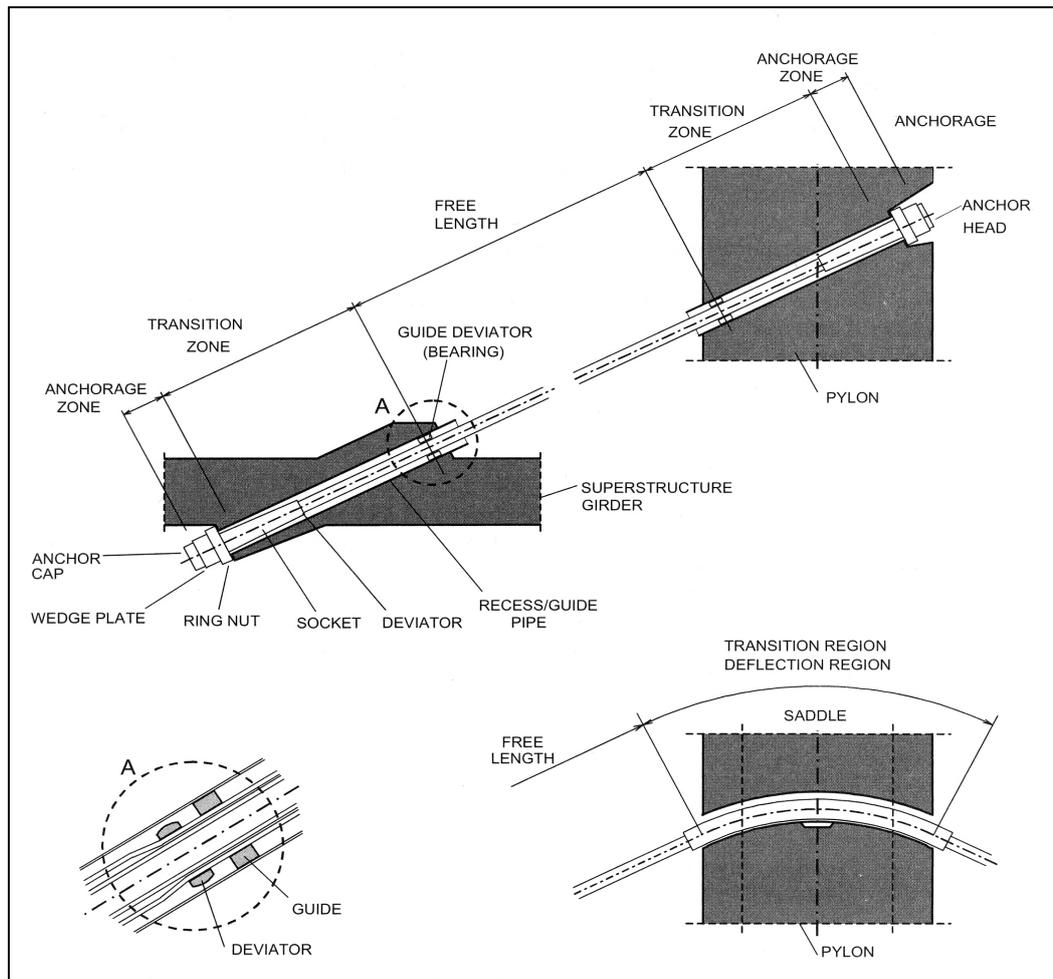
Diese Empfehlung entspricht dem heutigen Stand der Schrägseiltechnik, wobei sie sich auf Zugglieder aus Spannstahl beschränkt, welche auch in der Schweiz üblicherweise verwendet werden. Die Empfehlung [16] liegt nur in englischer Sprache vor und gliedert sich in folgende Kapitel:

- Umfang
- Definitionen und Bezeichnungen
- Projektierung und Konstruktion
- Funktionale Anforderungen an Schrägseile
- Werkstoffe: Eigenschaften, Anforderungen, Prüfungen
- Prüfung von Schrägseilsystemen
- Einbau
- Inspektion und Überwachung
- Unterhalt, Instandsetzung, Ersatz und Verstärkung
- Referenzen und Literatur

Im Vergleich zu den Empfehlungen von PTI (USA) [17] und Sétra (Frankreich) [18] weist die fib-Empfehlung [16] folgende, wesentliche Neuerungen auf:

- Korrosionsschutzsystem für den Spannstahl bestehend aus mehreren Barrieren
- Wasserdichtheitsprüfung in den Übergangsbereichen zwischen den freien Längen und den Verankerungszonen
- Konsistenter Entwurf der Stahlkomponenten
- Entwurf und Prüfung der Schrägseile im Hinblick auf die unvermeidlichen Biegeeffekte, die im Bereich der Verankerungen und Umlenkstellen auftreten. Die Prüfungen sind so ausgelegt, dass diese Effekte in der Regel abgedeckt sind und vom Projektverfasser nicht mehr speziell berücksichtigt werden müssen, falls die Prüfanforderungen erfüllt sind
- Besondere Hinweise zu Schrägseilvibrationen und zur Dämpfung solcher Effekte
- Blitzschutzinstallation für Schrägseilbrücken
- Hinweise zum Entwurf und Prüfung von Sattelkonstruktionen
- Spezifikation für Hauptwerkstoffe und Komponenten inkl. Hinweise zur Qualitätskontrolle
- Spezifische Anforderungen für übliche Installationsmethoden einschliesslich der Einzellitzenmontage und des Vorspannens.

Die Abb. 2.45 zeigt die typischen Komponenten von Schrägseilen und definiert die Begriffe:



- | | |
|----------------------------|-----------------------------|
| • Anchorage | • Verankerung |
| • Anchor cap | • Schutzhaube |
| • Anchor head | • Ankerkopf |
| • Anchorage zone | • Verankerungszone |
| • Deflection region | • Umlenkbereich |
| • Deviator | • Umlenkelement |
| • Free length | • Freie Länge |
| • Guide | • Führung |
| • Guide deviator (bearing) | • Umlenkführung (Stützung) |
| • Pylon | • Pylon |
| • Recess / Guide pipe | • Aussparung / Führungsrohr |
| • Ring nut | • Ringmutter |
| • Saddle | • Sattel |
| • Socket | • Stutzen |
| • Superstructure girder | • Überbauträger |
| • Transition region | • Übergangsbereich |
| • Transition zone | • Übergangszone |
| • Wedge plate | • Keilplatte |

Abb. 2.45 Typische Komponenten von Schrägseilen und Begriffsdefinitionen gemäss [16].

In Abb. 2.46 sind die typischen Verankerungen von Schrägseilen dargestellt:

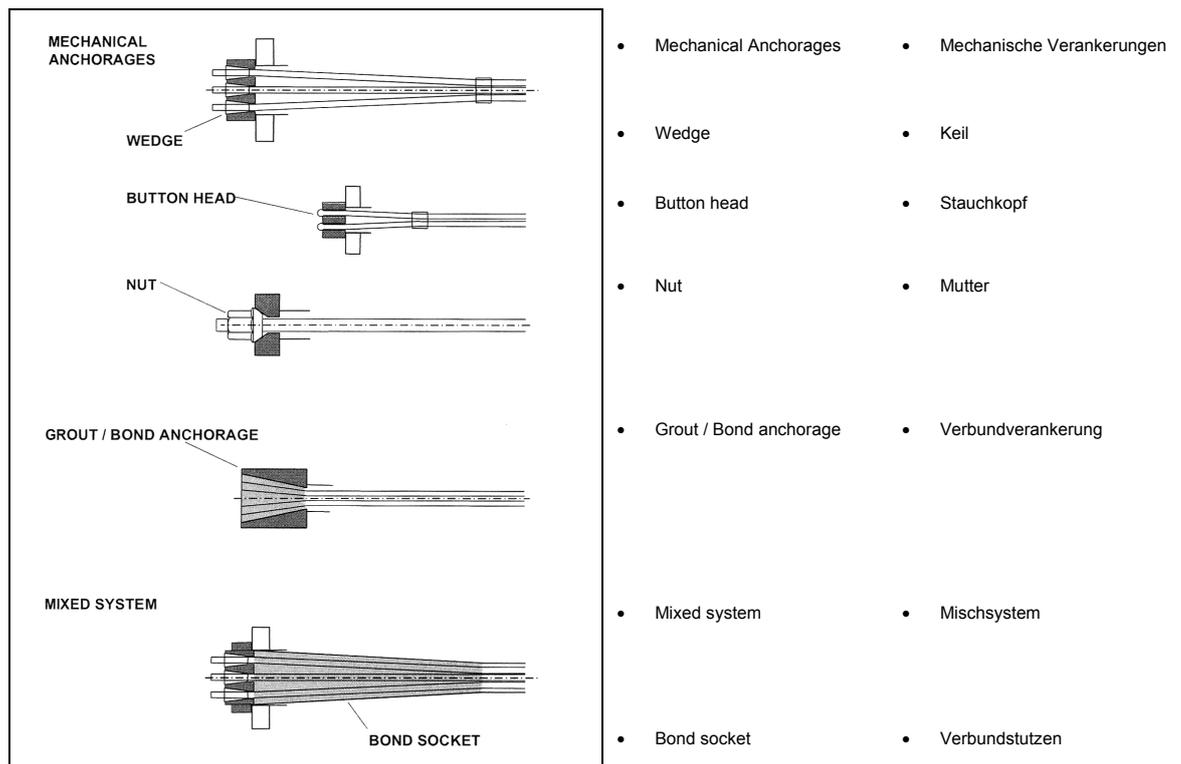
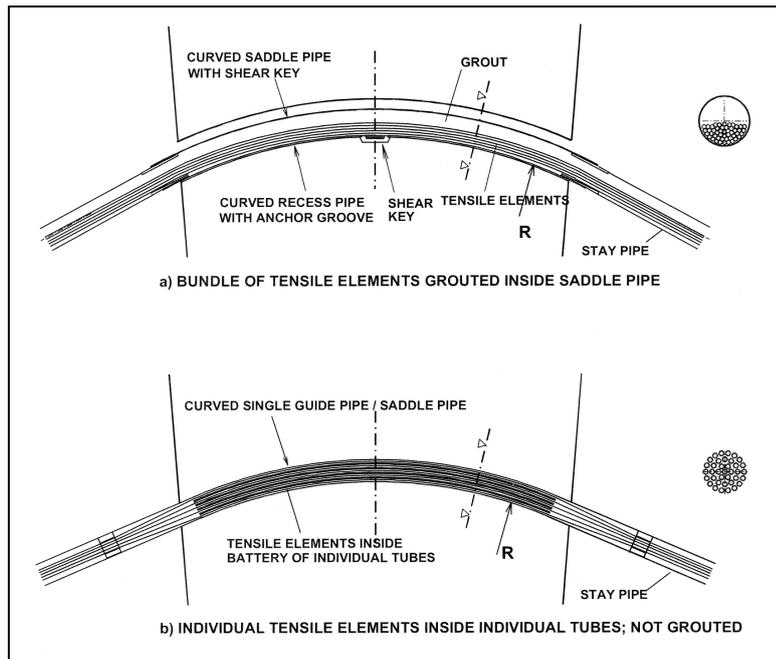


Abb. 2.46 Typische Schrägseilverankerungen gemäss [16].

Die Abb. 2.47 zeigt die zwei Haupttypen von modernen Sattelkonstruktionen, bei denen die Seile auswechselbar sind. Bei früheren Ausführungstypen war die Auswechselbarkeit der Zugelemente nicht in allen Fällen gewährleistet.



a) Bundle of tensile elements grouted inside saddle pipe

- Curved saddle pipe with shear key
- Curved recess pipe with anchor groove
- Shear key
- Grout
- Tensile elements
- R
- Stay pipe

b) Individual tensile elements inside individual tubes; not grouted

- Curved single guide pipe / saddle pipe
- Tensile elements inside battery of individual tubes
- R
- Stay pipe

a) Bündel von Zugelementen in zementinjiziertem Sattelrohr

- Gekrümmtes Sattelrohr mit Schubverzahnung
- Gekrümmtes Aussparungsrohr mit Verankerungsnut
- Schubverzahnung
- Zementöses Füllgut
- Zugelemente
- Radius
- Schrägseilrohr

b) Einzelzugelemente innerhalb von Einzelrohren, nicht injiziert

- Gekrümmtes einzelnes Führungsrohr / Sattelrohr
- Zuglemente innerhalb von Einzelrohren
- Radius
- Schrägseilrohr

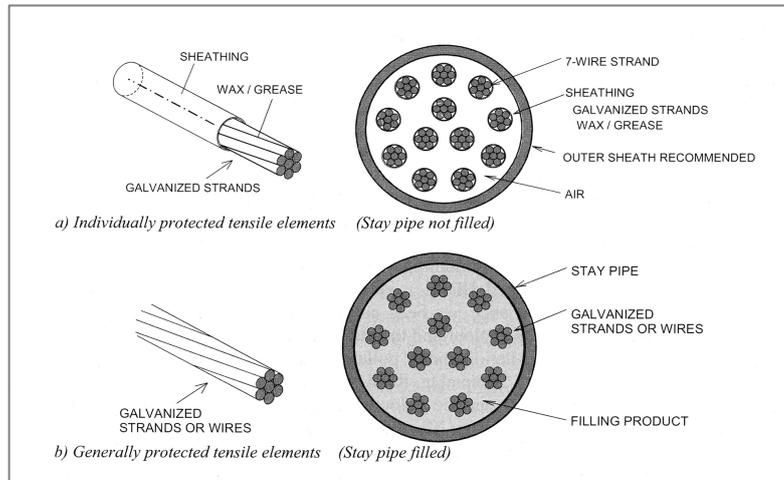
Abb. 2.47 Haupttypen von Sattelkonstruktionen gemäss [16].

Die Abb. 2.48 zeigt die Prüfung des Sattelbereichs eines Schrägseils mit 55 Litzen $\varnothing 15.7$ mm auf Ermüdung, mit anschliessendem Zugversuch. Wie ersichtlich handelt es sich um eine sehr aufwändige Prüfung.



Abb. 2.48 Ermüdungs- und Zugversuch eines Schrägseils mit 55 Litzen $\varnothing 15.7$ mm im Sattelbereich gemäss [16].

Die Erfahrung hat gezeigt, dass die Nutzungsdauer von Schrägseilen primär durch die Qualität des Korrosionsschutzes bestimmt wird. Die Abb. 2.49 zeigt diesbezügliche Referenzsysteme für Parallellitzenseile im Bereich der freien Länge.



<p>a) Individually protected tensile elements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sheathing • Galvanized strands • Wax / grease • (Stay pipe not filled) • 7-wire strand • Outer sheath recommended • Air 	<p>a) Individuell geschützte Zügelemente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Einzelhüllrohr • Verzinkte Litzen • Wachs / Fett • (Schrägseilrohr, nicht verfüllt) • 7-drahtige Litze • Äusseres Hüllrohr empfohlen • Luft
<p>b) Generally protected tensile elements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Galvanized strands or wires • (Stay pipe filled) • Filling product 	<p>b) Allgemein geschützte Zügelemente</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verzinkte Litzen oder Drähte • (Schrägseilrohr verfüllt) • Füllgut

Abb. 2.49 Korrosionsschutzsysteme bei Parallellitzenseilen gemäss [16].

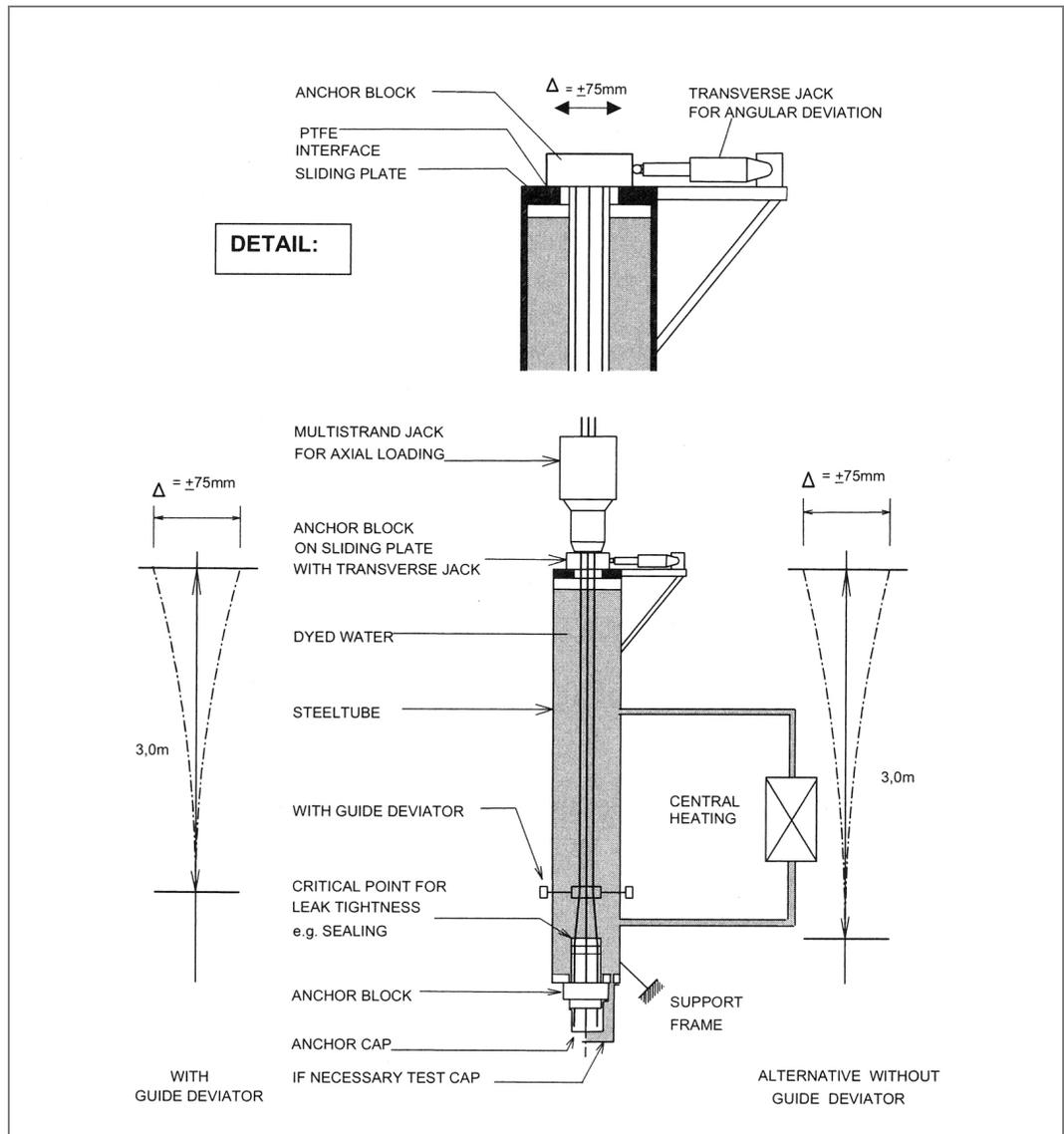
Im Kapitel 6 der fib-Empfehlung [16] wird das erforderliche Prüfprogramm für die Zulassung von Schrägseilsystemen beschrieben. Dabei werden 3 Prüfniveaus unterschieden:

1. Initiale Zulassungsprüfungen
2. Brauchbarkeitsprüfungen für ein bestimmtes Projekt
3. Qualitätsprüfungen von Schrägseilkomponenten für ein bestimmtes Projekt

Zu den initialen Zulassungsprüfungen gehören:

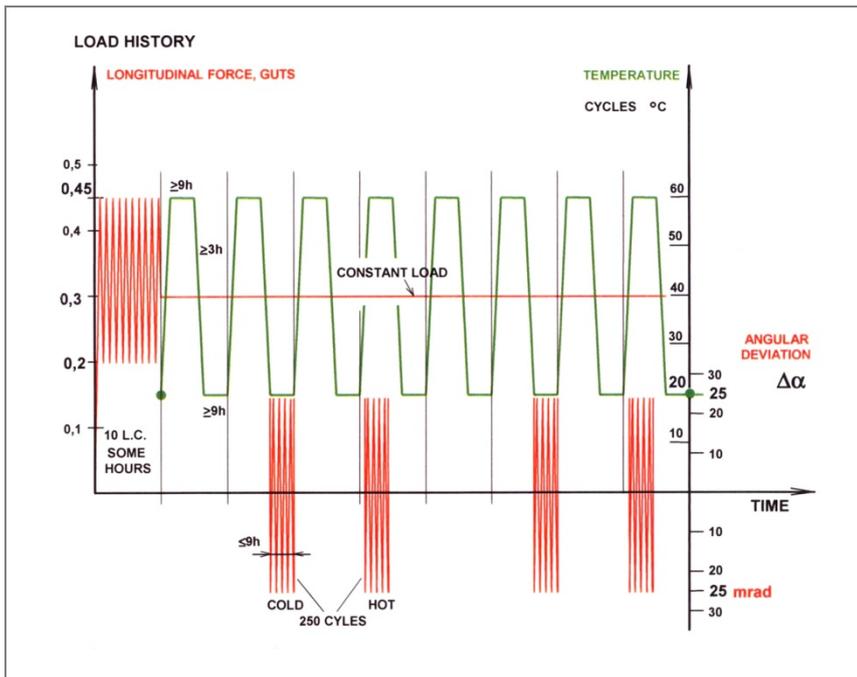
- Prüfung der Verankerungen auf Ermüdung, mit anschliessendem Zugversuch
- Prüfung von Sattelkonstruktionen auf Ermüdung, mit anschliessendem Zugversuch
- Wasserdichtheitsprüfung

Für die Überprüfung der Dauerhaftigkeit bzw. der Qualität des Korrosionsschutzes im Verankerungsbereich ist die Wasserdichtheitsprüfung von ausschlaggebender Bedeutung. Die Abb. 2.50 zeigt die Prüfanordnung, Abb. 2.51 das Prüfprogramm und Abb. 2.53 die Durchführung einer solchen Prüfung gemäss fib-Empfehlung [16].



- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Alternative without guide deviator • Anchor block on sliding plate with transverse jack • Central heating • Critical point for leak tightness e.g. sealing • Dyed water • If necessary test cap • Multistrand jack for axial loading • PTFE interface • Steel tube • Support frame • Transverse jack for angular deviation • With guide deviator | <ul style="list-style-type: none"> • Alternative ohne Umlenkführung • Ankerkopf auf Gleitplatte mit Presse für seitliche Verschiebungen • Zentrale Heizung • Kritische Bereiche für Dichtheit z.B. Abdichtung • Gefärbtes Wasser • Testhaube wenn nötig • Mehrlitzenpresse für axiale Belastung • PTFE-Zwischenschicht • Stahlrohr • Stützrahmen • Querpresse für Winkeländerungen • Mit Umlenkführung |
|---|--|

Abb. 2.50 Prüfanordnung für die Wasserdichtheitsprüfung gemäss [16].



- | | |
|----------------------------|--|
| • Angular deviation | • Winkeländerung |
| • Cold | • Kalt |
| • Constant load | • Konstante Last |
| • Cycles | • Zyklen |
| • Hot | • Heiss |
| • Load history | • Lastgeschichte |
| • Longitudinal force, GUTS | • Längskraft, garantierte Bruchlast F_{pk} |
| • Temperature | • Temperatur |
| • Time | • Zeit |
| • 10 L.C. some hours | • 10 Lastzyklen, einige Stunden |

Abb. 2.51 Prüfprogramm für die Wasserdichtheitsprüfung gemäss [16].



Abb. 2.52 Durchführung einer Wasserdichtheitsprüfung.

Bis anhin gibt es weltweit in keinem Land amtlich zugelassene Schrägseilsysteme, wie es beispielsweise für innen liegende Spannglieder mit Verbund oder externe Spannglieder ohne Verbund üblich ist. Immerhin bereitet das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) eine Zulassungsrichtlinie für Schrägseile aus parallelen Litzenbündeln vor. Die durchzuführenden Versuche orientieren sich dabei stark an der fib-Empfehlung [16].

Ebenfalls in Deutschland werden durch die Bundesanstalt für Strassenwesen (BaSt) die zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING (Teil 4: Stahlbau, Stahlverbundbau, Abschnitt 4: Brückenseile) dahingehend revidiert, dass neu auch Litzenbündelseile aufgenommen werden.

Aus diesen Erläuterungen geht hervor, dass die neuen Anforderungen auf Parallellitzen-seile ausgerichtet sind. Für die Umsetzung dieser Anforderungen beispielsweise bei Paralleldrahtseilen müssten sinngemässe Konzepte entwickelt werden.

2.5 Neubau

Grundsätzliches zur Projektierung und Ausführung von Kunstbauten des ASTRA ist in der Richtlinie [19] enthalten. In Bezug auf Schrägseilbrücken sind folgende Hinweise wichtig:

Nutzungsdauer

Schrägseilbrücken sind Bauwerke mit einer langen Nutzungsdauer von bis zu 100 Jahren. Der heutige Erfahrungshorizont mit den verschiedenen Schrägseiltypen beträgt zurzeit 25 bis 50 Jahre. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, bereits beim Entwurf und der Projektierung die Auswechselbarkeit der Schrägseile einzuplanen. Dazu enthält die Richtlinie [19] in den Abschnitten 5.1 und 5.2 Folgendes:

- *In Bezug auf die Gewährleistung der Dauerhaftigkeit einer Kunstbaute während der geplanten Nutzungsdauer wird unterschieden zwischen den Bauteilen, welche keine Unterhaltsarbeiten benötigen und jenen, welche in regelmässigen Intervallen unterhalten oder ersetzt werden. Für die letzteren ist die vorgesehene Nutzungsdauer in der Projektbasis einzeln zu nennen. Die vorgesehene Nutzungsdauer beeinflusst die Wahl der konstruktiven Details, der Materialien und der Abmessungen. Das Auswechseln oder Instandsetzen von Verschleissteilen und Elementen mit beschränkter Lebensdauer muss schon bei der Projektierung geplant werden mit dem Ziel, den Aufwand und die Verkehrsbehinderung auf ein Minimum zu beschränken.*
- *Lösungen, welche die Erhaltung (Überwachung, Instandhaltung und Instandsetzung) erleichtern, sind vorzuziehen.*
- *Bei Bauteilen kleinerer Abmessungen (Schrägseilkabel, Hänger, Stützen usw.), die der Korrosion, der Ermüdung, dem Anprall, dem Vandalismus oder dem Terrorismus ausgesetzt sind, sind besondere Vorkehrungen (Schutz, Auswechselbarkeit) zu treffen. Ein mögliches Versagen solcher Bauteile ist in der Projektbasis (z. B. Gefährdungsbild Bauteilausfall) zu berücksichtigen.*
- *Bei der Auswahl der Baustoffe ist den tatsächlichen Anforderungen (Einwirkung, Dauerhaftigkeit, Aussehen, Machbarkeit unter den örtlichen Bedingungen) Rechnung zu tragen. Die Anforderungen müssen notwendig, auf der Baustelle ausführbar und messbar sein. Die Eignung muss einerseits aufgrund der erstmaligen Prüfung des Lieferanten abgestimmt und andererseits aufgrund von Vorversuchen auf der Baustelle für die spezifische Anwendung bestätigt werden. Die Konformität bei der Ausführung wird mittels Qualitätskontrollen festgestellt. Diese müssen im Kontrollplan festgelegt werden.*

Die Konsequenzen dieser Bestimmungen für ein spezifisches Projekt sind in der Nutzungsvereinbarung und Projektbasis festzuhalten. Weiter sind die Kriterien an die konstruktive Ausbildung und an die Robustheit zu beachten (Abschnitte 5.3 und 5.4 in [19]).

Herstellung und Einbau

Schrägseile werden entweder werksgefertigt oder auf der Baustelle aus Komponenten zusammengesetzt. Bei der Werksfertigung werden die Schrägseile im Werk zusammengesetzt, auf Haspeln aufgerollt transportiert und in die Brücke eingebaut. Nach dem Erreichen der initialen Spannkraft erfolgt die Injektion mit zementösem Füllgut. Ab 1990 wurde das zementöse Füllgut durch dauerplastische Korrosionsschutzmassen ersetzt, welche bereits im Werk injiziert werden.

Je länger und stärker die Schrägseile sind, desto eher wird die in-situ-Installation gewählt, bei welcher die Monolitzen einzeln in vormontierte Hüllrohre eingezogen werden.

Auswechselbarkeit

Wegen der langen Nutzungsdauer von Schrägseilbrücken ergibt sich die Notwendigkeit, die Seile mit vernünftigem Aufwand austauschen zu können. Zu diesem Zweck sind die Empfehlungen in Bezug auf die Bemessung und die konstruktive Durchbildung sowohl der Brücke als auch der Seile zu beachten. Die Seile müssen so bemessen und angeordnet werden, dass ein Seil unter Einhaltung der Spannungsbegrenzungen in den Nachbarseilen (gemäß Abb. 2.44) ausgewechselt werden kann. Wenn diese Bedingungen nicht eingehalten sind, wird die Auswechslung zu einer komplexen und teuren Operation (Beispiel in Abschnitt 2.6.4).

Sonderprobleme

Neben den Anforderungen an die Bemessung und die konstruktive Durchbildung gemäß den in Abschnitt 2.4 genannten Normgrundlagen gilt es auch für die folgenden Sonderprobleme adäquate Lösungen zu finden:

- Anprall von Lastwagen auf die Schrägseile [23]
- Brand von Strassenfahrzeugen und Auswirkung auf die Schrägseile
- Schwingungsverhalten der Schrägseile [39]
- Beschädigung der Schrägseile durch Vandalismus
- usw.

2.6 Erhaltung

2.6.1 Allgemeines

Grundsätzliches zur Erhaltung von Kunstbauten des ASTRA ist in der Richtlinie [20] enthalten.

Die Erhaltung von Kunstbauten umfasst die folgenden Hauptelemente:

- Überwachung (Beobachtung – Inspektion – Kontrollmessung)
- Überprüfung (generelle Überprüfung – detaillierte Überprüfung)
- Massnahmenplanung (Massnahmenkonzept – Massnahmenprojekt)
- Erhaltungsmassnahmen (Ausschreibung – Ausführung – Abnahme)

Ein wichtiges Ziel ist die Gewährleistung einer ausreichenden Sicherheit über die gesamte Nutzungsdauer. Unter dem Begriff ausreichende Sicherheit ist ein akzeptierter Gefährdungsgrad für Personen, Gegenstände und Umwelt zu verstehen. Die Richtlinie unterscheidet verschiedene Sicherheitsaspekte, die nachfolgend zu Schrägseilen in Bezug gesetzt werden:

- Tragsicherheit:
z.B. Versagen eines oder mehrerer Schrägseile infolge innerer (z.B. Korrosion des Stahlzugglieds) oder äusserer (z.B. Brand, Anprall) Ursachen, das zur Gefährdung der Tragsicherheit der Brücke führen kann.
- Verkehrssicherheit:
z.B. Versagen eines Schrägseils und nachfolgender Fall auf die Fahrbahn, wodurch Verkehrsteilnehmende oder Baustellenpersonal gefährdet werden können.
- Umweltverträglichkeit:
z.B. Gefährdung des Bodens bzw. Grundwassers durch Fett- oder Ölaustritte (Korrosionsschutzprodukte) infolge Leckstellen an Schrägseilen bestimmter Konstruktionsarten.

2.6.2 Überwachung

Die Überwachung einer Schrägseilbrücke basiert auf dem Überwachungsplan und beginnt mit der Abnahme. In [16] wird von einer Erstinspektion ("initial inspection") bzw. von einem Referenzzustand ("birth certificate") gesprochen. Dazu gehört im Minimum das Messen und Protokollieren der folgenden Gegebenheiten:

- der Überbau-Nivelette
- der Seilkräfte
- der Temperaturverhältnisse
- des Vibrationsverhaltens

Im Sinne eines Pilotprojekts wurden in Deutschland bei der 2007 fertiggestellten Ziegelgrabenbrücke erstmals grosse Parallellitzenseile der neuesten Generation verwendet [21] (Abb. 2.53), nachdem früher fast ausschliesslich vollverschlossene Seile eingebaut wurden. Es kamen dabei Verankerungen gemäss Abb. 2.54 zum Einsatz.



Abb. 2.53 Ziegelgrabenbrücke, Deutschland [21].

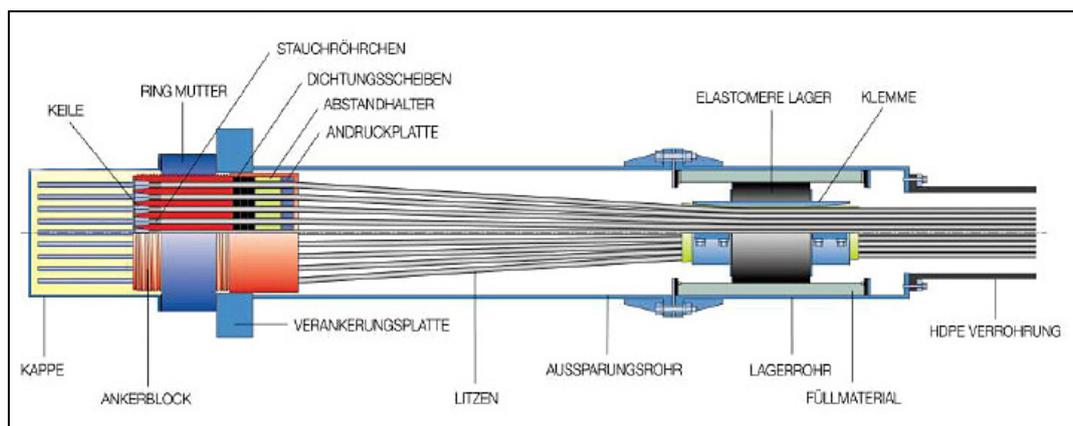


Abb. 2.54 Längsschnitt durch eine Seilverankerung DYNA Grip [21]. Die Spannstahlitzen sind auf der freien Länge vierfach geschützt (von aussen nach innen): Kunststoffhüllrohr (HDPE), aufextrudierter PE-Mantel, Wachsschicht, Verzinkung der Litzen.

Um Erfahrungen mit diesem Schrägseiltyp zu sammeln, wurde bei der Ziegelgrabenbrücke eine sehr breit angelegte Erstinspektion vorgenommen. Dabei wurde die Praxistauglichkeit folgender Prüfmethoden überprüft (Abb. 2.55):

- Magnetinduktive Seilprüfung
- Ultraschallprüfung der Litzen im Verankerungsbereich
- Kraftkontrollen an Einzellitzen ("lift-off")
- Seilkraftbestimmung mit Frequenzmessungen
- Kondenswasserprüfung durch Entwässerungsrohr
- Visuelle Kontrolle des HDPE-Schutzrohrs mit Seilbefahrgerät
- Austausch einzelner Litzen mit anschliessender Inspektion der ausgebauten Litzen
- Visuelle Überprüfung der mechanischen Verankerungsbereiche
- Endoskopische Überprüfung von Hohlräumen

Die Abb. 2.55 zeigt einen schematischen Überblick über die angewendeten Prüfmethoden.



Abb. 2.55 Prüfungen an den Litzenseilen der Ziegelgrabenbrücke gemäss [21].

Da es sich um neuwertige Seile handelte, zeigten die verschiedenen Prüfmethoden noch keine Auffälligkeiten. Die Resultate dienen jedoch als Referenz für spätere Prüfungen. Immerhin sind die Funktionsprüfungen wie beispielsweise der Austausch einzelner Litzen positiv ausgefallen.

Gemäss [20] wird vor Ablauf der Garantiefrist eine Schlussprüfung durchgeführt, welche der ersten Hauptinspektion entspricht. Weitere Hauptinspektionen werden alle 5 Jahre durchgeführt. Es wird empfohlen, bei jeder Hauptinspektion alle Schrägseile bzw. deren Komponenten zu untersuchen. Da Schrägseile zu den kritischen Tragwerkselementen gehören, sind sie aus Handdistanz zu inspizieren [20]. Dies bedeutet, dass der Zugang auf der ganzen Länge eines Schrägseils inkl. Verankerungen gewährleistet sein muss, mittels Gerüstung sowie durch Besichtigungsgeräte wie mobile Hebebühnen oder auf den Seilen verlaufenden Plattformen. Neuerdings gibt es auch unbemannte, roboterartige Seilbefahrgeräte, die mit Kameras ausgerüstet sind und eine Handdistanz-Prüfung ermöglichen (Abb. 2.56 und Abb. 2.57).



Abb. 2.56 Automatisches Seilbefahrgerät mit Kameras zur visuellen Überprüfung.



Abb. 2.57 Nahaufnahme des Seilbefahrgeräts mit Kameras.

Damit eine Beurteilung der Zustandsentwicklung möglich ist und Mängel oder Schäden frühzeitig erfasst werden können, empfiehlt es sich, jährliche Zusatzinspektionen (Zwischeninspektionen nach [20]) durchzuführen. Es geht dabei um Beobachtungen, die aus grösserer Distanz erfolgen können wie beispielsweise:

- Visueller Zustand der HDPE-Schutzrohre und deren Verbindungen (Risse, Verfärbungen usw.)
- Visueller Zustand der Verankerungsbereiche, einschliesslich der Übergangsbereiche von den Schutzrohren zu den Aussparungsröhren, sowie der Schutzhauben über den mechanischen Verankerungen (Risse, lose Teile, Verfärbungen, Undichtheiten, Verformungen usw.)
- Seildurchhang (qualitative Beurteilung)
- Kontrolle des Monitoring-Systems auf Funktionstüchtigkeit (wenn vorhanden).

Im Rahmen einer Hauptinspektion werden folgende zusätzliche Untersuchungen aus Handdistanz empfohlen:

- Zerstörungsfreie Prüfung der HDPE-Schutzrohre auf Fehlstellen (Risse, Löcher usw.)
- Demontage der Schutzhauben und Beurteilung der Verankerung (Abb. 2.58): Ist Wasser vorhanden? Zustand des Füllguts? Zustand des Spannstahls? Zustand der Entwässerungsöffnungen?
- Zustand der Komponenten beim Austritt der Schrägseile aus den Aussparungsröhren: Zustand der Dichtmanschetten (Abb. 2.59), Umlenkringe, Dämpfungselemente usw.
- Seildurchhang (quantitative Beurteilung durch Vermessung)
- Lokalisieren von Hohlräumen mittels Abklopfen bei zementinjizierten Seilen der ersten Generation (Stahlzugglied + zementöses Füllgut + Schutzrohr aus Kunststoff). Das Abklopfen ergibt nicht immer zweifelsfreie Resultate. Durch das Ablösen des Hüllrohrs vom Zementstein (Delamination) kann sich ein Klang ergeben, der fälschlicherweise auf einen grösseren Hohlraum schliessen lassen würde.



Abb. 2.58 Korrodierte Litzen in der Verankerung.



Abb. 2.59 Defekte Dichtmanschette.

Wenn im Überwachungsplan vorgeschrieben oder durch Schadensindizien angezeigt, können sich folgende besondere Untersuchungen als nötig erweisen:

- Untersuchung des Spannstahls (Litzen, Drähte, Stäbe) auf der freien Länge mittels eines Magnetinduktionsgeräts: Ausgehend von den Seilprüfgeräten für Seilbahnen hat die Empa bereits vor einiger Zeit ein Gerät entwickelt, welches für die Prüfungen von Schrägseilen im Brückenbau verwendet werden kann. Dieses wurde im Sinne von Pilotanwendungen beispielsweise bei der RAMA-IX-Brücke in Bangkok (Thailand) und bei der Ziegelgrabenbrücke (Deutschland) eingesetzt (Abb. 2.60 bis Abb. 2.62). Dabei hat sich gezeigt, dass für eine kommerzielle Anwendung Verbesserungen nötig sind. Der neue Prototyp wurde an der Empa im Laufe von 2011 getestet. Der Ersteinsatz an einem Parallellitzenschragseil mit 55 Litzen \varnothing 15.7 mm und einem Seildurchmesser von 220 mm ist in Zusammenarbeit mit der Firma DMT GmbH & Co. KG in Deutschland geplant.

Das Prinzip des Messverfahrens ist folgendes: Am freien Seil wird ein Permanentmagnet (bis zu einem Seildurchmesser von 150 mm) oder eine Spule angebracht, und anschliessend wird in einem Teil des Seils ein Magnetfeld induziert. Liegt in diesem Bereich des Seils ein Schaden vor, dann werden die Magnetfeldlinien bei dieser Fehlstelle abgelenkt. Wenn nun der Magnet entlang dem Seil verschoben und das erzeugte Magnetfeld mit Sensoren kontinuierlich gemessen wird, so lässt sich feststellen, wo Fehlstellen (Querschnittsverluste, Drahtbrüche) im Inneren des Seils vorhanden sind. Die Empa hat die theoretischen Grundlagen des Messverfahrens im ASTRA-Forschungsbericht [22] behandelt. Mit dieser Methode können je nach Seiltyp Querschnittsverluste von 0.3% bis 3% des Gesamtquerschnitts erfasst werden. Während Drahtbrüche relativ gut detektierbar sind, stellt die Erfassung von Querschnittsverlusten infolge Korrosion hohe Anforderungen an das Fachpersonal. Aus geometrischen Gründen können die Nahbereiche bei Pylon und Brückenüberbau in der Regel nicht überprüft werden.



Abb. 2.60 Einsatz des Magnetinduktionsgeräts bei der Ziegelgrabenbrücke.



Abb. 2.61 Installation des Magnetinduktionsgeräts.

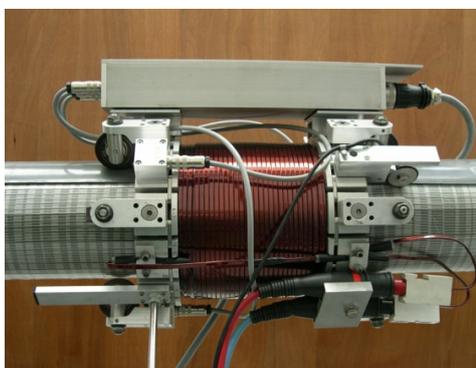


Abb. 2.62 Magnetinduktionsgerät der Empa.



Abb. 2.63 Prüfung des Geräts an der Empa, an einem Schragseil mit 31 Litzen.

- Sondieröffnungen bei detektierten Fehlstellen (z.B. Hohlräume im Füllgut, gerissene Drähte oder Litzen): Das Schutzrohr kann lokal sorgfältig aufgeschnitten und entfernt werden. Anschliessend ist die Schadensursache zu ermitteln (Korrosionsursache, Beurteilung des Füllguts usw.). Diese Untersuchung ist nur angezeigt, wenn aufgrund einer Voruntersuchung mit grosser Wahrscheinlichkeit mit signifikanten Fehlstellen gerechnet werden muss und der Bauherr die Sondieröffnung bewilligt hat. Das Verschliessen der Sondieröffnung ist sorgfältig zu planen und auszuführen (Abb. 2.64 bis Abb. 2.66). Geschieht dies nicht sachgemäss, so entsteht eine Schwachstelle im Schutzsystem des Schrägseils.



Abb. 2.64 Sondieröffnung im Schutzrohr, Zementstein sichtbar.



Abb. 2.65 Entfernen des Zementsteins.



Abb. 2.66 Freigelegtes Drahtbündel, keine Schäden sichtbar.

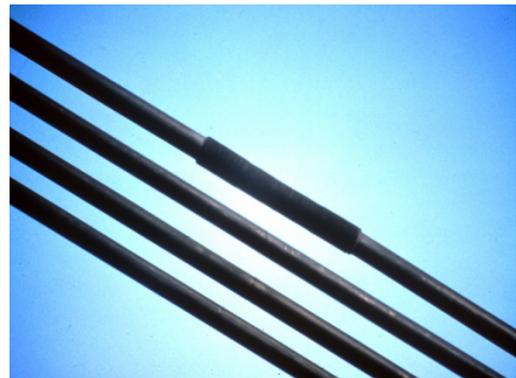


Abb. 2.67 Wieder verschlossene Sondieröffnung.

- Untersuchung des Spannstahls in den Verankerungsbereichen: Im Gegensatz zur freien Länge kann in diesem Bereich der Spannstahl nicht auf der ganzen Länge zerstörungsfrei untersucht werden. Zwar hat die Ultraschallmethode in den letzten Jahren grosse Fortschritte gemacht, zweifelsfreie Resultate sind aber noch nicht erzielt worden [22].
- Ausbau einzelner Litzen oder eines ganzen Seils und anschliessende Sektion, Zustandsuntersuchung und Zustandsbeurteilung.
- Monitoring mit Schallemissionsmessung beispielsweise nach Verfahren Advitam (Abb. 2.68 und Abb. 2.69), d.h. Erfassen von Drahtbrüchen. Mit diesem Verfahren wurden bei der Penang-Brücke (Malaysia) während der Auswechslung der originalen Seile (Schrägseiltyp DYWIDAG, bestehend aus Stäben) durch Parallellitzenseile Typ Freyssinet in den Jahren 2003 bis 2009 insgesamt 120 der 144 Schrägseile überprüft.

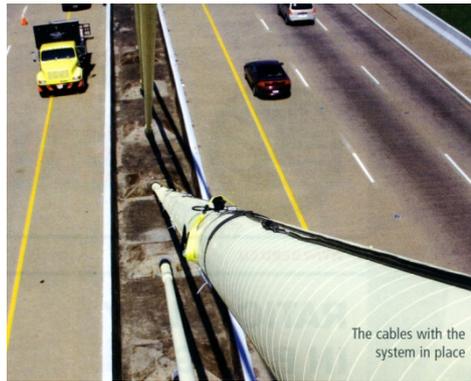


Abb. 2.68 Installation für die Schall-emissionsmessungen.

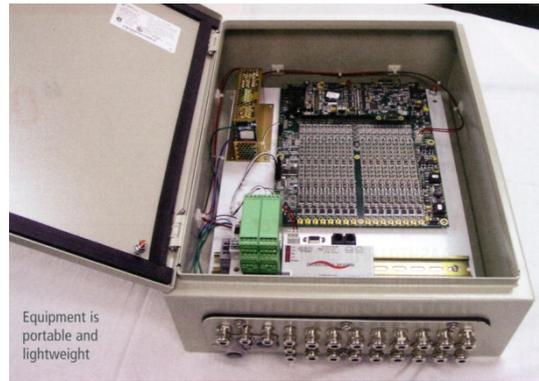


Abb. 2.69 Datenerfassungsgerät für Schall-emissionsmessungen.

Abschliessend muss angemerkt werden, dass die meisten dieser zerstörungsfreien oder zerstörungsarmen Prüfmethoden noch nicht ausgereift und teilweise erst in der Entwicklungsphase sind. Es drängt sich auf, die angebotenen Methoden in vergleichenden Blindtests von unabhängiger Stelle auf ihre Praxistauglichkeit hin zu untersuchen.

2.6.3 Überprüfung

Eine Überprüfung von Schrägseilen ist beispielsweise in folgenden Fällen erforderlich [20]:

- bei Ungewissheit hinsichtlich des Zustands der Schrägseile: z.B. bei Dauerhaftigkeitsproblemen oder bei besonderen Vorkommnissen wie Anprall, Brand, Erdbeben
- bei Änderungen in der Nutzung, bei umfassenden Unterhaltsmassnahmen oder bei Umgestaltung einer Schrägseilbrücke
- bei Vorliegen neuer Erkenntnisse, beispielsweise infolge Schäden oder Versagen gleicher oder ähnlicher Schrägseiltypen bei anderen Brücken im In- oder Ausland.

In [20] sind die Vorgehensphasen wie das Beschaffen der Basisdokumente, die generelle und wenn erforderlich eine detaillierte Überprüfung festgehalten (Zustandserfassung, Zustandsbeurteilung sowie Empfehlungen für das weitere Vorgehen).

Eine statische Überprüfung kann sich aus verschiedenen Gründen als notwendig erweisen. Insbesondere ist stets zu prüfen, wie sich eine Brücke verhält, falls eines oder mehrere Schrägseile versagen (Einsturzgefahr durch progressiven Kollaps).

Bei der Zustandserfassung werden zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Prüfmethoden eingesetzt, wie sie in Abschnitt 2.6.2 behandelt sind. Je nach Resultat einer Überprüfung können sich sichernde Sofortmassnahmen aufdrängen.

2.6.4 Massnahmen

Bei Schrägseilen mit Mängeln oder Schäden können folgende Massnahmen notwendig sein:

- Unterhaltsmassnahmen gemäss Unterhaltsplan wie das Erneuern des Korrosionsschutzes von exponierten Stahlteilen wie Schutzhauben und Ankerplatten (Abb. 2.70) sowie der Ersatz von Dichtmanschetten (Abb. 2.71).



Abb. 2.70 Erneuerung der Korrosionsschutzbeschichtung [16].



Abb. 2.71 Neue Dichtmanschette.

- Nachinjektionen bei festgestellten Hohlräumen (in der Regel mittels Vakuumverfahren)
- Umwickeln von geschädigten Schutzrohren mit einem adhäsiven PVF-Band (PVF: Polyvinylfluorid) mittels eines Wickelgeräts (Abb. 2.72). In einigen Fällen hat sich diese Schutzmassnahme allerdings als wenig dauerhaft erwiesen (Abb. 2.73). Gemäss [17] werden heute vereinzelt solche weiss-glänzende Bänder auf schwarze HDPE-Rohre gewickelt, um die Einwirkungen infolge Temperaturänderungen zu reduzieren.



Abb. 2.72 Automatisches Aufwickeln von Kunststoffbändern auf ein Schrägseil.

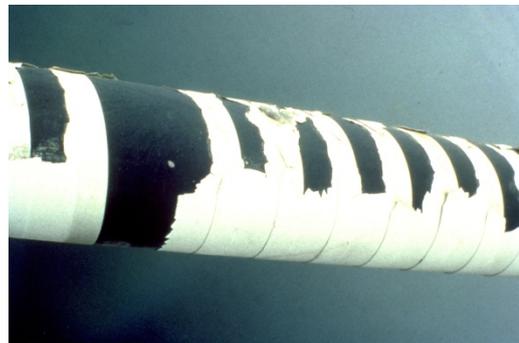


Abb. 2.73 Zustand von gewickelten, weissen, nicht dauerhaften PVF-Bändern nach wenigen Jahren.

- Einbau zusätzlicher Schrägseile, beispielsweise aufgrund erhöhter Strassenlasten
- Ersatz von ganzen Schrägseilen oder Austausch von Einzelleiten. In der Schweiz mussten bis anhin Schrägseile erst bei kleineren Fussgängerbrücken (z.B. bei der Brücke Honrainweg, Seile aus Einzelstäben) und bei der Restaurantbrücke Würenlos ausgewechselt werden. Im Ausland sind einige Fälle bekannt. Als Beispiel sei die "Hale Boggs Memorial Bridge" in den USA (auch "Luling Bridge" genannt) erwähnt (Abb. 2.74). Diese Brücke mit einer Hauptspannweite von 372 m wurde 1983 in Betrieb genommen. Es wurden zementinjizierte Paralleldrahtseile verwendet. Schon beim Bau und kurz danach wurden bei über 20 Schrägseilen Schäden an den Kunststoffschutzrohren festgestellt (Risse wegen zu hohem Druck beim Injizieren, mechanische Schäden). Trotz Instandsetzungsmassnahmen verschlechterte sich deren Zustand weiter, so dass der Bauherr beschloss, sämtliche Seile auszuwechseln. Die Arbeiten für den Ersatz sämtlicher Seile begannen im Herbst 2009 und sollen im 2012 abgeschlossen sein. Da die Brücke ursprünglich nicht für die Bedingung "Ausfall eines Seils ohne Beeinträchtigung der Tragsicherheit" ausgelegt wurde, mussten während der Arbeiten Fahrspuren geschlossen und temporäre Schrägseile eingesetzt werden (Abb. 2.75). Die ursprünglichen Projekt- und Ausführungsmängel schlugen sich in hohen Instandsetzungskosten und beachtlichen Verkehrseinschränkungen nieder.



Abb. 2.74 Die 1983 eröffnete Hale Boggs Memorial Brücke (Luling Brücke), USA.

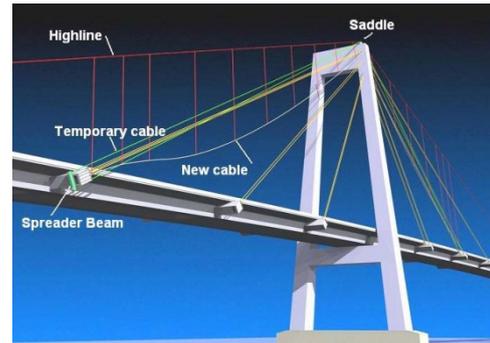


Abb. 2.75 Vollständiger Ersatz der Schrägseile, Einsatz von temporären Schrägseilen.

Dieses und weitere Beispiele zeigen, dass es bedeutend einfacher ist, dank der Verwendung von Litzenseilen der neuesten Generation die Seile einzellitzenweise zu ersetzen. Dies wurde in der Praxis bereits erfolgreich demonstriert (z.B. wenn einzelne Seile aufgrund mechanischer Beschädigung wie Anprall ersetzt werden mussten).

3 Externe Spannglieder

3.1 Entwicklung der externen Spannglieder im Brückenbau

Auch wenn es schon früher Ideen und auch Ausführungen von unterspannten Brücken gab (z.B. "Pont des Bergues" in Genf von G.H. Dufour im 19. Jahrhundert), so wurden externe Spannglieder im eigentlichen Sinne erstmals bei der Bahnhofsbücke Aue (Sachsen, Deutschland) eingesetzt [24]. Diese von F. Dischinger projektierte Brücke wurde 1936/37 erbaut (Abb. 3.1 und Abb. 3.2).

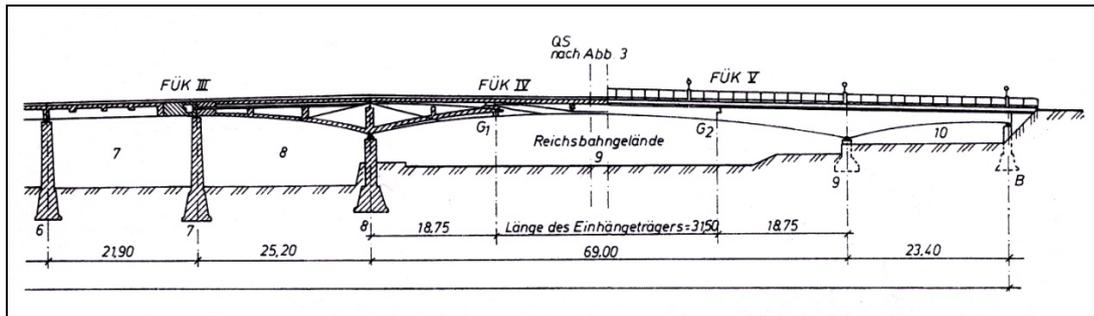


Abb. 3.1 Bahnhofsbücke Aue, Sachsen, Deutschland, erbaut 1936/37 [25].

Im Gegensatz zu E. Freyssinet, der bereits bei seinen ersten Projekten für Spannbetonbrücken hochfeste und entsprechend hoch vorgespannte Drähte verwendete, entschied sich F. Dischinger für glatte, runde Stangen $\varnothing 70$ mm aus St 52. Dieser Stahl ist eigentlich für die Vorspannung eines Betontragwerks ungeeignet, da die durch Vorspannung erzielte Stahldehnung durch die Dehnverluste aus Schwinden und Kriechen stark abgebaut wird. Dieser Problematik war sich Dischinger sicher bewusst, weshalb er externe Spannglieder eingesetzt hat, die nachspannbar sind und periodisch nachgespannt werden sollten. Aus verschiedenen Gründen wurde dieses Nachspannen vernachlässigt. Erst nachdem der Bauherr 1962 und 1983 relativ grosse Durchbiegungen festgestellt hat, wurden die Spannglieder wieder nachgespannt. Verschiedene Mängel und Schäden haben dazu geführt, dass diese denkmalgeschützte Strassenbrücke 1993 abgebrochen und bis 1995 in gleicher Form wieder neu gebaut wurde.

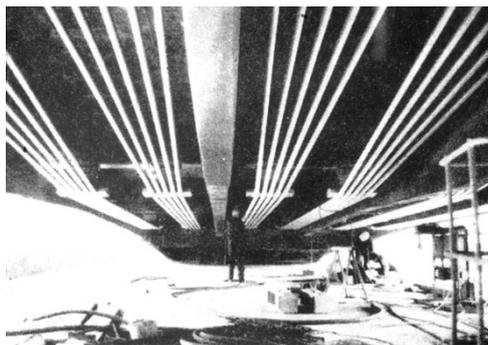


Abb. 3.2 Bahnhofsbücke Aue, externe Stabspannglieder am Einhängeträger [25].

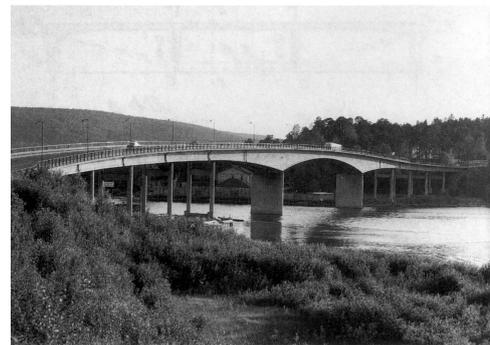


Abb. 3.3 Klockestrand-Brücke bei Stockholm [26].

In den Jahren 1938 bis 1943 projektierte und baute I. Häggbohm mit einem ähnlichen Konzept die Klockestrand Brücke in der Nähe von Stockholm (Abb. 3.3). Der Überbau der Hauptspannweiten von 40.50 m – 71.50 m – 40.50 m ist mit insgesamt 48 Stangen $\varnothing 30$ mm mit einer Streckgrenze von 520 N/mm^2 vorgespannt [26]. Die Brücke ist heute noch in Betrieb, allerdings nur für den Langsamverkehr.

In den folgenden Jahrzehnten wurde die externe Vorspannung im Brückenneubau nur noch in Einzelfällen verwendet. Innenliegende Spannglieder mit Verbund hatten sich auf breiter Front durchgesetzt.

Neue Impulse zur Verwendung der externen Vorspannung kamen vor allem aus Frankreich, wobei J. Muller seine ersten grossen Projekte in den USA für die sogenannten "Key"-Brücken in Florida realisierte [27]. Sein Hauptziel war, die Bauzeiten zu verkürzen und die Kosten zu senken. Ein gutes Beispiel dafür ist die "Seven Mile Bridge", die 1979 bis 1982 erbaut wurde [28]. Sie hat eine totale Länge von 10'931 m und besteht aus 226 Feldern mit Standardspannweiten von 41.15 m (Abb. 3.4 bis Abb. 3.8). Die Hohlkastenelemente wurden in Segmentbauweise vorgefertigt, auf einem Ponton temporär zu einem Brückenfeld zusammengespannt, durch ein Vernetzgerüst in die endgültige Position gehoben und mittels 4 externer Spannglieder Typ VSL vorgespannt (pro Spannglied 27 Litzen \varnothing 12.9 mm innerhalb eines Hüllrohrs aus HDPE, welches nachträglich mit Zementsuspension ausinjiziert wurde). Mit dieser Bauweise gelang es, im Mittel über die ganze Bauzeit 3 Spannweiten je Woche, mit einer Spitzenkapazität von 6 Spannweiten je Woche zu realisieren.



Abb. 3.4 "Seven Mile Bridge" in Florida, USA.



Abb. 3.5 Einheben eines Brückenfeldes.

Abb. 3.6 Spannverankerungen und Umlenkrohre.

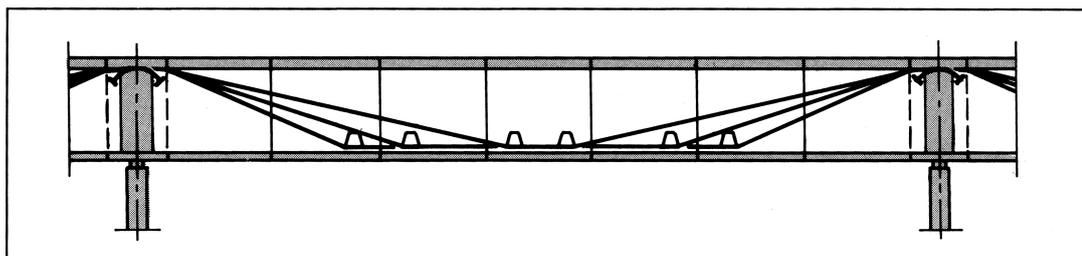
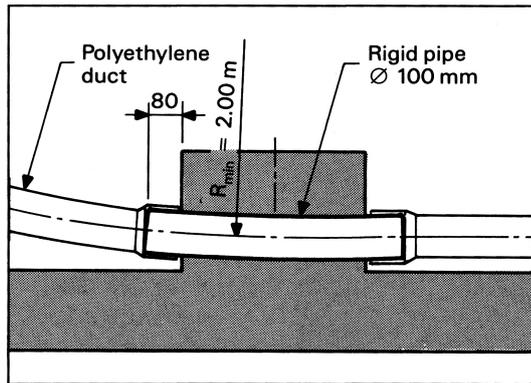


Abb. 3.7 "Seven Mile Bridge": Verlauf der externen Spannglieder [28].



- Polyethylene duct
- Polyethylenrohr
- Rigid pipe
- Steifes Rohr (Stahl)

Abb. 3.8 "Seven Mile Bridge": Typische Umlenkstelle im Feldbereich [28].

In der Folge wurden in einigen Ländern wie z.B. Frankreich und USA viele Brücken mit externen Spanngliedern gebaut. Zudem wurden zahlreiche bestehende Brücken mittels externer Spannglieder verstärkt (Abb. 3.9 und Abb. 3.10).



Abb. 3.9 Brücke Roquemaure über die Rhône bei Avignon, Frankreich, vor der Verstärkung. Die Brücke wies in allen Feldmitten bis zu 10 mm breite Risse auf.



Abb. 3.10 Brücke Roquemaure: Verstärkung 1975 – 1976 mit gerade verlaufenden externen Spanngliedern, Länge = 430 m, 8 Spannglieder à 55 Litzen \varnothing 12.9 mm, in Stahlschutzrohren, sowie 4 leere Stahlschutzrohre für allfällige weitere Vorspannung.

Andere Länder verwendeten in der Regel die traditionelle Vorspannung mit Verbund. Das vermehrte Auftreten von Korrosionsschäden an solchen Spanngliedern in den 1980er- und 1990er-Jahren und die Erkenntnis, dass der Zustand solcher innenliegender Spannglieder mittels zerstörungsfreier Prüfmethode nicht zweifelsfrei erfassbar ist [29], haben in Deutschland ab 1990 zur Favorisierung von externen Spanngliedern im Brückenbau geführt. In diesem Zusammenhang fand 1998 in Karlsruhe ein Workshop mit internationaler Beteiligung statt, bei dem es zu einem Erfahrungsaustausch kam [30]. Im darauf folgenden Jahr wurde in Deutschland die Richtlinie [31] publiziert, welche auch heute noch gilt. Aufgrund dieses Paradigmenwechsels sind auch Projekte entstanden, die aus verschiedenen Gründen als nicht geglückt zu bezeichnen sind. Zudem ist die Überwachbarkeit externer Spannglieder nur vordergründig besser möglich, denn kritische Stellen wie die Verankerungen und die Umlenkbereiche sind nach wie vor nicht einsehbar.

In der Schweiz sind ebenfalls Korrosionsschäden an innenliegenden Spanngliedern festgestellt worden [10]. Es wurde aber entschieden, in der Regel die bekannten Vorteile dieser Art der Vorspannung weiterhin zu nutzen und die erkannten Defizite durch geeignete Massnahmen zu eliminieren. Dazu gehört die seit 1996 geltende Klassifizierung in Spanngliedkategorien a, b und c. Neben den traditionellen Spanngliedern mit Stahlhüllrohren (Kat. a) wurde die Verwendung von dichten Kunststoffhüllrohren (Kat. b) und als höchste Schutzstufe die elektrisch isolierten Spannglieder mit Kunststoffhüllrohren

(Kat. c) definiert. Die entsprechenden technischen Regelungen finden sich in [32] und [33].

Wie haben sich die externen Spannglieder bis heute entwickelt?

Die eingangs erwähnten Projekte mit nicht hochfesten Stangen blieben Sonderfälle. Ebenso werden Stangen oder Stäbe mit Spannstahlgüte in der Regel nur noch für Querverspannung (beispielsweise für das nachträgliche Zusammenspannen von Trägern in Querrichtung) oder als Schubverstärkungen verwendet (Abb. 3.11 und Abb. 3.12).



Abb. 3.11 Vertikale Schubverstärkungen mittels vorgespannter Stangen.



Abb. 3.12 Schräge Schubverstärkungen mittels vorgespannter Stangen.

In der Anfangsphase wurden unterschiedliche Arten von externen Spanngliedern entwickelt und eingesetzt. Vergleichbar mit der Entwicklung bei den Schrägseilen haben sich ab 1970 jedoch immer mehr externe Spannglieder mit Paralleldrahtbündeln oder Parallel-litzenbündeln innerhalb eines Schutzrohrs mit folgenden Charakteristika durchgesetzt:

- Spannstahl (Abb. 3.13):
 - Drähte \varnothing 7 mm, in der Regel blank, in Einzelfällen verzinkt
 - 7-dräftige Litzen \varnothing 12.9 oder 15.7 mm, blank oder als Monolitze

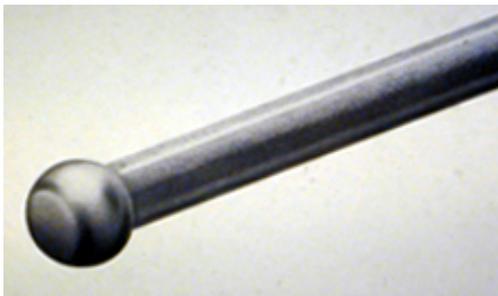


Abb. 3.13 Spannstahlarten: Draht mit Stauchkopf, Litze und Monolitze (Monolitze bestehend aus Spannstahllitze, Fettschutzschicht und aufextrudiertem HDPE-Hüllrohr).

- Hüll- bzw. Schutzrohr (Abb. 3.14):
 - Regelfall: Dickwandiges Kunststoffhüllrohr aus HDPE
 - Sonderfall: Stahlrohr mit oder ohne Beschichtung

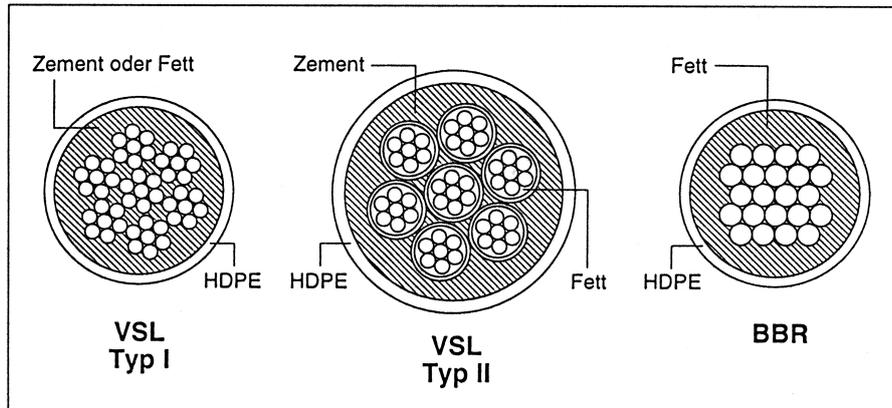


Abb. 3.14 Spanngliedtypen [46].

- Füllgut (Abb. 3.15 und Abb. 3.16):
 - Zement
 - Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Fette, Wachse)



Abb. 3.15 Mit Zement ausinjiziertes Litzenstrahl.



Abb. 3.16 Injektionstest, Dochttest auf Baustelle.

- Verankerungen (Abb. 3.17 bis Abb. 3.19):
 - Nicht auswechselbar, nicht nachspannbar: Gleiche Verankerungen wie für innenliegende Spannglieder mit Verbund
 - Auswechselbar, nachspannbar: Spezialverankerungen analog zu Schrägseilverankerungen (allerdings in der Regel ohne besondere Anforderungen an Ermüdungsfestigkeit, Schwingverhalten, Wasserdichtheit)



Abb. 3.17 Spannverankerungen.



Abb. 3.18 Brücke Höll, Spannverankerungen mit Schutzhauben.

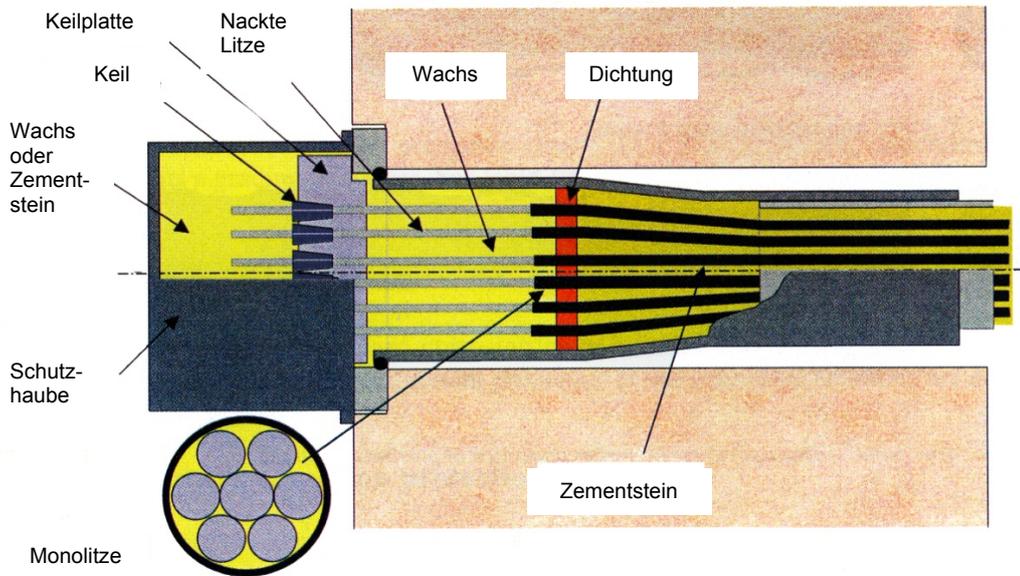


Abb. 3.19 Spannverankerung für ein auswechselbares externes Spannglied.

- Umlenkstellen (Abb. 3.20 und Abb. 3.21):
 - Nicht auswechselbar: Einbetoniertes, gekrümmtes Stahlrohr mit direktem Anschluss der Kunststoffhüllrohre
 - Auswechselbar: Auch bei den Umlenkstellen durchgehend verlaufendes Kunststoffhüllrohr



Abb. 3.20 Umlenkstelle im Stützenbereich [45].



Abb. 3.21 Umlenkstelle im Feldbereich.

Externe Spannglieder sind mit dem Brückentragwerk in der Regel nur bei den Verankerungen, bei polygonalem Verlauf der Spannglieder auch an den Umlenkstellen, verbunden. Je nach Ausbildung der Umlenkstellen kann dort das Spannglied längs verschieblich oder unverschieblich sein. Im ersten Fall liegt eine Vorspannung ohne Verbund vor, was zur Folge hat, dass im Bruchzustand in der Regel nur eine geringe Spannungserhöhung im Spannstahl möglich ist, welche von der Geometrie und Verformbarkeit des Brückentragwerks und vom Spanngliedverlauf abhängt. Ist das Spannglied an den Umlenkstellen aufgrund konstruktiver Massnahmen längs unverschieblich gehalten, so resultiert eine grössere Spannungserhöhung im Bruchzustand. Bei idealen Verhältnissen kann die Zugfestigkeit im Spannstahl erreicht werden, wie dies in der Regel bei Vorspannung mit Verbund der Fall ist.

Am Institut für Baustatik und Konstruktion der ETH Zürich wurden in den Jahren 1986 und 1998 Versuche an extern unterspannten Brückenträgern durchgeführt (Abb. 3.22 und Abb. 3.23) [43], [44]. Obwohl es sich um innovative Tragsysteme handelt, kam es bis anhin noch zu keiner Anwendung in der Praxis.



Abb. 3.22 Versuch an einem extern unterspannten Durchlaufträger [43].

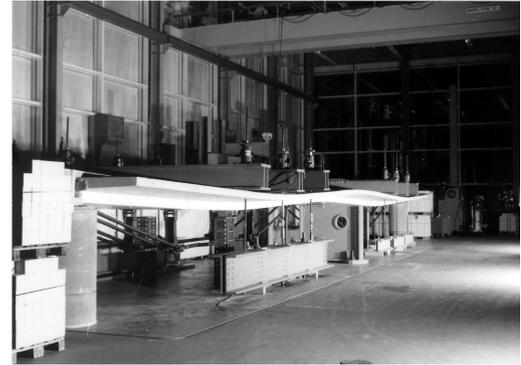


Abb. 3.23 Deformierter extern unterspannter Durchlaufträger im Belastungsversuch [43].

3.2 Anwendung von externen Spanngliedern in der Schweiz

3.2.1 Merkmale der externen Spanngliedersysteme in der Schweiz

Externe Spannglieder wurden in der Schweiz bereits 1953 zur Verstärkung der 1949-1950 erbauten Glattbrücke in Oberglatt verwendet. Nach Fertigstellung der Brücke wurden bei der Probelastung Risse in den vorgespannten Längsträgern festgestellt, weshalb eine Zusatzvorspannung mit externen Spanngliedern Typ BBRV nachträglich eingebaut werden musste (Abb. 3.24 bis Abb. 3.26).



Abb. 3.24 Glattbrücke Oberglatt: Ansicht.



Abb. 3.25 Glattbrücke Oberglatt: Brückenuntersicht mit externen Spanngliedern.

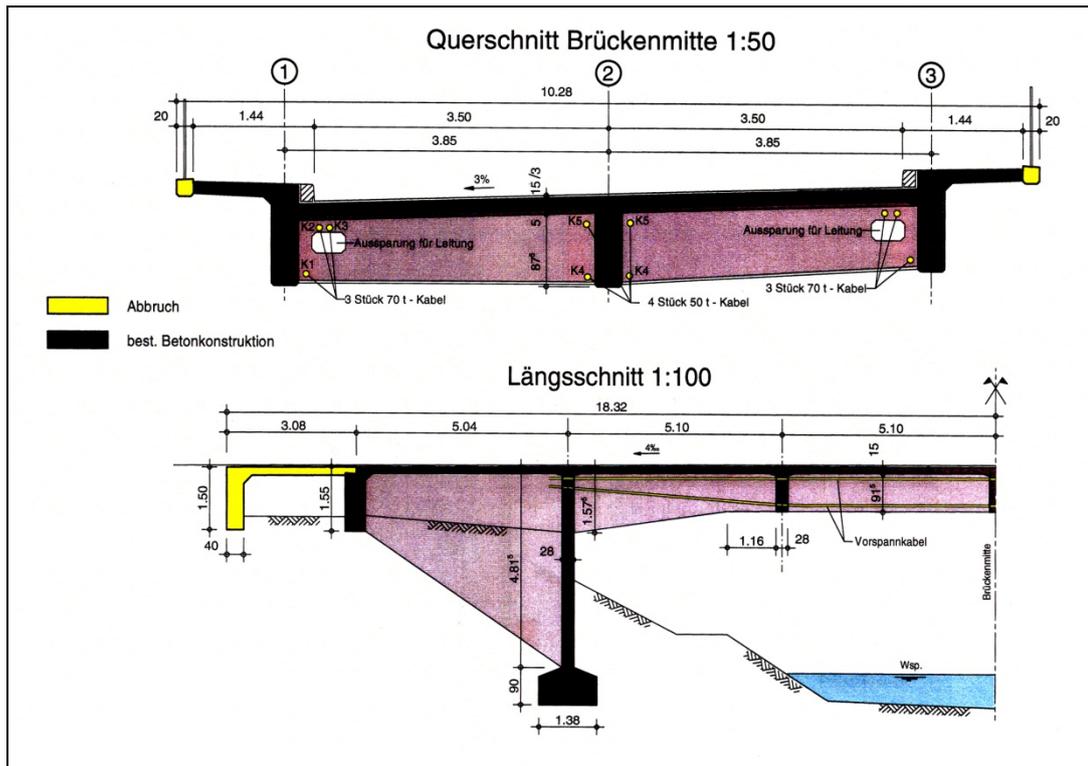


Abb. 3.26 Glattbrücke Oberglatt: Quer- und Längsschnitt mit den 10 externen Spanngliedern Typ BBRV (12 Drähte \varnothing 6 mm, Stahlhüllrohr, zementinjiziert) [34].

Die Brücke wurde 2005 überprüft und 2007 so instandgesetzt, dass eine Restnutzungsdauer von 20 bis 25 Jahren gewährleistet werden kann. Der Projektverfasser kam zum Schluss, dass die externe Vorspannung trotz gewisser Mängel weiterhin funktionsfähig ist [34].

Dieses frühe Beispiel ist typisch für den üblichen Einsatz von externen Spanngliedern im Rahmen von Verstärkungsmassnahmen. Von rund 60 mit externen Spanngliedern ausgerüsteten Brücken in der Schweiz sind nur fünf als Neubau mit externer Vorspannung geplant und ausgeführt worden, von denen drei als Sonderfälle zu bezeichnen sind.

Im Rahmen der vorliegenden Dokumentation wurden im Verzeichnis der Brücken mit externen Spanngliedern in der Schweiz (Anhang IV) insgesamt 61 Brücken erfasst. Davon sind fünf Brücken, welche externe Spannglieder zur Schubverstärkung von Stegen aufweisen. In den nachfolgenden Auswertungen sind diese fünf Brücken nicht einbezogen.

Die Verteilung des Einbaujahrs der in der Schweiz eingesetzten externen Spannglieder ist in Abb. 3.27 dargestellt. Daraus ergibt sich ein mittleres Alter von ca. 15 Jahren und ein maximales von 58 Jahren. Im Gegensatz zu den Schrägseilen mussten in der Schweiz bis anhin keine externen Spannglieder ausgewechselt werden, und es haben auch keine versagt.

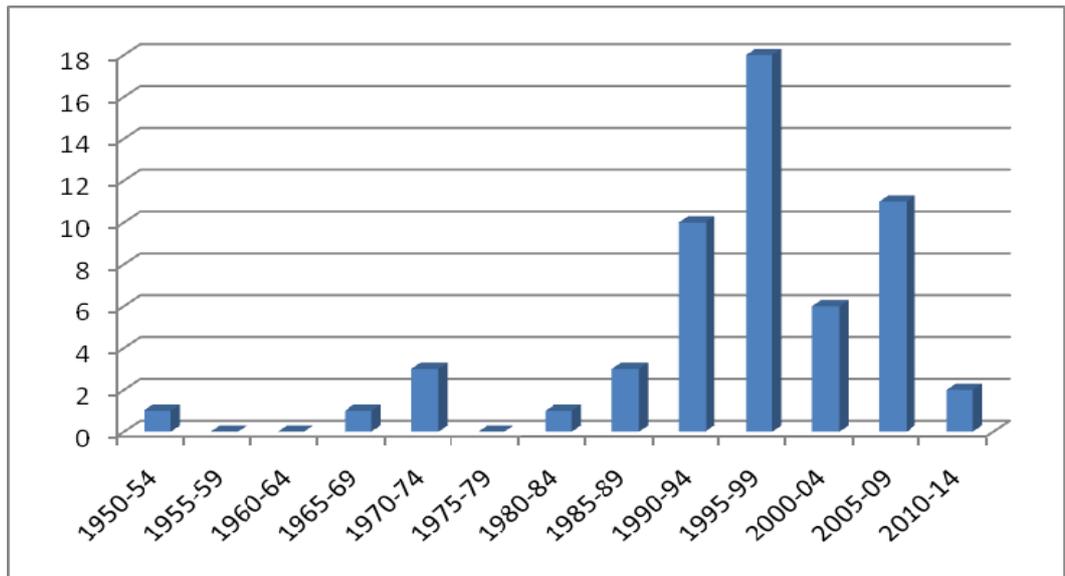


Abb. 3.27 Verteilung des Einbaujahrs der in der Schweiz eingesetzten externen Spannlieder.

Die Aufteilung der erfassten extern vorgespannten Brücken auf das ASTRA und übrige Werkeigentümer (Kantone, Gemeinden, Private) ist in Abb. 3.28 dargestellt. Alle 56 Brücken sind Strassenbrücken.

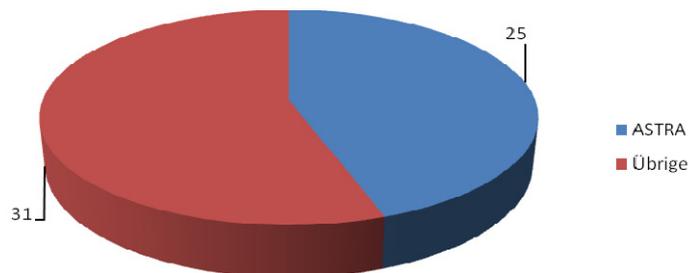


Abb. 3.28 Aufteilung der erfassten extern vorgespannten Brücken auf ihre Werkeigentümer.

Die Aufteilung in Bezug auf den verwendeten Spannliedtyp ist in Abb. 3.29 dargestellt.

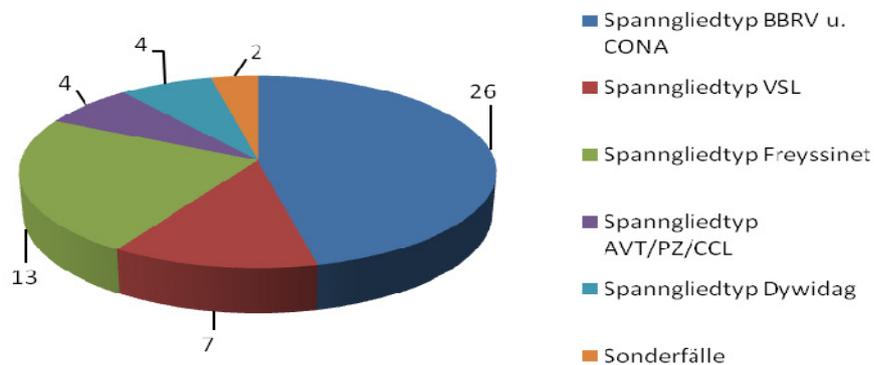


Abb. 3.29 Aufteilung der erfassten extern vorgespannten Brücken auf den verwendeten Spannliedtyp.

Die Aufteilung in Bezug auf die Art des verwendeten Füllguts ist in Abb. 3.30 dargestellt.

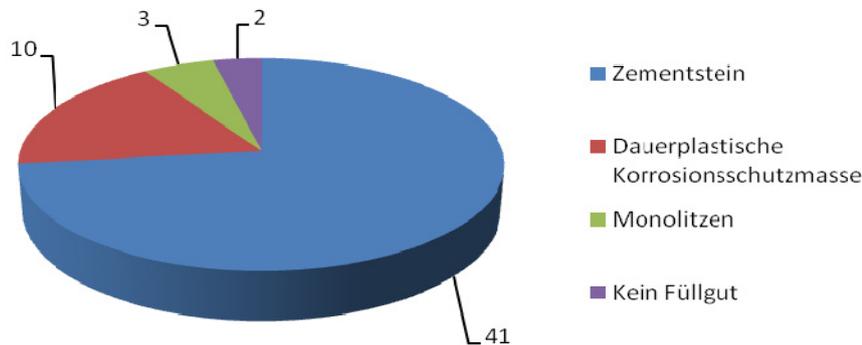


Abb. 3.30 Aufteilung der erfassten extern vorgespannten Brücken auf die Art des verwendeten Füllguts.

3.2.2 In der Schweiz verwendete externe Spanngliedsysteme

Die in der Schweiz bis anhin verwendeten externen Spannglieder unterscheiden sich primär in ihrer Ausbildung auf der freien Länge zwischen den Verankerungen. Die verschiedenen Typen sind in Abb. 3.14 dargestellt. Als Verankerungen kommen in der Regel die gleichen zur Anwendung wie für innenliegende Spannglieder mit Verbund. Modifizierte Verankerungen werden eingesetzt, wenn zusätzliche Anforderungen gestellt werden, wie beispielsweise die Regulierbarkeit der Spannkraft oder die Austauschbarkeit ganzer Spannglieder. Die Abb. 3.19 zeigt einen Verankerungstyp, welcher die Austauschbarkeit eines externen Spannglieds ermöglicht.

3.3 Schadenfälle

3.3.1 Korrosionsschäden an den Spannstählen

Die Erkenntnisse aus den Schäden an externen Spanngliedern infolge Korrosion sind im Forschungsbericht [10] umfassend dargestellt.

Als Beispiele aus [10], die auch für die Schweizer Anwendungen relevant sind, seien das Versagen von externen Spanngliedern bei drei Brücken in Frankreich (Brücke über die Durance, Brücke "Saint-Cloud" und Brücke "Rivière d'Abord") sowie bei zwei Brücken in den USA (Brücke über den "Niles Channel" und die "Mid-Bay" Brücke, siehe Abb. 3.31) genannt.

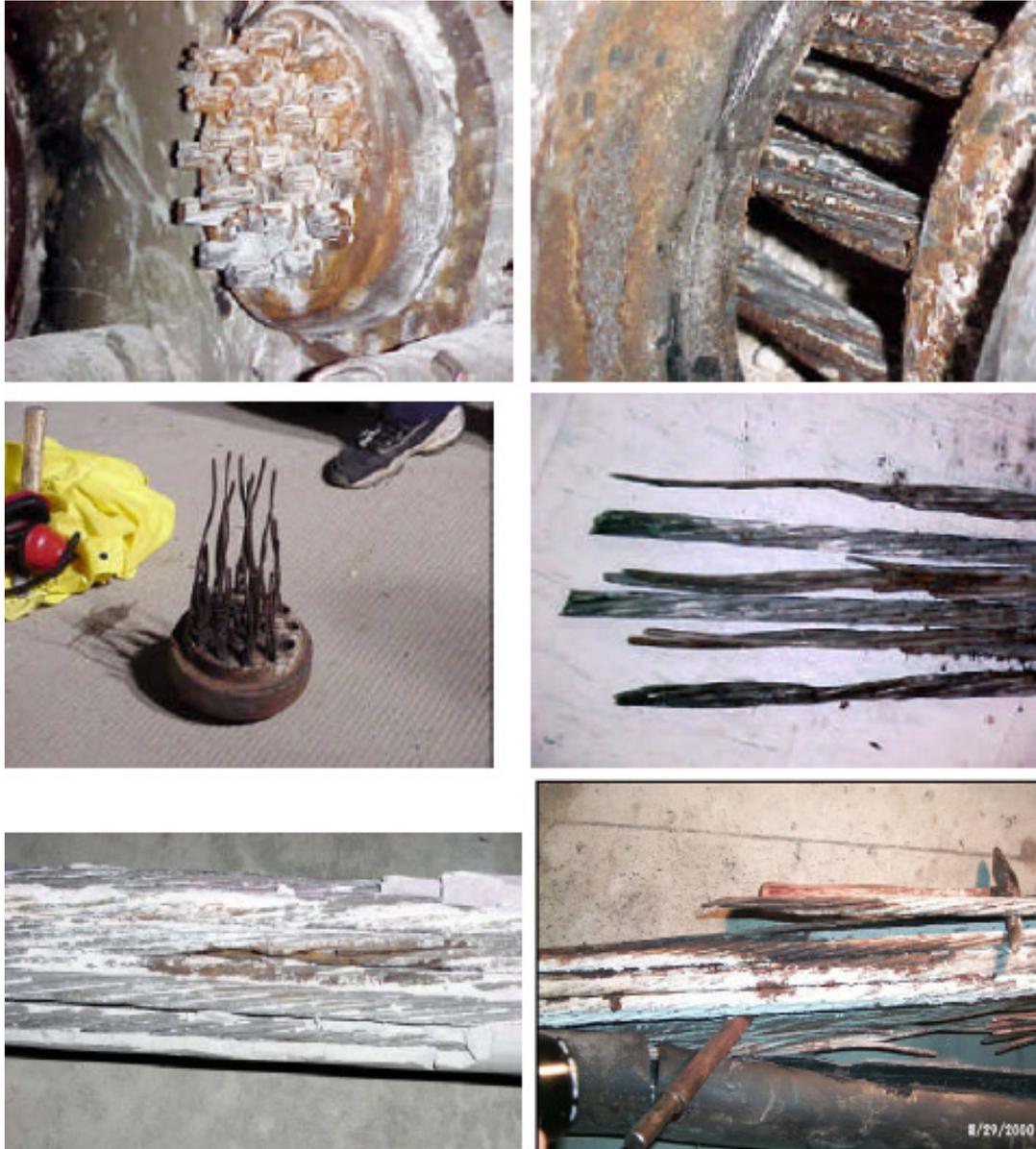


Abb. 3.31 "Mid-Bay" Brücke, Florida, USA (fertiggestellt 1993): Korrosionsschäden an Litzen und Verankerungen [10], Spanngliedbrüche während einer Routinekontrolle im Jahr 2000 festgestellt [38].

Bei all diesen Schadenfällen handelt es sich um externe Spannglieder mit HDPE-Schutzrohren und zementösem Füllgut. Die Ursachen für das Versagen dieser externen Spannglieder können wie folgt zusammengefasst werden:

- Undichte, beschädigte oder teilweise gerissene Kunststoffhüllrohre aus HDPE, was zu Feuchtigkeitseintrag führte. Unklar ist, ob diese Schäden bereits bei der Ausführung oder während des Betriebs entstanden sind und ob die Rohre bereits bei der Herstellung die Anforderungen nicht erfüllten (z.B. bei Verwendung von rezykliertem Ausgangsmaterial).
- Die Spannglieder waren unvollständig injiziert. Es wurden kleinere oder grössere Hohlräume – oft auch in Nähe der Verankerungen – festgestellt, in denen sich Wasser ansammeln konnte. Oft präsentierte sich das Füllgut in den Übergangsbereichen zum erhärteten Zementstein als weissliche, teilweise nasse Paste.

Schäden dieser Art haben dazu geführt, dass sowohl das Füllgut als auch die Injektionstechnik verbessert worden sind. Inwieweit die strengeren Anforderungen in den Normen [41] und den zugehörigen Nationalen Anhängen in die tägliche Praxis bereits eingeflossen sind, bleibt zu prüfen.

Wie erwähnt versagten bei verschiedenen Brücken in Frankreich externe Spannglieder. Dies veranlasste die staatliche Strassenbaubehörde Sétra (Service d'Etudes techniques des routes et autoroutes), die zuständigen regionalen Werkeigentümer in einer detaillierten Mitteilung über die Probleme mit externen, zementverpressten Spanngliedern zu informieren [42]. In dieser Mitteilung wird auch festgelegt, wie diese Spannglieder zu überprüfen und welche Massnahmen zur Erhaltung der Tragsicherheit nötig sind. Es wird zudem darauf hingewiesen, dass wegen den aufgetretenen Schadensfällen seit 2001 zementöses Füllgut für externe Spannglieder aufgegeben wurde.

Versagt ein externes Spannglied, so wird plötzlich eine enorme Verformungsenergie freigesetzt. Das führt dazu, dass Spanngliedteile herumgeschleudert werden, was im schlimmsten Fall zu gravierenden Personenschäden führen kann. Entsprechende Vorsichtsmassnahmen sind beim Rückbau solcher Brücken oder bei der Demontage externer Spannglieder zu treffen.

In der Schweiz sind an externen Spanngliedern bis anhin keine grösseren Mängel oder Schäden bekannt. In einigen Fällen wurden Injektionsmängel festgestellt, die behoben werden konnten. Es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass grössere Mängel oder Schäden vorhanden sind, welche bisher noch nicht entdeckt wurden. Unangekündigte, plötzliche Versagen von externen Spanngliedern können ebenfalls nicht von vornherein ausgeschlossen werden.

3.3.2 Aussergewöhnliche Einwirkungen

Brand

Die 200 m lange "Tiziano"-Brücke in Alessandria, Italien, wurde 1997-1998 erbaut. Der Überbau besteht aus zwei parallelen Hohlkastenträgern. Diese sind sowohl mit innenliegenden Spanngliedern im Verbund als auch mit externen Spanngliedern ohne Verbund vorgespannt. Am 21. Februar 2007 kurz nach Mitternacht stellten Anwohner fest, dass aus einem der Hohlkasten Rauch entwich. Die Feuerwehr konnte den Brand zwar rasch löschen, die dadurch entstandene Hitzeeinwirkung war aber gross genug, um das Versagen der meisten der externen Spannglieder auszulösen (Abb. 3.32 und Abb. 3.33). Den Brand hatten Wanderarbeiter verursacht, welche im Hohlkasten wohnten und sich entsprechend häuslich installiert hatten. Die Brücke wurde sofort gesperrt. In der Folge mussten sämtliche externen Spannglieder ersetzt werden.



Abb. 3.32 "Tiziano"-Brücke, Italien: Hohlkasten mit gerissenen und stark verformten externen Spanngliedern.



Abb. 3.33 Durch Rückfederung herausgeschlagene Spannverankerung.

Dieser Fall zeigt, dass ein relativ kleines Feuer genügte, um einen sehr grossen Schaden anzurichten. Er erinnert an den Brand beim Lehnenviadukt Beckenried im Jahre 1989, bei dem brennendes Dieselöl über eine Entwässerungsleitung in den Hohlkasten gelangte und dort erheblichen Schaden anrichtete [36]. Die innenliegenden Spannglieder im Verbund waren davon glücklicherweise nicht betroffen, bei externen Spanngliedern wären die Auswirkungen wahrscheinlich bedeutend schlimmer gewesen.

3.3.3 Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung verschiedener Schadenfälle im Ausland, bei denen externe Spannglieder ausgewechselt werden mussten, und der in der Schweiz festgestellten Probleme, besteht in der Schweiz Handlungsbedarf sowohl bei der Erhaltung von externen Spanngliedern als auch bei der Festlegung von Anforderungen für zukünftige Projekte. Weitere Hinweise hierzu sind in Abschnitt 4.2 enthalten.

3.4 Normengrundlagen

Die technischen Anforderungen an innenliegende Spannsysteme sind in der Leitlinie [40] enthalten.

Wie in [1] erläutert, gilt diese Leitlinie auch in der Schweiz. In den Normen SIA 262 und 262/1 [32] wird die Zulassung von Spannsystemen nur allgemein geregelt. In Bezug auf das Zulassungsverfahren, die Anforderungen und die Prüfungen wird auf die Leitlinie [40] und auf die ASTRA/SBB-Richtlinie [33] verwiesen. Weiter gelten die in Abb. 3.34 dargestellten CEN-Normen (keine abschliessende Aufzählung).

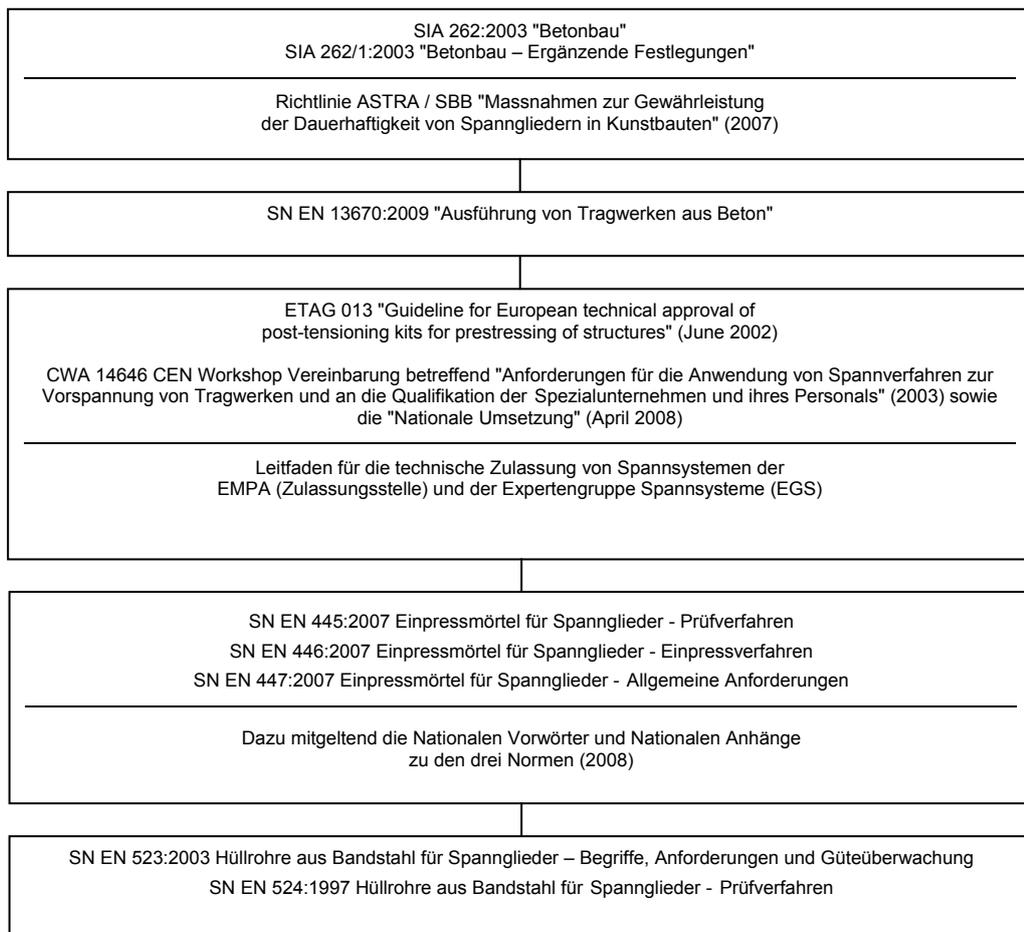


Abb. 3.34 Hierarchische Gliederung der technischen Bestimmungen für Spannsysteme [37].

Hat ein Antragsteller das Zulassungsverfahren erfolgreich abgeschlossen, bescheinigt die beauftragte, akkreditierte Zulassungsstelle dem Spannsystem die Konformität mit den entsprechenden Anforderungen. Akkreditierte Zulassungsstellen sind beispielsweise:

- Schweiz: Empa Zulassungsstelle für Bauprodukte
- Deutschland: DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik)
- Frankreich: Sétra (Service d'études techniques des routes et autoroutes)
- Österreich: OIB (Österreichisches Institut für Bautechnik)

In der Schweiz bestehen zwei Wege zum Inverkehrbringen und Anwenden von Spannsystemen:

- Schweizerische Technische Zulassung STA (Swiss Technical Approval)
- Europäische Technische Zulassung ETA (European Technical Approval) mit Schweizerischer Anwendungszulassung SA

Die beiden Wege sind für die Anwendung in der Praxis gleichwertig. Die entsprechenden Zulassungsdokumente sind jedoch unterschiedlich gegliedert.

Da in der Schweiz vorwiegend innenliegende Spannglieder mit Verbund angewendet werden, sind bis anhin noch keine allgemein gültigen Zulassungen für externe Spannglieder erteilt worden. Bei der Verstärkung der Hardbrücke in Zürich mit externen Spanngliedern hat der Bauherr eine Zulassung verlangt. Diese wurde von der Empa Zulassungsstelle aufgrund einer vorliegenden ETA als Zustimmung im Einzelfall ausgestellt. Die konstruktiven Details für diese Anwendung im Einzelfall sind in einer verbindlichen Technischen Dokumentation festgehalten.

Die Anforderungen und Prüfungen für externe Spannglieder unterscheiden sich gemäss [32] in einigen Bereichen von denjenigen für innenliegende Spannglieder mit Verbund. Auch muss nachgewiesen werden, dass externe Spannglieder nachspannbar und austauschbar sind. Im Weiteren enthält die ETAG 013 [40] besondere Festlegungen für die bei externen Spanngliedern verwendeten dickwandigen, glatten Kunststoffhüllrohre aus HDPE und die dauerplastischen Füllmaterialien.

Die Bauherren bzw. die von ihm Beauftragten (Bauherrenvertreter, Projektverfasser, Bauleitung, Ausführende) müssen sicherstellen, dass nur zugelassene Spannsysteme eingesetzt werden, welche die in den jeweiligen Zulassungsdokumenten aufgeführten Bedingungen bezüglich Planung und Ausführung einhalten.

3.5 Neubau

Die in Kapitel 2.5 enthaltenen Hinweise gelten für externe Spannglieder sinngemäss.

Bis anhin sind in der Schweiz die Neubauten der Brücken "Preonzo-Claro" (1989) und "Bois de Rosset" (1990) mit externer Vorspannung geplant und ausgeführt worden. Im Jahre 1996 wurden zwei kleinere Brücken mit 20 m Spannweite über die Lorze bei Baar gebaut, deren Überbau aus einem flachen Bogen mit zwei seitlich angeordneten, vorgespannten externen Spanngliedern besteht. Die Tatsache, dass es bei diesen wenigen, an sich bewährten Anwendungen geblieben ist, lässt den Schluss zu, dass diese Bauweise unter schweizerischen Gegebenheiten für den Neubau zu wenig attraktiv ist – im Gegensatz zur Verstärkung von bestehenden Brücken mit externen Spanngliedern.

Die Vorteile der externen Vorspannung sind:

- Die Betonstege haben keine innenliegenden Spannglieder, was eine gute Betonqualität und eine Reduktion des Eigengewichts dank schmalerer Stege ermöglicht
- Externe Spannglieder weisen, bei sachgemässer Ausführung, einen hochwertigen Korrosionsschutz auf, unabhängig von der Rissbildung im Tragwerk
- Die Spannkraften können kontrolliert und wenn nötig korrigiert werden
- Externe Spannglieder können in der Regel ausgetauscht werden
- Geringe Ermüdungsbeanspruchung infolge der veränderlichen Einwirkungen
- Der Einbau von externen Spanngliedern ist in der Regel witterungsunabhängig

- In Kombination mit der Segmentbauweise und/oder anderen geeigneten Verhältnissen eine wirtschaftliche Bauweise

Die Nachteile der externen Vorspannung sind:

- In der Regel kleinerer Hebelarm der inneren Kräfte (z.B. in Hohlkästen)
- Im Bruchzustand wird der Spannstahl in der Regel nicht voll ausgenützt
- Die Kraft im Spannglied wirkt in ihrer vollen Grösse auf die Verankerungen ein
- Externe Spannglieder leisten keinen Beitrag an die Risseverteilung
- Das Versagen eines oder mehrerer externer Spannglieder hat globale Auswirkungen auf das Tragverhalten
- Potenziell grosse Gefährdung bei Brandeinwirkung und Vandalismus.

3.6 Erhaltung

3.6.1 Allgemeines

Die in Abschnitt 2.6.1 enthaltenen Hinweise gelten für externe Spannglieder sinngemäss.

3.6.2 Überwachung

Die Überwachung einer Brücke mit externen Spanngliedern basiert auf dem Überwachungsplan und beginnt mit der Abnahme. Wie in Abschnitt 2.6.2 erwähnt empfiehlt es sich, eine Erstinspektion durchzuführen, womit ein Referenzzustand als Grundlage für spätere Inspektionen festgelegt werden kann. Neben der Durchsicht und Beurteilung der Bauwerksdokumentation sowie dem Messen und Protokollieren der Überbau-Nivelette, der Seilkräfte, der Temperaturverhältnisse und des Vibrationsverhaltens (vergleiche Abschnitt 2.6.2) soll die Erstinspektion auch folgende Prüfungen umfassen:

- Visuelle Prüfung der Schutzrohre und deren Verbindungselemente auf Mängel und Schäden (Risse, Undichtheiten usw.)
- Visuelle Prüfung der Verankerungen und Kupplungen (Schutzhauben ordnungsgemäss montiert, Korrosionsschutz aussen und innen vorhanden usw.)
- Visuelle Prüfung der Krafteinleitungsbereiche (bei Verankerungen und Umlenksättel) auf Risse
- Prüfung der Spannglieder auf Hohlräume (ungenügender Füllgrad) mittels geeigneter Methoden

Gemäss [20] wird vor Ablauf der Garantiefrist eine Schlussprüfung durchgeführt, welche der ersten Hauptinspektion entspricht. Weitere Hauptinspektionen werden alle 5 Jahre durchgeführt. Es wird empfohlen, bei jeder Hauptinspektion alle Spannglieder bzw. deren Komponenten zu untersuchen. Da externe Spannglieder zu den kritischen Tragwerkelementen gehören, sind sie aus Handdistanz zu inspizieren, was bei Hohlkastenbrücken ohne besondere Gerüstung möglich ist; schwieriger ist der Zugang beispielsweise bei Plattenbalkenbrücken.

Wie bei jeder Zustandsuntersuchung ist auf unplangemässe Wasserläufe und Austritte von dauerplastischem Füllgut zu achten, und gegebenenfalls sind korrigierende Massnahmen zu ergreifen.

Wie für die Schrägseile stellt sich auch für externe Spannglieder die Frage, welche Inspektionsmethoden praxistauglich sind und aussagekräftige Resultate liefern. Interessant sind dabei die Feststellungen, welche in Bezug auf die "Mid-Bay" Brücke in Florida gemacht wurden. Nachdem die in Abschnitt 3.3.1 erwähnten gravierenden Schäden erkannt wurden, standen die Beteiligten vor der Aufgabe, den Zustand sämtlicher Brückenfelder bzw. deren Spannglieder zu überprüfen. Folgende Methoden wurden dabei eingesetzt und auf ihre Tauglichkeit hin untersucht [38]:

- Visuelle Inspektion:
Mit dieser Methode, die in jedem Fall angewendet werden muss, konnten primär Mängel und Schäden an den HDPE-Rohren in den einsehbaren Bereichen festgestellt werden. Über Injektionsmängel (Hohlräume) konnten keine Aussagen gemacht werden.

- Inspektion mittels Abklopfen ("Sounding"):

Diese Methode wurde mit einigem Aufwand getestet. Leider waren die Resultate ernüchternd. Unterschiedlicher Klang, der auf Hohlräume schliessen liess, konnte sich auch ergeben, weil sich das Kunststoffhüllrohr leicht vom Zementsteinzylinder abgelöst hatte. Anschliessend geöffnete Sondierfenster haben dann in vielen Fällen keine Injektionsmängel offenbart.
- Endoskopie:

Diese Methode wurde eingesetzt, weil die beiden gerissenen Spannglieder im Bereich der Verankerungen versagten und sich dort grössere nicht injizierte Hohlräume befanden (Hochpunkte). Mit dieser Methode konnten bei weiteren Verankerungen Hohlräume und korrodierte Litzen festgestellt werden. Damit die Methode funktioniert, braucht es ein Zugangsloch im Ankerkopf. Gefundene Hohlräume konnten nachinjiziert werden.
- Vibrationsmethode:

Durch eine dynamische Anregung eines Spannglieds und eine Messung des Schwingverhaltens hoffte man, Spannstahlschäden feststellen zu können. Die Resultate waren jedoch nicht zufriedenstellend.
- Magnetinduktionsmethode:

Diese Methode ist vergleichbar mit der in Abschnitt 2.6.2 beschriebenen Methode der Empa. Bei externen Spanngliedern sind die Bedingungen in Bezug auf die Platzverhältnisse jedoch weit ungünstiger. Insgesamt hat sich die Methode als zu wenig tauglich erwiesen, auch wenn einzelne Schäden lokalisiert werden konnten.

Obwohl einzelne Methoden signifikante Teilresultate lieferten, muss doch festgestellt werden, dass die Situation hinsichtlich der Inspektionsmethoden unbefriedigend ist und diesbezüglich Handlungsbedarf besteht. Inwiefern weitere zerstörungsfreie Methoden wie Ultraschallverfahren oder Thermografie einsetzbar sind, bleibt abzuklären.

3.6.3 Überprüfung

Eine Überprüfung von externen Spanngliedern ist beispielsweise in folgenden Fällen erforderlich [20]:

- bei Ungewissheit hinsichtlich des Zustands der Spannglieder: z.B. bei Dauerhaftigkeitsproblemen oder bei besonderen Vorkommnissen wie Anprall, Brand, Erdbeben
- bei Änderungen in der Nutzung, bei umfassenden Unterhaltmassnahmen oder bei Umgestaltung einer Brücke mit externen Spanngliedern
- bei Vorliegen neuer Erkenntnisse, beispielsweise infolge Schäden oder Versagen gleicher oder ähnlicher Spannglieder bei anderen Brücken im In- oder Ausland.

In [20] sind die Vorgehensphasen wie das Beschaffen der Basisdokumente, die generelle und wenn erforderlich eine detaillierte Überprüfung festgehalten (Zustandserfassung, Zustandsbeurteilung sowie Empfehlungen für das weitere Vorgehen).

Eine statische Überprüfung kann sich aus verschiedenen Gründen als notwendig erweisen. Insbesondere ist stets zu prüfen, wie sich eine Brücke verhält, falls eines oder mehrere externe Spannglieder versagen (Einsturzgefahr durch progressiven Kollaps).

Bei der Zustandserfassung werden zerstörungsfreie oder zerstörungsarme Prüfmethode eingesetzt, wie sie in Abschnitt 3.6.2 behandelt sind. Je nach Resultat einer Überprüfung können sich sichernde Sofortmassnahmen aufdrängen.

3.6.4 Massnahmen

Da externe Spannglieder den Schrägseilen in vieler Hinsicht ähnlich sind, kann auf die in Abschnitt 2.6.4 aufgeführten Massnahmen verwiesen werden.

Insbesondere bei in Hohlkästen geführten externen Spanngliedern gestalten sich der Zugang und das Arbeiten einfacher als bei Schrägseilen. Andererseits ist auf die Sicherheit des Personals zu achten. Versagt ein externes Spannglied, so wird eine sehr grosse Deformationsenergie freigesetzt. Auch bei planmässigem Ausbau eines externen Spannglieds sind deshalb besondere Schutzmassnahmen nötig.

4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

4.1 Zusammenfassung

Schrägseile und externe Spannglieder sind wichtige Tragwerkselemente, welche ausschlaggebend sind für die Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit von Brücken. Die in der Dokumentation dargestellten Erfahrungen und Erkenntnisse lassen den Schluss zu, dass sich die in der Schweiz angewendeten Schrägseile und externen Spannglieder in der Regel gut bewährt haben. Schadenfälle im In- und vor allem im Ausland haben jedoch gezeigt, dass diese Zugglieder ein erhebliches Gefährdungspotenzial aufweisen.

Im Neubau sollen die in den letzten Jahren erarbeiteten internationalen Regelwerke, welche höhere technische Anforderungen beinhalten, konsequent und nachhaltig in die Praxis umgesetzt werden. Damit wird ein Beitrag geleistet, zukünftige Schäden zu vermeiden und die gewünschte Nutzungsdauer zu erreichen.

Bei den insgesamt rund 100 in der Schweiz bestehenden Brücken (über 30 Brücken mit Schrägseilen und über 60 Brücken mit externen Spanngliedern, wovon je rund die Hälfte das ASTRA betreffen) ist festzustellen, dass insbesondere in Bezug auf die Zustandserfassung und -beurteilung erhebliche Defizite vorliegen. Wohl wird auf dem Markt eine beachtliche Anzahl von zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Prüfmethode angeboten. Es ist jedoch zurzeit nicht möglich, mit diesen Methoden zweifelsfreie Aussagen zu machen; mit einzelnen Methoden sind lokal begrenzte Aussagen möglich. Nur Fachleute mit entsprechender Aus- und Weiterbildung, ausreichender Erfahrung sowie breitem Ingenieurwissen können aus den erhobenen Indizien die korrekten Schlüsse ziehen. Je nach Fall kann es sinnvoll sein, die Sicherheit solcher Tragwerke zumindest vorübergehend durch verstärkte Überwachung zu gewährleisten.

4.2 Empfehlungen

Obwohl Schrägseile und externe Spannglieder in Teilbereichen unterschiedlichen Anforderungen und Expositionen genügen müssen, weisen sie technologisch doch so viele Gemeinsamkeiten auf, dass die nachfolgend aufgeführten Empfehlungen für beide Zuggliedarten gelten:

- **Wissensvermittlung**

Durch geeignete Massnahmen ist dafür zu sorgen, dass sich Bauherren, Planer, Bauleiter und Ausführende, die sich mit Schrägseilbrücken und Brücken mit externen Spanngliedern zu befassen haben, über das nötige Fachwissen verfügen. Als Massnahmen können beispielsweise Schulung, Anforderungen in den Ausschreibungen und Pilotprojekte dienen. Des Weiteren muss der Informationsgehalt zu diesen Tragwerkselementen in der KUBA-Datenbank verbessert werden.

- **Zulassung von Schrägseilen und externen Spanngliedern**

In Zukunft sollen analog zu den innenliegenden Spanngliedern mit Verbund nur noch zugelassene Schrägseilsysteme und zugelassene externe Spanngliedersysteme verwendet werden. Da es sich bei diesen Anwendungen oft um Sonderfälle handelt, kann die Zustimmung der Zulassungsstelle Empa auch für den Einzelfall erfolgen (Einzelzulassung). Die Zulassungen bilden die Voraussetzung, dass der Stand der Technik eingehalten wird. Ebenso wichtig ist jedoch, dass auf der Baustelle die geregelten Anforderungen an die Ausführung umgesetzt werden. Hier gilt es insbesondere auch sicherzustellen, dass nur noch zementöses oder dauerplastisches Füllgut gemäss den neusten Normbestimmungen [40] und [41] verwendet wird (Material, Ausführung, Kontrolle).

- **Qualitätssicherung**

Die Prinzipien einer zielgerichteten Qualitätssicherung sind umzusetzen. Die Stichworte dazu sind Schulung und Fachkompetenz des Personals auf den verschiedenen Stufen und eine präzise Ausschreibung. Neben dem Planer (gutes Projekt) und dem Bauleiter (gezielte Überwachung, Stichproben) ist es insbesondere das Fachpersonal der Fachfirmen, welches seine Arbeit kompetent zu leisten hat.

- **Zerstörungsfreie Prüfmethode**

Obwohl in den letzten Jahren auf dem Gebiet der zerstörungsfreien und zerstörungsarmen Prüfmethode Fortschritte erzielt wurden, bestehen in Bezug auf Aussagekraft und Praxistauglichkeit immer noch grosse Defizite. Anhand eines sorgfältig geplanten Untersuchungsprogramms sollen die Prüfmethode unter Einbezug von Blindtests auf ihre reproduzierbare Aussagekraft und Praxistauglichkeit beurteilt werden. Die Erkenntnisse aus einem solchen Untersuchungsprogramm können auch zu Änderungen an der Konstruktion der Schrägseile und der externen Spannglieder führen (z.B. Einbauen von Sensoren, oder Schaffen von Zugangsmöglichkeiten für Endoskope, insbesondere im Bereich der Verankerungen, zur Kontrolle des Füllgrades).

- **Pilotprojekte**

Durchführung einzelner sorgfältig geplanter und gut begleiteter Pilotprojekte, in welchen die Erkenntnisse aus dieser Dokumentation und den hier erwähnten Studien und Untersuchungen umgesetzt und überprüft werden. Für solche Pilotprojekte können sowohl Neubauten als auch bestehende Objekte gewählt werden, welche sich dafür besonders eignen.

- **Standardisiertes Vorgehen in der Erhaltung**

Für das Vorgehen in der Erhaltung von Schrägseilen und externen Spanngliedern ist ein standardisiertes Vorgehen festzulegen. Je nach Art der Inspektion (Hauptinspektion, Zwischeninspektion, Sonderinspektion) sind die zugehörigen Massnahmen und Prüfungen festzulegen. Dazu gehören auch Hinweise zum Inhalt der Überwachungs- und Unterhaltspläne.

Anhänge

I	Abkürzungen	64
II	Schadenfall Birskopfsteig.....	65
II.1	Grundlagen	65
II.2	Einleitung	65
II.3	Erhaltungsmassnahmen	67
II.4	Schadenereignis	72
III	Verzeichnis der Brücken mit Schrägseilen und Hängern in der Schweiz	79
III.1	Hinweise zu Teil 1: Schrägseilbrücken	79
III.2	Hinweise zu Teil 2: Bogenbrücken mit Hängern.....	79
IV	Verzeichnis der Brücken mit externen Spanngliedern in der Schweiz	93
IV.1	Hinweise zu Teil 1: Längs- oder Querspannglieder.....	93
IV.2	Hinweise zu Teil 2: Spannglieder zur Schubverstärkung	93
V	Hinweise zur Inspektion von vorgespannten Zuggliedern wie Schrägseile und externe Spannglieder	113
V.1	Generelle Hinweise.....	113
V.2	Spezifische Hinweise	113
V.2.1	Zwischeninspektionen.....	113
V.2.2	Hauptinspektionen	113
VI	Bildnachweis	114

I Abkürzungen

BauPG	Bundesgesetz über Bauprodukte
BauPV	Verordnung über Bauprodukte
CE	Certificat Européen (Konformitätszeichen der EU)
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Normung)
CUAP	Common Understanding of Assessment Procedure (Gemeinsames Übereinkommen für das Beurteilungsverfahren)
EN	Europäische Norm
ENV	Europäische Vornorm
EOTA	European Organization for Technical Approvals (Europäische Organisation für Technische Zulassungen)
EU	European Union (Europäische Union)
ETA	European Technical Approval (Europäische Technische Zulassung)
ETAG	European Technical Approval Guideline (Europäische Technische Leitlinie für Zulassung)
fib	Fédération internationale du béton (Internationale Vereinigung für Beton)
ISO	International Standard Organization (Internationale Organisation für Normung)
KTN	Kommission für Tragwerksnormen des SIA
NaVo	Nationales Vorwort
NA	Nationaler Anhang
NDP	Nationally Determined Parameter (National festgelegter Parameter)
prEN	Europäischer Normenentwurf
SA	Schweizerische Anwendungszulassung
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
SN EN	In der Schweiz übernommene Europäische Norm
SNV	Schweizerische Normenvereinigung
STA	Swiss Technical Approval (Schweizerische Technische Zulassung)

II Schadenfall Birskopfsteg

II.1 Grundlagen

Die folgenden Dokumente bilden die Grundlagen zu diesem Schadenfall:

- [A] Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB), Wildegg (2005), "Objekt 108, Birskopfsteg, Basel/Birsfelden, Zustandsuntersuchung an Schrägseilen", H. Bänziger, B. Mühlau, U853802-1, 27.05.2005 (nicht veröffentlicht)
- [B] Aegerter & Bosshardt AG (J. Kalak), Ingenieurbüro, Basel (2007), "Objekt 108, Birskopfsteg, Schadenfall 22.06.2007 und Demontage der vorgefertigten Stegelemente", Bericht 7355.400 (Kk/Hi), 03.07.2007 (nicht veröffentlicht)
- [C] Empa-Prüfberichte Nr. 446'564/A+B (2008), "Zustandsuntersuchung und Schadenanalytik – Schrägseile des Birskopfsteiges in Basel-Birsfelden" (nicht veröffentlicht)
- [D] Aegerter & Bosshardt AG (U. Vollmer), Ingenieurbüro, Basel (2007), "Objekt 108, Birskopfsteg, Beurteilung und Dokumentation der Kabelzustände nach dem Öffnen der Hüllrohre", Bericht 7355.501 (Vu), 02.10.2007 (nicht veröffentlicht)

II.2 Einleitung

Der in den Abschnitten 2.2 und 2.3 erwähnte Schadenfall Birskopfsteg ist exemplarisch. Deshalb sollen das Thema vertieft und weitere Informationen präsentiert werden, die bei der Zustandserfassung und -beurteilung von anderen Schrägseilbrücken – und bis zu einem gewissen Grad auch von Brücken mit externen Spanngliedern – von Nutzen sein können.

Der Birskopfsteg überquert die Birs bei ihrer Mündung in den Rhein. Er wurde 1963 in Betrieb genommen und war damit die erste Schrägseilbrücke in der Schweiz und nach dem 1961 gebauten Schillersteg in Stuttgart vermutlich weltweit die zweite Brücke dieses Typs. Der Birskopfsteg dient dem Fussgänger- und Radfahrerverkehr.

Wie Abb. II.1 zeigt, bestand die im Jahr 2007 rückgebaute Schrägseilbrücke aus einem asymmetrisch angeordneten A-förmigen Pylon von 27.20 m Höhe und einem trogförmigen Überbau mit einer Gesamtlänge von 68.30 m, der aus vier vorgefertigten Elementen von 15.00 bis 20.50 m Länge bestand. Der längs vorgespannte Trog wies eine Nutzbreite von 2.70 m und zwei Randträger von 0.27 m Breite und 0.75 m Höhe auf.



Abb. II.1 Fussgängersteg über die Birs bei ihrer Mündung in den Rhein bei Basel [C].

Die sechs von der Firma Stahlton AG gelieferten und eingebauten Schrägeile Typ BBRV wiesen folgende Charakteristika auf (Abb. II.2):

- Seile 1 und 4 (Rückverankerungsseile):
 - Länge: 27.63 m
 - Spanndrähte: 40 \varnothing 6 mm, $f_{tk} = 1'620 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 1'832 \text{ kN}$
 - Bewegliche Verankerungen: BBRV Typ C130 (an beiden Seilenden)
 - Hüllrohre: HDPE schwarz, \varnothing 63/55.8 mm, $t = 3.6 \text{ mm}$
 - Füllgut: Zement
- Seile 2 und 5 (kurzes Seilpaar ins Feld):
 - Länge: 26.48 m
 - Spanndrähte: 13 \varnothing 6 mm, $f_{tk} = 1'620 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 595.5 \text{ kN}$
 - Bewegliche Verankerungen: BBRV Typ C70 (an beiden Seilenden)
 - Hüllrohre: HDPE schwarz, \varnothing 50/44.4 mm, $t = 2.8 \text{ mm}$
 - Füllgut: Zement
- Seile 3 und 6 (langes Seilpaar ins Feld):
 - Länge: 38.18 m
 - Spanndrähte: 21 \varnothing 6 mm, $f_{tk} = 1'620 \text{ N/mm}^2$, $F_{pk} = 962 \text{ kN}$
 - Bewegliche Verankerungen: BBRV Typ C70 (an beiden Seilenden)
 - Hüllrohre: HDPE schwarz, \varnothing 50/44.4 mm, $t = 2.8 \text{ mm}$
 - Füllgut: Zement

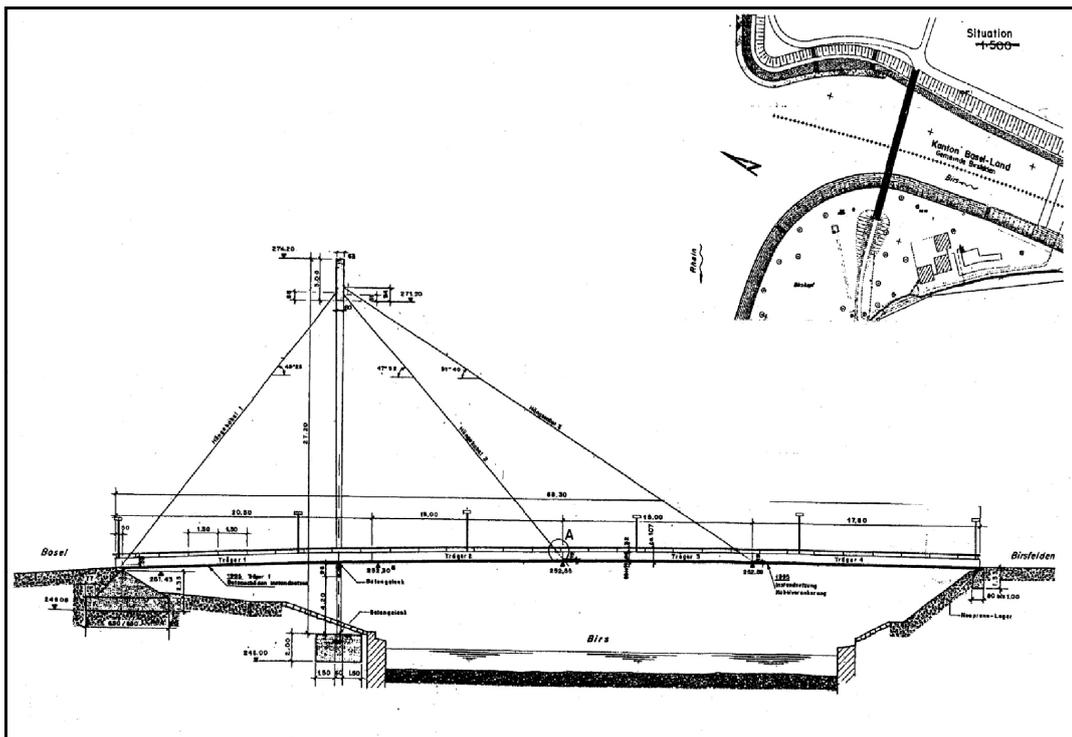


Abb. II.2 Längsschnitt der Brücke [C].

II.3 Erhaltungsmassnahmen

Gemäss [A] wurden an der Brücke in den Jahren 1980, 1985, 1986 und 1995 verschiedene Erhaltungsmassnahmen ausgeführt, die aber nur am Rande die Schrägseile betrafen. Anlässlich einer vom Bauherrn (Tiefbauamt Kanton Basel-Stadt) angeordneten Zwischeninspektion am 15.09.04 durch die Firma Baumpartner, Basel (Kletterspezialisten) und den Bauherrenvertreter T. Zwicky wurden an den Schrägseilen verschiedene Mängel und Schäden festgestellt. Die Inspektion erfolgte visuell und lokal durch Abklopfen. Die Hüllrohre wiesen an einzelnen Stellen, vor allem im unteren Bereich der Seile, Längsrisse von bis zu 30 cm Länge auf. Es wurden Hohlstellen und Ablösungen der Hüllrohre vom Zementstein vermutet.

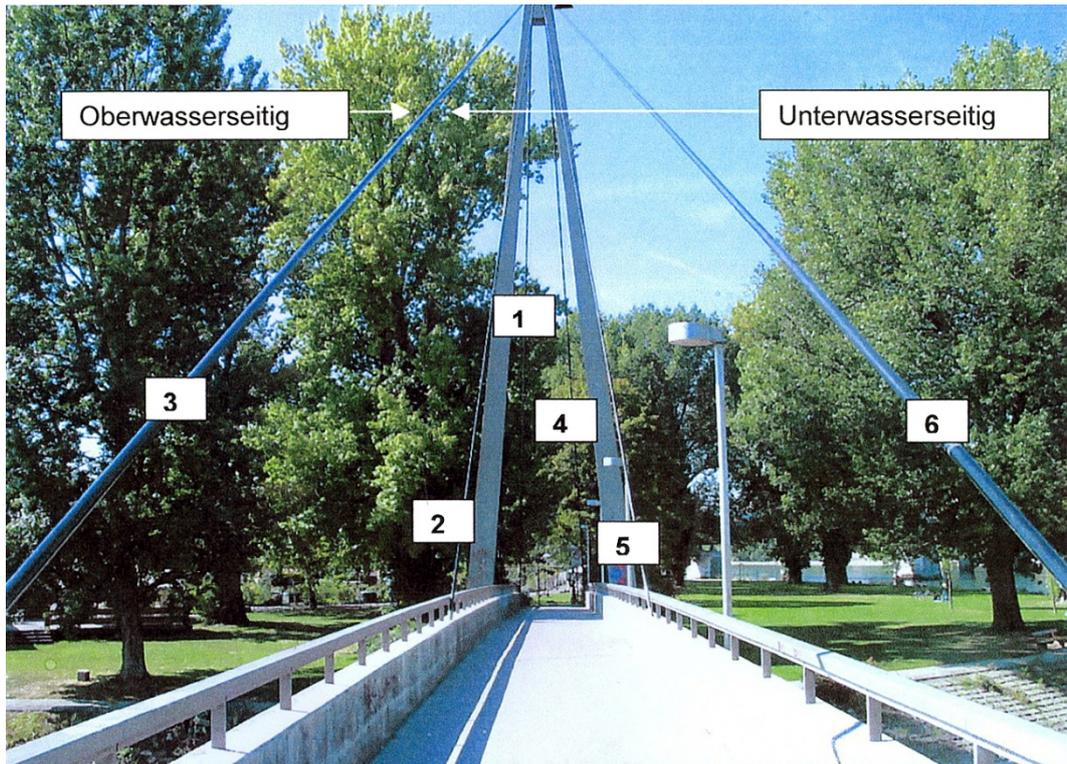


Abb. II.3 Brücke bei der Zwischeninspektion am 15.09.2004 [A].

Diese Feststellungen veranlassten den Bauherrn, eine vertiefte Zustandsuntersuchung anzuordnen. Die Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB), Wildeggen, wurde mit der Zustandsuntersuchung und -beurteilung beauftragt. Auf der Grundlage der Bauwerkspläne wurde ein detailliertes Untersuchungsprogramm aufgestellt, welches mit den involvierten Instanzen und Firmen vorbesprochen wurde.

Die Zustandsuntersuchung erfolgte bei guten Wetterverhältnissen am 13.04.05. Die Zugänglichkeit zu den Schrägseilen wurde durch eine hydraulische Hebebühne und im unteren Bereich des Seiles 5 durch ein stationäres Gerüst sichergestellt (Abb. II.4).



Abb. II.4 Zustandserfassung am 13.04.2005 mittels Hebebühne und Gerüstung [A].

Die Schrägseile wurden in allen zugänglichen Bereichen abgeklopft, mit dem Ziel, den Verfüllungsgrad und allfällige Ablösungen der Hüllrohre vom Zementstein akustisch zu prüfen. Ausserdem wurden die Hüllrohre visuell auf mögliche weitere Risse und Beschädigungen kontrolliert.

Die oberen Seilverankerungen am Pylonkopf waren vollständig einbetoniert und daher nicht inspizierbar (Abb. II.5 und Abb. II.6). Die unteren Verankerungen befanden sich in offenen Nischen unterseitig am Brückentrog, welche nicht zugänglich waren. Mittels eines Spiegels konnten die TFB-Ingenieure sie jedoch vom Überbau aus betrachten und fotografieren (Abb. II.7 und Abb. II.8).



Abb. II.5 Verankerungen am Pylonkopf [A].



Abb. II.6 Verankerungen am Pylonkopf [A].

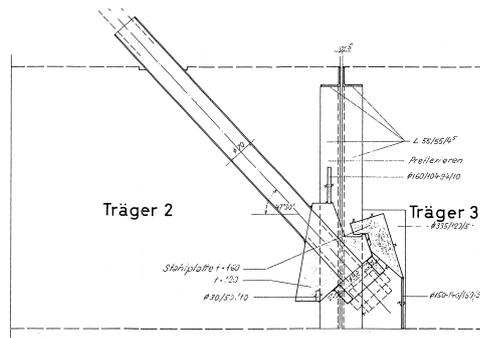


Abb. II.7 Untere Verankerung am Brückenträger der Schrägseile 2 und 5 [A].



Abb. II.8 Untere Verankerung eines der Schrägseile [A].

Die sorgfältig durchgeführte Zustandsuntersuchung bestätigte die vermuteten Schäden und Mängel an den sechs Schrägseilen. Die wesentlichen Resultate und die Beurteilung sind im Schlussbericht umfassend dargestellt [A].

Die Firma Stahlton AG öffnete am Schrägseil 5 in den drei festgestellten Rissebereichen das Kunststoffhüllrohr. Am Seil 6 wurde in der Nähe des Pylonkopfs eine vierte Sondieröffnung gemacht. Dort war kein Riss im Hüllrohr vorhanden, aber verschiedene Indizien deuteten darauf hin, dass auf einigen Metern kein Zementstein vorhanden sein könnte.

Die nachfolgenden Abbildungen Abb. II.9 bis Abb. II.16 zeigen die angetroffenen Mängel und Schäden.

• **Seil 5, Sondieröffnung 1:**



Abb. II.9 Riss des Hüllrohrs in der Nähe der Brückenbrüstung [A].



Abb. II.10 Geöffnetes Hüllrohr, Zementstein mit Fehlstellen [A].

Befund:

- Klaffender Riss, ca. 12 cm lang und 2 mm breit
- Fehlstellen im Füllgut; vermutlich als Folge von ausgetrockneten Wasserlinsen
- Ausser einem kleinen Rostfleck keine Korrosion an den sichtbaren Drähten (KG 0)

• **Seil 5, Sondieröffnung 2:**



Abb. II.11 Geöffnetes Hüllrohr, 4.90 m oberhalb der Brüstung [A].



Abb. II.12 Stark korrodierte Drähte, bei den oberen drei Drähten wurde die lose Rostschicht entfernt [A].

Befund:

- Klaffender Riss, ca. 15 cm lang und 3 mm breit
- Hohlraum im Füllgut in Position 12- bis 2-Uhr-Lage, ca. 60 cm lang, ca. 1.4 cm breit und 0.9 – 1.5 cm tief
- Füllgut teils hart, teils feucht und weich
- Korrosionsgrad KG 3+, Narbentiefen 0.5 bis 0.6 mm

• **Seil 5, Sondieröffnung 3:**



Abb. II.13 Riss im Hüllrohr mit Aussintierung, 1.80 m oberhalb der Brüstung [A].



Abb. II.14 mittleren Bereich zerbröckeltes Füllgut, zwei Spanndrähte auf ca. 6 cm Länge korrodiert, daneben frei von Korrosion [A].

Befund:

- Klaffender Riss, ca. 13 cm lang und 3 mm breit, mit Aussintierungsspur auf dem Hüllrohr
- Füllgut im mittleren Bereich der Sondieröffnung durchfeuchtet und zerbröckelt, daneben glatt, weiss und hart; Längshohlraum (Rinne) von ca. 15 mm Breite
- Korrosionsgrad der zwei freiliegenden Drähte auf ca. 6 cm Länge ist KG 2

• **Seil 6, Sondieröffnung 4:**



Abb. II.15 Ausschneiden des HDPE-Hüllrohrs ca. 60 cm unterhalb des Pylonkopfs [A].



Abb. II.16 Einblick in die Sondieröffnung ohne Füllgut und mit 21 korrodierten Drähten; auf einzelnen Drähten zeigt sich eine dünne Schicht von zementösem Füllgut [A].

Befund:

- Hüllrohr ungerissen, beim Klopfen hohl tönend
- Hohlraum auf ca. 3.50 m Länge vom Pylonkopf her
- Drähte teilweise mit zementöser Beschichtung, was darauf schliessen lässt, dass Seil 6 bis zur oberen Verankerung injiziert wurde, bevor das Füllgut dann teilweise auslief
- Leichte Flächenkorrosion mit Oberflächennarben geringer Tiefe; die unten liegenden Drähte sind etwas stärker korrodiert.

Für die Beurteilung der Übergangszone zwischen den Schrägseilen und dem Pylonkopf ist kurz auf die Art der Konstruktion und den Einbau einzugehen. In [A] steht dazu Folgendes:

- Die Verankerungs-Stahlrohre (Trompeten) \varnothing 80 bzw. 100 mm der 6 Schrägseile wurden vor dem Einbetonieren in der entsprechenden Position und auf einem Stahlbock abgestützt zusammengeschweisst und in die Schalung der obersten Betonieretappe montiert. Der Einbau der ungespannten Schrägseile inklusive deren Verankerung erfolgte ebenfalls vor dem Betonieren, so dass keine Ankernischen (Ausparungen) erforderlich waren.
- Die einbetonierten Verankerungen BBRV Typ C 130 und C 70 werden durch die ausreichend gute Betonüberdeckung dauerhaft geschützt. Am Pylonkopf sind keine Risse zu beobachten und die intakten und dichten Betonoberflächen deuten auf eine gute Betonqualität hin.
- Die Übergänge vom Kunststoff- in das Stahlrohr wurden mittels Mörtelverfüllung zwischen Stahlrohr und HDPE-Hüllrohr gegen äussere Einwirkungen abgedichtet. Teilweise sind Ablösungen des Mörtels vom Kunststoffhüllrohr (Ringspalt) sowie Mörtelaustritte an der äusseren Front sichtbar.

Es ist bekannt, dass beim Injizieren mit zementösem Füllgut die Hochpunkte Schwachstellen darstellen. In der Zementsuspension ist einerseits Überschusswasser vorhanden, das sich nach Abschluss des Injektionsvorgangs oben ansammelt und in der Folge vom abgebundenen Füllgut wieder absorbiert wird, und andererseits sind im Füllgut auch Luftbläschen vorhanden, welche ebenfalls teilweise nach oben steigen. Durch diese Phänomene entstehen an Hochpunkten kleinere oder grössere Hohlräume.

Erkennt man diese nicht und füllt man sie mittels einer Nachinjektion nicht auf, so fehlt an diesen Hochpunkten der zementöse Korrosionsschutz und es entsteht eine gravierende Schwachstelle. Kommt es zu einem Luft-, Feuchtigkeits- und Wasserzutritt durch das gewählte Schutzsystem, so treten früher oder später Korrosionsschäden am Spannstahl auf.

Die TFB hält zum gewählten Konstruktionsdetail Folgendes fest:

- *Problematisch sind die Übergänge vom Kunststoff- in das Stahlrohr. Die Mörtelverfüllung zwischen Stahlrohr und HDPE-Hüllrohr ermöglicht keinen luftdichten Abschluss gegen Aussen zum Ende des Hüllrohres im Stahlrohrinnern, sind doch teils Ablösungen des Mörtels vom Kunststoffhüllrohr, Ringspalte und Mörtelausbrüche an der äusseren Front sichtbar.*

Die Abb. II.17 und Abb. II.18 zeigen den ungenügend geschützten Eintritt des Kunststoffhüllrohrs in das Ausparungsrohr und die wenig zweckmässige Dichtung mittels Mörtelverfüllung. Ausserdem zeigen die Bilder die in der Praxis oft feststellbaren Toleranzprobleme (Aussermittigkeit des Schrägseils beim Eintritt).



Abb. II.17 Eintritt des Schrägseils 3 in den Pylonkopf [A].



Abb. II.18 Eintritt des Schrägseils 5 in den Pylonkopf [A].

In der abschliessenden Beurteilung kam die TFB zum Schluss, dass die vorgefundenen Probleme erheblich sind. Da die Spannstahlkorrosion in einzelnen Bereichen bereits stark fortgeschritten war und zudem die Dauerhaftigkeit durch mögliche Instandsetzungsmassnahmen nicht zweifelsfrei verbessert würde, empfahl die TFB dem Bauherrn, die Seile innert nützlicher Frist zu ersetzen. Der Ersatz der Seile wurde auf den Herbst 2007 geplant.

II.4 Schadenereignis

Am Freitag, den 22.06.07, um ca. 20.00 Uhr versagte am Birkkopfsteig das Seil 5. Der Bruch geschah schlagartig, begleitet von einem lauten Knall und einer Erschütterung des Stegs. Passanten informierten die Polizei. Das TBA Basel-Stadt wies die Polizei an, die Brücke sofort zu sperren. Gegen 21.00 Uhr fand bereits die erste Krisensitzung statt.

Glücklicherweise verursachte das Seilversagen (Abb. II.19) keinen Personenschaden oder Brückeneinsturz. Das Tragwerk verformte sich zwar stark, es fand aber ein neues Gleichgewicht (Abb. II.20).



Abb. II.19 Pylonkopf mit gerissenem Seil 5 [D].



Abb. II.20 Verformter Überbau [D].

Aufgrund des hohen Wasserstands der Birs war der Einbau einer sofort sichernden Abstützung nicht möglich. Deshalb wurde entschieden, die Stegelemente raschmöglichst zu demontieren. Obwohl der Rückbau rasch auszuführen war, musste er sorgfältig geplant werden (Abb. II.21 und Abb. II.22). Die Demontage war am 26.06.07 beendet.



Abb. II.21 Demontage der Trogelemente [D]. Abb. II.22 Demontage der Trogelemente [D].

In der Folge beauftragte das TBA Basel-Stadt die Abteilung Korrosion und Werkstoffintegrität der Empa mit der Untersuchung vorerst der Bruchstelle am Seil 5. Ein ca. 2 m langer Seilabschnitt wurde abgetrennt und an die Empa geliefert.

Der Bauherr entschied später, alle sechs Schrägseile zu demontieren und deren Zustand eingehend zu untersuchen. Die Resultate sind in [C] umfassend dargestellt; nachfolgend wird auf einzelne darin enthaltene Feststellungen eingegangen.

Die Abb. II.23 zeigt schematisch die Verhältnisse des Seils 5 im Bereich des Pylonkopfs mit den Bruchabschnitten 1 (primärer Bruch) und 2.

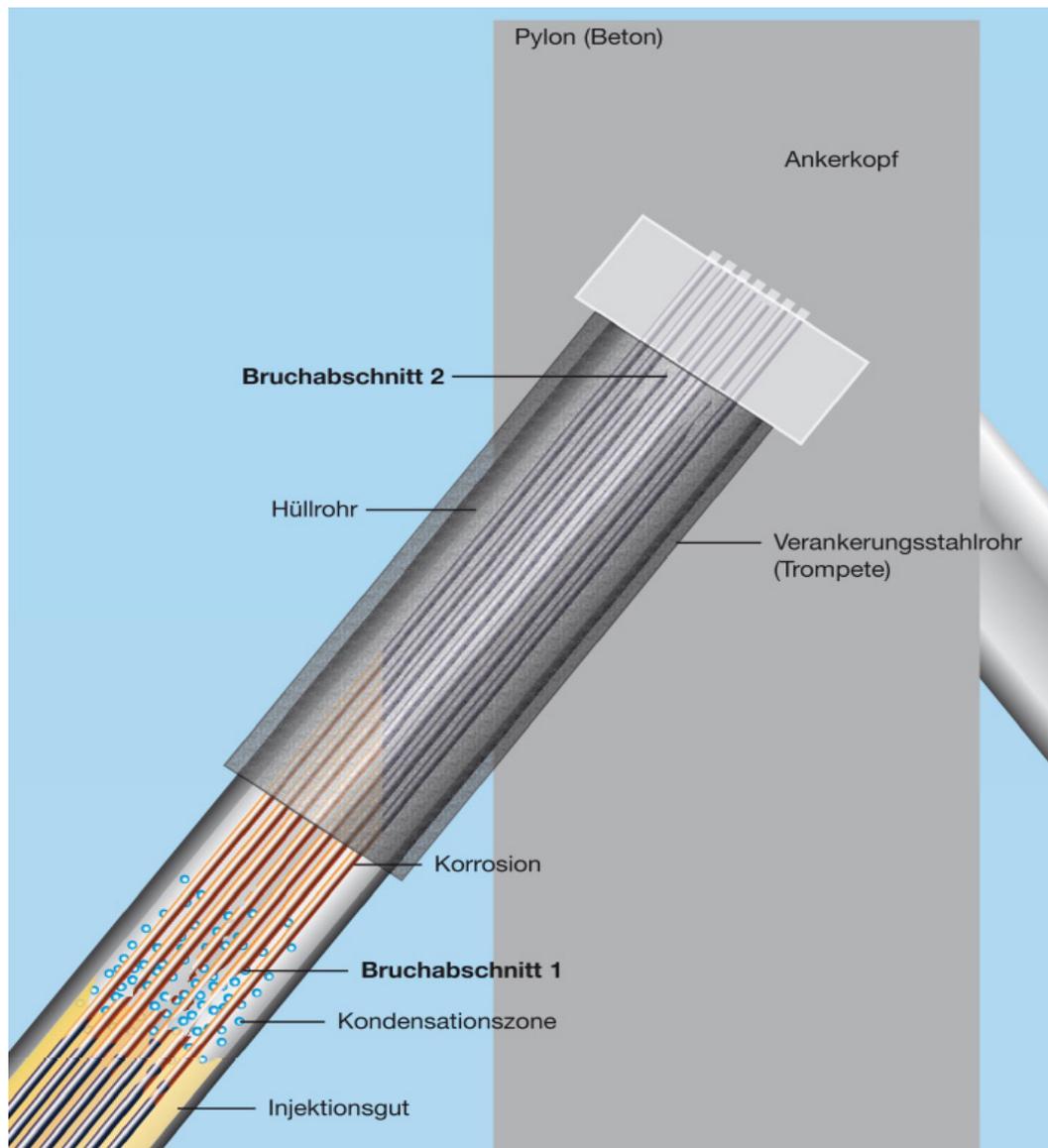


Abb. II.23 Schematische Darstellung von Seil 5 in den Bruchabschnitten 1 und 2 [C].

Zur Untersuchung der zwei Bruchabschnitte des von Seil 5 entnommenen Seilstücks steht in [C] Folgendes:

Der visuelle Befund am entnommenen Schrägseilabschnitt hat gezeigt, dass das Hüllrohr des Schrägseils nur unvollständig verfüllt war. Im Übergangsbereich von Injektionsgut zum unverfüllten Hohlraum zeigt sich an 6 Drähten ein deutlicher und an 7 Drähten ein extrem starker korrosionsbedingter Materialabtrag bis zum totalen Querschnittsverlust der Drähte.

Die in diesem Übergangsbereich bei Bruchabschnitt 1 leicht korrodierten, aber noch intakten 6 Drähte sind im Bruchabschnitt 2, im nicht näher definierbaren Bereich des Spannkopfes, gebrochen. Sie zeigen die für einen Gewaltbruch typischen fraktographischen Merkmale.

Im Injektionsgut und in den Ablagerungen resp. Korrosionsprodukten konnten keine bemerkenswerten, korrosionsfördernden Agenzien nachgewiesen werden.

Die fraktographische Untersuchung hat gezeigt, dass es sich bei den zuletzt gebrochenen Drähten im Bereich des Spannkopfes um Gewaltbrüche handelt.

Der Zugversuch an intakten Drahtabschnitten und an einem leicht korrodierten Drahtabschnitt zeigt eine bereits verminderte Zugfestigkeit und Dehnung des korrodierten Drahtes.

Die Abb. II.24 und Abb. II.25 zeigen die entnommenen Drähte mit den Bruchabschnitten 1 (primärer Bruch) und 2.

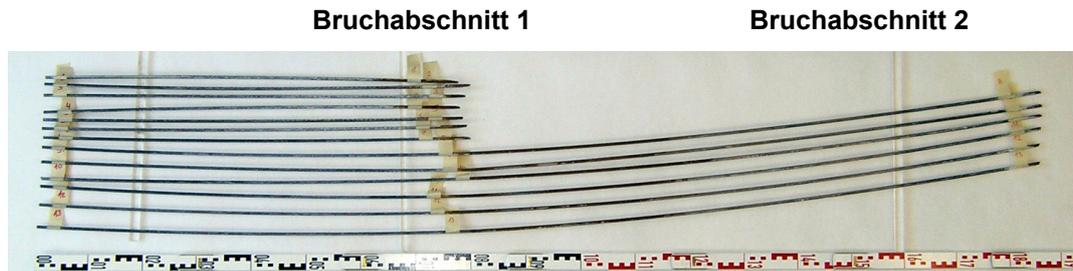


Abb. II.24 Die 13 dem Seil 5 entnommenen Drähte mit ihren Bruchabschnitten 1 und 2 [C]. (Die Lage des Pylonkopfs wäre auf der rechten Bildseite)



Abb. II.25 Bruchabschnitt 1 (primärer Bruch) mit geöffnetem Hüllrohr und Ende des mit zementösem Füllgut injizierten Bereichs [C]. (Die Lage des Pylonkopfs wäre auf der rechten Bildseite)

Die Empa interpretierte die Untersuchungsergebnisse wie folgt [C]:

Im vorliegenden Fall muss davon ausgegangen werden, dass es durch die unvollständige Verfüllung des Hüllrohres mit dem Injektionsgut zu Kondensatbildung an den Drähten im Hohlraum des Schrägseiles kommen konnte. Durch die klimatisch bedingten Zyklen (bei Erwärmung der Seile durch Sonneneinstrahlung und Kondensation in der Abkühlungsphase) und die wasserspeichernde, mehlig Konsistenz des Füllgutes im Übergang zum unverfüllten Bereich im Hüllrohr wurde der Korrosionsangriff durch Feuchtigkeit oder Nässe und Sauerstoff an den Drähten zusätzlich begünstigt.

Wie der Zustand und der Zugversuch der aus dem intakten Mörtelbett im Hüllrohr entnommenen Drähte zeigt, ist der hier vorliegende Eisenwerkstoff der Drähte im Umfeld des immer noch alkalischen Injektionsgutes (Zementmörtel) vor Korrosion geschützt.

Nach dem korrosionsbedingten Materialabtrag, welcher zum Verlust der Festigkeit von 7 Drähten im Bereich des Bruchabschnittes 1 geführt hatte, kam es in der Folge zu einem Versagen der restlichen 6 Drähte im Bruchabschnitt 2.

Ursächlich für das Versagen des Seiles ist somit die unvollständige Verfüllung des Schrägseiles mit Injektionsgut.

Der restliche Abschnitt von Seil 5 und die Seile 1 bis 4 und 6 wurden vor Ort in 3 bis 6 m lange Abschnitte zerlegt (Abb. II.26) und dann ins Werk Frick der Stahlton AG transportiert. Bis zur Sezierung und Untersuchung wurden sie dort witterungsgeschützt gelagert.

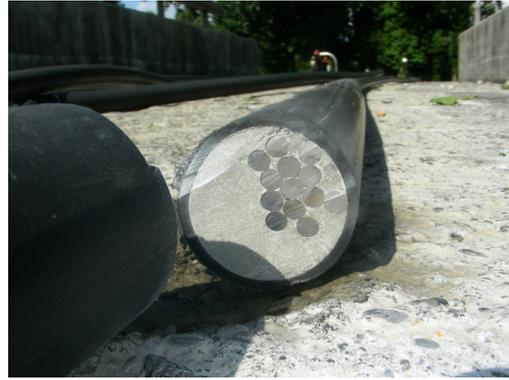


Abb. II.26 Verschiedene Seilabschnitte mit gut erkennbarem Verfüllungsgrad [C].

Die Abb. II.27 bis Abb. II.30 zeigen diverse Phasen der Sezierung der Seile:



Abb. II.27 Ausgelegte und zerlegte Seilabschnitte.



Abb. II.28 Seilabschnitt mit intaktem Zementstein.



Abb. II.29 Stark korrodierte Drahtabschnitte.



Abb. II.30 Seilabschnitt ohne Füllgut.

Die Abb. II.31 zeigt alle 6 Seile mit den festgestellten Mängeln und Schäden:

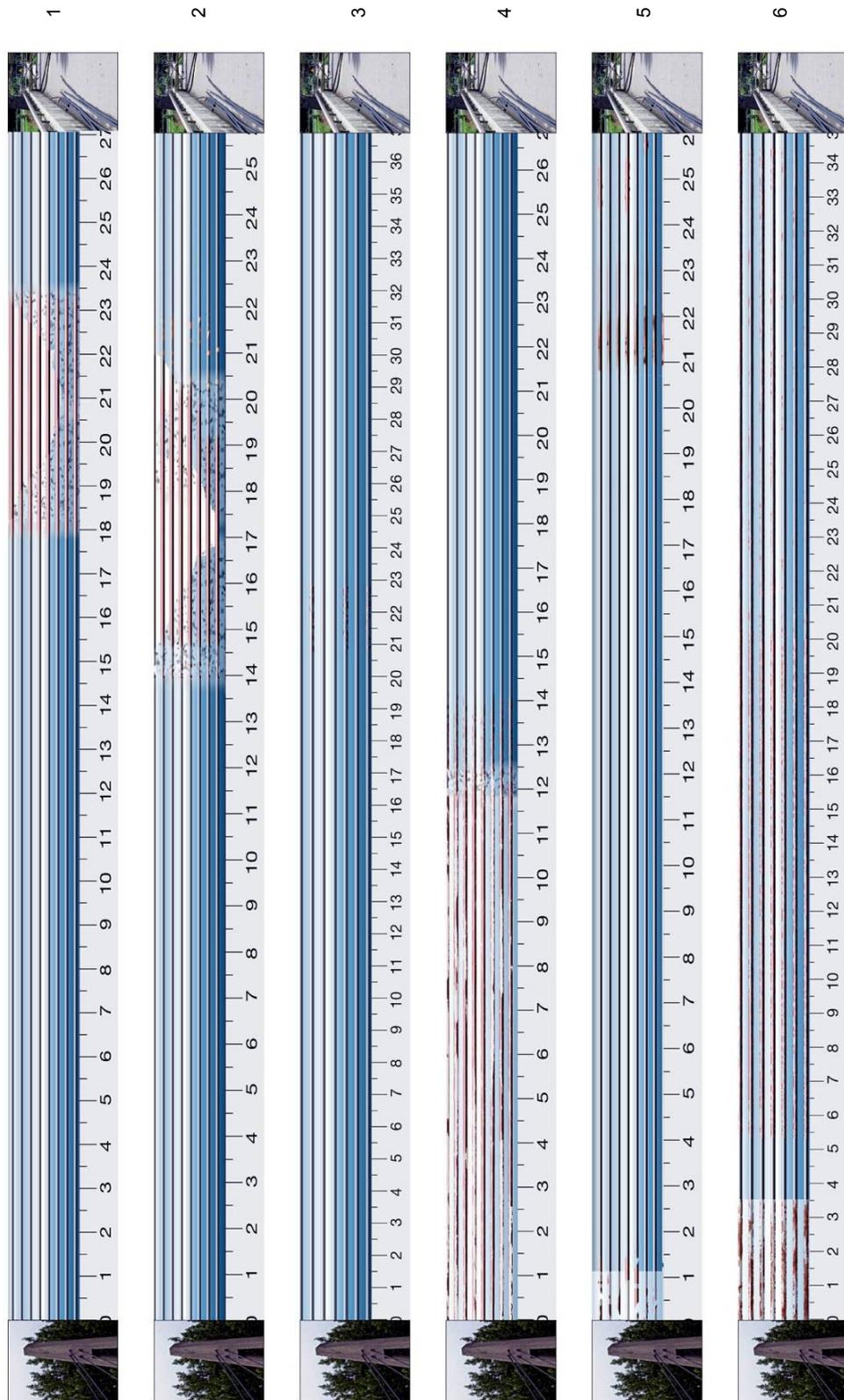


Abb. II.31 Schematische Darstellung der Schrägseile 1 bis 6 mit festgestellten Füllgrad und Korrosionserscheinungen [C].

Wie die Untersuchung ergab, war nur beim Seil 3 ursprünglich ein vollständiges Verfüllen mit Zement und damit ein sicherer Korrosionsschutz der Spanndrähte erzielt worden. Bei den Seilen 4, 5 und 6 wurden an den Hochpunkten grosse Hohlräume festgestellt. Hohlräume an Hochpunkten entstehen, indem das in der Zementsuspension vorhandene Überschusswasser (damals wurde für bessere Fließfähigkeit ein W/Z-Faktor von ca. 0.40 verwendet; zum Abbinden des Zements braucht es aber nur einen Wert von ca. 0.27) nach dem Injizieren nach oben steigt und sich über dem Zement ansammelt. In der Folge kann dieses Wasser durch die Verankerung verdunsten. Ein Teil des Wassers wird auch in den Zementstein absorbiert. Bemerkte man diese Hohlräume nicht, indem man eine Nachkontrolle und Nachinjektion vornimmt, so verbleiben sie im Seil und stellen eine Schwachstelle dar. Dieser Vorgang erklärt aber nicht die grossen Hohlräume, die beim Zerlegen gefunden wurden. Es ist zu vermuten, dass an den unteren Verankerungen nach dem Ende des Injektionsvorgangs Füllgut ausgetreten und unbemerkt in die Birs gelangt ist.

Wie in den Seilen 1 und 2 die unsystematischen Hohlräume im Längsverlauf der Seile entstanden sind, ist schwierig zu erklären. Darüber soll hier nicht spekuliert werden. Wichtig ist aber die Feststellung, dass es auch in diesen unverfüllten oder teilverfüllten Abschnitten zu gravierender Korrosion der Spanndrähte gekommen ist.

III Verzeichnis der Brücken mit Schrägseilen und Hängern in der Schweiz

III.1 Hinweise zu Teil 1: Schrägseilbrücken

Im Verzeichnis sind diejenigen Schrägseilbrücken aufgeführt, welche aufgrund einer Recherche in den Datenbanken des ASTRA, der verschiedenen kantonalen und kommunalen Tiefbauämtern, der Lieferfirmen sowie der Literatur entnommen werden konnten. Es besteht jedoch keine Gewähr, dass alle Schweizer Schrägseilbrücken erfasst wurden. Da die einzelnen Angaben im Rahmen dieser Recherche nicht im Detail auf ihre Richtigkeit hin überprüft werden konnten, sind Unstimmigkeiten nicht auszuschliessen.

Im Sinne einer Abgrenzung sind insbesondere Schrägseilbrücken in Holzbauweise (in der Regel sind dies Fussgängerbrücken) nur beispielhaft aufgeführt. Ebenfalls nicht erfasst wurden Hängebrücken.

III.2 Hinweise zu Teil 2: Bogenbrücken mit Hängern

Die Hängerseile von Bogenbrücken sind in der Regel nicht vorgespannte Zugglieder. Ihr Verhalten ist jedoch in vielerlei Hinsicht ähnlich demjenigen von Schrägseilen. Das Verzeichnis enthält beispielhaft sechs Objekte mit unterschiedlichen Typen von Hängern.

Verzeichnis der Brücken mit Schrägseilen und Hängern in der Schweiz

Teil 1: Schrägseilbrücken

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
1	108	Birskopfsteig <ul style="list-style-type: none"> • Binningen / Basel • TBA Basel • Fussgänger 		1962	Paralleldrahtseile, Typ BBRV, total 6 Seile: Seile à 13 bis 40 Drähte Ø 6 mm, profiliert, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Wegen Korrosionsbruch eines Schrägseils am 22.06.2007 ist die Brücke funktionsuntüchtig und wird ersetzt.
2	02 F/S 02, Mythenquai	Fussgängerbrücke Honrainweg über Mythenquai <ul style="list-style-type: none"> • Zürich, Kt. ZH • Stadt Zürich • Fussgänger 		1964	Seile Ancon Duplex aus Einzelstäben, total 14 Seile: Stäbe Ø 30 mm, glatt, Werkstoff Nr. 1.4462, Lieferfirma: Ancon (Schweiz) AG, 3216 Ried b. Kerzers Diese Seile wurden 2009 eingebaut.	Die Seile (Stäbe) mussten bereits zweimal, in den Jahren 1993 und 2009, infolge Korrosionsschäden ersetzt werden.
3	—, A1	Restaurantbrücke über die A1 <ul style="list-style-type: none"> • Würenlos, Kt. AG • Mövenpick Gastronomie AG (ASTRA/F3) • Gebäudebrücke über die A1 		1972	1972: Paralleldrahtseile, Typ BBRV, total 16 Seile: Seile à 77 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement ; ausser im Pylonbereich, dort Teerepoxydharz zur nachträglichen Verfüllung von Hohlräumen Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Wegen Korrosionsschäden mussten 1998 alle Seile ersetzt werden.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
		Restaurantbrücke über die A1 <ul style="list-style-type: none"> • Würenlos, Kt. AG • Mövenpick Gastronomie AG (ASTRA/F3) Gebäudebrücke über die A1		1998	1998: Paralleldrahtseile, Typ DINA, total 16 Seile: Seile à 61 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Verankerungen sind elektrisch isoliert (Cevolit-Platte) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
4	—	Reussbrücke Bremgarten <ul style="list-style-type: none"> • Bremgarten, Kt. AG • Abwasserverband Bremgarten – Mutschellen • Fussgänger, Rohrleitungen 		1976	Paralleldrahtseile, Typ BBRV, total 6 Seile: Seile à 52 bis 102 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
5	069-013, A1	Personenüberführung Oberwies <ul style="list-style-type: none"> • Wallisellen, Kt. ZH • ASTRA (F4) • Fussgänger 		1977	Paralleldrahtseile, Typ BBRV, total 8 Seile: Seile à 36 bis 55 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Überprüfung im Jahre 2011.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
6	—	Fussgängerbrücke Liebrüti <ul style="list-style-type: none"> • Kaiseraugst, Kt. AG • Privat • Fussgänger 		1978	Parallellitzenseile VSL, total 5 Seile: Seile à 7, 12, 15 und 33 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	
7	354, A12	PS Avry-devant-Pont <ul style="list-style-type: none"> • Avry-devant-Pont, Kt. FR • ASTRA (F1) • Fussgänger 		1980	Seile Typ DYWIDAG aus Einzelstäben, total 4 Seile: Stäbe Ø 36 mm, St 835/1030 , Gewindestahl (GEWI), Hüllrohre: HDPE (aussen), PVC gewellt (innen) Füllgut: Zement Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	Überprüfung 1997 und Instandsetzung Korrosionsschutz 1998.
8	04105.089, KS 41	Brücke Rhein, Diepoldsau <ul style="list-style-type: none"> • Diepoldsau, Kt. SG • Kt. SG • Strasse 		1985	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 56 Seile: Seile à 37 bis 77 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement , kunststoffvergütet Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Die Seile wurden letztmals in 2007 überprüft.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
9	D9P127-D, A9	Pont sur le Rhône à St. Maurice – Droite <ul style="list-style-type: none"> • St. Maurice, Kt. VD/VS • ASTRA (F2) • Strasse 		1987	Paralleldrahtseile, Typ HiAm, total 10 Seile: Seile à 98 bis 298 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
10	D9P127-G, A9	Pont sur le Rhône à St. Maurice – Gauche <ul style="list-style-type: none"> • St. Maurice, Kt. VD/VS • ASTRA (F2) • Strasse 		1987	Paralleldrahtseile, Typ HiAm total 10 Seile: Seile à 98 bis 298 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
11	P101, A9	Pont sur le Rhône à Chandoline <ul style="list-style-type: none"> • Sion, Kt. VS • ASTRA (F2) • Strasse 		1988	Paralleldrahtseile, Typ HiAm, total 58 Seile: Seile à 85 bis 349 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
12	9BPS001, A9	Passerelle Ballaigues <ul style="list-style-type: none"> • Ballaigues (Vallorbe) Kt. VD • ASTRA (F1) • Fussgänger 		1989	Seile DYWIDAG aus Einzelstäben, Typ GEWI, total 14 Seile: Stäbe à Ø 16 und 20 mm, St 420/500, verzinkt, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	
13	VIA0145, K249	Pont de Lorette <ul style="list-style-type: none"> • St. Ursanne, Kt. Jura • Kt. JU • Strasse 		1992	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 20 Seile: Seile à 78 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Seile à 83 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Seile à 98 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
14	458 380, R502	Pont sur le Rhône à Rides-Leytron <ul style="list-style-type: none"> • Leytron, Kt. VS • Kt. VS • Strasse 		1992	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 36 Seile: Seile à 30 bis 100 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
15	097-008, S-10	Fussgängerbrücke Rümliang (Rumilobrugg) <ul style="list-style-type: none"> • Rümliang, Kt. ZH • Kt. ZH • Fussgänger 		1992	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 8 Seile: Seile à 14 bis 22 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Überprüfung im Jahre 2011.
16	211-001, S-1	Thurbrücke Altikon <ul style="list-style-type: none"> • Altikon, Kt. ZH • Kt. ZH • Strasse 		1994	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 24 Seile: Seile à 70 bis 73 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Verankerungen sind elektrisch isoliert (Cevolit-Platte) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Überprüfung im Jahre 2011.
17	—	Diedensteg <ul style="list-style-type: none"> • Wassen, Kt. UR • Kt. UR • Fussgänger 		1994	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 20 Seile: Seile à 31 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
18	B-8304, NK 127	Fussgängerbrücke Itenhard <ul style="list-style-type: none"> • Bremgarten, Kt. AG • Kt. AG • Fussgänger 		1994	Vollverschlossene Seile, Typ Kabelwerke Brugg, total 8 Seile: Seile mit \varnothing 40 mm, verzinkt, Lieferfirma: Brugg Drahtseil AG, 5242 Birr	
19	—	Brücke Cani <ul style="list-style-type: none"> • Seewis im Prättigau, Kt. GR • Gemeinde Seewis • Alp- und Forststrasse 		1994	Seile, Typ Macalloy 460 aus Einzelstäben, total 20 Seile: Stäbe mit \varnothing 45 bis 86 mm, St 460/610, glatter Stahl (Macalloy), verzinkt, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: AMSAG AG, 7249 Serneus (Stahlbaufirma)	
20	3623, A1	Passerelle Palexpo – Halle 7 <ul style="list-style-type: none"> • Genf, Kt. GE • ASTRA (F1) • Fussgänger 		1995	Parallellitzenseile, Typ AVT: 6 Seile aus je 12 Monolitzen \varnothing 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Monolitzen mit Fettverfüllung; Hohlräume innerhalb der äusseren Hüllrohre unverpresst Lieferfirma: AVT AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	In den Pylonen: Sattelkonstruktion (Stahlrohre \varnothing 108/100.8, feuerverzinkt).

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
21	439, A4	Rheinbrücke Schaffhausen <ul style="list-style-type: none"> Schaffhausen, Kt. SH ASTRA (F4) Strasse 		1995	Paralleldrahtseile, Typ HiAm, total 28 Seile: 4 Seile à 175 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, 4 Seile à 235 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, 2 Seile à 301 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, 2 Seile à 367 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, 16 Seile à 313 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE (rotbraun) Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Typ: Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	LKW-Brand am 17.08.2001
22	A28 161, A28	Sunnibergbrücke <ul style="list-style-type: none"> Serneus, Kt. GR ASTRA (F5) Strasse 		1996	Paralleldrahtseile, Typ DINA, total 148 Seile: Seile à 125 bis 160 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Typ: Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
23	—	Storchenbrücke <ul style="list-style-type: none"> Winterthur, Kt. ZH Stadt Winterthur Strasse 		1996	Paralleldrahtseile, Typ DINA & CFK-Seile, total 24 Seile, davon 2 CFK-Seile: Seile à 130 bis 195 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	CFK-Seile: als Pilotversuch eingebaut.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
24	—	Fussgängerbrücke, Gnosca <ul style="list-style-type: none"> • Gnosca, Arbedo, Kt. TI • CDA Riviera • Fussgänger 		1997	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 24 Seile: Seile à 9 bis 16 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE (weiss) Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
25	S03A, A1	Schrägseilbrücke Worblaufen <ul style="list-style-type: none"> • Worblaufen, Kt. BE • Kt. BE (OIK II) • Fussgänger, Radfahrer 		1997	Vollverschlossene Seile, Typ Pfeifer, total 8 Seile: Seile mit Ø ca. 60 mm, verzinkt, Lieferfirma: Pfeifer GmbH, D-87700 Memmingen	
26	4508-03, K108	Thurbrücke Kradolf – Schönenberg <ul style="list-style-type: none"> • Kradolf, Kt. TG • Kt. TG • Strasse 		1998	Paralleldrahtseile, Typ DIN A, total 16 Seile: Seile à 61 bis 91 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Überprüfung im Jahre 2011 geplant.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
27	BS 30N, A5	Aarebrücke Arch, Nord <ul style="list-style-type: none"> • Arch, Kt. BE/SO • ASTRA (F3) • Strasse 		2000	Paralleldrahtseile, Typ HiAm, total 24 Seile: Seile à 205 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Typ: Blasol 28781) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
28	BS 30S, A5	Aarebrücke Arch, Süd <ul style="list-style-type: none"> • Arch, Kt. BE/SO • ASTRA (F3) • Strasse 		2000	Paralleldrahtseile, Typ HiAm, total 24 Seile: Seile à 205 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Typ: Blasol 28781) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
29	KA 101360, 103	Pont sur le Rhône à Doré-naz <ul style="list-style-type: none"> • Doré-naz, Kt. VS • Kt. VS • Fuss- und Radweg 		2002	Seile Typ Macalloy 460 aus Einzelstäben, total 16 Seile: Stäbe mit Ø 39 mm, St 460/610, glatter Stahl (Macalloy), verzinkt, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:			Übrige Brücken:	
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Baujahr	Schrägseil-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
30	1301-35, 386	Fussgängerüberführung Bennauer Steg <ul style="list-style-type: none"> • Bennau, Kt. SZ • Kt. SZ • Fussgänger 		2004	Seile Typ ASDO (Anker Schröder, Dortmund), total 12 Seile: Einzelstäbe \varnothing 52 und 90 mm, St S460N, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Korrosionsschutz: Beschichtung aus Zinkphosphat und Eisenglimmer Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	
31	—	Passarelle sur le Rhône à Illarsaz <ul style="list-style-type: none"> • Illarsaz, Kt. VD • Kt. VD • Fussgänger 		2004	Parallellitzenseile, Typ Freyssinet, total 16 Seile: 12 Seile à 4 Monolitzen T15S und 4 Seile à 7 Monolitzen T15S, alle verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Monolitzen mit Wachsverfüllung; Hohlräume innerhalb der äusseren Hüllrohre unverpresst Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
32	105-RN011, H182	Brücke La Poya <ul style="list-style-type: none"> • Freiburg, Kt. FR • Kt. FR • Strasse 		2011/ 2012	Parallellitzenseile, Typ Freyssinet HDE 2000 RAH, total 56 Seile: Seile à 31, 37 und 55 Monolitzen \varnothing 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE mit spiralförmiger Oberflächenprofilierung Füllgut: Monolitzen mit Wachsverfüllung; Hohlräume innerhalb der äusseren Hüllrohre unverpresst Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Im Bau; Einbau der Schrägseile ab 2012.

Teil 2: Bogenbrücken mit Hängern

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr./ Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Bau- jahr	Hänger-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
101	1.611.10	Pont sur le Rhône à Lavey <ul style="list-style-type: none"> • Lavey, Kt. VD • Kt. VD • Strasse 		1983	Hänger aus Stäben, Typ Baustahl, total 16 Hänger: Stäbe Ø 40 mm, Fe E355, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Korrosionsschutz: Beschichtung in 3 Lagen Lieferfirma: Zwahlen & Mayr SA, 1860 Aigle (Stahlbaufirma)	
102		Überführung Forsthaus Grauholz <ul style="list-style-type: none"> • Bolligen, Kt. BE • ASTRA (F2) • Strasse 		1993	Hänger aus Stäben, Typ Baustahl, total 24 Hänger: Stäbe Ø 40 mm, FeE 355D, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Korrosionsschutz: Beschichtung aus Zinkphosphat und Eisenglimmer Lieferfirma: Seiler AG, 3806 Bönigen (Stahlbaufirma)	
103	105, A28	Landquartbrücke Au <ul style="list-style-type: none"> • Landquart, Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1994	Hänger aus Parallellitenseilen, Typ VSL, total 26 Hänger: Seile aus je 12 Monolitzen Ø 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr./ Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Bau- jahr	Hänger-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
104	30214, 252.2	Aarebrücke Arch <ul style="list-style-type: none"> • Arch, Kt. BE • Kt. BE • Strasse 		1997	Hänger aus vollverschlossenen Seilen, Typ Pfeifer, total 60 Seile: Seile mit $\varnothing 40$ mm, $f_{tk} = 1570\text{N/mm}^2$, Drähte galvanbeschichtet, Seil beschichtet mit Zinkphosphat und Eisenglimmer, Lieferfirma: Pfeifer GmbH, D-87700 Memmingen	
105	KA 101325	Friedaubrücke Chur <ul style="list-style-type: none"> • Chur, Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		2002	Hänger aus Stäben, Typ Macalloy 460, total 22 Hänger: Stäbe $\varnothing 72$ mm mit Duplex-Beschichtung Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
106	KA 102957	Ponte sul fiume Verzasca a Tenero <ul style="list-style-type: none"> • Tenero, Kt. TI • Kt. TI • Fuss- und Radweg 		2004	Hänger aus Stäben, Typ Macalloy 460, total 40 Hänger: Stäbe $\varnothing 22$ und 28 mm mit Duplex-Beschichtung Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

IV Verzeichnis der Brücken mit externen Spanngliedern in der Schweiz

IV.1 Hinweise zu Teil 1: Längs- oder Querspannglieder

Im Verzeichnis sind diejenigen Brücken mit externen Spanngliedern aufgeführt, welche aufgrund einer Recherche den Datenbanken des ASTRA, verschiedener Tiefbauämter von Kantonen und Gemeinden, von Lieferfirmen und der Literatur entnommen werden konnten. Es besteht jedoch keine Gewähr, dass damit alle Schweizer Brücken mit externen Spanngliedern erfasst wurden. Da die einzelnen Angaben im Rahmen dieser Recherche nicht im Detail auf ihre Richtigkeit überprüft werden konnten, sind Unstimmigkeiten nicht auszuschliessen.

Im Sinne einer Abgrenzung sind folgende Zugglied- und Brückentypen nicht berücksichtigt:

- Vorgespannte Betonzuglieder (wie beispielsweise bei der Ganterbrücke)
- Trogbrücken im Freivorbau (wie beispielsweise Riddes und Solothurn-West)
- Spannbandbrücken
- Unterspannte Balkenbrücken (wie beispielsweise die Brennobrücke bei Loderio oder die Flaz Brücken bei Samedan)
- V-Stielbrücken mit vorgespannten Betonzugliedern im Boden.

IV.2 Hinweise zu Teil 2: Spannglieder zur Schubverstärkung

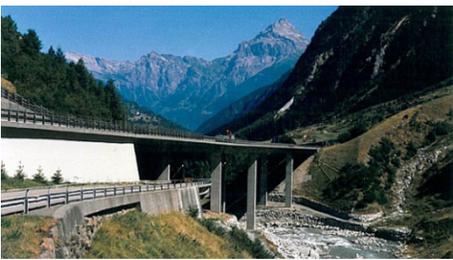
Das Verzeichnis enthält beispielhaft fünf Objekte mit Spanngliedern zur Schubverstärkung von Stegen mit unterschiedlicher Ausbildung.

Verzeichnis der Brücken mit externen Spanngliedern in der Schweiz

Teil 1: Längs- und Querspannglieder

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
1	092-001, Bülacher- Strasse S-2	Glattbrücke Oberglatt <ul style="list-style-type: none"> • Oberglatt, Kt. ZH • Kt. ZH • Strasse 		1949/50, Ver- stärkung 1953	Drahtspannglieder Typ BBRV: Spannglieder à 12 Drähte Ø 6 mm, blank, Hüllrohre: Stahlrohre Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Überprüfung in 2005; Verbes- serung des Korro- sionsschutzes in 2007.
2	A1-520, A1	Brücke über die Limmat <ul style="list-style-type: none"> • Killwangen, Kt. AG • ASTRA (F3) • Strasse 		1967/70	Drahtspannglieder Typ PZ: 16 Spannglieder à je 55 Drähte Ø 6 mm, 8 Spannglieder à je 55 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: Gewellte Stahlhüllrohre (einbetoniert) Füllgut: Zement Lieferfirma: Element AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	Neubau: Die Spannglieder sind ausserhalb der Stege in poly- gonartig geführ- ten, prismatischen Betonquerschnit- ten angeordnet.
3	A1318	Überführung Anschluss Oberriet <ul style="list-style-type: none"> • Oberriet, Kt. SG • ASTRA (F4) • Strasse 		1970 (1962)	Drahtspannglieder Typ BBRV BD 1400/2350: 6 Spannglieder à 42 bis 53 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: Stahlrohre Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
4	06900.722, KS Oberriet-Feldkirch	Brücke über Rheintaler Binnenkanal (RBK) und SBB (Kantonsstrasse Oberriet-Feldkirch) <ul style="list-style-type: none"> • Oberriet, Kt. SG • Kt. SG • Strasse 		1970 (1962)	Drahtspannglieder Typ BBRV BD 1000/1900: 4 Spannglieder à 30 bis 55 Drähte Ø 6 mm, blank, Hüllrohre: Stahlrohre Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
5	A27 014, H27	Innbrücke St. Moritz Bad I + II <ul style="list-style-type: none"> • St. Moritz, Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		1974 (1972)	Litzenspannglieder Typ VSL: 4 Spannglieder à 22 Litzen Ø 12.9 mm, blank, Hüllrohre: Stahl, verzinkt Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	Brücke Oberstrom
6	A13-192, A13	Hinterrheinbrücke Sils <ul style="list-style-type: none"> • Sils i.D., Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1983 (1982)	Litzenspannglieder Typ CCL 19-06: 2 Spannglieder à je 19 Litzen Ø 15.5 mm, $A_p = 146 \text{ mm}^2$, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Element AG, 1712 Tifers (heute Stahlton-avt AG)	Externe Spannglieder nur im Feld P3/P4 mit 80 m Spannweite.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
7	—	Schöniseibrücke <ul style="list-style-type: none"> • Sörenberg, Kt. LU • Gemeinde Sörenberg • Strasse 		1986 (1966)	Drahtspannglieder Typ BBRV BD 1400: 4 Spannglieder à 31 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
8	630.400, Strasse Preonzo- Claro	Viadotto Preonzo-Claro <ul style="list-style-type: none"> • Claro, Kt. TI • ASTRA (F5) • Strasse 		1988/89	Drahtspannglieder Typ BBRV: 72 Spannglieder à 82 bis 102 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosions- schutzmasse (Typ Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Neubau: Von Anbeginn mit externen Spanngliedern geplant und aus- geführt.
9	52.412, A2	Reussbrücke Wassen <ul style="list-style-type: none"> • Wassen, Kt. UR • ASTRA (F3) • Strasse 		1988	Drahtspannglieder Typ BBRV Bkb B 2350: 4 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosions- schutzmasse (Typ Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
10	A13-62L, A13	Rheinbrücke Bad Ragaz I <ul style="list-style-type: none"> • Bad Ragaz, Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1990	Drahtspannglieder Typ BBRV MM 2350: 4 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
11	—, Bisisthaler- strasse	Zwingsbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Bisisthal, Kt. SZ • Gemeinde Muotatal • Strasse 		1990 (1987)	Drahtspannglieder Typ BBRV AD 1000: 2 Spannglieder à 22 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE (Ø 55/48) Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
12	01V171-D, 01V171-G, A1	Viaducs du Bois de Ros- set <ul style="list-style-type: none"> • Faoug, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		1987/90 Eröffnung: 1996	Litzenspannglieder Typ VSL: 12 Spannglieder à 12 Monolitzen Ø 15.7 mm, Hüllrohre aussen: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	Von Anbeginn mit externen Spanngliedern geplant und aus- geführt.
13	446 304, RC714B	Pont sur le Rhône à Mas- songex <ul style="list-style-type: none"> • Massongex, Kt. VS • Kt. VD • Strasse 		1990/91 (1978/79)	Litzenspannglieder Typ VSL: 8 Spannglieder à je 12 Monolitzen Ø 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
14	A13 21L+R, A13	Brücke WBK L <ul style="list-style-type: none"> • Lienz/Rüti, Kt. SG • ASTRA (F4) • Strasse 		1991/92	Drahtspannglieder Typ BBRV CA 2350: 4 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
15	647.410, P416.1	Ponte sul Brenno di Camadra <ul style="list-style-type: none"> • Ghirone, Kt. TI • Kt. TI • Strasse 		1992	Drahtspannglieder Typ BBRV: 2 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
16	52.403, A2	Lehnenviadukte Höll <ul style="list-style-type: none"> • Silenen, Kt. UR • ASTRA (F3) • Strasse 		1992/93	Litzenspannglieder Typ VSL: 17 Spannglieder à 8 und 12 Monolitzen Ø 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	
17	41 00 13	Ponte Calancasca-Arvigo <ul style="list-style-type: none"> • Arvigo, Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		1994 (1953)	Drahtspannglieder Typ BBRV ADAD 2350: 2 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Brücke wird 2011 ersetzt.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
18	446 313, R52	Pont sur le Rhône à Bramois <ul style="list-style-type: none"> • Bramois (Sitten), Kt. VS • Kt. VS • Strasse 		1994	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 1400: 4 Spannglieder à 29 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
19	—	Brücke Balm <ul style="list-style-type: none"> • Hinterthal, Kt. SZ • Elektrizitätswerk Bezirk Schwyz (EBS) • Strasse 		1994	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 630: 4 Spannglieder à 14 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
20	—	Waldegg Brücke <ul style="list-style-type: none"> • Burgdorf, Kt. BE • Burgergemeinde Burgdorf • Strasse, Fussgänger 		1995 (1913)	Litzenspannglieder Typ AVT: 4 Spannglieder à 12 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: AVT AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
21	01P044-D 01P044-G, A1	Pont sur l'Aubonne <ul style="list-style-type: none"> Aubonne, Kt. VD ASTRA (F1) Strasse 		1995 (1962)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 16 Spannglieder à 15 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
22	719P3470, RC 719	Pont de la Barboleusaz <ul style="list-style-type: none"> Ollon / Gryon, Kt. VD Kt. VD Strasse 		1995 (1980)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 54 Spannglieder à je eine Monolitze Ø 15.7 mm, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Quervorspannung der Bodenplatte des Hohlkastens.
23	452-25	Chlingenbrücke <ul style="list-style-type: none"> Baar, Kt. ZG Kt. ZG Strasse 		1996	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 2350: 2 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre aussen / innen: Stahlrohre / HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Sonderfall: Neubau als flaches Bogentragwerk mit vorgespannten, externen Zuggliedern.
24	452.24	Schlüsselibrücke <ul style="list-style-type: none"> Baar, Kt. ZG Kt. ZG Strasse 		1996	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 2350: 2 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, verzinkt, Hüllrohre aussen / innen: Stahlrohre / HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Sonderfall: Neubau als flaches Bogentragwerk mit vorgespannten, externen Zuggliedern.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
25	09V092-D 09V092-G, A9	Viaducs de Chillon <ul style="list-style-type: none"> • Montreux, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		1996 (1966/69)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 4 Spannglieder à 25 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
26	A13 139, A13	Hinterrheinbrücke Rüti <ul style="list-style-type: none"> • Splügen, Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1996 (1959)	Litzenspannglieder Typ Dywidag: 4 Spannglieder à 14 Litzen Ø 15.3 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	
27	A13 185	Rongellerbrücke, Rongellen <ul style="list-style-type: none"> • Zillis, Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1997 (1965)	Drahtspannglieder Typ BBRV CD 1400: 2 Spannglieder à 31 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
28	—	Brücke Remisenstrasse <ul style="list-style-type: none"> • Zürich, Kt. ZH • SBB AG • Strasse 		1997	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 630: 4 Spannglieder à 14 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosions- schutzmasse Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
29	A13 179, A13	Kirchlitolbelbrücke, Lohn <ul style="list-style-type: none"> • Thusis, Kt. GR • ASTRA (F5) • Strasse 		1997	Drahtspannglieder Typ BBRV CD 2350: 3 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
30	606.465, PA416	Ponte Ri di Piera <ul style="list-style-type: none"> • Olivone, Kt. TI • Kt. TI • Strasse 		1998 (1965)	Drahtspannglieder Typ BBRV CC 2350: 6 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosions- schutzmasse (Typ Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
31	P0701+ P0701-, A9	Ponts sur le Rhône à Riddes <ul style="list-style-type: none"> • Riddes, Kt. VS • ASTRA (F2) • Strasse 		1998 (1985/87)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 20 Litzen Ø 12.9 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Wachs von ELF) Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
32	12P012, A12	Ponts de Féglise <ul style="list-style-type: none"> • Châtel-St-Denis, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		1998 (1979/81)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 19 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
33	406.425, A 560	Ponte Ri di Verdasio <ul style="list-style-type: none"> • Intragna, Kt. TI • Kt. TI • Strasse 		1998 (1984)	CFK-Spannglieder Typ BBRV-EMPA: 4 Spannglieder à 19 CFK-Drähte Ø 5 mm Hüllrohre: HDPE direkt auf die CFK- Drähte aufgeschumpft Füllgut: keines Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Sonderfall: Erstmaliger Einsatz von CFK- Spanngliedern bei einer Strassen- brücke.
34	A13 1L und 1R, A13	Brücken A13 Rheintaler Binnenkanal <ul style="list-style-type: none"> • St. Margrethen, Kt. SG • ASTRA (F4) • Strasse 		1998/99	Drahtspannglieder Typ BBRV CKa 2350: 16 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Typ Denso-Jet) Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
35	915A, A2	Schwarzwaldbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Basel, Kt. BS • ASTRA (F3) • Strasse 		1998/99 (1970/73)	Litzenspannglieder Typ VSL: 24 Spannglieder à 19 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	
36	A9	Ponts sur la Lutrive <ul style="list-style-type: none"> • Lutry, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		1988 und 1999 (1971/73)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 18 Litzen Ø 15.7 mm in 1988 und 4 Spannglieder à 12 Litzen Ø 15.7 mm in 1999 (nur "pont aval"), blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Erste Verstärkung im Jahre 1988, zweite Verstär- kung im Jahre 1999.
37	B-056, K 420	Reussbrücke Mülligen <ul style="list-style-type: none"> • Mülligen (Birrfeld), Kt. AG • Kt. AG • Strasse 		1999 (1949)	Litzenspannglieder Typ AVT: 2 Spannglieder à 19 Litzen Ø 12.9 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: AVT AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	
38	42007, 10.0 Bern- Luzern	Truebbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Trubschachen, Kt. BE • Kt. BE • Strasse 		2001 (1954)	Litzenspannglieder Typ VSL: 4 Spannglieder à 6 bis 7 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
39	502, A1	Brücke Neuenhof <ul style="list-style-type: none"> • Neuenhof, Kt. AG • ASTRA (F3) • Strasse 		2001/02	Drahtspannglieder Typ BBRV: 42 Spannglieder à 14 bis 31 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
40	0261-33, A3	Rampe 2 zur Sihl- hochstrasse <ul style="list-style-type: none"> • Zürich, Kt. ZH • ASTRA (F4) • Strasse 		2003 (1970/72)	Litzenspannglieder Typ Dywidag: 2 Spannglieder à 14 Litzen Ø 15.3 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	
41	1301-3, 386	Brücke über die Alp <ul style="list-style-type: none"> • Einsiedeln, Kt. SZ • Kt. SZ • Strasse 		2004 (1959)	Litzenspannglieder Typ Dywidag: 8 Spannglieder à 8 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
42	701A 701J, A12	Brücke Richterwil <ul style="list-style-type: none"> • Bösing, Kt. FR • ASTRA (F1) • Strasse 		2002/04 (1972)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 12 Litzen Ø 12.9 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
43	472 302, T9	Illgrabenbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Susten, Kt. VS • Kt. VS • Strasse 		2003/04 (1962)	Stabspannglieder Typ Macalloy 460: 4 Spannglieder Ø 60 mm, St. 460/610, verzinkt, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
44	1053, Kantons- strasse 33, Reute- Berneck	Reutetobelbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Reute, Kt. AR • Kt. AR • Strasse 		2006 (1965)	Drahtspannglieder Typ BBRV: 4 Spannglieder à 52 Drähte Ø 7 mm, Hüllrohr: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
45	14 04 03, 743.00	Rheinbrücke Fläsch <ul style="list-style-type: none"> • Fläsch, Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		2007 (1968)	Drahtspannglieder Typ BBRV: 4 Spannglieder à 31 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohr: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	Externe Spannglieder als Pfeilerkopfverstärkung.
46	44 00 07, 744.00	Zollbrücke Sils i.D. <ul style="list-style-type: none"> • Sils i.D., Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		2007 (1967)	Litzenspannglieder Typ CONA: 4 Spannglieder à 12 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohr: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
47	43 00 23, 414.04	Brücke Reno di Lej <ul style="list-style-type: none"> • Juf (Thusis), Kt. GR • Kt. GR • Strasse 		2007 (1957)	Litzenspannglieder Typ CONA: 2 Spannglieder à 7 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohr: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
48	1136, Kantons- strasse 26, Urnäsch- Schwägalp	Rosshallbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Urnäsch, Kt. AR • Kt. AR • Strasse 		2008 (1956)	Drahtspannglieder Typ BBRV: 4 Spannglieder à 42 Drähte Ø 7 mm, blank, Hüllrohr: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Stahlton AG, 8034 Zürich	
49	12P006, A12	Pont de Cucloz <ul style="list-style-type: none"> • Saint-Légier-La Chiésaz, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		2008 (1979)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 15 Spannglieder à 25 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement, ausser in Nähe Verankerungen, dort Dauer- plastische Korrosions- schutzmasse (Wachs von ELF) Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Ausserdem: Spannglieder zur Schubverstär- kung.
50	12P009, A12	Pont de Saumont <ul style="list-style-type: none"> • Saint-Légier-La Chiésaz, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		2008 (1979)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 19 und 25 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement, ausser in Nähe Verankerungen, dort Dauer- plastische Korrosionsschutz- schutzmasse (Wachs von ELF) Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Ausserdem: Spannglieder zur Schubverstär- kung.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
51	12P007, A12	Pont sur la Denève <ul style="list-style-type: none"> • Saint-Légier-La Chiésaz, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		2008 (1979)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 8 Spannglieder à 19 und 25 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement, ausser in Nähe Verankerungen, dort Dauerplastische Korrosionsschutzmasse (Wachs von ELF) Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	Ausserdem: Spannglieder zur Schubverstärkung.
52	—, RC251a	Pont de ville Vallorbe <ul style="list-style-type: none"> • Vallorbe, Kt. VD • Gemeinde Vallorbe • Strasse 		2008	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 6 Spannglieder à 6 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
53	711P3390, RC 711	Pont sur le canal de fuite <ul style="list-style-type: none"> • Lavey-les-Bains, Kt. VD • Kt. VD • Strasse 		2008 (1947/48)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 2 Spannglieder à 13 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
54	1344-5, Hauptstrasse 390, Lachen-Wangen	Wägitaler Aa-Brücke <ul style="list-style-type: none"> • Lachen, Kt. SZ • Kt. SZ • Strasse 		2009 (1969)	Litzenspannglieder Typ VSL: 2 Spannglieder à 31 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	Ausserdem: Spannglieder zur Schubverstärkung.
55	09P034-D 09P034-G, A9	Ponts sur la Paudèze <ul style="list-style-type: none"> • Belmont-sur-Lausanne, Kt. VD • ASTRA (F1) • Strasse 		2010 (1968/70)	Litzenspannglieder Typ Freyssinet: 12 Spannglieder à 25 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: HDPE Füllgut: Zement Lieferfirma: Freyssinet SA, 1510 Moudon	
56	05 S/S 01	Hardbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Zürich, Kt. ZH • Stadt Zürich • Strasse 		2010/11 (1974)	Litzenspannglieder Typ Dywidag: Grössere Anzahl Spannglieder à 12 Litzen Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: Glatte Rohre HDPE und Rohre Typ PT-Plus Füllgut: Zement Drahtspannglieder Typ BBRV: 12 Spannglieder à 18 bis 52 Drähte Ø 7 mm, blank Lieferfirma: SpannStahl AG, 8340 Hinwil & Stahlton AG, 8034 Zürich	

Teil 2: Spannglieder zur Schubverstärkung

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
101	Z33A, A1	Überführung Z33A über die A1 bei Deitingen <ul style="list-style-type: none"> • Deitingen, Kt. SO • ASTRA (F3) • Strasse 		1996 (1964)	Litzenspannglieder Typ VSL: 168 Spannglieder à 1 Litze Ø 15.7 mm, blank, Hüllrohre: Stahlrohre Füllgut: Zement Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	Vertikale Spannglieder.
102	Z53A, A1	Dünnerbrücke <ul style="list-style-type: none"> • Oensingen, Kt. SO • ASTRA (F3) • Strasse 		1993/96 (1964)	Stabspannglieder Typ Staifix: Grössere Anzahl Spannglieder à 1 Stab Ø 20 mm aus nichtrostendem Stahl, Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: VSL (Schweiz) AG, 4553 Subingen	Vertikale und geneigte Spannglieder.
103	Z55, A1	Überführung Z55 der Kantonsstrasse Oberbuchsiten-Niederbuchsiten über die A1 <ul style="list-style-type: none"> • Niederbuchsiten, Kt. SO • ASTRA (F3) • Strasse 		1993/94 (1964)	Stabspannglieder Typ AVT: 160 Spannglieder à 1 Stab Ø 36 mm, blank, Hüllrohre aussen: Stahl Hüllrohre innen: HDPE Füllgut aussen: Zement Füllgut innen: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: AVT AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	Vertikale Spannglieder.

Brücken ASTRA:		Übrige Brücken, Nationalstrassen überquerend:		Übrige Brücken:		
Nr.	Objekt-Nr., Str.-Nr.	Bauwerksname Ort, Bauherr, Nutzung	Bild	Verstärkung (Baujahr)	Spannglied-Typ / Lieferfirma	Bemerkungen
104	4/12, Gerlafinger- strasse	Emmenbrücke in Biberist <ul style="list-style-type: none"> • Biberist, Kt. SO • Kt. SO • Strasse 		1997 (1956)	Stabspannglieder Typ AVT: 168 Spannglieder à je 2 Stäbe Ø 36 mm, blank, Hüllrohre aussen: Stahl Hüllrohre innen: HDPE Füllgut aussen: Zement Füllgut innen: Dauerplastische Korrosionsschutzmasse Lieferfirma: AVT AG, 1712 Tafers (heute Stahlton-avt AG)	Vertikale Spann- glieder.
105	0261-33, A3	Sihlhochstrasse, Rampen 2 und 3 <ul style="list-style-type: none"> • Zürich, Kt. ZH • ASTRA (F4) • Strasse 		2003 (1970/72)	Stabspannglieder Typ Staifix: Grössere Anzahl Spannglieder à 1 Stab Ø 20 oder 25 mm aus nichtrostendem Stahl (Werkstoff Nr. 1.4429), Hüllrohre: keine Füllgut: keines Lieferfirma: Ancon (Schweiz) AG, 3216 Ried b. Kerzers	Vertikale Spann- glieder.

V Hinweise zur Inspektion von vorgespannten Zuggliedern wie Schrägseile und externe Spannglieder

V.1 Generelle Hinweise

- Die Hinweise basieren auf den Festlegungen in der ASTRA-Richtlinie [20] und den spezifischen Erläuterungen in den Abschnitten 2.6 und 3.6 der vorliegenden Dokumentation. Die Hinweise beziehen sich auf den Regelfall von Stahlzuggliedern, die durch HDPE-Hüllrohre und einem Füllgut geschützt sind.
- Inspektionen dienen dazu, den Zustand durch gezielte, in der Regel visuelle und einfache Untersuchungen festzustellen und zu bewerten. Inspektionen wie auch Beobachtungen und Kontrollmessungen sind gründlich zu planen und sorgfältig durchzuführen. Als Grundlage dienen die Bauwerksakten, insbesondere der Überwachungsplan und die technischen Angaben zu den Zuggliedern (Werkstoffe, Korrosionsschutz, konstruktive Ausbildung usw.). In der anschliessenden Zustandsbeurteilung ist zu berücksichtigen, dass einzelne Bereiche nicht inspizierbar sind.
- Die jährlichen Zwischeninspektionen sind Beobachtungen, die aus grösseren Distanz erfolgen können; Hauptinspektionen sind als Handdistanz-Beobachtungen durchzuführen.
- Wenn durch Schadensindizien angezeigt, können auch besondere Untersuchungsmethoden wie beispielsweise ZfP-Methoden (Zerstörungsfreie Prüfmethoden) eingesetzt werden. Diese Methoden sind jedoch in der Regel noch nicht ausgereift und sollen vorläufig nur im Rahmen von begleiteten Pilotprojekten verwendet werden. Der Einsatz solcher Methoden muss auch verhältnismässig sein.
- Inspektionen von Zuggliedern sind durch qualifizierte Fachpersonen zu planen und durchzuführen. Weisen die Befunde auf Werkstoff- oder Korrosionsprobleme hin, sind entsprechende Experten zuzuziehen.

V.2 Spezifische Hinweise

V.2.1 Zwischeninspektionen

- Visueller Zustand der HDPE-Hüllrohre und deren Verbindungen (Risse und andere mechanische Schäden, Verfärbungen Wasseraustritte usw.)
- Visueller Zustand der Verankerungsbereiche, einschliesslich der Übergangsbereiche sowie der Schutzhauben über den mechanischen Verankerungen (Risse, lose Teile, Verfärbungen, Undichtheiten, Wasserläufe, Verformungen usw.)
- Durchhang der Zugglieder (qualitative Beurteilung)

V.2.2 Hauptinspektionen

- Die ersten zwei Hinweise wie unter 2.1, aber als Handdistanz-Beobachtungen
- Demontage der Schutzhauben und Beurteilung der Verankerungen auf Wasseraustritte, Zustand des Füllguts, des Spannstahls und der Entwässerungsöffnungen
- Zustand der Komponenten beim Austritt der Schrägseile aus den Aussparungsrohren (Dichtmanschetten, Umlenkringe, Dämpfungselemente usw.)
- Durchhang der Zugglieder (quantitative Beurteilung durch Vermessung)
- Lokalisieren von Hohlräumen bei zementösem Füllgut durch Abklopfen (Achtung: Diese Methode kann falsche Resultate liefern, besonders dann, wenn sich der Zementstein vom Hüllrohr abgelöst hat; bei dauerplastischem Füllgut funktioniert die Methode nicht).
- Sondieröffnungen dürfen nur dann durchgeführt werden wenn mit grosser Wahrscheinlichkeit Hohlräume vorliegen und wenn das ASTRA solche Sondieröffnungen bewilligt hat.

VI Bildnachweis

Die Bilder sind in verdankenswerter Weise von folgenden Stellen zur Verfügung gestellt worden:

Advitam SA, Vélizy, FR	Mancini, Giuseppe, Turin, IT
Aegerter & Bosshardt, AG, Basel	Matt, Peter, Ittigen
Alpin Technik und Ingenieurservice GmbH, Leipzig, DE	Menn, Christian, Chur
Bänziger Partner AG, Buchs/Chur	NEDRI Spanstaal BV, Venlo, NL
Baudirektion Uri, Altdorf	Podolny, Walter, Washington, USA
Bezirk Schwyz, Bau- und Gewässer- verwaltung, Schwyz	Repubblica e Cantone Ticino, Dipartimento del territorio, Bellinzona
Bois Consult Natterer SA, Etoy	Stahlton-avt AG, Zürich
Breen, John E., Austin, USA	TFB AG, Wildegg
Bridge Design & Engineering (Journal), London, GB	Tiefbauamt Basel-Stadt, Basel
Bundesamt für Strassen ASTRA inkl. Filialen und Betriebsgesellschaften	Tiefbauamt Kanton Aargau, Aarau
Burdet, Olivier, Lausanne	Tiefbauamt Kanton Ausserrhoden, Herisau
Canton de Vaud, Service des routes, Lausanne	Tiefbauamt Kanton Bern, Bern/Burgdorf
DYWIDAG – Systems International GmbH, München, DE	Tiefbauamt Kanton Freiburg, Freiburg
Empa, Dübendorf	Tiefbauamt Kanton Graubünden, Chur
Etat du Valais, Service des routes et cours d'eau, Sion / Brig	Tiefbauamt Kanton Schaffhausen, Schaffhausen
Faber, Michael H., Zürich	Tiefbauamt Kanton Schwyz, Schwyz
Fehlmann, Nicolas, Ingénieurs Conseils SA, Morges	Tiefbauamt Kanton St. Gallen, St. Gallen
Freyssinet SA, Moudon	Tiefbauamt Kanton Zürich, Zürich
Ganz, Hans-Rudolf, Subingen	Tiefbauamt Kanton Zug, Zug
GVH Tramelan SA, Tramelan	Tiefbauamt Stadt Zürich, Zürich
IBéton, ENAC, EPF, Lausanne	Vollmer, Urs, Zofingen
Maag, Walter, Chur	VSL (Schweiz) AG, Subingen
	Wüst, Paul, Schaffhausen

Literaturverzeichnis

-
- [1] ASTRA-Dokumentation 82016 (2011), "**Gesetzliches und technisches Regelwerk im Bauproduktbereich in Europa und der Schweiz – Auswirkungen auf die Tätigkeit des Bundesamts für Strassen ASTRA**", Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [2] F. Stüssi (1958), "**Entwurf und Berechnung von Stahlbauten**", Springer-Verlag, Berlin / Göttingen / Heidelberg
-
- [3] H. Wittfoht (1984), "**Building Bridges**", Beton-Verlag, Düsseldorf
-
- [4] M.J. Shapiro (1983), "**A Picture History of the Brooklyn Bridge**", Dover Publications, New York
-
- [5] R. Walther, B. Houriet, W. Isler, P. Moïa (1985), "**Ponts haubanés**", Presses polytechniques romandes, Lausanne
-
- [6] F. Leonhardt, W. Andrá (1962), "**Fussgängersteg über die Schillerstrasse in Stuttgart**", Die Bautechnik, Vol. 4
-
- [7] VSL International Ltd, Berne (1984), "**VSL Stay Cables for Cable-stayed Bridges**"
-
- [8] Stahlton AG, Zürich (1999), "**Stahlton Stay Cables**"
-
- [9] Freyssinet Ltd, Paris (2007), "**Freyssinet HD Stay Cables**"
-
- [10] F. Hunkeler, P. Matt, U. von Matt, R. Werner (2005), "**Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden**", ASTRA Forschungsbericht Nr. 588, VSS, Zürich
-
- [11] H. Andersen, D.L. Hommel, E.M. Veje (1999), "**Emergency Rehabilitation of the Zárate-Brazo Largo Bridges, Argentina**", IABSE Conference, Malmö 1999, IABSE Reports, Vol. 82, 1999
-
- [12] Empa-Prüfberichte Nr. 446'564/A+B (2008), "**Zustandsuntersuchung und Schadenanalytik – Schrägseile des Birkkopfsteiges in Basel-Birsfelden**" (nicht veröffentlicht)
-
- [13] P. Matt (1990), "**Qualitätsgesicherte und überwachbare Spannsysteme im Brückenbau**", ASTRA Forschungsbericht Nr. 192, VSS, Zürich
-
- [14] Kanton Schaffhausen, Tiefbauamt (2002), Aktennotiz vom 05.08.2002 (nicht veröffentlicht)
-
- [15] SN EN1993-1-11 (2006), "**Eurocode 3 – Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-11: Bemessung und Konstruktion von Tragwerken mit Zuggliedern aus Stahl**", SIA, Zürich
-
- [16] Fib Recommendation (2005), "**Acceptance of stay cable systems using prestressing steels**", Bulletin No. 30, fib, Lausanne
-
- [17] PTI (2007), "**Recommendations for Stay Cable Design, Testing and Installation**", Fifth Edition, PTI, Phoenix
-
- [18] Sétra (2001), "**Haubans – Recommandations de la commission interministérielle de la précontrainte**", Sétra, Bagnaux
-
- [19] ASTRA-Richtlinie 12001 (2005), "**Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen**", Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [20] ASTRA-Richtlinie 12002 (2005), "**Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen**", Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [21] DEGES (K. Kleinhanss) u. EHS (B. Schmitt-Hurtienne) (2010), "**Litzenbündel für die Schrägseile der Ziegelgrabenbrücke, Dokumentation zur Seilprüfung gemäss Wartungsbuch zum Qualitätsplan**", EHS, Lohfelden
-
- [22] A. Bergamini, R. Christen (2004), "**Zerstörungsfreie Untersuchung grosser Stahlseile bei Schrägseilbrücken**", ASTRA Forschungsbericht Nr. 574, VSS, Zürich
-
- [23] ASTRA-Richtlinie 12008 (2005), "**Anprall von Strassenfahrzeugen auf Bauwerksteile von Kunstbauten**", Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [24] M. Schönberg, F. Fichtner (1939) "**Die Adolf-Hitler-Brücke in Aue, Sachsen**", Die Bautechnik, Vol. 8
-
- [25] G. Hofmann, E. Thürmer (1986), "**Erfahrung bei der Sanierung der Bahnhofsbrücke Aue**", Die Strasse, Vol. 6
-
- [26] Kungl. Väg-och-Vattenbyggnadsstyrelsen (1949), "**Broar över Angermanälven vid Sandö**", Schweden
-
- [27] J. Muller (1980), "**Construction of the Long Key Bridge**", PCI Journal, Vol. 6
-
- [28] VSL International Ltd, Berne (1988), "**External Post-tensioning**"
-
- [29] P. Matt (1989), "**Zerstörungsfreie Prüfung von Spanngliedern in bestehenden Brückenbauten**", ASTRA Forschungsbericht Nr. 170, VSS, Zürich
-
- [30] Tagungsband Workshop an der TH Karlsruhe (1998), "**Externe Vorspannung und Segmentbauweise**", Verlag Ernst & Sohn, Berlin
-
- [31] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (1999), "**Richtlinie für Betonbrücken mit externen Spanngliedern**", Allgemeines Rundschreiben Strassenbau Nr. 17/1999
-
- [32] SIA, Zürich (2003), Norm SIA 262 "**Betonbau**" und Norm SIA 262/1 "**Betonbau – Ergänzende Festlegungen**"
-

-
- [33] ASTRA/SBB-Richtlinie 12010 (2007), **"Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten"**, Bundesamt für Strassen, Bern
-
- [34] Flückiger + Bosshard AG, Ingenieurbüro, Zürich (2005), **"Glattbrücke: Berichte zur Überprüfung und zur Instandsetzung"** (nicht veröffentlicht)
-
- [35] G. Mancini (2007), **"Ponte Tiziano sul fiume Tanaro a Alessandria, Italia"**, Persönliche Mitteilung
-
- [36] D.J. Bänziger (1994), **"Brandunfall an Brücke, Lehren aus dem Unfall Lehnenviadukt Beckenried (N2)"**, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 4
-
- [37] Empa Zulassungsstelle (2008), **"Leitfaden für die Technische Zulassung von Spannsystemen in der Schweiz"**, Empa, Dübendorf
-
- [38] FDOT (Florida Department of Transportation), (2001), **"Mid-Bay Bridge, Post-tensioning evaluation, Final Report"**
-
- [39] E. de Sá Caetano (2007), **"Cable Vibrations in Cable-Stayed Bridges"**, Structural Engineering Documents, Vol. 9, IABSE, Zurich
-
- [40] ETAG 013 (2002), **"Guideline for European Technical Approval of Post-tensioning Kits for Prestressing of Structures"**, EOTA, Brussels
-
- [41] SN EN 445, 446, 447 inkl. Nationale Vorwörter und Nationale Anhänge (2007), **"Einpressmörtel für Spannglieder, Prüfverfahren (445), Einpressverfahren (446), Allgemeine Anforderungen (447)"**, SIA, Zürich
-
- [42] Sétra (2007), **"Note de sensibilisation sur les ouvrages existants à précontrainte extérieure protégée par du coulis de ciment au contact des armatures"**, Sétra, Bagnaux
-
- [43] C. Menn (1987), **"Brückenträger mit Unterspannung"**, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 9
-
- [44] A. Fürst, P. Marti (1999), **"Versuche an Trägern mit Unterspannung aus vorgefertigten, vorge-spannten Betonzuggliedern"**, IBK, ETH Zürich
-
- [45] T. Vogel, K. Heer (1989), **"Externe Vorspannung ohne Verbund – Der Viadotto Preonzo-Claro"**, Schweizer Ingenieur und Architekt, 107, Heft 48, pp. 1312-1317
-
- [46] T. Vogel (1994), **"Externe Vorspannung: eine Standortbestimmung"**, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 21
-
- [47] M. Donzel, W. Schuler (1990), **"Zur Entwicklung des Brückenbaus in der Schweiz – Massnahmen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit"**, Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 18
-
- [48] SIA, Zürich (2009), Norm SN EN 13670 **"Ausführung von Tragwerken aus Beton"**
-

Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2011	V1.00	01.10.2011	Erscheinung Ausgabe 2011

