



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für  
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK  
**Bundesamt für Strassen ASTRA**

In Zusammenarbeit mit  
**SBB AG, Infrastruktur**  
Ingenieurbau

**Richtlinie**

Ausgabe 2007 V2.00

# **Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstabauten**

**ASTRA 12 010**

**ASTRA OFROU USTRA UVIAS**

## Impressum

### Mitglieder der Arbeitsgruppe

Schuler W.	(ASTRA, Vorsitz)
Abt L.	(Schmidt+Partner Bauingenieure AG, Erarbeitung)
Büchler Dr. M.	(Schweiz. Gesellschaft für Korrosionsschutz SGK)
Elsener Dr. B.	(Institut für Baustoffkunde IfB – ETHZ)
Heimhalt M.	(SBB AG)
Lüpold K.	(Verein Schweizer Vorspannfirmer VSV)
Matt P.	(Ingenieur-Beratung, Experte)
Prongué F.	(Verein Schweizer Vorspannfirmer VSV)
Reber J.-J.	(SBB AG)

### Mitglieder der Begleitkommission

Lang T. P.	(SBB AG, Vorsitz)
Bossart R.	(Verein Schweizer Vorspannfirmer VSV)
Fischli F.	(Verein Schweizer Vorspannfirmer VSV)

### Herausgeber

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

SBB AG Infrastruktur  
Ingenieurbau  
Schanzenstrasse 5  
3000 Bern 65

### Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von [www.astra.admin.ch](http://www.astra.admin.ch) herunter geladen werden.  
BBL, Verkauf Bundespublikationen, 3003 Bern, [www.bbl.ch](http://www.bbl.ch), Art-Nr.: 806.322.d

© ASTRA 2007

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

## Vorwort

Die Gültigkeit der Richtlinie „*Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten*“ aus dem Jahre 2001 wurde auf fünf Jahre, d.h. bis zum 31.12.2006 beschränkt. Die inzwischen veränderten Rahmenbedingungen, insbesondere die Einführung der neuen Normen SIA 260 bis 262:2003 sowie die in der praktischen Anwendung gemachten Erfahrungen und neue Forschungsergebnisse erforderten eine Revision der oben erwähnten Richtlinie.

Die Terminologie der SIA-Normen wurde übernommen. Die vorliegende überarbeitete Richtlinie ergänzt diese Normen und die Schweizerischen Technischen Zulassungen der Spannsysteme mit den spezifischen Anforderungen des ASTRA und der SBB.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe und der Begleitkommission danken wir für die wertvolle und gründliche Arbeit.

### **Bundesamt für Strassen**

Dr. Rudolf Dieterle  
Direktor

### **SBB AG**

Markus Barth  
Leiter Produkte & Systeme

## Vorwort zur Ausgabe 2001

Die meisten Brücken des National- und Hauptstrassennetzes und eine beachtliche Anzahl der Eisenbahnbrücken sind in der Spannbetonbauweise erstellt worden, wobei in der Regel Spannglieder im Verbund zur Anwendung gelangten. Diese Spannglieder leisten einen ausschlaggebenden Beitrag zur Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit dieser Kunstbauten.

Diese Bauweise hat sich insgesamt gut bewährt. Untersuchungen zeigen jedoch, dass auch in der Schweiz eine begrenzte Anzahl von mehr oder weniger gravierenden Korrosionsschäden an Spanngliedern aufgetreten ist und dass weitere Fälle nicht ausgeschlossen werden können. Zudem ist es unbefriedigend, dass die üblicherweise verwendeten Spannglieder mit Stahlhüllrohren nicht zerstörungsfrei überwacht werden können.

Seit einiger Zeit bietet der Markt Spannsysteme mit verbessertem Korrosionsschutz an (Kunststoffhüllrohre und elektrisch isolierte Spannglieder). Ausgehend von den Erfahrungen in der Ankertechnik kann die Dichtigkeit elektrisch isolierter Spannglieder mittels Widerstandsmessung zerstörungsfrei überwacht werden. Durch die Verwendung von Kunststoffhüllrohren ergibt sich zudem ein besseres Ermüdungsverhalten.

Die Norm SIA 162 "Betonbauten" (1989 bzw. 1993), enthält die Regelungen für Spannsysteme. Sie weist wiederholt darauf hin, dass je nach Gegebenheiten weitergehende Anforderungen an die Dauerhaftigkeit zu berücksichtigen sind. Die vorliegende Richtlinie regelt in Ergänzung zur Norm SIA 162 die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit und die Überwachbarkeit bei Spanngliedern für Spannbetonbrücken im Zuständigkeitsbereich des Bundesamtes für Strassen und der Schweizerischen Bundesbahnen.

Die Richtlinie basiert auf den heute vorliegenden Fachwissen. Sie soll die Grundlage schaffen, weitere gesicherte Erfahrungen mit diesen Verfahren zu sammeln und dazu beitragen, die Anwendung sinnvoll und erfolgreich vorzunehmen. Sie richtet sich an Bauherrenvertreter, Projektverfasser, Bauleiter und Ausführende.

Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe und den Sachbearbeitern danken wir für die wertvolle und gründliche Arbeit.

**Bundesamt für Strassen  
Abteilung Strasseninfrastruktur**

M. Egger  
Vizedirektor

**SBB AG / Anlagen-Management  
Engineering Bahnsystem**

Dr. U. Weidmann

**Mitglieder der Arbeitsgruppe bis 1998:**

C. Meuli	Bundesamt für Strassen, Bern (Vorsitz)
Dr. B. Elsener	IBWK-ETHZ, Zürich (Sachbearbeitung)
M. Grimm	VSL (Schweiz) AG, Lyssach
M. Käzlig	SBB AG, Bern
K. Lüpold	Verein Schweizer Vorspannfirmer (VSV), Bern
P. Matt	Ingenieur-Beratung, Ittigen (Sachbearbeitung)

**Mitglieder der Arbeitsgruppe ab 2000:**

W. Schuler	Bundesamt für Strassen, Bern (Vorsitz)
Dr. B. Elsener	IBWK-ETHZ, Zürich (Sachbearbeitung)
A. Gnägi	VSL (Schweiz) AG, Lyssach
K. Lüpold	Verein Schweizer Vorspannfirmer (VSV), Bern
P. Matt	Ingenieur-Beratung, Ittigen (Sachbearbeitung)
Dr. M. Tschumi	SBB AG, Bern

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Impressum .....</b>	<b>2</b>
	<b>Vorwort.....</b>	<b>3</b>
	<b>Vorwort zur Ausgabe 2001 .....</b>	<b>4</b>
<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>7</b>
1.1	Zweck .....	7
1.2	Normgrundlage.....	7
1.3	Geltungsbereich .....	7
1.4	Inkrafttreten und Änderungen .....	7
<b>2</b>	<b>Verständigung .....</b>	<b>8</b>
2.1	Grundsatz.....	8
2.2	Korrosionsschutzgrad der Spannglieder .....	8
<b>3</b>	<b>Grundsätze der Projektierung und der Ausführung.....</b>	<b>10</b>
3.1	Wahl der Spanngliedkategorie .....	10
3.2	Spannsysteme .....	12
3.3	Überwachung der Spannglieder der Kategorie c .....	12
<b>4</b>	<b>Konstruktive Durchbildung.....</b>	<b>13</b>
4.1	Allgemeines.....	13
4.2	Platzverhältnisse und Einbau der Spannglieder .....	13
4.3	Konstruktive Massnahmen für die elektrische Widerstandsmessung.....	13
<b>5</b>	<b>Ausführung .....</b>	<b>14</b>
5.1	Allgemeines.....	14
5.2	Einbau der Spannglieder.....	14
5.2.1	Hüllrohre und Verankerungen .....	14
5.2.2	Temporärer Korrosionsschutz.....	14
5.2.3	Injektion .....	14
5.3	Prüfung der Spannglieder der Kategorie c.....	14
5.3.1	Messungen.....	14
5.3.2	Grenzwerte.....	15
5.3.3	Massnahmen bei Nichterreichen der Grenzwerte.....	15
<b>6</b>	<b>Aufgaben der beteiligten Fachleute .....</b>	<b>16</b>
6.1	Grundsatz.....	16
6.2	Fachleute für die Projektierung und Bauleitung .....	16
6.3	Fachleute für die Ausführung .....	16
	<b>Anhänge .....</b>	<b>17</b>
	<b>Glossar .....</b>	<b>45</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>47</b>
	<b>Auflistung der Änderungen.....</b>	<b>49</b>



# 1 Einleitung

## 1.1 Zweck

Die Normen SIA 262:2003 und SIA 262/1:2003 enthalten die grundsätzlichen Angaben zu Spannsystemen. Zusätzlich wird in der Norm SIA 262/1 auf die vorliegende Richtlinie verwiesen.

Aufgrund der seit Einführung dieser Spannsysteme gewonnenen Erkenntnisse, insbesondere in Bezug auf die Ausführung, Prüfung und Überwachung werden in der vorliegenden Richtlinie Ergänzungen und Präzisierungen zu den genannten Normen festgelegt.

## 1.2 Normgrundlage

Die Norm SIA 262:2003 bildet die Grundlage. Die wichtigsten Hinweise zur Dauerhaftigkeit finden sich in den folgenden Ziffern dieser Norm:

- 2.4 Grundsätze – Dauerhaftigkeit;
- 3.4.2 Baustoffe – Spannsysteme – Dauerhaftigkeit;
- 4.3.8 Tragwerksanalyse und Bemessung – Nachweis der Tragsicherheit – Ermüdung;
- 6.3 Ausführung – Verarbeitung von Spannstaahl und Spanngliedern;
- 6.5 Ausführung – Vorspannung.

## 1.3 Geltungsbereich

Die vorliegende Richtlinie gilt für die Anwendung von Spanngliedern mit Verbund und ist für alle vom Bund mitfinanzierten Bauten für Strassen, sowie für alle Kunstbauten im Zuständigkeitsbereich der SBB AG verbindlich.

## 1.4 Inkrafttreten und Änderungen

Die vorliegende Richtlinie „*Massnahmen zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit von Spanngliedern in Kunstbauten*“ tritt am 01.09.2007 in Kraft, die „Auflistung der Änderungen“ ist auf Seite 49 zu finden.

## 2 Verständigung

### 2.1 Grundsatz

Grundsätzlich gelten die Begriffe, Definitionen und Festlegungen der Normen SIA 262 und 262/1 uneingeschränkt. Die vorliegende Richtlinie gilt nur zusammen mit den Normen des SIA und den Schweizerischen Technischen Zulassungen (STA = Swiss Technical Approval) für die Spannsysteme.

Revidierte Fassungen der aufgeführten Normen sind bei der Anwendung dieser Richtlinie sinngemäss zu übernehmen.

### 2.2 Korrosionsschutzgrad der Spannglieder

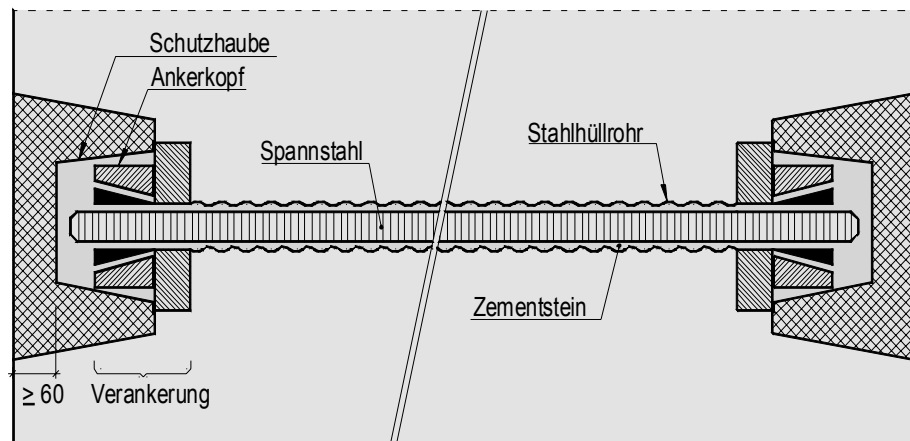
Gemäss SIA 262:2003, Ziffer 3.4.2.2 werden die Spannglieder bezüglich ihres Korrosionsschutzgrades in die drei Kategorien a, b, c eingeteilt (siehe schematische Darstellung in Abb. 2.1):

- Kategorie a: Spannglied mit Stahlhüllrohr;
- Kategorie b: Spannglied mit Kunststoffhüllrohr;
- Kategorie c: Elektrisch isoliertes Spannglied mit Kunststoffhüllrohr.

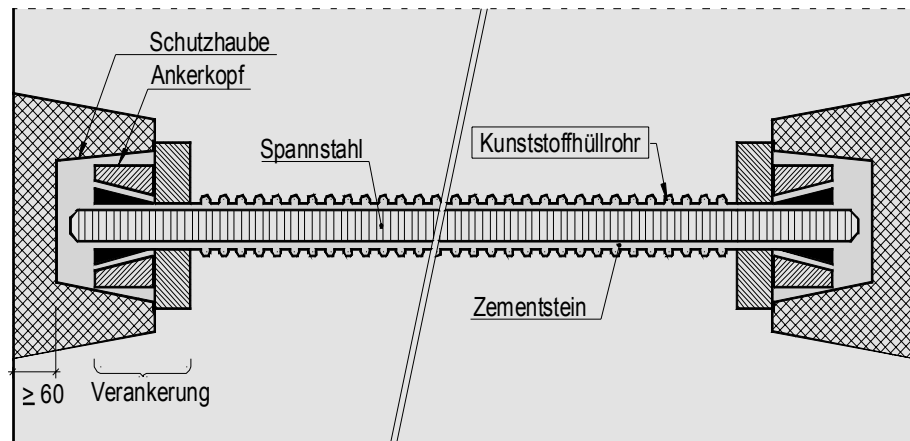
Bei den Spanngliedern der Kategorie c wird die Dichtigkeit der Schutzhülle und damit deren Korrosionsschutzwirkung mittels Impedanzmessung (elektrische Widerstandsmessung mit Wechselstrom zwischen Spann Stahl und Bewehrung) ermittelt (nachfolgend vereinfachend als elektrische Widerstandsmessung bezeichnet).



Kategorie a:



Kategorie b:



Kategorie c:

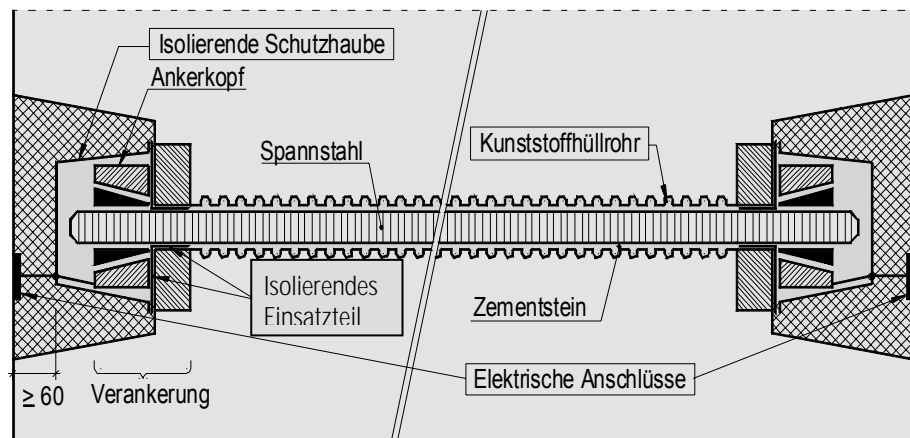


Abb. 2.1: Schematische Darstellung der Spanngliedkategorien a, b und c.

## 3 Grundsätze der Projektierung und der Ausführung

### 3.1 Wahl der Spanngliedkategorie

Die Wahl der Spanngliedkategorie ist auf Grund folgender Kriterien zu treffen:

- Art der Nutzung (Strassenbrücke, Bahnbrücke, Brücke für kombinierten Verkehr);
- Forderung nach Überwachbarkeit der Dichtigkeit der Schutzhülle;
- Art und Intensität der schädigenden Einwirkungen. Dazu gehören beispielsweise Tausalze, Streuströme, Ermüdung;
- Exposition bzw. Nähe der Spannglieder zu den schädigenden Einwirkungen;
- Konstruktiver Schutz des Tragwerks und der Bewehrung. Dazu gehört beispielsweise das Vorhandensein einer Abdichtung des Überbaus oder deren Fehlen (z.B. bei vorgespannten Seitenwänden von Trogbrücken).

Da bei Spanngliedern der Kategorie c die Anforderungen von der Gefährdungssituation abhängig sind, werden dabei folgende drei Hauptkriterien unterschieden:

- Überwachbarkeit;
- Ermüdung;
- Streustrom.

Der Anhang I (Ziffer I.2) enthält detaillierte Hinweise zur Einstufung der Spannglieder in die drei Hauptkriterien.

Die Wahl ist für Längsspannglieder (Haupttragrichtung), für Spannglieder von Querträgern und für Querspannglieder (Fahrbahnplatten) jeweils separat gemäss Flussdiagramm in Abb. 3.1 vorzunehmen.

Die Wahl der Spanngliedkategorie und gegebenenfalls des massgebenden Hauptkriteriums ist in der Nutzungsvereinbarung und in der Projektbasis zu dokumentieren.

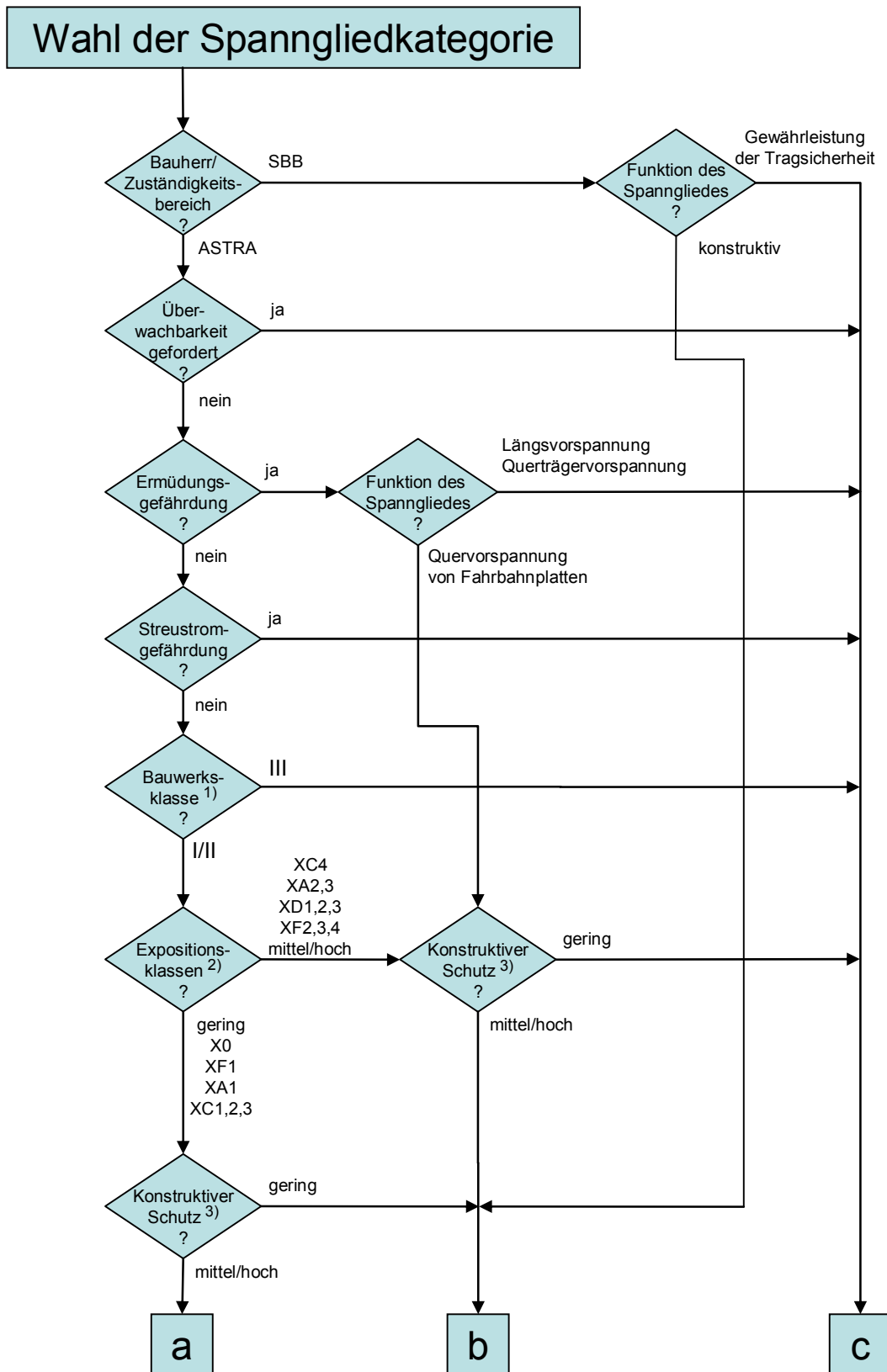


Abb. 3.1: Flussdiagramm zur Wahl der Spanngliedkategorie.

<sup>1)</sup> gemäss SIA 261, Tabelle 26.

<sup>2)</sup> gemäss SIA 262, Tabelle 1 bzw. ASTRA Richtlinie: Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, Anhang 6.

<sup>3)</sup> gemäss ASTRA Richtlinie: Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen, Anhang 6.

## **3.2 Spannsysteme**

Es dürfen nur Spannsysteme zur Anwendung gelangen, welche für die entsprechende Spanngliedkategorie über eine Schweizerische Technische Zulassung (STA) verfügen.

## **3.3 Überwachung der Spannglieder der Kategorie c**

Die Überwachung hat während der Ausführung und periodisch während der ganzen Nutzungsdauer zu erfolgen (siehe Anhang I, Ziffer I.4).

Der Umfang und die zeitliche Abfolge der Widerstandsmessungen sind festzulegen:

- im Kontrollplan und im Prüfplan für die Ausführungsphase;
- im Überwachungsplan für die Nutzungsphase.

## 4 Konstruktive Durchbildung

### 4.1 Allgemeines

Bereits bei Planungsbeginn eines Bauwerkes mit Spanngliedern müssen die Voraussetzungen für die konstruktiv einwandfreie Durchbildung geschaffen werden.

Bei der Spanngliedkategorie c sind kürzere Spannglieder ohne Kupplungen möglichst vorzuziehen. Sehr lange Spannglieder (besonders über mehrere Hochpunkte führende) und/oder gekuppelte Spannglieder

- sind schlechter überwachbar;
- weisen eine höhere Fehlerwahrscheinlichkeit auf;
- sind empfindlicher gegenüber Streuströmen.

### 4.2 Platzverhältnisse und Einbau der Spannglieder

In kritischen Bereichen mit hoher Bewehrungs- und Spanngliedkonzentration sind die Platzverhältnisse unter Berücksichtigung der Toleranzen vom Projektverfasser zeichnerisch aufzuzeigen. Der Einbau der Bewehrung und der Spannglieder muss zwangsfrei erfolgen können und ein fachgerechtes Einbringen und Verarbeiten des Betons muss gewährleistet sein.

Die minimalen Bewehrungsüberdeckungen  $c_{nom}$  gemäss Tabelle 17 in SIA 262:2003 sind auch bei Verwendung von Kunststoffhüllrohren einzuhalten (sofern nicht höhere Werte durch den Bauherrn verlangt sind).

### 4.3 Konstruktive Massnahmen für die elektrische Widerstandsmessung

Die elektrische Widerstandsmessung der Spanngliedkategorie c erfordert eine sorgfältige Vorbereitung in der Planungsphase. In der Regel sind an beiden Enden jedes Spanngliedes sowie an der Bewehrung elektrische Anschlüsse anzubringen (der beidseitige Anschluss ermöglicht nötigenfalls eine genauere Fehlerortung).

Bei Streustromgefährdung sind beidseitige Anschlüsse zwingend, um die gegebenenfalls erforderliche Erdung des Spanngliedes zu ermöglichen; Messkabel sind jedoch nur an einem Ende des Spanngliedes erforderlich.

Die elektrischen Anschlüsse und Kabel sind mechanisch und elektrisch sicher und dauerhaft auszubilden. Die Mess- und Anschlusskabel sind in einem oder in mehreren Mess- bzw. Anschlusskästen zusammenzuführen.

Der Anhang I enthält detaillierte Angaben.

## 5 Ausführung

### 5.1 Allgemeines

Vor Inangriffnahme der Arbeiten ist sicherzustellen, dass alle Beteiligten (Bauleitung, Hauptunternehmer und Subunternehmer) die Besonderheiten des gewählten Spannsystems kennen. Insbesondere für Spannglieder der Kategorie c empfiehlt sich zur Erreichung der Qualitätsziele die Durchführung einer frühzeitigen Startsitung.

In Anhang II sind praktische Hinweise sowie Vorschläge für die Abwicklung und die notwendigen Kontrollen der Bauarbeiten zusammengefasst.

### 5.2 Einbau der Spannglieder

#### 5.2.1 Hüllrohre und Verankerungen

Die Hüllrohre sind so zu befestigen, dass sie sich während des Betonierens nicht verschieben. Bei Kunststoffhüllrohren ist insbesondere der grosse Temperaturexpansionskoeffizient (Längsverschiebungen) zu beachten.

Die Hüllrohre sind mit Bindern aus Kunststoff zu befestigen; Drahtbindungen sind nicht zulässig.

Zwischen Spanngliederunterstützung und dem Hüllrohr sind bei kleinen Radien (kleiner als der zweifache Minimalradius gemäss Zulassung für das betreffende Spannglied) grundsätzlich auf der Krümmungsinne Seite des Spanngliedes systemkonforme Schutzschalen einzubauen (auch bei horizontalen Umlenkungen). Diese müssen bei den Spanngliedkategorien b und c zwingend aus Kunststoff sein.

Die Injektionsanschlüsse und Entlüftungsrohre sind systemkonform dicht verschliessbar auszubilden.

#### 5.2.2 Temporärer Korrosionsschutz

Werden die Bedingungen gemäss SIA 262:2003, Ziffer 6.3.2 (Fristen zwischen Herstellung, Einbau, Spannen und dem Injizieren) nicht eingehalten, so sind besondere Massnahmen zum temporären Korrosionsschutz der Spannstähle vorzusehen. Die ausreichende Schutzwirkung und die Unschädlichkeit der Massnahmen für den Spannstahl, für das Hüllrohr, das Füllgut und für den Verbund zwischen Spannstahl und Zementstein sind mittels zugelassenen Prüfverfahren nachzuweisen (siehe Anhang II, Ziffer II.1).

#### 5.2.3 Injektion

Bei Verwendung von Kunststoffhüllrohren darf die nach SIA 262 geforderte Qualität des Füllgutes nicht vermindert werden.

### 5.3 Prüfung der Spannglieder der Kategorie c

#### 5.3.1 Messungen

Die elektrische Isolation zwischen Spannstahl und Bewehrung wird an jedem Spannglied der Kategorie c mit der elektrischen Widerstandsmessung überprüft.

Die Planung, Durchführung und Beurteilung der elektrischen Widerstandsmessungen sind in Anhang I beschrieben.

### 5.3.2 Grenzwerte

Die Anforderungen an einen umfassenden Korrosionsschutz, d.h. elektrische Isolation des Spannstahles von der Bewehrung und Dichtigkeit der Schutzhülle sind erfüllt, wenn für das gespannte und injizierte Spannglied der entsprechende Grenzwert gemäss Abb. 5.1 eingehalten ist.

Hauptkriterium	Grenzwerte <sup>4)</sup>		
	Überwachbarkeit Mindestwert des längennormierten elektrischen Widerstandes <sup>5)</sup> $R_l (= R \cdot l_p)$	Ermüdung Mindestwert des elektrischen Widerstandes <b>R</b>	Streustrom <sup>6)</sup> Mindestwert des längennormierten elektrischen Widerstandes <sup>5)</sup> $R_l (= R \cdot l_p)$
<b>Hüllrohr</b>			
∅ 60 mm	50 kΩm	20 Ω	250 kΩm
∅ 75 mm	50 kΩm	20 Ω	200 kΩm
∅ 100 mm	50 kΩm	20 Ω	150 kΩm
∅ 130 mm	50 kΩm	20 Ω	125 kΩm
<b>Maximal zulässige Ausfallquote</b>	<b>10%</b>	<b>0 <sup>7)</sup></b>	<b>20%</b>

Abb. 5.1: Grenzwerte (28 Tage nach Injektion).

### 5.3.3 Massnahmen bei Nichterreichen der Grenzwerte

Liegt eine höhere Ausfallquote vor als zulässig, sind die Fehlstellen zu orten, zu bewerten und gegebenenfalls Massnahmen gemäss Anhang I zu treffen.

<sup>4)</sup> Werte, die vor 28 Tagen nach Injektion gemessen werden, sind mit dem Wurzel-Zeit-Gesetz umzurechnen (siehe Anhang I).  
<sup>5)</sup> Der Messwert des Widerstandes ist mit der Länge  $l_p$  des Spanngliedes, mindestens jedoch mit 25 m, zu multiplizieren.  
<sup>6)</sup> Bei Bauwerken mit einer Gleichstrombahn ist zusätzlich die Richtlinie C3 der Schweizerischen Gesellschaft für Korrosionsschutz SGK zu berücksichtigen.  
<sup>7)</sup> In den für die Ermüdungsbeanspruchung massgebenden Querschnitten darf kein Spannglied ausfallen.

## 6 Aufgaben der beteiligten Fachleute

### 6.1 Grundsatz

Projektierung und Ausführung haben unter der Leitung qualifizierter Fachleute mit speziellen Kenntnissen in der Vorspanntechnik zu erfolgen.

In der Beilage II1 (Anhang II, Ziffer II.14) werden spezifische Hinweise zur Regelung von Kontrollen und Freigaben gegeben.

### 6.2 Fachleute für die Projektierung und Bauleitung

Grundsätzlich gelten die Leistungsbeschreibungen der Honorarordnung SIA 103 mit den Ergänzungen gemäss Merkblatt SIA 2027.

Die notwendigen Installationen für die periodischen Kontrollmessungen (elektrische Widerstandsmessungen) während der Erstellungs- und Nutzungsphase sind einzuplanen.

Sollten in Einzelfällen die Grenzwerte des elektrischen Widerstandes gemäss Abb. 5.1 nicht erreicht werden und liegt eine grössere Ausfallquote vor, so empfiehlt sich der Beizug einer Fachperson für die projektspezifische Beurteilung.

### 6.3 Fachleute für die Ausführung

In der Norm SIA 118/262 sind die Aufgaben der Vertragspartner (Bauherr/Unternehmer) aufgeführt. Darüber hinausgehende Leistungen sind projektspezifisch festzulegen.



# Anhänge

<b>I</b>	<b>Ergänzende Festlegungen und Erläuterungen .....</b>	<b>19</b>
I.1	Einleitung.....	19
I.2	Einstufung der Spannglieder bezüglich der Gefährdungssituation.....	19
I.2.1	Hauptkriterium Überwachbarkeit.....	20
I.2.2	Hauptkriterium Ermüdung .....	21
I.2.3	Hauptkriterium Streustrom .....	21
I.3	Konstruktive Durchbildung .....	21
I.3.1	Messkabel .....	21
I.3.2	Messkasten .....	22
I.3.3	Besonderheiten bei Streustromgefährdung .....	23
I.4	Durchführung der Messungen.....	24
I.4.1	Messgeräte und Messwerte .....	24
I.4.2	Grenz- und Richtwerte .....	24
I.4.3	Messprogramm .....	25
I.4.4	Einflüsse auf die die Messwerte .....	25
I.4.5	Durchführung der Messungen.....	26
I.4.6	Vorgehen bei messtechnischen Problemen .....	26
I.5	Beurteilung der Messresultate .....	27
I.5.1	Einflüsse auf die Messwerte .....	27
I.5.2	Bewertung und Massnahmen bei Nichterreichen der Grenzwerte .....	27
I.5.3	Bedeutung der Widerstandswerte.....	28
I.6	Referenzen.....	29
I.7	Beilage I1: Widerstandsmessungen an Spanngliedern .....	30
<b>II</b>	<b>Ausführungshinweise und Einbauinstruktionen .....</b>	<b>31</b>
II.1	Einleitung.....	31
II.2	Anlieferung und Lagerung der Spannglieder .....	32
II.3	Versetzen der Verankerungen .....	33
II.4	Spanngliedführung .....	34
II.5	Einbau der Spannglieder bzw. der Hüllrohre .....	35
II.6	Binden der Spannglieder bzw. der Hüllrohre .....	36
II.7	Injektionsanschlüsse und Entlüftungen.....	37
II.8	Anschluss- und Messkabel .....	38
II.9	Fremdarbeiten im Bereich der Spannglieder .....	39
II.10	Nachträglicher Einbau von Bewehrungen und Einlagen, Schliessen der Schalung vor dem Betonieren .....	40
II.11	Betonieren, Arbeitsfugen und Ausschalen.....	41
II.12	Messkasten und Anschluss der Messleitungen .....	42
II.13	Durchführung der elektrischen Widerstandsmessungen .....	43
II.14	Checkliste.....	44



# I Ergänzende Festlegungen und Erläuterungen

## I.1 Einleitung

Dieser Anhang enthält detaillierte Hinweise zur Planung, Durchführung und Beurteilung der elektrischen Widerstandsmessung an Spanngliedern der Kategorie c als Ergänzung zu den Ziffern 3.3, 4.3 und 5.3 der Richtlinie. Die Korrosionsgefährdung, die schädigenden Einwirkungen und die Methode der Überwachung werden kurz beschrieben. Weiterführende Informationen finden sich im Literaturverzeichnis, Seite 47.

Die elektrische Isolation zwischen Spanngliedverankerung bzw. Spannstaht und der Bewehrung des Tragwerkes wird an jedem Spannglied der Kategorie c durch Impedanzmessung (elektrische Widerstandsmessung mit Wechselstrom) mittels LCR-Meter überprüft. Sowohl bei der konstruktiven Durchbildung (Ziffer I.3) als auch bei den Grenz- und Richtwerten (Ziffer I.4.2) und der Beurteilung der Messresultate (Ziffer I.5) soll den Hauptkriterien für die Wahl der Spanngliedkategorie (Richtlinie Ziffer 3.1) Rechnung getragen werden.

## I.2 Einstufung der Spannglieder bezüglich der Gefährdungssituation

Spannglieder können durch Chlorideinwirkung [1, 2, 16], Ermüdung [11] oder Streuströme [3] gefährdet sein. Korrosionsschäden an Spanngliedern wurden daher immer wieder entdeckt [1, 2]. Einstürze von Brücken oder Gebäuden sind aus dem Ausland bekannt [4, 5]. Der Korrosionszustand der Spannstähe in metallischen Hüllrohren kann mittels zerstörungsfreien Methoden nicht beurteilt werden [6, 7, 8]. Aus diesen Gründen werden in der Schweiz seit den Neunzigerjahren neben Stahlhüllrohren (für Spanngliedkategorie a), welche nur einen beschränkten Korrosionsschutz gewährleisten, Kunststoffhüllrohrsysteme (für Spanngliedkategorien b und c) eingesetzt [9, 10]. Damit wird neben einem verbesserten Korrosionsschutz auch ein verbessertes Ermüdungsverhalten der Spannglieder erreicht [11]. Für die Spannglieder mit vollständiger elektrischer Isolation (Kategorie c) ergeben sich zusätzliche Vorteile wie der Schutz vor Streuströmen [3, 14] und die Überwachbarkeit des Korrosionsschutzes über die ganze Nutzungsdauer mittels der elektrischen Widerstandsmessung [12, 13].

Der Zusammenhang zwischen der Intensität der aggressiven Einwirkungen bzw. der Exposition in Kombination mit der Qualität des konstruktiven Schutzes und der erforderlichen Spanngliedkategorie ist bildlich in Abb. I.1 dargestellt.

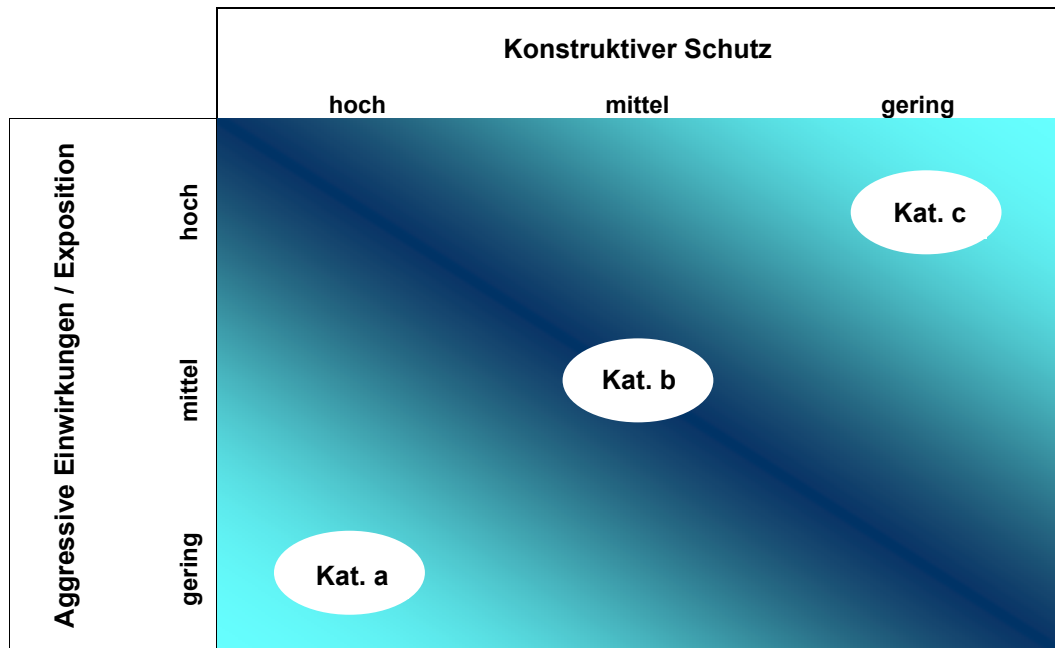


Abb. I.1: Wahl der Spanngliedkategorie in Abhängigkeit des vorgesehenen konstruktiven Schutzes und der zu erwartenden Einwirkungen bzw. der Exposition (aus [16]).

Die Richtlinie unterscheidet drei Hauptkriterien bezüglich der Gefährdung bei der Wahl der Spannglieder (Richtlinie Ziffer 3.1):

- Überwachbarkeit;
- Ermüdung;
- Streustrom.

Grundsätzlich ist in allen drei Fällen ein möglichst hoher elektrischer Widerstand anzustreben. Die einzuhaltenden Grenzwerte des elektrischen Widerstandes werden in Abhängigkeit von den obgenannten Hauptkriterien differenziert festgelegt. Während für das Hauptkriterium Ermüdung lediglich ein Kurzschluss zwischen Bewehrung und Spannglied ausgeschlossen werden muss, was bereits mit einem geringen Widerstand gegeben ist, ist für das Kriterium Überwachbarkeit aus messtechnischen Gründen ein wesentlich höherer Widerstand erforderlich. Zur Vermeidung von schädlichen Streuströmen in Spanngliedern sind die höchsten Anforderungen an die elektrische Isolation gestellt.

### I.2.1 Hauptkriterium Überwachbarkeit

Folgende Punkte können für eine Forderung nach höherer Dauerhaftigkeit und Überwachbarkeit der Spannglieder und damit für die Wahl der Kategorie c sprechen:

- Die Erfahrung zeigt, dass bei hoher Chloridbelastung eines Bauwerkes mit Korrosion gerechnet werden muss, da der geplante primäre konstruktive Schutz (z.B. Abdichtung) versagen kann. Die Möglichkeit der Überwachung erleichtert in diesen Fällen die Identifizierung der gefährdeten Spannglieder [12, 13]. Dies und die mögliche Ortung einer Schadstelle [3] verbessert die Entscheidungsfindung bei später anstehenden Instandsetzungsmassnahmen in erheblichem Masse.
- Da der Ersatz von Spanngliedern mit ungewissem Korrosionszustand sehr aufwändig bis unmöglich ist und in vielen Fällen die Nutzung des Bauwerks beeinträchtigt wird, ist die Notwendigkeit der Überwachbarkeit bereits in der Planungsphase zu klären und in der Nutzungsvereinbarung und in der Projektbasis festzulegen.

## I.2.2 Hauptkriterium Ermüdung

Durch die Verwendung von zugelassenen Kunststoffhüllrohrsystemen wird der metallische Kontakt zwischen dem Spannstahl und den Spanngliedunterstützungen bzw. der Bewehrung vermieden. Dies führt zu deutlich besserem Ermüdungsverhalten (Vermeiden von Reibermüdung) [11].

## I.2.3 Hauptkriterium Streustrom

Die Ermittlung einer möglichen Streustrombeeinflussung eines Bauwerkes vor dessen Erstellung hat anhand folgender Vorgehensweise zu erfolgen (es wird empfohlen, die notwendigen Messungen durch eine Fachperson ausführen zu lassen):

- Eine Streustromgefährdung kann gegeben sein, wenn im Umkreis von 10 km Gleichstrombahnen vorhanden sind. Hat das Bauwerk einen geringeren Abstand als 100 m zur Gleisanlage einer Wechselstrombahn, welche mit dem Erdungssystem einer Gleichstrombahn verbunden ist, so ist eine Gefährdung bis zu 50 km Distanz vom Verknüpfungspunkt der beiden Erdungssysteme möglich. Weiter können im Abstand von bis zu 100 m zu kathodischen Schutzanlagen Streustrombeeinflussungen auftreten.
- Wenn nach dieser Beurteilung eine Streustromsituation vorliegt, sind die Spannungsgradienten über die maximale Länge des geplanten Bauwerkes während der höchsten Streustrombeeinflussung zu messen. Wenn die mittlere positive oder negative Beeinflussung mehr als 100 mV beträgt, liegt eine kritische Streustromsituation vor, und es sind Spannglieder der Kategorie c zu wählen.
- Wenn die vorgenannte Messung der Spannungsgradienten keine kritische Streustrombelastung zeigt, sind Spannglieder der Kategorie c nicht erforderlich. Da die Streustrombelastung durch die Erstellung des Bauwerkes aber verändert werden kann, sind nach Erstellung des Bauwerkes Messungen, und falls erforderlich, entsprechende Schutzmassnahmen gemäss Richtlinie C3 [14] vorzunehmen (zum Beispiel Installation einer Streustromdrainage).

## I.3 Konstruktive Durchbildung

### I.3.1 Messkabel

Robuste Messkabel und sorgfältig ausgebildete Anschlüsse bilden die Voraussetzung für eine langfristig sichere Überwachung. Der Verlauf der Messkabel sowie die konstruktiven Details sind in der Bauwerksdokumentation zu erfassen.

Die Messkabel stellen die elektrische Verbindung zwischen den Anschlüssen an den Spanngliedern und der Bewehrung mit den Kontakten im Messkasten her. Es sind Kupferkabel mit mindestens 2.5 mm<sup>2</sup> Querschnittsfläche und wasserfester Isolation zu verwenden.

Der elektrische Kontakt zum Spannglied wird am zweckmässigsten an den Verankerungen mittels verschraubten Kabelbriden hergestellt. Wenn möglich, und wenn nicht unverhältnismässig aufwändig, sind elektrische Anschlüsse auch bei Spanngliedern ohne Streustrombeeinflussung an beiden Enden der Spannglieder zu erstellen und mit Messkabeln zu versehen. Dadurch wird die Ortung von Fehlstellen vereinfacht und die Funktionstüchtigkeit der Anschlüsse kontrolliert werden. Falls nur zur einen Verankerung eines Spanngliedes ein Messkabel geführt werden kann, ist dieses doppelt zu führen.

Die Messkabel sind in Elektroröhrchen zu verlegen, die mit Schrumpfschläuchen direkt mit den Stopfbuchsen der isolierenden Schutzhauben der Spanngliedverankerungen zu verbinden sind; alternativ besteht die Möglichkeit, die Messkabel direkt einzubetonieren. Solche Messkabel müssen eine integrierte Folie als Diffusionssperre aufweisen sowie gegenüber mechanischer Beanspruchung (Betoniervorgang) und alkalischer Umgebung resistent sein.

Nach der Installation der Messkabel sind die elektrischen Verbindungen auf ihre korrekte Zuordnung hin zu überprüfen.

Abb. I.2 und Abb. I.3 zeigen schematisch die Anordnung der Installationen zur Widerstandsmessung für die Hauptkriterien Ermüdung und Überwachung.

Im Falle von Streustrombeeinflussung gelten zusätzliche Regeln (siehe Ziffer I.3.3).

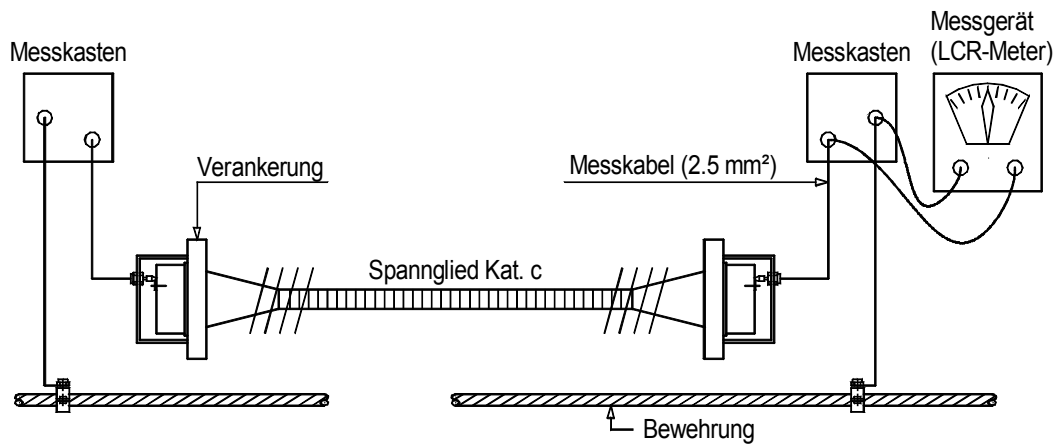


Abb. I.2: Anordnung der Installationen zur Widerstandsmessung bei beidseitigem Anschluss an das Spannglied.

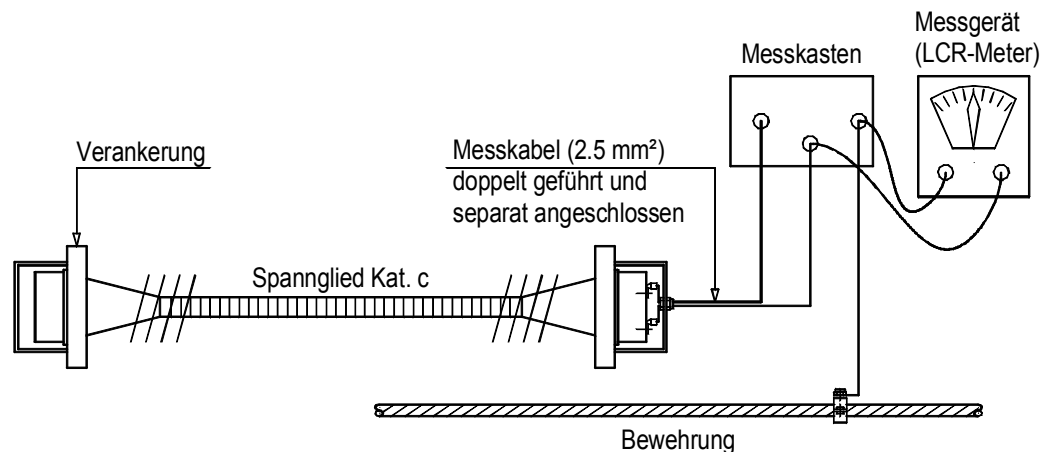


Abb. I.3: Anordnung der Installationen zur Widerstandsmessung bei einseitigem Anschluss an das Spannglied.

### I.3.2 Messkasten

Die Messkabel sind in Messkästen zusammenzuführen. Diese sollen vor der Witterung und mechanischer Beschädigung geschützt und an zugänglichen Orten möglichst nahe bei den Verankerungen angebracht sein.

Von jedem Messkasten aus ist ein Bewehrungsanschluss zu erstellen. Bei Klemmverbindungen muss die Bewehrung vor dem Anklemmen blank angeschliffen werden.

Die Messkästen müssen am tiefsten Punkt mit einer Entlüftungsöffnung mit Insektenschutzgitter versehen sein. Auf verzinkte Elemente ist zu verzichten, da deren Lebensdauer unter ungünstigen Umständen stark reduziert ist.

Für die elektrischen Anschlüsse sind verzinkte Leiterelemente und Kontaktschrauben nicht zulässig. Vorzugsweise werden isolierte Anschlussbuchsen ( $\varnothing 4$  mm) auf einer korrosionsbeständigen Platte (Kunststoff oder nichtrostender Stahl) montiert. Alle Anschlüsse sind eindeutig zu kennzeichnen. Die Messkabel sind mit den Buchsen zu verlöten und mit einem Schrumpfschlauch dauerhaft zu isolieren.

### I.3.3 Besonderheiten bei Streustromgefährdung

Beidseits des Bauwerkes sind Längssammelleiter anzuordnen (durch Schweissung oder mit Klemmung auf blank geschliffenen Kontaktflächen elektrisch einwandfrei verbundene Bewehrungsstränge auf ganze Bauwerkslänge), die mindestens an den Bauwerksenden durch Quersammelleiter miteinander zu verbinden sind.

In Nähe der beiden Verankerungen der Spannglieder ist je ein Anschlusskasten vorzusehen, zu welchen ein möglichst kurzer Anschluss mit einem Kupferquerschnitt von mindestens  $25 \text{ mm}^2$  an einen Längssammelleiter zu erstellen ist.

Der beidseitige Anschluss der Spannglieder in den Anschlusskästen ist zwingend erforderlich. Diese Anschlusskabel dienen nicht nur der Messung, sondern auch der Ableitung von Streuströmen bei unzureichendem elektrischem Widerstand der Spannglieder.

Der maximal zulässige Gesamtwiderstand der Anschlusskabel und allfällig erforderlicher Überbrückungen ist abhängig von der spezifischen Leitfähigkeit des einzelnen Spanngliedes. Bei typischen Bauwerken sind Kabel mit  $4 \text{ mm}^2$  Kupferquerschnitt pro Meter Anschlusskabellänge erforderlich (d.h. bei 5 m Anschlusskabellänge ist die Querschnittfläche mindestens  $20 \text{ mm}^2$ ). Eine detaillierte Berechnungsgrundlage ist in [3] gegeben.

Die Anschlusskästen sind wie die Messkästen auszubilden und möglichst nahe der Verankerungen an witterungsgeschützten Stellen anzuordnen. Zwischen den Anschluss- und Messkästen sind Messkabel gemäss Ziffer I.3.1 zu verlegen. Anschluss- und Messkästen können gegebenenfalls kombiniert sein.

Spannglieder, welche sich über weniger als 30% der Bauwerkslänge erstrecken und dabei kürzer als 100 m sind, sind nicht gefährdet, sofern auf dem Bauwerk nicht eine Gleichstrombahn verkehrt. In diesem Fall ist die Richtlinie C3 [14] anzuwenden und eine Fachperson beizuziehen.

Abb. I.4 zeigt schematisch die Anordnung der Installationen zur Widerstandsmessung bei Streustromgefährdung.

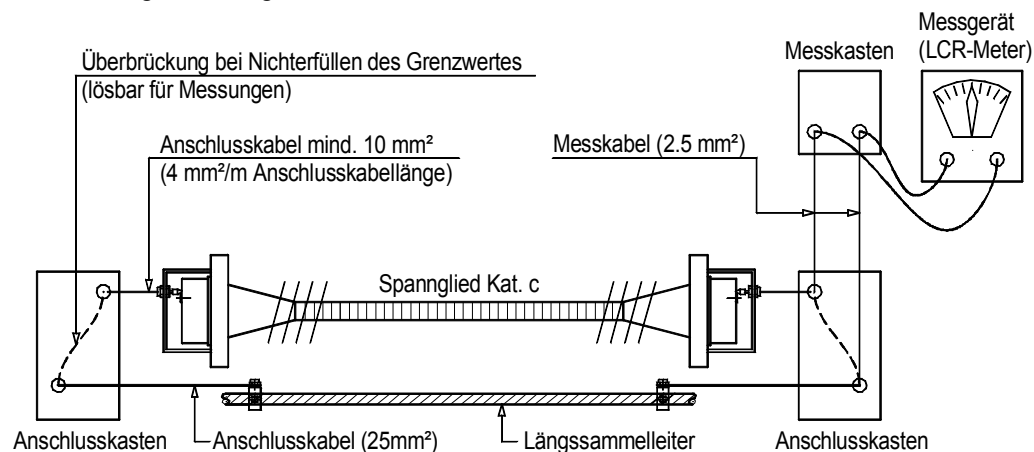


Abb. I.4: Anordnung der Installationen zur Widerstandsmessung bei Streustromgefährdung.

## I.4 Durchführung der Messungen

### I.4.1 Messgeräte und Messwerte

Die zu verwendenden Messgeräte müssen folgenden Anforderungen genügen:

- Messfrequenz: 1 kHz Wechselspannung.
- Spannung: mind. 0.5 V Wechselspannung.
- Messbereich: Die digitale Anzeige für:
  - Ohmsche Komponente des Wechselstromwiderstands R: 0.1  $\Omega$  bis 10 M $\Omega$ : Auflösung im unteren Bereich: 0.1  $\Omega$ ;
  - Kapazitive Komponente C: 0.1 nF bis 100  $\mu$ F;
  - Verlustfaktor D: 0.001 bis 10.
- Messgerät: Die Messgeräte sollen die ohmsche und die kapazitive Komponente des Wechselstromwiderstands erfassen können. Handelsübliche LCR-Meter sind z.B. ESCORT ELC-131 bzw. neu ESCORT ELC-132A.

Folgende Werte sind zu protokollieren:

- Widerstand R:  
Der ohmsche Widerstand R gegen Stromfluss sinkt proportional zur Länge des Hüllrohrs und sinkt mit zunehmender Grösse und Anzahl der Defekte im Hüllrohr.
- Kapazität C:  
Die Kapazität C ist proportional zur Länge des Hüllrohrs und ist charakteristisch für den verwendeten Hüllrohrtyp.
- Verlustfaktor D:  
Der Verlustfaktor D (Quotient aus ohmschem und kapazitivem Widerstand) ist unabhängig von der Länge des Hüllrohrs.

Aus den Messwerten können bei bekannter Spanngliedlänge  $l_p$  die folgenden längennormierten (d.h. längenunabhängigen) Werte berechnet werden:

- längennormierter Widerstand  $R_l = R / l_p$  [ $\Omega$ m], [k $\Omega$ m]
- längennormierte Kapazität  $C_l = C / l_p$  [nF/m]

### I.4.2 Grenz- und Richtwerte

Aus Labor- und Feldmessungen sowie den baupraktischen Erfahrungen ergeben sich für die zugelassenen Kunststoffhüllrohrsysteme mit den konstruktiv erforderlichen, korrekt ausgeführten Entlüftungen, Injektionsanschlüssen und Hüllrohrverbindungen spezifische Grenz- und Richtwerte.

Die einzuhaltenden Grenzwerte des Widerstandes sind der Abb. 5.1 der Richtlinie zu entnehmen.

Die Messwerte der Kapazität und des Verlustfaktors geben bei Nichteinhalten der Grenzwerte des elektrischen Widerstandes gemäss Richtlinie Abb. 5.1 wertvolle Hinweise für die Abklärung und Ortung von Fehlstellen und sind deshalb zusammen mit den Widerstandsmessungen zu erheben.

Richtwerte für die Kapazität und den Verlustfaktor sind den Schweizerischen Technischen Zulassungen (STA) für die Spannsysteme zu entnehmen.

#### Hauptkriterium Überwachbarkeit

Die frühzeitige Detektion von potenziellen Gefährdungen der Spannstähle durch Eindringen von Wasser und Chloriden in die Hüllrohre gelingt umso besser, je höher der elektrische Widerstand des Spanngliedes ist. Lange Spannglieder und Spannglieder mit Kuppelungen sind daher vom Gesichtspunkt der Überwachbarkeit aus ungünstiger als kurze Spannglieder.



### Hauptkriterium Ermüdung

Für eine Verbesserung des Ermüdungsverhaltens genügt ein tiefer Grenzwert, da lediglich Kurzschlüsse (metallische Kontakte zwischen Spannstaht und Spanngliedunterstützung sowie Bewehrung) vermieden werden müssen. In Kombination mit den Hauptkriterien Überwachbarkeit bzw. Streustrom gelten die entsprechenden höheren Grenzwerte.

### Hauptkriterium Streustrom

Die Vermeidung von Streustromeinwirkung auf die Spannstähle erfordert möglichst hohe Widerstandswerte. Lange Spannglieder und Spannglieder mit Kupplungen sind daher auch vom Gesichtspunkt der Streustromgefährdung aus ungünstiger als kurze Spannglieder.

## I.4.3 Messprogramm

Die Fachleute für die Projektierung und Bauausführung legen die erforderlichen Messungen im Kontroll- und im Prüfplan für die Ausführungsphase und im Überwachungsplan für die Nutzungsphase fest. In Abb. I.5 ist der Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt, Aussage der Messresultate und möglichen Massnahmen dargestellt.

Ausführungs- und Nutzungsphase (Obligatorische Messungen)	Verbindlichkeit und Aussage der Messungen	Massnahmen
Messungen vor der ersten und nach der letzten Spannstufe	Kurzschlüsse (d.h. Werte des ohmschen Widerstandes $< 20 \Omega$ ) in einer Verankerung oder infolge einer Verletzung des Hüllrohres mit Kontakt des Spannstahts zur Bewehrung können festgestellt werden. Kapazität und Verlustfaktor sind nicht relevant, da das Injektionsgut fehlt.	Identifizieren und falls erforderlich Instandsetzen der Fehlstelle(n). Unter Berücksichtigung der zulässigen Ausfallquote gemäss Abb. 5.1 der Richtlinie schlägt die Spannfirmas Massnahmen vor und holt die Genehmigung der Bauleitung ein.
Messung nach dem Injizieren	Messung ca. 28 Tage nach der Injektion. Die zu erreichenden Grenzwerte sind der Richtlinie, Abb. 5.1 zu entnehmen.	Wird die zulässige Ausfallquote gemäss Abb. 5.1 der Richtlinie überschritten, so sind die Ursachen zu ermitteln, die Auswirkungen abzuschätzen und, falls erforderlich, Massnahmen zu treffen.
Weitere Messungen bei der Abnahme und anschliessend in der Nutzungsphase gemäss Überwachungsplan	In der Regel steigen die Werte des ohmschen Widerstandes $R$ an, die Kapazität $C$ bleibt gleich und der Verlustfaktor $D$ sinkt (Hydratation und Austrocknen des Betons und des Injektionsgutes). Sinkt der ohmsche Widerstand $R$ eines Spanngliedes um mehr als 50%, so deutet dies auf das Eindringen von Feuchtigkeit an einer Verletzungsstelle am Hüllrohr hin.	Signifikante Veränderungen sind durch eine Fachperson zu beurteilen.  Feuchtigkeitseintritte ins Bauwerk sind festzustellen und zu eliminieren. Evtl. sind weitere Messungen in kürzeren Abständen durchzuführen.

Abb. I.5: Zusammenhang zwischen Messzeitpunkt, Verbindlichkeit und Aussage der Messungen und Massnahmen.

## I.4.4 Einflüsse auf die die Messwerte

### Messzeitpunkt

Oftmals müssen die obligatorischen Messungen früher als 28 Tage nach der Injektion erfolgen oder können erst später als nach 28 Tagen durchgeführt werden. Labor- und Feldmessungen haben gezeigt, dass der elektrische Widerstand des Betons und des Füllgutes mit der Zeit kontinuierlich, etwa mit einem Wurzel-Zeit-Gesetz, zunimmt. Mit folgender Formel kann der zur Zeit  $t$  gemessene Widerstand  $R_t$  auf den 28-Tagewert  $R$  umgerechnet werden:

$$R = R_t \beta(t - t_0)$$

$$\beta(t - t_0) = (28 / t - t_0)^{0.5} \quad t_0 \text{ bezeichnet das Betonalter im Zeitpunkt der Injektion in Tagen}$$

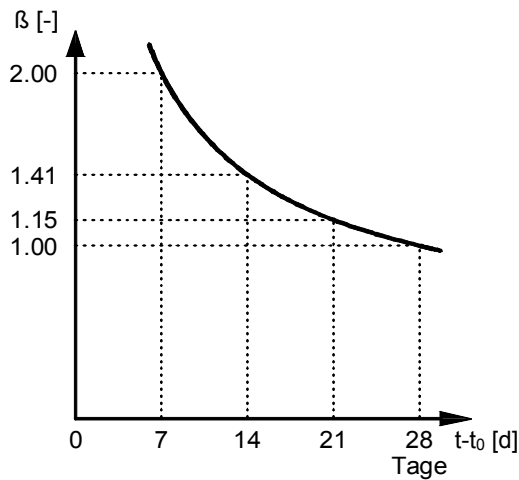


Abb. 1.6: Umrechnungsfaktor  $\beta$  zur Berücksichtigung des Zeiteinflusses auf die Messwerte des elektrischen Widerstandes.

In der Praxis erübrigt sich bei Messungen später als 28 Tage nach der Injektion die Umrechnung; entscheidend ist die Tendenz zur stetigen Zunahme des Widerstandes während der ganzen Nutzungsdauer.

#### Temperatur

Die Messungen des elektrischen Widerstandes hängen von der Betontemperatur ab: höhere Temperaturen führen zu tieferen elektrischen Widerständen. Der Einfluss der Temperatur hängt weiter von der Feuchtigkeit des Füllguts und des Betons ab. Die Schwankungen können im Temperaturbereich von 10 bis 30 °C maximal 30% betragen. Da die örtliche Betontemperatur meist nicht bekannt ist und über die Länge des Spanngliedes variieren kann, muss auf eine Korrektur des Temperatureinflusses verzichtet werden.

### I.4.5 Durchführung der Messungen

Die Durchführung der Messungen ist einfach. Sie erfordert jedoch ein gewissenhaftes Vorgehen und eine kritische Bewertung der Daten in Bezug auf ihre Plausibilität.

Sämtliche Werte des ohmschen Widerstandes  $R$ , der Kapazität  $C$  und des Verlustfaktors  $D$  sind für jedes Spannglied zu messen und zu protokollieren. Beispiel eines Protokollblatts siehe Ziffer I.7, Beilage I1: Widerstandsmessungen an Spanngliedern.

Die äusseren Bedingungen während des Messens sind zu protokollieren (Wetter, Lufttemperatur).

### I.4.6 Vorgehen bei messtechnischen Problemen

Schmutz und Feuchtigkeitfilme sind die grössten Fehlerquellen.

Liegen die Messwerte stets über dem maximalen Messbereich oder schwanken sie stark, so sind die Verbindungskabel zum Messgerät auf Wackelkontakte oder abgerissene Stecker sowie die Buchsen auf Verunreinigungen zu überprüfen.

Falls auch bei Messungen von beiden Seiten des Spanngliedes die Probleme nicht zu beheben sind, liegt der Fehler beim Messgerät.

## I.5 Beurteilung der Messresultate

### I.5.1 Einflüsse auf die Messwerte

Der gemessene elektrische Widerstand  $R$  entspricht einer Parallelschaltung aller Einzelwiderstände von systembedingten "Fehlstellen" (Bauteile mit reduziertem Widerstand wie Hüllrohrverbindungen, Verankerungen, Kupplungen, Injektionsanschlüsse, Entlüftungsrohre), sowie von echten Verletzungen des Hüllrohrs. Die Detektion von Verletzungen bzw. Fehlstellen ist umso besser möglich, je höher der elektrische Widerstand ist, d.h. je weniger ein Spannglied systembedingte Teile mit reduziertem Widerstand aufweist.

Folgende Faktoren beeinflussen die Messwerte  $R$ ,  $C$  und  $D$  systematisch:

- Länge und Hüllrohrdurchmesser des Spanngliedes:  
Der Widerstand  $R$  sinkt proportional zur Länge des Spanngliedes; die Kapazität  $C$  eines Hüllrohres steigt proportional zur Länge und hängt vom Hüllrohrdurchmesser und der Wandstärke ab. Der Verlustfaktor  $D$  ist längenunabhängig, ändert sich jedoch leicht mit dem Hüllrohrdurchmesser.
- Art der Verankerungen:  
Die Verankerungen haben systembedingt einen endlichen elektrischen Widerstand. Dies beeinflusst vor allem bei kurzen Spanngliedern den elektrischen Widerstand eines Spanngliedes überproportional.
- Art des Hüllrohrsystems:  
Mechanische Hüllrohrkupplungen und Schweissverbindungen führen im Vergleich zu Hüllrohren der gleichen Länge ohne Verbindungsstellen zu leicht höheren Kapazitäten  $C$  und Verlustfaktoren  $D$ .
- Spezifischer elektrischer Widerstand des Betons und des Zementsteines:  
Der spezifische elektrische Widerstand des Betons bzw. des Zementsteins ist vom Wasserzementwert, von der Temperatur, der Feuchtigkeit und dem Hydratationsgrad des Zementes abhängig. Der Widerstand steigt mit zunehmendem Hydratationsgrad (Alter), mit abnehmender Feuchtigkeit und mit abnehmender Temperatur.
- Anzahl und Ausgestaltung der Injektionsanschlüsse und Entlüftungsrohre:  
Anschlüsse für das Injizieren sowie Entlüftungsrohre sind nach der Injektion verfüllt, d.h. sie können eine elektrolytische Verbindung zum umgebenden Beton und damit zur schlaffen Bewehrung bilden. Es ist unbedingt erforderlich, alle Injektionsanschlüsse und Entlüftungsrohre mit dichten Kunststoffkappen oder -zapfen abzuschliessen (siehe Anhang II). Ohne diese dichten Abschlüsse entstehen Fehlstellen und es werden tiefere Werte des ohmschen Widerstandes  $R$  und höhere Werte des Verlustfaktors  $D$  gemessen.
- Anzahl und Grösse der Verletzungen im Hüllrohr:  
Dies ist die Zielgrösse der messtechnischen Überwachung.

### I.5.2 Bewertung und Massnahmen bei Nichterreichen der Grenzwerte

Wird der geforderte Grenzwert gemäss Abb. 5.1 der Richtlinie eingehalten, so ist dies die Bestätigung, dass das Spannglied einen umfassenden Schutz für die betreffende Gefährdungssituation (Hauptkriterium gemäss Ziffer I.2) aufweist. In Abhängigkeit davon ergeben sich unterschiedliche Bewertungen für den Fall, dass der elektrische Widerstand den Grenzwert nicht erreicht.

Durch Messung der magnetischen Flussdichte entlang der Spannglieder können am fertigen Bauwerk Kurzschlüsse und grössere Fehlstellen eines Spanngliedes lokalisiert werden. Je grösser die Betonüberdeckung des Spanngliedes und je mehr Bewehrung im Bereich der Fehlstelle vorhanden ist, desto schwieriger wird allerdings die Messung und Interpretation [3].

### Hauptkriterium Überwachbarkeit

Erfahrungsgemäss wird der Grenzwert nicht immer von allen Spanngliedern erreicht. Ein ungenügender elektrischer Widerstand bedeutet aber nicht zwingend eine Beeinträchtigung der Dauerhaftigkeit. Auch an einer Verletzungsstelle im Kunststoffhüllrohr bleibt der Spannstahl durch das Injektionsgut und den umgebenden Beton in alkalischer Umgebung. Er bleibt damit passiv und vor Korrosion geschützt. Ein Makroelement kann sich nicht bilden. Dringen Chloride über Feuchtigkeitstransporte in einen solchen Bereich vor, so kann dies über den Abfall des elektrischen Widerstandes frühzeitig detektiert werden (bevor Korrosion eintritt).

Die Lage der Fehlstellen ist gegebenenfalls zu bestimmen. Diese Information ist bei späteren Zustandserfassungen und bei der Beurteilung der Überwachungsdaten von grosser Bedeutung. Liegen die Fehlstellen in kritischen Bereichen in Bezug auf das Eindringen von Chloriden, so können zusätzliche Schutzmassnahmen, wie eine verbesserte Abdichtung, getroffen werden. Der konstruktive Schutz und die Überwachbarkeit sind aber beeinträchtigt.

### Hauptkriterium Ermüdung

Der metallische Kontakt zwischen Spannglied und Bewehrung birgt die Gefahr von Reibermüdung. Daher muss bei allen Spanngliedern ein minimaler elektrischer Widerstand vorhanden sein, um diese Gefährdung ausschliessen zu können.

Wird ein Kurzschluss festgestellt, so ist dieser zu orten. Es muss überprüft werden, ob der Kontakt zur schlaffen Bewehrung in einem in Bezug auf Reibermüdung empfindlichen Bereich liegt. In diesem Fall sind die Konsequenzen eines vollständigen lokalen Versagens des betreffenden Spanngliedes abzuklären.

### Hauptkriterium Streustrom

Für einen maximalen Streustromschutz müssen alle Spannglieder einen möglichst hohen elektrischen Widerstand aufweisen. Bei beeinträchtigter elektrischer Isolation ist immer noch ein hoher Schutz gegen Streustromeinwirkung gegeben, wenn Spannungsdifferenzen innerhalb des Spanngliedes vermieden werden.

Sämtliche Spannglieder mit nicht erfüllten Grenzwerten müssen elektrisch unter Einhaltung der entsprechenden Querschnitte der Anschluss- bzw. Überbrückungskabel an beiden Enden mit der Bewehrung verbunden werden. Zur Messung des elektrischen Widerstandes während der Nutzungsphase müssen diese Überbrückungen geöffnet werden.

## I.5.3 Bedeutung der Widerstandswerte

### Messwerte

- Widerstand  $R < 20 \Omega$   
Unabhängig von der Länge des Spanngliedes kann auf eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem Spannstahl und der Bewehrung geschlossen werden (Kurzschluss). Es ist nicht möglich, aus den Messwerten weitere Informationen zu ermitteln. Die Werte der Kapazität  $C$  und des Verlustfaktors  $D$  sind nicht aussagekräftig. Eine Überwachung ist in diesem Falle nicht möglich. Liegt der Kurzschluss in einem in Bezug auf Reibermüdung empfindlichen Bereich, ist der Ermüdungswiderstand des Spanngliedes reduziert.
- Widerstand  $R \geq 20 \Omega$   
Die Anforderungen für das Hauptkriterium Ermüdung sind erfüllt. Im Hüllrohr sind aber Fehlstellen vorhanden. Unabhängig von der Länge des Spanngliedes kann eine elektrisch leitende Verbindung zwischen dem Spannstahl und der Bewehrung ausgeschlossen werden. Eine Überwachung des Spanngliedes ist prinzipiell möglich, die Empfindlichkeit der Messung ist aber abhängig vom Widerstand. Diese nimmt mit steigendem Widerstand zu.

- längennormierter Widerstand  $R_l \geq 50 \text{ k}\Omega\text{m}$   
Die Anforderungen für die Hauptkriterien Ermüdung und Überwachung sind erfüllt. Solche Werte entsprechen einer hohen elektrischen Isolation des injizierten Spanngliedes mit systembedingten kleineren, für die Dauerhaftigkeit (Überwachbarkeit und Ermüdung) unbedeutenden Fehlstellen.
- längennormierter Widerstand  $R_l \geq$  Grenzwert für Streustrom  
Alle Anforderungen an die Hauptkriterien Ermüdung, Überwachbarkeit und den Schutz vor Streuströmen sind erfüllt. Solche Werte entsprechen einer sehr hohen Isolation und Dichtigkeit des Spanngliedes.
- längennormierter Widerstand  $R_l > 500 \text{ k}\Omega\text{m}$   
Dieser Fall entspricht einer völligen elektrischen Isolation des Spanngliedes mit sehr dichten Entlüftungsrohren, Injektionsanschlüssen und Hüllrohrverbindungen. Es sind keine Fehlstellen vorhanden.

### Vergleich der Messwerte an verschiedenen Spanngliedern

Bei der Interpretation der Messwerte sind auch Quervergleiche mit anderen Spanngliedern gleicher Länge und Bauart im selben Bauwerk bzw. Vergleiche mit früheren Messwerten vorzunehmen:

- Quervergleiche erlauben sehr rasch festzustellen, ob nur ein bestimmtes Spannglied ungenügende Messwerte erreicht oder ein systematischer Fehler eingetreten ist. Bei baugleichen Spanngliedern sollten die gemessenen Kapazitätswerte  $C$  um weniger als  $\pm 5\%$  streuen.
- Der Vergleich mit früher festgestellten Messwerten beim gleichen Spannglied erlaubt, das Eindringen von Feuchtigkeit an Verletzungen des Hüllrohrs zu detektieren (stetig sinkender Widerstand). Dies ist aber umso schwieriger, je tiefer der elektrische Widerstand  $R$  des Spannglieds ist.

## I.6 Referenzen

Siehe Literaturverzeichnis, Seite 47.

## I.7 Beilage I1: Widerstandsmessungen an Spanngliedern

Objekt: .....

Messung durch:..... Messgerät:.....

Spannglied Nummer		Beschreibung		Messungen Nr. & Visum	Messung 1 .....	Messung 2.....	Messung 3.....	Messung 4.....	Messung 5.....	Messung 6.....	Messung 7.....		
.....	<b>Typ</b> ..... Dat. Injektion Länge Hüllrohr Ø <b>elektrischer Widerstand R</b> Grenzwert für: Überwachung Ermüdung Streuströme Richtwert für: <b>Kapazität C</b> <b>Verlustfaktor D</b>			Datum									
			m	Witterung									
			mm	Temperatur									
				Messung R									
			kΩ	eingehalten ?									
		20	Ω	eingehalten ?									
			kΩ	eingehalten ?									
			nF	Messung C									
			-	Messung D									
		.....	<b>Typ</b> ..... Dat. Injektion Länge Hüllrohr Ø <b>elektrischer Widerstand R</b> Grenzwert für: Überwachung Ermüdung Streuströme Richtwert für: <b>Kapazität C</b> <b>Verlustfaktor D</b>			Datum							
	m			Witterung									
	mm			Temperatur									
				Messung R									
	kΩ			eingehalten ?									
20	Ω			eingehalten ?									
	kΩ			eingehalten ?									
	nF			Messung C									
	-			Messung D									
.....	<b>Typ</b> ..... Dat. Injektion Länge Hüllrohr Ø <b>elektrischer Widerstand R</b> Grenzwert für: Überwachung Ermüdung Streuströme Richtwert für: <b>Kapazität C</b> <b>Verlustfaktor D</b>					Datum							
			m	Witterung									
			mm	Temperatur									
				Messung R									
			kΩ	eingehalten ?									
		20	Ω	eingehalten ?									
			kΩ	eingehalten ?									
			nF	Messung C									
			-	Messung D									

## II Ausführungshinweise und Einbauinstruktionen

### II.1 Einleitung

Die erfolgreiche Anwendung der Vorspanntechnik im Betonbau bedingt die Beachtung einiger wichtiger Regeln in Planung und Ausführung. Diese Regeln gelten grundsätzlich für alle drei Spanngliedkategorien. Die spezifischen Anforderungen an die einzelnen Spannsysteme sind in den Schweizerischen Technischen Zulassungen der Spannsysteme (STA) festgelegt.

In diesem Anhang werden nur die baustellenbezogenen, kritischen Arbeitsvorgänge behandelt. Die ausschliesslich durch die Spannfirmen auszuführenden Arbeiten wie Spannen und Injizieren werden hier nicht dokumentiert.

Die Checkliste (Beilage II1, siehe Ziffer II.14) enthält die wesentlichen Schritte und erforderlichen Kontrollen für die Erstellung eines Bauwerkes mit Spanngliedern.

An einer Startsituation mit allen Beteiligten und mittels Instruktion des Baustellenpersonals zu Beginn der Bauarbeiten sind die Verantwortlichkeiten und wichtige Ausführungsschritte zu klären.

#### **Temporärer Korrosionsschutz**

Werden die Fristen zwischen Herstellung, Einbau, Spannen und dem Injizieren gemäss SIA 262:2003, Ziffer 6.3.2 nicht eingehalten, so sind besondere Massnahmen zum temporären Korrosionsschutz der Spannstähle vorzusehen. Hinweise dazu sind in folgenden Dokumenten zu finden:

- R. Werner, Dr. M. Faller, Dr. P. Richner, P. Matt (2004), "**TEKORS - Temporärer Korrosionsschutz von Spanngliedern – Wirksamkeit und Praxistauglichkeit**", Forschungs- und Arbeitsbericht 14.01, EMPA Dübendorf [17];
- R. Werner, M. Faller (2007), "**Temporärer Korrosionsschutz von Spanngliedern (TEKplus) – Wissenschaftlich, technische Begleitung der Umsetzung in die Praxis**", Forschungsbericht Nr. 614, VSS Zürich [18].

#### **Besondere Hinweise für Spanngliedkategorie c**

Das Potenzial der Spannglieder der Kategorie c kann nur ausgeschöpft werden, wenn während jeder Phase der Erstellung von allen Beteiligten sorgfältig und zielorientiert gehandelt wird.

Die erforderlichen Installationen für die elektrischen Widerstandsmessungen während der Erstellung und der Nutzungsdauer des Bauwerkes müssen im voraus geplant und mit den Baumeisterarbeiten ausgeschrieben werden. Sie sind in der Bauwerksdokumentation nachzuführen.

## II.2 Anlieferung und Lagerung der Spannglieder

Je nach Bauvorgang, Baustellenverhältnissen, Spannsystem und Spannfirmen werden die Spanngliederkomponenten in unterschiedlicher Art und Weise auf die Baustelle geliefert:



Abb. II.1: Werkgefertigte Spannglieder mit angebauten Verankerungen.



Abb. II.2: Vorverlegte Hüllrohre und Litzeneinstossen vor dem Betonieren.



Abb. II.3: Falsche, unsachgemässe Lagerung.



Abb. II.4: Richtige Lagerung der Hüllrohre.

### Bemerkungen:

Die wesentlichen Massnahmen betreffend Anlieferung, Ablad und korrekter Lagerung der Spannglieder und der Spanngliederkomponenten auf der Baustelle sind in der Schweizerischen Technischen Zulassung (STA) des eingesetzten Spannsystems festgelegt.

Insbesondere die Hüllrohre und Kunststoffteile der Hüllrohrverbindungen und Verankerungen müssen sorgfältig behandelt und sauber gelagert werden, um eine Beeinträchtigung der elektrischen Isolation zu vermeiden.

Eine einzige Fehlstelle der elektrisch isolierenden Hülle genügt, um die Isolationswerte des ganzen Spanngliedes stark herabzusetzen.



## II.3 Versetzen der Verankerungen



Abb. II.5: An Schalung befestigte Verankerungen.

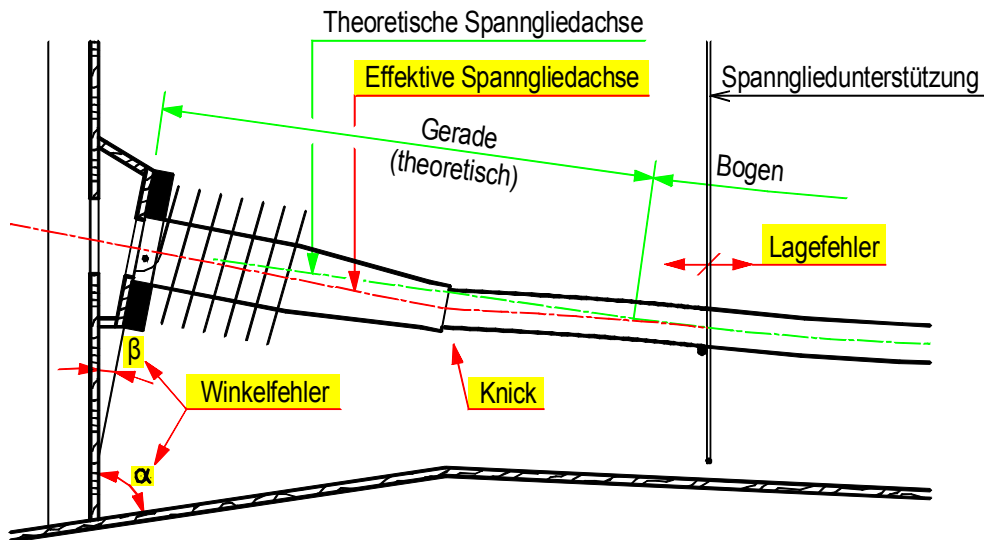


Abb. II.6: Geometrische Randbedingungen.

### Bemerkungen:

Die Abschaldetails müssen entsprechend den Spannsystemangaben durch den Projektverfasser korrekt geplant und durch die Unternehmung plangemäss ausgeführt werden.

Die Abschaltfläche muss rechtwinklig zur Spanngliedachse sein und sicherstellen, dass die geforderte Länge der anschliessenden Geraden eingehalten wird. Die Ankerplatte ist satt mit der Schalung zu verschrauben.

## II.4 Spanngliedführung

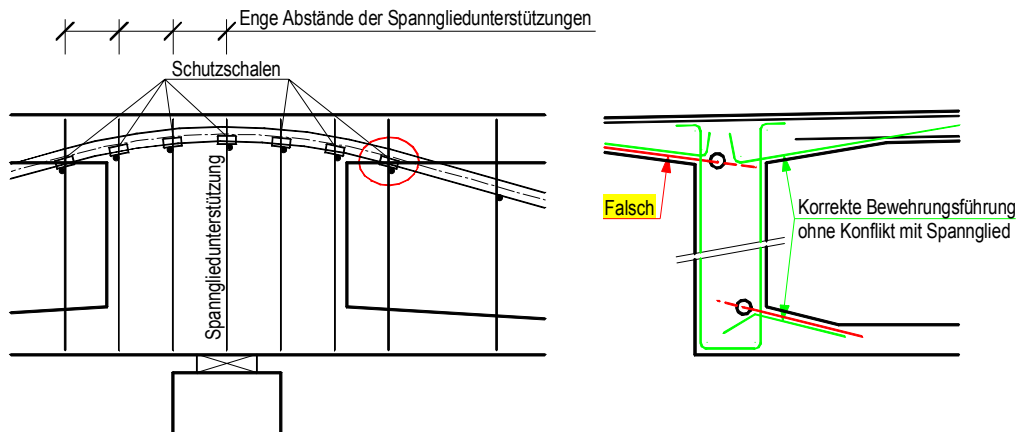


Abb. II.7: Spanngliedunterstützungen bei engen Radien und Konflikt Plattenbewehrung mit Spannglied.



Abb. II.8: S-förmige Querung Spannglied/Bügel in Bewehrungsplan nicht berücksichtigt, keine Schutzschalen gegen Bügel in enger Umlenkung des Spanngliedes.

### Bemerkungen:

Konfliktstellen zwischen Spanngliedern und Bewehrung, insbesondere bei schiefenden Schnitten der Spanngliedachse mit der Bewehrung, sind bereits in der Planung korrekt zu lösen.

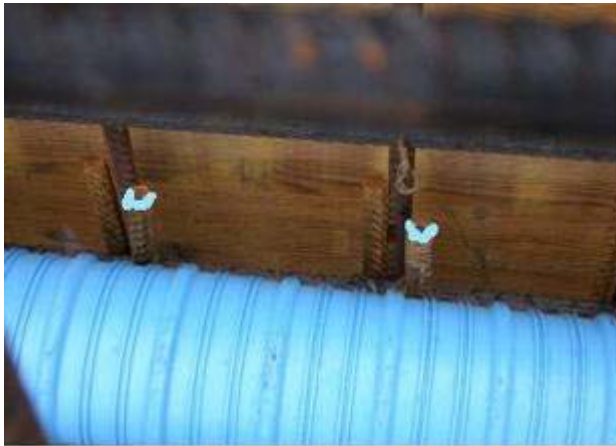
Die Spannglieder sind im Bereich grosser Krümmungen (kleine Biegeradien horizontal und vertikal) in engeren Abständen gemäss STA und den Angaben des Projektverfassers mittels geeigneter Spanngliedunterstützungen so zu halten, dass das Spannglied gleichmässig umgelenkt wird.

In allen kritischen Umlenkzonen der Spannglieder mit Radien kleiner als der zweifache Minimalradius gemäss STA, sind auf der Krümmungsinne-seite systemkonforme Schutzschalen zu verwenden, um lokale Eindellungen der Hüllrohre oder Beschädigungen während des Spann-vorganges zu vermeiden.

Für Spannglieder der Kategorie b und c bestehen die Schutzschalen aus Kunststoff.

Die Dicke der Schutzschalen ist in den Höhen der Spanngliedunterstützungen zu berücksichtigen.

## II.5 Einbau der Spannglieder bzw. der Hüllrohre



*Abb. II.9: Hüllrohr beim Einbau durch scharfe Kanten an stehenden Bewehrungsstäben beschädigt (abgetragenes Hüllrohrmaterial ist an der Bewehrung sichtbar).*



*Abb. II.10: Hüllrohr eingedrückt durch stehendes Einbauteil.*

Bemerkungen:

Zurückgebogene oder abgeschnittene Bewehrungsstäbe dürfen die Hüllrohre nicht gefährden.

## II.6 Binden der Spannglieder bzw. der Hüllrohre



Abb. II.11: Schutzschalen aus Stahl und Drahtbinder sind bei Spanngliedkategorie b und c nicht gestattet.



Abb. II.12: Schutzschalen und Binder aus Kunststoff.

### Bemerkungen:

Spannglieder bzw. Hüllrohre und Schutzschalen sind auf den Spanngliederunterstützungen ausreichend festzubinden, damit sich deren Lage weder bei Temperatureinwirkungen noch beim Betonieren verschiebt.

Die Spannglieder sollen grundsätzlich mit Bindern aus Kunststoff fixiert werden.

Leer einzubetonierende Hüllrohre sind ausreichend gegen Auftrieb zu sichern.

## II.7 Injektionsanschlüsse und Entlüftungen



Abb. II.13: Injektionsanschlüsse mit Aussparungskörpern.

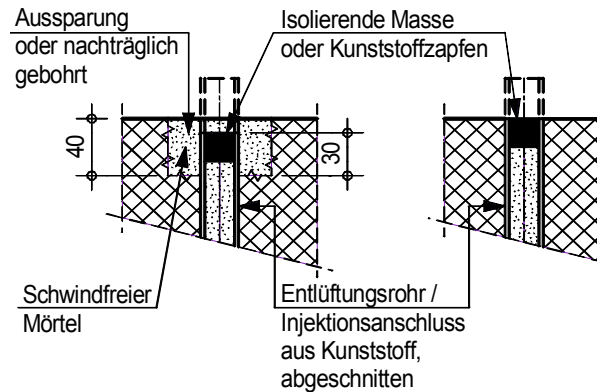


Abb. II.14: Beispiele für das Verschliessen.

### Bemerkungen:

Die Detailmassnahmen für einwandfreie Injektionsanschlüsse und Entlüftungen sind mit dem Unternehmer zu vereinbaren und mit den übrigen Baustellentätigkeiten zu koordinieren (Injektionsanschlüsse und Entlüftungen sind beim Abziehen des Frischbeton mit der Vibro-Latte und beim Abdecken hinderlich und beim Befahren der Fahrbahnplatte oder beim Lagern von Baumaterialien besteht die Gefahr der Beschädigung der Röhrchen).

Der Instandstellungsaufwand von defekten Anschlüssen für die einwandfreie Injektion und die systemkonforme Verschliessung ist gross.

Durch Anwendung der Vakuuminjektion können in der Regel die Injektionsanschlüsse und Entlüftungen an den Spanngliedhochpunkten entfallen, was insbesondere zur Herstellung einwandfreier Fahrbahnplattenoberflächen vorteilhaft ist.



## II.8 Anschluss- und Messkabel



*Abb. II.15: Nachträgliche Aufputzinstallation z.B. in geschützter, abgeschlossener Widerlagerkammer.*



*Abb. II.16: Eingelegte Leerrohre für Anschluss- und Messkabel.*

### Bemerkungen:

Die Anordnung der Mess- und Anschlusskabel sowie der Mess- und Anschlusskästen muss vom Projektverfasser geplant werden.

Das Konzept der Installationen ist auf die örtlichen Gegebenheiten abzustimmen und eventuell in Zusammenarbeit mit einer Messtechnikfirma festzulegen.

Die Kabel werden mit Vorteil innerhalb des Betons von der Verankerung zum vorgesehenen Mess- bzw. Anschlusskasten verlegt und sind deshalb im Bauablauf rechtzeitig einzuplanen.

Nachträglich ausserhalb des Betons montierte Kabel (Aufputzinstallation) sind fachgerecht zu verlegen und vor Beschädigungen und Vandalismus zu schützen.

## II.9 Fremdarbeiten im Bereich der Spannglieder



Abb. II.17: Schweißen ohne Schutzmassnahme ist untersagt.



Abb. II.18: Schutzmatte z. Bsp. beim Arbeiten mit der Trennscheibe.

### Bemerkungen:

In der Nähe von Verankerungen und Hüllrohren, insbesondere von solchen aus Kunststoff, sind folgende Arbeiten ohne adäquate Schutzmassnahmen strengstens untersagt:

#### Arbeitsvorgang:

- Schweißen
- Brennen mit Schneidbrenner
- Hantieren mit scharfen Gegenständen (z.B. Stahlteile mit Brauen)

#### Gefährdung des Spanngliedes:

Schmelzen der Kunststoffteile infolge Hitze oder Entstehen von Löchern durch Schweissperlen wie oben, dazu Brandgefahr  
Schnittverletzungen der Hüllrohre

An Spannstahl und Verankerungselementen darf nicht geschweisst werden.

Damit die Hüllrohre nicht zusammengedrückt oder anderweitig beschädigt werden, ist das Abstellen von Lasten und das Begehen durch Personen zu vermeiden.

## II.10 Nachträglicher Einbau von Bewehrungen und Einlagen, Schliessen der Schalung vor dem Betonieren

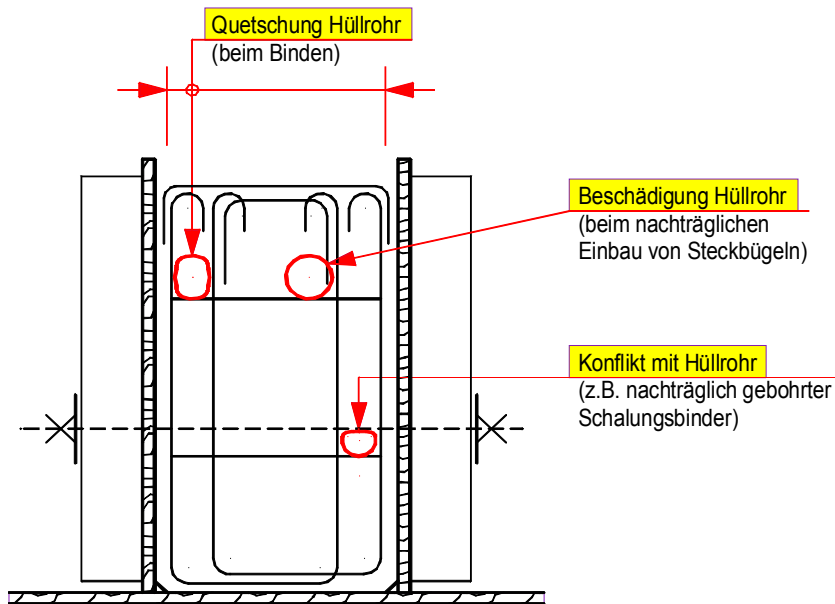


Abb. II.19: Gefährdung der Hüllrohre beim Schliessen der Schalung.

Bemerkungen:

Vorsicht ist geboten beim Versetzen von:

- Steckbügeln im Bereich der Hochpunkte;
- Schubbewehrung, Dübelleisten;
- Schalungsbindern.

Solche nachträglich einzubauende Teile dürfen im Bereich von Hüllrohren und Verankerungen nur ohne "Würgen" d.h. zwängungsfrei versetzt werden.

Unverträglichkeiten sind mit der Bauleitung zu bereinigen.

Jede Beschädigung von Spanngliedern ist der Spannfirma unverzüglich zu melden, damit vor dem Betonieren eine fachgerechte Instandstellung erfolgen kann.

Beim Schliessen der Schalung dürfen keine Bewehrungsstäbe auf die Hüllrohre gedrückt werden, da dies zu Eindellungen führen würde.



## II.11 Betonieren, Arbeitsfugen und Ausschalen



*Abb. II.20: Kurze Anschlussstummel der Hüllrohre sind wegen des Risikos der Knickbildung ungünstig.*



*Abb. II.21: Ausreichende Überlänge zur Erreichung gleichmässiger Spanngliedkrümmung.*

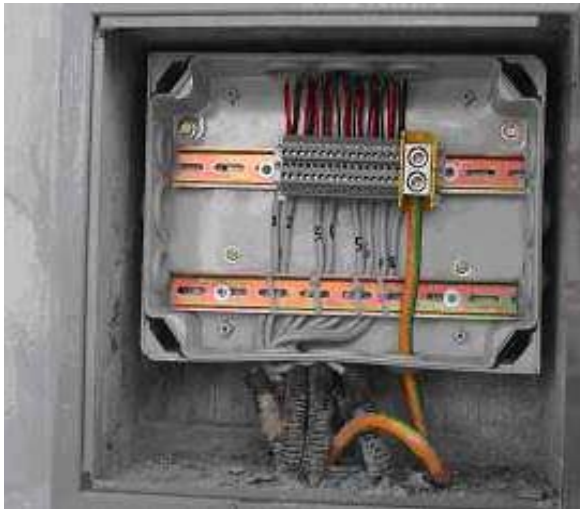
### Bemerkungen:

Beim Einbringen und Verdichten des Frischbetons gelten die üblichen Vorsichtsmassnahmen, damit keine Beschädigungen entstehen.

Die Nischen der Verankerungen sind vorsichtig freizulegen, damit keine Teile der Verankerungen oder Leerrohre für die Anschluss- und Messkabel beschädigt werden.

Arbeitsfugen mit durchgehenden Hüllrohren sind besonders heikel wegen der Gefahr einer lokalen Beschädigung der Hüllrohre (zum Beispiel beim Ausschalen) und Knickbildung.

## II.12 Messkasten und Anschluss der Messleitungen



*Abb. II.22: Improvisierte Messkästen sind untauglich.*



*Abb. II.23: Robuster Messkasten aus korrosionsbeständigen Materialien.*

Bemerkung:

Der Beizug von Fachleuten aus der Elektrotechnik (Messtechnikfirma) ist empfehlenswert.

## II.13 Durchführung der elektrischen Widerstandsmessungen



Abb. II.24: Messungen während Bauphase.



Abb. II.25: Messungen am fertig installierten Bauwerk.

### Bemerkungen:

Anzahl und Zeitpunkt der Messungen werden unter Berücksichtigung der Richtlinienvorgaben für jedes Bauprojekt objektspezifisch im Kontroll- und Prüfplan für die Ausführungsphase und im Überwachungsplan für die Nutzungsphase festgelegt.

Die Bedingungen zum Zeitpunkt der Messungen weichen in der Realität oft von idealen Verhältnissen ab:

- Feuchtigkeit auf der Isolationsplatte oder in offenen Entlüftungen kann zu elektrolytischen Kontaktstellen führen.
- Vor dem Anschluss der Messkabel wird in der Regel der Widerstand zwischen der Bewehrung und Metallteilen der Verankerung gemessen.
- Bei unterschiedlichem Alter des Füllgutes (Zementinjektion) eines gekuppelten Spanngliedes ist das jüngste Füllgut mit der höchsten Feuchtigkeit ausschlaggebend.

Insbesondere bei gekuppelten Spanngliedern oder schlechter Witterung kann dies zu markanten Veränderungen des elektrischen Widerstandes führen. Bei der Beurteilung der Messwerte ist dies zu beachten (siehe auch Hinweise in Anhang I).

## II.14 Checkliste

(enthält nur relevante Arbeiten für die Spannglieder und muss auf den Einzelfall abgestimmt werden)

Tätigkeit	Ausführende <sup>1)</sup>	Freigabe	Do-kument	Kontrolle und Toleranzen
Verlegen der Spanngliedunterstützungen	UN			
Versetzen der Verankerungen/Nischen	UN			
Abnahme der Spanngliedunterstützungen: - Kontrolle Höhe, Abweichung vom Soll	BL	BL	x	gemäss SIA 262 <sup>3)</sup> ≤ ± 5mm (h ≤ 2m) bzw. ≤ ±10mm (h > 2m)
Verlegen der leeren Hüllrohre bzw. der werkgefertigten Spannglieder	UN			
Kontrolle der Dichtheit visuell	UN (SF)		x	
Einstossen/Einziehen des Spannstahles (bei Baustellenfertigung)	SF			
Verlegen der Messkabel bzw. deren Leerrohre <sup>2)</sup>	EL (UN)			
Abnahme der Spannglieder: - Kontrollen: - horizontale Lage, Abweichung vom Soll - visuelle Kontrolle Spanngliedführung - Schutzschalen, Bindungen, Messkabel	BL	BL	x	gemäss SIA 262 <sup>3)</sup> ≤ ± 15mm stetige Linie? vollzählig, systemkonform?
Widerstandsmessung vor dem Betonieren <sup>2)</sup>	SF (BL,EL)	BL	x	Messung zur Detektion von Kurzschlüssen <sup>4)</sup>
Betonieren	UN			
Evtl. nachträglicher Einbau des Spannstahles	SF			
Widerstandsmessung vor dem Spannen <sup>2)</sup>	SF (BL,EL)		x	Messung zur Detektion von Kurzschlüssen <sup>4)</sup>
Spannen, Kontrolle Dehnwege	SF		x	
Widerstandsmessung nach dem Spannen <sup>2)</sup>	SF (BL,EL)		x	Messung zur Detektion von Kurzschlüssen <sup>4)</sup>
Freigabe zum Schneiden der Spannstahlüberstände: Kontrolle Dehnwege: - Abweichung vom Soll	BL	BL	x	gemäss SIA 262 <sup>3)</sup> ≤ ± 15% Einzelspannglied ≤ ± 5% im Mittel
Montage der Schutz-/Injektionshauben	SF			
Widerstandsmessung vor der Injektion <sup>2)</sup>	SF (BL,EL)		x	Messung zur Detektion von Kurzschlüssen <sup>4)</sup>
Injektion	SF		x	
Widerstandsmessung nach der Injektion <sup>2)</sup>	SF (BL,EL)		x	Grenzwerte und max. Ausfallquote nach Abb. 5.1 der Richtlinie
Schliessen der Ankernischen usw.	UN			
Widerstandsmessung nach ca. 28 Tagen <sup>2)</sup>	SF (EL)	BL	x	Grenzwerte und max. Ausfallquote nach Abb. 5.1 der Richtlinie

Legende:

- BL Bauleitung
- UN Unternehmer (Baumeister, Eisenleger)
- SF Spannfirmen
- EL Elektrofirma, Messtechnikfirma

- 1) Regelfall, Angaben in Klammern sind mögliche Alternativen, in Ausschreibungsunterlagen bzw. an Startsituation festzulegen
- 2) nur bei Spanngliedkategorie c
- 3) vorbehaltlich geringere Werte gemäss Kontrollplan
- 4) in diesen Bauzuständen sind Korrekturmassnahmen evtl. noch möglich; vgl. Anhang I, Abb. I.5

## Glossar

Deutsch		Français	
Anschlusskabel	Isolierte elektrische Verbindung zwischen Ankerkopf bzw. Bewehrung und Anschlusskasten	Câble de raccordement	Liaison électrique isolée entre la tête d'ancrage respectivement l'armature et le boîtier de raccordement
Anschlusskasten	An geschützter Stelle in nächster Nähe der Verankerungen angebrachter Kasten, in dem Anschluss- und Messkabel zusammengeführt werden	Boîtier de raccordement	Boîtier, placé à un endroit abrité, auquel aboutissent les câbles de raccordement et les câbles de mesure
Ausfallquote	Anteil der Spannglieder, die die Grenzwerte entsprechend dem massgebenden Hauptkriterium bezüglich der Korrosionsgefährdung nicht einhalten	Taux de défauts	Proportion des câbles de précontrainte ne satisfaisant pas au critère principal concernant la protection contre la corrosion
Entlüftungsrohr	Während Injektion des Spanngliedes verschliessbares Entlüftungsrohr an Hochpunkt	Évent	Évent situé au point haut pour l'évacuation de l'air durant l'injection du câble
Grenzwert	Mindestwert	Valeur limite	Valeur minimum exigée
Hauptkriterium Ermüdung	Massgebendes Kriterium für die Wahl der Spanngliedkategorie und die Höhe des einzuhaltenen Grenzwertes zur Vermeidung des metallischen Kontakts zwischen Spannstahl und Bewehrung	Critère principal surveillance	Critère déterminant pour le choix de la catégorie de précontrainte et du niveau de la valeur limite dans le but d'éviter tout contact métallique entre le câble de précontrainte et l'armature
Hauptkriterium Streustrom	Massgebendes Kriterium für die Wahl der Spanngliedkategorie und die Höhe der einzuhaltenen Grenzwerte zur Verhinderung der Spanngliedkorrosion infolge Streuströmen	Critère principal courants vagabonds	Critère déterminant pour le choix de la catégorie de précontrainte et du niveau de la valeur limite dans le but d'éviter la corrosion des câbles de précontrainte par les courants vagabonds
Hauptkriterium Überwachbarkeit	Massgebendes Kriterium für die Wahl der Spanngliedkategorie und die Höhe des einzuhaltenen Grenzwertes zur Kontrolle der Dichtigkeit der Schutzhülle des Spanngliedes gegen Eindringen von Feuchtigkeit und Chloriden	Critère principal fatigue	Critère déterminant pour le choix de la catégorie de précontrainte et du niveau de la valeur limite dans le but de contrôler l'étanchéité de la gaine du câble de précontrainte pour éviter la pénétration d'humidité et de chlorures
Injektionsanschluss	Verschliessbarer Anschluss an das Spannglied zur Injektion der Spannglieder	Raccord d'injection	Raccord au câble de précontrainte, qui peut être scellé, prévu pour injecter les câbles
Kapazität C	Messwert des LCR-Meters, erlaubt Prüfung des Hüllrohrs (Länge, Durchmesser)	Capacité C	Résultat de mesure du LCR-mètre, permet le contrôle de la gaine (longueur, diamètre)
Kontrollwert	Messwert, welcher zur Prüfung der Korrektheit der Messung erfasst wird, für den aber kein Grenzwert vorliegt	Valeur de contrôle	Résultat de mesure, relevé pour valider les mesures mais pour lequel il n'y a pas de valeur limite à respecter
Korrosionsgefährdung	Begründetes Risiko, dass die Bewehrung in Zukunft korrodieren kann	Risque de corrosion	Risque justifié d'une corrosion future de l'armature
Längennormierter elektrischer Widerstand $R_l$ [ $\Omega$ m]	Längenabhängiger Wert des elektrischen Widerstandes	Résistance électrique-longueur normalisée $R_l$ [ $\Omega$ m]	Valeur de la résistance électrique dépendant de la longueur du câble
Längssammelleiter	Elektrisch leitend verbundener Bewehrungsstrang in Bauwerkslängsrichtung	Barre collectrice	File d'armatures, reliées électriquement, posées dans le sens longitudinal de l'ouvrage
LCR-Meter	Messgerät für die gleichzeitige Bestimmung von Induktivität (L), Kapazität (C) und Widerstand (R)	LCR-mètre	Appareil pour la mesure simultanée du coefficient d'auto-induction (L), de la capacité (C) et de la résistance (R)

Deutsch		Français	
Messkabel	Isolierte elektrische Verbindung zwischen Ankerkopf bzw. Bewehrung und Messkasten	Câble de mesure	Liaison entre la tête d'ancrage resp. entre l'armature et le boîtier de mesures
Messkasten	An geschützter, zugänglicher Stelle angebrachter Kasten, in dem die Messkabel zusammengeführt und an Anschlussbuchsen für die elektrische Widerstandsmessung angeschlossen werden	Coffret de mesure	Boîtier placé à un endroit abrité et accessible auquel sont raccordés les câbles de mesure aux fiches pour les mesures de résistance électrique
Messwerte	Die mittels LCR-Meter bestimmten Werte für die Induktivität, die Kapazität und den Widerstand	Résultats de mesure	Valeurs de l'auto-induction, de la capacité et de la résistance, mesurées à l'aide du LCR-mètre
Schutzschalen (früher Halbschalen)	Kunststoffzwischenlage zwischen Hüllrohr und Spanngliedunterstützung	Coques de protection	Élément synthétique placé entre la gaine et le support de câble
Spanngliedunterstützung (früher Kabelhalter)	Unterstützung des Hüllrohres zur Gewährleistung der verlangten Geometrie	Support de câble	Support pour la gaine permettant de garantir la géométrie voulue au câble
Spannungsgradient	Durch Stromfluss verursachter Spannungsabfall im Beton	Gradient de tension	Chute de tension provoquée par le flux de courant dans le béton
Verlustfaktor D	Längenunabhängiger Kontrollwert der Qualität der elektrischen Isolation	Facteur de perte D	Valeur de contrôle de la qualité de l'isolation électrique, indépendante de la longueur
Widerstand R [ $\Omega$ ]	Absolutwert des elektrischen Widerstandes (Messwert)	Résistance R [ $\Omega$ ]	Valeur absolue de la résistance électrique (valeur de la mesure)

## Literaturverzeichnis

- 
- [1] F. Hunkeler, H. Ungricht, P. Matt (1998), „**Korrosionsschäden an Spannstählen in Spanngliedern und vorgespannten Boden- und Felsankern**“, Forschungsbericht Nr. 534, VSS Zürich.
- 
- [2] U. Nürnberger (1980), „**Analyse und Auswertung von Schadensfällen an Spannstählen**“, Forschung Strassenbau und Strassenverkehrstechnik, Heft 308, Bonn Bad Godesberg.
- 
- [3] M. Büchler, Y. Schiegg, C.-H. Voüte (2005), „**Elektrisch isolierte Spannglieder: Einsatz in Gegenden mit Streuströmen und Lokalisierung von Kurzschlüssen und Fehlstellen**“, Forschungsbericht Nr. 585, VSS Zürich
- 
- [4] P. Matt (1994), „**Brücken in Spannbeton - Verbesserung der Dauerhaftigkeit von Spannsystemen**“, Heft 21, S. 390 – 394, Schweizer Ingenieur und Architekt.
- 
- [5] U. Nürnberger (1998), „**Corrosion induced failures in prestressed concrete structures and preventive measures**“, Otto Graf Journal 9, pp. 218 – 250, FMPA Stuttgart.
- 
- [6] P. Matt (1990), „**Qualitätsgesicherte und überwachbare Spannsysteme im Brückenbau**“, Forschungsbericht Nr. 192, VSS Zürich.
- 
- [7] B. Elsener, H. Böhni, R. Bräunlich, A. Markees (1997), „**Zerstörungsfreie Spannkabelprüfung mit reflektometrischer Impulsmessung**“, Forschungsbericht Nr. 528, VSS Zürich.
- 
- [8] P. Matt (1993), „**Spannsysteme – Zerstörungsfreie Prüfung bei bestehenden Brücken und überwachbare Systeme der Zukunft**“, SIA Dokumentation D 099 Erhaltung von Brücken, S. 95-103, Schweiz. Ingenieur und Architektenverein Zürich.
- 
- [9] J. Ayats, A. Gnägi, B. Elsener (2002), „**Electrical Isolation as Enhanced Protection for Post-Tensioning Tendons in Concrete Structures**“, Proc. Int. fib Congress Osaka, Vol. 6, Session 8, pp. 169 – 176, Japan Prestressed Concrete Engineering Association.
- 
- [10] fib technical report: (2000), „**Corrugated plastic ducts for internal bonded post-tensioning**“, bulletin 7, fib Lausanne.
- 
- [11] SIA Dokumentation D 0133 (1997), „**Ermüdung von Betonbauten**“, SIA Zürich.
- 
- [12] B. Elsener, L. Toller, C.-H. Voüte, H. Böhni (2002), „**Überprüfen des Korrosionsschutzes von Spanngliedern in Kunststoffhüllrohren**“, Forschungsbericht Nr. 564, VSS Zürich.
- 
- [13] B. Elsener (2004), „**Langzeitüberwachung vorgespannter Tragwerke**“, Tec21 Nr. 22, Tec Dossier 130 „Werkstoff Beton“, S. 14 – 17, SIA Zürich.
- 
- [14] SGK (2001), „**Richtlinien zum Schutz gegen Korrosion durch Streuströme von Gleichstromanlagen**“, Richtlinie C3, Zürich.
- 
- [15] F. Hunkeler, P. Matt, U. von Matt, R. Werner (2005), „**Spannglieder, Schrägseile und Anker – Beschreibung der Systeme und Erkenntnisse aus Korrosionsschäden**“, Forschungsbericht Nr. 588, VSS Zürich.
- 
- [16] J.P. Fuzier, H.R. Ganz, P. Matt (2005), „**Durability of post-tensioning tendons**“, fib recommendation bulletin 33, fib Lausanne.
- 
- [17] R. Werner, Dr. M. Faller, Dr. P. Richner, P. Matt (2004), „**TEKORS - Temporärer Korrosionsschutz von Spanngliedern – Wirksamkeit und Praxistauglichkeit**“, Forschungs- und Arbeitsbericht 14.01, EMPA Dübendorf.
- 
- [18] R. Werner, M. Faller (2007), „**Temporärer Korrosionsschutz von Spanngliedern (TEKplus) – Wissenschaftlich, technische Begleitung der Umsetzung in die Praxis**“, Forschungsbericht Nr. 614, VSS Zürich.
-





## Auflistung der Änderungen

Ausgabe	Version	Datum	Änderungen
2001	1.00	2001	Inkrafttreten Ausgabe 2001.
2007	2.00	01.09.2007	Inkrafttreten Ausgabe 2007.

