

Kontrolle KKS Stahlstützen Willerzeller Viadukt, Sihlsee

Bericht Nr.:	17179
Auftraggeber:	SBB AG
Verfasst:	David Joos
Geprüft:	Dr. Markus Büchler
Datum:	10. November 2017

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	3
2	Situation	3
3	Messungen und Resultate.....	3
4	Beurteilung.....	5
5	Massnahmen	6

1 Grundlagen

Die SGK wurde beauftragt als unabhängige Instanz den kathodischen Korrosionsschutz (KKS) der Stahlstützen des Willerzeller Viadukts zu kontrollieren.

Als Grundlagen dienen:

- Planunterlagen der Brücke
- Gutachten mit Bericht-Nr.: E16/09 vom 6. Juni 2017 von Prof. Dr. Eugen Brühwiler
- Messprotokoll der Corroprot AG zu den Messungen vom 16.05.2017
- Die Messungen vom 25.10.2017
- Telefongespräch mit Herr Nachbur vom 9.11.17 in Bezug auf die zu treffenden Massnahmen

Dieser Bericht ersetzt jenen vom 1.11.2017

2 Situation

Das Willerzeller Viadukt ist eine 1115 Meter lange Brücke ins Willerzell. Die Stahlbrücke steht auf 44 Stahlstützen, von welchen 38 als Pendeljoche und 6 als Standjoche ausgebildet wurden. Sie wurde ab 1932 gebaut und mit der Flutung des Sihlsees 1937 in Betrieb genommen.

Gemäss der Broschüre «Das Etzelwerk» (1981) wurde für die beiden Sihlsee-Viadukte ein leichter Brückentyp gewählt, da der aus Torf und Seeschlamm bestehende Untergrund des Sihlsees eine geringe Tragfähigkeit aufweist. Der Oberbau ruht auf den Pendeljochen, die in regelmässigen Abständen von 20 bzw. 25 Metern angeordnet sind. Die Pendeljoche stehen auf zwei pyramidenförmig gerammten Pfahlgruppen von 5 bis 8 Holzpählen. Zwischen den Pendeljochen befinden sich regelmässig verteilt die Standjoche, die mit der doppelten Zahl von Pfählen fundiert sind.

Die Stahlstützen sind mit einem Korrosionsschutzanstrich versehen und werden über einen Gleichrichter kathodisch geschützt. Die KKS Anlage ist seit 1958 in Betrieb. Als Anoden wurden Eisenbahnschienen auf dem Seegrund deponiert.

Im Rahmen des Betriebsunterhalts werden die Speisespannung und der Strom am Gleichrichter wöchentlich geprüft und dokumentiert. Zusätzlich werden zwei- bis dreimal pro Jahr mit einer mobilen Referenzelektrode an jeder Stütze die Ein- und Ausschaltpotenziale gemessen.

Im Rahmen der Zustandserfassung wurde die Firma Corroprot AG beauftragt, die Ein- und Ausschaltpotenzialwerte erneut zu messen. Diese Messung galt es von einer unabhängigen Instanz zu wiederholen, da die Firma, welche die ursprüngliche KKS Anlage installiert hatte von der Corroprot AG übernommen wurde.

Zum Zeitpunkt der Messung war der See voll. Die Wasseroberfläche lag bei 888.6 m.ü.M.

3 Messungen und Resultate

Für die Messung wurden zwei Pendel- und Standjochpaare (18/19 und 25/26) ausgewählt. Die Wahl fiel auf diese beiden Paare, da sie im Protokoll zu den Messungen vom 16.05.2017 der Corroprot AG die schlechtesten Werte aufweisen.

Die Wassertemperatur lag bei ca. 13°C und die Messung des spezifischen Widerstands hat einen Wert von rund 55 Ω m ergeben.

Für die Potenzialmessung wurde einem Taucher eine mobile Kupfer/Kupfersulfat Referenzelektrode (CSE) mitgegeben. Dieser platzierte diese zwischen den Holmen der Joche im Wasser 1 m unterhalb der Wasseroberfläche, in der Mitte zwischen Wasseroberfläche und dem Seegrund und in ca. 0.5 m Entfernung von den zwei, respektive 4 Sockeln der Pendel- respektive der Standjoche.

Für die Ermittlung des Gradienten wurden zusätzlich zu den Messungen bei den Stützen auf 5 m, 10 m, 15 m und 20 m zwischen den Stützen jeweils 1 m unter der Wasseroberfläche (Abb. 1, grüne Punkte) die Potenziale gemessen.

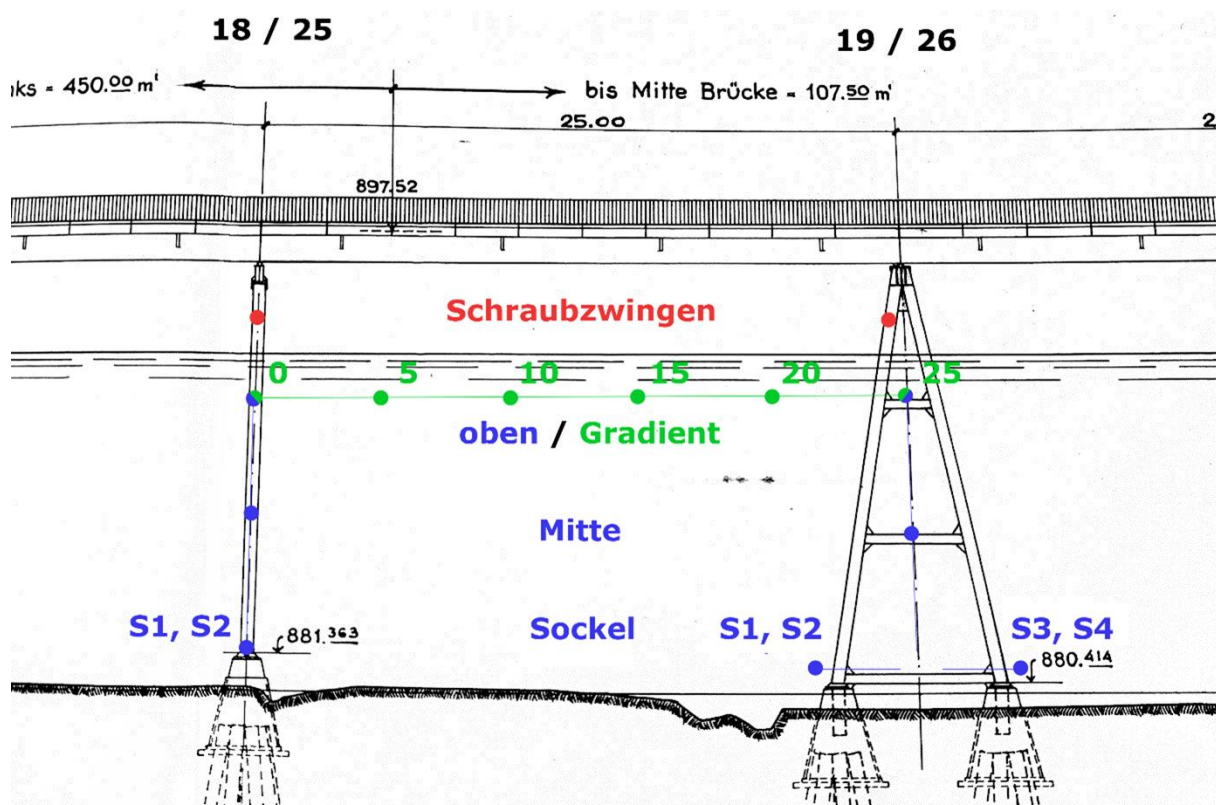


Abb. 1: Planausschnitt mit eingezeichneten Messpunkten.

Die Messresultate sind in folgender Tabelle 1 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass die Potenzialwerte bei allen Stützen mit zunehmender Tiefe negativer werden. Die Einschaltpotenziale reichen von knapp $-1.0 V_{CSE}$ bis knapp $-1.3 V_{CSE}$ und sind im Mittel rund $-1.16 V_{CSE}$. Die Ausschaltpotenziale liegen zwischen $-0.92 V_{CSE}$ und $-1.04 V_{CSE}$ (Mittelwert bei $-1.00 V_{CSE}$).

Tabelle 1: Resultate der Potenzialmessung (Werte in V_{CSE}).

Ort	Stütze 18		Stütze 19		Stütze 25		Stütze 26	
	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}
Oben	-1.19	-1.02	-1.00	-0.92	-1.21	-1.00	-0.99	-0.92
Mitte	-1.21	-1.03	-0.98	-0.93	-1.24	-1.02	-0.99	-0.94
S1	-1.25	-1.04	-1.14	-1.02	-1.28	-1.04	-1.17	-1.00
S2	-1.27	-1.04	-1.17	-1.02	-1.29	-1.04	-1.16	-1.01
S3	-	-	-1.15	-1.03	-	-	-1.17	-1.00
S4	-	-	-1.18	-1.00	-	-	-1.16	-1.03

Tabelle 2: Resultate der Gradientenmessung (Werte in V_{CSE}).

Struktur	Distanz	Gradient Stütze 18 → 19		Gradient Stütze 25 → 26	
		E_{on}	E_{off}	E_{on}	E_{off}
Pendeljoch	0 m	-1.19	-1.02	-1.21	-1.00
	5 m	-1.27	-1.02	-1.27	-1.02
	10 m	-1.26	-1.01	-1.25	-1.03
	15 m	-1.22	-1.00	-1.23	-1.06
	20 m	-1.14	-0.97	-1.15	-0.98
Standjoch	25 m	-1.00	-0.92	-0.99	-0.92

Bei den Gradientenmessung zeigt sich bei beiden Stützenpaare eine geringe Absenkung des Potenzials zwischen den Stützen.

4 Beurteilung

Die Potenzialmessungen der Stützen des Willerzeller Viadukts haben ergeben, dass die kathodische Schutzanlage funktionstüchtig ist. Die Messungen der Firma Corroprot AG vom 16.05.2017 konnten bestätigt werden.

Die gemessenen Ausschaltpotenzialwerte zeigen, dass sich an der Stahloberfläche im Wasser ein Zustand eingestellt hat, bei dem von Sauerstoffverarmung und pH-Wert Erhöhung ausgegangen werden kann. Dies bildet die Grundlage für einen wirksamen kathodischen Korrosionsschutz. Der Taucher bestätigte, dass auf der Stahloberfläche Kalkablagerungen, Sedimente vorhanden sind. Diese bilden die Voraussetzung für einen wirksamen KKS.

Der gemäss Norm SN EN 12954 geforderte Grenzwert von $-0.85 V_{CSE}$ wird für das Ausschaltpotenzial erreicht. Aufgrund der homogenen Verhältnisse im Wasser kann von vernachlässigbaren Ausgleichsströmen ausgegangen werden, sodass eine Approximation der IR-freien Potenziale mit Hilfe der Ausschaltpotenzialmessung zulässig ist.

Daraus kann gefolgert werden, dass an vielen Fehlstellen in der Beschichtung eine Verkalkung, eine pH-Wert Erhöhung und eine Passivierung erfolgt ist. Damit wurden an diesen Stellen die Bedingungen vergleichbar zu Stahl in Beton geschaffen. An diesen Fehlstellen kann aufgrund der SN EN 12954 von einer Korrosionsgeschwindigkeit kleiner als 0.01 mm/Jahr ausgegangen werden. Allerdings kann aufgrund der Messungen nicht garantiert werden, dass der kathodische Korrosionsschutz an allen Fehlstellen in der Beschichtung wirksam ist. Dies trifft insbesondere in folgenden Fällen nicht zu:

- a) Die elektrische Verbindung zwischen den Bauteilen ist unterbrochen
- b) Die Kalkschicht konnte sich nicht bilden
- c) Bakteriell beeinflusste Korrosion erfolgte während den ersten Jahren ohne KKS unter den schlecht belüfteten Bedingungen. Solche Korrosionsstellen können nachträglich nicht durch einen KKS geschützt werden.

Die Situation für den KKS ist bei vollständig gefülltem See grundsätzlich am ungünstigsten. Bei sinkendem Pegel verbessert sich die Schutzwirkung auf die eingetauchten Teile der Brücke. Weiter sei darauf hingewiesen, dass mit dem KKS nur Bauteile geschützt werden, welche im Wasser eingetaucht sind. Diejenigen Metallteile welche nur zeitweise im Wasser liegen werden auch nur während der Eintauchzeit durch den KKS geschützt.

5 Massnahmen

Es gibt keine Erfahrungswerte mit KKS Anlagen über eine gesamte Nutzungsdauer von 160 Jahren. Aufgrund der aktuell vorliegenden Daten kann jedoch von einer günstigen Korrosionsschutzsituation ausgegangen werden, wenn die Bedingungen a), b) oder c) nicht erfüllt sind.

Eine Erneuerung der Beschichtung würde eine Bewertung der aktuell vorliegenden Korrosionssituation ermöglichen und ideale Voraussetzungen für die Nutzung der Brücke für weitere 80 Jahre schaffen.

Ein Betrieb der Brücke ohne Erneuerung der Beschichtung und somit ohne umfassende Zustandserfassung kann nur gerechtfertigt werden, wenn eine Risikobewertung vorgenommen wird. Dies erfordert die Berücksichtigung der statischen Situation, der Spannungszustände sowie der Ermüdung bei allenfalls verringertem Stahlquerschnitt. Die Integritätsbewertung von erdverlegten und eingetauchten kathodisch geschützten Strukturen geht dabei üblicherweise wie folgt vor. Die Korrosionsgeschwindigkeit in den ersten Jahrzehnten ohne KKS wird mit einem Wert von 0.2 bis 0.4 mm/Jahr sowie 0.01 mm/Jahr während dem wirksamen Betrieb mit KKS angenommen. Bei Bewertungen basierend auf Ausschaltpotenzialen, bei welchen die Fälle a), b) oder c) nicht immer ausgeschlossen werden können, wird üblicherweise bei der Integritätsbewertung über die gesamte Nutzungsdauer eine Korrosionsgeschwindigkeit von 0.2 bis 0.4 mm/Jahr angenommen.

Basierend auf der statischen Betrachtung sind Instandsetzungskonzepte zu erstellen. Dabei stehen zum Beispiel folgende Ansätze im Vordergrund:

- 1) Die vereinzelt möglichen Querschnittsverluste haben keine statische Relevanz und das Bauwerk kann ohne Erneuerung der Beschichtung weiter betrieben werden.
- 2) Die stärker beanspruchten Standjochpaare sind neu zu beschichten und in Bezug auf den Korrosionszustand und die statische Situation zu bewerten.
- 3) Basierend auf den Ergebnissen von 2) sind sämtliche Stützen zu reparieren und neu zu beschichten.

Bei einer allfälligen teilweisen oder vollständigen Erneuerung der Beschichtung ist ein System zu verwenden, welches für die Verwendung mit KKS zugelassen ist. Ausserdem ist sicherzustellen, dass die elektrische Längsleitfähigkeit innerhalb aller wasserberührten Metallteile gewährleistet bleibt.

Dr. Martin Brem

Dr. Markus Büchler