

F-Ingenieur GmbH  
Kesselstrasse 33  
8200 Schaffhausen

SBB Brücke über den Sihlsee bei Willerzell (Etzelwerke)

## **Zustandsbeurteilung und Empfehlung zum weiteren Vorgehen**

Schaffhausen, 31. März 2016

Prof. Dr. M. Fontana, Prof. Dr. A. Frangi,  
F-Ingenieur GmbH  
Kesselstrasse 33  
8200 Schaffhausen

## Inhalt

1	Ausgangslage und Auftrag.....	3
2	Grundlagen und Literatur.....	4
3	Zustandserfassung.....	4
4	Zustandsbeurteilung.....	7
5	Empfehlung zum weiteren Vorgehen .....	7
6	Beantwortung der gestellten Fragen .....	8

## 1 Ausgangslage und Auftrag

Die Brücke Willerzell überquert den Sihlsee in der Nähe von Einsiedeln. Sie wurde ca. 1935 erbaut und besteht aus insgesamt 45 Feldern mit einer Gesamtlänge von 1115 m. Der Überbau besteht aus zwei durchlaufenden Stahlträgern, welche mit der Stahlbetonfahrbahnplatte im Verbund wirken (vgl. Abbildung 1). Querträger sind in einem Abstand von 3.57 m angeordnet. Die Dilatation in Längsrichtung ist durch Gerbergelenke bzw. eingehängte Träger gewährleistet. Auf Holzpfehlen fundierte Stahljoche bilden den Brückenunterbau.

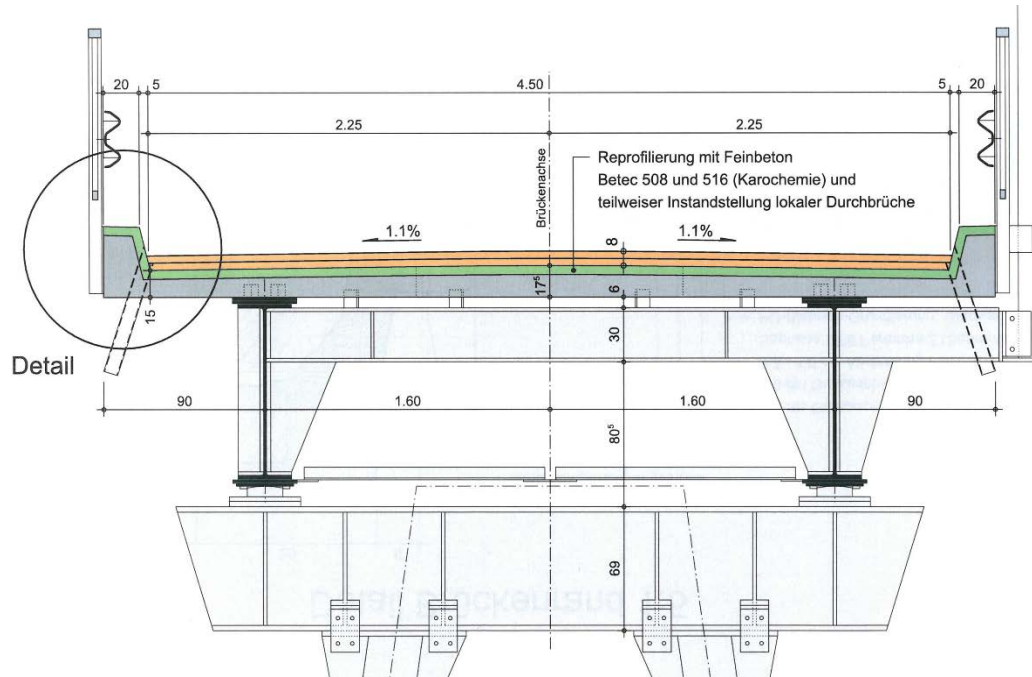


Abbildung 1. Querschnitt der Brückenkonstruktion [2]

Die Brücke zeigt nun Alterserscheinungen insbesondere Korrosion. Die letzte Instandsetzung erfolgte im Jahr 2007 und umfasste die Betoninstandsetzung der Fahrbahnplattenoberseite und der Randborde sowie den Ersatz der Abdichtung und des Belages. Zudem wurden bei 3 Fahrbahnübergängen (Nr. 1, 13 und 14) die Dichtungsprofile versuchsweise ersetzt. Auf die Instandsetzung des Korrosionsschutzes der unterseitigen Stahlkonstruktion und der Fahrbahnplattenunterseite wurde bis heute hingegen verzichtet, obwohl eine Zustandsbeurteilung in den Jahren 2009-2011 durch die Firma Flückiger+Bossard AG hat ergeben, dass die Brücke bis letztes Jahr hätte saniert werden sollen.

Durch die langwierigen Konzessionsverhandlungen sollte die Brücke nun noch bis 2022 in Betrieb bleiben können. Die SBB als Konzessionsnehmerin haben Prof. Dr. M. Fontana und Prof. Dr. A. Frangi, F-Ingenieur GmbH, mit einer Drittmeinung und der Beantwortung von 5 grundlegenden Fragen beauftragt. In diesem Bericht werden die wesentlichen Erkenntnisse zusammengestellt und die gestellten Fragen beantwortet.

## 2 Grundlagen und Literatur

- [1] Etzelwerk AG, Willerzeller Viadukt, 8847 Egg, Inspektion der Stahlkonstruktion und der Fahrbahnplattenuntersicht, Bericht Nr. 0148.3.14, Flückiger+Bossard AG, 16.3.2010.
- [2] Etzelwerk AG, Willerzeller Viadukt, 8847 Egg, Stahlkonstruktion und Fahrbahnplattenuntersicht, Inspektion Nr. 3, Bericht Nr. 0148.3.15, Flückiger+Bossard AG, 10.2.2011.
- [3] Etzelwerk AG, Willerzeller Viadukt, 8847 Egg, Stahlkonstruktion und Fahrbahnplattenuntersicht, Zustandsuntersuchung und Massnahmenkonzept in Varianten, Bericht Nr. 0148.3.16, Flückiger+Bossard AG, 5.4.2012.
- [4] Etzelwerk AG, Willerzellerviadukt Sihlsee, Instandsetzung und Brückenuntersicht, Technischer Bericht Bauprojekt, bpp Ingenieure AG, 25.11.2014.
- [5] Neues Etzelwerk, Beurteilung Willerzeller Viadukt, Auszüge aus den bisherigen Berichten und Projektierungsunterlagen, Präsentation Marco Bezzola, 7.1.2016.
- [6] Neues Etzelwerk, Beurteilung Willerzeller Viadukt, Grundlagendokument, Präsentation Jürg Nachbur und Marco Bezzola, 13.1.2016.
- [7] Norm SIA 260:2013, Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, SIA.

## 3 Zustandserfassung

### 3.1 Untersuchungen durch die Firma Flückiger+Bossard AG

Die Firma Flückiger+Bossard AG hat in den Jahren 2009-2011 den Zustand der Brücke umfassend untersucht [1-3]. Die Untersuchungen bestanden aus visuellen Inspektionen, der Aufnahme von Profilstärken und Korrosionsbereichen und der Analyse des Korrosionsschutzes (Schichtdicke, Haftung und chemische Analyse).

Die wesentlichen Erkenntnisse aus den Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Der Zustand der Stahlkonstruktion weist insbesondere beim Korrosionsschutz einen schadhaften bis schlechten Zustand auf, der durch viele kleine, lokale Korrosionsstellen und Ablösungen des Korrosionsschutzes charakterisiert ist.
- Die Bereiche, welche sich flächig in einem schlechten Zustand befinden und beschränken sich weitgehend auf die Fahrbahnübergänge. Hauptgründe dafür sind die undichten Dehnprofile und die ursprünglich schadhaften Belagsrandfugen.
- Die chemische Analyse des Korrosionsschutzes hat gezeigt, dass der Korrosionsschutz gesundheitsgefährdende Stoffe wie Schwermetalle und PCB enthält.
- Die Längs- und Querträger sowie der Windverband sind in schadhaftem bis bereichsweise schlechtem Zustand. Korrosionsschäden zeigen sich vor allem an den oberen Flanschen. Am gravierendest sind sie im Bereich der Fahrbahnfugen.
- Bei der Mehrheit der Fahrbahnübergänge erfüllen die Dichtungsprofile ihre Funktion nicht mehr. Aus diesem Grund befinden sich dort die zugehörigen Stahlprofile in einem schlechten Zustand. Die meisten Lager bei den Gerbergelenken sind in schlechtem Zustand.
- Die sichtbaren Teile der Jochkonstruktionen sind grösstenteils in einem schlechten Zustand. Bei der Jochkonstruktion Nr. 13 zeigt sich der schlechteste Zustand, der sich weitgehend der mangelhaften oberseitigen Abdichtung zurückzuführen lässt. Durch den Ersatz der Dichtungen im Rahmen der Instandsetzung im Jahr 2007 wurde der Korrosionsfortschritt in diesem Bereich verlangsamt.

### 3.2 Visuelle Beobachtungen

Am 5. Februar 2016 erfolgte eine visuelle Begehung der Brücke. Mit einem Schiff konnte die Brücke vom Wasserspiegel aus beobachtet werden. Abbildungen 2 bis 4 geben einen Eindruck des Zustandes der Brücke.



Abbildung 2. Korrosionsschäden bei der Jochkonstruktion Nr. 13



Abbildung 3. Zustand der Brücke beim Widerlager Seite Einsiedeln (links) und Korrosionsschäden bei den Stützen einer Jochkonstruktion (rechts)





Abbildung 4. Korrosionsschäden bei Gebergelenken und Fahrbahnübergängen

## 4 Zustandsbeurteilung

Für die Beurteilung des Zustandes der Brücke wird zwischen Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nach Norm SIA 260:2013 [7] unterschieden. Die Tragsicherheit der Brücke wird gefährdet, wenn die Stahlkonstruktion die wirkenden Lasten nicht mehr aufnehmen kann. Die Brücke zeigt deutliche Alterserscheinungen insbesondere Korrosionsschäden. Da für die Stahlkonstruktion niedrig legierte Fluss- bzw. Walzstähle verwendet wurden, kann man von einer gleichmässigen Korrosion ausgehen und lokale Korrosionsformen wie Lochfrass oder interkristalline Korrosion können weitgehend ausgeschlossen werden. Das Versagen der korrodierenden Bauteile würde sich somit aus der Überschreitung der Streckgrenze des Stahls infolge lokaler Querschnittreduktion ergeben. Ein solches Versagen ist duktil und würde durch grosse Verformungen angekündigt werden. Da der effektive Fortschritt der Querschnittsreduktion infolge Korrosion schwierig abzuschätzen ist, soll durch die regelmässige visuelle Inspektion der Tragkonstruktion und die Reduktion der Lasten ein überraschendes Versagen der Brücke weitgehend ausgeschlossen werden. Dank den regelmässigen Inspektionen sollte die Tragsicherheit der Brücke weiterhin gewährleistet werden können.

Die Gebrauchstauglichkeit der Brücke wird insbesondere durch den sehr schlechten Zustand der Fahrbahnübergänge gefährdet, die z.B. sogar zu lokalen Betonausbrüchen aus der Fahrbahnplatte führen können. Zudem begünstigt die Undichtigkeit bei den Fahrbahnübergängen das Eindringen vom teilweise chloridhaltigen Wasser (Streusalz) in die Tragkonstruktion, welches die lokale Korrosion der Stahlkonstruktion verstärkt. Der Ersatz der defekten Dichtungsprofile ist deshalb unerlässlich, um die progressive Schadenentwicklung zu verlangsamen und neben der Gebrauchstauglichkeit auch die Tragsicherheit der Stahlkonstruktion in diesen Bereichen zu verlängern.

## 5 Empfehlung zum weiteren Vorgehen

Basierend auf den Erkenntnissen aus den durch die Firma Flückiger+Bossard AG und den durchgeführten Untersuchungen und der Begehung vom 5. Februar 2016 werden folgende Massnahmen empfohlen, um die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Brücke zu verlängern, um die Brücke möglichst noch bis 2022 in Betrieb zu halten.

- Die Brücke wird durch Fachleute in kurzen Intervallen (ca. zweimal pro Jahr) inspiziert und überwacht. Besondere Aufmerksamkeit sollte dabei den Fahrbahnübergängen, den Gerbergelenken und den Widerlagern geschenkt werden. Ziel der regelmässigen sorgfältigen Inspektionen ist das Erkennen von unerwarteten raschen Veränderungen im Zustand der Brücke. Damit soll ein überraschendes Versagen der Brücke möglichst ausgeschlossen werden.
- Alle Dichtungsprofile bei den Fahrbahnübergängen (ausser Nr 1, 13 und 14, die schon 2007 ersetzt wurden) werden ersetzt. Dafür ist möglicherweise eine kürzere Vollsperrung der Brücke erforderlich. Beim Ersatz der Dichtungsprofile muss beurteilt und entschieden werden, inwieweit der Korrosionsschutz auf der Stahlkonstruktion im Bereich der Fahrbahnübergänge erneuert werden soll.
- Die aktuelle zulässige Nutzlast (Postauto 18 t) wird auf Personenkraftwagen (3.5 t) reduziert. Die Reduktion der Nutzlast führt zu einer starken Reduktion der Beanspruchung der Stahlkonstruktion. Gemäss einer vereinfachten Berechnungsanalyse kann angenommen werden, dass die Stahlbauteile nur noch mit einem geringen Bruchteil der Streckgrenze des Stahles beansprucht werden, so dass ein Versagen der korrodierenden Stahlbauteile auch bei grösseren Querschnittsverlusten ausgeschlossen werden kann.

N.B. Der Verzicht auf die sofortige Erneuerung des Korrosionsschutzes wird eine Instandsetzung nach der Weiterbenutzung bis 2022 verteuern, eventuell sogar verunmöglichen.

## **6 Beantwortung der gestellten Fragen**

- 1) Kann der Viadukt bis Ende 2022 (Übergangskonzession) weiter betrieben werden?
- 2) Welche minimalen Massnahmen müssten ergriffen werden, damit der Betrieb bis 2022 aufrechterhalten werden kann?

Ja, grundsätzlich kann der Viadukt bis Ende 2022 (Übergangskonzession) weiter betrieben werden. Voraussetzung dafür ist die Implementierung von mehreren Massnahmen (Regelmässige sorgfältige Inspektion und Überwachung; Gewichtsreduktion auf 3.5 t; Erneuerung der defekten Dichtungsprofile bei den Fahrbahnübergängen, vgl. Abschnitt 5), um die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit der Brücke zu gewährleisten. Es ist anzunehmen, dass sich der Zustand der Brücke infolge Korrosion über die Jahre weiter verschlechtern wird und damit eine Sanierung der Brücke am Ende der Übergangskonzession (2022) technisch und wirtschaftlich kaum mehr möglich ist.

- 3) Führt die geplante Gewichtsreduktion von 18 auf 3.5 t zu einer Verbesserung der Situation damit das Betriebsziel 2022 erreicht werden kann?

Ja, die Reduktion der Nutzlast von 18 auf 3.5 t führt zu einer starken Reduktion der Beanspruchung der Stahlkonstruktion, inkl. deren Verbindungen. Gemäss einer vereinfachten Berechnungsanalyse kann angenommen werden, dass die Stahlbauteile nur noch auf einen geringen Bruchteil der Streckgrenze des Stahles beansprucht werden, so dass ein Versagen der korrodierenden Stahlbauteile auch bei grossen Querschnittsverlusten ausgeschlossen werden kann. Zudem wird auch das Ermüdungsverhalten verbessert, indem die Spannungsdifferenz infolge der veränderlichen Nutzlast (Verkehrslast) in den Stahlbauteilen stark reduziert wird.

- 4) Trifft die Aussage von Flückiger+Bossard AG zu, dass bei Nichtumsetzen von Sanierungsmassnahmen mit sicherheitsrelevanten Schäden gerechnet werden muss?

Die Bereiche, welche sich flächig in einem schlechten Zustand befinden und beschränken sich weitgehend auf die Fahrbahnübergänge. Hauptgründe dafür sind die undichten Dichtungsprofile und die ursprünglich schadhaften Belagsrandfugen. In diesen Bereichen ist eine Sanierung somit unerlässlich, um die progressive Schadenentwicklung zu verlangsamen und neben der Gebrauchstauglichkeit auch die Tragsicherheit der Stahlkonstruktion in diesen Bereichen länger zu gewährleisten.

- 5) Müssten konstruktive Schwachstellen ausfindig gemacht werden?

Fahrbahnübergänge, Gerbergelenken und Widerlager sind für die Gebrauchstauglichkeit und die Tragsicherheit der Brücke wichtige konstruktive Details. Der genaue Zustand dieser Details konnte im Rahmen dieser Expertise nicht vertieft untersucht werden und sollte daher mit den regelmässigen sorgfältigen Inspektionen erfasst werden. Beim Ersatz der Dichtungsprofile soll zudem beurteilt und entschieden werden, inwieweit der Korrosionsschutz auf der Stahlkonstruktion im Bereich der Fahrbahnübergänge erneuert werden soll.

Schaffhausen, 31. März 2016



A handwritten signature in black ink, consisting of the letters 'M.' followed by a stylized 'F' and a horizontal line.

Prof. Dr. M. Fontana

A handwritten signature in black ink, featuring a stylized 'A' and 'F' intertwined.

Prof. Dr. A. Frangi