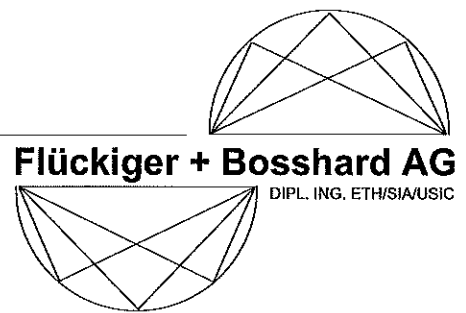


Ingenieurbüro für Hoch- und Tiefbau  
Bauwerkserhaltung - Materialtechnologie



			Tel.	Fax
8045	Zürich	Röffelstrasse 32, PF 5070	043-960 81 20	043-960 81 30
8820	Wädenswil	Seestrasse 203	043-960 81 90	043-960 81 99
8812	Horgen	Einsiedlerstrasse 155, PF 774	043-960 81 40	043-960 81 59

<b>0148.10.1</b>	<b>Etzelwerk AG</b> <b>Willerzeller Viadukt / Steinbachviadukt</b> <b>8847 Egg</b>
------------------	--

## Bericht

### Statische Überprüfung für 3-achsige Low-Entry-Busse

## Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage.....	3
2	Objektbeschreibungen .....	3
3	Nutzung.....	3
4	Grundlagen.....	4
5	Baustoffe .....	5
6	Tragwerksmodell / Schnittgrössenermittlung.....	5
7	Einwirkungen.....	6
8	Bemessungssituationen .....	7
9	Nachweise.....	7
10	Resultate.....	8
11	Beurteilung .....	9
12	Massnahmen .....	10

Anhang:        3-achsiger Low-Entry-Bus KUB 2-2

## 1 Ausgangslage

Im Juni 2009 wurde die Flickiger + Bosshard AG von der Etzelwerk AG beauftragt, die Befahrbarkeit des Willerzeller Viadukts mit 3-achsigen Low-Entry-Bussen KUB 2-2 (Gesamtgewicht 23.8t) im Rahmen einer statischen Überprüfung zu untersuchen. Die Resultate sind in vorliegendem Bericht zusammengefasst. Aussagen zum Steinbachviadukt werden soweit möglich durch Analogiebetrachtungen gemacht.

## 2 Objektbeschreibungen

Die beiden Viadukte wurden in den Jahren 1935 / 1936 aufgrund von Konzessionsbedingungen von der Etzelwerk AG errichtet. Der Willerzeller Viadukt überbrückt den Sihlsee mit insgesamt 45 Feldern bei einer Regelspannweite von 25m und einer Spannweite von 20m bei den Endfeldern. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt somit 1'115m. Der Steinbachviadukt verfügt über 19 Innenfelder mit einer Regelspannweite von 20m und Endfelder mit einer Spannweite von je 16m. Somit ergibt sich für ihn eine Brückenlänge von 412m. Der Überbau besteht bei beiden Viadukten aus zwei durchlaufenden Stahlträgern, die mit der Fahrbahnplatte aus Stahlbeton im Verbund wirken. Die Fahrbahnbreite beträgt beim Willerzeller Viadukt 4.5m und beim Steinbachviadukt 5.0m. Die Brückenpfeiler sind als Stahljoche ausgebildet und auf Holzpfehlern fundiert.

## 3 Nutzung

Die beiden Viadukte wurden ursprünglich für ein maximales Fahrzeuggewicht von 14t dimensioniert. Zu einem späteren Zeitpunkt (ca. 1968) wurde das Bauwerk auf der Grundlage der SIA-Normengeneration von 1956 überprüft. Seitdem ist die Nutzung der zweispurigen Fahrbahn beschränkt auf Fahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht der Lastwagen bis 16t. Im Rahmen von Bauwerksüberprüfungen in den Jahren 2005 (Willerzeller Viadukt) bzw. 2009 (Steinbachviadukt) konnte eine Nutzung der Bauwerke durch Strassenverkehr bis 18t nachgewiesen werden. Eine erweiterte Nutzung durch 3-achsige Low-Entry-Busse KUB 2-2 mit einem Gesamtgewicht von 23.8t ist vorgesehen. Das für die statische Überprüfung gewählte Lastmodell ist in Kap. 7 erläutert. Das Bauwerk liegt nicht auf einer Route für Ausnahmetransporte. Durch die geringe Fahrbahnbreite, insbesondere beim Willerzeller Viadukt, ist das Kreuzen von Fahrzeugen auf der Brücke erschwert.

Die vorgesehene Restnutzungsdauer des Willerzeller Viadukts beträgt mindestens 15 Jahre und die des Steinbachviadukts bis zum Ersatz maximal 5 Jahre.

## 4 Grundlagen

### Normen und Berichte

Bestehendes Bauwerk (Baujahr 1935/36):

- Verordnung (1913) Berechnung und Untersuchung der eisernen Brücken und Hochbauten der der Aufsicht des Bundes unterstellten Transportanstalten.
- Verordnung (1915) Eisenbetonbauten der der Aufsicht des Bundes unterstellten Transportanstalten.

Überprüfung:

- SIA 260 (2003) Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 261/1 (2003) Einwirkungen auf Tragwerke – Ergänzende Festlegungen
- SIA 262 (2003) Betonbau
- SIA 262/1 (2003) Betonbau – Ergänzende Festlegungen
- SIA 263 (2003) Stahlbau
- SIA 263/1 (2003) Stahlbau – Ergänzende Festlegungen

### Richtlinien und Dokumentationen

- Überprüfung bestehender Strassenbrücken mit aktualisierten Strassenlasten, ASTRA Dokumentation, 2006
- ICOM – Bericht 304 (1995), aktualisierte Lastmodelle zur Beurteilung der Tragsicherheit bestehender Strassenbrücken.

### Projektbezogene Grundlagen

Willerzeller Viadukt

- Bericht F+B Nr. 0148.9.5, Nutzungsvereinbarung, 26.06.2009
- Bericht F+B Nr. 0148.9.6, Projektbasis, 26.06.2009
- Bericht F+B Nr. 0148.3.9, Erhaltungskonzept, Dezember 2005
- Bauwerksakten des bestehenden Willerzeller Viadukts der Etzelwerk AG, Altendorf.

Steinbachviadukt

- Bericht F+B Nr. 0831.3.5, Statische Überprüfung, 30.04.2009
- Bericht F+B Nr. 0831.3.4, Zustandsuntersuchung Fahrbahnplatte, 15.10.2008
- Bericht F+B Nr. 0831.3.1, Visuelle Inspektion, 30.06.2008
- Bauwerksakten des bestehenden Steinbachviadukts der Etzelwerk AG, Altendorf.

## 5 Baustoffe

### Beton

Bauteil	Betonsorte	Rechenwerte
Fahrbahnplatte Willerzeller Viadukt	Annahme: C20/25	$f_{ck} = 20 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 13.5 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{cd} = 0.9 \text{ N/mm}^2$
Fahrbahnplatte Steinbachviadukt	$f_{m(6),is,50\text{mm}} = 105.4 \text{ N/mm}^2$ $f_{is,niedrigst,50\text{mm}} = 88.8 \text{ N/mm}^2$ gemäss Druckfestigkeitsprüfung Annahme: C35/45	$f_{ck} = 35 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 22 \text{ N/mm}^2$ $\tau_{cd} = 1.2 \text{ N/mm}^2$

### Betonstahl und Baustahl

Bauteil	Stahlsorte	Rechenwerte
Überbau	Flussstahl / Schweisstahl (Stahl I, Rundstahl)	$f_{sk} = 240 \text{ N/mm}^2$ $f_{sd} = 209 \text{ N/mm}^2$

## 6 Tragwerksmodell / Schnittgrössenermittlung

Für die statische Überprüfung der Fahrbahnplatte des Willerzeller Viadukts wurde ein Brückenabschnitt über die ersten vier Felder zwischen den Querträgern ab Fahrbahnübergang mit dem FE-Programm Cedrus 5 der Cubus AG modelliert. Der untersuchte Plattenabschnitt hat eine Länge von 12.30m und eine Breite von 5.0m. Die beiden Längsträger im Abstand von 3.20m und die fünf Querträger (Abstand im Endfeld 1.58m, im Regelfeld 3.57m) bilden die Linienauflager der Platte. Die Fahrbahnplatte verfügt über eine Stärke von 17.5cm in Fahrbahnmitte und 15cm am Fahrbahnrand (Dachgefälle). Die Randborde wurden als statisch mitwirkende Überzüge berücksichtigt. Für verschiedene Laststellungen der zu untersuchenden Bemessungssituation „3-achsiger Low-Entry-Bus“ wurde eine Grenzwertermittlung mit dem Plattenberechnungsprogramm Cedrus 5 der Cubus AG durchgeführt. Die massgebenden Bauteilschnittgrössen wurden elastisch ermittelt.

Für den Nachweis der Längsträger des Willerzeller Viadukts wurde eine Brückenhälfte als Verbundquerschnitt über die ersten sechs Felder (inkl. Einhängeträger im dritten Feld mit einer Länge von 13.90m) mit dem Programm Statik 5 der Cubus AG modelliert und anschliessend eine elastische Schnittgrössenermittlung durchgeführt.

Beim Steinbachviadukt wurde die Fahrbahnplatte über die ersten drei Felder zwischen den Querträgern ab Fahrbahnübergang mit einer Gesamtlänge von 14.0m und einer Breite von 5.5m modelliert. Die Fahrbahn-

platte ist auf den zwei Längsträgern im Abstand von 3.80 m und den vier Querträgern im Abstand von 4.0m (Endfeld) bzw. 5.0m (Regelfeld) gelagert. Die Stärke der Fahrbahnplatte liegt zwischen 19.5cm in Fahrbahnmitte und 16.5cm am Fahrbahnrand (Dachgefälle). Der Gehweg wurde im Plattenmodell nicht erfasst, sondern lediglich als Einwirkung (Randlast) berücksichtigt. Ansonsten erfolgten die Modellbildung und die Schnittgrössenermittlung analog zur Untersuchung der Fahrbahnplatte des Willerzeller Viadukts.

## 7 Einwirkungen

### Ständige Einwirkungen

<b>Eigenlasten</b>	Stahlbeton	$\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ Willerzeller Viadukt: $d = 15 - 17.5 \text{ cm}$ Steinbachbiadukt: $d = 16.5 - 19.5 \text{ cm}$
<b>Auflasten</b>	Belag	$\gamma = 24 \text{ kN/m}^3$ Willerzeller Viadukt: $d = 8 \text{ cm}$ Steinbachbiadukt: $d = 7 \text{ cm}$
	Geländer	0.8 kN/m

### Veränderliche Einwirkungen

Strassenverkehr Lastmodell für 3- achsigen Low-Entry-Bus	Laststellung	Achslasten $Q_{ki}$ (Achsabstände $a_i$ )	Stosszu- schlag $\Phi_{Qi}$	verteilte Belastung $q_{ki}$	Beiwert $\alpha_{qi}$
	Fahrstreifen 1 ( $i=1$ ) $b_1 = 3.0 \text{ m}$	$Q_{k1} = 63 \text{ kN}$ $(a_1 = 5.875 \text{ m})$ $Q_{k2} = 115 \text{ kN}$ $(a_2 = 1.50 \text{ m})$ $Q_{k2} = 60 \text{ kN}$	1.4	9.0 kN/m <sup>2</sup>	0.4
	Restfläche ( $i = r$ ) $b_r = 1.5 \text{ bzw. } 2.0 \text{ m}$	-	-	2.5 kN/m <sup>2</sup>	0.4
	Fahrbahnbreite: 4.5 bzw. 5.0m < 5.4m → Fahrstreifen 1: $b_1 = 3.0 \text{ m}$ , Restfläche: $b_r = 1.5 \text{ bzw. } 2.0 \text{ m}$				

Das gewählte Lastmodell beinhaltet konzentrierte und gleichmässig verteilte Lasten zur Modellierung der Strassenlasten. Die konzentrierten Lasten für einen 3-achsigen Low-Entry-Bus werden in Analogie zu den Achslasten des Lastmodells 1 der SIA 261 im fiktiven Fahrstreifen 1 ( $b_1 = 3.0 \text{ m}$ ) angesetzt. Mit einem Erhöhungsfaktor von 1.4 für dynamische Effekte (Stosszuschlag) ergeben sich maximale charakteristische Achslasten von 8.82t (1. Achse), 16.1t (2. Achse) und 8.4t (3. Achse). Die Achsabstände betragen zwischen der

ersten und zweiten Achse 5.875m und zwischen der zweiten und dritten Achse 1.50m. Für die Flächenlasten wird analog zum Ansatz bei Strassenverkehr mit einem zulässigen Gesamtgewicht der Lastwagen bis 18t ein reduzierter  $\alpha$ -Beiwert von 0.4 angenommen (vgl. Bericht F+B Nr. 0831.3.5 vom 30.04.09). Damit ergeben sich Flächenlasten von 360kg/m<sup>2</sup> im Fahrstreifen 1 und 100kg/m<sup>2</sup> auf der Restfläche.

## 8 Bemessungssituationen

### Tragsicherheit - Grenzzustand Typ 2 (Tragwiderstand)

Einwirkungen	Gefährdungsbild
<b>Ständige Einwirkungen</b>	
Eigenlasten	1.35/ 0.80
Auflasten	1.35/ 0.80
<b>Veränderliche Einwirkungen</b>	
Strassenverkehr (3-achsiger Low-Entry-Bus)	1.5

## 9 Nachweise

Die statische Überprüfung des Willerzeller Viadukts umfasst Tragsicherheitsnachweise der Fahrbahnplatte und der Längsträger nach Normengeneration SIA 260ff. (2003). Beim Steinbachviadukt wurde lediglich die Tragsicherheit der Fahrbahnplatte untersucht. Weitere Bauteile sind nicht Bestandteil der statischen Überprüfung, da sie im Zusammenhang mit der Nutzung durch 3-achsige Low-Entry-Busse als nicht massgebend angesehen werden.

Durch den Vergleich der Bemessungsschnittgrössen mit den Bemessungswiderständen wurden die Traglastfaktoren gemäss folgendem Formalismus ermittelt:

$$\gamma^* E_d = R_d$$

$\gamma$ : Traglastfaktor  
 $E_d$ : Bemessungswert der Auswirkung  
 $R_d$ : Bemessungswert des Tragwiderstands

Die Tragsicherheit gemäss Norm ist bei  $\gamma \geq 1.0$  erfüllt.

Die Querschnittswiderstände wurden plastisch unter Verwendung des Programms Fagus 5 der Cubus AG berechnet. Beim Steinbachviadukt wurde ein Querschnittsverlust der obersten Bewehrungslage von 10% im Tragsicherheitsnachweis der Fahrbahnplatte berücksichtigt (vgl. Bericht F+B Nr. 0831.3.5 vom 30.04.2009).

Für die direkt durch Strassenverkehr beanspruchten Fahrbahnplatten kann aufgrund der Lastbeschränkung auf der Brücke und der Qualität des Betonstahls (Stahl I) auf einen Nachweis der Ermüdungssicherheit verzichtet werden. Zur Abschätzung der Ermüdungssicherheit der Längsträger beim Willerzeller Viadukt wur-

de die maximale Spannungsdifferenz infolge einer Belastung durch einen 3-achsigen Low-Entry-Bus ermittelt  $\Delta\sigma$  ( $Q_{fat^*}$ ).

## 10 Resultate

### a) Willerzeller Viadukt

#### Fahrbahnplatte

##### Biegung

quer	oben (4. Lage)	$\gamma = 0.95 < 1.0$	knapp nicht i.O.
	unten (1. Lage)	$\gamma = 1.03 > 1.0$	i.O.
längs	oben (3. Lage)	$\gamma = 0.98 < 1.0$	knapp nicht i.O.
	unten (2. Lage)	$\gamma = 0.93 < 1.0$	nicht i.O. (nach Umlagerung knapp i.O.)

Biegung Randbord  $\gamma = 2.42 > 1.0$  i.O.

Querkraft  $\gamma = 0.96 < 1.0$  knapp nicht i.O.

Durchstanzen  $\gamma = 1.44 > 1.0$  i.O.

#### Längsträger

##### Biegung ohne Verbund

Stütze	$\gamma = 1.15 > 1.0$	i.O.
Feld	$\gamma = 0.90 < 1.0$	nicht i.O. (nach Umlagerung i.O.)

##### Biegung mit Verbund

Stütze	$\gamma = 1.30 > 1.0$	i.O.
Feld	$\gamma = 1.43 > 1.0$	i.O.

Querkraft  $\gamma = 2.06 > 1.0$  i.O.

##### Ermüdung mit Verbund

Stütze	$\Delta\sigma$ ( $Q_{fat^*}$ ) = 75.9 N/mm <sup>2</sup>
Feld	$\Delta\sigma$ ( $Q_{fat^*}$ ) = 67.8 N/mm <sup>2</sup>

Der Tragsicherheitsnachweis der Fahrbahnplatte auf Biegung kann an verschiedenen Stellen nicht erbracht werden. Die minimale Tragsicherheit der Fahrbahnplatte beträgt lokal in Längsrichtung unten  $\gamma = 0.93$ . Nach Umlagerung in die Querrichtung ergibt sich eine Tragsicherheit von  $\gamma \geq 0.95$ . Die Längsträger verfügen über eine ausreichende Tragsicherheit.



## b) Steinbachviadukt

### Fahrbahnplatte

#### Biegung

quer	oben (4. Lage)	$\gamma = 0.94 < 1.0$	nicht i.O. (mit 10% Querschnittsverlust)
	unten (1. Lage)	$\gamma = 0.94 < 1.0$	nicht i.O.
längs	oben (3. Lage)	$\gamma = 1.08 > 1.0$	i.O.
	unten (2. Lage)	$\gamma = 0.87 < 1.0$	nicht i.O.

Der Tragsicherheitsnachweis der Fahrbahnplatte auf Biegung kann an verschiedenen Stellen nicht erbracht werden. Die minimale Tragsicherheit beträgt  $\gamma = 0.87$ .

## 11 Beurteilung

Die Fahrbahnplatte erweist sich für die Tragsicherheit des *Willerzeller Viadukts* beim Befahren mit 3-achsigen Low-Entry-Bussen (Gesamtgewicht 23.8t) als massgebendes Bauteil. Aufgrund des geringen Achsabstands von 1.50m treten zwischen der zweiten und dritten Fahrzeugachse die maximalen Beanspruchungen auf. Allein die Summe dieser beiden Achslasten entspricht in etwa der Gesamtlast eines 18t-Fahrzeugs. Da der Abstand zur ersten Fahrzeugachse grösser ist als der Querträgerabstand hat diese nur einen geringen Einfluss auf die Tragsicherheit der Fahrbahnplatte. Die geringfügige lokale Unterschreitung der normgemässen Sicherheit kann akzeptiert werden, da im Grenzzustand der Tragfähigkeit Tragreserven durch plastische Umlagerung mobilisiert werden können. Darüber hinaus sind der Zustand der Fahrbahnplatte und die konstruktive Durchbildung aus der Instandsetzung der Fahrbahnplatte im Jahre 2007 relativ gut bekannt. Festgestellte Mängel wurden weitgehend beseitigt.

Die Tragsicherheit der Längsträger ist aufgrund der grösseren Spannweite im Vergleich zur Fahrbahnplatte vor allem abhängig vom Fahrzeuggesamtgewicht. Die unterschiedlichen Achsabstände bei einem 18t-Fahrzeug und einem 3-achsigen Low-Entry-Bus mit einem Gesamtgewicht von 23.8t haben hingegen nur geringen Einfluss. Die Überprüfung der Längsträger bei Beanspruchung durch einen 3-achsigen Low-Entry-Bus ergab eine ausreichende Tragsicherheit. Die Werte der maximalen Spannungsdifferenzen  $\Delta\sigma$  ( $Q_{fat}^*$ ) im Längsträger infolge Busverkehr liegen in einem Bereich, in welchem nicht mit Ermüdungsproblemen zu rechnen ist.

Beim *Steinbachviadukt* wurde aufgrund der Ähnlichkeit zum *Willerzeller Viadukt* lediglich die Fahrbahnplatte untersucht. Die Tragsicherheit beim Befahren mit einem 3-achsigen Low-Entry-Bus liegt unter der normgemässen Sicherheit und unter der ermittelten Sicherheit des *Willerzeller Viadukts*. Darüber hinaus

kann aufgrund der Zustandsuntersuchungen im Jahr 2008 davon ausgegangen werden, dass der Steinbachviadukt in einem schlechteren baulichen Zustand ist als der Willerzeller Viadukt.

## 12 Massnahmen

Für den *Willerzeller Viadukt* und den *Steinbachviadukt* wird empfohlen, die generelle Beschränkung des Strassenverkehrs auf ein zulässiges Gesamtgewicht der Lastwagen bis maximal 18t aufrecht zu erhalten.

Zusätzlich kann das Befahren des *Willerzeller Viadukts* mit 3-achsigen Low-Entry-Bussen mit einem Gesamtgewicht bis 23.8t zugelassen werden. Eine Kreuzung von Bussen auf der Brücke ist aufgrund der geometrischen Verhältnisse nicht möglich und aus statischen Gründen nicht zulässig.

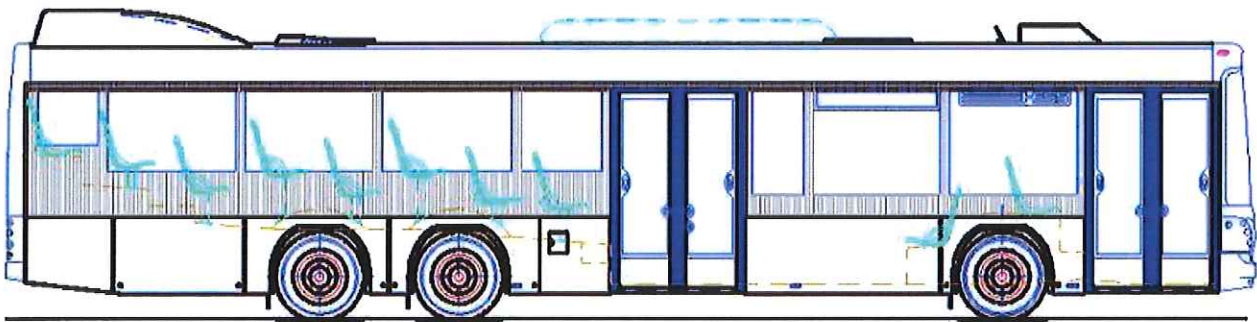
Zürich, 28. Juli 2009

Flückiger + Bosshard AG



A. Rogalski

**Anhang: 3-achsiger Low-Entry-Bus KUB 2-2**



**KUB 2-2**

(O2489)

Länge: 13.5m

Breite: 2.55m

Sitzplätze: 49(+2)

Fahrgäste: ca. 110