



Tiefbauamt  
**Stadt Bern**

Tiefbauamt der Stadt Bern  
Bundesgasse 38, Postfach  
3001 Bern

---

## **Brücken der Stadt Bern**

# **Beurteilung der Erdbebensicherheit**

## **Stellungnahme zu den Überprüfungen**



Dipl. Bauingenieure ETH SIA USIC  
Gubelstrasse 28, 8050 Zürich  
Tel. 044 315 88 88, [info.zuerich@acs-partner.ch](mailto:info.zuerich@acs-partner.ch)

---

Auftrag : 3915  
Datum : 01.10.2018  
Rev. : 30.10.2020  
Visum : RV

## Inhaltsverzeichnis

Seite

<b>1</b>	<b>Ausgangslage .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Auftrag .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Prüfmethodik .....</b>	<b>4</b>

### Anhang

<b>Bühlbrücke .....</b>	<b>A1</b>
<b>Felsenaubrücke .....</b>	<b>A2</b>
<b>Stägmattsteg .....</b>	<b>A3</b>
<b>Lorrainebrücke .....</b>	<b>A4</b>
<b>Kirchenfeldbrücke .....</b>	<b>A5</b>
<b>Brücke W5 Stauffacherstrasse .....</b>	<b>A6</b>
<b>Lehnenkonstruktionen Brunngass- und Postgasshalde .....</b>	<b>A7</b>
<b>Lehnenkonstruktion Trafo ewb .....</b>	<b>A8</b>
<b>Nydeggbücke .....</b>	<b>A9</b>
<b>Untertorbrücke .....</b>	<b>A10</b>
<b>Monbijoubücke .....</b>	<b>A11</b>
<b>Seftausteg .....</b>	<b>A12</b>
<b>Tychsteg .....</b>	<b>A13</b>
<b>Überführung Schwarzenburgstrasse .....</b>	<b>A14</b>
<b>Brücke Schänzlistrasse .....</b>	<b>A15</b>
<b>Kornhausbrücke .....</b>	<b>A16</b>

**Bearbeitungsgeschichte:**

Version	Erstellungs- / Änderungsdatum	Verfasst / Geändert	Geprüft	Kommentar / Änderung
02	21.02.2019	R. Vogt	S. Reinhard	Ergänzung Anhang A6 und A7
03	23.07.2019	R. Vogt	S. Reinhard	Stellungnahmen zu Bereinigungen
04	04.05.2020	R. Vogt	S. Reinhard	Ergänzung Anhang A9 und A10
05	31.08.2020	R. Vogt	K. Iseli	Ergänzung Anhänge A11 – A14
06	28.09.2020	R. Vogt	K. Iseli	Ergänzung Anhang 15
07	30.10.2020	R. Vogt	K. Iseli	Aktualisierung Anhang 12 Ergänzung Anhang 16

## **1 Ausgangslage**

Im Jahr 2008 hat die Stadt Bern ihre Brücken gemäss Stufe 1 der ASTRA Richtlinie in Bezug auf ihre Erdbebensicherheit überprüfen lassen. Aus dieser Überprüfung sowie weiteren Abklärungen geht hervor, dass bei 19 Objekten eine vertiefte Analyse auf Stufe 2 erforderlich ist. Diese Bauwerke werden nun durch verschiedene Ingenieurbüros genauer hinsichtlich ihrer Erdbebensicherheit überprüft.

## **2 Auftrag**

Basierend auf der Honorarofferte vom 18.09.2015 beauftragte das Tiefbauamt der Stadt Bern die ACS-Partner AG als Bauherrenunterstützung und Prüfsingenieur für die Beurteilung der Erdbebensicherheit von 19 städtischen Brücken.

## **3 Prüfmethodik**

Die Kontrolle der Erdbebenüberprüfungen erfolgt durch die Korreferate der jeweiligen Überprüfungsberichte. Dabei werden die Berechnungsannahmen, die Modellierung sowie die Nachweisverfahren hinsichtlich der Zweckmässigkeit und der Konformität mit den aktuellen Normen beurteilt. Die ausgewiesenen Erfüllungsfaktoren werden anhand von Plausibilitätsüberlegungen stichprobenweise kontrolliert. Es werden keine eigenen Kontrollberechnungen durchgeführt.

### 3 Grundlagen

Als Grundlage des vorliegenden Korreferates stellte uns der Auftraggeber das folgende Dokument zu:

- Stahlbrücke Schänzlistrasse, Bern: Erdbebenüberprüfung Stufe 2 14.09.2020

### 4 Berechnungsmodell, Berechnungsmethode

Die Berechnung erfolgt mit einem räumlichen FE-Modell mit dem Programm AxisVM.

Dabei setzt der Verfasser die folgenden Werte an:

- Erdbebenzone: Z1 (aus dem uns vorliegenden Bericht geht nicht hervor, ob der Verfasser das Antwortspektrum der Norm SIA 261 von 2014 ( $a_{gd} = 0.6 \text{ m/s}^2$ ) oder von 2020 ( $a_{gd} = 0.8 \text{ m/s}^2$ ) verwendet.
- Bauwerksklasse: BWK II
- Baugrundklasse: BGK E
- Verhaltensbeiwert: 1.5

### 5 Beurteilung des Verfassers

Der Verfasser weist bezüglich der Erdbebensicherheit folgende Erfüllungsfaktoren aus:

- |                   |  |                              |
|-------------------|--|------------------------------|
| Vor Verstärkung:  | Absturzsicherung:                            | $\alpha_{\text{eff}} = 0.58$ |
|                   | Nietverbindung Querstreben bei den Kämpfern: | $\alpha_{\text{eff}} = 0.93$ |
| Nach Verstärkung: | Absturzsicherung:                            | $\alpha_{\text{eff}} = 0.55$ |
|                   | Nietverbindung Querstreben bei den Kämpfern: | $\alpha_{\text{eff}} = 0.81$ |

Zur Ertüchtigung empfiehlt der Verfasser folgende Massnahmen:

- Sichern der Auflagerschuhe gegen seitliches Verschieben mit chemischen Ankern
- Ersatz einzelner Nieten durch HV-Schrauben
- Vergrössern der seitlichen Bewegungsfreiheit der Brückenplatte bei den Postamenten
- Sichern der Postamente mit Chromstahlnadeln

### 6 Stellungnahme zur Überprüfung

Auftragsgemäss haben wir uns auf die Überprüfung des Erdbebensicherheitsnachweises beschränkt. Obwohl der Bericht auch eine Verstärkung erwähnt, haben wir diese nicht geprüft.

## 6.1 Berechnungsmodell, Berechnungsmethode

Das gewählte Berechnungsmodell eines räumlichen kombinierten Stab-/Plattenmodells ist grundsätzlich zweckmässig. Allerdings geht aus dem Bericht nicht eindeutig hervor, ob und wie die Widerlager modelliert wurden.

## 6.2 Einwirkungen

Die angegebenen Parameter zur Bestimmung der Einwirkungen sind für die Nachweise der Brücke selbst korrekt, wobei noch anzugeben wäre, welche Ausgabe der Norm SIA 261 angewendet wurde. Aufgrund des angegebenen Wertes für  $S_d$  ist zu vermuten, dass die Norm SIA 261 aus dem Jahr 2020 verwendet wurde.

## 6.3 Berechnungsergebnisse

Anhand der Dokumentation im vorliegenden Bericht ist eine Prüfung der Berechnungen nicht möglich, dazu fehlen verschiedene Angaben. Die im Bericht aufgeführten Ergebnisse werfen aber verschiedene Fragen auf:

- Gemäss SIA Normen muss bei Strassenbrücken im Erdbebennachweis keine Verkehrslast berücksichtigt werden. Aus dem Bericht ist nicht ersichtlich, ob die massgebenden Erfüllungsfaktoren unter Berücksichtigung einer Verkehrslast berechnet wurden.
- Wie wurde der Wert  $S_d = 2.33 \text{ m/s}^2$  ermittelt?
- Woher stammt der Wert von  $F_{b,Rd} = 42.4 \text{ kN}$  für die Nieten? Dieser Wert kann nicht nachvollzogen werden.
- Im Kap. 3 wird erwähnt, dass die massgebende Eigenfrequenz bei 2 Hz liege. Dies steht im Widerspruch zu den Angaben von Kap. 2.2.1:  $f_{\text{quer}} = 3.00 \text{ Hz}$ ,  $f_{\text{längs}} = 8.56 \text{ Hz}$ .

## 7 Fazit

Die erwähnten Fragen lassen gewisse Zweifel aufkommen, ob die Berechnungsergebnisse korrekt sind. Möglicherweise liessen sich mit genauen Berechnungen auch etwas höhere Erfüllungsfaktoren bestimmen.

Sofern der Verfasser anhand seiner Berechnungen die richtigen Schwachstellen erkannt hat, können die vorgeschlagenen Ertüchtigungsmassnahmen als zweckmässig beurteilt werden.

# Kornhausbrücke

## 1 Objektbeschreibung

Die Kornhausbrücke liegt im Herzen von Bern und wurde von August 1895 bis Juni 1898 erbaut. Sie besteht aus den acht unabhängigen Teiltragwerken:

- Grosser Bogen mit aufgesetztem Überbau
- Fünf kleine Bogen mit aufgesetztem Überbau
- Endfeld Seite Kornhausplatz und Endfeld Seite Kursaal

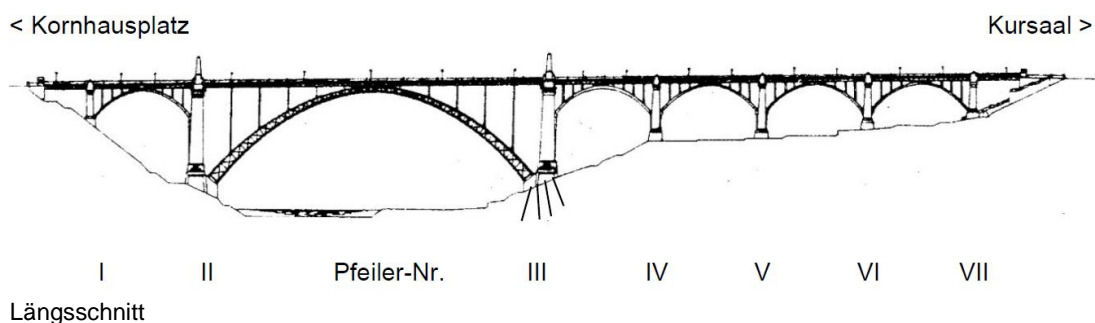
Die beiden Widerlager und die massiven Pfeiler I bis VII sind aus Granit- und Kalksteinblöcken gemauert, die Pfeiler zudem innen mit Beton gefüllt. Die Pfeiler II und III sind begehrbar. Über sämtlichen Pfeilern sind Dilatationsfugen und bei den Endwiderlagern sind Trennfugen angeordnet.

Die vorhandenen fünf Tragstrukturen der kleinen Bogen mit Überbau sind identisch, ebenso die beiden Endfelder.

Die ganze Konstruktion besteht aus einfachen und zusammengesetzten Stahlprofilen (Flussstahl), im Allgemeinen voll vernietet. Ausnahmen bilden Verstärkungs- und Ersatzprofile aus Baustahl mit Schraubverbindungen. Der Beton der Fahrbahnplatte wirkt voll im Verbund mit den Obergurten der Hauptlängsträger (HLT), Hauptquerträger (HQT) und Zwischenlängsträger (ZLT).

Im Laufe der Jahre fanden verschiedene Umnutzungen, Verstärkungen und Instandstellungen statt. Eine Gesamterneuerung der Kornhausbrücke erfolgte im Jahr 1997/98. Dabei wurden nebst dem Unterbau (neue Betonplatte im Verbund mit der Stahlkonstruktion) und der Abdichtung auch die Gleise und der Belag ersetzt. 2012 sowie 2019 fanden Instandsetzungsarbeiten an der Fahrbahn statt, die aber die Tragstruktur nicht beeinflussten.

2018 erfolgte ein Gleisersatz auf der Kirchenfeldbrücke. In diesem Zusammenhang sind aufgrund der zukünftig grösseren Tramlasten und der Erhöhung der Belagsstärke sowie bekannter Schwächen im Bauwerk Verstärkungsmassnahmen ausgeführt worden.



## 2 Verfasser der Überprüfung

ingenta ag  
Laubeggstrasse 70, 3006 Bern

Sachbearbeiter: ada, gam

## 3 Grundlagen

Als Grundlage des vorliegenden Korreferates stellte uns der Auftraggeber das folgende Dokument zu:

- Kornhausbrücke, Bern - Erdbebenüberprüfung Stufe 2, 20.10.2020

Im Weiteren lagen uns zahlreiche Pläne sowie Auszüge aus den statischen Berechnungen vor, die wir aber nicht im Detail prüften.

## 4 Berechnungsmodell, Berechnungsmethode

Für die Berechnungen zum Stahltragwerk setzt der Verfasser ein 3D-Stabmodell (Computerprogramm AXIS VM X5) ein. Die Brückenüberbauten werden jeweils getrennt und unabhängig von den Pfeilern modelliert. Die Pfeiler werden als eigenständige Kragarme modelliert und mit dem Computerprogramm Statik-8 der Cubus AG berechnet.

Die Auswirkungen werden mit dem Antwortspektrenverfahren bestimmt.

Für die Bestimmung der Erdbebeneinwirkungen setzt der Verfasser die folgenden Werte an:

Erdbebenzone: Z1b  
Bauwerksklasse: BWK II-i  
Baugrundklasse: BGK E  
Verhaltensbeiwert:  $q = 1.5$

## 5 Beurteilung des Verfassers

Der Verfasser beurteilt die Erdbebensicherheit aller Brückenteile bis auf die Verbindungen im Scheitelpunkt als normgemäss gegeben (d.h.  $\alpha_{\text{eff,min}} \geq 1.0$ ). Die Führungslager weisen ebenfalls ungenügende Erfüllungsfaktoren auf, wobei der Verfasser die Absturzsicherheit der Brücke im Falle eines Lagerversagens als ausreichend beurteilt.

Der Verfasser empfiehlt eine Verstärkung der Verbindungen im Scheitelpunkt mittels eines Ersatzes der Schrauben durch HV-Schrauben.



## 6 Stellungnahme zur Überprüfung

### 6.1 Berechnungsmodell, Berechnungsmethode

Aus dem Bericht geht nicht hervor, welche Eigenschwingformen berücksichtigt wurden und ob die Normanforderung, dass die Summe der berücksichtigten modalen Massen min. 90 % der Gesamtmasse entspricht, eingehalten ist.

Die Trennung von Brückenüberbau und Pfeiler in den Berechnungsmodellen ist nicht zulässig. Insbesondere bei den kleinen Bögen ist die Erdbebenanregung durch deren Lagerung auf ca. halber Pfeilerhöhe anders, als wenn die Bogenkämpfer direkt im Baugrund fundiert wären. Ebenso dürfen die Pfeiler nicht für sich alleine, ohne Berücksichtigung der Einwirkungen aus den Überbauten, betrachtet werden.

### 6.2 Einwirkungen

Die gewählten Parameter sind grundsätzlich korrekt und entsprechen der neusten Ausgabe von SIA 261 von 2020. Wir vermuten jedoch, dass zumindest die Fundamente der Hauptbrücke in besserem Baugrund liegen als BGK E, was eine etwas geringere Erdbebeneinwirkung ergeben würde.

### 6.3 Auswirkungen

Für die Erdbebenüberprüfung beschränkt sich der Verfasser auf die Berechnung der maximalen Spannungen infolge der Erdbebeneinwirkung für sämtliche Brückenstahlteile.

### 6.4 Widerstände

Die Überprüfung der Tragwiderstände der Stahlkonstruktion erfolgt einzig über den Vergleich der berechneten Spannungen mit der Fließspannung. Dabei wird aber der Bemessungswert von Fließgrenze und Zugfestigkeit zu hoch angesetzt. Gemäss SIA 269/3 betragen diese:

$$f_{yk} = 220 \text{ N/mm}^2 \text{ (nicht } 240 \text{ N/mm}^2\text{)} \quad f_u = 335 \text{ N/mm}^2 \text{ (nicht } 360 \text{ N/mm}^2\text{)}$$

Zudem muss der Korrekturbeiwert von  $k_{\gamma M} = 1.05$  auch bei  $\gamma_{M2}$  für die Verbindungen berücksichtigt werden.

Eine Überprüfung der Verbindungen und der Stabilität (Knicken) wird nicht durchgeführt. Da dies bei alten Stahlkonstruktionen, die aus in Relation zur Bauwerksgrösse filigranen Profilen zusammengenietet sind, häufig massgebend ist, sind diese Nachweise ebenfalls zu führen.

Ebenso fehlen die geotechnischen Nachweise zur Foundation.

## **7      Fazit**

Der vorliegende Bericht zur Erdbebensicherheit weist noch verschiedene Lücken auf und lässt einige Fragen offen. Somit können wir die Aussage des Verfassers, wonach die Kornhausbrücke mit Ausnahme der Verbindungen im Scheitelbereich eine normgemässe Erdbebensicherheit aufweist, noch nicht bestätigen.

Wir empfehlen, den Bericht anhand der vorstehend aufgeführten Bemerkungen zu überprüfen und zu ergänzen und wo nötig die Berechnungen entsprechend zu bereinigen.

Weiter empfehlen wir, die Verhältnismässigkeit eines Ersatzes der Führungslager zu prüfen. Auch wenn ein Versagen dieser Lager noch nicht zu einem Einsturz der Brücke führen würde, so entstehen aufgrund deren tiefer Erfüllungsfaktoren schon bei mittleren Erdbeben bedeutende Schäden.