



Moderne Ingenieurmethoden beim Umgang mit Bahnbrücken im Bestand

Eugen Brühwiler

Prof. Dr. Dipl. Ing. ETH/SIA/IABSE

Lehrstuhl für Bauwerkserhaltung

ETH Lausanne (EPFL), Schweiz

Konsulent der Schweizer Denkmalpflege

EWS-Seminar TU Berlin, 27. April 2020



Ermüdungsversuch von 1985 (EPFL) an einem genieteten Träger, ausgebaut aus einer Strassenbrücke von 1889

Eugen Brühwiler:

1983 Diplomingenieur ETH Zürich

1988 Promotion ETH Lausanne

1989/90 Post-Doc Boulder CO, USA

1991-94: Brückeningenieur

Schweizerische Bundesbahnen Zürich

seit 1995: Professor für Erhaltung

und Sicherheit von Bauwerken an

der ETH Lausanne (EPFL)



Moderne Ingenieurmethoden beim Umgang mit Bahnbrücken im Bestand

Inhalt:

- **A:** Monitoring und UHFB-Bauweise
 - **B:** Monitoring-basierter Nachweis der Ermüdungssicherheit von genieteten Bahnbrücken: *Anwendungen*
 - **C:** Einsatz von UHFB zur Verbesserung von Bahnbrücken: *Anwendungen*
- ➔ *Moderne Ingenieurmethoden im Dienste der Denkmalpflege ... und der Nachhaltigkeit !*



A_1:

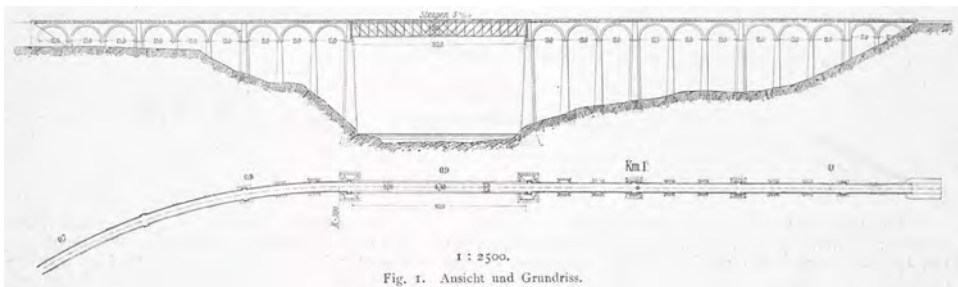
Monitoring von Ermüdungsbeanspruchungen

Ermüdungswiderstand genieteter Konstruktionsdetails

Monitoring: messtechnische Erfassung der Beanspruchung

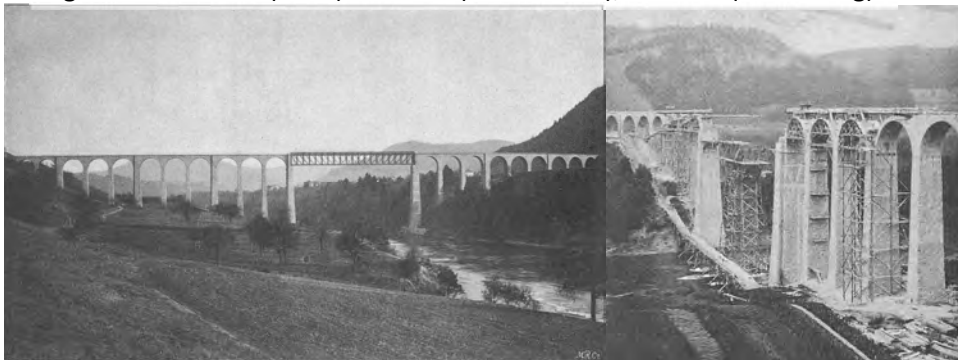
Ermüdungssicherheit:
Beanspruchung < Widerstand

$$\Delta\sigma(Q_{fat}, N) < \Delta\sigma_{R,fat}$$



SBB Rheinbrücke bei Eglisau, Schweiz, 1897:

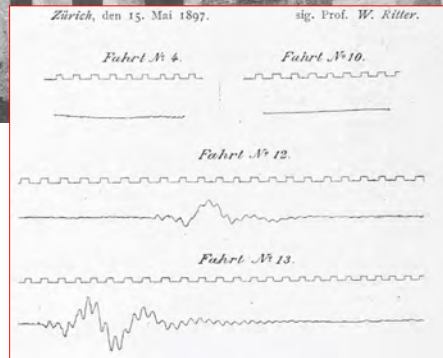
Ingenieure: A.Buss (Stahl) R.Moser (Mauerwerk), E.Züblin (Bauleitung)



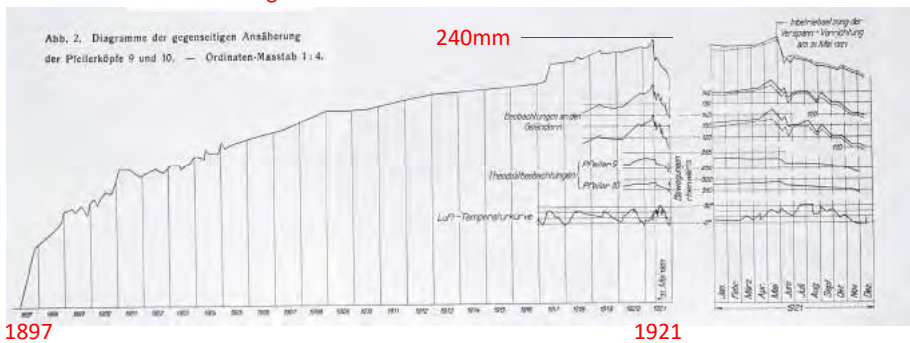
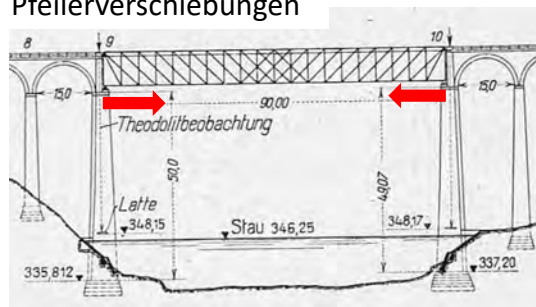


Schwingungsmessungen, seitliche Schwingungen

[Züblin, Rhein-Viadukt bei Eglisau, Schweiz. Bauzeitung, Vol.31/32 (1898)]



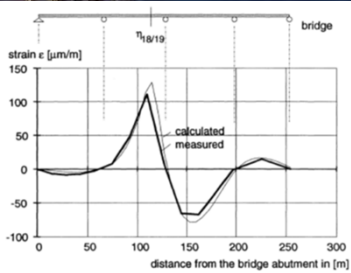
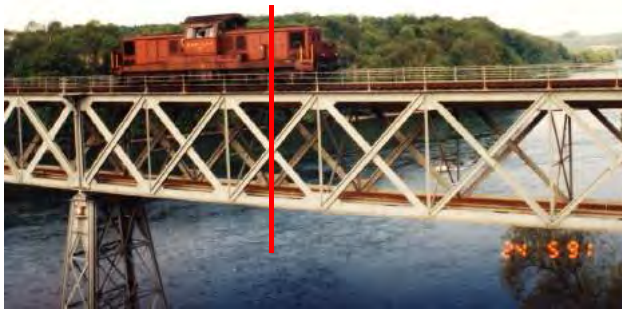
Pfeilerverschiebungen



Rheinbrücke Hemishofen (1875): Firma Cail, Paris; Bauzeit: 15 Monate !



für die Ermüdung
massgebender
Querschnitt



Dehnungsverlauf in den Gurten infolge Überfahrt einer Lokomotive

Remaining Service Life of a Railway Bridge
 Durée de vie résiduelle d'un pont-rail usagé
 Restriktionsdauer eines genutzten Eisenbahnbrücken

Report written by: Dr. Eng. Sergio Pellegrino, Politecnico di Torino, Italy

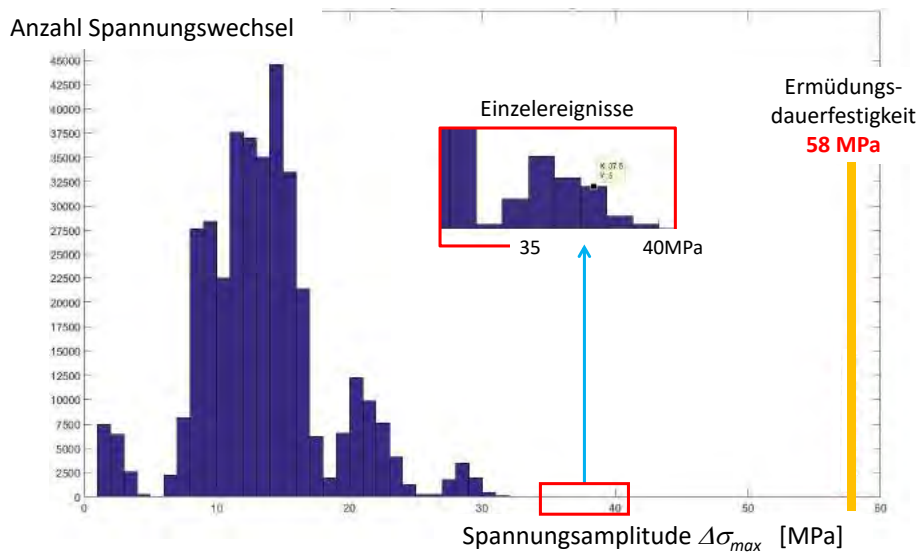
Report written by: Dr. Eng. Sergio Pellegrino, Politecnico di Torino, Italy

24. Mai 1991

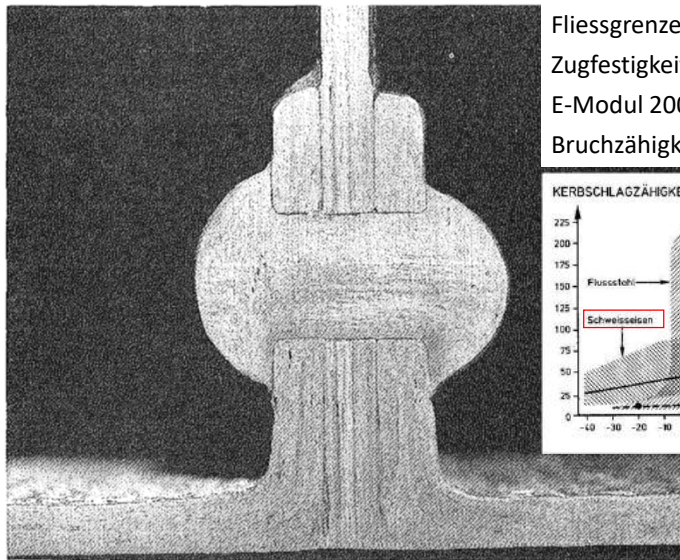
2018-19: Monitoring (18 Monate) der Dehnungen im genieteten Fachwerk



Histogramm: **Spannungsamplituden** im massgebenden Messpunkt, April 2018 – August 2019 (400 Tage, 50'500 Züge)



Schweisseisen (1850 – 1890)



Fließgrenze 220 – 240 MPa
 Zugfestigkeit 320 – 360 MPa
 E-Modul 200GPa
 Bruchzähigkeit $K_{Ic} = 1'500 \text{ N/mm}^{3/2}$

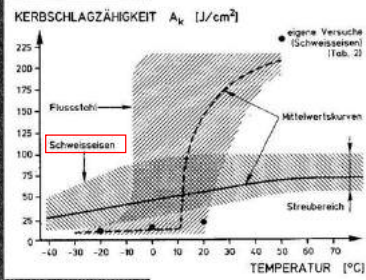


FIG. 2. Macro-Section of Wrought-Iron Riveted Connection Showing Texture of Layers of Iron and Slag Inclusions Due to Forging and Subsequent Rolling

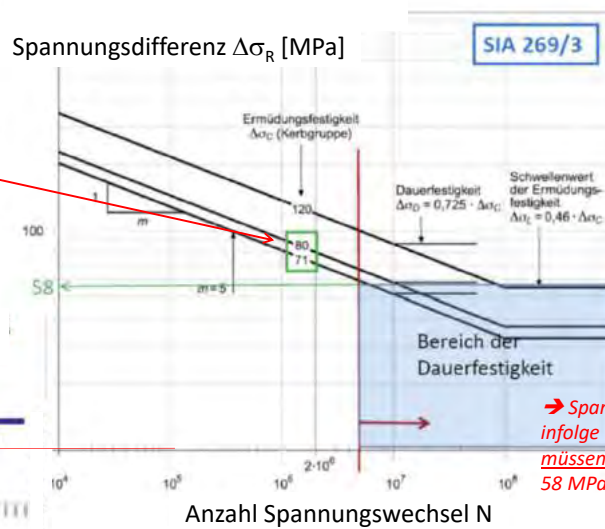
bisherige Anzahl Züge seit 1896 : oft > 5 Millionen



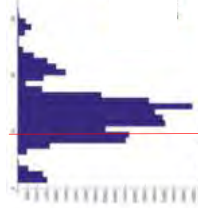
Ermüdungsversuche

Ermüdungsfestigkeit für genietete Konstruktionsdetails

Spannungsdifferenz $\Delta\sigma_R$ [MPa]



$\Delta\sigma_{fat}(Q_{fat})$



→ Spannungen $\Delta\sigma$ infolge Bahnlasten müssen bisher kleiner als 58 MPa gewesen sein!



Rheinbrücke Koblenz (CH) – Waldshut (D), 1859



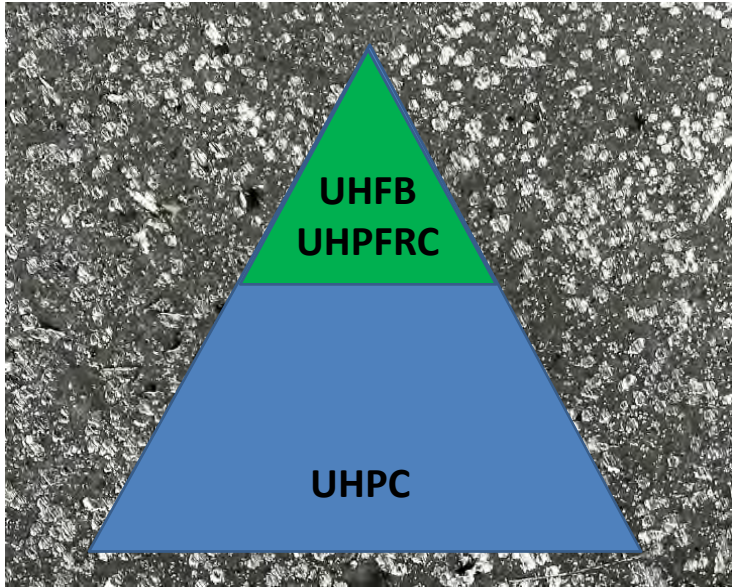
Wipkingerviadukt Zürich, 1896
Rheinbrücke Eglisau, 1897



A_2:
Baustoffe: UHFB und Stahl-UHFB
UHFB- Bauweise



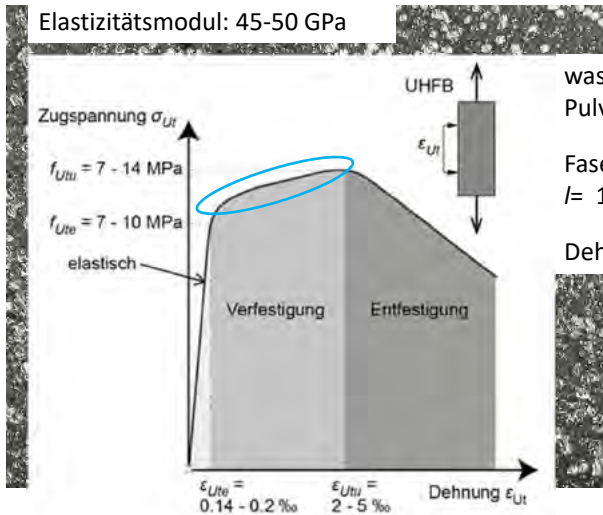
UHFB : Zement-gebundener **U**ltra-**H**ochleistungs-**F**aserverbund-**B**austoff



Mechanische Eigenschaften von UHFB mit Verfestigungsverhalten

Druckfestigkeit: 130 – 180 MPa

Elastizitätsmodul: 45-50 GPa

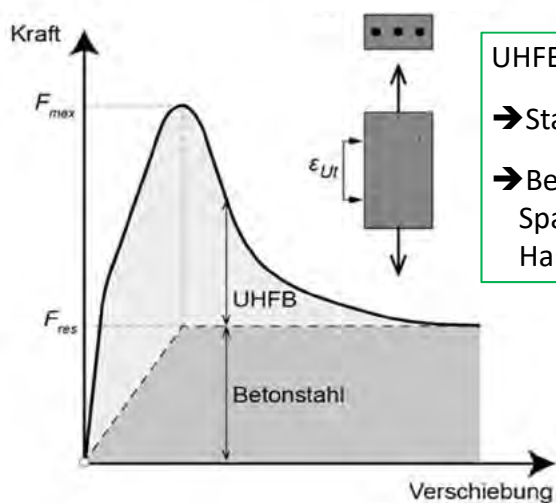


wasserdicht → kompakte Matrix: Pulver und Partikel (<1mm)

Faser-verstärkt mit Stahlfasern $l = 15\text{mm}$, $l/d > 65$; > 3 vol.%

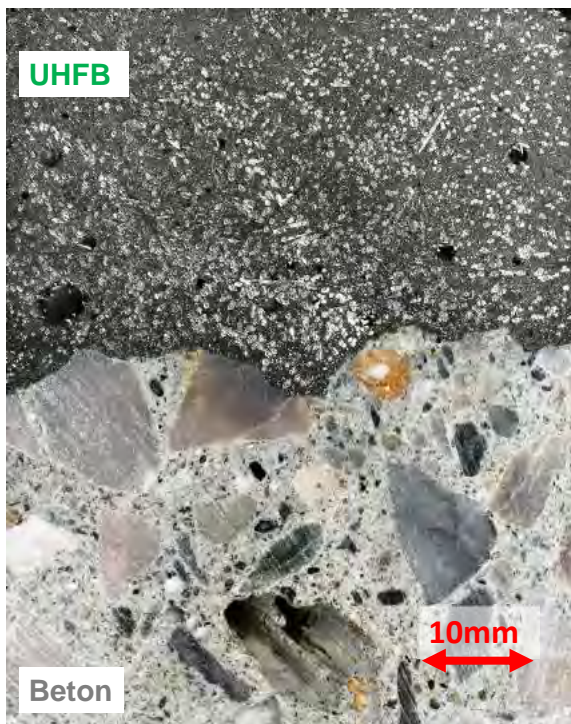
Dehnungs-Verfestigung

bewehrter UHFB oder „Stahl-UHFB“



UHFB mit Tragfunktion:

- Stahlfasern
- Bewehrung (Betonstahl, Spannstahl) in Haupttragrichtung



UHFB

Beton

10mm

UHFB = zementgebundener
Ultra-Hochleistungs-
FaserverbundBaustoff

UHFB ist kein Beton !

Beton :

freies Wasser; Kapillarporen;
alkali-reaktive Gesteinskörnung

Risiko: AAR,
Bewehrungskorrosion

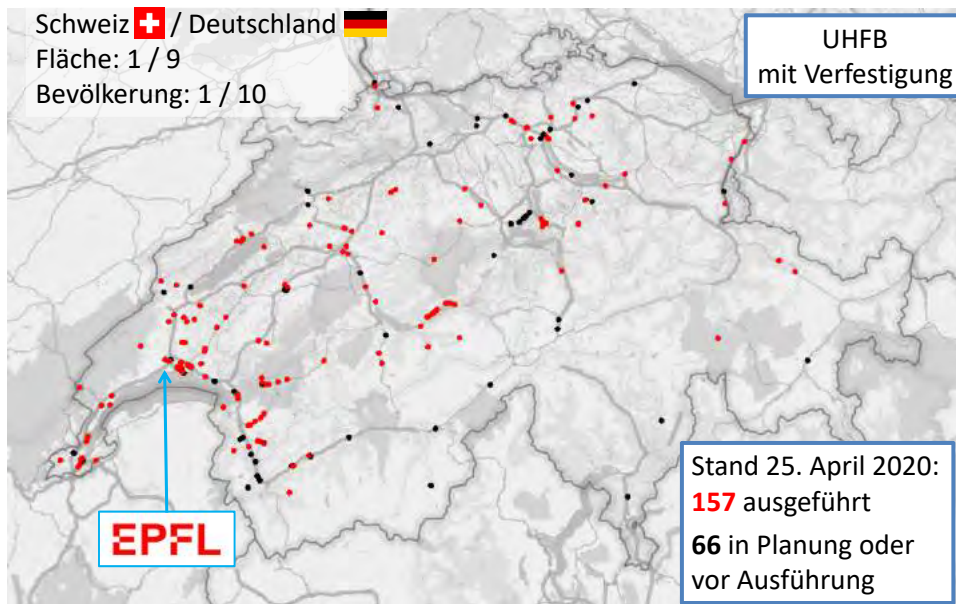
Rohstoff-intensiv, schwer, massiv



Instandsetzung und Verstärkung der Chillon-Viadukte, 2014-15



Anwendungen in UHFB-Bauweise in der Schweiz



指南：超高性能纤维增强水泥基复合材料 (UHPRFC) - 材料、设计和应用

此版本为SIA 2052修改版的中文译本
 只供内部使用
 瑞士洛桑, MCS-EPFL, 2016-04-17



weitere Übersetzungen auf Japanisch
 Anwendungen in Deutschland, USA, Canada, Thailand, Malaysia,

Recommendation:
 Ultra-High Performance Fibre Reinforced Cement-based composites (UHPRFC)

Construction material, dimensioning and application

English translation of the Technical Leaflet SIA 2052 with adaptations
 For internal use
 MCS-EPFL, Lausanne, Switzerland, Mai 2016

Рекомендация
 Сверхвысокопрочные, армированные волокнами композиты на основе цемента (СПФБ)

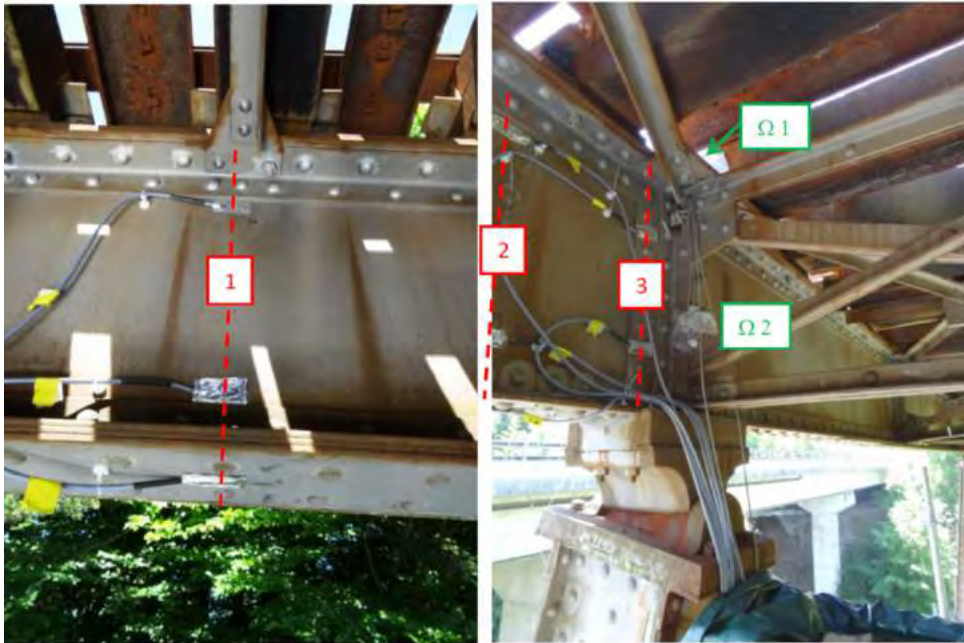
Строительные материалы, размеры и применение

B:

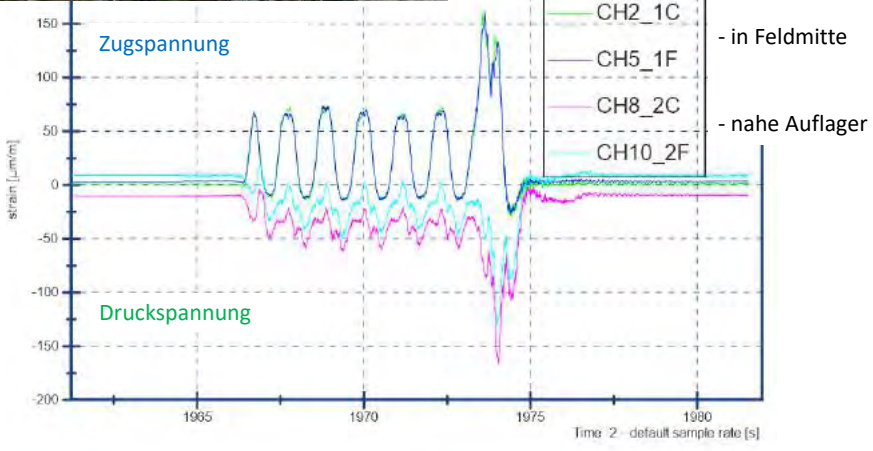
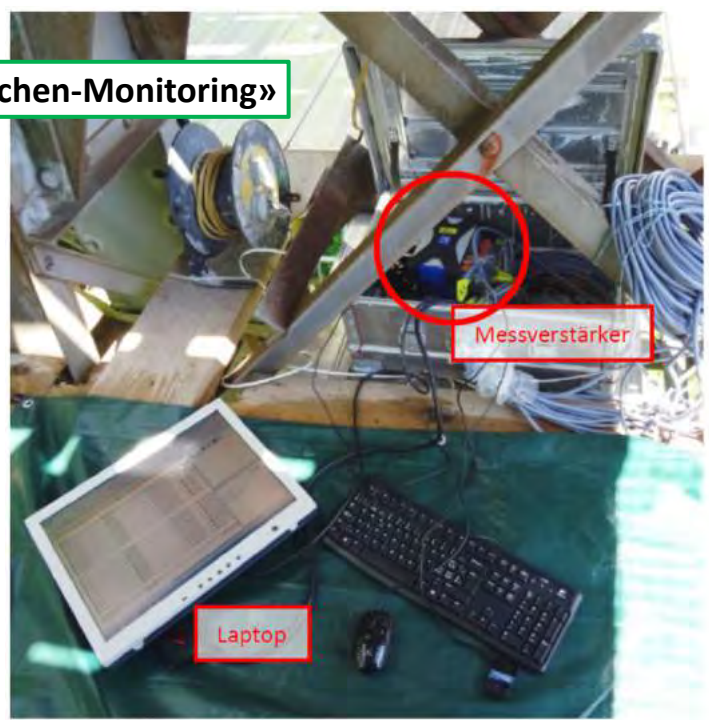
**Monitoring-basierter Nachweis der Ermüdungssicherheit von genieteten Bahnbrücken:
*Anwendungen***



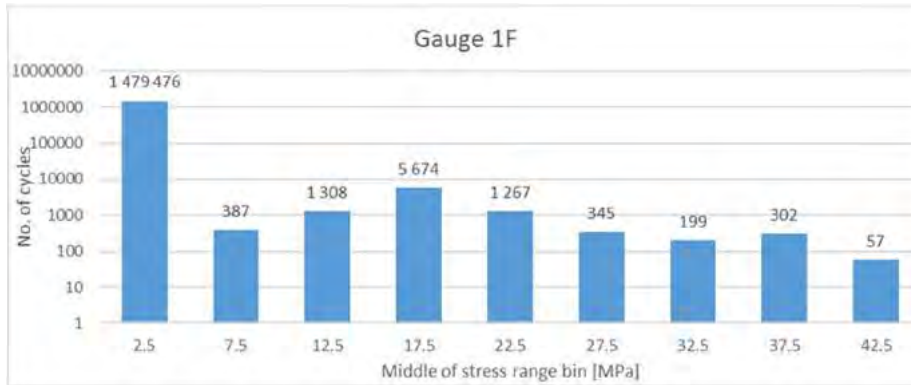




«Taschen-Monitoring»



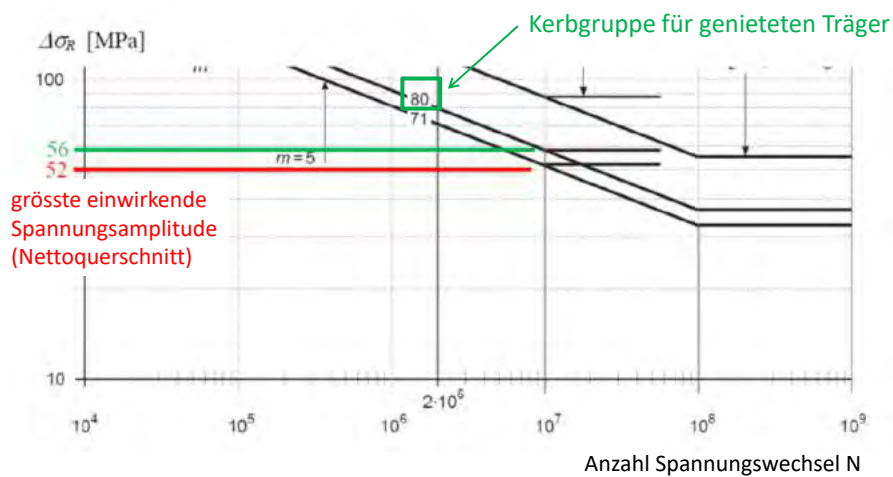
Histogramm der Spannungsdifferenzen infolge Betriebslasten im Zugflansch in Feldmitte: Träger 1



Anpassungen:

- Spannungen am Brutto-QS => Netto-QS
- massgebender Querschnitt nahe Feldmitte

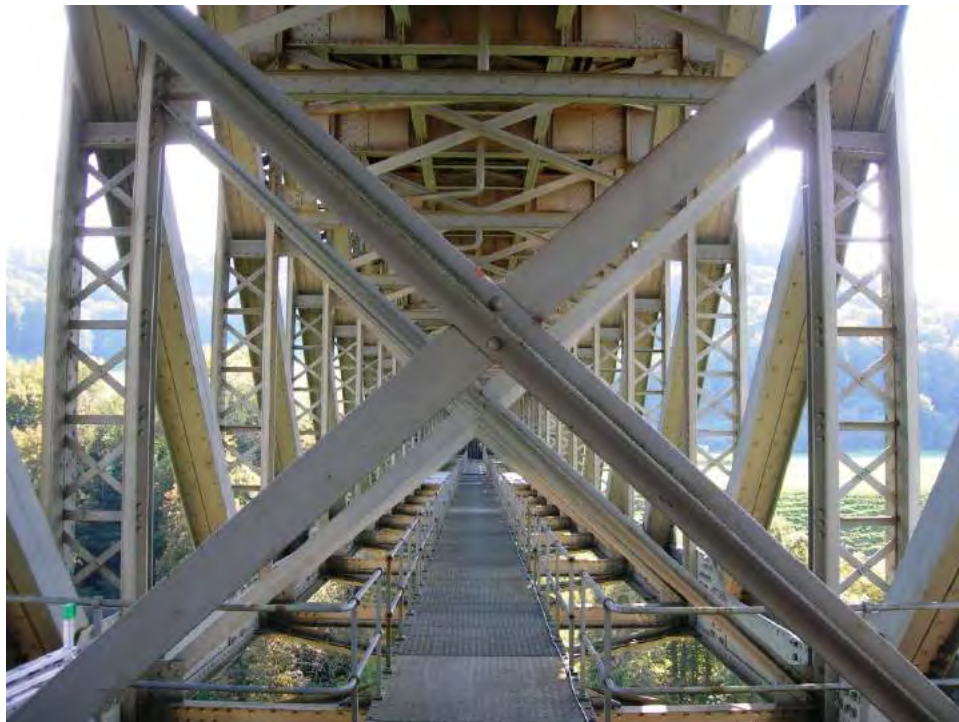
Nachweis der Ermüdungssicherheit gegenüber der Dauerfestigkeit :



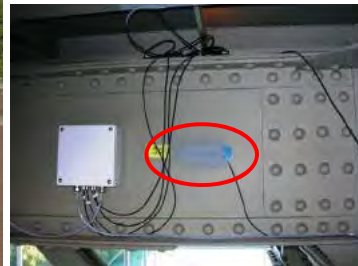
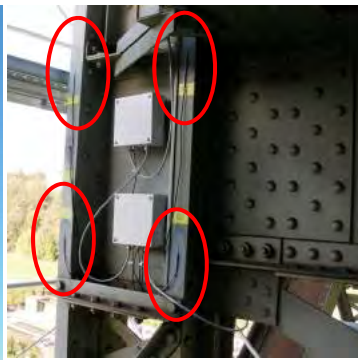
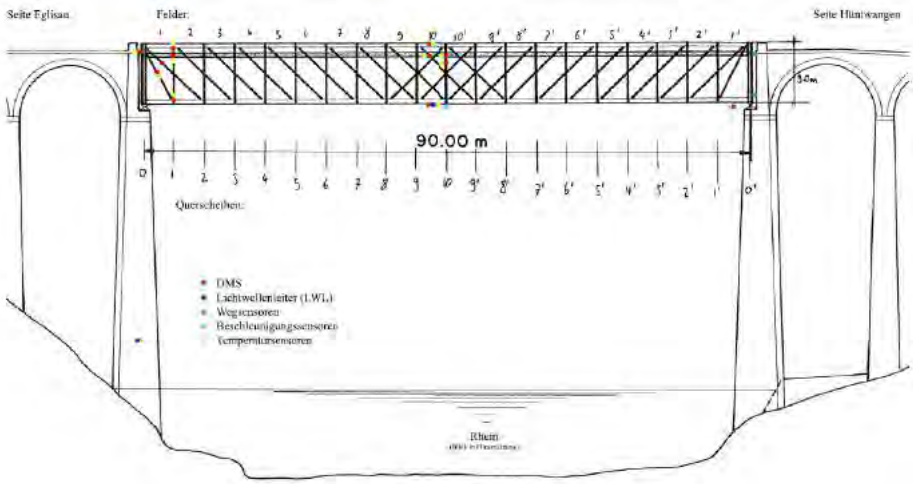
Rheinbrücke Eglisau (1897)



Foto: Ph.Schiltz



Langzeit-Monitoring 2012 (12 Monate)





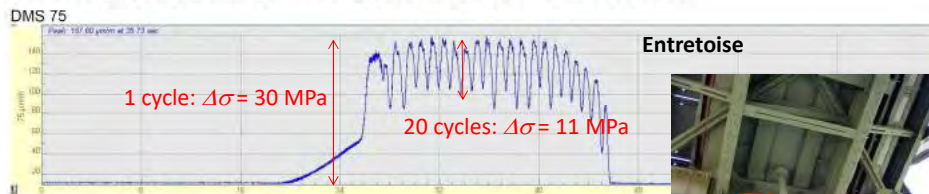
2.1 Messquerschnitt 5, Güterzug am 01.04.2011 um 11:25 Uhr

Poutre maitresse (treillis):
Aile supérieure



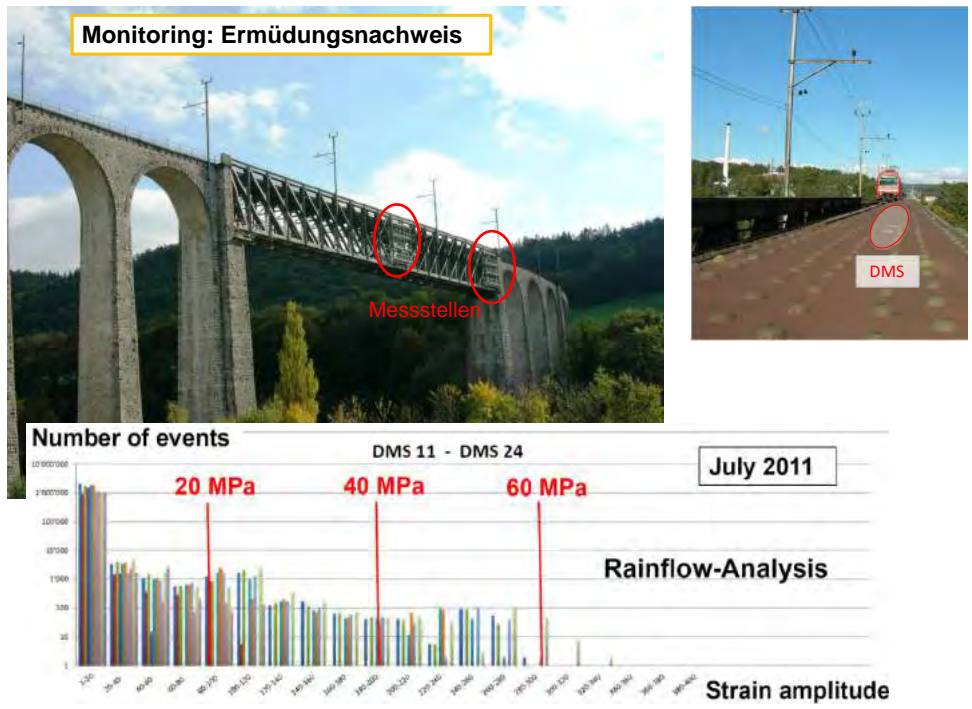
keine massgebenden dynamische Effekte !

3.9 Messquerschnitt 8, Güterzug am 06.05.2011 um 11:10 Uhr



Entretoise





Tragwerksanalyse: 3D-Modell

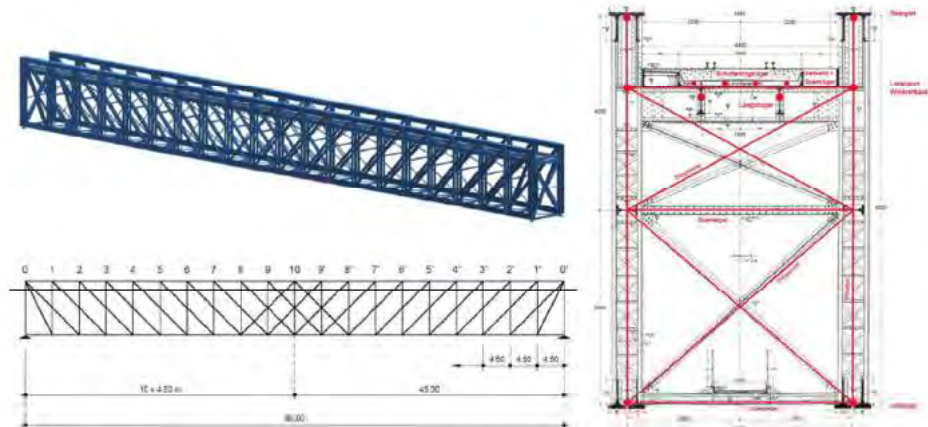
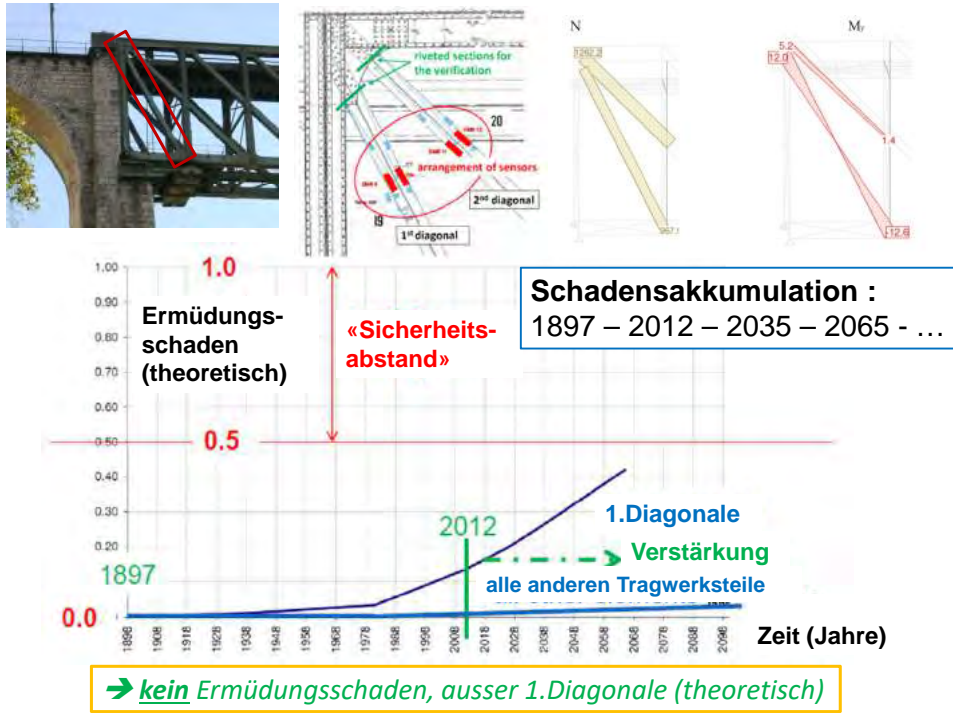


Figure 2: Three-dimensional bar model for the structural analysis with dimensions of the truss (left); cross section of the bridge girder and modelling (right)



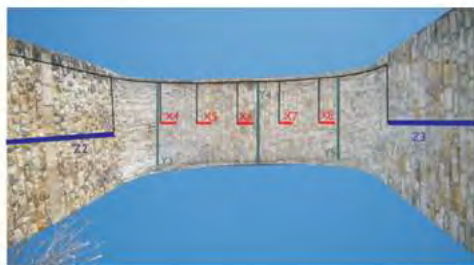
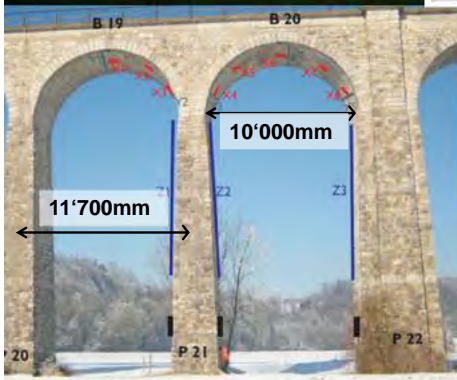
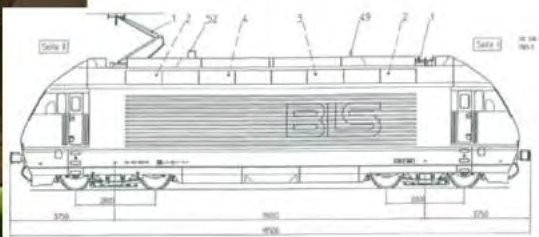
BLS Saaneviadukt in Gümmenen

Monitoring: Tragverhalten eines Natursteinviadukts



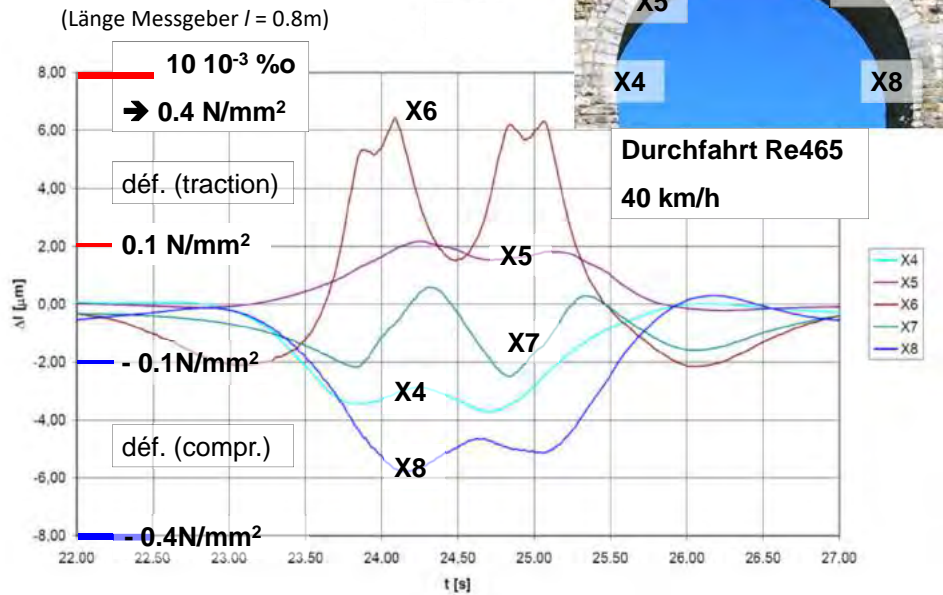
23. April 2009

Belastungsversuch: Lokomotive Re465



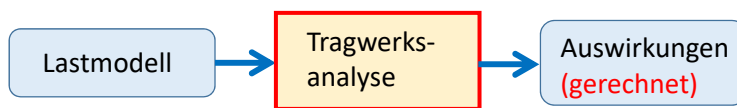
Messgeber: optische Fasern System SOFO

Verformungen infolge Lokomotive:

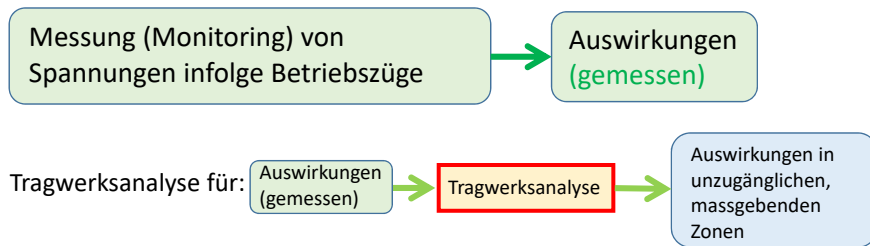


Überprüfung nach Normen SIA 269 (6.1, 6.3.2.4, 6.4.3 / 269/1 11.1.2)

Generelle Überprüfung : «Nachrechnung» mit Lastmodellen



Detaillierte Überprüfung : Monitoring von Betriebsspannungen für den Nachweis der Ermüdungssicherheit



C_1:

**Einsatz von UHFB zur Verbesserung
von Bahnbrücken:
Anwendungen**



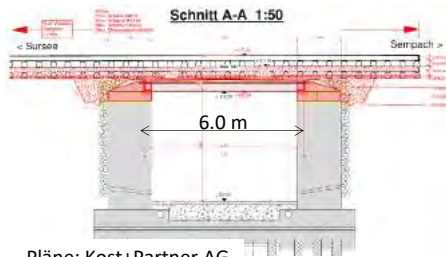


BLS Kanderviadukt in Frutigen BE, Instandsetzung 2017

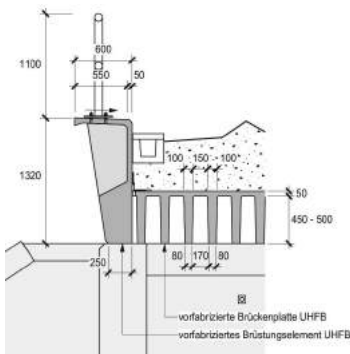




SBB SU Unterwälden bei Sempach: Bahnbrücke: 2 Gleise



Pläne: Kost+Partner AG

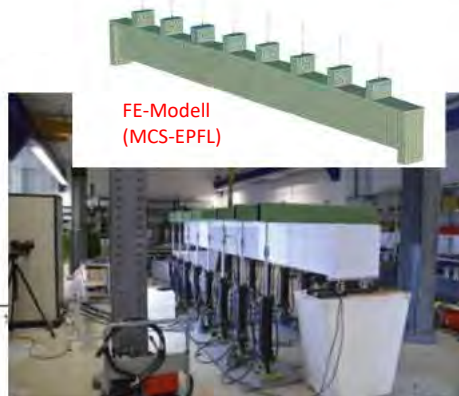
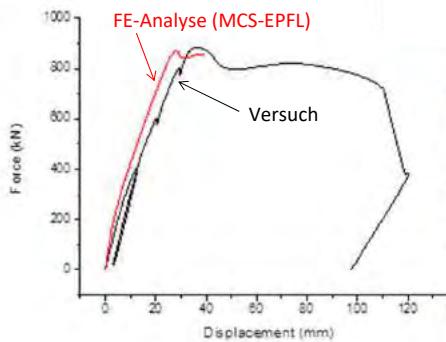
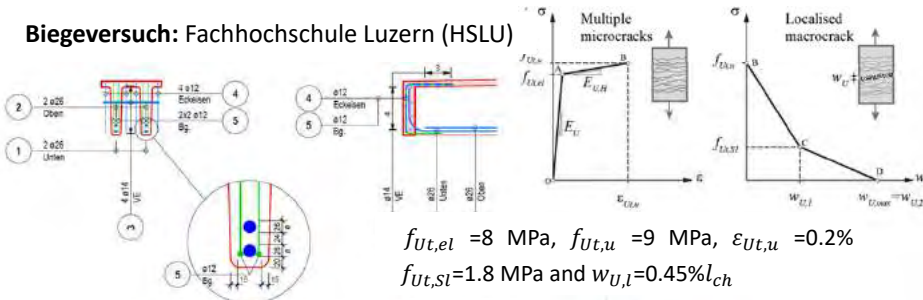


11. Nov. 2017

Vorfabrizierte Elemente (Fertigteile) :

- Plattenbalken (vertikale Bahnlasten)
- Randbalken (Aufnahme von Anprallkräften)
- schnelle Bauweise
- Bemessung: Normen SIA 260, 261; MB SIA 2052

Biegeversuch: Fachhochschule Luzern (HSLU)





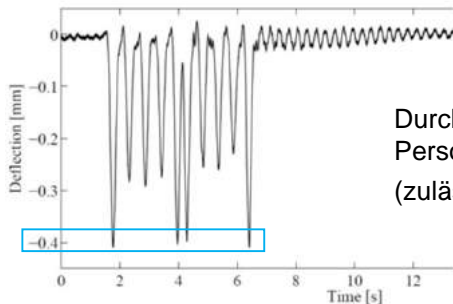
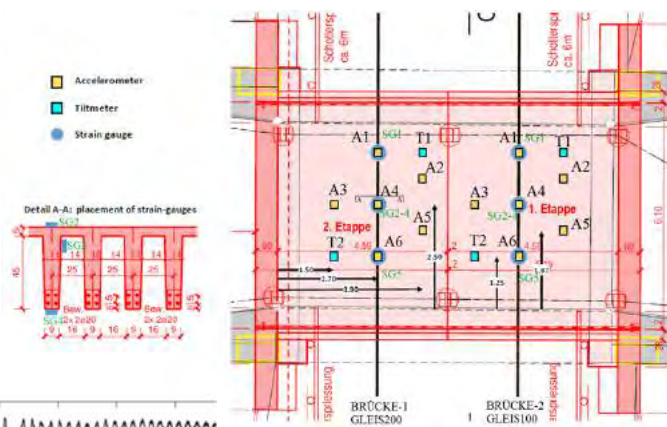
11. Nov. 2017





Monitoring

ETH Zürich:
Prof. E. Chatzi



Durchbiegung infolge eines Personenzugs
(zulässige Durchbiegung $l / 2000 = 3\text{mm}$)



SBB SU Unterwalden, 16.12.2017

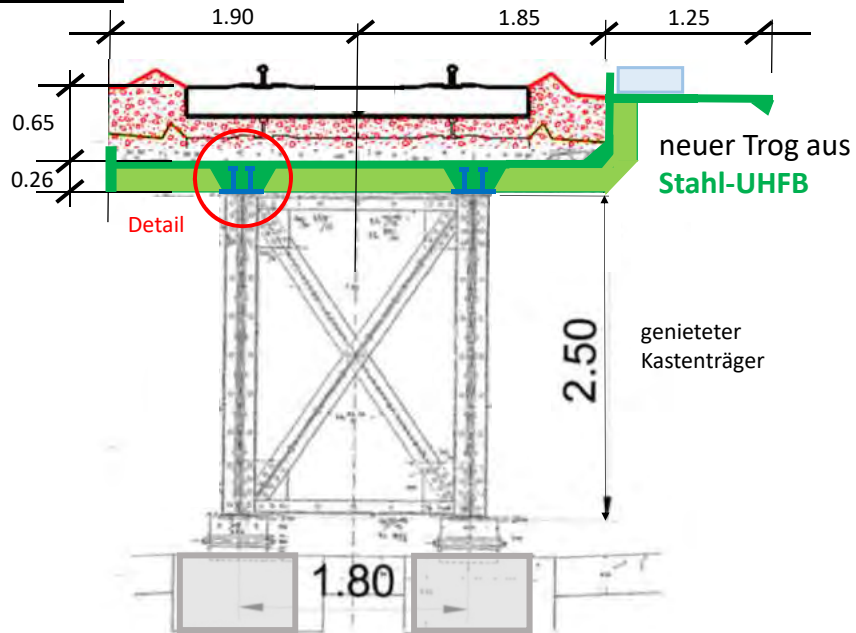
C_2:

**Monitoring und UHFB kombiniert
zur Verbesserung von Bahnbrücken:
*Anwendungen***



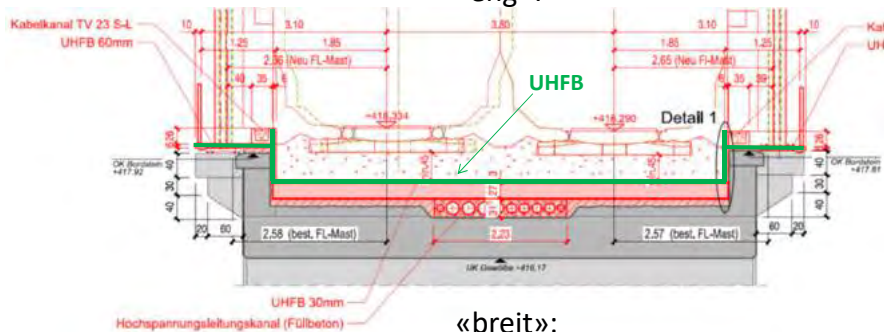
**Bahnviadukt von 1896, 800m lang:
Instandsetzung und Fahrbahn-Erneuerung
Denkmalobjekt !**

Stahlbrücken:

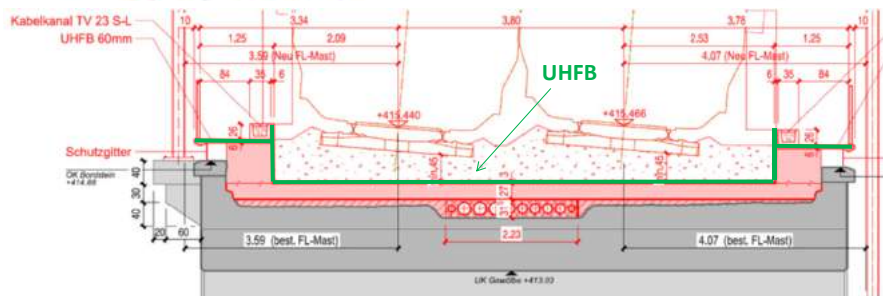


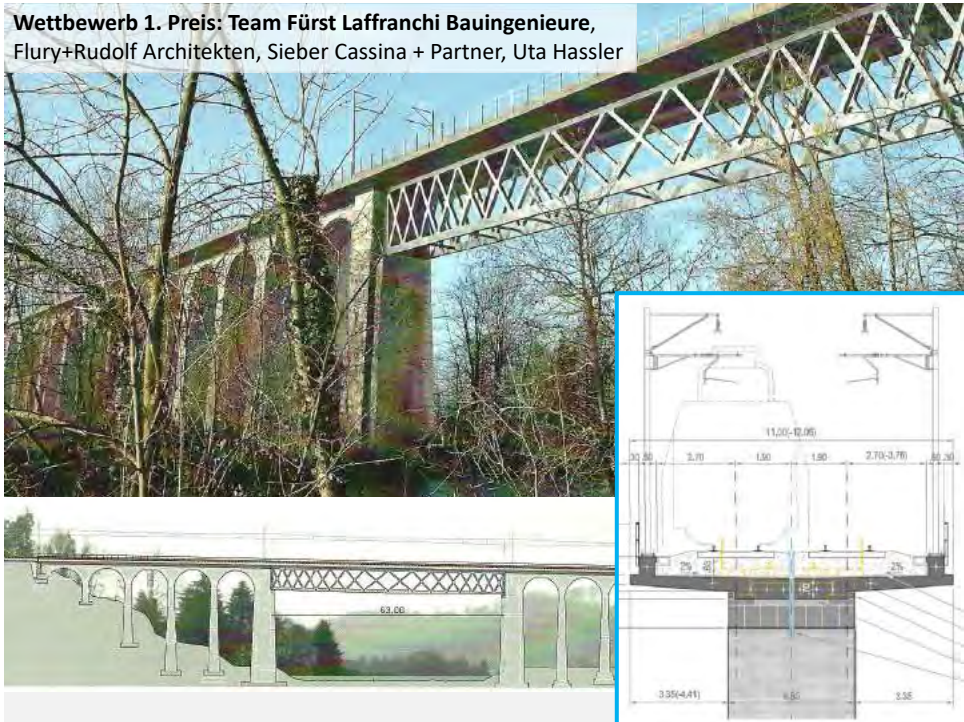
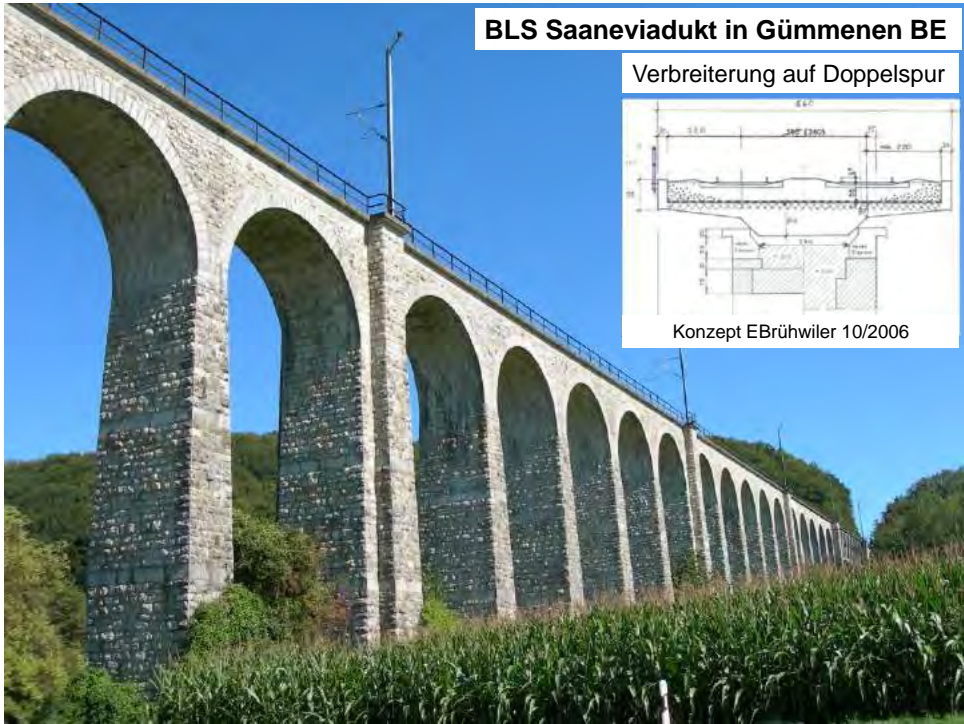
Mauerwerksviadukte:

«eng»:



«breit»:







Moderne Ingenieurmethoden beim Umgang mit Bahnbrücken im Bestand

Folgerungen:

- neuartige Methoden und Technologien anwenden !
- Monitoring-basiert überprüfen anstatt «nachrechnen» !
- Zeitalter der UHFB-Bauweise hat begonnen !
- Denkmalwerte erhalten anstatt zerstören !
- Normen «interpretieren» anstatt stur anwenden !

