

# Schallemissionsmonitoring an einer Spannbetonbrücke in Deutschland

Max KÄDING<sup>1</sup>, Gregor SCHACHT<sup>1</sup>, Guido BOLLE<sup>2</sup>, Steffen MARX<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Marx Krontal Partner, Hannover

<sup>2</sup> Hochschule Wismar | Fachbereich Bauingenieurwesen, Wismar

<sup>3</sup> Leibniz Universität Hannover | Institut für Massivbau, Hannover

Kontakt E-Mail: max.kaeding@marxkrontal.com

## Kurzfassung

Viele Brücken, die einen wichtigen Teil unserer modernen Infrastruktur darstellen, wurden in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts gebaut. In dieser Zeit befand sich die noch junge Bauweise in einer rasanten Entwicklung, so dass die fehlenden Erfahrungen und Regelwerke zu vielfältigen Defiziten führten. Eines dieser Probleme ist die besondere Empfindlichkeit bestimmter Spannstähle gegenüber Spannungsrisskorrosion (SpRK). Die SpRK ist dadurch charakterisiert, dass sie unter bestimmten Voraussetzung zu einem zeitverzögerten Ausfall der Spannbewehrung führen kann. Diese Degradationsprozesse sind jedoch nicht ohne weiteres festzustellen, da die Spannglieder in der Betonkonstruktionen einbetoniert liegen und nur schwer inspiziert werden können. Solange keine Risse im Beton auftreten, scheint das Bauwerk äußerlich intakt. Im ungünstigsten Fall hat dies ein schlagartiges Versagen der Konstruktion zur Folge.

Aus diesem Anlass wurden spezifische Richtlinien zur Bewertung gefährdeter Strukturen im Straßen- und Eisenbahnbrückenbau veröffentlicht, die ein bestimmtes Vorgehen vorgeben und verschiedene Maßnahmen empfehlen. In vielen Fällen sind die konventionellen Verfahren jedoch nicht zielführend oder stellen keine angemessene Alternative (Bsp. Ersatzneubau) dar. Hier besitzen Monitoringverfahren zur dauerhaften messtechnischen Überwachung ein erhebliches Potential.

Die Stennertbrücke zählt zu diesen Bauwerken, die einerseits durch den beschriebenen Schädigungsangriff gefährdet sind und bei denen, mit konventionellen Methoden die Stand- und Verkehrssicherheit nicht gewährleistet werden kann. Da ein Ersatzneubau kurzfristig nicht umsetzbar ist, wurde ein alternativer und im deutschen Spannbetonbrückenbau einzigartiger Ansatz verfolgt: Drahtbrüche sollten mit Schallemissionsmesstechnik erfasst werden. Eine entscheidende Grundlage für die Anwendung dieses Messprinzips ist das, über viele Jahre hinweg in Forschungsprojekten gewonnene Know-How aus Labor- und Feldversuchen. In diesen Voruntersuchungen wurden bspw. wichtige Erfahrungen zur dauerhaften Kopplung von Sensoren, zur Lokalisierung und zur Wellenausbreitung in Spannkonstruktionen gesammelt.

Die Messanlage wurde Mai 2018 installiert und wenig später in Betrieb genommen. Seitdem werden kontinuierlich Daten erfasst und in regelmäßigen Zyklen ausgewertet. Hierbei kommen sowohl parameterbasierte als auch signalbasierte Analysen zum Einsatz. Bisher konnten keine Hinweise auf Spanndrahtbrüche festgestellt werden.



# SCHALLEMISSIONSMONITORING AN EINER SPANNBETONBRÜCKE IN DEUTSCHLAND

Mittwoch, 27. März 2019

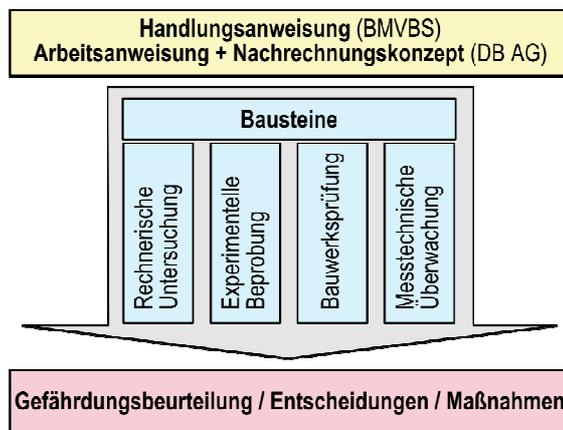
## ENTWICKLUNG DER VORSCHRIFTEN

### STRASSENBRÜCKEN (BMVBS)

- ➔ 1990 - Empfehlung zur Beurteilung (Querschnittsnachweis)
- ➔ 2011 - Handlungsanweisung (stochastischer Nachweis)

### EISENBAHNBRÜCKEN (DB NETZE)

- ➔ 2013 - Nachrechnungskonzept
- ➔ 2017 - Arbeitsanweisung (Monitoringmaßnahmen)



## DIE STENNERTBRÜCKE



### MESSZIELE

- ➔ Detektion und Lokalisation von Drahtbrüchen
- ➔ Erfassung der Folgen eines Spannstahlausfalls (Steifigkeitsänderungen)
- ➔ Einfluss aus Verkehr
- ➔ Klimatische Einwirkungen





## MESSZIELE

- ➔ Detektion und Lokalisation von Drahtbrüchen
- ➔ Erfassung der Folgen eines Spannstahlausfalls (Steifigkeitsänderungen)
- ➔ Einfluss aus Verkehr
- ➔ Klimatische Einwirkungen

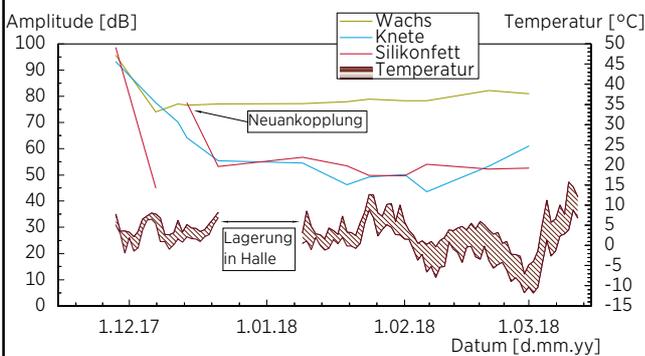
- ➔ *Rückschlüsse auf reale Gefährdung*
- ➔ *Erhöhung der Sicherheit für die Restnutzungsdauer*



## VORUNTERSUCHUNGEN

### KOPPLUNG VON SENSOREN

- ➔ Langzeitverhalten von Koppelmitteln (Frost-Tau Simulation)
- ➔ Verarbeitbarkeit
- ➔ Anpressdruck

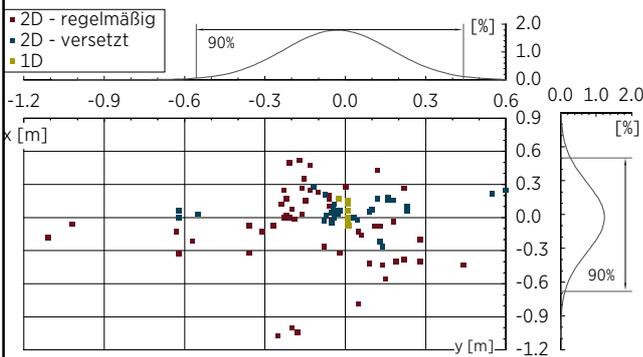




## VORUNTERSUCHUNGEN

### LOKALISIERUNG

- ➔ Untersuchung verschiedener Sensoranordnungen
- ➔ Bauwerkslängs- und -querrichtung



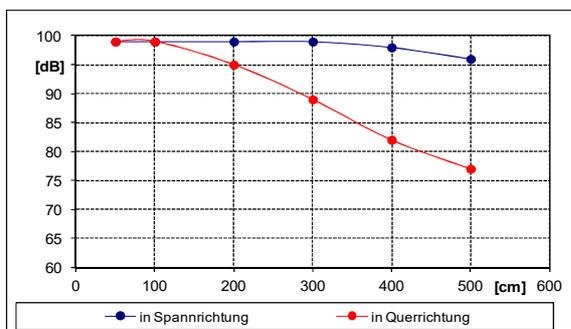
➔ 90% der lokalisierten Events innerhalb einer 1 m<sup>2</sup>-großen Fläche



## VORUNTERSUCHUNGEN

### MATERIALVERHALTEN

- ➔ Eignung von Sensoren (Frequenzbereich)
- ➔ Ausbreitungseffekte in Bauwerkslängs- und -querrichtung





## VORUNTERSUCHUNGEN

### MATERIALVERHALTEN

- ➔ Eignung von Sensoren (Frequenzbereich)
- ➔ Ausbreitungseffekte in Bauwerkslängs- und -querrichtung

Autor	Sensor-abstand	Antwortspektrum des Sensors	Dämpfung
Cullington [1]	5 m	1..20 kHz	-
Yuyama [2]	6 m	40..100 kHz	4,3 dB/m
Fricker [3]	8,3 m	20..200 kHz	3,7 dB/m
Eigene Arbeiten	-	40..50 kHz	3..4 dB/m
	-	30..100 kHz	5 dB/m

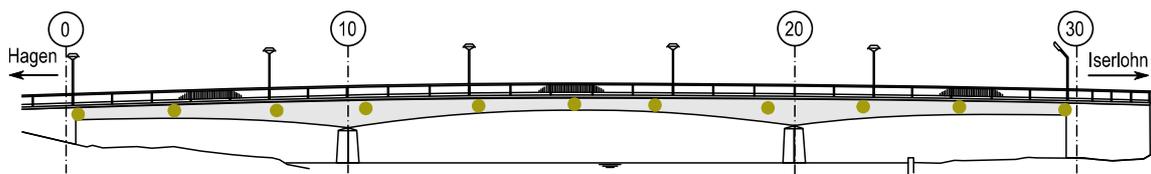
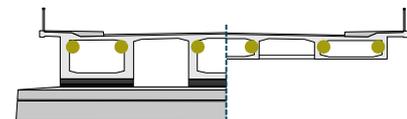
➔ Sensorabstand bis zu 10 m möglich

➔ Untersuchungsbereich <100 kHz

## MESSKONZEPT

### SCHALLEMISSIONSMESSTECHNIK

- ➔ 66 Sensoren
- ➔ ca. 10 m Sensorabstand
- ➔ Anordnung folgt Spanngliedverlauf



**INSTALLATION 04/2018**



**BEGUTACHTUNG UND REFERENZSIGNALLE (DRAHTBRUCH)**



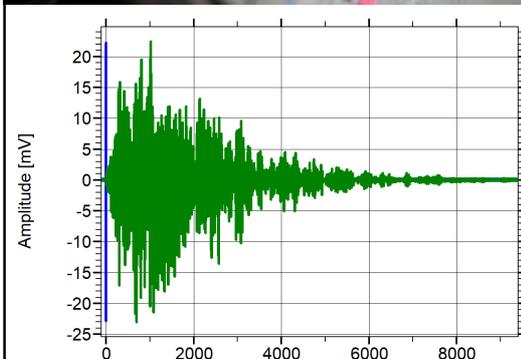
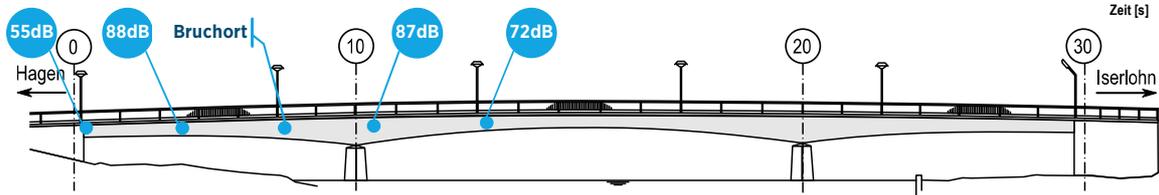
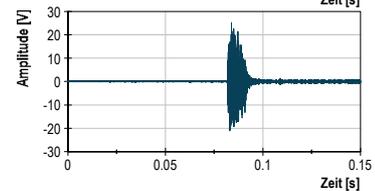
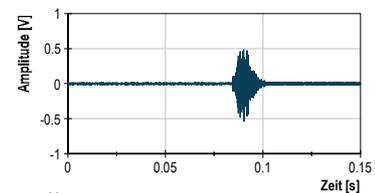
**SPANNSTAHLZUSTAND**



**ÖFFNUNG DES HÜLLROHRS**

## REFERENZSIGNALLE (DRAHTBRUCH)

- ➔ Detektion nach 20m Laufweg gut möglich
- ➔ Effektive Dämpfung im Spannkanal ca. 3dB/m (70% kleiner als im Beton)
- ➔ Effektive Ausbreitungsgeschwindigkeit ca. 4,4-4,8m/ms (20% größer als im Beton)
- ➔ Lokalisierungsgenauigkeit ±30cm

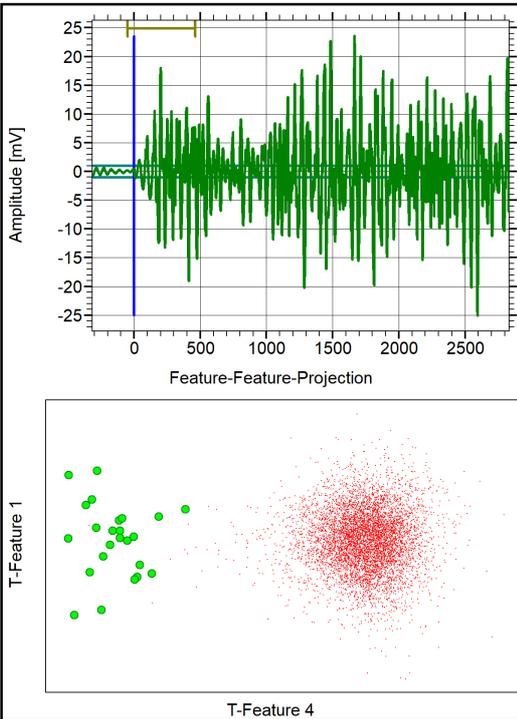


## DAUERMONITORING

### DATENERFASSUNG UND -AUSWERTUNG

- ➔ Signalparameter und Wellenformen
- ➔ >1 TB Messdaten nach 6 Monaten
- ➔ Mehrstufiges Bewertungsverfahren

- ➔ *Dominanter Einfluss der Verkehrsgeräusche*
- ➔ *Anpassung der Erfassungseinstellungen*



## DAUERMONITORING

### FREQUENZANALYSE

- ➔ 24 Drahtbruchsignale
- ➔ >6000 Signale aus Verkehr und Nebengeräuschen
- ➔ Entwicklung eines Klassifikators
- ➔ Echtzeitauswertung

➔ *Keine Hinweise auf Drahtbruchereignisse*

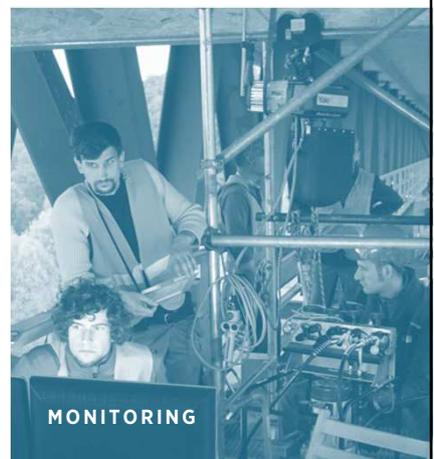
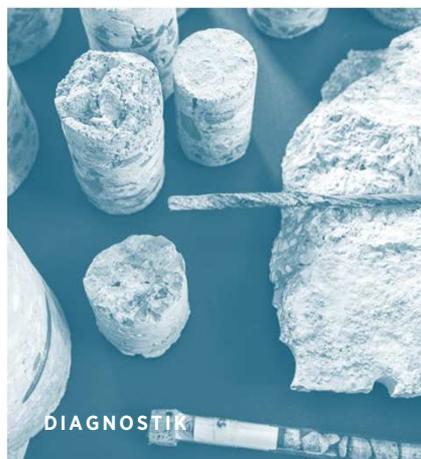
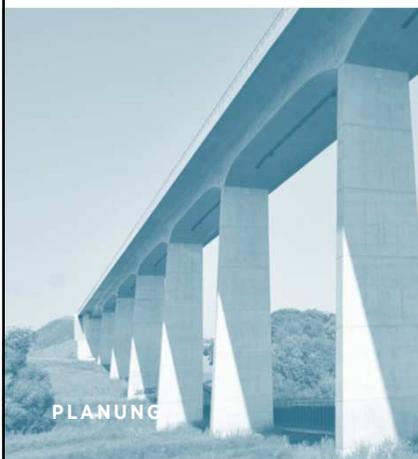
## DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

Marx Krontal Partner

[info@marxkrontal.com](mailto:info@marxkrontal.com)

Weimar | Hannover

[www.marxkrontal.com](http://www.marxkrontal.com)



## QUELLEN



### Literatur

- (1) CULLINGTON, D.W.; PAULSON P.; ELLIOTT P. (2001): Continuous Acoustic Monitoring of Grouted Post-Tensioned Concrete Bridges. NDT&E International (Non Destructive Test & Evaluation) 34(2), S. 95-106
- (2) YUYAMA, S.; YOKOYAMA, K.; NIITANI, K.; OHTSU, M.; UOMOTO, T. (2007): Detection and evaluation of failures in high-strength tendon of prestressed concrete bridges by acoustic emission. Journal of Construction and Building Materials 21(3), S. 491-500 – DOI 10.1016/j.conbuildmat.2006.04.010
- (3) FRICKER, S. (2009): Schallemissionsanalyse zur Erfassung von Spanndrahtbrüchen bei Stahlbetonbrücken. Dissertation ETH Zürich, Zürich, 168 S.