

Zerstörende Untersuchung an Spannbetonträgern zur akustischen Charakterisierung des Spanndrahtbruchs

Max KÄDING¹, Gregor SCHACHT¹, Steffen MARX²

¹ MKP GmbH, Weimar und Hannover

² Institut für Massivbau, Technische Universität Dresden, Dresden

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

Kurzfassung

Die Schallemissionsanalyse hat sich im Brückenbau als vielversprechendes Messverfahren für die Überwachung von Spann- und Tragseilen zur Detektion einzelner Drahtbrüche etabliert. Geschickt verteilte Sensoren ermöglichen hierbei eine gesamtheitliche Überwachung des Tragwerks. Das Netzwerk aus Sensoren muss jedoch in technischer als auch wirtschaftlicher Hinsicht effizient entworfen werden. Hierzu sind Eingangsparameter zur Charakteristik des untersuchten Schadens, zum Signalübertragungsverhalten des Bauwerks bzw. Materials, sowie zum Nebengeräuschlevel erforderlich, um die Messorte bestmöglich definieren zu können.

Der Beitrag thematisiert die prinzipielle Vorgehensweise für den Entwurf eines, mit Blick auf die Detektionswahrscheinlichkeit für Drahtbrüche, zuverlässigen Sensorlayouts. Einzelne Komponenten der Signalübertragungskette wurden hierzu im Rahmen experimenteller Untersuchungen genauer betrachtet.

Zum einen wurden an verschiedenen Trägerelementen mehrere Hundert Drahtbrüche erzeugt. Die Signale wurden weitestgehend ohne Sättigung erfasst und die statistische Verteilung der Peak-Amplitude in Quellortnähe ermittelt. Beim Erzeugen der Drahtbrüche wurden verschieden mechanische Einflussgrößen berücksichtigt, um eine auf der sicheren Seite liegende Einschätzung zum Quellsignal zu erhalten. Zum anderen wurden für die Träger die Dämpfungseigenschaften für die Drahtbruchsignale und eine Referenzquelle (Rückprallhammer) ermittelt.

Die Ergebnisse wurden verwendet, um hieraus die Verläufe der Detektionswahrscheinlichkeit in Abhängigkeit des Abstands zwischen Quellort und Sensor zu berechnen. Es zeigte sich, dass die baukonstruktiven Randbedingungen diese stark beeinflussen können.





ZERSTÖRENDE UNTERSUCHUNG AN SPANNBETONTRÄGERN ZUR AKUSTISCHEN CHARAKTERISIERUNG DES SPANNDRAHTBRUCHS

SCHALL 21 – Entwicklung und Anwendung der
Schallemissionsanalyse und Zustandsüberwachung
mit geführten Wellen

Session 5 - Donnerstag, 25. Februar 2021



MOTIVATION

SPANNBETONBRÜCKEN DER ERSTEN GENERATION



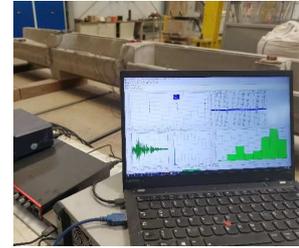
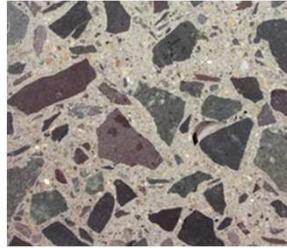
- ➔ *Fehlende Erfahrungen und Vorschriften*
- ➔ *Auftreten zeitverzögert / konstruktive Mängel*

BEWERTUNGSBAUSTEINE



RECHNERISCHE UNTERSUCHUNG	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Einstufung des Ankündigungsverhaltens ➔ Lokale und globale Bewertung des Spannstahlausfalls
DIAGNOSTISCHE BEPROBUNG	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Lokale Entnahme von Materialproben ➔ Begutachtung und Analyse im Labor
BAUWERKS- PRÜFUNG	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Handnahe Sichtprüfung zu diskreten Zeitpunkten ➔ Erkennbarkeit von Rissen ist Voraussetzung
MONITORING	<ul style="list-style-type: none"> ➔ Kontinuierliche Zustandserfassung ➔ Direkte Detektion und Lokalisierung der Brüche möglich

SCHALLEMISSIONSMONITORING (SEM)



BAUTEIL UND MATERIAL

MESSTECHNIK UND ANALYSE

ENTSTEHUNG

AUSBREITUNG

ERFASSUNG

VERARBEITUNG

- ➔ Vorspannung des Spannstahls
- ➔ Eigenschaften der Verbundzone

- ➔ Dämpfung
- ➔ Streuung
- ➔ Laufweg

- ➔ Vorverstärkung
- ➔ Frequenzspektrum

- ➔ Triggerkriterien: Schwellwerte / KI
- ➔ Filterung

25.02.2021

5



ANWENDUNGEN WELTWEIT

- ➔ Entwicklung seit Beginn 1990er
- ➔ „proof of concept“ erbracht
- ➔ Detektion und zerstörende Validierung von Drahtbrüchen
- ➔ Zahlreiche Erfahrungen, auch aus der Dauerüberwachung

➔ *Dennoch: umfassende Analyse des Drahtbruchsignals nicht vorhanden*

Autor	Sensorabstand	Antwortspektrum des Sensors	Dämpfung
Cullington (2001)	5 m	1-20 kHz	-
Yuyama (2007)	6 m	40-100 kHz	4,3 dB/m
Fricke (2009)	8,3 m	20-200 kHz	3,7 dB/m
Sodeikat (2019)	>10 m	25-80 kHz	-
Schacht (2019)	10 m	30-100 kHz	3,0 dB/m

25.02.2021

6

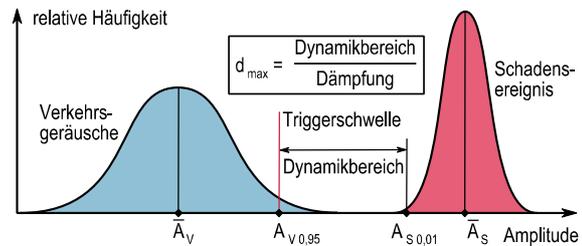
NOTWENDIGKEIT UND ZIELSTELLUNG

BRÜCKENBAUKONSTRUKTIONEN



DEFINITION DES SENSORLAYOUTS

- ➔ Unterschiedliche konstruktive Randbedingungen
- ➔ A priori unbekannte Größen:
 - ➔ Schadsignals
 - ➔ Verkehrsgeräuschlevel
 - ➔ Dämpfungscharakteristik
 - ➔ Ausbreitungsgeschwindigkeit
- ➔ Quantifizierung des Sicherheitsgewinns für bautechnische Bewertung notwendig (Detektionswahrscheinlichkeit)



Ziel

- ➔ Ermittlung von Referenzdatensets zur Charakterisierung des Schaden und der Dämpfung

EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNGEN

PROBEKÖRPER | BT500 FERTIGTEILTRÄGER



- ➔ Abmessungen = 11m x 1m x 0,5m
- ➔ BSG50 | $A_{\text{Draht}}=35 \text{ mm}^2$ | Hennigsdorf
- ➔ 112 Drahtbrüche an Träger A
- ➔ 56 Drahtbrüche Träger B

25.02.2021

11

PROBEKÖRPER | BRÜCKE RODING



- ➔ Abmessungen = 7m x 0,8m x 1,4m
- ➔ BBRV-Suspa | $A_{\text{Draht}}=28,3 \text{ mm}^2$ | Felten & Guillaume
- ➔ 75 Drahtbrüche an einem Träger

25.02.2021

12

SIMULATION VERSCHIEDENER VERBUNDSITUATIONEN



SCHLECHTER VERBUND

➡ *Energiefreisetzung ist bei schlechter mechanischer Bettung am größten*



MÄßIGER VERBUND



GUTER VERBUND

25.02.2021



HERVORRAGENDER VERBUND

13

SENSORAPPLIKATION UND SIGNALERFASSUNG



SENSOR UNMITTELBAR AUF DEM DRAHT



SENSOR AM HÜLLROHR



SENSOR IN NÄHE DES BRUCHORTS

25.02.2021



VERWENDUNG VON DÄMPFUNGSELEMENTEN

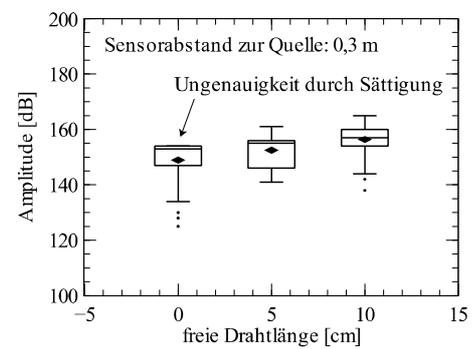
14

➡ *Erfassung der vollen Signalamplitude*

ERGEBNISSE



QUELLSIGNAL | DRAHTBRUCH



➔ Zusammenhang zwischen freigesetzter Energie und Verbund in Daten erkennbar

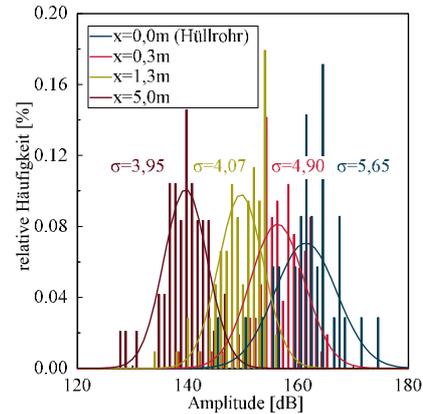
QUELLSIGNAL | DRAHTBRUCH



BT500(A)

- ➔ $\bar{A}_{source} \approx 148$ dB (Draht voll im Verbund)
- ➔ $\sigma \approx 5,65$ (Versuchsdaten: Bruchort)
- ➔ $A_{0,05} \approx 140$ dB
- ➔ $A_{0,01} \approx 135$ dB

DRAHTBRUCH-VERTEILUNGSFUNKTIONEN



25.02.2021

17

QUELLSIGNAL | DRAHTBRUCH



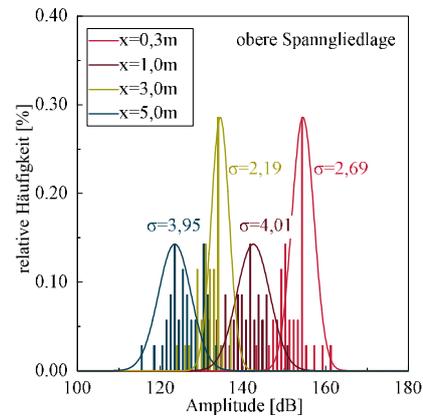
BRÜCKE RODING

- ➔ $\bar{A}_{source} \approx 135$ dB (Draht voll im Verbund)
- ➔ $\sigma \approx 6,10$ (Versuchsdaten: Trennschnitt)
- ➔ $A_{0,05} \approx 125$ dB
- ➔ $A_{0,01} \approx 121$ dB

➔ *Streuung der gemessenen Amplituden tlw. vergleichbar*

➔ *Maßgebende Amplituden beim direkten Trennschnitt sehr unterschiedlich*

DRAHTBRUCH-VERTEILUNGSFUNKTIONEN



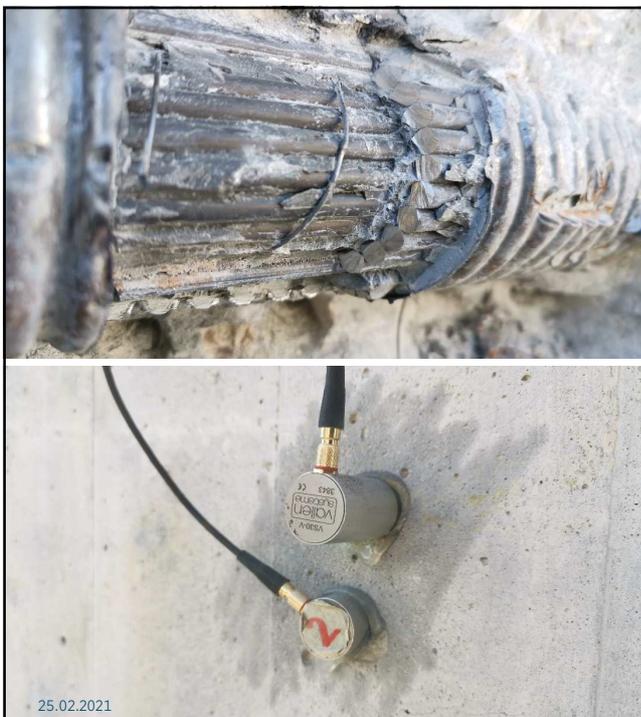
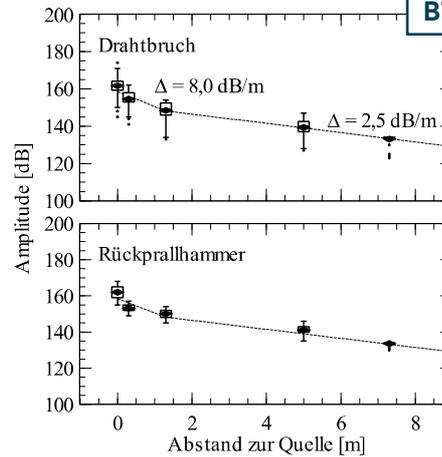
25.02.2021

18



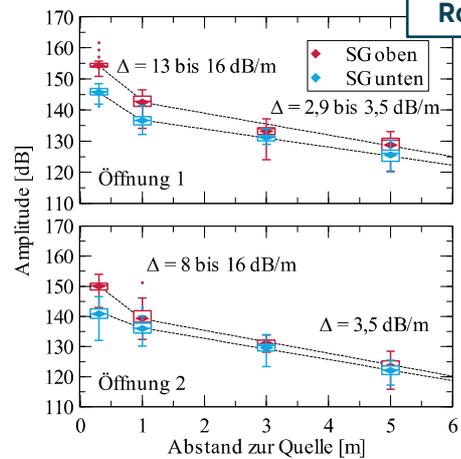
DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN LÄNGS DER SPANNGLIEDDACHE

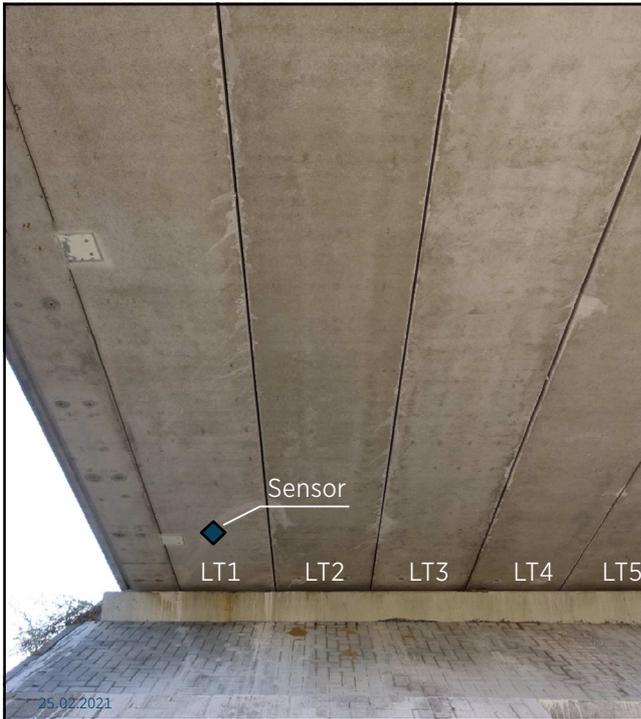
BT500(A)



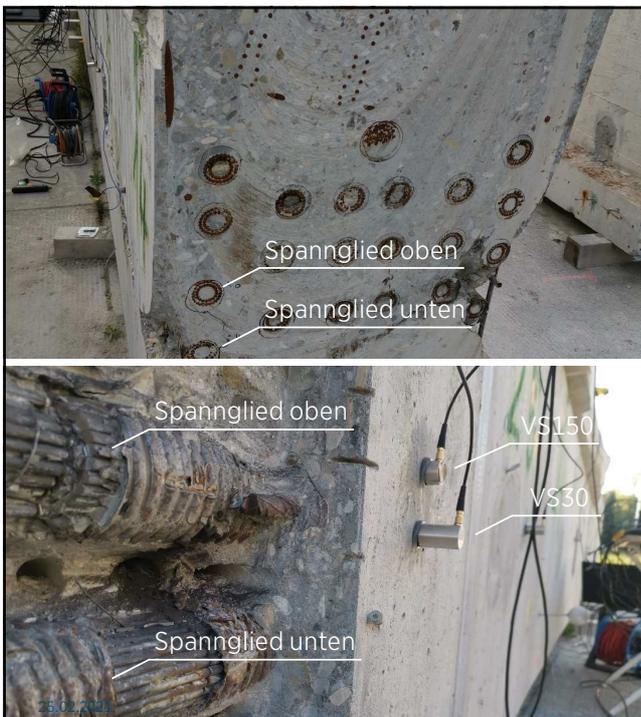
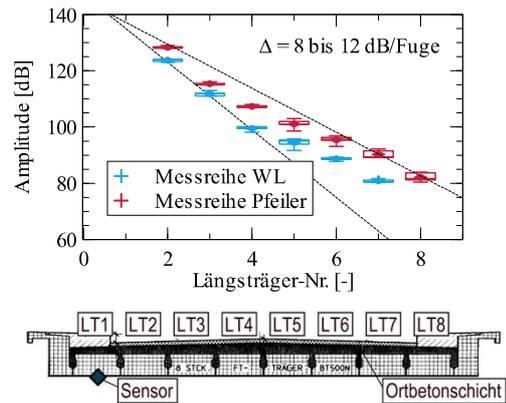
DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN LÄNGS DER SPANNGLIEDDACHE

Roding

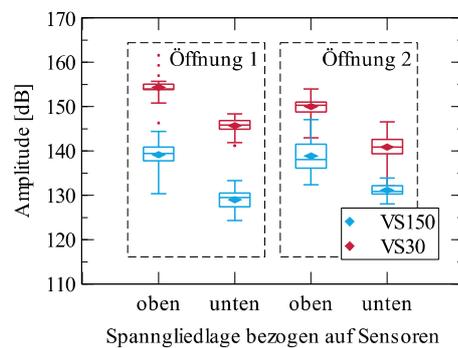




DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN QUER ZUR SPANNGLIEDDACHSE



DÄMPFUNGSEIGENSCHAFTEN QUER ZUR SPANNGLIEDDACHSE



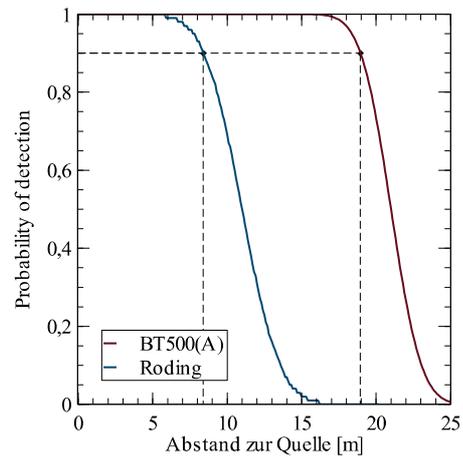
➔ Entstehungsort des Drahtbruchs im Querschnitt beeinflusst messbare Amplitude stark

PROBABILITY OF DETECTION (POD)



- ➔ Berechnung von POD-Kurven auf Grundlage der experimentellen Ergebnisse
- ➔ Berücksichtigung einer bilinearen Dämpfung in Längsrichtung
- ➔ Annahme einer Nachweisschwelle von 90 dB

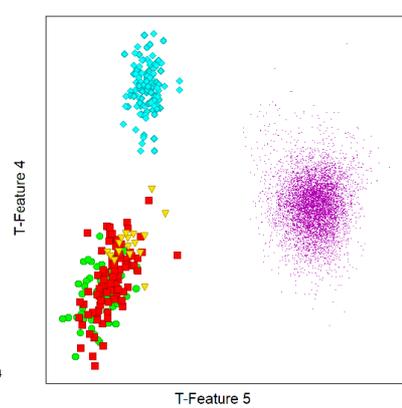
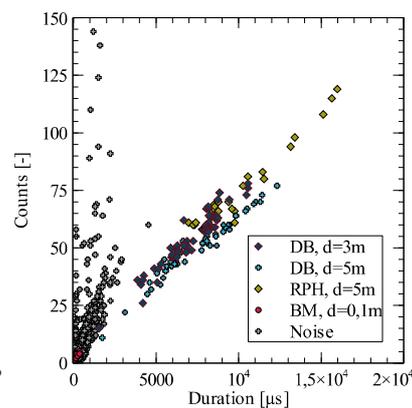
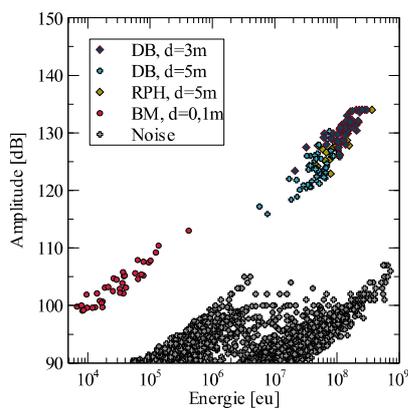
➔ *Stark reduzierte Sensorabstände um sichere Detektion zu gewährleisten*



AUSBLICK



ERHÖHUNG DER DIMENSIONALITÄT | MUSTERERKENNUNG



ZEITBEREICH

FREQUENZBEREICH

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT



PLANUNG



DIAGNOSTIK



MONITORING



ANALYTICS

