

Zielorientierte Klassifikation von (nichtzerstörenden) Mess- und Monitoringmethoden in Hinblick Restlebensdauer von Stahl- und Verbundbrücken

Ziel	Z1 - Rissdetektierung & Rissfortschritt		Z2 - Betriebszüge (Strecke)	Z3 - Beanspruchung Brücke	Z4 - Beanspruchungskollektive Brücke		Z5 - Kennwerte Bruchmechanik	
<b>Kurzbeschreibung</b>	Messungen zum Detektieren von Ermüdungsrisse	Messung des Rissfortschrittes	Messungen zur Erfassung von Verkehrslastdaten (statische Achslasten bzw. Fahrgeschwindigkeit der Betriebszüge)	Messungen zur Erfassung von statischen bzw. dynamischen Systemeigenschaften durch Probebelastung bzw. bekannte Betriebslasten (z.B.: Überfahrten von Einzel- und Doppellökl mit $v = 0/60/v_{Strecke}$ [km/h])	Befristete Messung der realen Tragwerksbeanspruchungen	Dauerhafte Messung der realen Tragwerksbeanspruchung (gesamte Nutzungsdauer oder diskrete Einzelperioden)	Laborversuche zur Bestimmung der (dynamischen) Bruchzähigkeit $K_{IC}$ des Tragwerksmaterials	Laborversuche zur Bestimmung der Risswachstumsparameter $C$ , $m$ , $\Delta K_{th}$ des Tragwerksmaterials
<b>Ziel</b>	Frühzeitiges Erkennen von Ermüdungsrisse	Überwachung und Verfolgung von Ermüdungsrisse	Ermittlung eines streckenspezifischen Verkehrslastmodells	Kalibrierung des numerischen Berechnungsmodells („digitaler Zwilling“)	Ermittlung von Beanspruchungskollektiven (Gegenwart)	Ermittlung von Beanspruchungskollektiven (Gegenwart & Zukunft)	Basiswert für bruchmechanische Ermittlung von kritischen Risslängen $c_{crit}$	Basiswerte für bruchmechanische Rissfortschrittsprognose (Paris-Erdogan Gleichung)
<b>Messungen</b>	- am Tragwerk (kritischer Detailpunkt) - unter Regelbetrieb		- an freier Strecke - unter Regelbetrieb	- am Tragwerk (i.d.R. mehrere Bauteilquerschnitte) - unter Einzelzugsüberfahrt - Messzeitraum: 1-3 Tage	- am Tragwerk (Bauteilquerschnitte oder kritischer Detailpunkt) - unter Regelbetrieb - Messzeitraum: mind. 2-3 Monate oder dauerhaft		- im Labor (mit entnommenen Materialproben vom Tragwerk)	
<b>Bezeichnung</b>	Z1a Rissdetektierung	Z1b Rissfortschritt	Z2 Verkehrsmessung	Z3 Systemmessung ("Kurzelmonitoring")	Z4a Monitoring befristet	Z4b Monitoring dauerhaft	Z5a Bruchzähigkeit	Z5b Risswachstumsparameter

Sensorsysteme - Messmethoden							Anmerkungen		
<b>Lokale Dehnungsmessung</b>									
DMS (Standard - Folie)	+	+	++	++	++	++			
DMS (Rissfortpflanzung)	++	++	--	--	--	--		Z1: Messungen bei bekannter Rissposition	
DMS (Magnet)	~ (*)	~ (*)	+	+	+	-		Mögliche Probleme durch Langzeitdrift der Messwerte	
FOS (Faseroptische Messung)	+	+	+	+	++	++		Mehrere Messpunkte je Faser möglich	
DFOS (Verteilte Faseroptische Messung)	+	+	+	+	++	-		Experimentelles Verfahren	
<b>Neigungsmessung</b>	--	--	--	+	~	--		Messung globaler Tragwerksreaktion	
<b>Abstandsmessung</b>									
Induktive Wegsensoren	~ (**)	~ (**)	-	+	~	~		Z1: Messungen bei bekannter Rissposition	
Laser Distanzsensoren	~ (**)	~ (**)	-	+	~	~		Z1: Messungen bei bekannter Rissposition	
Setzungssensor (elektr. Schlauchwaage) (RED)	--	--	--	+	--	--		Nur statische Messungen möglich	
<b>Beschleunigungssensor</b>	--	--	--	+	~	~		Messung globaler Tragwerksreaktion	
<b>Weigh In Motion (WIM)</b>									
B-WIM (Bridge-WIM)	--	--	++	+	~	~			
Schienenbasierte Systeme	--	--	++	+	~	~			
Fahrzeugsensoren (z.B. an Drehgestellen)	--	--	--	--	--	--			
<b>Körperschall (AE) Sensoren</b>	+	+	--	--	--	--		Keine genaue Quantifizierung der Rissgröße	
<b>Ultraschall</b>									
Thermographie	~	~	--	--	--	--		Aufwändige Einzelmessungen unter Laborbedingungen	
Ultraschall	+	+	--	--	--	--		Einzelmessungen an Rissposition	
Geführte Wellen (guided waves)	+	+	--	--	--	--		Experimentelles Verfahren	
Lichtschranken	--	--	++	--	--	--		Zur Geschwindigkeitsmessung, Zugslängen und -typbestimmung	
<b>Sensoren zur direkten Kraftmessung</b>	-	-	+	+	++	++			
<b>Optische Messsysteme (z.B. Laserscanner)</b>	--	--	-	++	+	+		Zur Erfassung der Tragwerksgeometrie	
<b>CT-Proben</b>							++	++	Laborversuche zur Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte
<b>Kerbschlagbiegeversuch</b>							~	--	Zur überschlägigen Abschätzung der Bruchzähigkeit
<b>3-Punkt Biegeversuch</b>							++	++	Laborversuche zur Ermittlung bruchmechanischer Kennwerte

Bewertungssystem			
	++	Sehr gute Eignung	1
	+	Gute Eignung	2
	~	Mittlere Eignung	3
	-	Geringe Eignung	4
	--	Keine Eignung	5

- (\*) Messung von Spannungumlagerungen durch Rissenstehung (indirekte Rissmessung)
- (\*\*) Messung der mittleren Dehnung über eine große Bezugslänge
- (\*\*\*) Messung von Körperschall bei Risswachstum
- (\*) Lokale Strukturüberwachung mittels Ultraschall Sensornetzwerk