

Zur frühen Detektion von Ermüdungsrissen mithilfe der Speckle-Interferometrie

Konrad Ritter

Zielsetzung

Motivation

Die Sicherheit und die wirtschaftliche Nutzung eines Verkehrsbauwerks in Stahlbauweise hängen maßgeblich von der Ermüdung des Stahls unter sich häufig wiederholender Beanspruchung ab. Eine realistische Prognose der Restlebensdauer ist hierfür Grundvoraussetzung. Daher müssen in den letzten Jahrzehnten errichtete Bauwerke aufgrund des stark zunehmenden Schwerlastverkehrs kontinuierlich hinsichtlich ihrer Restnutzungsdauer rechnerisch bewertet werden. Die hierbei angewandten Methoden bergen jedoch große Unsicherheiten. Oft ist eine hinreichend genaue Kenntnis der individuellen Belastungsgeschichte von Bestandsbauwerken nicht gegeben.

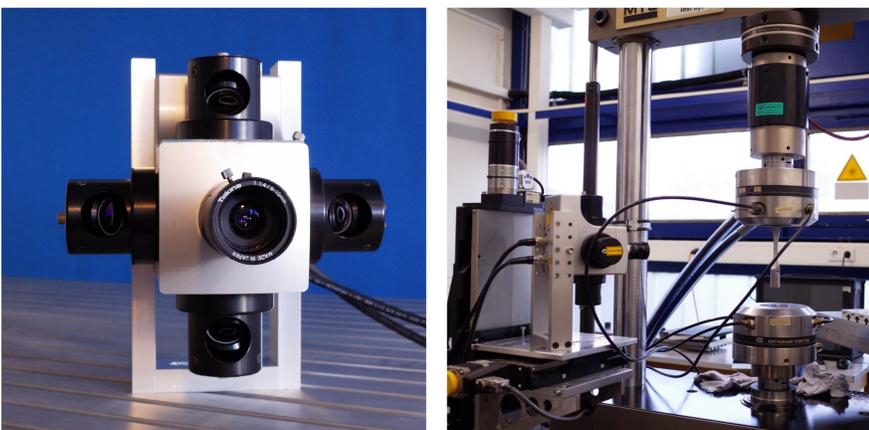


Bild 1 (links): Hochauflösender 3D-ESPI-Sensor
Bild 2 (rechts): Versuchsstand

Materialermüdung

Das Risswachstum infolge Ermüdung wird metallphysikalisch in drei Phasen unterteilt:

- Risseinleitung
- Mikrorisswachstum
- Makrorisswachstum

Dabei dominieren die beiden erstgenannten Phasen die Gesamtlebensdauer eines Bauteils, wohingegen das Makrorisswachstum erst zum Ende einsetzt. Mit den im Bauwesen üblichen Überwachungsmethoden kann ein Schaden erst im Stadium des Makrorisswachstums aufgedeckt werden.

Ziel

Die vorgestellten Untersuchungen legen ihren Fokus auf die Detektion von Mikrorissen. Dabei soll anhand von Schwingversuchen an gekerbten Zugproben aus S355 ein grundlegendes Verständnis über die Mikroschädigungsvorgänge im zyklisch belasteten Baustahl geschaffen werden.

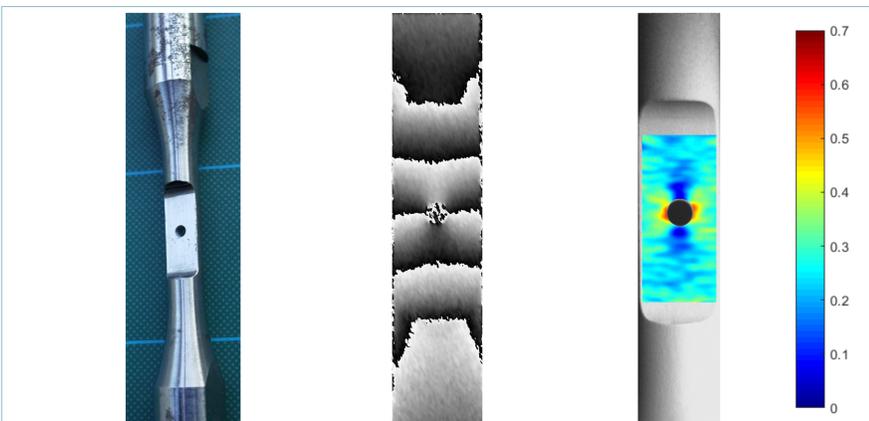


Bild 3: Probe (links), Phasenbild für Längsverformungen (Mitte), Dehnungsbild für Längsdehnungen in [%] (rechts)

Messtechnik

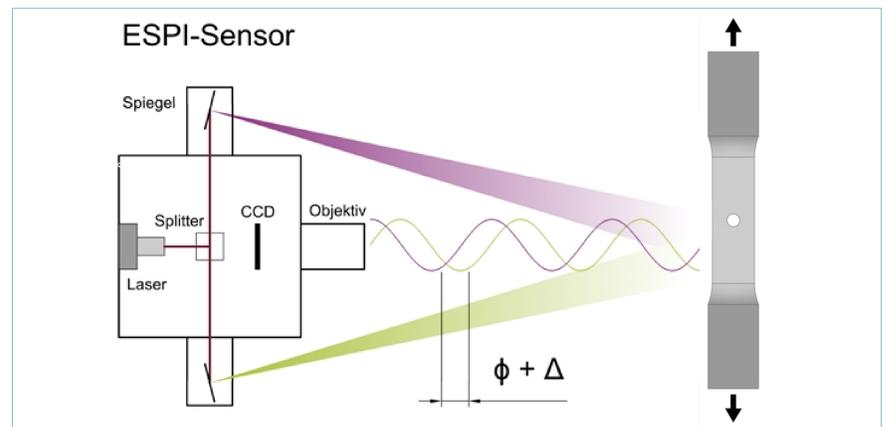


Bild 4: Messprinzip mit schematischer Darstellung des ESPI-Sensors (links) und einer gekerbten Zugprobe (rechts)

Die Speckle-Interferometrie ist ein optisches Verfahren zur flächenhaften Messung von Verformungen. Gemessen werden die Phasenverschiebungen $\Phi + \Delta$ im Laser-Licht. $\Phi(x,y)$ resultiert aus der Wegdifferenz der beiden Strahlen (violett und grün) und ist zufälliger Natur. Die Verformungen werden mit Speckle-Bildern immer relativ zwischen zwei Belastungszuständen gemessen. Aus deren Differenz wird das Phasenbild $\Delta(x,y)$ berechnet. $\Delta(x,y)$ ist eine zusätzliche Phasenverschiebung infolge der Oberflächenverformung.

Lösungsweg

Die Schadensdetektion erfolgt durch wiederholte Messungen flächenhafter Dehnungsverteilungen im Bereich der Kerbe, zunächst unter zyklischer Beanspruchung im LCF- und anschließend im HCF-Bereich. Dabei muss sichergestellt werden, dass sich der erste Anriss im Messbereich des Sensors befindet. In diskreten Abständen von einigen hundert Lastwechseln (LW) wird die zyklische Beanspruchung unterbrochen, um mit dem Sensor verschiedene Belastungszustände während einer quasi-statischen Beanspruchung zu erfassen. Daraufhin wird die Probe erneut zyklisch beansprucht und diese Prozedur wiederholt bis das Versagen eintritt. Eine sich ändernde Dehnungsverteilung mit zunehmenden LW kann möglicherweise auf das Einsetzen der Schädigung hindeuten. Die Auswertung der großen Datenmengen erfolgt mit statistischen und numerischen Methoden. So soll ab einem frühen Stadium der Ermüdung ein kontinuierlicher Zuwachs der Schädigung unter zyklischer Beanspruchung messtechnisch erfasst werden.

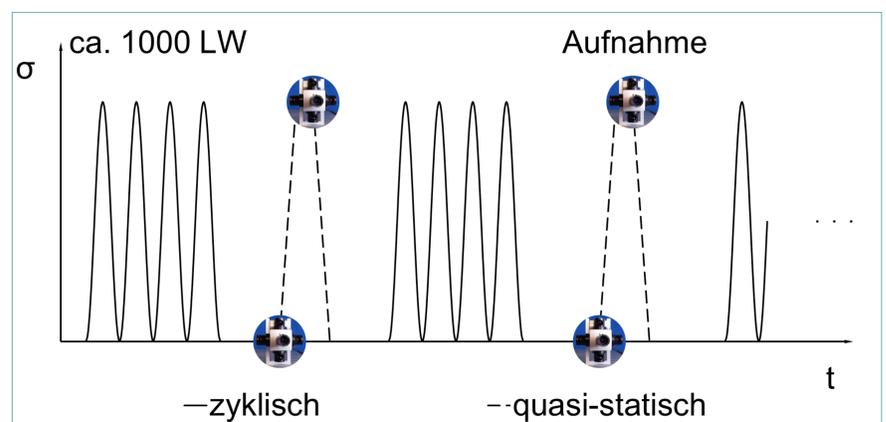


Bild 5: Ablauf zyklischer Untersuchungen mit wiederholter Unterbrechung zur Schadensmessung