

Projekt S047/10029/2013: „Festlegung von Inspektionsstrategien mittels bruchmechanischer Methoden“

Universität Rostock

Lehrstuhl für Strukturmechanik

Rostock, 18.03.2014

In der Vergangenheit kam es trotz einer dauerfesten Auslegung von Radsatzwellen im Nah-, Fern- und Güterverkehr zu unvorhergesehenen Schadensfällen an Radsatzwellen, wie z.B. der Radsatzwellenbruch eines Güterwagens im Juni 2009 in Viareggio (Italien) zeigt. Um derartige Schadensfälle zu verhindern, sind somit regelmäßige Inspektionen mit zerstörungsfreien Prüfverfahren durchzuführen, deren Ziel es ist, einen potentiellen Riss zu detektieren, bevor er eine kritische Größe erreicht.

Die Intervalle entsprechender Inspektionen wurden in der bisherigen Praxis sehr häufig auf der Basis von empirischen Erkenntnissen oder Erfahrungswerten festgelegt. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes soll daher eine Berechnungsmethodik entwickelt werden, mit der eine auf abgesicherten Intervallen basierende Inspektionsstrategie sowie eine sichere Dimensionierung von neuen Radsatzwellen gewährleistet werden kann.

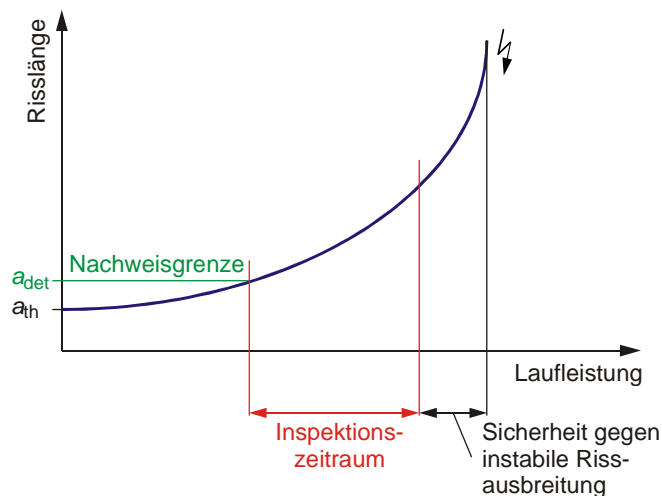


Abbildung 1: Bestimmung des Inspektionsintervalls mittels der Restlebensdauer in Form einer Risslängen-Laufleistungs-Kurve [1]

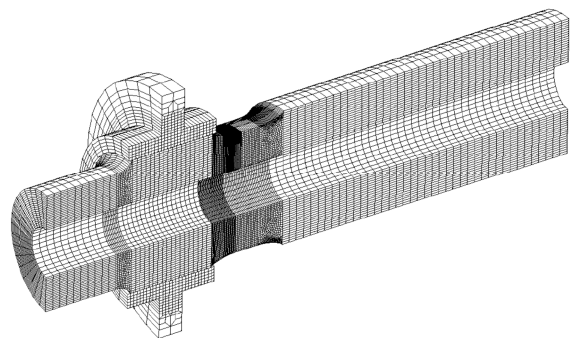


Abbildung 2: FE-Modell einer fiktiven Radsatzwelle (Viertelmodell) [2]

Die theoretisch fundierte Festlegung von Inspektionsintervallen ist mittels bruchmechanischer Betrachtungen in Form von Restlebensdauerberechnungen grundlegend möglich (Abbildung 1). Dazu fehlen jedoch einerseits experimentelle Untersuchungen und andererseits theoretische Kenntnisse über das Ermüdungsrisswachstum in Radsatzwellen. Die Modelle zur Restlebensdauerberechnung dickwandiger, biege- und torsionsbeanspruchter Wellenstrukturen mit nichtlinearen Kerb- und Pressspannungsverteilungen befinden sich im Gegensatz zu den Rissausbreitungsmodellen dünner durch Membranspannungen beaufschlagter Blechstrukturen der Luft- und Raumfahrt noch im Forschungsstadium. Im Verlauf dieses gesellschaftlich bedeutenden und sicherheitsrelevanten Forschungsvorhabens sollen deshalb entsprechende experimentelle, analytische und numerische Untersuchungen zur abgesicherten Restlebensdauer vorhersage durchgeführt werden.

Für eine Restlebensdauerberechnung zur Festlegung von Inspektionsintervallen sind bruchmechanische Kennwerte, die das Ermüdungsrisswachstum charakterisieren, von entscheidender Bedeutung. Deshalb wird in einem ersten Schritt exemplarisch für den Werkstoff 34CrNiMo6 eine Datenbasis geschaffen, die eine statistische Auswertung ermöglicht.

Um den Einfluss auf die Restlebensdauer durch unterschiedliche Strukturdetails einer Radsatzwelle, wie z.B. bei Korbbögen, Mulden und Presssitzen, zu untersuchen, sollen Versuche an skalierten Bauteilproben unter Variation geometrischer und mechanischer Parameter bei konstanter Wechselbiegebelastung durchgeführt werden. Ferner erfolgen Versuche an den bauteilnahen Kleinproben mit einer variablen Wechselbiegebelastung zur Untersuchung einerseits der Reihenfolgeeffekte durch Betriebsbelastungen und andererseits der Sequenzeinflüsse durch Bemessungskollektive auf die Restlebensdauer und den Rissfortschritt. Ferner wird das Betriebslastspektrum systematisch manipuliert, um zu überprüfen, ob dadurch eine Versuchszeitverkürzung von Bauteilprüfungen möglich ist, ohne die Restlebensdauer zu beeinflussen.

Bei besonderen Rad-Schiene-Bedingungen können zusätzlich zur Biegebeanspruchung auch Torsionsbeanspruchungen in Radsatzwellen entstehen, die phasengleich (in-phase) oder phasenverschoben (out-of-phase) auftreten. Da bei einer phasenverschobenen Beanspruchung bislang nur wenige Untersuchungen hinsichtlich des Risswachstums existieren, soll der Einfluss einer überlagerten Biege- und Torsionsbeanspruchung auf den Rissfortschritt und damit die Restlebensdauer in einer Radsatzwelle untersucht werden. Zur Berücksichtigung einer phasenverschobenen Beanspruchung wird ein Versuchsstand inklusive der zu verwendenden größeren Proben konzipiert. Als ein Teilaspekt dieser Untersuchung wird analysiert, ob die Konzepte zur in-phase Mixed-Mode-Beanspruchung auch auf die out-of-phase-Belastung übertragen werden können.

Darüber hinaus sind umfangreiche Finite-Elemente-Simulationen (Abbildung 2) zur Bestimmung der Spannungsintensitätsfaktorlösungen unter Berücksichtigung der Rissbeanspruchungsarten durchzuführen.

Aufbauend auf den experimentellen und numerischen Untersuchungen sollen unterschiedliche analytische Restlebensdauerkonzepte bei variabler Amplitudenbelastung und bei Mixed-Mode-Beanspruchung bewertet und modifiziert werden. Die erarbeiteten, allgemeingültigen Konzepte zur variablen Amplitudenbelastung und bei phasenverschobener Mixed-Mode-Beanspruchung sowie die abgesicherten Spannungsintensitätsfaktorlösungen werden dann in ein Rissfortschrittstool integriert und durch die experimentellen Untersuchungen validiert. Unter Berücksichtigung der Streuungen sowohl der bruchmechanischen Kennwerte als auch anderer Einflussfaktoren, wie z.B. des Übermaßes und der daraus resultierenden Pressspannungen oder der Rissform, können damit stochastische Simulationen der Restlebensdauer von Radsatzwellen durchgeführt werden. Gegenüber deterministischen Risswachstumssimulationen ist dadurch die Angabe von Überlebenswahrscheinlichkeiten der berechneten Restlebensdauern möglich.

Aus diesen statistisch abgesicherten Restlebensdauern beginnend bei einer Anfangsrisslänge, die mit einer gewissen Entdeckungswahrscheinlichkeit zerstörungsfrei detektiert werden kann, können Inspektionszeiträume definiert, darauf aufbauend Inspektionsintervalle abgeleitet und Inspektionsstrategien formuliert werden.

[1] Richard, H.A.; Sander, M.: Ermüdungsrisse - Erkennen, sicher beurteilen, vermeiden. Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden, 3. Auflage, 2012

[2] Sander, M.; Lebahn, J.: Benchmark zur numerischen Bestimmung von Spannungsintensitätsfaktoren einer abgesetzten Welle. Universität Rostock, Lehrstuhl für Strukturmechanik, Rostock (2013)