

## **Zusammenfassung**

# **Ein Beitrag zur Ermittlung der Nutzungsdauer von Weichenherzstücken**

In der vorliegenden Dissertationsschrift wurde eine Methode zur quantitativen Ermittlung der Ermüdungsschädigung auf der Fahrfläche von Herzstückspitzen konzipiert und entwickelt. Das übergeordnete Ziel der Arbeit ist es, eine Prognose der Lebensdauer von Weichenherzstücken zu ermöglichen bzw. Einflussgrößen auf diese Lebensdauer festzustellen und zu analysieren.

Im Vergleich zur freien Strecke sind infolge der komplexen Weichenstruktur und der an der Weiche auftretenden zusätzlichen dynamischen Kräfte die Investitions- und Instandhaltungskosten für den Schienenoberbau im Bereich von Weichen um ein Vielfaches höher. Im Unterschied zu den meisten anderen Komponenten des Eisenbahngleises basiert die Inspektion von Weichenherzstücken bisher hauptsächlich auf einer subjektiven Einschätzung durch das Personal. Dies führt dazu, dass entweder Eingriffsschwellen mit der Folge des Versagens eines Bauteils verpasst werden oder nicht zwingend notwendige Maßnahmen angeordnet werden. Im Rahmen der Zusammenarbeit mit der DB Systemtechnik wird die Weichenforschung an der Professur für Gestaltung von Bahnanlagen der Technischen Universität Dresden bereits seit mehreren Jahren intensiv durchgeführt. Auf Grundlage der durch die DB Systemtechnik gelieferten Messdaten beschäftigen sich Forscher an diesem Lehrstuhl derzeit mit der geometrischen Optimierung des Herzstücks. In der vorliegenden Dissertation wird der Fokus auf die Entwicklung einer Herangehensweise zur quantitativen Schädigungsermittlung gelegt, mittels derer die Objektivierung der Herzstückbewertung erzielt werden kann.

Aufgrund der vertikalen Relativbewegung zwischen Rad und Schiene entstehen dynamische Belastungen im Weichenbereich, welche durch die Schwingungsmodelle Rad-Gleis („Weicher Schlag“) und Rad-Schiene („Harter Schlag“) abgeleitet werden können. Zur Messung dieser Belastungen kommen die Messsysteme ESAH-F und ESAH-M zum Einsatz. Zur Erfassung der Profilveränderung des Herzstücks durch Verschleiß wird das Messgerät MiniProf angewendet. Außerdem werden durch das Messsystem ESAH-M auch die

Aufsetzpunkte der Räder auf der Herzstückspitze gemessen. Diese Messdaten bilden die Datenbasis und die Grundlage für die durchgeführte quantitative Schädigungsermittlung.

In der vorliegenden Dissertation liegt das Prinzip der Schädigungsberechnung in der Gegenüberstellung der Belastung und der Belastbarkeit der Fahrfläche des Herzstücks, welches bezogen auf seine Länge und die Tiefe unter der Fahrfläche in *Segmente*  $(x, z)$  gegliedert wird. Auf dieser Basis erfolgt dann die quantitative Schädigungsberechnung schrittweise. Zunächst werden die dynamischen Belastungen durch die Einführung der Hertzschen Kontakttheorie in Form von Kontaktspannungen auf der Oberfläche und Vergleichsspannungen unterhalb der Oberfläche tabellarisch ermittelt. Danach sind aus den ortsabhängigen Spannungsverläufen mittels statischer Zählverfahren die Lastkollektive zu gewinnen. Zur Beurteilung des Werkstoffverhaltens wird die Belastbarkeit durch eine Wöhler-Linie charakterisiert, welche die ertragbare Schwingspielzahl in Abhängigkeit von der Spannungsamplitude liefert. Zuletzt kommt die Miner-Regel bzw. die lineare Schadensakkumulationshypothese zur Schädigungsberechnung zum Einsatz. Aus der aus der Wöhler-Linie abgelesenen ertragbaren Schwingspielzahl und der im Lastkollektiv gezählten tatsächlichen Schwingspielzahl ergibt sich dann der Schädigungsgrad der Fahrfläche.

Für eine detaillierte Analyse des Ergebnisses wird die Lebensdauer des Herzstücks in eine Verquetschungs-, eine Entwicklungs- und eine Ausbruchphase aufgeteilt. In der Verquetschungsphase führt die im Neuzustand auftretende Verquetschung unmittelbar zu einer raschen Zunahme der Verschleißtiefe und mittelbar zunächst zu einer Abnahme der dynamischen Belastungen. In der Entwicklungsphase hingegen wächst die Verschleißtiefe linear an, während die dynamischen Belastungen nahezu konstant bleiben. Die Ausbruchphase ist durch das Auftreten von Ausbrüchen auf der Oberfläche des Herzstücks gekennzeichnet, welche große Unregelmäßigkeiten in der Verschleißentwicklung zur Folge haben. Damit geht eine überproportionale Zunahme der dynamischen Belastungen einher. Die Schädigungsentwicklung über die Lebensdauer wird aus zwei verschiedenen Perspektiven betrachtet: Aus der Makrosicht liegt das Augenmerk auf dem maximalen Schädigungsgrad der Fahrfläche der Herzstückspitze. Der Schädigungsgrad  $\alpha$  nimmt dabei im Laufe der Zeit stets linear zu, was zur Prognose der Lebensdauer der Herzstückspitze dient. Aus der Mikrosicht hingegen werden die Schädigungsgrade einzelner Segmente betrachtet. Der Schädigungsgrad erhöht sich dabei in Form einer angenommenen quadratischen Funktion überproportional über die Liegezeit. Die mikroskopische Schädigungsentwicklung eines Segments dient zur Analyse der Besonderheiten der Entstehung und Entwicklung der inneren Schädigung.

Während der Befahrung nimmt die Schädigung unter den Einflüssen der Verschleißrate und der Aufsetzpunktverteilung zu. Der Verschleiß wirkt sich auf die Schadensakkumulation in zweierlei Hinsicht aus. Zum einen führt der abgetragene Verschleiß zu einer gleichmäßigeren Verteilung der maximalen Belastungen und der Schädigungen auf einen größeren Bereich in der Tiefe der Fahrfläche. Dementsprechend reduziert sich daher das Wachstum des maximalen Schädigungsgrades der Fahrfläche und die Lebensdauer verlängert sich. Zum anderen bewirken eine übermäßige Verschleißtiefe bzw. auch Ausbrüche auf der Fahrfläche das Verschwinden der gehärteten Oberfläche des Schienenkopfes, was die Belastbarkeit schwächt, die innere Schädigung beschleunigt und die Lebensdauer verkürzt. Diese beiden Auswirkungen befinden sich zueinander im Widerspruch. Sowohl ein ungenügender als auch ein übermäßiger Abtrag durch Verschleiß sind für die Lebensdauer der Herzstücke ungünstig. Die als Normalverteilung beschriebene Aufsetzpunktverteilung ist durch den Erwartungswert und die Standardabweichung charakterisiert. Bei einer konstant gehaltenen Standardabweichung reduziert sich die Schädigung proportional zu den Erwartungswerten. Dies bedeutet, dass eine längs der spitzbefahrenen Richtung des Herzstücks nach hinten verschobene Aufsetzpunktverteilung das Wachstum der Schädigung deutlich verzögern kann. Auch bei einer rechnerischen Erhöhung der Standardabweichung und gleichbleibendem Erwartungswert reduziert sich der berechnete Schädigungsgrad. In diesem Fall wächst die berechnete Lebensdauer exponentiell an. Das bedeutet, dass der Schädigungsgrad umso langsamer zunimmt, je breiter die Aufsetzpunkte auf der Oberfläche der Herzstücke gestreut sind. Ein größerer Erwartungswert und eine größere Standardabweichung der Aufsetzpunktverteilung könnten daher zu einer Verzögerung der Entwicklungsrate des Schädigungsgrades beitragen.

Für die zukünftige Weichenforschung kann der programmierte Berechnungsalgorithmus verwendet werden, der je nach materialtechnischer Optimierung oder geometrischer Optimierung des Herzstücks erweitert werden kann. Eine Veränderung des Materials würde sich im dem erarbeiteten Rechenmodell in einer Veränderung der Parameter der Wöhlerlinie äußern. Für Herzstückspitzen werden dabei vorwiegend die Werkstoffe R350 HT und CrB 1400 eingesetzt. Durch den Werkstoff CrB 1400 mit größerer Belastbarkeit werden die Verschleißentwicklung und die Schädigungsentwicklung der Fahrfläche unmittelbar verzögert. Jedoch erhöht sich der Radverschleiß beim Einsatz härterer Schienenwerkstoffe. Mit einer Verschlechterung des Radzustandes der auf der Strecke verkehrenden Fahrzeuge geht auf lange Sicht wiederum eine Erhöhung der dynamischen Belastungen der Herzstücke einher. Bezüglich der geometrischen Optimierung wird vor allem eine Verbesserung der Aufsetzpunktverteilung angestrebt. Durch eine Absenkung der Herzstückspitze könnte die

Aufsetzpunktverteilung verbreitert und nach hinten verschoben werden. Ein solches Herzstück hätte vermutlich eine langsamere Schädigungsentwicklung und eine längere Lebensdauer zum Vorteil. Ein Nachteil der abgesenkten Herzstückspitze ist jedoch die erhöhte Radabsenkung während des Überlaufprozesses, welche zu erhöhten dynamischen Belastungen nicht nur der Herzstückfahrfläche, sondern der gesamten Weichenstruktur führt.