

Kurzfassung

Ein Beitrag zur Modellierung und messtechnischen Bestimmung des Langzeitverhaltens von starren Weichenherzstücken

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades Doktoringenieur

Verfasser: Andreas Heppe
betreut durch: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Fengler
eingereicht am: 8. Juli 2009
verteidigt am: 17. Dezember 2009

Ziel der Arbeit

In Weichen ist ein beträchtlicher Teil des Anlagenvermögens der Eisenbahninfrastruktur gebunden. Aufgrund der in Weichen auftretenden Störungen des Radlaufes, insbesondere im Bereich des Weichenherzstücks, werden Weichen stärker belastet als das normale Gleis und es treten in der Folge spezielle Verschleißerscheinungen auf, welche ihrerseits zu einer Erhöhung der wirksamen Belastungen führen. Zugleich werden an Weichen, wegen ihrer besonderen Funktion, besondere Sicherheitsanforderungen gestellt, welche regelmäßige aufwändige Inspektionen und Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich machen. In der vorliegenden Arbeit lag der Schwerpunkt auf der Betrachtung der vertikalen Lastabtragung im Bereich starrer Weichenherzstücke und der Untersuchung von Möglichkeiten zur Objektivierung der Instandhaltung von Weichenherzstücken durch die Verbesserung der Vorhersagbarkeit ihrer belastungsabhängigen Veränderungen.

Für eine Objektivierung der Instandhaltung von Weichenherzstücken müssen die Verschleißerscheinungen mit den sie verursachenden Belastungen in Zusammenhang gebracht werden. Um Aussagen zur Belastung machen zu können, sind zunächst Modelle zur Beschreibung des Kurzzeitverhaltens (Verhalten bei einer konkreten Überfahrt) der Weichenherzstücke erforderlich, weil einerseits hierdurch relevante Abhängigkeiten der Belastungen von Merkmalen der Weichenherzstücke erkennbar werden und andererseits manche nicht messbare Belastungen, wie die Rad-Schiene-Kontaktkraft, dadurch bestimmbar werden. Es zeigt sich, dass die Belastungen welche auf die Fahrfläche des Weichenherzstücks und seine Bettung wirken, maßgeblich von der vertikalen Geometrie der Fahrfläche, der Bettungsgeometrie sowie der Bettungssteifigkeit und damit von eben denjenigen Eigenschaf-

ten des Weichenherzstücks abhängen, welche sich infolge der Belastung am meisten verändern.

Modelle

Bei den beschriebenen Modellen handelt es sich überwiegend um relativ einfache Kurzzeitmodelle, deren Vorzug es ist, den Einfluss der Systemkomponenten auf die Belastung direkt ablesen zu können.

Auf Basis dieser Modelle können die wirkenden Kontakt- und Bettungskräfte bestimmt werden, welche sowohl qualitativ als auch quantitativ von deutlich komplexeren FEM-Rechnungen bestätigt werden. Mit der vertikalen Weichenherzstückgeometrie und der Bettung (Geometrie und Steifigkeit) sind zwei der für die Größe der wirkenden Kräfte maßgeblichen Modellkomponenten jedoch aufgrund von Verschleiß von den eigentlich gesuchten Belastungen und der Zahl der Belastungen abhängig. Um diese Rückkopplung zu beherrschen und damit die Entwicklung und Belastung von Weichenherzstücken vorhersagen zu können, sind deshalb Modelle zur Beschreibung des Langzeitverhaltens von Bettung und vertikaler Weichenherzstückgeometrie erforderlich.

Bettung

Die Parameter zur Beschreibung der Bettung im Bereich von Weichenherzstücken sind aufgrund der wirkenden dynamischen Zusatzlasten veränderlich. Die Bettungssteifigkeit ist jedoch auch im „normalen“ Gleis (außerhalb von Weichen) ein Parameter, welcher nicht ohne weiteres als bekannt angenommen werden kann. Ursache hierfür ist einerseits der Einfluss des Untergrundes und andererseits ihre Abhängigkeit von der Schotterbelastung, die sich im Wesentlichen aus den Zugfahrten und der Instandhaltung (Stopfen) zusammensetzt. Eine Zusammenstellung von Bettungssteifigkeiten und Bettungsdämpfungen aus verschiedenen Quellen zeigt jedoch eine große Bandbreite aufgefundener Bettungssteifigkeiten für das „normale“ Gleis.

Zur Bestimmung der Bettungssteifigkeit kann man sich das mechanische Verhalten des Gleises und seiner Komponenten zunutze machen. Das Modell des kontinuierlich gelagerten Balkens bietet hierfür zwei Ansatzpunkte. Auf Basis der statischen Lösung kann mittels der Deformationsform des Balkens auf die Bettungssteifigkeit geschlossen werden. Auf Basis der dynamischen Lösung kann das gleiche mittels der Resonanzfrequenzen des Gleises geschehen. Beiden Verfahren gemein sind die durch das Modell bedingten Grundannahmen, wie eine kontinuierliche Bettung und über der Balkenlänge konstante Steifigkeiten (Bettung und Schiene). Aus diesen gemeinsamen Grundannahmen folgt, dass es sich bei mittels eines Modells des kontinuierlich gelagerten Balkens bestimmten Bettungssteifigkeiten immer um über die Länge des Balkens „verschmierte“ Bettungssteifigkeiten handelt, was bei der Entwicklung eines Langzeitmodells zum Bettungsverhalten unter Weichenherzstücken nachteilig ist. Liegt jedoch das Langzeitmodell vor, genügt die Bestimmung der „verschmierten“ Bettungssteifigkeit, die sich mit nur

einem Sensor bestimmen lässt. Eine Messauswertung auf Basis der statischen Lösung im Bereich von Weichenherzstücken wird jedoch durch die dynamischen Anregungen beeinträchtigt.

Für die Entwicklung eines Langzeitmodells ist es notwendig, die Bettungssteifigkeit unter einer bestimmten Schwelle ermitteln zu können. Hierfür ist deshalb ein anderer Ansatz erforderlich. Auf Basis eines Modells, welches die Schwelle als einen von der Schiene angeregten Einmassenschwinger zwischen zwei Federn (Zwischenlagen und Bettung) beschreibt, kann die Bettungssteifigkeit unter einer einzelnen Schwelle auf Basis einer absoluten Schieneneinsenkungsmessung und einer relativen Einsenkungsmessung zwischen Schiene und Schwelle bestimmt werden. Diese Vorgehensweise zur Bestimmung der Bettungssteifigkeit unter einer Einzelschwelle ermöglicht es zudem, die Tiefe der Hohllage unter der Schwelle und damit ein Maß für die Bettungsgeometrie zu ermitteln.

Vertikale Weichenherzstückgeometrie

Neben der Bettung wird auch die vertikale Geometrie der Weichenherzstücke für die Modellierung benötigt. Das Verfahren zur Bestimmung dieser Geometrie muss sich für den Einsatz im laufenden Bahnbetrieb eignen, weshalb es schnell in der Durchführung und einfach in der Handhabung sein soll. Weiterhin sollte sich das Verfahren auch für den Einsatz durch eingewiesene Laien eignen, um es prinzipiell auch im Rahmen von Inspektionen einsetzen zu können.

Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Verfahren zur Vermessung der vertikalen Weichenherzstückgeometrie auf Basis einer handelsüblichen Videokamera zeichnet sich durch eine unkomplizierte Handhabung aus. Die beiden Komponenten des Messaufbaus (Videokamera und Zielbildvorrichtung) können jederzeit sehr schnell aus dem Gleis entfernt werden, weil keinerlei Fixierungen erforderlich sind. Der eigentliche Messvorgang benötigt nur wenige Minuten und kann mittels eines Zielbildwagens bei gleichzeitiger Verdichtung der Einzelmesswerte noch deutlich beschleunigt werden. Durch eine Verdichtung der Einzelmesswerte lassen sich in Verbindung mit einer Ausgleichsrechnung auch die Abweichungen infolge Zielbildverzeichnung weiter verringern.

Zusammenfassung

Da eine Rückkopplung zwischen wesentlichen Eigenschaften des Weichenherzstücks und der wirkenden Belastungen vorliegen, wurden Ansätze für Langzeitmodelle zur Beschreibung der belastungsabhängigen Veränderungen des Weichenherzstücks und seiner Bettung entwickelt. Außerdem wurden Methoden vorgestellt und entwickelt, welche dazu geeignet sind, die erforderlichen Messungen zur Bestimmung der Parameter der Kurzzeitmodelle einerseits und zur Bestätigung der Ansätze der Langzeitmodelle andererseits durchzuführen. Bei den vorgestellten Messverfahren wurde jeweils auf deren Einsetzbarkeit im laufenden Eisenbahnbetrieb geachtet.

Im Ergebnis der vorliegenden Arbeit stehen die Voraussetzungen für ein konkretes Messprogramm zur Untersuchung des Langzeitverhaltens von Weichenherzstücken und dessen Auswertung zu Verfügung.

Ausblick

Auf Grundlage der vorgestellten Messverfahren ist es möglich, das Langzeitverhalten von Weichenherzstücken (Geometrie) und ihrer Bettung (Geometrie und Steifigkeit) in situ zu beobachten und dadurch Gesetzmäßigkeiten ihres Verschleißes zu finden. Hierfür müssten zunächst die Kurzzeitmodelle anhand des gemessenen Kurzzeitverhaltens (zum Beispiel der vertikalen Bewegung des Weichenherzstücks) kalibriert werden. Anhand der Kurzzeitmodelle können dann auch nicht oder nur schwer messbare Größen (wie die Rad-Schiene-Kontaktkraft oder die Spannungen im Inneren des Weichenherzstücks und der Bettung) berechnet werden, welche die verschleißbedingten Veränderungen verursachen. Damit ist es nun möglich, den Verlauf der für die Veränderungen verantwortlichen Belastungen den Veränderungen selbst gegenüberzustellen und damit den Mechanismus der Rückkopplung in Form eines Langzeitmodells abzubilden. Diese Vorgehensweise erscheint erfolgversprechender als der Versuch, verschiedene Messwerte (zum Beispiel Geometrie und maximale Herzstückbeschleunigung) ohne konkrete Modellvorstellung miteinander zu korrelieren, um so Zusammenhänge zu erkennen.

Wenn es gelingt, zum Beispiel auf Basis der Ansätze und Methoden dieser Arbeit, Modelle für das belastungsabhängige Langzeitverhalten auszuformulieren, ist es auf deren Grundlage möglich, die Restnutzungsdauer von Weichenherzstücken zu berechnen und / oder die Konstruktion bezüglich ihrer Lebenszykluskosten zu optimieren.

Um den Inspektionsaufwand zu minimieren, können für die Inspektion von Weichen auch andere als die hier vorgestellten ortsfesten Messverfahren zum Einsatz kommen. So ist zu erwarten, dass das auf dem Frequenzspektrum basierende Verfahren zur Bestimmung der *Bettungssteifigkeit* auf für fahrzeugseitig (auf dem Achslager) gemessene Beschleunigungen (mit geringerem organisatorischen Aufwand bei gleichzeitiger Abdeckung vieler Weichen) angepasst werden kann. Unter gleichzeitiger Nutzung eines Langzeitmodells zur Bettungsveränderung wäre es zudem möglich, die Nachteile des Verfahrens auf Grundlage des kontinuierlich gelagerten Balkens (Verschmierung) zu kompensieren.

Weiterhin erscheint es möglich, die *Geometrie* der belasteten Weiche (Bettungsgeometrie und Geometrie des Weichenherzstücks) auf Basis eines Kurzzeitmodells aus den fahrzeugseitig gemessenen Beschleunigungen abzuleiten.