

Der Mehrwert der Digitalisierung in der Instandhaltung am Beispiel der Fahrwerksdiagnose

Martin Rosenberger, DI Dr.

Gruppenleiter Vehicle Dynamics, Acoustics & Analytics
Siemens Mobility Austria GmbH
T: +43 664 8855 7098
E-Mail: martin.rosenberger@siemens.com
Homepage: www.siemens.com
Firmenadresse: Eggenberger Straße 31, 8020 Graz, Österreich

Thomas Moshhammer, DI Dr.

Bereichsleiter Structure Simulation & Validation
Siemens Mobility Austria GmbH
T: +43 664 8855 4579
E-Mail: thomas.moshhammer@siemens.com
Homepage: www.siemens.com
Firmenadresse: Eggenberger Straße 31, 8020 Graz, Österreich

Einleitung

Die Fahrwerke eines Schienenfahrzeuges sind die zentrale Komponente für den sicheren Betrieb eines Schienenfahrzeugs. Das Fahrwerk trägt alle wichtigen Komponenten für das Antreiben und Bremsen, bestimmt die Entgleisungssicherheit, das Fahrverhalten und beeinflusst maßgeblich den Fahrkomfort. Das Fahrwerk stellt die Schnittstelle zum Fahrweg dar und muss dementsprechend die Randbedingungen, die es von Seiten des Fahrwegs vorfindet, beherrschen. Um alle diese Funktionen dauerhaft gewährleisten zu können ist ein überproportional großer Aufwand für die Instandhaltung der Fahrwerke erforderlich, was zu entsprechend hohen Kosten führt. So hat das Fahrwerk rund 30% Anteil an den Gesamtlebenszykluskosten eines Schienenfahrzeuges.

Um die Instandhaltungskosten über den Lebenszyklus zu reduzieren, gleichzeitig aber das Sicherheitsniveau beizubehalten bzw. sogar weiter erhöhen zu können, hat Siemens ein intelligentes Fahrwerksdiagnose-System entwickelt, das es erlaubt das Fahrverhalten des Fahrzeugs als Gesamtes, aber auch wichtige instandhaltungsrelevante Einzelkomponenten des Fahrwerks kontinuierlich zu beobachten. Das Fahrwerksdiagnose-System liefert dem Instandhaltungsdepot folgende Informationen:

- Health States - in welchem Zustand ist mein Fahrwerk (meine Komponente) bzw. das Fahrzeug,
- Remaining Useful Lifetime - wie lange kann mein Fahrzeug noch betrieben werden, bis eine Instandhaltungsmaßnahme erforderlich ist, und
- Werkstattmeldungen - welche konkrete Instandhaltungsmaßnahme ist im Depot bei einer Abweichung von einem normalen Health State durchzuführen.

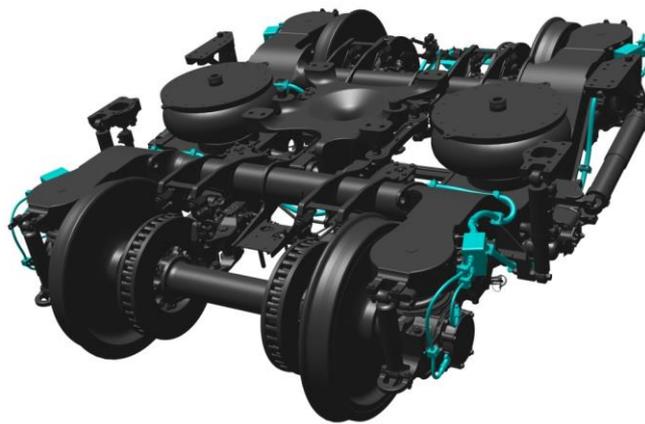


Abbildung 1: Fahrwerksdiagnose-System am Fahrwerk

Architektur des Fahrwerksdiagnosesystems

Die Basis des Fahrwerksdiagnose-Systems bilden Sensoren, welche an Radsatzlagern, Fahrwerksrahmen und im Wagenkasten verbaut sind (Abbildung 1). Diese Sensoren sind vorwiegend Beschleunigungssensoren, mit welchen es möglich ist, das dynamische Verhalten des Fahrzeugs, d.h. seine Reaktion auf die Strecke, die Umgebungsbedingungen und das Fahrspiel, zu erfassen. Die daraus gewonnenen Daten werden mit an Fahrzeugen typischerweise vorhandenen Informationen wie Beladezustand, Fahrtrichtung und GPS-Position, sowie Daten aus dem Antriebs- und Bremssystem in einem Diagnoserechner zusammengeführt. Bedarfsgerechte und intelligente Algorithmen in der Bandbreite von klassischen Signalverarbeitungsmethoden über physikalische Ansätze bis hin zu modernsten Machine Learning und Artificial Intelligence Methoden verarbeiten die Daten zu Fahrwerksdiagnose-Informationen. Abbildung 2 zeigt beispielsweise die Leistungsfähigkeit von Machine Learning Methoden. Zur Erkennung geschädigter Dämpfer wurden drei Fälle betrachtet. Ein Dämpfer im Gut-Zustand, ein Dämpfer in degradiertem Zustand mit rund 50% seiner Kennung und ein defekter/ausgefallener Dämpfer wurden bewertet, einerseits über eine klassische Frequenzbewertung der Systemantwort des Fahrwerks und andererseits mit Modellen, die eine Klassifizierung der Systemantwort ermöglichen, welche dann statistisch bewertet wird. Sowohl mit der klassischen Frequenzbewertung als auch mit der statistischen Bewertung auf Basis eines Machine Learning Modells kann der Gut-Zustand vom ausgefallenen Dämpfer gut unterschieden werden. Beim 50% degradierten Dämpfer allerdings zeigt die Frequenzbewertung keinen eindeutigen Unterschied zum Gut-Zustand. Im Gegensatz dazu erlaubt das für diesen Fall entwickelte statistische Modell eine eindeutige Differenzierung der drei Fälle.

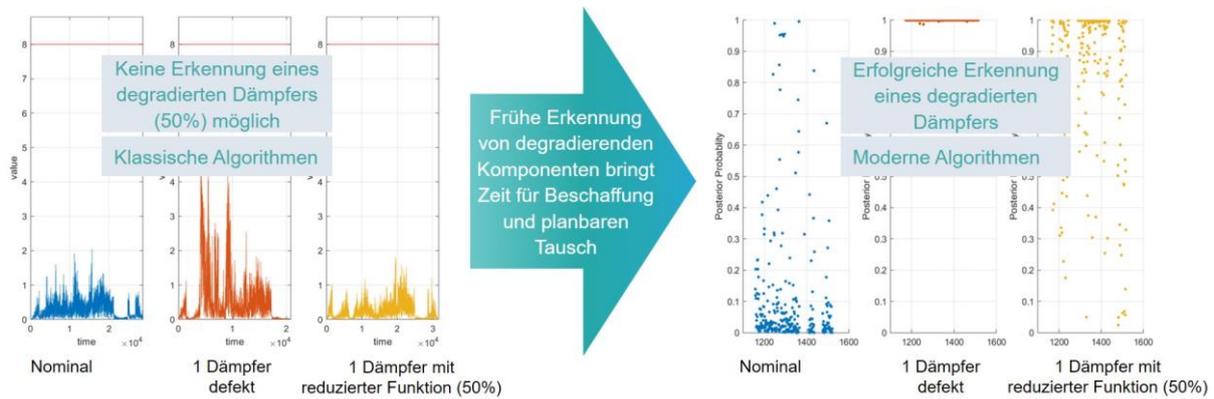


Abbildung 2: Schlingerdämpferzustandsbewertung mittels Frequenzbewertung (links) und mittels eines Machine Learning Modells (rechts)

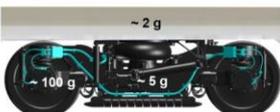
Die am Fahrzeug generierten Fahrwerksdiagnoseinformationen, das sind i.A. Kennwerte des Fahrzeugverhaltens aus den unterschiedlichen Bewertungsfunktionen (vgl. Abbildung 2, rechts), werden automatisiert in ein Cloud-System übertragen und dort weiterverarbeitet. Für Diagnosefunktionen die auch historische Daten nutzen, errechnen landseitige Algorithmen die Health States der entsprechenden Fahrwerkskomponenten. Auch Restlebensdauerbewertungen werden mittels landseitiger Algorithmen erzeugt. Die Health States und die Restlebensdauern einzelner Fahrwerkskomponenten und des Fahrwerks insgesamt werden in einem Dashboard angezeigt. Vordefinierte komponentenspezifische Werkstattmeldungen werden bei Überschreiten von Health State-Schwellwerten direkt in das Instandhaltungs-System übertragen, woraus dann in weiterer Folge gemäß Instandhaltungshandbuch direkt die entsprechenden Arbeitsaufträge für die Instandhaltung des Fahrwerks generiert werden. Um bereits durchgeführte Instandhaltungsmaßnahmen ebenfalls berücksichtigen zu können, wie z.B. das Überdrehen von Rädern oder den Austausch von serialisierten Komponenten, werden die vollständigen Konfigurationsdaten des Fahrzeugs landseitig aus dem CMMS-System mit den Daten des Fahrwerksdiagnose-Systems verknüpft.

On-Board-Diagnosesystem

Fahrwerks-Fahrweg-Interaktionsdiagnose



Fahrwerksdiagnose



Fahrwerk/Fahrzeug

Diagnose-Infrastruktur

Datentransfer an Landseite



Landseitige IT-Infrastruktur (Railigent)



Human Machine Interface für Diagnose Personal



Fahrzeug/Diagnosecenter

Diagnosegestützter Instandhaltungsprozess

Flotten-Analysen/Diagnose Reports



Trendanalysen/Prognose Modelle



IH Aufträge/IH Maßnahmen



Diagnosecenter/Instandhaltung

Abbildung 3: vollständige IT-Integration der Fahrwerksdiagnose – Fahrzeug, Diagnose-Cloud-Lösung mit HMI u. Dashboards, Instandhaltungsmanagementsystem (CMMS)

Die Fahrwerksdiagnosefunktionen des Rades konnten auch diverse Flachstellen identifizieren. Dabei wurden größere Flachstellen selbstverständlich entfernt, kleinere Flachstellen wurden beobachtet und es konnte dokumentiert werden, wie sich diese Flachstellen ausfahren und wieder verschwinden.

Die Fahrwerksdiagnose erlaubt aber auch Problemfälle aus dem Betrieb im Detail zu analysieren. In Abbildung 5 sind beispielsweise die relevanten Informationen rund um ein Radblockier-Ereignis dargestellt.



Abbildung 5: Zusammenführung Daten zur Analyse eines Radblockier-Vorgangs

Es zeigt, dass der Radblockier-Algorithmus die Dauer des Radblockier-Vorgangs exakt erfassen kann und das Verhalten der dargestellten Größen plausibel ist. Die Geschwindigkeit nimmt bei Anlegen einer Bremskraft ab und die Drehzahl ist bis zum Ende des Radblockier-events tatsächlich Null. Die Daten von konkreten Blockier-Events können mit örtlichen und zeitlichen Informationen kombiniert werden, was wiederum erlaubt Wetterdaten oder spezifische Streckeninformationen, etc. in die Analyse miteinzubeziehen. Mittels einer gleichzeitigen Beurteilung mehrerer Radblockier-Events können entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden, so können z.B. Anweisungen an die Triebfahrzeugführer ausgegeben werden, um die Anzahl der Radblockier-Events und damit die Anzahl von Flachstellen reduzieren zu können.

Nutzen und Use Cases der Fahrwerksdiagnose

Mit der Fahrwerksdiagnose als modulares und skalierbares System werden Schäden bereits frühzeitig erkannt und bewertet und somit wird eine Transformation von korrektiven zu präventiven Instandhaltungsmaßnahmen erreicht. Damit werden ungeplante Stillstandszeiten vermieden und die notwendige Vorlaufzeit für die Planung von Instandhaltungstätigkeiten zur Verfügung gestellt. Somit können Kosten für Ausfälle von z.B. Radsatzlagern, Fahrmotor und Getriebelagern reduziert werden. Für den Kunden ergibt sich gleichzeitig eine höhere Fahrzeugverfügbarkeit.

Durch das kontinuierliche Beobachten des Fahrwerks mit seinen Komponenten können längere Sichtkontrollintervalle erreicht werden, was ebenfalls zu niedrigeren Instandhaltungskosten und einer höheren Fahrzeugverfügbarkeit führt. Zusätzlich können im Depot die Instandhaltungsarbeiten über die Fahrzeuge hinweg besser geplant und die Fahrzeugdisposition und Ersatzteillogistik effizient gestaltet werden. Durch regelmäßige und präventive Analyse der Restlebensdauern z.B. der Komponente Radsatz werden die Reprofilierungen bedarfsgerecht durchgeführt, was zu einer Einsparung eines Radsatzwechsels im Lifecycle führen kann.

Auf Grund der frühzeitigen Identifikation von Schäden können die tatsächlichen Komponentenlebensdauern weiter ausgenutzt und damit die Revisionsintervalle optimiert werden. Im besten Fall kann

dadurch eine Fahrwerksrevision im Life-Cycle des Fahrzeugs eingespart werden. Durch die Sensorik auf Achslager- und Fahrwerksebene kann die Fahrwerksdiagnose aber auch mit Algorithmen zur Bewertung des Fahrwegzustandes erweitert werden. Damit wird es für den Infrastrukturmanager möglich, den Streckenzustand kontinuierlich zu erfassen. Fehler, die sich zwischen Messfahrzeugfahrten entwickeln, können frühzeitig erkannt werden. Das erhöht die Planbarkeit der Fahrweginstandhaltungsmaßnahmen und die Streckenverfügbarkeit. Gegebenenfalls können dadurch auch die Intervalle der Messfahrzeugfahrten ausgedehnt werden, was zu weiteren Kostensenkungen führen würde.

Zusammenfassung

Die Fahrwerksdiagnose ermöglicht eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwerks, wodurch Sichtkontrollintervalle optimiert werden können. Durch das Wissen um den Zustand des Fahrwerks und seiner Komponenten zu jedem Zeitpunkt im Fahrzeugleben können die tatsächlichen Komponentenlebensdauern weiter ausgenutzt und ungeplante Stillstandszeiten vermieden werden.

Die Fahrwerksdiagnose erhöht aber auch die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Fahrzeuge, da ad-hoc Ausfälle und Schäden abgefangen und geplant behoben werden können.

Für tatsächliche ad-hoc Fehler wie z.B. Flachstellen, etc. wiederum liefert die Fahrwerksdiagnose wertvolle Daten aus dem Betrieb, um die Ursachen analysieren zu können und daraus Maßnahmen für Fahrzeug, Instandhaltung oder Betrieb abzuleiten.

Aber nicht nur das Fahrzeug wird mit der Fahrwerksdiagnose beobachtet, auch der Fahrweg und implizit die Umgebungsbedingungen können kontinuierlich erfasst werden. Dadurch steht ein zusätzliches Werkzeug zur Verfügung, um neben Regelinspektionen auch eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwegs und der Reaktion der Fahrwerke auf den Fahrweg zu ermöglichen.

Die Fahrwerksdiagnose als modulares und skalierbares System kann vollständig in bestehende Instandhaltungssysteme integriert werden, um Arbeitsaufträge auszulösen und erlaubt es Health States und Restlebensdauerinformationen von Einzelkomponenten und vom Fahrwerk insgesamt in Dashboards für weitere Analysen zur Optimierung von Instandhaltung und Betrieb darzustellen.

Die Fahrwerksdiagnose wurde in einer Flotte von 84 vier-teiligen Commuter-Fahrzeugen verbaut und ist seit Dezember 2018 im Einsatz. An ausgewählten Beispielen aus dem bisherigen Betrieb wie Dämpferdefekten, Flachstellen oder weiteren Beispielen aus der Instandhaltung wurden die Leistungsfähigkeit und Potentiale, die sich durch den Einsatz der Fahrwerksdiagnose ergeben, anschaulich demonstriert.