

Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose

Instandhaltungskosten reduzieren und Sicherheitsniveau beibehalten durch intelligentes Fahrwerksdiagnose-System

DI Dr. Martin Rosenberger, DI Dr. Thomas Moshhammer, Graz

Die Fahrwerke eines Schienenfahrzeuges sind die zentrale Komponente für den sicheren Betrieb eines solchen. Das Fahrwerk trägt alle wichtigen Komponenten für das Antreiben und Bremsen, bestimmt die Entgleisungssicherheit, das Fahrverhalten und beeinflusst maßgeblich den Fahrkomfort. Es 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 mehr als 30 Prozent Anteil an den Gesamtlebenszykluskosten eines Schienenfahrzeuges.

Um die Instandhaltungskosten über den Lebenszyklus zu reduzieren, gleichzeitig

aber das Sicherheitsniveau beizubehalten beziehungsweise 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 das Fahrwerk (die Komponente) beziehungsweise das Fahrzeug,
- Remaining Useful Lifetime – wie lange kann das 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.

Architektur des Fahrwerksdiagnosesystems

Die Basis des Fahrwerksdiagnose-Systems bilden Sensoren, welche an Radsatzlagern, Fahrwerksrahmen und im Wagenkasten verbaut sind (Abb. 1). Diese Sensoren sind vorwiegend Beschleunigungssensoren, mit welchen es möglich ist, das dynamische Verhalten des Fahrzeugs, das heißt 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 Prozent 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

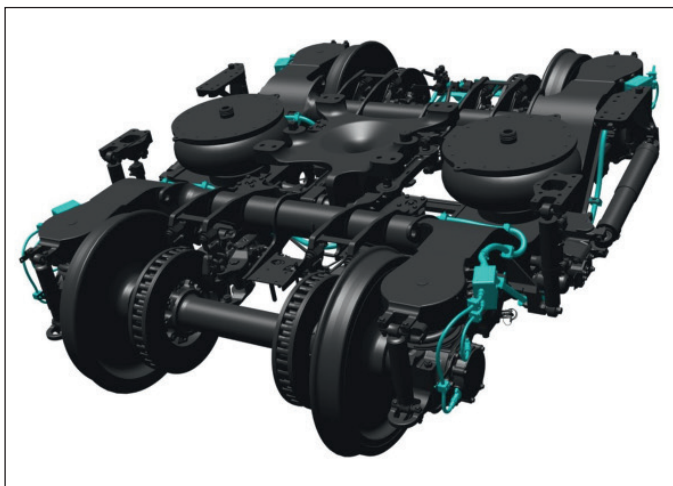


Abb. 1: Fahrwerksdiagnose-System am Fahrwerk.

Grafik: Siemens Mobility

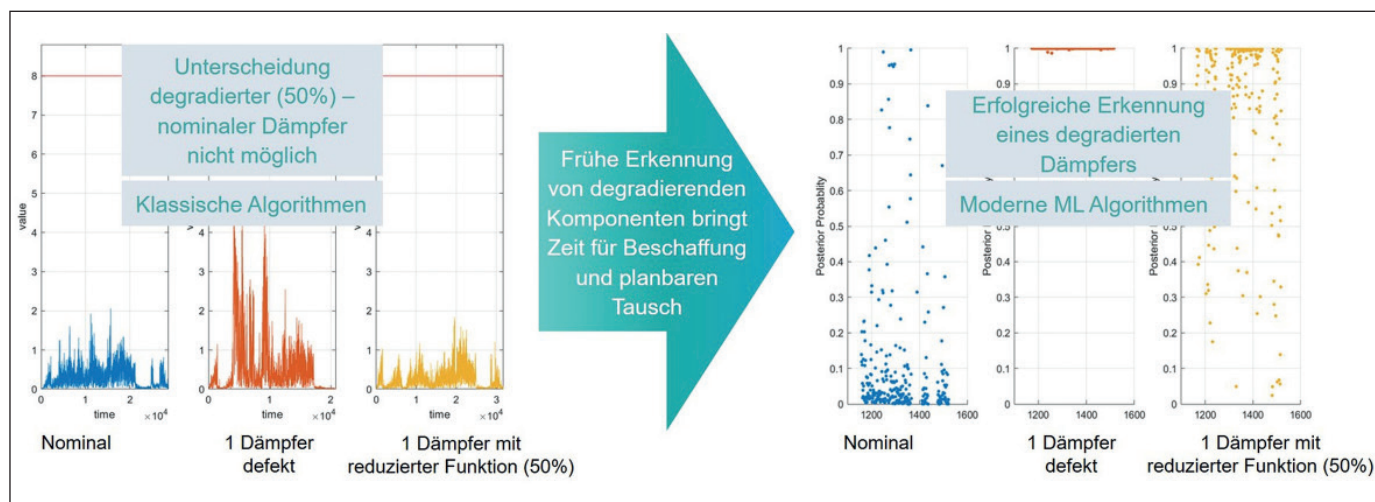


Abb. 2: Schlingerdämpferzustandsbewertung mittels Frequenzbewertung (links) und mittels eines Machine-Learning-Modells (rechts).

Grafik: Siemens Mobility

Gut-Zustand vom ausgefallenen Dämpfer gut unterschieden werden. Beim zu 50 Prozent 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.

Die am Fahrzeug generierten Fahrwerksdiagnoseinformationen, das sind im Allgemeinen Kennwerte des Fahrzeugverhaltens aus den unterschiedlichen Bewertungsfunktionen (Abb. 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 Fahrwerks-

komponenten. Auch Restlebensdauerbewertungen werden mittels landseitiger Algorithmen erzeugt. Die Health States und die Restlebensdauern einzelner Fahrwerkskomponenten sowie 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 zum Beispiel 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.

In der Entwicklung der Diagnosesoftware wurde besonderes Augenmerk auf Robustheit, Zuverlässigkeit und Flexibilität gelegt. Das bedeutet, dass sowohl die fahrzeug- als auch die landseitige Software modular und parametrierbar ist. Das hat den Vorteil, dass für die Auswertung einer Diagnosefunktion die unterschiedlichen Berechnungsmodule einzig über ein Parameterfile konfiguriert und parametrierbar werden können. Damit wird es möglich, viele Anpassungen und Erweiterungen im Diagnosesystem alleine durch das Einspielen eines neuen Parameterfiles zu realisieren und es wird insbeson-

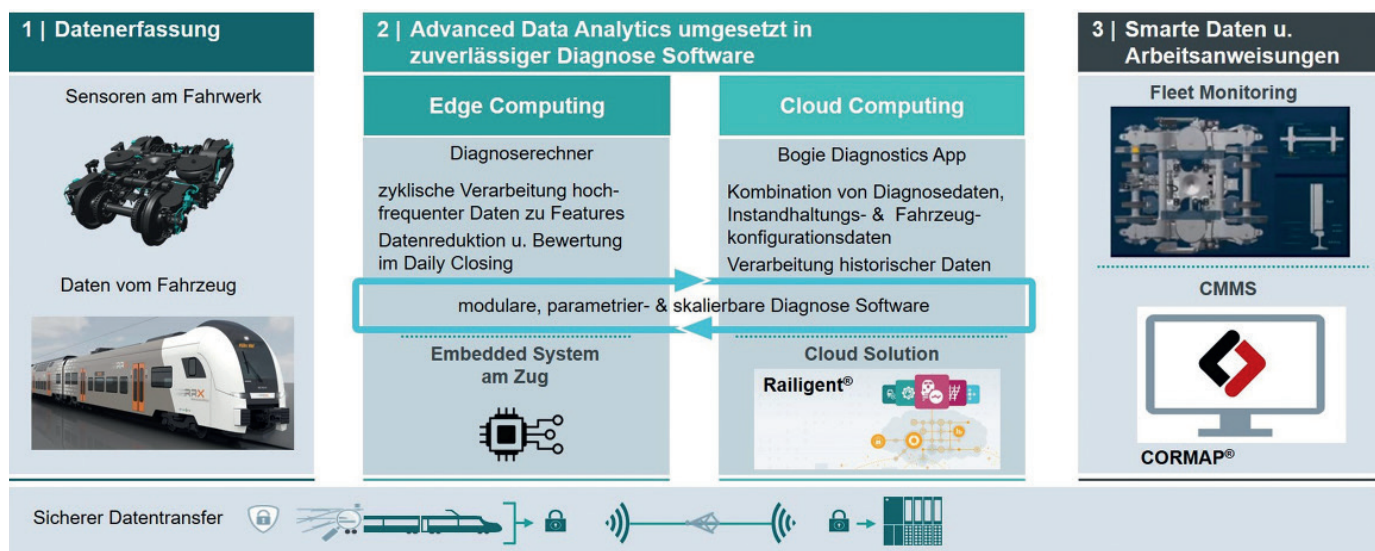


Abb. 3: Vollständige IT-Integration der Fahrwerksdiagnose – Fahrzeug, Diagnose-Cloud-Lösung mit HMI und Dashboards, Instandhaltungsmagementsystem (CMMS).

Grafik: Siemens Mobility

Fahrwerksdiagnosefunktionen

- Diagnosefunktionen für Rad und Lager,
- Diagnosefunktionen für Feder-/Dämpferzustände,
- kumulierende Schädigungsfunktionen für Bremsen, Gummi-Metall- und Strukturbauteile,
- Systemfunktionen, die das Gesamtsystem Fahrzeug/Fahrwerk vorwiegend aus fahrtechnischer Sicht bewerten und
- die Eigendiagnose des Fahrwerksdiagnosesystems, die unter anderem auch sicherstellt, dass die Diagnosefunktionen zuverlässige Inputdaten erhalten.



DI Dr. Martin Rosenberger (45) leitet seit 2016 das Team Vehicle Dynamics, Acoustics & Analytics am Standort Graz der Siemens Mobility Austria GmbH. Davor war er in mehreren Positionen bei der Virtual Vehicle Research GmbH tätig. Studiert hat er Mechatronik im Maschinenbau an der Technischen Universität Graz und an der Universidad de Navarra in San Sebastian, Spanien.

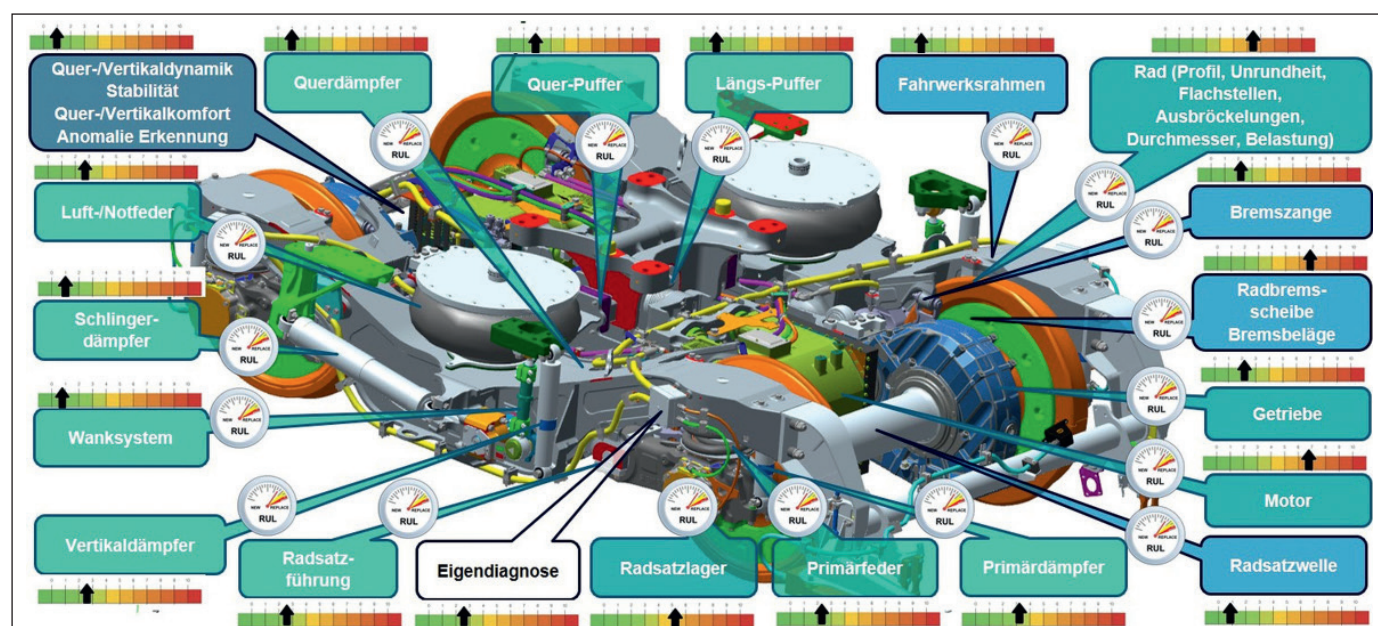


Dr.-Ing. Thomas Moshammer (52) ist seit 2007 bei Siemens Mobility im Bereich Fahrwerksentwicklung für die Fachthemen Fahrtechnik, Akustik, Konstruktion Strukturbauteile, Lastannahmen, Festigkeit und Algorithmen-Entwicklung für Fahrwerksdiagnosesysteme zuständig, seit 2021 verantwortet er zusätzlich den Bereich Innovation Area Lead Digital Twin & Data Analytics. Moshammer hat Allgemeinen Maschinenbau an der Technischen Universität Wien studiert und seinen Dokortitel 1998 erlangt. Ein Sabbatical hat er bei der NASA Langley in Virginia abgehalten.

Beispielsweise konnten defekte Schlingendämpfer detektiert werden, die äußerlich keine Schäden wie Öl-Austritt aufwiesen und daher bei der Sichtkontrolle nicht entdeckt werden konnten. Diese wurden ausgebaut und dem Lieferanten zur Untersuchung übergeben. Der Lieferant musste

Ein weiterer Fall betraf einen ölenden Primärdämpfer, der während einer Sichtkontrolle aufgefallen ist. Dieser hatte aus Sicht der Diagnose keine Funktionsbeeinträchtigung. Auch dieser wurde ausgetauscht und dem Lieferanten geschickt. Hier ergab die Prüfung beim Lieferanten keine Funktionsbeeinträchtigung – der Dämpfer hätte also in Betrieb bleiben können. Dementsprechend werden zukünftig ölende Dämpfer

Die Fahrwerksdiagnosefunktionen des Rades konnten diverse Flachstellen identifizieren. Dabei wurden größere Flachstellen selbstverständlich entfernt, kleinere Flach-



Grafik: Siemens Mobility

stellen wurden beobachtet und es konnte dokumentiert werden, wie sich diese Flachstellen ausfahren und wieder verschwinden, ohne zu Ausbröckelungen als Spätfolge dieses Schadens am Rad zu führen.

Die Fahrwerksdiagnose erlaubt aber auch Problemfälle aus dem Betrieb im Detail zu analysieren. So können zum Beispiel die Daten von konkreten Radblockier-Events mit örtlichen und zeitlichen Informationen kombiniert werden, was wiederum erlaubt, Wetterdaten oder spezifische Streckeninformationen et cetera in die Analyse mit einzubeziehen. Mittels einer gleichzeitigen Beurteilung mehrerer Radblockier-Events können entsprechende Maßnahmen abgeleitet werden, so können beispielsweise 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 zum Beispiel 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, wie zum Beispiel der Komponente Radsatz, werden die Reprofilierungen bedarfsgerecht durchgeführt, was zu einer Einsparung eines Radsatzwechsels im Life-Cycle 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 Fahrwerkebene 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.

Fazit

Die Fahrwerksdiagnose ermöglicht eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwerks, wodurch Sichtkontrollintervalle op-

timiert 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. Aber auch die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Fahrzeuge wird erhöht, da ad-hoc Ausfälle und Schäden abgefangen und geplant behoben werden können. Für tatsächliche ad-hoc Fehler wiederum, wie zum Beispiel Flachstellen et cetera, liefert die Fahrwerksdiagnose wertvolle Daten aus dem Betrieb, um die Ursachen analysieren zu können und daraus Maßnahmen für Fahrzeug, Instandhaltung oder Betrieb abzuleiten.

Die Fahrwerksdiagnose kann auch dafür genutzt werden, um den Fahrwegzustand und implizit die Umgebungsbedingungen zu erfassen. Dadurch steht ein zusätzliches Werkzeug zur Verfügung, um neben Regelinspektionen auch eine kontinuierliche Beobachtung des Fahrwegs und der Reaktion der Fahrwerke beziehungsweise Fahrzeuge 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.

Seit Dezember 2018 ist die Fahrwerksdiagnose in einer Flotte von 84 vierteiligen Commuter-Fahrzeugen im Einsatz und zeigt dort tagtäglich ihre Leistungsfähigkeit.

Zusammenfassung/Summary

Digitalisierung in der Instandhaltung durch die Fahrwerksdiagnose

Um die Instandhaltungskosten von Fahrwerken über den Lebenszyklus zu reduzieren, gleichzeitig aber das Sicherheitsniveau im Eisenbahnbetrieb nicht zu verringern beziehungsweise sogar weiter erhöhen zu können, hat Siemens Mobility ein intelligentes Fahrwerksdiagnose-System entwickelt, welches es erlaubt, das Fahrverhalten des Fahrzeugs als Ganzes, aber auch wichtige und instandhaltungsrelevante Einzelkomponenten des Fahrwerks dauerhaft zu beobachten. Aber nicht nur das Fahrzeug wird mit der Fahrwerksdiagnose inspiziert, auch der Fahrweg und implizit die Umgebungsbedingungen können kontinuierlich erfasst werden. Die Fahrwerksdiagnose wurde an einem Commuter-Fahrzeug in 84 vierteiligen Zügen verbaut und ist seit Dezember 2018 im Einsatz. An ausgewählten Beispielen aus dem bisherigen Betrieb wie Dämpfer, Flachstellen oder aus der Instandhaltung wird die Gesamtarchitektur des Fahrwerksdiagnosesystems beschrieben und die sich daraus ergebenden neuen Möglichkeiten in Betrieb und Instandhaltung von Fahrzeug und Fahrweg werden dargestellt.

Digitalisation in maintenance through chassis diagnosis

In order to reduce maintenance costs of railway bogies, but to keep the safety level of railway operation or even increase it, Siemens Mobility developed an intelligent bogie diagnostics system. This diagnostic system can continuously assess the railway vehicle behavior in general, but also important and maintenance relevant components of a bogie. Not only the vehicle can be monitored, but the railway track and implicitly the environmental conditions can be captured as well. The bogie diagnostic system is introduced in 84 four-car commuter trains and is in operation starting from December 2018. The architecture of the bogie diagnostic system, and the opportunities for operation and maintenance by using this system are demonstrated based on selected examples.