

# Zustandsüberwachung von Güterwagen – technische und rechtliche Aspekte

Die Zustandsüberwachung ist eine zentrale Voraussetzung für die Digitalisierung und Weiterentwicklung der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen. Damit sie im preissensiblen Schienengüterverkehr Realität wird, bedarf es zweierlei: Konzepte zur sensorischen Ausrüstung mit Fokus auf das Gesamtfahrzeug und eine unternehmerische Innovationskultur, welche die Weitergabe von Daten umfasst.



Die Bedeutung der Bahn für den Klimaschutz ist unbestritten. Immer mehr Verkehr soll auf die Schiene verlagert werden, um den Klimawandel zu verlangsamen. Die Bundesregierung hat sich zum Ziel gesetzt, den Anteil der Schiene am Güterverkehr bis zum Jahr 2030 auf 25 Prozent zu steigern. Dazu müssen einerseits Kapazitäten schneller ausgebaut werden, vor allem aber müssen bestehende Kapazitäten effizienter und zuverlässiger genutzt werden können.

Ein Umdenken im Instandhaltungsmanagement von Infrastruktur und Rollmaterial ist unabdingbar – weg von herkömmlich schadensabhängigen oder planmäßig-vorbeugenden hin zu zustandsbasierten und vorausschauenden Instandhaltungsstrategien. Mit digitalen und datenbasierten Ansätzen in der Instandhaltung können Störungen frühzeitig erkannt, Ausfälle vermieden und damit die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit des Systems Bahn erhöht werden.

Bei zustandsbasierter Instandhaltung (engl. Condition-based Maintenance, CBM) wird ein Bauteil zusätzlich oder anstatt einer manuellen Überwachung vollständig durch einen Menschen oder in Teilen durch Sensoren überwacht. Die Überwachung liefert Messgrößen, aus denen der aktuelle Zustand der Bauteile abgeleitet werden kann. Rohdaten der Sensoren und CBM stellen also eine Weiterentwicklung der planmäßig-vorbeugenden Instandhaltung dar, indem der Zustand nicht nur in Intervallen und manuell geprüft, sondern (quasi-)kontinuierlich mithilfe eines Sensor-

systems bzw. Messdaten aus verknüpften Systemen überwacht wird.

Eine Weiterentwicklung von CBM stellt die vorausschauende Instandhaltung (engl. Predictive Maintenance, PM) dar. Durch eine kontinuierliche Überwachung von Bauteilen werden nicht nur die tatsächliche Belastung ermittelt und damit der aktuelle Zustand des Bauteiles überwacht. Es können zudem mit Hilfe der aufgenommenen Daten Verhaltens- und Verschleißmuster erlernt werden, die der Prognose der restlichen Lebensdauer dienen. Damit können das Versagen des individuellen Bauteils prognostiziert und das Risiko eines Ausfalls bewertet werden. Dies ermöglicht es, die entsprechenden Instandhaltungsmaßnahmen frühzeitig zu planen und erhöht im Vergleich zu CBM weiter die Planungssicherheit. Die Notwendigkeit von reaktiven Arbeiten wird idealerweise eliminiert.

Die im Folgenden verwendeten Begriffe „Zustandsdaten“ oder „Daten“ stehen für alle Arten von Daten (Rohdaten, vorverarbeitete und ausgewertete Daten) von Sensorsystemen und aus manuellen Inspektionen.

## 1. Zustandsüberwachung im Schienengüterverkehr

Die Grundlage für digitale und datenbasierte Instandhaltungsstrategien bildet also die Zustandsüberwachung. Es existiert eine Vielzahl an marktreifen Systemen und Ansätzen zur Überwachung von unterschiedlichen Komponenten eines Schienenfahrzeuges. Diese Systeme sind



**Waldemar Gaad, M. Sc.**

Referent Digitalisierung von Schienenfahrzeugen,  
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung  
gaadw@dzsf.bund.de



**Dr. Kai Hofmann**

Referent Recht,  
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung  
hofmannk@dzsf.bund.de



**Dipl.-Math. oec. Axel Simroth**

Referent Predictive Maintenance,  
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung  
simrotha@dzsf.bund.de

überwiegend herstellerspezifische Inselösungen, welche nur auf eine spezielle Anwendung fokussiert sind und keinen (Roh-)Datenaustausch mit anderen Systemen erlauben. Obwohl die erhobenen Daten prinzipiell zur Zustandserfassung anderer Komponenten geeignet sein können, bleibt dieses Potenzial nicht ausgeschöpft. Zur Vermeidung von ungeplanten Stillstandszeiten müssen deshalb mehrere Einzelsysteme verbaut werden, die Redundanzen verursachen und die Wirtschaftlichkeit der Zustandsüberwachung enorm herabsetzen.

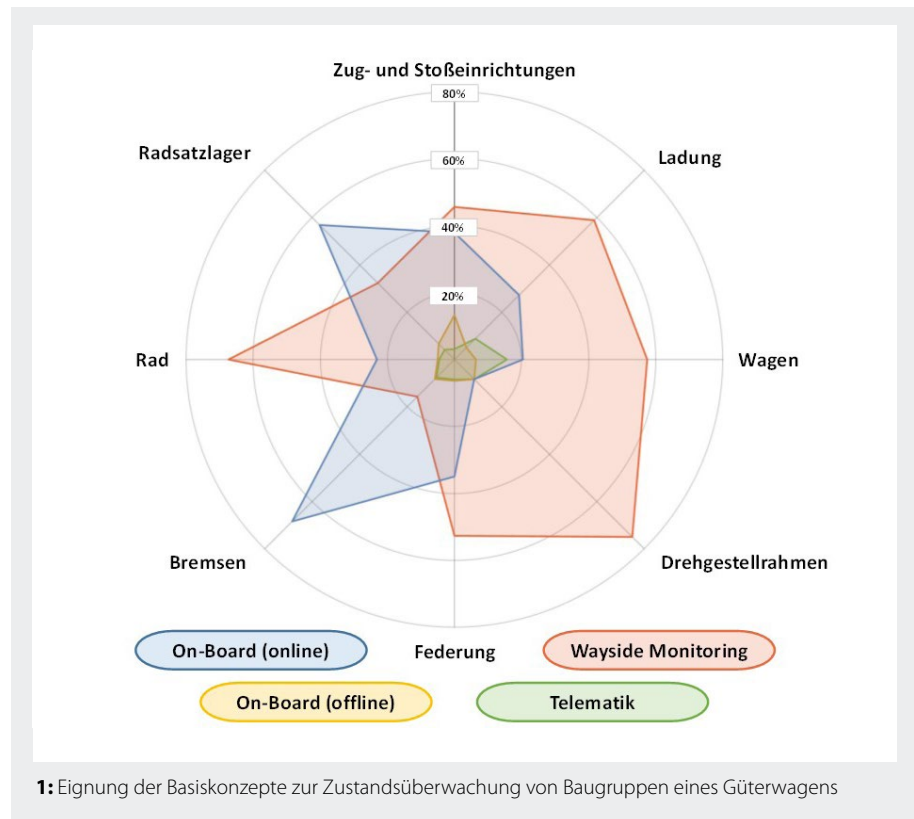
Insbesondere im preissensiblen Schienengüterverkehr (SGV) blieb die sensorische Ausrüstung lange Zeit ein untergeordnetes Thema, zumal die fehlenden Strom- und Datenleitungen an den Güterwagen eine Herausforderung darstellen. So hat beispielsweise DB Cargo zwar im Jahr 2017 mit der Ausrüstung von Güterwagen mit Telematiksystemen begonnen, die für den Betrieb und die Kunden Vorteile bieten, jedoch die Bedarfe an Daten von zustandsbasierter und vorausschauender Instandhaltung nicht decken können.

Um wirtschaftliche Potenziale der datenbasierten Instandhaltung im SGV zu nutzen, bedarf es deshalb abgestimmter Sensorkonzepte, welche im Zielkonflikt zwischen Ausfallsicherheit von Fahrzeugen und effizientem Mitteleinsatz den größten Vorteil erwarten lassen. Das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beauftragte deshalb ein Forschungskonsortium<sup>1)</sup>, die Gründe für fahrzeugverursachte ungeplante Stillstandszeiten und Unfälle zu untersuchen und zu gewichten, den Stand aktueller Sensorsysteme zu beschreiben und darauf aufbauend Konzepte zur Zustandserfassung zu erarbeiten.

## 2. Technische Aspekte der Zustandsüberwachung von Güterwagen

Der Zustand von Güterwagen wird vor der Zugfahrt im Rahmen der wagentechnischen Untersuchung begutachtet. Der Wagenmeister kontrolliert die Wagen visuell und protokolliert die Schäden. Diese Art der Zustandserfassung ist aufwendig, zeitintensiv und verursacht betriebliche Störungen, falls schadhafte Güterwagen aus dem bestehenden Zugverband aus-

1) iMAR Navigation GmbH, Schild & Partner GmbH, Technische Universität Berlin, Forschungsstelle für Rechtsfragen neuer Technologien sowie Datenrecht (ForTech) & hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH



1: Eignung der Basiskonzepte zur Zustandsüberwachung von Baugruppen eines Güterwagens

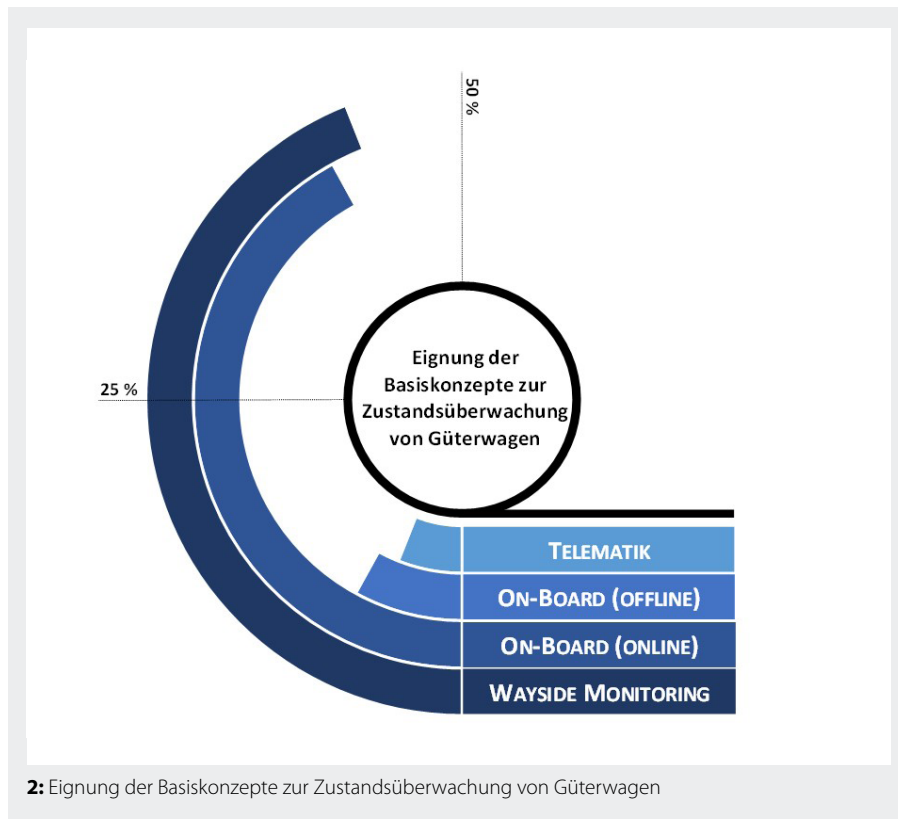
rangiert werden müssen. Dagegen kann die automatische Zustandserfassung über Sensorik Fehler frühzeitig detektieren und den Aufwand von manuellen Inspektionen auf ein Minimum reduzieren. Der Einsatz dieser Technik ist jedoch nicht für alle Fehlerbilder wirtschaftlich sinnvoll. Bei den häufigsten und schwerwiegendsten Ursachen für ungeplante Stillstandszeiten und Unfälle von Güterwagen ist hingegen ein wirtschaftlicher Einsatz der Zustandsüberwachung zu erwarten.

Im Forschungsvorhaben wurden deshalb zum einen umfangreiche Schadprotokolle der wagentechnischen Untersuchungen von DB Cargo und SBB Cargo, zum anderen die Unfallberichte der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU) und der Eisenbahngeneratur der Europäischen Union (ERA) strukturiert ausgewertet. Bei den wagentechnischen Untersuchungen sind mit Abstand am häufigsten Schäden an Wagenkästen, gefolgt von Bremsen dokumentiert. Die häufigsten Ursachen für Unfälle sind hingegen Fehler am Fahrwerk, z.B. am Radsatzlager, an Bremsen und Rädern.

Der Unterschied zwischen den am häufigsten betroffenen Bauteilen bei wagentechnischen Untersuchungen und Unfällen ist dabei kein Widerspruch, sondern darin

begründet, dass bei der wagentechnischen Untersuchung lediglich die Fehler entdeckt werden, die visuell feststellbar sind. Bauteile wie Radsatzlager können nicht eingesehen und entsprechend im Rahmen von wagentechnischen Untersuchungen nicht ausreichend überprüft werden. Aus diesem Grund wurde im Projekt die Kombination von Daten aus Schadprotokollen der wagentechnischen Untersuchungen und Unfallberichten untersucht. Auf dieser Grundlage wurden die am häufigsten betroffenen Baugruppen identifiziert und deren jeweiliger ökonomischer Schaden bzw. ökonomischer Nutzen der Ausfallvermeidung vereinfacht abgeschätzt und untereinander gewichtet.

Anschließend wurde die Frage untersucht, welche Form der Zustandsüberwachung für die jeweilige Baugruppe und für das gesamte Fahrzeug unter ökonomischen Gesichtspunkten am besten geeignet ist. Dazu definierte das Forschungskonsortium übergeordnete Schutzziele (z.B. Sicherstellung des Verzögerungsverhaltens) und leitete daraus Überwachungsziele (z.B. Verschleiß der Bremssohlen) für jede Baugruppe ab. Die unterschiedlichen Systeme der Zustandsüberwachung wurden vier Basiskonzepten zugeordnet:



- On-Board (online): fahrzeugseitige Sensorik mit Datenübertragung in Echtzeit
- On-Board (offline): fahrzeugseitige Sensorik mit lokalem Speicher und manueller Übertragung
- Telematiksysteme
- Wayside Monitoring (streckenseitige Messsysteme) und wagentechnische Untersuchung

Über strukturierte Entscheidungsfindung wurden die Überwachungsziele je Komponente gewichtet und die Basiskonzepte für jede Komponente und anschließend für den gesamten Güterwagen bewertet. Zusätzlich definierte das Forschungskonsortium für jedes Überwachungsziel geeignete physikalische Messgrößen und Sensoren. Die Forschungsergebnisse können deshalb dazu verwendet werden, nicht nur ein geeignetes Basiskonzept für die jeweilige Baugruppe oder ein Überwachungsziel zu finden, sondern auch dafür passende Messgrößen und Sensoren auszuwählen.

Für Baugruppen, die von außen erfassbar sind, wie beispielsweise Drehgestellrahmen und Wagenkasten ist das Wayside Monitoring technisch und wirtschaftlich am besten geeignet. On-Board Monitoring ist hingegen zur Überwachung von Radsatzlagern und Bremse zu bevorzugen (vgl. Bild 1).

Die Betrachtungen für einzelne Komponenten lassen bereits darauf schließen, dass für den gesamten Güterwagen kein einzelnes Basiskonzept allein zielführend ist. Eine wirtschaftlich und technisch sinnvolle Zustandsüberwachung von Güterwagen benötigt deshalb eine Kombination von On-Board (online) und Wayside Monitoring (vgl. Bild 2). Insbesondere aus wirtschaftlichen Abwägungen schlägt das Forschungskonsortium in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis vor, dass

- Daten aus Wayside Monitoring und wagentechnischen Untersuchungen aller Güterwagen digital erfasst,
- aus Kostengründen nur ein Teil der Fahrzeugflotte mit On-Board Systemen ausgestattet und
- insbesondere zur Erfassung der Laufleistungen alle Fahrzeuge mit Telematikgeräten ausgerüstet werden.

### 3. Rechtlicher Rahmen des Datenaustausches

Neben den technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen der Zustandsüberwachung müssen die Unsicherheiten beseitigt werden, wem die erhobenen Daten gehören und ob sie anderen Branchen-

## Den rechtlichen Rahmen für den Austausch der Zustandsdaten kann der Sektor nur selbst schaffen.

beteiligten zur Verfügung gestellt werden dürfen. Die Möglichkeiten und Hürden des Datenaustausches im SGV wurden deshalb ausführlich in dem rechtlichen Gutachten untersucht.

Zusammenfassend lässt sich festhalten: Das europäische und deutsche Recht verhält sich zu Daten von Systemen der Zustandsüberwachung im Ergebnis weitgehend neutral. Der Austausch der für die Zustandsüberwachung relevanten Sensordaten wird weder gefördert noch gehemmt. Das wichtigste Werkzeug bilden (multilaterale) vertragliche Vereinbarungen. Hier ist in erster Linie der Sektor gefordert.

Daten sind für sich genommen nicht gesetzlich geschützt, nicht als „Dateneigentum“ und nur sehr begrenzt über das Urheberrecht. Die Datenhoheit wird in erster Linie über Verträge gesteuert, in denen z. B. Nutzungsbeschränkungen vereinbart werden. Wer die vertraglichen Beschränkungen nicht akzeptiert, erhält keinen Zugriff auf die jeweilige Ressource, d. h. den Sensor oder den Datenbestand. Dieser Mechanismus baut in erster Linie auf wirtschaftlicher Macht und technisch-faktischer Kontrolle auf – und nicht auf einem abstrakten Recht, das an den Daten bestünde. Umgekehrt bedeutet dies: Wo keine Kontrolle besteht, kann die Nutzung auch nicht beschränkt werden. Daten, an die man gelangt, ohne vorher vertragliche Verpflichtungen eingehen zu müssen, sind frei verwendbar.

Dieser Grundsatz wird durch das geltende Recht allenfalls in Randbereichen beschränkt. Wer die Kontrolle hat, kann die ent- und bestehenden Daten beliebig nutzen. Die Kontrolle über die Daten muss zwar rechtmäßig erlangt worden sein. Das schließt aber im Grunde nur Fälle von Betriebsespionage aus. Echtes Konfliktpotenzial besteht im PM-Bereich lediglich beim Wayside Monitoring, weil hier Daten über fremde Wagen erhoben werden. Für die Frage nach der „Datenhoheit“ kommt es auf die Eigentums- und Besitzverhältnisse am Wagen aber gar nicht an. Die Züge bewegen sich im öffentlichen – vor allem: öffentlich einsehbar – Netz. Bei allen

Zuständen, die man von dort erfassen kann, fehlt es darum an der notwendigen Kontrolle. Jeder, der den Aufwand betreibt, Sensorik längs der Strecke einzurichten, darf die so erfassten Daten frei nutzen.

Den Nutzungsbeschränkungen stehen die Bereitstellungspflichten gegenüber. Anders ausgedrückt: Wenn man die Nutzung der Daten nicht verhindern kann, kann man diese dann wenigstens auch selbst einsehen und nutzen? Auch hier ist die Gesetzeslage wenig ergiebig. Vorgaben gibt es nur zu allgemeinen Instandhaltungsdaten und -vorschriften (AVV<sup>2)</sup>, ECM-VO [EU] 2019/779) sowie zu Daten aus Telematik und Betrieb (TSI TAF und OPE). Für die besonders relevanten Basiskonzepte der On-Board-Sensorik und des Wayside Monitoring gibt es keine gesetzlichen Pflichten zur Datenbereitstellung.

#### 4. Weiterer Forschungsbedarf und Ausblick

Die wirtschaftlichen Aspekte der Zustandsüberwachung wurden in dem hier vorgestellten Projekt bewusst nicht tiefergehend betrachtet, stehen aber gleichwohl auf der Agenda des DZSF. Eine Forschungslücke besteht z. B. hinsichtlich der wirtschaftlichen Folgen von Fahrzeugausfällen für den gesamten Bahnbetrieb. Denn aus diesem Schaden leitet sich der wirtschaftliche

2) Allgemeiner Vertrag für die Verwendung von Güterwagen; <https://gcubureau.org/contract/>

Spielraum für Investitionen in die sensorische Ausrüstung und die nachgelagerten Prozesse der datenbasierten Instandhaltung ab. Das DZSF untersucht diese Spielräume bereits im Bereich der Infrastruktur (Projekt: „Wirtschaftlichkeits- und Amortisationsanalyse von Predictive-Maintenance-Lösungen für die Schieneninfrastruktur“). Ähnliche Untersuchungen sind auch für Schienenfahrzeuge notwendig.

Den rechtlichen Rahmen für den Austausch der Zustandsdaten kann der Sektor nur selbst schaffen. Die Forschung kann aber Vorschläge erarbeiten, mit welchen – vertraglich gesetzten – Beschränkungen sich der Nutzen und die Risiken des Datenaustausches typischerweise gut austarieren lassen. Darüber hinaus bedarf es einer technischen Infrastruktur, welche diese Begrenzungen absichert und so ggf. fehlendes Vertrauen zwischen den Beteiligten ersetzt. Mit beidem beschäftigt sich das DZSF-Projekt „Konzept einer Datenplattform für PM-Anwendungen im Schienenverkehr“.

Schließlich besteht auch auf der Seite der Technik weiterer Forschungsbedarf. Das betrifft zum einen die sensorische Ausrüstung aller Fahrzeuge des Schienenverkehrs, d. h. Reisezugwagen, Triebzüge und Lokomotiven. Zum anderen müssen effiziente Auswertemethoden für die Diagnose und Prognose der Komponentenzustände (weiter-)entwickelt und – im Hinblick auf das Sicherheitsmanagement – deren Zuverlässigkeit nachgewiesen

werden. Erst dann dürfen die starren Fristen der Instandhaltung aufgelöst werden. Das DZSF-Projekt „Diagnose und Prognose für das Instandhaltungsmanagement im Schienenverkehr“ bewertet dazu die Methoden im Hinblick auf deren Anwendbarkeit im Schienenverkehr. ●

#### Literatur

V. Hinüber, Edgar L., Schild, Raoul R., Schischkoff, Max, Peche, Florian, Specht-Riemenschneider, Louisa & Hagenlocher, Stefan (2022). Mindestausrüstung von Güterwagen: Effektives und wirtschaftliches Condition Monitoring für zustandsorientierte Instandhaltung. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 26. <https://doi.org/10.48755/dzsf.220009.01>

#### Summary

#### Condition monitoring of cargo vehicles – technical and legal aspects

Condition monitoring is the basis for digitization and further development of maintenance of rail vehicles. A research consortium systematically examined the condition recording of cargo vehicles and developed technically useful allover concepts. But, may or even must recorded data be shared? A legal expertise shows rights and obligations for data exchange in the rail cargo transport.



**Automatische Bremsprobe:  
Jetzt verfügbar für den  
operativen Einsatz**

**PJM**

**- Digitaler  
Schienengüterverkehr  
- Akkreditierte Prüfstelle  
ISO/IEC 17025  
- Engineering**

**Transport Logistic 2023  
Halle B6 / 11**

PJ Messtechnik GmbH  
PJ Monitoring GmbH  
[www.pjm.co.at](http://www.pjm.co.at)



**Weltweite Systemlösungen  
für den Schienenverkehr**