

Güterwagen 4.0

Die nachhaltige Alternative zum autonomen Lastwagen

Prof. Dr. Raphael Pfaff, Lehrgebiet Schienenfahrzeugtechnik, und **Prof. Dr.-Ing. Manfred Enning**, Lehrgebiet Bahnsystemtechnik, beide FH Aachen

Im vergangenen Oktober gelang der über-Tochter OTTO erstmalig eine Lieferung mit einem Lkw, der die Autobahnanteile der Fahrt autonom zurücklegte.^[1] Weltweit investieren unterschiedliche Marktteilnehmer riesige Summen in die entsprechenden Technologien. Während autonomes Fahren den Straßengüterverkehr gegenüber der Schiene durch den Entfall der Lohnkosten attraktiver machen wird, bleiben doch Probleme wie Flächen- und Energieverbrauch sowie Emissionen ungelöst. Hier kann der Schienengüterverkehr sich nachhaltiger präsentieren, darf sich aber nicht abhängen lassen.



Der erste autonom fahrende LKW mit Straßenzulassung von Daimler: Der Schienengüterverkehr darf beim Thema Automatisierung den Anschluss nicht verpassen

Foto: Daimler

Eine Technologie gilt dann als disruptiv, wenn sie das Potenzial besitzt, bestehende Märkte innerhalb eines kurzen Zeitraums grundlegend zu verändern. Beispielsweise kann autonomes Fahren auf der Straße sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr Anwender von der Schiene abbringen. Es ist daher für etablierte Marktteilnehmer unerlässlich, die derzeitigen Entwicklungen zu beobachten und Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der eigenen relativen Attraktivität zu verfolgen oder zu versuchen, die Technologien in den eigenen Märkten nutzbar zu machen. In vielen Fällen bedarf es einer reifenden grundlegenden Technologie, eines sogenannten Enablers, um die neue Anwendung zu ermöglichen.

Technologische Basis Güterwagen 4.0

Die derzeit im Güterwagen verbaute Technik entstammt überwiegend den 1950er und 1960er Jahren. Immer wieder wurden zentrale Initiativen wie die zur Einführung einer automatischen Kupplung lanciert. Diese konnten sich in der Regel aufgrund der hohen Kosten ohne direkten Rückfluss an die Wagenhalter nicht durchsetzen. Im Vergleich hierzu hat ein Lkw eine gewöhnliche Nutzungsdauer von weniger als zehn Jahren und weniger Einschränkungen durch Interoperabilität, es lässt sich also feststellen, dass die europäische Lkw-Flotte technologisch deutlich fortgeschritten ist.

Um einen Güterwagen von heute zu einem Güterwagen 4.0 (GW40) zu machen, bedarf es einiger technischer Grundvoraussetzungen. Zwei Prämissen standen bei der Entwicklung des Konzepts für den GW40 im Vordergrund:

- Die Investition in GW40 soll an jeder Stelle in der Wertschöpfungskette des Schienengüterverkehrs (Wagenhalter, Versender, Eisenbahnverkehrsunternehmen, Eisenbahninfrastrukturunternehmen) für Nutzen sorgen, eine Investition also durch entsprechenden Rückfluss betriebswirtschaftlich sinnvoll sein. An keiner Stelle darf die vorerst teilweise Einführung des GW40 zu Mehrkosten führen.
- Offenheit der Hard- und Software sowie umfangreiche Standardisierung der Schnittstellen soll, anders als häufig im Eisenbahnbereich zu beobachten, die Marktschranken für Unternehmen niedrig halten. Das hilft, kostengünstige Lösungen zu beschaffen, von Parallelentwicklungen anderer Industrien zu profitieren und ermöglicht neue Geschäftsmodelle.

Energieversorgung

Das Fehlen elektrischer Energie mit ausreichender Leistung für Kommunikations- und Rechneranwendungen ist eines der grundlegenden Hindernisse für Innovationen im Schienengüterverkehr und wäre so in nahezu keiner Branche mehr denkbar. Da die Nutzung der Zugsammelschiene immer wieder verworfen wurde, beinhaltet das Konzept des GW40 die Nutzung eines Radsatzgenerators mit lokalem Energiespeicher.

Insbesondere die Speichertechnologien, aber auch die notwendige Elektronik, haben in den letzten Jahren einen erheblichen Fortschritt erlebt. Dadurch kann die notwendige elektrische

Energie in einem kostengünstigen, leichten Speicher mit einer hohen Kapazität gespeichert und bereitgestellt werden.

Kommunikation

Ein mobiles Asset vom Wert eines Güterwagens ohne Monitoring von Zustand oder Ort zu betreiben erscheint nicht zeitgemäß. Darauf reagieren bereits heute spezifische Telematiksysteme. Der GW40 wird jedoch zur Nutzung seiner Fähigkeiten eine Kommunikation in mehreren Ebenen benötigen:

- Innerhalb des Wagens zu Sensoren und Aktoren über offene Bussysteme sowohl drähtig als auch drahtlos
- Zur Ladung
- Innerhalb des Zugverbands, beispielsweise zur Zugtaufe, Bremsprobe, Nutzung der es-Bremse oder Selbstkonfiguration der Wagen
- Zur Cloud durch eine Datenverbindung jedes Wagens über 4G- und in Zukunft 5G-Netzwerke, zur Sammlung von Zustandsdaten sowie zur Konfiguration einzelner Funktionen des Wagens
- Zum lokalen Anwender im Rangierbetrieb, in der Werkstatt oder beim Verladen über Nahbereichskommunikation wie Bluetooth oder NFC.

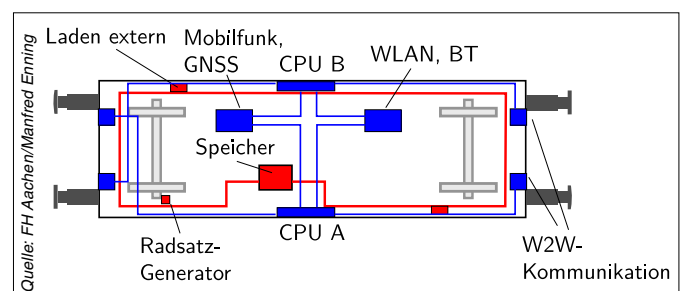
Sensoren und Aktoren

Im Rahmen des Wagennetzwerkes können Sensoren und Aktoren an den Datenbus und die Energieversorgung angeschlossen werden. Die entsprechenden Verbindungen sollen in Form und Ausführung standardisiert werden, um so die Nachrüstung von Funktionen zu ermöglichen. Ebenso wird eine Mindestfunktionalität des GW40 definiert, die entsprechend der Anwendung des Wagens erweitert werden kann. Beispiele für eine anwendungsorientierte Erweiterung des Funktionsumfangs können zum Beispiel Antriebe für Öffnungen oder Sensoren für den Zustand der Ladung. Die Ausstattung des jeweiligen Wagens ist im Datensatz zum Wagen beschrieben.

Betriebssystem und Cloud

Der GW40 nutzt ein offenes, erweiterbares Betriebssystem sowie eine Cloud-Repräsentation, die offene Standards nutzt und ebenfalls, zum Beispiel durch Nutzung einer NoSQL-Datenbank, erweiterbar bleibt. Das offene Betriebssystem

Hardware-Ausstattung des GW40



Autonomes Fahren

Zu den derzeit am meisten beachteten technologischen Entwicklungen gehört sicherlich das (teil-)autonome Fahren von Straßenfahrzeugen. Es werden Milliarden in die Entwicklung der eigentlichen Fahrzeuge investiert, Zulieferer entsprechender Sensorik gewinnen enorm an Wert. Der Lösungsansatz der beteiligten Unternehmen liegt derzeit vorwiegend darin, mittels Sensorwerten und Kamerabildern neuronale Netze in Deep-Learning-Ansätzen zu trainieren, die komplexen Situationen im Straßenverkehr zu beherrschen. Als Enabler des autonomen Fahrens sind die jüngeren Entwicklungen im Bereich künstlicher Intelligenz sowie die Verfügbarkeit entsprechender Rechnerleistung zu sehen.

Internet der Dinge

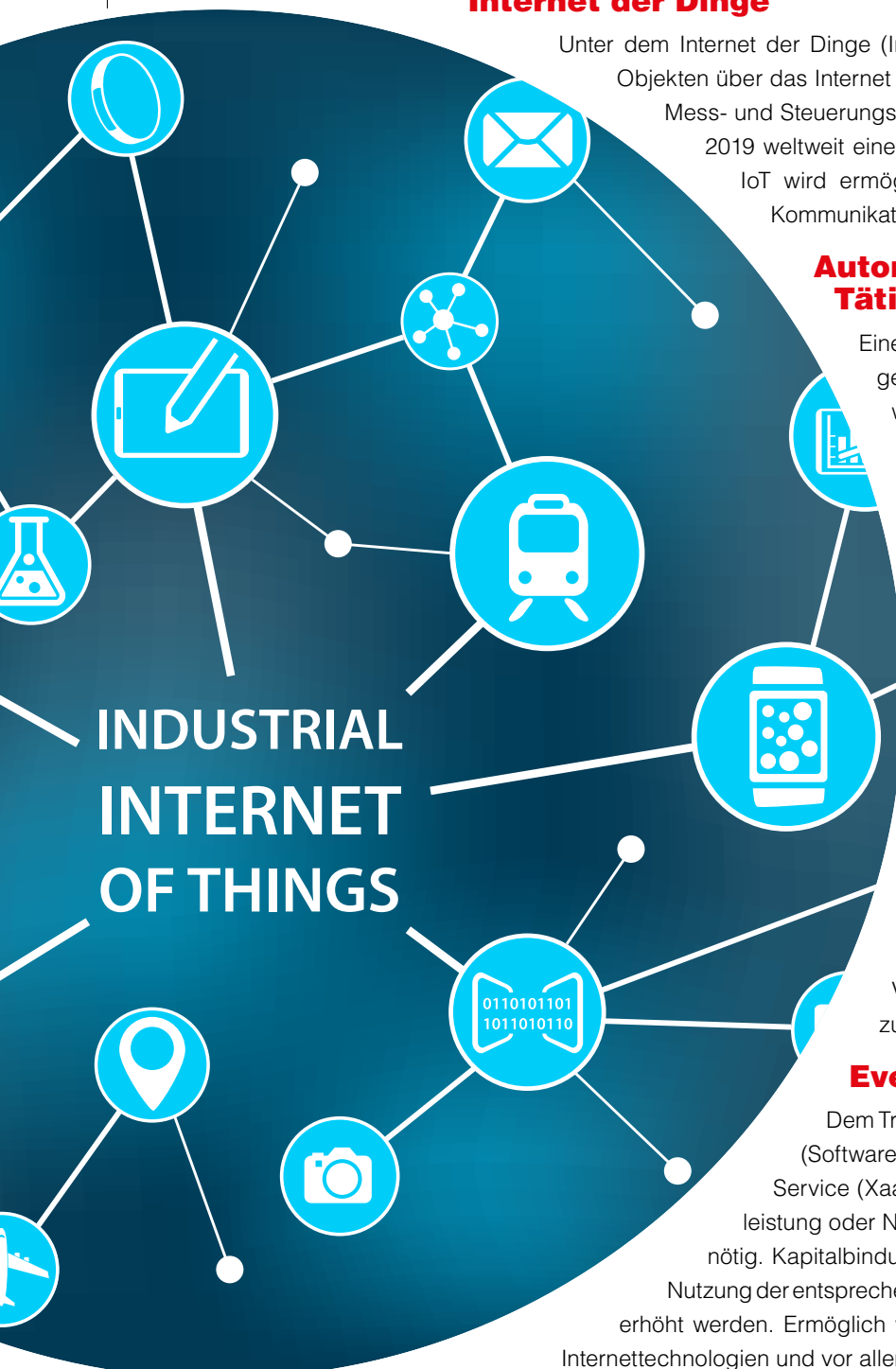
Unter dem Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) wird die Verbindung von Objekten über das Internet verstanden. Es lassen sich auf diese Art verteilte Mess- und Steuerungsaufgaben lösen. Dem IoT wird zugetraut, im Jahr 2019 weltweit einen Umsatz von 1,7 Billionen zu generieren.^[2] Das IoT wird ermöglicht durch die Verfügbarkeit kostengünstiger Kommunikation und entsprechender Hardware.

Automatisierung wissensbasierter Tätigkeiten

Eine disruptive Technologie mit sehr weitreichenden gesellschaftlichen Folgen ist die Automatisierung wissensbasierter Tätigkeiten. Die Tätigkeiten müssen nicht wie in der Vergangenheit stark formalisiert und repetitiver Natur sein. Durch die Anwendung von Deep Learning und verwandten Techniken aus dem Bereich maschinelles Lernen (ML) können Aufgaben außerhalb klassischer Industrieautomatisierung, wie zum Beispiel die Prüfung von Finanzierungsanträgen, zu einem großen Teil automatisiert bearbeitet werden. Während eine zunehmende Automatisierung manueller Tätigkeiten zu einem Wegfall von Arbeitsplätzen führt, so ist sie doch aus Sicht der Sicherheit und der Wettbewerbsfähigkeit attraktiv beziehungsweise unumgänglich. Enabler der Automatisierung wissensbasierter Tätigkeiten sind das Vorhandensein elektronisch verfügbarer Daten über die zu automatisierenden Vorgänge sowie die Nutzung von Big Data-Ansätzen zur Gewinnung von Einsichten aus den Daten.

Everything as a Service

Dem Trend zur nutzungsgerechten Zahlung von Software (Software as a Service, SaaS) schließt sich Everything as a Service (XaaS) an. Hierbei wird vom Kunden für eine Dienstleistung oder Nutzung gezahlt, ein Erwerb des Systems ist nicht nötig. Kapitalbindung und Risiken können so reduziert werden, die Nutzung der entsprechenden Systeme kann durch Bündelung von Nutzern erhöht werden. Ermöglicht wird XaaS überwiegend durch (fortgeschrittene) Internettechnologien und vor allem das mobile Internet.



Quelle: Fotolia – iconimage

WagonOS ermöglicht die Implementation von Zusatzfunktionen, die, eventuell gemeinsam mit der benötigten Hardware, vergleichbar mit Apps nachträglich und auch vorübergehend benötigt werden. Auch die offenen Standards der Cloud für den GW40 ermöglichen die Erweiterung für bestimmte Funktionen. In beiden Bereichen wird die Sicherheit kritischer Funktionen trotz offener Ergänzungen durch geschützte Bereiche (Sandboxes) gewährleistet. Durch die angestrebte Offenheit wird das Umfeld für Entwickler und XaaS-Anbieter zugänglich.

Nutzen und Anwendungsbeispiele

Bisherige Ansätze, die Technologie des Güterwagens zu aktualisieren, wie zum Beispiel im Bereich automatische Kupplung, sollten top-down eingeführt werden, das heißt, durch zentrale Vorgaben und mit staatlichen Mitteln finanziert. Aufgrund der Privatisierung sowie der schlechten Erfahrungen der Vergangenheit ist im Konzept des GW40 ein bottom-up-Ansatz vorgesehen. Dazu wird jede vorgeschlagene technologische Erweiterung mit entsprechenden Einsparungen im Betrieb motiviert. Hierbei ist ebenfalls zu beachten, dass die Einsparungen an der richtigen Stelle der Wertschöpfung realisiert werden, um Investitionsanreize zu geben.

Adhoc-Zugvorbereitung

Zwischen Sender und Empfänger wird ein Güterzug mindestens einmal, typischerweise aber häufiger, umgestellt und aus Wagen verschiedener Richtungen ein neuer Zug gebildet. An diesem Zug muss vor Abfahrt sowie alle 24 Stunden eine vollständige Bremsprobe sowie die technische Wagenbehandlung durchgeführt werden. Die vollständige Zugvorbereitung einschließlich Bremsprobe mit Zustandsgang dauert je nach Zuglänge bis zu 2 Stunden. Sie wird zu allen Tages- und Nachtzeiten und bei jeder Witterung durchgeführt, dabei gehen Durchführende bis zu dreimal die gesamte Zuglänge ab. Die Bremsprobe wie auch die Bremsberechnung sind für Triebfahrzeuge bereits automatisiert. Mit der grundlegenden Hardware, wie sie der GW40 mitbringt, sind ähnliche Ansätze auch für Güterzüge möglich. Damit kann einer der Hauptgründe für die Durchführung der Bremsprobe durch menschliche Bediener entfallen.

Im Rahmen der Zugvorbereitung wird ebenfalls die technische Wagenbehandlung durchgeführt. Sie unterscheidet sich von der Bremsprobe dadurch, dass keine geschlossene Beschreibung des Prüfumfanges beziehungsweise der Prüfschritte vorliegt oder erstellt werden kann. Hier liegt anstelle einer klassischen Messung mit Zustandsbeurteilung wie bei der Bremsprobe eine potenzielle Anwendung des maschinellen Lernens vor. Um diese Anwendung möglich zu machen, müssen Daten über verschiedene Zustände der Güterwagen gesammelt werden und diese zu Trainingszwecken von erfahrenen Bedienern beurteilt werden. Im Rahmen einer Sicherheitsbetrachtung können so anfangs Inspektionszyklen durch menschliche Bediener zunächst verlängert werden und später für viele Anwendungen entfallen. Eine Beschreibung der Sensoren sowie der Daten-Pipeline für Condition Monitoring enthält^[3]. In Verbindung mit dem pneumatischen System des GW40, wie es schon beschrieben wurde^[4], lässt sich ein Zug, der in einer Richtungsgruppe steht, innerhalb weniger Minuten nach dem Kuppeln der Wagen fahren. Die positiven wirtschaftlichen Effekte

sind daher beim Eisenbahnverkehrsunternehmen (geringere Lohnkosten), Infrastrukturbetreiber (bessere Ausnutzung der Infrastruktur im Rangierbahnhof) sowie beim Versender durch Senkung der Kosten und Laufzeiten zu sehen.^[5]

Anbindung an Industrie 4.0

Während der Nutzen des GW40 im Hauptlauf und im Rangierbahnhof naturgemäß vorwiegend dem Eisenbahnverkehrsunternehmen und dem Infrastrukturbetreiber zugutekommt, hat ein smarter Güterwagen auch auf der letzten Meile und an der Lade- stelle erhebliches Potenzial zu Kostensenkungen. Die deutsche Industrie entwickelt sich derzeit zunehmend weiter zur Industrie 4.0. Damit ist eine umfangreiche Vernetzung von Produktions- und Logistikanlagen zu erwarten. Diese Anlagen werden dann teilweise autonom und selbstkonfigurierend produzieren. Hier bietet sich ein in abgeschlossenen Bereichen zu autonomem Betrieb fähiger Güterwagen als Fortsetzung eines vernetzten fahrerlosen Transportsystems auf den Werksgleise an.^[6]

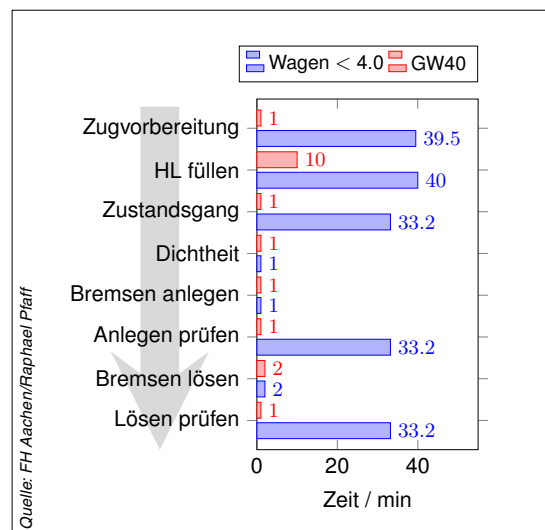
Die effiziente Einbindung der Güterwagen in die Produktion kann die Versandkosten senken, insbesondere da ein angetriebener, autonomer Güterwagen Investitionen in Rangiermittel unnötig macht. Weiterhin sorgt die nahtlose Integration für eine steigende Akzeptanz des Schienengüterverkehrs bei den Versendern.

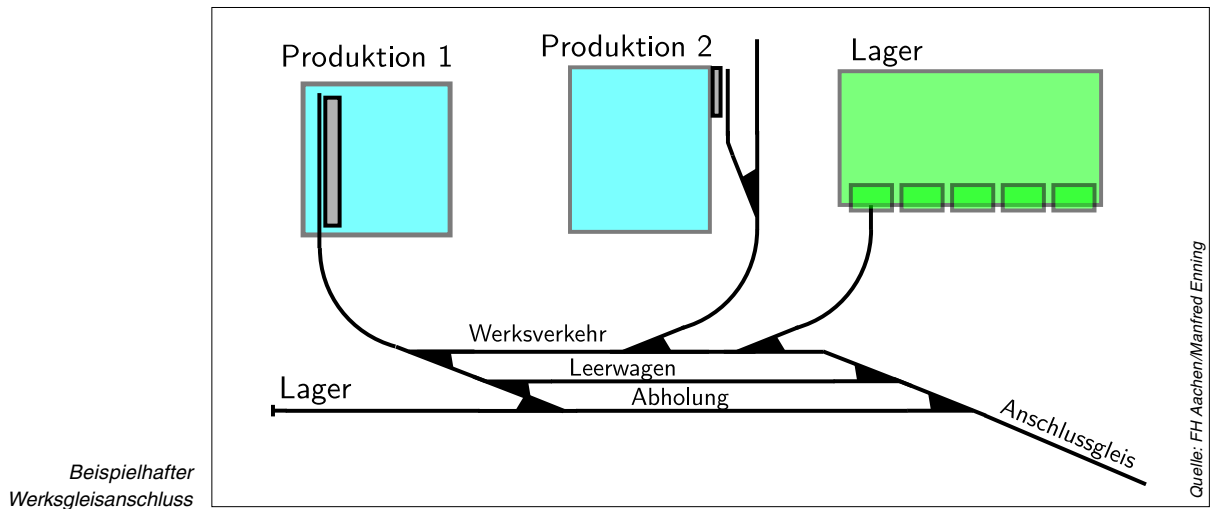
Betrieb von Güterzügen unter ETCS

Für den Betrieb unter dem europäischen Zugbeeinflussungssystem ETCS Level 3 ist zum einen die Überwachung der Zugintegrität nötig, zum anderen muss das Bremsvermögen mittels Bremskurven statt Bremsgewichten modelliert werden. Mittels der konstanten Stromversorgung und des Funk-Zugbus ist eine Überwachung der Abstände an den Kuppelstellen möglich, sodass die Integrität des Zuges hinreichend dicht überwacht werden kann.

Die Darstellung des Bremsvermögens in Form von Bremskurven ist derzeit von der Europäischen Eisenbahngagentur durch

Zeitersparnis in der Zugvorbereitung mit GW40





Umrechnung aus den Bremsgewichten vorgesehen.^[7] Hierzu wurden Vergleiche mit bestehenden Zügen herangezogen. Dieses Vorgehen ist nötig, da Güterzüge im Gegensatz zu Triebzügen nicht in einer überschaubaren Anzahl an Konfigurationen verkehren. Die Bremskurven für Triebzüge werden durch Monte-Carlo-Simulationen im Voraus ermittelt, durch die hohe Anzahl an möglichen Güterzügen ist die Bestimmung im Voraus nicht möglich.

Es ist jedoch zu erwarten, dass die Umrechnung von Bremsgewichten in Bremskurven mittels Korrekturfaktoren für gewisse Güterzüge zu einem zu konservativen Ergebnis kommt. Der Algorithmus (siehe^[8]) nutzt die Bremsverzögerung der einzelnen GW40, um eine stets aktualisierte Bremskurve bereitzuhalten. Diese kann im Rahmen der Zugvorbereitung im GW40-Zug automatisch in eine Bremskurve für die ETCS-Onboard-Unit umgerechnet werden.

Diese Anwendung bietet insbesondere Eisenbahnverkehrsunternehmen und Infrastrukturunternehmen Nutzen durch die bessere Ausnutzung der Infrastruktur beziehungsweise eine Erhöhung der Geschwindigkeit des Zuges. Auch der Wagenhalter profitiert von dieser und anderen Anwendungen, die den Zustand der Wagen überwachen, durch reduzierte Instandhaltungskosten und höhere Verfügbarkeit.

Zusammenfassung und Ausblick

Der Güterwagen 4.0 bietet einen bottom-up-Ansatz für Innovationen im Güterwagen. Dieser Ansatz wurde und wird in umfangreichen Gesprächen mit Versendern, Wagenhaltern, Eisenbahnverkehrsunternehmen und Infrastrukturunternehmen unter Beachtung der Anwendungsfälle, Herausforderungen und Geschäftsmodelle abgeleitet. Bereits auf der InnoTrans 2016 hat die FH Aachen einen Demonstrator zur Zugtaufe präsentiert. Derzeit wird an weiteren Demonstratoren gearbeitet, diese sollen das WagonOS und die Kommunikation zwischen den GW40, dem Anwender und der Cloud sowie das Bremssystem zeigen. ■

Lesen Sie auch

Digitalisierung der Güterwagen
Deine Bahn 8/2017, ab S. 22

Auf dem Weg zur Güterbahn 4.0
Deine Bahn 9/2016, ab S. 30

Big-Data-Strategie für den Schienengüterverkehr
Deine Bahn 9/2016, ab S. 40

Daten in der Cloud – und dann?
Deine Bahn 6/2016, ab S. 50

Quellen

- [1] Uber Self driving Truck makes first delivery: 50000 beers, Wired Magazine, 25.10.16, www.wired.com/2016/10/ubers-self-driving-truck-makes-first-delivery-50000-beers/.
- [2] HKExnews. (n.d.). Size of the global Internet of Things (IoT) market from 2009 to 2019. In Statista - The Statistics Portal. <https://www.statista.com/statistics/485136/global-internet-of-things-market-size/>.
- [3] Pfaff, Raphael, Parham Shahidi, and Manfred Enning. „Connected freight rail rolling stock: a modular approach integrating sensors, actors and cyber physical systems for operational advantages and condition based maintenance.“, Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management Society 2017, Jeju, Korea.
- [4] Pfaff, R., Schmidt, B. and Enning, M., „Towards inclusion of the freight rail system in the industrial internet of things-Wagon 4.0“, IMechE Stephenson Conference 2017, London, UK.
- [5] Enning, M., Pfaff, R. „Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept.“ ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 1–2/66, 12–16.
- [6] Enning, M., Pfaff, R. „Güterwagen 4.0 – Mehr als nur technischer Fortschritt“, Privatbahn Magazin 2/2017, 3–8.
- [7] Hougardy, A., „Introduction to ETCS Braking Curves“, European Railway Agency, Technical Report, 2016.
- [8] Pfaff, R., „Analysis of Big Data Streams to obtain Braking Reliability Information for Train Protection systems“, Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management Society 2017, Jeju, Korea.