

Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge

Teil 2: Ausgewählte technische Aspekte und Prozesse

Automatisches und autonomes Fahren ist im Straßen- wie im Schienenverkehr in aller Munde. Der Automatisierung der Nebenprozesse, insbesondere im Schienengüterverkehr, wird dabei weniger Aufmerksamkeit gewidmet. Wir zeigen eine Eintwicklungs-Roadmap und Ideen zur Umsetzung ausgewählter Aspekte.

EINLEITUNG

Im ersten Teil des Beitrags über das Konzept „Güterwagen 4.0“ [1] wurde das wirtschaftliche Umfeld diskutiert, das den Güterwagen 4.0 notwendig macht. Erste Anwendungsbeispiele wurden aufgezeigt, die auf den Betrieb an der Ladestelle und auf der „Letzten Meile“ fokussierten. Im zweiten Teil des Beitrags wird stärker auf die technischen Aspekte eingegangen und das vor allem für die Stärkung des Einzelwagenverkehrs bedeutsame Potenzial für einen effizienteren Betrieb von Zugbildungsanlagen diskutiert.

TECHNOLOGIE-ROADMAP

Den Güterwagen als Objekt im Internet der Dinge zu betrachten hat als Fernziel die Automatisierung aller Prozesse im Schienengüterverkehr. In Bild 1 ist dargestellt, welche Entwicklungsschritte dazu notwendig sind.

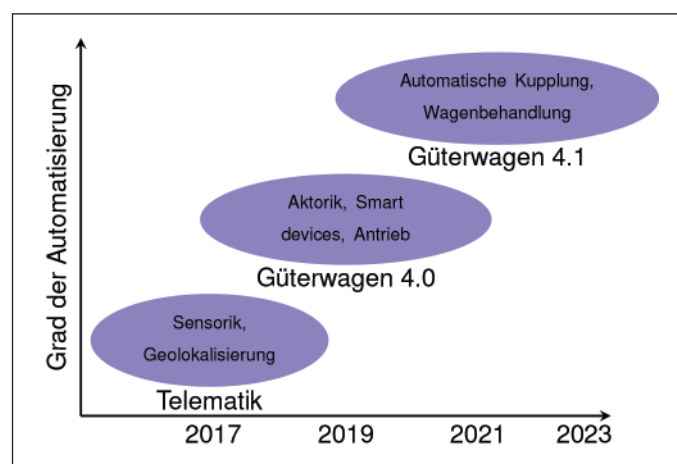


BILD 1: Technologie-Roadmap für die Vollautomatisierung aller Prozesse im Güterverkehr

(Quelle: eigene Darstellung, Pfaff)

HEUTE – TELEMATIK AM GÜTERWAGEN

Die Ausrüstung von Güterwagen mit Telematik-Systemen nimmt derzeit zu [2]. Innerhalb weniger Jahre wird die Mehrzahl der produktiv eingesetzten Wagen über eine Telematik-Grundausstattung verfügen. Aufgrund eingeschränkter Energieversorgung können Daten nicht mit hoher Abtastrate aufgenommen werden, auch die regelmäßige bidirektionale Übermittlung von Daten und Zuständen ist nicht möglich. Damit kann bei den derzeit am Markt befindlichen Telematik-Systemen nicht von einer Anbindung an das Internet der Dinge (Internet of Things, IoT) gesprochen werden.

MORGEN – GÜTERWAGEN 4.0

Der Güterwagen 4.0 (GW40) erweitert die Telematikfähigkeiten um eine Aktorik sämtlicher heute handbedienter Fahrzeugfunktionen. Das erfordert Energie, die durch Radsatzgeneratoren bereitgestellt werden



Professor Dr. Raphael Pfaff
Lehrgebiet Schienenfahrzeug-
technik der FH Aachen
Pfaff@fh-aachen.de



Professor Dr.-Ing. Manfred Enning
Lehrgebiet Bahnsystemtechnik
der FH Aachen
Enning@fh-aachen.de

kann. Gleichzeitig ist die Energieverfügbarkeit auch der Schlüssel zur Erweiterung der Telematikfähigkeiten in Richtung Echtzeit-Zug-Monitoring.

Erste Schritte im Bereich Echtzeit-Monitoring sind beim 5L-Zug der SBB zu beobachten, hier wird dank Stromversorgung durch Radsatzgeneratoren eine große Menge von Daten und Zuständen mit hoher Abtastrate erfasst [3].

Beim GW40 werden mit Hilfe der Wagen-zu-Wagen-Kommunikation intelligente Wangengruppen gebildet, die ihre Zugreihung automatisch ermitteln und Einstell- und Kontrollaufgaben weitgehend selbständig durchführen. Für viele Einsatzbereiche wird es außerdem zweckmäßig sein, die Fähigkeiten durch einfache Rangierantriebe zu erweitern.

KOMMUNIKATION UND DIGITALE IDENTITÄT

Die Grundstruktur des IT-Systems des GW40 (Bild 2) entspricht einer klassischen Automatisierungslösung. Ein oder zwei zentrale Rechenknoten kommunizieren mit allen

Sensoren und Aktoren auf dem Wagen und bedienen die Kommunikationsschnittstellen.

Das Ziel Zugautomatisierung erfordert eine Zugtaufe und eine sichere Kommunikation entlang des Zuges. Der derzeit diskutierte Ansatz geht von folgenden Annahmen bezüglich der Einflussnahme auf sicherheitskritische Funktionen aus:

- Die Zugautomatisierung muss unabhängig vom Mobilfunknetz verfügbar sein
- Das System Güterzug 4.0 muss datentechnisch so geschlossen wie irgend möglich sein, um Hackerangriffen einen maximalen Widerstand entgegenzusetzen.

Für nicht sicherheitsrelevante Funktionen und das Verfügbarmachen von Wageninformationen an autorisierte Nutzer ist die Verwendung des Mobilfunknetzes und der Cloud dagegen zwingend. Es muss aber eine klare Trennung zwischen den verschiedenen Sicherheitsebenen gewährleistet sein.

Aus funktionaler Sicht sind folgende Aufgaben durch ein Kommunikationssystem zu erfüllen:

- Feststellung der Zugreihung einschl. Orientierung der Wagen
- Kommunikation der Wagen untereinander und mit dem Triebfahrzeug
- Kommunikation mit Bedienenden am Gleis
- Kommunikation mit Webservern (Cloud)
- Geolokalisierung.

Um über die Zugautomatisierung im zentral gesteuerten Bahnsystem hinaus die Integration in Produktionssysteme der Industrie 4.0 zu gewährleisten, benötigt ein GW40 ein Abbild in der Cloud, der ihn zum Cyber Physical System macht. Die Datenrepräsentation muss ebenfalls den oben beschriebenen Spagat zwischen Offenheit und Zugänglichkeit sowie Sicherheitsbedürfnis schaffen.

Eine weitere zentrale Komponente ist das WagonOS, ein Betriebssystem für den Güterwagen. Derzeit befinden sich in einem mit Telematik ausgestatteten Güterwagen bereits ein oder mehrere Rechner, die jedoch zum großen Teil nicht miteinander kommunizieren und auch abschließlich vom Hersteller erweitert werden können. Das offene Betriebssystem des GW40, das für die Anwender vergleichbar mit Apps für Mobiltelefone eine Erweiterbarkeit ermöglicht, bietet kürzere Innovationszyklen sowie neue Geschäftsmodelle.

Die Energieversorgung des GW40 erfolgt aufgrund des im Vergleich mit bestehenden Telematiksystemen höheren Energiever-

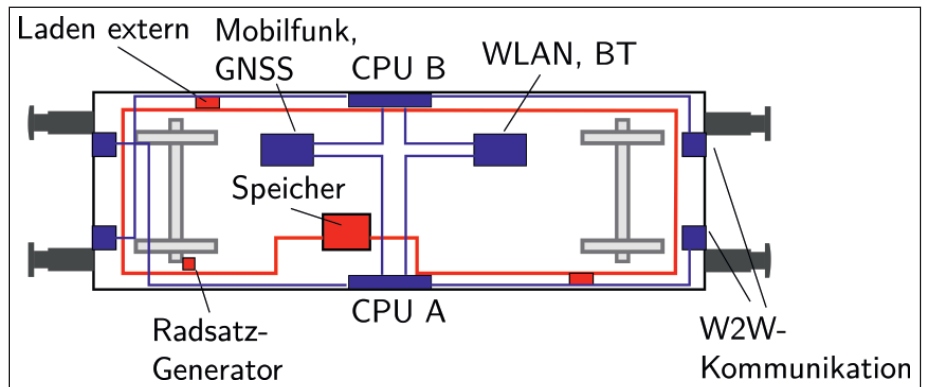


BILD 2: Grundkonzept des Güterwagen 4.0 (ohne Antrieb) (Quelle: eigene Darstellung, Enning)

brauchs durch Radsatzgeneratoren. Nach Herstellerangaben sind 200 bis 250 W pro Generator ohne Probleme möglich, so dass unter der Voraussetzung eines üblichen Einsatzprofils die Versorgung mit Energie für die Aktorik (ohne Antrieb) bereits mit einem einzelnen Generator sicherzustellen wäre.

Um die bei Fahrt mit Streckengeschwindigkeit verfügbare Leistung im Stillstand und bei langsamer Fahrt nutzen zu können, muss Energie in Akkumulatoren zwischengespeichert werden. Eine erste Abschätzung ergibt, dass für die Aktorik, Datenverarbeitung und Kommunikation ein Energievorrat von weniger als 200 Wh ausreichend sein wird.

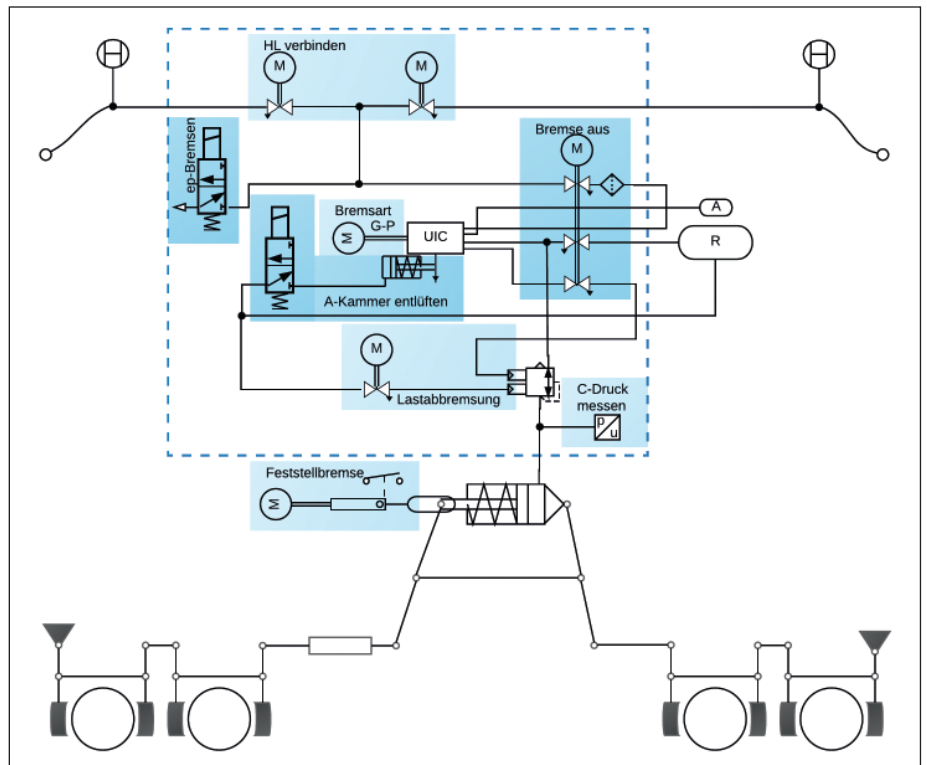
Um einen länger abgestellten Wagen laden zu können, ist als weitere Quelle eine Fremdeinspeisung vorzusehen. Für diese Schnittstelle und für die Schnittstellen zu

den Verbrauchern ist eine umfassende Standardisierung notwendig, um den Markt für viele Anbieter zu öffnen.

AKTORIK UND BEDIENKONZEPT

Das Ziel der Entwicklung des GW40 ist ein Betrieb ohne manuelle Bedienhandlungen am Wagen. Im Einzelwagenverkehr wird die Erreichung dieses Zieles eine lange Phase der Marktdurchdringung erfordern, in der der Nutzen an der Ladestelle und auf der letzten Meile so groß ist, dass es im Hauptlauf und in den Zugbildungsanlagen genügt, wenn die GW40 den Betrieb nicht stören. Eine Migration kann daher nur erfolgreich sein, wenn sich die Bedienung des Wagens weitgehend an den Prozeduren orientiert, die im Bahn- »

BILD 3: UIC-kompatible Druckluftbremse des Güterwagen 4.0 (Quelle: eigene Darstellung, Pfaff)



betrieb heute üblich und in Regelwerken vorgeschrieben sind.

Trotz der notwendigen und zu berücksichtigenden Migration sieht das Konzept des GW40 einen vollständigen Entfall der Umstellereinrichtungen vor. Für eine Vor-Ort-Bedienung wird ein intuitives Bedienkonzept unter Nutzung von Smart Devices (Smartphone, Tablet, Wearable) realisiert. Jede Bedienhandlung kann nur bei Vorliegen einer entsprechenden Autorisierung vorgenommen werden.

Zur Zustandsbeobachtung des GW40 werden Informationen über den Zustand des Wagens ausschließlich mit Hilfe von Sensoren generiert, die sicher ausgewertet und verknüpft werden.

Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit, den sicheren Zustand eines Zuges ohne weiteres Personal oder technische Einrichtung festzustellen. Darüber hinaus kann für einen vollautomatisierten Betrieb auch das Zugschlussignal (eine elektrische Leuchte) automatisch gesetzt bzw. entfernt werden.

Ein Vorschlag für die Umsetzung der Aktorik als Ergänzung der pneumatischen Bremse nach UIC zeigt Bild 3.

RANGIERANTRIEB

Im ersten Teil des Beitrags wird das Konzept einer bahnintegrierten Werkslogistik vorgestellt. Dieses – und weitere potenzielle Anwendungen von GW40 – erfordern die Fähigkeit des Wagens, sich mit beschränkter Geschwindigkeit autark zu bewegen. Der im Projekt verfolgte Ansatz ist, jeweils einen Radsatz eines Wagens mit einem vollständig entkoppelbaren elektromechanischen Antriebssystem auszustatten. Es genügt eine Leistung von weniger als 20 kW und für übliche Fahrzyklen wird eine Energiemenge von 5 – 10 kWh ausreichen. Zwei Konzepte für den Antrieb erscheinen Erfolg versprechend:

- Getriebemotor und Riementrieb (Bild 4)
- Reibradantrieb auf eine Radoberfläche (Bild 5).

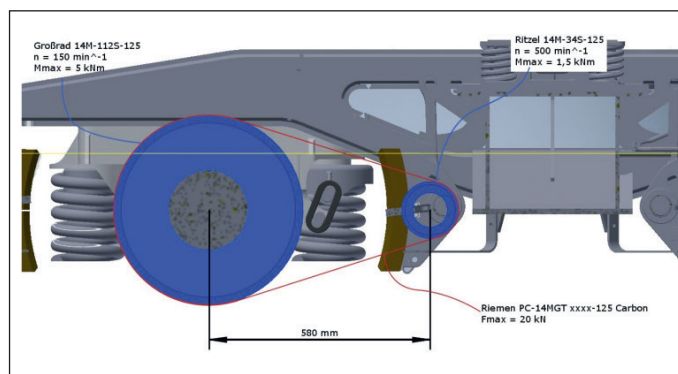


BILD 4: Rangierantrieb mittels Riemen
(Quelle: Kuhlmann)

Da der Energie- und Leistungsbedarf deutlich höher als derjenige des nicht angetriebenen GW40 ist, ist der Ansatz, ein angetriebenes und separat steuerbares Drehgestell zu realisieren, welches einen eigenen Generator und eine eigene Batterie besitzt. Die Einbindung dieses Moduls in die Steuerung des Güterwagens 4.0 soll plug&play erfolgen. Wenn ein solches Drehgestell im Netzwerk vorgefunden wird, konfiguriert sich das WagonOS automatisch als angetriebener Wagen. Damit kann eine Nachrüstung jederzeit erfolgen.

ÜBERMORGEN – DAS UPGRADE ZUR VOLLAUTOMATISIERUNG DER PROZESSE

Während der GW40 beim Versender und Halter erheblich zur Effizienzsteigerung beiträgt und über diese die Amortisation der nötigen Investitionen ermöglicht [4, 5], verbleiben beim EVU noch zwei Prozessschritte zur vollständigen Automatisierung:

- Mechanisches und pneumatisches Kuppeln und Entkuppeln
- Technische Wagenbehandlung (TWb) als Teil der Zugvorbereitung.

AUTOMATISCHE KUPPLUNG

Der GW40 ist durch die stattfindende Zugtaufe einschließlich Wagenorientierung und das Automatisierungsnetzwerk technisch so weit vorbereitet, dass eine automatische Kupplung (AK) als weiterer Aktor für das WagonOS erscheint.

Die Einführung des Güterwagens 4.0 wird dazu führen, dass hochwertige Ladungen mit hochwertigen Produktionsmitteln befördert werden. Im Einzelwagenverkehr werden Situationen auftreten, in denen die Mehrzahl oder sogar alle Wagen einer Relation eine entsprechende Ausstattung aufweisen – damit kann die AK ihren Nutzen optimal entfalten.

TECHNISCHE WAGENBEHANDLUNG

Die letzte verbleibende manuelle Tätigkeit nach Einführung der AK im Rahmen der Zugvorbereitung ist die technische Wagenbehandlung. Der GW40 unterstützt diese bereits durch die Bereitstellung der digitalen Identität, umfangreiche Sensorik und zeitgemäße User Interfaces (z.B. Augmented Reality und Wearables), so dass der Aufwand je TWb abnimmt und unnötige TWb vermieden werden.

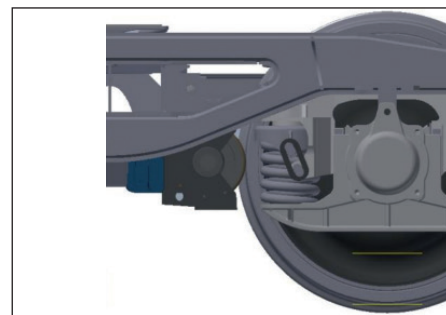
Die Rangiermitarbeitenden prüfen im Rahmen einer TWb Stufe 3 (vor der Zugfahrt) eine Vielzahl an Zuständen am Fahrzeug (z.B. Radsätze, Bremse, Zug-/Stoßeinrichtungen) aber auch an der Ladung (Dichtigkeit, Ladungssicherung, Maße, Gewichte). Aufgrund der Vielzahl an möglichen Kombinationen aus Wagen und Ladung, aber auch der Fehlerbilder, erfüllen die Tätigkeiten der Rangiermitarbeitenden die Kriterien an Wissensarbeit (Knowledge Work).

Automatisierung von Wissensarbeit muss nicht zwangsläufig bedeuten, dass kein menschlicher Operator in den Prozess einbezogen wird. Es können beispielsweise Kamerasysteme und volumetrische Scanner aber auch Big Data-Anwendung und Machine Learning zusätzlich zu den Sensoren des GW40 Teile des Aufgabenfeldes der TWb übernehmen.

Damit können die Rangiermitarbeitenden ihren Beitrag zur Wertschöpfung der Güterbahn erhöhen, was beispielsweise eine Überprüfung und Anpassung der Geschäftsprozesse beinhalten kann [6].

Die TWb ist für die heutige technische Ausrüstung der Güterwagen angemessen, jedoch kann auch sie keine absolute Fehlerfreiheit im Betrieb garantieren. Eine angepasste tWb mit technischer Fahrzeugdiagnose kann die Fehlerrate und den menschlichen Prüfaufwand reduzieren. Darüber hinaus kann sie Antworten auf die betrieblichen Fragestellungen von heute und morgen liefern, so z.B. kann die Lärmentwicklung der Fahrzeuge wie auch die Streuung der Bremswirkung (zur Definition

BILD 5: Rangierantrieb mittels Reibrad
(Quelle: Kuhlmann)



der ETCS-Bremskurven) nicht am stehenden Fahrzeug beurteilt werden.

EFFIZIENTE ZUGBILDUNGSPROZESSE

Um die Konkurrenzfähigkeit des Einzelwagenverkehrs zu steigern, muss sein Effizienzproblem gelöst werden. Für Wagenumstellungen wird in erheblichem Maße Zeit, menschliche Arbeitskraft und Infrastruktur benötigt. Zwischen einem Privatgleisanschluss (PGA) als Quelle und einem PGA als Ziel werden die Wagen in der Regel mindestens 4 mal umgestellt [7]. In den Knotenbahnhöfen und den zentralen Rangierbahnhöfen erfolgt dies meist über Ablaufberge, in der Peripherie dominieren weniger leistungsfähige Umsetz- oder (selten) Abstoßverfahren.

Während der Zugfahrten zwischen Bahnhöfen profitiert das EVU und der Wagenhalter von den Telematik-Fähigkeiten der Wagen, deren Nutzen vielfach beschrieben wurden. Auf der Strecke ist eine aktive Einflussnahme z.B. auf Zustände der Bremsventile technisch ausgeschlossen und der wesentliche Unterschied zwischen den inzwischen verbreiteten batteriebetriebenen Telematik-Systemen und GW40 besteht in der kontinuierlichen Kommunikationsfähigkeit. Es können zum einen direktere und schnellere Benachrichtigungswege bei Unregelmäßigkeiten realisiert werden, zum anderen besteht die Möglichkeit, unter gewissen Voraussetzungen den Zug permanent auf Vollständigkeit zu überwachen. Das wäre eine Vorbedingung, um langfristig ETCS Level 3 mit Verzicht auf infrastruktureitige Gleisbelegtmeldung realisieren zu können.

Der Nutzen des GW40 für die peripheren Rangierprozesse wird in [8] dargestellt. Im Folgenden wird beschrieben, wie man mit GW40 dem angestrebten Ziel der Vollautomatisierung der Zugbildungsanlagen näher kommt.

Entscheidend für Zeit- und Personalaufwand sind vor allem die Nebenprozesse bei der Vorbereitung zum Ablauf und der Zugfertigstellung. Hier kann der GW40 bereits hohen Nutzen stiften. Unter der Voraussetzung komplett ausgestatteter Züge (diese wird im Folgenden immer vorausgesetzt) ist eine Eingangsprüfung nicht notwendig. Bereits vor der Einfahrt des Zuges ist die weitere Behandlung klar und unmittelbar vor dem Abkuppeln der Streckenlok wird die Zerlegeliste in die Wagenliste geladen. Die Trennstellen werden dann wie folgt vorbereitet:

- Die HL-Endabspernhähne werden automatisch geschlossen und die Luftkupplung druckfrei gemacht
- Dieser Zustand wird an der Pufferbohle

und verbundenen Smart devices sowie Wearables angezeigt

- Die A-Kammer wird automatisch entlüftet und damit die Luftbremse gelöst

Als manuelle Tätigkeit verbleibt (bis zur Einführung der AK) das Trennen der Luft- und Schraubenkupplung.

Nach dem Ende des Ablaufs in ein Richtungsgleis werden die dort gesammelten Wagen zu einem neuen Zug gekuppelt und für die Ausfahrt vorbereitet. Die hier notwendigen Tätigkeiten kann der GW40 unterstützen bzw. ersetzen:

1. Schraubenkupplung und Luftkupplung verbinden, Endabspernhähne öffnen
 - Zwischen logisch gekuppelten Wagen sind die Endabspernhähne automatisch geöffnet
2. HL-Endabspernhahn am Zugschluss schließen
 - Automatisch am letzten Wagen gemäß Zugtaufe
3. Zugschluss tafeln stecken
 - Zugschluss signal automatisch am letzten Wagen gemäß Zugtaufe
4. Technische Wagenbehandlung
 - Durch Sensorik, Big Data und Machine Learning assistiertes Verfahren
5. Bremsstellung (G/P)
 - Durch kooperatives Verhalten der Wagen in einem Zug werden Zug- und Bremsgewichte sowie die Verteilung der Bremsstellung im Zug festgelegt.

Bleibt als letzter Punkt die Bremsprobe. Deren Automatisierung ist schon weit fortgeschritten und Systeme mehrerer Anbieter sind am Markt verfügbar. Hier geht es also nicht um die Frage, ob eine technische Prüfung der Durchgängigkeit der HL und der individuellen Funktion der Bremsen machbar und zulässig ist, sondern um die Frage, wie komfortabel dies geschieht. Im GW40 ist die Infrastruktur vorhanden, dies in einer integrierten Weise durch das WagonOS erledigen zu lassen.

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Zu den im ersten Beitrag erörterten technologischen Anforderungen an einen Güterwagen, der die Schnittstelle zur Industrie 4.0 optimal bedienen kann, wurde eine Roadmap der Technologien präsentiert. Zu den Technologien im ersten Innovationsschritt werden ausgewählte Lösungsansätze vorgestellt. Als letzte Hürde zur Vollautomatisierung der Prozesse im Schienengüterverkehr wurde die technische Wagenbehandlung identifiziert. Vergleichbare Probleme in an-

deren Branchen werden derzeit durch Ansätze zur Automatisierung von Wissensarbeit gelöst.

Die technischen Lösungen der ersten Stufe sollen möglichst bald in ein Entwicklungs- und Erprobungsprojekt münden, während die Arbeiten zur Vollautomatisierung der Nebenprozesse im Schienengüterverkehr teilweise grundlegenderer Forschungsansätze bedürfen. ◀

Literatur

- [1] Enning, M.; Pfaff, R. Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept. Eisenbahntechnische Rundschau, 1+2 2017: 12 - 16
- [2] VTG Aktiengesellschaft digitalisiert gesamte europäische Wagenflotte. <http://www.vtg.de/presse-events/pressemitteilungen/detail/news/35> – vtg – aktiengesellschaft-digitalisiert-gesamte-europaeische-wagenflotte/ (abgerufen am 01.03.2017)
- [3] König, R.; Hecht, M.; et. al.: White Paper Innovative Rail Freight Wagon 2030. Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS). 2012
- [4] Kuhlmann, M.; Schmidt, B. Vom Güterwagen 4.0 zum angetriebenen Güterwagen – Ein kleiner Schritt. Vortrag VDI-Expertenforum Automatisierung für Schienenverkehrssysteme – Der Weg zum Güterwagen 4.0, Aachen, 02.09.2016
- [5] Pfaff, R.; Enning, M.: WagonEcosystem: Zeitgemäße Automatisierung am Güterwagen. Bahntechnik Aktuell, 61 2016: 23 – 32
- [6] Chui, M.; Manyika, J.; Miremadi, M. Four fundamentals of workplace automation. McKinsey Quarterly, 2015: 1-9
- [7] Pacht, J. Systemtechnik des Schienenverkehrs. Vieweg + Teubner, Wiesbaden. 2011
- [8] Enning, M.; Pfaff, R.: Güterwagen 4.0 – Mehr als nur technischer Fortschritt. Privatbahn-Magazin 2/2017.

► SUMMARY

“Freight wagon 4.0” – the freight wagon for the internet of things Part 2: selected technical aspects and processes

The first contribution in the series on “the fourth revolution in freight wagons” dealt with the general economic conditions and the meaningful upgrading of freight wagons from the point of view of business economics. This article begins with a technology roadmap and goes on to present solutions for actuators, user interfaces and traction. It also discusses additions to be made to the “freight wagon 4.0” in the form of an automatic central buffer coupler and the fundamental feasibility of automating the technical manipulation of wagons. The article finally takes a look at the benefits of automating processes from the point of view of the infrastructure managers.