

Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge

Teil 3: Einführungsszenarien für aktive, kommunikative Güterwagen

Wenn durch innovative, automatisierte Güterwagen betriebswirtschaftliche Vorteile nutzbar gemacht werden sollen, muss die Migration auf das neue System in sinnvollen Teilschritten unter Berücksichtigung der organisationellen und betrieblichen Vereinbarkeit vorgenommen werden. Eine stufenweise Migration mit Nachrüstbarkeit und Kompatibilität kann die optimale Ausstattungsvariante für die unterschiedlichen Betriebsszenarien sowie eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems bieten.

EINLEITUNG

Hinsichtlich der Einführung neuer Technologie am Wagen liegt der Güterwagen 4.0 (GW40) auf halbem Weg zwischen zwei extremen Ansätzen. Auf der einen Seite gibt es Initiativen, die den Schlüssel zur Belegung des Schienengüterverkehrs vorwiegend auf der Infrastrukturseite sehen. Die notwendige Rationalisierung geschieht hier im Wesentlichen durch den Ersatz des Arbeitseinsatzes von Rangieren durch moderne Robotik bei weitgehendem Erhalt der klassischen Rollenverteilung. Für die Schaffung der vom Kunden gewünschten Transparenz genügt dann wagenseitig die Ausrüstung mit Telematik.

Das andere Extrem wird durch visionäre Systeme wie „Next Generation Train Cargo“ [1] verkörpert. Merkmal dieser Systeme ist die Aufhebung der funktionalen Trennung zwischen Lok und Wagen.

Die erstgenannten Ansätze greifen aus Sicht der Autoren nicht weit genug, weil sie die Konzentration der Zugbildungsprozesse auf wenige hochautomatisierte Anlagen festschreiben. Zu einem leistungsstärkeren Schienengüterverkehr gehört aber eine möglichst gleichmäßige Auslastung der Infrastruktur. Dazu passt ein Betriebskonzept besser, bei dem immer und überall mit minimalem Zeitverlust rangiert werden kann.

In den beiden vorangegangenen Beiträgen dieser Serie [2, 3] wurde mit GW40 ein Zielszenario eines Schienengüterverkehrs skizziert, bei dem die Wagen aktiv am Geschehen beteiligt sind. Wesentliches Merkmal ist aber der Beibehalt der konventionellen Zugbildung und die Kompatibilität der Wagen mit konventionellen Verfahren der Zugabfertigung und dem klassischen Druckluftbremssystem.

STAND DER TECHNIK

Der wichtigste Parameter für einen wirtschaftlichen Schienengüterverkehr ist und bleibt die Zuglänge. Gründe dafür sind die Personaleffizienz sowie die Infrastrukturausnutzung.

Hohe Zuglängen erreicht man im Einzelwagenverkehr (EWW) dadurch, dass man für möglichst viele Quelle-Senke-Relationen den langen Hauptlauf bündelt. Dies erfordert ein gestuftes System von Nah- und Ferngüterzügen und jede Menge Aufwand, Wagen entsprechend ihrer Ziele zu sortieren. Im Wettbewerb mit dem Lkw schneidet dieses System in Bezug auf Zuverlässigkeit und Kosten schlecht ab, in der Folge sinkt die Ladungsmenge im EWW beständig.

Der GW40 kann einen Beitrag dazu leisten, dass Rangieren und Zugbildung im Einzelwagensystem schneller und preisgünstiger vonstatten gehen. Die Vorteile kommen aber selbstverständlich auch dem Ganzzug und dem Kombinierten Verkehr (KV) zugute, weil auch hier Züge regelmäßig zerlegt und wieder neu zusammengesetzt werden. Der durch die Bremsprobe resultierende Zeitverlust stört den KV-Betreiber im Hafen genauso wie im EWW in einer Zugbildungsanlage.

KOMMUNIKATION

Der umfassend automatisierte Güterwagen verfügt über ein elektrisches Bordnetz, in dem Leistung für Aufgaben der Steuerungs- und Kommunikationstechnik permanent zur Verfügung steht. Eine zwingende Voraussetzung für Automation ist Kommunikation. Da es hier um Zugautomatisierung geht, ist



Professor Dr.-Ing. Bernd Schmidt

Lehrgebiet Elektrische Antriebstechnik der FH Aachen
B.Schmidt@fh-aachen.de



Professor Dr.-Ing. Manfred Enning

Lehrgebiet Bahnsystemtechnik der FH Aachen
Enning@fh-aachen.de



Professor Dr. Raphael Pfaff

Lehrgebiet Schienenfahrzeugtechnik der FH Aachen
Pfaff@fh-aachen.de

dies eine Kommunikation zwischen Sensoren und Aktoren auf dem Wagen wie auch zwischen den Wagen eines Zug-/Rangierverbandes.

Als Basis dient eine robuste und sichere Kommunikation von Wagen zu Wagen nach dem Vorbild der UIC-IL-Steuerleitung ohne deren Nachteile, wie Unzuverlässigkeit durch Kontaktverschmutzung und umständliche Handhabung. Als Alternative zum Kabel über Steckverbinder soll Kurzstreckenfunk genutzt werden. Könnte man auf einen Schlag alle Güterwagen gegen aktive Wagen austauschen, wäre das Problem der Kommunikation bereits gelöst. Weiterhin könnte die Bedienung der Wagen vor Ort ersatzlos entfallen.

Bei einer sanften Einführung der neuen

Autorenbeleg Raphael Pfaff für persönliche Dokumentation, DVV Media Group GmbH 2018

Technik entstehen aber Zwischenszenarien, die deutlich komplexere Anforderungen an das System stellen und deren Erfüllung letztlich über Erfolg oder Misserfolg entscheiden. Dies betrifft weitere Aspekte der Kommunikation und die Bedienung. Wenn jeder Wagen mindestens über einen Bordrechner und die Wagen-zu-Wagen-Kommunikation verfügen würde, könnte der Wagenzustand über dieses Netzwerk in die Lok und von da über Mobilfunk in die Cloud transferiert werden. Der erste konventionelle Wagen in der Kette macht diesen Weg unbrauchbar. Deshalb werden GW40 sämtlich mit einer Mobilfunkschnittstelle ausgerüstet werden.

Solange das Zug-Automatisierungsnetzwerk noch nicht existiert, wird man Wagen wie konventionelle Wagen bedienen müssen. Wenn aufwändige Bedienelemente vermieden werden sollen, so wäre der naheliegende Weg, diese Bedienungen durch mobile DV-Geräte (Handy, Tablet, Wearables) zu ermöglichen, die mit dem Bordrechner des Wagens kommunizieren müssen. Daher braucht jeder Wagen zusätzlich zur Wagen-zu-Wagen-Kommunikation und der Mobilfunkschnittstelle auch Zugangspunkte in der Form von WLAN-Accesspoints oder Bluetooth-Adapter.

BEDIENUNG

In jedem sanften Einführungsszenario wird irgendwann der erste aktive Wagen in einer Betriebsstelle des Eisenbahnnetzes auftauchen. Da dies nicht zufällig passiert, sondern Ergebnis einer Betriebsplanung ist, kann unterstellt werden, dass das Rangierpersonal vorgewarnt und durch Schulung vorbereitet ist. Ein Misserfolg der Systemeinführung ist aber vorprogrammiert, wenn man an dieser Stelle zu viel erwartet. Ein Rangierer, der bei seinem Rundgang im Rahmen der Bremsprobe auf einen GW40 trifft, muss ihn weitgehend intuitiv richtig bedienen können. Deshalb wurde in der Konzeptentwicklung diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Naheliegender wäre, die konventionellen Bedienhebel (HL-Absperrhähne an den Pufferbohlen, Bremsart-Umstellung G/P, Brems-Absperrung, Schnelllösen, ggf. Lastumstellung) sowie das Handbremsrad in ihrer normalen bekannten Form zu belassen und lediglich mit elektrischen Antrieben die Bedienung zu „überlagern“. Dies würde zu erhöhtem Herstellungsaufwand, nicht zeitgemäßen Tätigkeiten des Personals und verringerten Vorteilen im Bereich Sicherheit führen.

Der erhöhte Herstellungsaufwand begründet sich mit der notwendigen Entkopp-

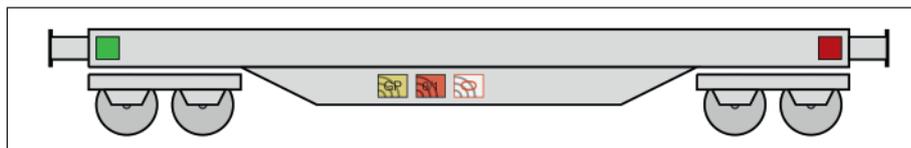


BILD 1: Benutzerschnittstelle des Güterwagens 4.0

lung von Bedienelement und Antrieb, damit z.B. ein angetriebener Hebel nicht zur Gefahr für das Bedienpersonal wird. Die manuelle Bedienung von automatisierbaren Stellenelementen wird von Berufseinsteigern nicht mehr akzeptiert und führt zu weniger geeigneten Bewerbern für solche Tätigkeiten.

Der GW40 kann gegenüber dem Stand der Technik (freie Zugänglichkeit kritischer Bedienelemente) erhebliche Sicherheitsvorteile bieten, wenn die Möglichkeit der Authentifizierung über digitale Kanäle genutzt wird.

Diese Überlegungen führen zu dem folgenden Bedienkonzept: An den Stellen, an denen beim konventionellen Wagen Bedienelemente liegen, findet der Rangierer Piktogramme. Hinter denen verbergen sich NFC Antennenspulen. Berührt er eine solche Stelle mit einem Mobilgerät (vorzugsweise einem GSM-R-Smartphone), so erscheint das entsprechende Bedienelement auf dem Display. Umstellen geschieht durch Berühren des Bildschirms oder eine passende Geste (Drehen des Handy in Richtung der Umstellbewegung). Nur ein personalisiertes Handy mit nachgewiesener Bedieneridentität ist berechtigt, Bedienhandlungen vorzunehmen; nur das Bedienelement, dessen Tag man berührt hat, kann angesprochen werden und durch Geofencing kann ausgeschlossen werden, dass Bedienhandlungen z.B. bei Halt auf freier Strecke oder in einem Personenbahnhof vorgenommen werden.

Selbstverständlich benötigt der Wagen für Fälle wie eine völlige Entleerung der Energiespeicher einen Havariemodus, in dem er ungebremst bewegt werden kann. In diesen Modus gelangt der Wagen durch plombierte Notfallgriffe. Sobald die Stromversorgung wieder hergestellt ist, wird er eine Statusmeldung an die nächstgelegene Betriebsstelle senden, so dass dieser Zustand nicht unbemerkt bleibt.

Wenn die Migration so weit fortgeschritten ist, dass Gruppen aktiver Wagen an Gleisanschlüssen oder in Zugbildungsanlagen auftauchen, wird die geschilderte Basis-Bedienung nicht mehr ausreichend sein, weil sie Fähigkeiten, die sich aus den aggregierten „Digitalen Identitäten“ der Wagen ergeben, nicht nutzt. Die zweite Stufe ist dann Bedienung über ein Tablet oder andere Devices, wie z.B. Wearables, bei der alle Bedienelemente des Wagens, mit dem man

gerade verbunden ist, verfügbar sind. Zusätzlich kann lesend und schreibend auf die Nachbarwagen zugegriffen werden, um z.B. mit einem Handgriff einen Zugverband in die Bremsart LL zu stellen oder ihn entsprechend den Vorschriften durch Anziehen der richtigen Anzahl Handbremsen festzulegen.

MIGRATION UND KOSTEN

Bei der Gestaltung des Migrationskonzeptes sind im Wesentlichen drei Anforderungen zu beachten:

1. Schon der erste Migrationsschritt muss einen nennenswerten Anteil der wirtschaftlichen Potentiale heben, da ansonsten keine Investitionsbereitschaft gegeben ist (Wirtschaftlichkeit)
2. Die Wagen jedes Migrationsstandes müssen weiterhin wie und gemeinsam mit konventionellen Wagen beliebig in Züge eingereiht werden können (Kompatibilität)
3. Wagen müssen so aufrüstbar sein, dass versunkene Kosten vermieden werden (Upgrade).

Basierend auf diesen Überlegungen ergibt sich ein schrittweises Einführungsszenario, welches sich am Kostenaufwand orientiert und zugleich die damit bereitstellbaren Funktionen berücksichtigt. Dementsprechend werden die Wagen in sogenannte Klassen eingeteilt. Der konventionelle Güterwagen wird der Klasse 0 zugeteilt.

BASISAUSSTATTUNG (KLASSE 1)

Startpunkt für den intelligenten Güterwagen ist dabei zunächst die Bereitstellung der digitalen Identität und Kommunikationsmöglichkeit (Klasse 1). Hierfür liegt der größte Aufwand in der Montage eines durchgehenden Stahlrohres zu den Wagenenden mit geeignet platzierten Einzugkästen sowie der Elektronikbox für den Wagenrechner an zentraler Stelle in der Nähe des Bremssteuerventils. An den Wagenenden werden nun an allen Puffern noch die Antennen für die Kommunikation zum Nachbarwagen befestigt. Anschließend erfolgt ein teilweiser Tausch der Lagerdeckel gegen eine mit Sensorik »

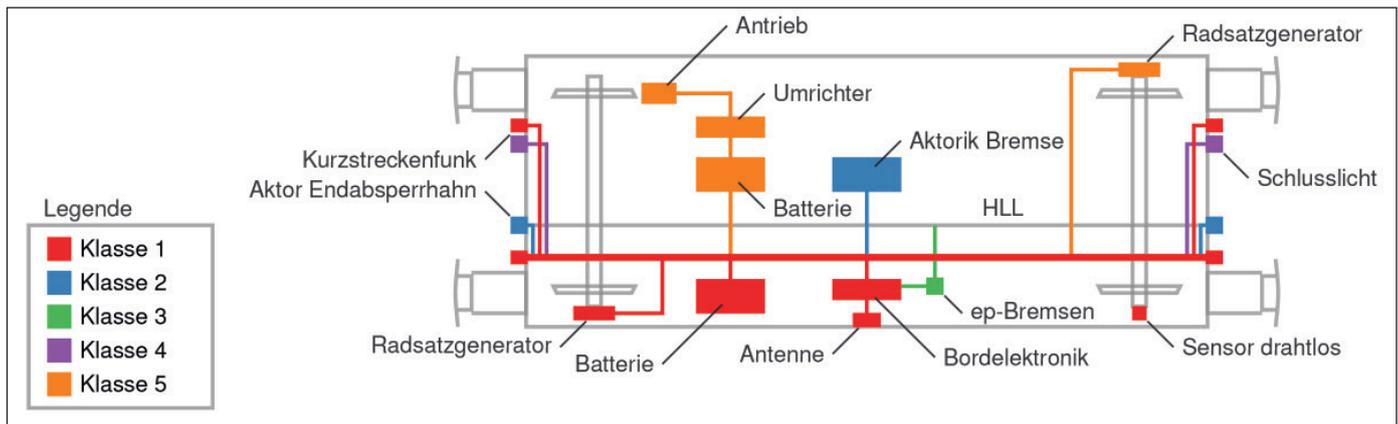


BILD 2: Modulares Konzept des Güterwagens 4.0

oder Stromerzeugung ausgestattete Variante. Die Elektronikbox selbst verfügt über die Rechnerplatine, eine Batterie mit Laderegler sowie die erforderlichen Antennen für WLAN und Mobilfunk. Ein derartig ausgestatteter Wagen verfügt über Zustandssensorik für die rotierenden Teile, Laufleistungserfassung und ist vollständig in die Cloud mittels Telematik und prädiktiver Wartungsplanung (CBM) [4, 5] eingebunden. Durch Messung von HL- und C-Druck kann der intelligente Güterwagen eine automatische Bremsprobe durchführen, wenn er im Zug aus GW40 mit mindestens Klasse 1 verkehrt.

Wirtschaftlich kann dieser Wagen insbesondere durch verlängerte Revisionszyklen und eine bedarfsgerechtere Instandhaltung punkten. Die Vorteile liegen also insbesondere beim Wagenhalter und nur zu einem geringen Teil beim EVU. Mit dem Vorliegen vollständiger Züge aus GW40 entsteht weiterhin Nutzen beim EVU durch Automatisierung der Bremsprobe.

STANDAKTIVE AUSSTATTUNG (KLASSE 2)

Ausgehend von der Basis-Ausstattung (Klasse 1) verfügt dieser Wagen zusätzlich über entsprechende Aktorik, die bei der Zugbildung mit Ausnahme des mechanischen und pneumatischen Kuppelns alle Vorgänge übernimmt. Hierfür müssen zusätzlich neben den Aktoren selbst und einer stärkeren Batterie noch die entsprechenden elektrischen Leitungen für die Aktoren in das Stahlrohr eingezogen werden. Die Aktoren übernehmen die Einstellung der Bremse sowie das Öffnen und Schließen der Absperrhähne an den Wagenenden [6]. Je nach Bedarf können noch weitere Akto-

ren für die Bedienung der Wagenaufbauten und Be- bzw. Entladeeinrichtungen vorgesehen werden.

Die Vorteile liegen hier insbesondere in der Zugbildung beim EVU und beim Verlad. Die Wagenverleiher können für diese Funktionen somit einen Aufpreis fordern.

AUSSTATTUNG MIT BREMSVORSTEUERUNG (KLASSE 3)

Ergänzend zur Ausstattung der Wagen wie in Klasse 2 kommt ein Aktor zur Vorsteuerung der indirekten pneumatischen Bremse zum Einsatz. Dieses ermöglicht die Funktionalität wie bei einer ep-Bremse und damit ein besseres Fahrverhalten. Ähnlich wie bei dynamischen Bremsen sollte hier

zunächst allerdings auf eine Anrechnung verzichtet werden, um den Zertifizierungsaufwand insbesondere für die Elektronik zu vermeiden. Die Sicherheit wird weiterhin ausschließlich durch die klassische Druckluftbremse gewährleistet. Eine Anbindung an die UIC-IS-Leitung der Lok erfolgt durch Aufsetzen der Antennenboxen auf die Lokpuffer und das Einstecken eines Protokollumsetzers in die UIC-IS-Dose der Lok.

AUSSTATTUNG MIT ZUGINTEGRITÄTSERKENNUNG (KLASSE 4)

Ergänzend zur Ausstattung der Wagen wie in Klasse 2/3 wird die Durchgängigkeit der Datenverbindung von der Lok bis zum letzten Wagen überwacht und der Zugschluss mittels einer Zugschlussleuchte angezeigt. Sind nur Wagen der Klasse 4 im Zugverband kann die Integrität des Zugverbandes signal-

technisch sicher geprüft werden. Hiermit ist also ein Verkehr gemäß ETCS-Level 3 oder auch auf Mischverkehrsstrecken ETCS Level 2/3 im Teilblockmodus möglich.

Der Nutzen liegt hier ausschließlich beim EIU. Deswegen ist es als realistisch anzusehen, diese Funktionen nur dann zu realisieren, wenn das EIU dem EVU eine Kompensation bei Trassenpreisen und/oder Trassenverfügbarkeit zur Verfügung stellt.

AUSSTATTUNG MIT ANTRIEBSTECHNIK (KLASSE 5)

Unabhängig von der Migration bestehender, nicht angetriebener Wagen kann es in bestimmten Betriebsszenarien sinnvoll sein, auch Güterwagen mit einem Rangierantrieb auszustatten [7]. Ein Antrieb für den Betrieb an der Ladestelle kann dabei mit den Klassen 2-4 sinnvoll kombiniert werden. Dieser Antrieb ist jedoch bei Fahrt im Zugverband nicht wirksam, sondern ebenso wie die Aktorik in Klasse 2 abgeschaltet. Hierfür sind neben dem Antriebsmotor ein zusätzlicher Batteriekasten mit eingebautem Umrichter sowie mindestens ein klassischer Radsatzgenerator zusätzlich erforderlich.

Die Vorteile liegen hier insbesondere in der Zugbildung beim EVU und beim Verlad.

KOSTENAUFWAND UND NUTZEN IM BETRIEB

Naturngemäß sinken die Ausrüstungskosten bei höheren Stückzahlen, weil einerseits eine Lernkurve beim Einbau und der Fertigung durchlaufen wird, andererseits aber auch der erforderliche Deckungsbeitrag für die Fixkosten der Entwicklung und Zulassung bei größeren Stückzahlen sinkt. Im Betrieb hingegen steigt der Nutzen eines intelligenten Güterwagens in Abhängigkeit

Autorenbeleg Raphael Pfaff für persönliche Dokumentation, DVV Media Group GmbH 2018

von der Häufigkeit der Nutzung der neuen Funktionen. Es kann also durchaus sinnvoll sein, unterschiedliche Ausstattungsklassen in Abhängigkeit vom Einsatzprofil des Wagens zu wählen. Im Folgenden soll eine grobe Abschätzung präsentiert werden, die es dem Wagenhalter ermöglicht abzuschätzen, ab welcher Kuppelhäufigkeit welche Funktion wirtschaftlich sinnvoll erscheint. Bei der wirtschaftlichen Abschätzung wurde eine Beschaffung/Fertigung mit internationaler Arbeitsteilung vorausgesetzt. Darüber hinaus gehen wir von einer Stückzahl von über 1000 Stück ohne Aufwand für die Grundlageneentwicklung des offenen Systems aus.

Die Kostenschätzung geht ferner von 200 Beladungen pro Jahr und durchschnittlich 3 Bremsproben pro Umlauf aus. Bei den Revisionskosten wurden 2 % des Wagenwertes pro Jahr sowie eine zustandsbezogene Verlängerung des Intervalls um 33 % vorausgesetzt. In Klasse 3 und 4 wurde für das verbesserte Bremsverhalten pauschal 50 EUR angesetzt, weil üblicherweise die Wahrscheinlichkeit von Flachstellen sinkt, wenn die Bremse besser ansteuerbar ist.

Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass die Einsparungen steigen, je häufiger gekuppelt wird und mit zunehmendem Automatisierungsgrad beim EVU liegen. Auch steigen die Einsparungen je wertvoller der Wagen bzw. je teurer die Revision ist. Dennoch kann so auch schon die Klasse 1 allein für den Wagenhalter in seiner ECM-Funktion sich wirtschaftlich lohnen. Aus technischen Gründen lässt sich jedoch die Klasse 1 nicht weiter kostenmäßig reduzieren. Es ist beispielsweise nicht sinnvoll, dünnere Stahlrohre zu montieren, weil der Aufwand nur minimal sinkt dadurch aber Bedingung 3 (Upgradefähigkeit) des Migrationskonzeptes verletzt würde.

ZUSAMMENFASSUNG

Der GW40 bietet erhebliches Rationalisierungspotenzial durch Automatisierung der

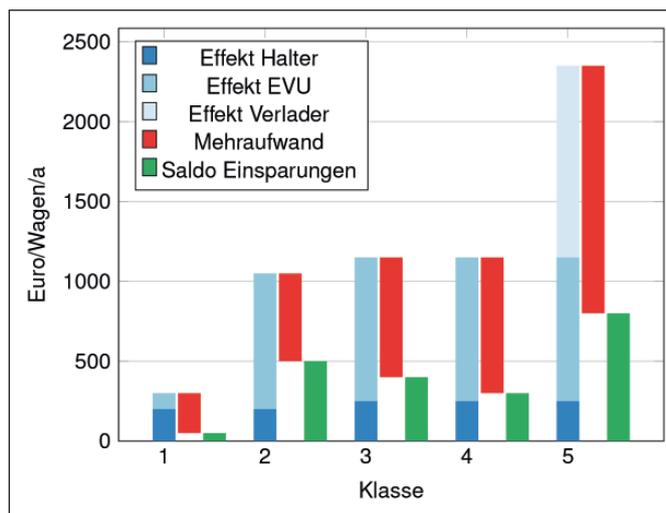


BILD 3: Gegenüberstellung Kosten und Nutzen der unterschiedlichen Klassen Güterwagen 4.0 (Klasse 5 stellt einen angetriebenen Wagen basierend auf Klasse 3 dar)

Bedienprozesse sowie der Prüfvorgänge. Ermöglicht wird diese Rationalisierung durch die Bereitstellung einer Energieversorgung sowie die Nutzung üblicher Kommunikationstechnologien. Damit ist ein zum bestehenden System kompatibler Güterwagen zu erreichen, der in mehreren Ausbaustufen (Klassen) mit jeweils nennenswertem Mehrwert bei den verschiedenen Stakeholdern wirtschaftlich eingeführt werden kann. ◀

Literatur

- [1] Winter, J., et al.; NGT CARGO–Schienengüterverkehr der Zukunft, Internationales Verkehrswesen 69 (2017): 82–85.
- [2] M. Enning, R. Pfaff; Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept, ETR 1/2 (2017): 12–16
- [3] R. Pfaff, M. Enning; Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 2: Ausgewählte technische Aspekte und Prozesse, ETR 5 (2017): 74–77
- [4] P. Shahidi, R. Pfaff, M. Enning; The connected wagon – a concept for the integration of vehicle side sensors and actors with cyber physical representation for condition based maintenance, Proc. International Conference on Rail Transportation, Chengdu, China, Juli 2017
- [5] Shahidi P., Maraini D., Hopkins B. and Seidel A.; Railcar Bogie Performance Monitoring using Mutual Information and Support Vector Machines, Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, Coronado, California, 2015
- [6] R. Pfaff, B. D. Schmidt, M. Enning; Towards inclusion of the freight rail system in the industrial internet of things – Wagon 4.0, Proc. Stephenson Conference, London, UK, März 2017
- [7] 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

► SUMMARY

Freight Car 4.0 – The freight car for the Internet of Things Part 3: Implementing sceneries for active and communicative freight cars

Freight Car 4.0 is a concept developed for the automation of features in freight cars enabling a contemporary communication system in the cars and in the trains. Launching Freight Car 4.0 can be made step-by-step as all steps are compatible and retrofittable. In the article the characteristics of the Freight Car 4.0 types are described and the efficiency according to costs and benefits is analyzed.



Fachmedien für die
ganze Bahn-Branche
Print · Digital · Online



www.eurailpress.de