Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge

Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept

Nur mit einer Erhöhung des Bahnanteils am Modal Split des Güterverkehrs sind die Ziele des Pariser Abkommens zum CO_2-Ausstoß erreichbar. Der Bahntransport leidet aber sehr unter rückständiger Technik vor allem des Güterwagens. Der in diesem Beitrag vorgeschlagene „Güterwagen 4.0" ist voll kompatibel zum bestehenden System, bietet aber die Möglichkeiten einer weitgehenden Automatisierung und Beschleunigung aller Nebenprozesse von der Laderampe bis in den Hauptlauf.

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

1. EINLEITUNG

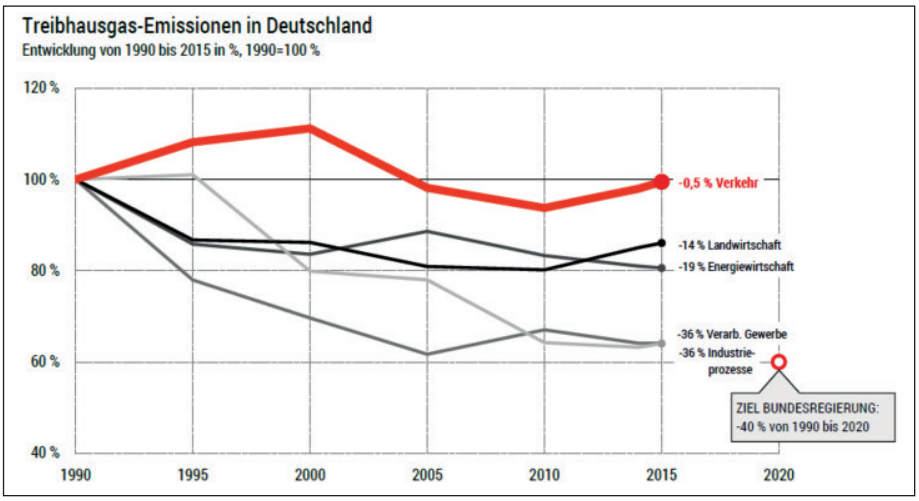
Spätestens seit der Klimakonferenz von Marrakesch ist klar, dass der Verkehrsbereich in Europa das „Sorgenkind" bezüglich CO_2-Ausstoß ist (Bild 1). Die Erhöhung des Bahnanteils am Modal Split des Güterverkehrs ist ein wirksamer Hebel, weil die Bahn durch Zugbildung einen geringen spezifischen Energieverbrauch hat. Die benötigte Energie kann weitgehend in Form von elektrischem Strom aufgebracht werden, der zunehmend CO_2-frei produziert wird. Grob gerechnet zwei Drittel des Schienengüterverkehrs in Deutschland sind Ganzzüge (GV) und Züge des Kombinierten Verkehrs (KV), ein Drittel entfällt auf den Einzelwagenverkehr (EV), der damit in Deutschland verglichen mit vielen anderen EU-Ländern noch vergleichsweise stark ist. [1, 5]

Ganzzüge und Züge des KV werden als Folge der Liberalisierung des Schienengüterverkehrs vielfach durch private Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) betrieben. Weil in diesen Produkten nur wenig rangiert wird, sind sie bezüglich Zeit und Kosten (derzeit noch) wettbewerbsfähig. Allerdings ist es aus verschiedenen Gründen schwierig, die Verkehrsleistung dieser Zugarten signifikant auszuweiten. Beim KV sind Flächen für den Terminalbau- bzw. -ausbau knapp und teuer, weil sie nahe an Ballungsräumen liegen müssen und eine ebenso gute Bahn- wie Autobahnanbindung benötigen. Im GV liegt das Problem in der „Gefäßgröße". Ganzzüge füllende Mengen werden in der Folge des Güterstruktureffekts tendenziell geringer werden. Dazu tragen wirtschaftliche Probleme der Grundstoffindustrie (z. B. Eisen und Stahl) ebenso bei wie die Energiewende (z. B. Importkohle).

Der viel geschmähte EV hat grundsätzlich das stärkste Wachstumspotenzial unter den Segmenten des Schienengüterverkehrs. Im Gegensatz zum Ganzzug passt der einzelne Güterwagen größenmäßig gut zu den die Logistik dominierenden Sattelzügen. Im Gegensatz zum KV, bei dem der Erlös durch den Straßenvor- und -nachlauf und die Dienstleistungen der Terminals geschmälert wird, kann er im EV zwischen Privatanschlüssen zu 100 % bei den Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen (EVU/EIU) verbleiben. Leider gelingt es den Bahnen in Europa aber immer weniger, dieses Potenzial zu erschließen und im EV für den Kunden attraktive und Gewinne bringende Angebote zu machen. Im Gegenteil sank die Zahl der Versender im EV in den letzten Jahrzehnten dramatisch mit der Folge, dass viele Privatanschlüsse aufgegeben und zurückgebaut wurden.

Für Industrie- und Logistikneuansiedlungen spielt eine Schienenanbindung oft keine Rolle mehr. Im selben Maße ist auch die öffentliche Wahrnehmung des Schienengüterverkehrs eine Andere geworden. Man diskutiert heute wesentlich intensiver über die Gesundheitsgefahren durch Schienenlärm an den Hauptstrecken des Güterverkehrs als

BILD 1: Verkehr verfehlt Klimaschutzziele (Quelle: Allianz pro Schiene)



Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

über die Vorteile und Chancen der Schiene. „Güter auf die Bahn“ scheint ein Slogan aus dem letzten Jahrhundert zu sein, weil der Straßenverkehr ja offenbar in der Lage ist, durch Platooning und Elektromobilität alle Probleme zu lösen. Beschäftigt man sich allerdings intensiver mit den Entwicklungen im Straßengüterverkehr, stellt man fest, dass zwischen den in der Öffentlichkeit genannten Zeiträumen zur Einführung der neuen Techniken und dem tatsächlichen Stand der Entwicklungen große Lücken klaffen. So ist die Erhöhung der Personaleffizienz als primäres Ziel beim Platooning erst erreichbar, wenn man dem passiven Fahrer über längere Zeiträume Ruhezeiten verschaffen kann. Davon ist man noch ebenso weit entfernt wie vom batteriebetriebenen Lkw im Güterfernverkehr. [7]

2. POTENZIAL VON GÜTERWAGEN 4.0 IM EINZELWAGENVERKEHR

Wie viel leichter hat es demgegenüber die Bahn! Ein einziger Güterzuglokführer führt einen „Platoon“ von bis zu 60 Lkw. Ihn durch einen Automaten zu ersetzen erscheint einfach, wenn auch wenig wirtschaftlich. Der Güterzug benötigt schon aufgrund der Physik des Rad-Schiene-Kontakts nur ein Viertel der Energie pro Tonnenkilometer und um die Mitführung ausreichender Energiemengen muss man sich dank Elektrotraktion auch keine Gedanken machen. Außerdem weist der Schienenverkehr eine extrem gute Flächeneffizienz auf. Warum sollte die Bahn nicht in der Lage sein, ihren Anteil am Verkehrsgeschehen auszuweiten und sowohl die Umwelt- und Klimaprobleme als auch die Verkehrsprobleme unserer Gesellschaft zu lösen? Nicht zuletzt als Folge des Dieselskandals beginnen Gesellschaft und Politik, Aussagen der Automobilindustrie kritischer zu bewerten. Aber jetzt müssen Bahnen und Staat liefern! Die objektiven hausgemachten Ursachen, die die Konkurrenzfähigkeit der Güterbahn behindern, müssen ebenso korrigiert werden wie Weichenstellungen der Politik, die über Jahrzehnte vor allem durch den Verzicht auf kostendeckende Nutzungsgebühren der Verkehrswege dem Straßengüterverkehr Wettbewerbsvorteile gewährt.

Eine objektive Ursache ist, wie der EV bis heute organisiert ist. Ein System, das wie Personenverkehr mit ausschließlich Sitzplätzen aber ohne Reservierungsmöglichkeit funktioniert, kann keine Transportzeiten garantieren. Wenn ein Wagen seinen Anschlusszug verpasst hat, weil dieser voll ist, erreicht er sein Ziel im schlimmsten Fall einen Tag(!) später, ohne dass irgendetwas Unvorhergesehenes passiert ist. Unabhängig von der Frage, wie lang die Transportzeit absolut ist, passt der EV damit nicht zu den „Just in Time“-Anforderungen der modernen Logistik. Ein großer Teil der am stärksten wachsenden Gütersegmente ist faktisch vom Bahntransport in Wagenladungen ausgenommen.

Neben der Organisation ist die technische Rückständigkeit des Schienengüterverkehrs Hauptursache für den Rückgang des EV. Im „Knotenpunktsystem“ (KPS) werden die Wagen in einem mehrstufigen Sammel- und Verteilprozess jeweils richtungs- bzw. zielbezogen zu Zügen zusammengestellt [5]. Ebenso wie im Briefpostsystem ist dies notwendig, um im Hauptlauf die Vorteile der Ladungsbündelung nutzen zu können. Die sehr aufwändigen Zugbildungsprozesse sind in den vergangenen Jahren weitgehend auf neun Zugbildungsanlagen (ZBA) mit automatisierter Ablauftechnik konzentriert worden. Hier wird moderne Automatisierungstechnik genutzt, um den Personalbedarf und den Zeitaufwand für die Wagenverteilung zu minimieren. Pausenlos werden wie von Geisterhand Züge von automatischen Abdrücklokomotiven über den Ablaufberg geschoben und auf Richtungsgleise verteilt, wo sie von automatischen Fördereinrichtungen in Empfang genommen und zusammengeschoben werden. Es ist eine beeindruckend effiziente Technik, die den Steuerzahler in den letzten Jahrzehnten aber auch einige Hundert Mio. € gekostet hat.

Die Ernüchterung setzt ein, wenn man die Vorgänge bei der Zugvorbereitung in der Einfahrgruppe und bei der Zugfertigstellung in der Richtungsgruppe betrachtet. Ein großer Teil der Infrastruktur der ZBA dient dazu, extrem langwierige manuelle Tätigkeiten zu parallelisieren und so den Ablaufberg kontinuierlich am Arbeiten zu halten. Es beginnt mit der manuellen Überprüfung der Zugreihung in der Einfahrgruppe. Rangierer trennen danach an den vorgesehenen Trennstellen die Luft-Kupplung (HL) und die Schraubenkupplung, nachdem sie zuvor die HL-Absperrhähne geschlossen und den Lösegriff gezogen haben. Auch an modernsten Güterwagen (Bild 2) erfolgt alles in Handarbeit aus dem einfachen Grund, weil Energie auf dem Fahrzeug nicht verfügbar ist.

Noch zeitaufwändiger als in der Einfahrgruppe sind die Schritte zur Fertigstellung des ausgehenden Zuges. An den Trennstellen sind die Schrauben- und die Luftkupplung zu verbinden und die HL-Absperrhähne zu öffnen. Die Bremsstellung (G/P) ist an jedem Wagen für den abgehenden Zug passend – unter Umständen unterschiedlich je nach Anordnung in der Wagenreihung – einzustellen (Bild 3). Am Zugschluss ist die Zugschlusstafel einzustecken und der HL-Absperrhahn zu verschließen. Danach folgt die „Bremsprobe“, in der die Durchgängigkeit der HL und die Funktion jeder Wagenbremse geprüft und eine Reihe weiterer Sicherheitsüberprüfungen (Gelöstzustand der Handbremse, Sichtprüfung des Fahrwerks, Sichtprüfung der Ladungssicherung) vorgenommen werden. Schließlich erfolgt die Erstellung des „Bremszettels“ mit der Berechnung der so genannten „Bremshundertstel“ des Wagenzugs. »

BILD 2: Moderner Güterwagen (Foto: Wascosa AG)

BILD 3: Handbedienelemente (Bremsstellung und Lastwechsel) (Foto: Enning)

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

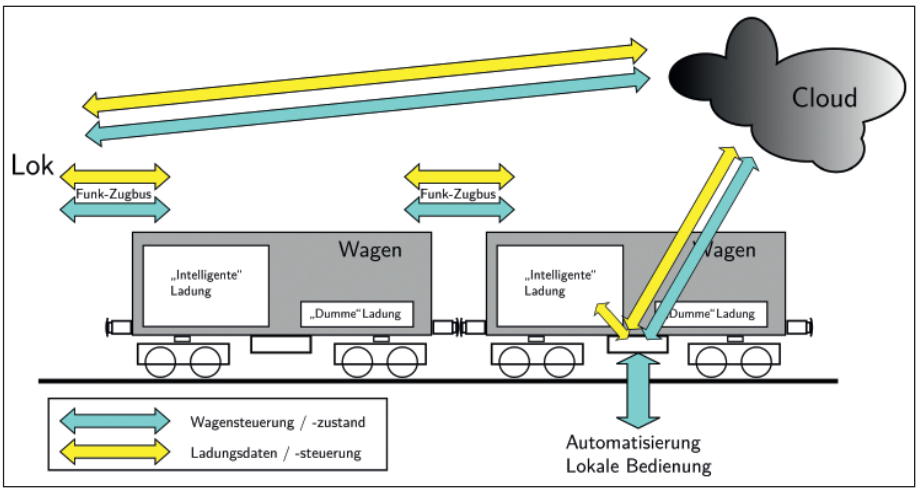


BILD 4: Grundkonzept eines Güterzug 4.0 aus Güterwagen 4.0 (Quelle: Enning)

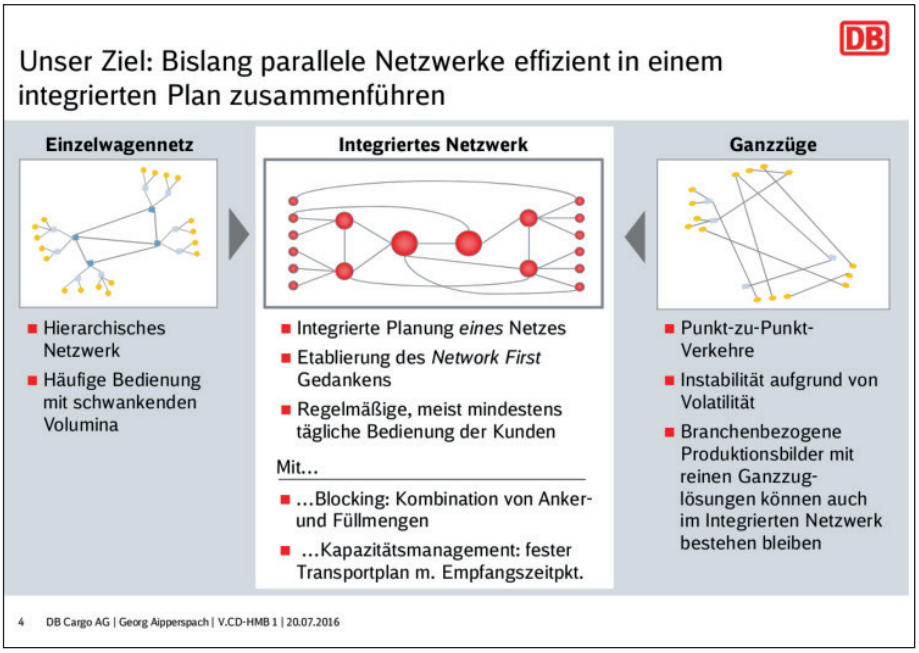
Die geschilderten Vorgänge können bis zu 70 Minuten beanspruchen und erfordern in erheblichem Maß menschliche Arbeitszeit und -kraft sowie Infrastruktur. Hier liegt der wesentliche Grund für die Probleme, einen wirtschaftlichen EV anzubieten. Aber ist es wirklich nur ein Problem des Einzelwagenverkehrs? Ein großer Teil der aufwändigen Zugbildungsprozesse ist nach jeder Änderung der Zugzusammenstellung erforderlich, also auch dann, wenn ein KV-Zug in einem Hafen aus Platzgründen in Teile zerlegt werden musste oder ein Ganzzug in einem Privatgleisanschluss aus einzelnen Wagen oder -gruppen zusammengestellt wird. Insofern betrifft das Problem der aufwändigen Zugbildung alle Arten des Schienengüterverkehrs.

Das Einzelwagensystem kann nur zukunftsfähig sein, wenn es gelingt, dass die Vorgänge bei der Zugbildung deutlich schneller als heute, mit weniger Personal und – auch mit Blick auf die demografische Entwicklung – ohne körperlich belastende Tätigkeiten erfolgen. Die Möglichkeiten, dies mit stationärer Technik zu schaffen, können als ausgeschöpft betrachtet werden. Ein großes Potenzial steckt im Wagen selbst. Er muss aktiv am Geschehen mitwirken und zu einem „Cyber Physical System" werden. Dazu muss er über elektrische Energie verfügen und er muss eine „digitale Identität" erhalten. Dies ist ein Bordrechner, der alles Wissenswerte über den Wagen selbst, seinen durch Sensoren erfassten Zustand, seine Beladung und seine Belastungs- und Wartungshistorie kennt und dieses Wissen mit anderen Wagen, Lokomotiven und umgebenden Prozessen „teilen" kann [2]. Dabei erfolgt der Datenaustausch mit entfernten Partnern über die „Cloud" (Bild 4). Wir nähern uns begrifflich und inhaltlich stark an „Industrie 4.0" und stellen fest, dass das zu konzipierende System Kernmerkmale, nämlich

→ Self configuration
→ Ubiquitous computing
→ Connectivity

aufweist, die es angemessen erscheinen lassen, den so gestalteten Güterwagen als „Güterwagen 4.0" zu bezeichnen.

BILD 5: Integriertes Netzwerk der DB Cargo AG. Aus [6] (Quelle: Georg Aipperspach, DB Cargo AG)



3. GRUNDLEGENDE ANFORDERUNGEN UND MIGRATIONSFÄHIGKEIT

In der Vergangenheit sind Ansätze, den Güterwagen technologisch aufzuwerten, regelmäßig an zwei Hürden gescheitert: Die erste betrifft die Laufleistung der Wagen, die im Einzelwagenverkehr – etwa bei Wagen in Saisonverkehren – teilweise in der Größenordnung der von Personenkraftwagen liegen. Die zweite betrifft die Tatsache, dass im konventionellen Einzelwagensystem nur die Lastrichtung voll disponiert ist, der Rücklauf von Wagen aber häufig über ein Pool-System erfolgt. Investitionen in einen Wagen, der nach dem Lastlauf in einer Wagenreserve verschwindet, sind kaum wirtschaftlich, weshalb Güterwagen nach der Devise „So billig wie möglich" gebaut und gehandelt werden. Das durch die beschriebenen Merkmale charakterisierte Gütertransportsystem ist abseits des Transports von Massengütern kaum mehr zukunftsfähig. Die Güterbahn kann nur überleben, wenn sie ihren Zugang zu den dauerhaft wachsenden Gütergruppen, insbesondere den Kaufmannsgütern, verbessert. Die DB Cargo und andere europäische Eisenbahnen strukturieren ihre Produkte so um, dass die Unzuverlässigkeit und Unplanbarkeit bald der Vergangenheit angehört. Die Stichworte sind „Netzwerkbahn", „Integriertes Netzwerk" und „Kapazitätsgeprüftes Netzwerk". Innerhalb Deutschlands fallen die Grenzen zwischen den Segmenten GV und EV (Bild 5) mit der Folge, dass interessante schnelle Relationen abseits der Verbindungen zwischen den großen ZBA realisiert werden. Außerdem wird erstmalig (über Xrail auch im Verkehr mit Alpenländern, Benelux und Nordeuropa) mit einer Vorbuchungsmöglichkeit die Voraussetzung für planbare Wagenumläufe geschaffen [6]. Hinzu kommen fahrzeugtechnische Ansätze, wie der „Innovative Freight Wagon" (IFW), die eine flexiblere und damit produktivere Nutzung der Wagen forcieren. [8]

Es ist daher erlaubt, sich vorzustellen, was moderne Technik und die oben erwähnten Industrie 4.0-Ansätze auf dem Wagen nut-

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

zen können. Auch solche Überlegungen sind schon vielfach angestellt worden und führten meist zur Erfindung eines neuen Eisenbahnsystems, dessen Einführungschancen schon aufgrund des immensen vorhandenen Produktivkapitals gering sind. Deshalb ist das vorläufige Ziel, „Güterwagen 4.0“ zu schaffen, die in konventionellen Zügen – idealerweise UIC-weit – mitlaufen und in den ZBA nicht stören. Ihr Potenzial entfalten sie in der ersten Stufe der Migration auf der „Letzten Meile“ und an der Ladestelle. Aus Kompatibilitätsgründen sind damit die folgenden Komponenten festgelegt:

- Prinzipieller Aufbau (Durchgehende Radsatzwellen, Drehgestelle, Luftbremse)
- Puffer und Schraubenkupplung
- Hauptluftleitung und Luftkupplung
- Bremsstellungen (G/P)

Das System soll aber so gestaltet sein, dass diese historischen Anforderungen zu einem späteren Zeitpunkt entfallen. Mit den genannten Selbstbeschränkungen bleibt der Nutzen im Mischverkehr mit Altfahrzeugen begrenzt. Auch wenn vielleicht die eine oder andere Bedienhandlung weniger Arbeitskraft erfordert, kann aus hier erzielbaren Einsparungen keine Investition in den Wagen refinanziert werden. Die zu seiner Einführung benötigten wirtschaftlichen Impulse bezieht der „Güterwagen 4.0“ daher zunächst aus Einsatzfeldern, in denen begrenzte Anzahlen gleichartig ausgestatteter Wagen hohen Nutzen stiften können, weil Sie sich optimal in Prozesse an ihren Ladestellen und der „Letzten Meile“ einfügen.

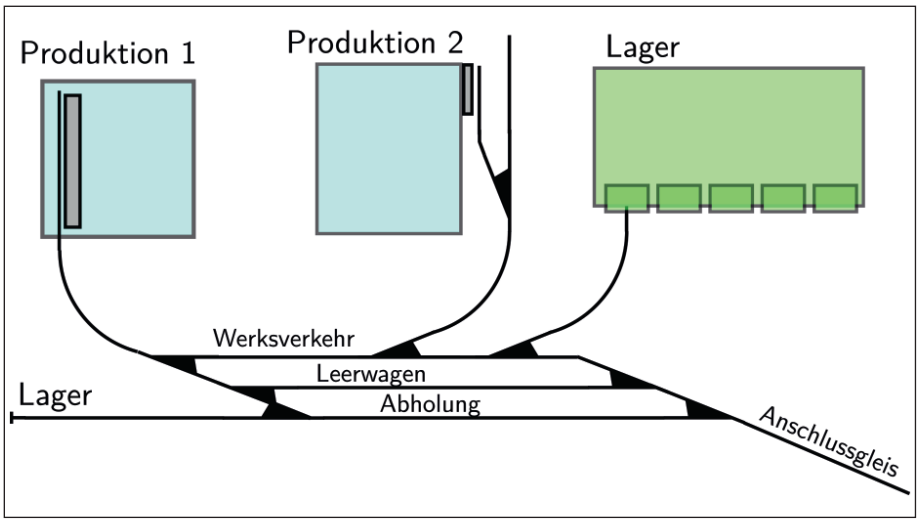


BILD 6: Bahnintegrierte Produktion mit Güterwagen 4.0 (Quelle: Enning)

Die folgenden Komponenten können als notwendig für eine Automatisierbarkeit der bisher manuell durchzuführenden Tätigkeiten am und mit dem Güterwagen vorausgesetzt werden:

1. Stromversorgung
2. Bordrechner und Kommunikation
3. Zustandssensorik (Fahrwerk, Bremse) »

DB Engineering & Consulting bietet technisch hochwertige und maßgeschneiderte Infrastruktur-, Mobilitäts- und Transportlösungen. Mit nachhaltigen Konzepten unterstützen wir die erfolgreiche Zukunft von Wirtschaftsregionen, leisten einen wichtigen ökologischen Beitrag und gestalten damit die Welt von morgen.

www.db-engineering-consulting.de

4. Aktorik für alle Einstellungen des Wagens (Bremsstellung, Handbremse, etc.)
5. Cyber Physical Representation und Cloud-Infrastruktur (Datenstrukturen und Algorithmen)
6. Rangierantrieb

„1" bis „3" bietet eine Plattform für Telematik, also das Einsammeln von Daten und Übermitteln an Nutzer zu verschiedenen Zwecken. In Verbindung mit „4" wird der Wagen „aktiv", also in die Lage versetzt, Zustandsänderungen vorzunehmen, ohne dass eine Person direkt beteiligt ist. „5" macht den Wagen zum „Ding" im Internet-of-Things und „6" versetzt den Wagen schließlich in die Lage, autark Ortsveränderungen vorzunehmen, für die sonst Lokomotiven oder Rangierhilfsmittel erforderlich wären.

4. NUTZENPOTENZIALE AUF ALLEN STUFEN DER TRANSPORTPROZESSE

Die am Hauptlauf im Zugverband beteiligten Akteure profitieren unmittelbar von den Telematik-Fähigkeiten der Wagen. Durch das permanente Erfassen von Zustandsdaten aus Wagen und Ladung und das Übersenden über Clouds, kann der ECM (Entity in Charge of Maintenance) die Wartung zustands- und belastungsabhängig optimieren. Das EVU verfügt über eine Informationsbasis für einen sicheren und ungestörten Fahrtverlauf und der Kunde kann den Bahntransport als transparenten Prozess in seine Logistik integrieren. Diese Fähigkeiten hat der Güterwagen 4.0 gemeinsam mit den vielen Telematik-Lösungen, die am Markt verfügbar, aber allesamt auf minimalen Energieverbrauch optimiert und daher in ihren Kommunikationsfähigkeiten stark eingeschränkt sind [3, 4]. Die Verfügbarkeit von elektrischer Energie erlaubt eine permanente Kommunikation und damit grundsätzlich auch sicherheitskritische Überwachungen, etwa der Zugintegrität im Rahmen von ETCS Level 3.

Das Anwendungsfeld mit dem (vorerst) höchsten Nutzenpotenzial ist die „Letzte Meile" bzw. die Fähigkeiten des Wagens unmittelbar an der Ladestelle. Ein „Güterwagen 4.0" stellt ein Objekt im Internet-of-Things dar, welches sich mit den Logistikprozessen des Kunden verbinden kann und selbständig (ohne zentrale Automatisierung) mit diesen interagiert. Dies beginnt bei organisatorischen Dinge, wie dem papierlosen Versand. Über die Automatisierung der Beladung, automatisches Öffnen und Schließen von Laderaumtüren, Lasteinstellungen der Bremse geht es bis zum autonomen Rangieren der Wagen im Werksgelände. In einer bahnintegrierten Werkslogistik interagieren Wagen miteinander und mit Komponenten der Infrastruktur und bilden eine Erweiterung der halleninternen „Fahrerlosen Transportsysteme" (FTS) in die Fläche (Bild 6). Ohne Umladung können Prozesse standortübergreifend vernetzt werden. Vorgänge, die heute dadurch gekennzeichnet sind, dass sie nur durch Inkaufnahme von Wartezeiten der Lkw-Fahrer auf der Straße organisiert werden können.

Wenn Rangierabteilungen aus mehreren „Güterwagen 4.0" ein Werksgelände verlassen, organisieren sie sich untereinander. Sie können autonom mit geringer Geschwindigkeit die Fahrt zum Satellitenbahnhof durchführen, wo sie in einen Übergabezug eingestellt werden. Kosten- und zeitintensive Bedienfahrten mit Rangierlokomotiven entfallen. Hochinteressant ist auch die Kombination der Fähigkeiten der Güterwagen 4.0 mit denen von Last-Mile-Streckenlokomotiven. Unmittelbar nach Ankopplung kann ein Datenaustausch erfolgen, der mit einem sicheren, überprüften Zugverband endet. In vielen Fällen wird eine konventionelle Bremsprobe vollständig entfallen können.

5. ZWISCHENFAZIT

Es wurden die Rahmenbedingungen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Einführung von Güterwagen mit erweiterten Fähigkeiten im Sinne des Internet-of-Things erläutert. Dabei wurde der Fokus auf die Letzte Meile und die Ladestelle gelegt. Im zweiten Teil des Beitrags wird die technische Funktion ausführlich erörtert und diskutiert, wie der „Güterwagen 4.0" die Prozesse in den Zugbildungsanlagen verändern kann. ◀

Literatur

[1] Lammgard, C.: Intermodal train services: A business challenge and a measure for decarbonisation for logistics service providers. Research in Transportation Business and Management, 5/2012: 48 – 56

[2] Pfaff, R.; Enning, M.: WagonEcosystem: Zeitgemäße Automatisierung am Güterwagen. Bahntechnik Aktuell, 61 2016: 23 – 32

[3] Behrends, V.; Haunschild, M.; Galonske, N.: Smart telematics enabling efficient rail transport – development of the ViWaS research and development project. Transportation Research Procedia, 14 2016: 4430 – 4439

[4] Galonske, N.; Riebe, E.; Toubol, A.; Weismantel S.: The ViWaS project: future-proof solutions for wagonload transport. Transportation Research Procedia, 14 2016: 2850 – 2859

[5] Siegmann, J.; Stuhr, H.: Hat der Einzelwagenverkehr in Europa noch eine Chance? Eisenbahntechnische Rundschau, 3/2012.

[6] Aipperspach, G.: Integriertes Netzwerk und Güterwagen 4.0. VDI-Expertenforum „Automatisierung für Schienenverkehrssysteme". Aachen, 01./02.09.2016.

[7] „Über Grenzen hinaus denken …" Interview mit Rolf Bulander (Bosch). VDI-Nachrichten. 42/2016. (http://www.vdi-nachrichten.com/Gesellschaft/Ueber-Grenzen-hinaus-denken)

[8] König, R.; Hecht, M; et. al.: White Paper Innovative Rail Freight Wagon 2030. Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS). 2012

▶ SUMMARY

"Freight wagon 4.0" – the freight wagon for the internet of things
Part 1: Holistic view of the system and fundamental concept

Decarbonisation of freight transport cannot be achieved without rail as a carrier. At present, views of how to optimise the transport of freight by rail are dominated by numerous approaches all focused on the infrastructure, with freight wagons being left as they are. The rolling stock subsystem, however, has much potential to offer for optimisation and, assuming a holistic approach is applied, it can indeed lead to solutions that make economic sense for the companies involved.
It would be one way of dispelling the aversion that holders of freight wagons have to investing in them and would open the way to embarking on innovative solutions. One of these solutions goes under the name of "Freight wagon 4.0" and envisages making freight wagons into an element in the internet of things. It would be capable of achieving more than just monitoring and telematics and would go as far as automation of functions associated with freight wagons. The functions that it would make sense to automate include the brakes, since these currently require the largest number of manual interventions when trains are being marshalled.

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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.

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

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

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.

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 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 Wagengruppen 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.

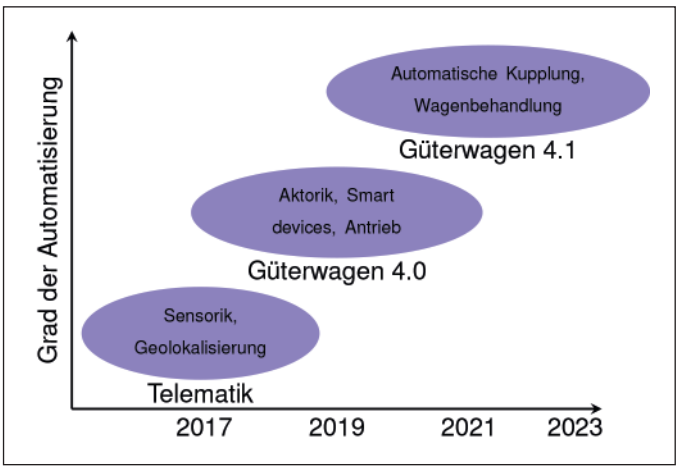


BILD 1: Technologie-Roadmap für die Vollautomatisierung aller Prozesse im Güterverkehr

(Quelle: eigene Darstellung, Pfaff)

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

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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 ausschließlich 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 Energieverbrauchs durch Radsatzgeneratoren. Nach Herstelleraussagen 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.

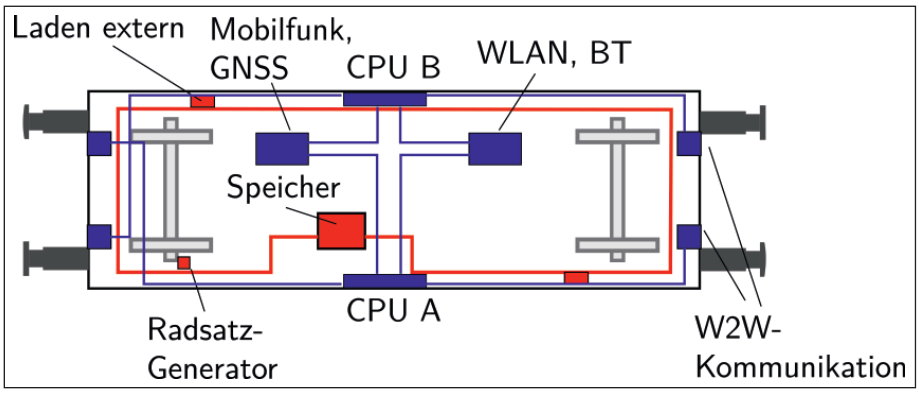
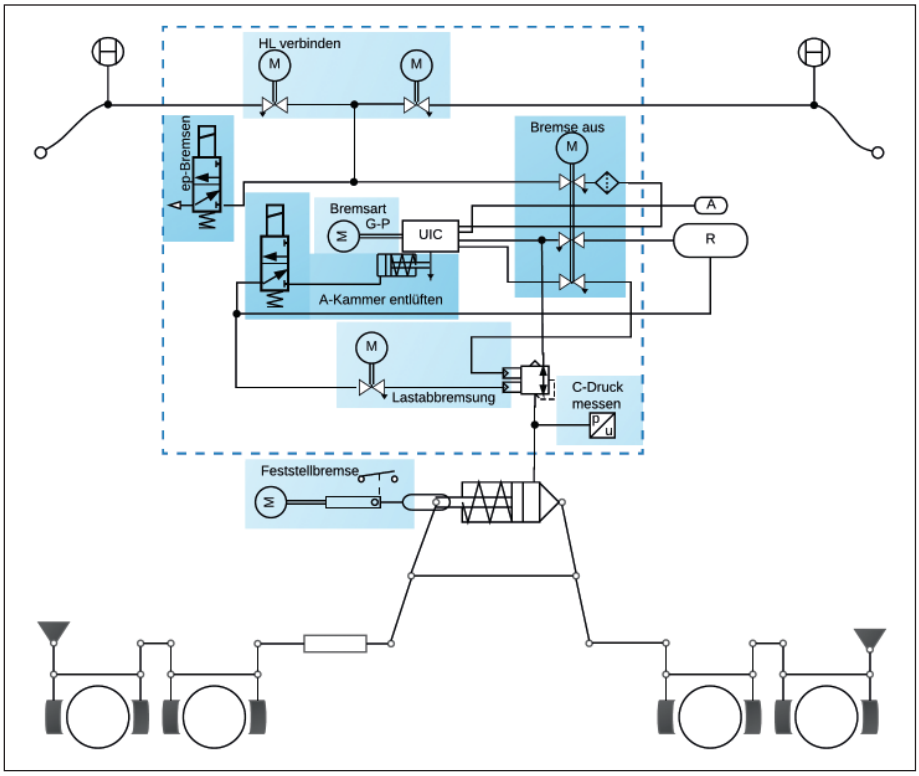


BILD 2: Grundkonzept des Güterwagen 4.0 (ohne Antrieb) (Quelle: eigene Darstellung, Enning)

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)



Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

betrieb heute üblich und in Regelwerken vorgeschrieben sind.

Trotz der notwendigen und zu berücksichtigenden Migration sieht das Konzept des GW40 einen vollständigen Entfall der Umstelleinrichtungen 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 Zugschlusssignal (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 entkuppelbaren elektromechanischen Antriebssystems 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).

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

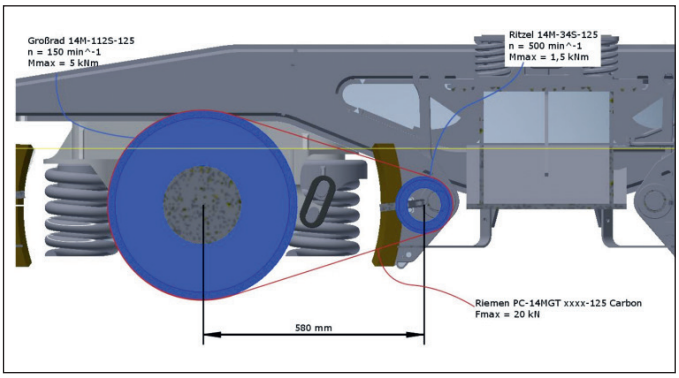
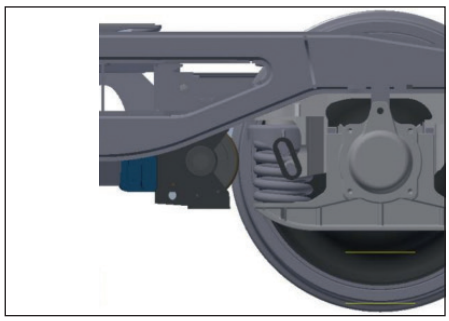


BILD 4: Rangierantrieb mittels Riemen
(Quelle: Kuhlmann)

BILD 5: Rangierantrieb mittels Reibrad
(Quelle: Kuhlmann)



Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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 einen 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 infrastrukturseitige 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 ausgestatter Züge (diese wird im Folgenden immer vorausgesetzt) ist eine Eingangprüfung 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-Endabsperrhähne 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, Endabsperrhähne öffnen
   – Zwischen logisch gekuppelten Wagen sind die Endabsperrhähne automatisch geöffnet
2. HL-Endabsperrhahn am Zugschluss schließen
   – Automatisch am letzten Wagen gemäß Zugtaufe
3. Zugschlusstafeln stecken
   – Zugschlusssignal 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 anderen 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] Pachl, 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.

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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.

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

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 Belebung 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 (EWV) 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 EWV 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 EWV 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 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

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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.

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

BILD 1: Benutzerschnittstelle des Güterwagens 4.0

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 »

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

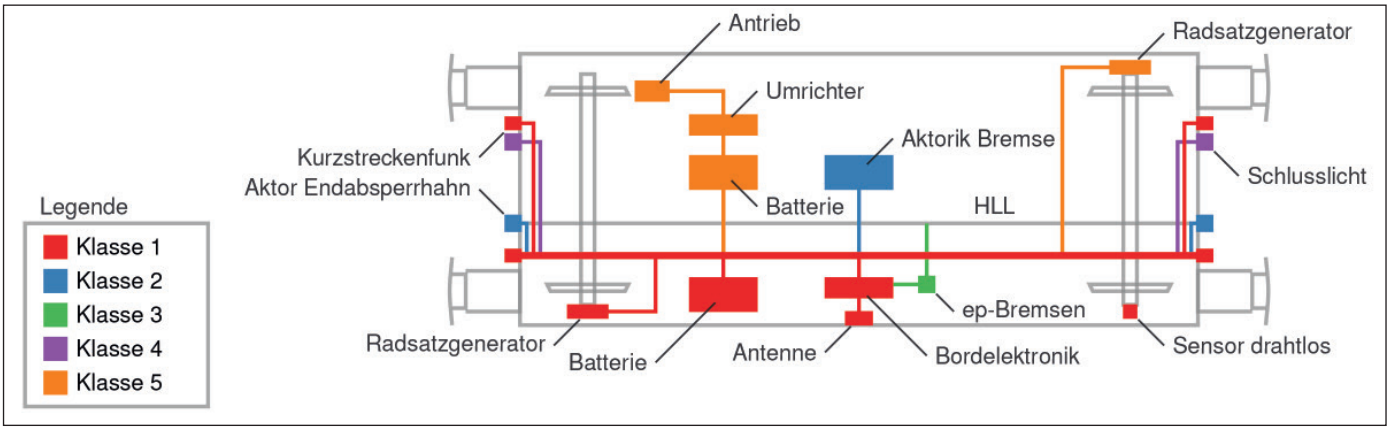


BILD 2: Modulares Konzept des Güterwagens 4.0

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.

Der GW40 bietet erhebliches Rationalisierungspotenzial durch Automatisierung der Bedienprozesse sowie der Prüfvorgänge.

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

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

KOSTENAUFWAND UND NUTZEN IM BETRIEB

Naturgemäß 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

Ansichtsexemplar bereitgestellt über Eurailpress.de

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 Grundlagenentwicklung 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.

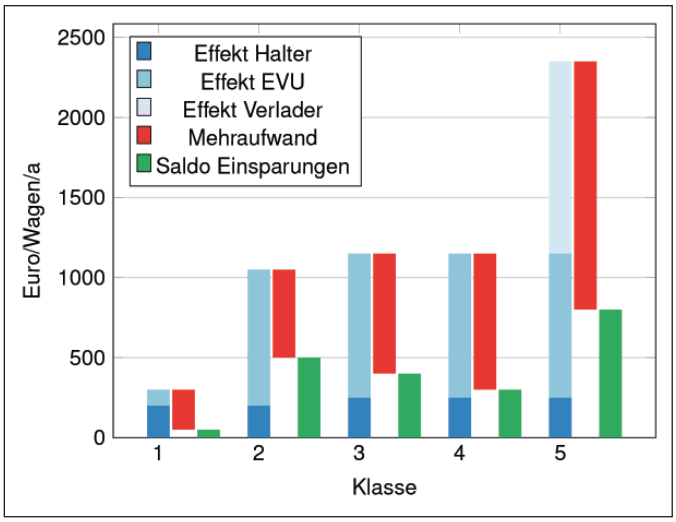


BILD 3: Gegenüberstellung Kosten und Nutzen der unterschiedlichen Klassen Güterwagen 4.0 (Klasse 5 stellt einen angetriebenen Wagen basierend auf Klasse 3 dar)

ZUSAMMENFASSUNG

Der GW40 bietet erhebliches Rationalisierungspotenzial durch Automatisierung der 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):7 4 – 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.

Eurail press
DER EISENBAHN INGENIEUR EI ETR Rail BUSINESS
Fachmedien für die ganze Bahn-Branche
Print · Digital · Online
DVV Media Group
www.eurailpress.de