

# **Funk-Kommunikation für Güterwagen**

## **Prinzipien und Anwendungsbeispiel**

Enning, Manfred<sup>1</sup> und Fratscher, René<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fachhochschule Aachen

<sup>2</sup>RheinCargo GmbH & Co KG, Neuss

**Keywords: Assistiertes Rangieren, Güterwagen 4.0**

## **1 Einleitung**

Die europäischen Güterbahnen stehen unter einem massiven Konkurrenzdruck vor allem durch den Straßengüterverkehr. Dies betrifft vor allem den Bereich der Verkehre mit hoher Wertschöpfung, zum Beispiel Transporte von Fertigwaren und industriellen Vorprodukten, Lebensmitteln und Konsumgütern. Dem schon recht geringem Anteil von ca. 17 % an den Tonnenkilometern in Deutschland steht ein Anteil am Umsatz der Logistikbranche von nur ca. 2 % gegenüber [8]. Schon daraus kann man folgern, dass sich die hochwertige Logistik heute vorwiegend auf der Straße abspielt, während die Bahn Massengüter transportiert oder im Kombinierten Verkehr hilft, Engpässe im Straßennetz zu überwinden. Wenn sie zu Letzterem mal nicht in der Lage ist (Stichwort: Rastatt) wandert die Ladung auf die Straße[4]. Das verlängert zwar Staus und erhöht Umweltbelastung und Transportkosten, zeigt aber leider auch, dass der Schienengüterverkehr nicht mehr essenziell für die Existenz unserer Gesellschaft ist.

Ein Grund für diese Situation ist die technologische Rückständigkeit des Schienengüterverkehrs. Straßenfahrzeuge präsentieren sich seit Jahrzehnten deutlich innovativer als Schienenfahrzeuge. Während der Lkw in naher Zukunft automatisch im Konvoi fährt, sein technischer Zustand Spediteur und Hersteller schon heute jederzeit präsent ist und

schon vor der Verladung alle organisatorischen Prozesse elektronisch erledigt sind, werden bei der Bahn bis heute Wagen in Handarbeit gekuppelt, Bremszettel geschrieben und stundenlange manuelle Bremsproben durchgeführt. Trotz aller Umweltvorteile, die der Bahntransport zweifellos hat, würde eine solche Bahn in Zukunft ein Nischendasein für die verbleibenden zeitunkritischen Massenguttransporte fristen. Für die hochfrequent vertakteten Prozesse unserer neuen Welt ist sie schlicht und einfach zu langsam und zu wenig transparent.

Das wird aber nicht so bleiben, die Aufholjagd hat begonnen. Die Europäischen Bahnen machen große Fortschritte, ihre organisatorischen Prozesse durch Digitalisierung zu beschleunigen und transparent und kundenfreundlich zu gestalten. Große Wagenverleiher sind dabei, ihre Flotten mit Telematik auszustatten[7]. Das alleine reicht aber noch nicht aus; der Personal- und Zeitbedarf des Bahnbetrieb muss durch Automatisierung aller Prozesse der Zugbildung und auf der „Letzten Meile“ drastisch reduziert werden. Die größte Lücke klafft derzeit noch beim Güterwagen. Um ihn zu einer automatisierbaren Komponente des Betriebs zu machen, sind mindestens die folgenden technischen Voraussetzungen zu schaffen

1. Ein (standardisiertes) **Bordstrom**-Netz
2. Sensoren und **Aktoren** für alle Bedienkomponente, um Routineprozesse bei Bildung und Fahren von Zügen automatisch ausführen zu können
3. **Kommunikationsnetz** als Bestandteil der Prozessautomatisierung und als Schnittstelle zu Bedienern

Dieser Beitrag fokussiert auf die Kommunikation. Hierbei wird ein moderner Ansatz verfolgt, der zu einem Cyber Physical System CPS führt, in dem wagenübergreifend Sensoren und Aktoren ein Internet-of-Things IoT bilden, dessen aggregierte Informationen eine digitale Identität des Güterzugs darstellen. Dieser Ansatz – Güterwagen 4.0 – und die daraus abgeleiteten Strukturprinzipien der Funkkommunikation werden in Abschnitt 2 behandelt.

Während der Weg zum vollwertigen Güterwagen 4.0 eine mehrjährige Forschungs- und Entwicklungsphase benötigt, kann mit der Komponente „dezentrale Funkkommunikation“ schon früh Mehrwert geschaffen werden. Eine mögliche Anwendung wird in Abschnitt 3 vorgestellt.

## 2 Kommunikation bei „Güterwagen 4.0“

### 2.1 Grobkonzept

Als „Güterwagen 4.0“ wird im Folgenden ein Güterwagen mit den folgenden Merkmalen bezeichnet[2]:

- Er hat eine Stromversorgung und alle Verstellorgane sind elektrisch ansteuer- und rücklesbar. Damit können alle Vorgänge bei der Zugbildung und bei der Bremsprobe ferngesteuert bzw. automatisch erfolgen.
- Er verfügt über ein umfassendes Paket an Sensoren, welches permanent den technischen Zustand des Wagens erfasst und somit Betriebsstörungen vorbeugt und Wartung planbar macht.
- Wagen können in Echtzeit miteinander und mit der Umgebung kommunizieren.
- Er verfügt über eine HL-gesteuerte indirekte Bremse und kann daher (im Rückfallbetrieb und in der Migrationsphase) wie ein konventioneller Wagen betrieben werden.
- Geschlossene Verbände aus Güterwagen 4.0 können aber auch automatisch auf Integrität überwacht werden und synchron bremsen (ep-Bremsen).
- Er verfügt über ein „Betriebssystem“, welches sicherheitskritische Komponenten kapselt (Wagon-OS) und dadurch eine leichte Erweiterung der Funktionalität in Form von Apps erlaubt.

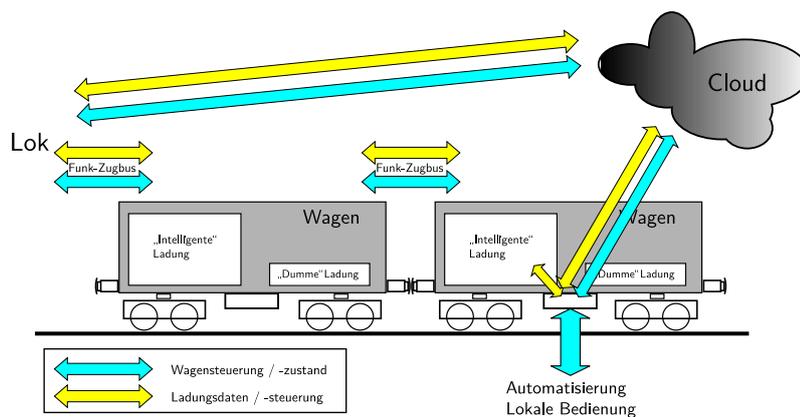


Abbildung 1: Grundkonzept Güterwagen 4.0

Das Konzept umfasst die Möglichkeiten heutiger Telematiksysteme für Güterwagen und integriert diese durch entsprechende Schnittstellen. Es geht an zwei Stellen aber deutlich darüber hinaus (Abbildung 1):

- Bei der Zugbildung und im Fahrbetrieb tauschen Wagen in Echtzeit Daten miteinander aus, während Telematiksysteme vergleichsweise selten über Mobilfunk Daten in die Cloud senden.
- Es kann aktiv der Zustand des Wagens geändert werden.

Zwei konsequente Fortsetzungen dieser Gedanken (aber nicht unbedingt notwendig, um einen Wagen „Güterwagen 4.0“ zu nennen) sind

- Ein Antrieb, der Rangierfahrten aus eigener Kraft erlaubt.
- Automatische Kupplung mit vollständiger Integration in die Zugautomatisierung.

## **2.2 Anforderung an ein Kommunikationssystem**

Wenn es nur um die theoretische Fähigkeit zur Kommunikation geht, könnte auf die in Abbildung 1 dargestellten Verbindungen zwischen den Wagen verzichtet werden. Warum sollte nicht der Zustand „Bremse angelegt“ im Rahmen der Bremsprobe in die „Cloud“ gesendet werden, wo der Bordrechner der Lok darauf zugreifen kann? Das wäre ein richtiges „Internet der Dinge“. Die einzige kommunikationstechnische Komponente des Güterwagen 4.0 wäre dann ein Mobilfunk-Modul. Vielleicht ist so etwas in Zukunft mit Mobilfunk der 5. Generation (5G) machbar. Es gibt aber viele gute Gründe, in der Struktur einen „Zugbus“, also Verbindungen nur zwischen Wagen eines Zuges vorzusehen:

- Abhängigkeit von Mobilfunkbetreibern vor allem im Hinblick auf räumliche (Netzabdeckung) und zeitliche Verfügbarkeit ihrer Dienstleistungen
- Gefahr der Systembeeinflussung mit kriminellen Absichten, Gefahr des Datenklaus
- Hohe, nicht vorhersehbare Latenzzeit bei der Übertragung (Mobilfunk bis 4G)
- Providerkosten
- Vergleichsweise hoher Energiebedarf
- Notwendigkeit der Anpassung an Mobilfunkstandards (Standard bei Telematik ist heute GSM/GPRS. GSM wird aber verschwinden[1])

Solche Strukturen finden sich aus gleichen oder ähnlichen Gründen in Form so genannter „Edgeserver“ auch in praktisch allen „Industrie 4.0“-Anwendungen. Sensoren und Aktoren im Feld kommunizieren in der Regel ausschließlich mit einem Server im unmittelbaren Prozessumfeld. Nur hierüber werden funktionale Beziehungen (Steuerungen/Regelungen) realisiert, nur hierüber kann Echtzeitfähigkeit und Sicherheit gewährleistet werden, weil die Übertragungswege kurz und gut gesichert sind. Der Edgeserver ist aus Sicht eines Feldgerätes ein Proxy-Server auf der Verbindung in die Cloud. Das Konzept des Edgeservers lässt sich leider nur schwer auf ein dynamisch veränderliches Netz aus Kommunikationspartnern übertragen, was ein Güterzug, der nicht in einer festen Zugzusammenstellung fährt, nun einmal ist. Eine wesentliche Herausforderungen für den Entwurf eines Systems zur lokalen Kommunikation ist der Verzicht auf zentrale Strukturen. Nur so kann erreicht werden, dass eine zufällig zusammengestellte Wagengruppe eine „digitale Identität“ mit Eigenschaften wie Achszahl, Bremsfähigkeit etc. bildet. Wenn einer der Wagen „Edgeserver“ sein müsste, wird das System sehr starr.

Der Schlüssel zur Lösung liegt in einer Technologie, die gerade dabei ist, alle Bereiche unseres digitalen Lebens zu verändern, nämlich das „Meshing“. Es ist heute möglich, Netzwerke gleichberechtigter WLAN-Knoten zu bilden. Jeder Knoten kommuniziert dabei wie in einem so genannten „Ad hoc“-Netz mit seinen unmittelbaren räumlichen Nachbarn. Über ein dynamisches Routing können aber auch beliebige Kommunikationsbeziehungen zwischen allen (auch räumlich entfernten) Knoten dieses Netzes und (wenn einer oder mehrere Knoten als Gateway fungieren) mit dem Internet hergestellt werden. Obwohl der Begriff des Mesh-Netzes derzeit vorwiegend im Zusammenhang mit WLAN genutzt wird, geht er weit über die Funktechnologie hinaus. In ein Mesh-Netzwerk können beliebige Übertragungswege einbezogen werden. So können Knoten über Ethernet verbunden werden, es können Powerline- und sogar Bluetooth-Verbindungen einbezogen werden. Das dynamische Routing sucht permanent nach den günstigsten Wegen unter Nutzung aller Verbindungsmöglichkeiten und gestattet auch parallele Nutzung mehrere Verbindungen bzw. redundante Routen. Seit einigen Jahren hat Meshing als IEEE 802.11s Eingang in die internationale Standardisierung gefunden und es gibt mehrere weitentwickelte Implementierungen, z.B. open80211s und B.A.T.M.A.N. [3].

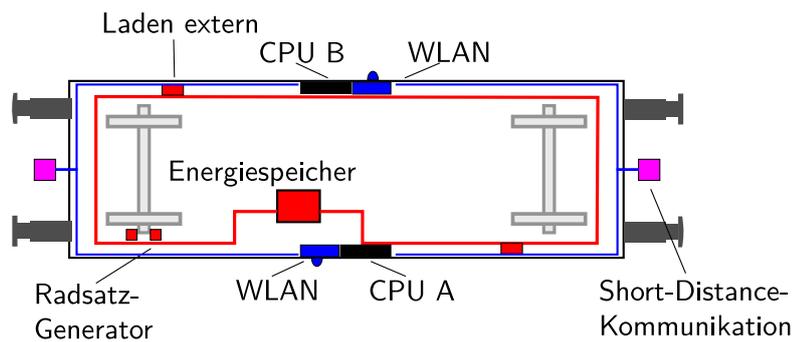


Abbildung 2: Konzeptskizze Stromversorgung und Kommunikation des Güterwagen 4.0

### 2.3 Exemplarische Umsetzung im Systementwurf „Güterwagen 4.0“

In einem ersten Systementwurf des Güterwagen 4.0 [2] wird Meshing durch die folgenden Systemkomponenten berücksichtigt (Abbildung 2):

1. Ethernet-Datennetz im Wagen
2. Punkt-zu-Punkt-Verbindung zwischen zwei Wagen über die Kuppelstelle
3. Zugangspunkte am Wagen für Kommunikation aus Sichtentfernungen (0 - ca. 200 m)

Ethernet ist eine preisgünstige und industrieerprobte Vernetzungstechnologie und wird als Plattform für die Wagenautomatisierung genutzt. In Zusammenhang mit dem Meshing bietet Ethernet hochleistungsfähige, funkunabhängige Verbindungen in Längs- und Querrichtung des Wagens.

Für die Verbindung von Wagen zu Wagen kommen zum Beispiel in Frage

- Ethernet- oder LWL-Kabelverbindung
- WLAN mit speziell geformten Antennen, ggf. im 60 GHz-Bereich (IEEE 802.11ad) für extrem hohe Bandbreite bei geringer Reichweite
- Near Field Communication (NFC). Es handelt sich um eine sehr preiswerte Technik, die mäßig hohe Datenraten über sehr kurze Entfernung (heute < 10 cm) bietet
- Bluetooth (IEEE 802.15.1) Klasse 3 (1 mW, kurze Distanz)
- Viele weitere Standards aus der Fernbedienungstechnik (Infrarot, Ultraschall etc.)

Solange keine automatische Kupplung flächendeckend eingesetzt wird, ist jegliche zusätzliche manuell zu kuppelnde Kabelverbindung ausgeschlossen. Der Produktivitätsge-

winn durch die Automatisierung wäre durch die zusätzliche Handhabung beim Kuppeln schnell verspielt. Welche der drahtlosen Techniken zum Einsatz kommt, hängt vor allem davon ab, welcher Ausrüstungsstand vorausgesetzt wird. Wenn alle Wagen mit Kommunikationstechnik ausgestattet sind, wird der Kommunikationsbedarf durch die Punkt-zu-Punkt-Verbindung über die Kuppelstellen komplett abgedeckt. In diesem Szenario wäre die 60 GHz-WLAN-Technologie das Mittel der Wahl, weil es auf die geforderte kurze Distanz eine mit Ethernet vergleichbare Bandbreite bietet. Dazu kann automatisch die Zugreihung und -vollständigkeit ermittelt werden. Möglichkeiten des Abhörens oder der Einflussnahme sind auf die unmittelbare Kuppelstelle beschränkt. Lediglich für eine Bedienung aus dem Nahbereich müssten die Wagen Zugangsmöglichkeiten (zusätzliche WLAN-Antennen, Bluetooth etc.) erhalten. Die hier zu stellenden Anforderungen sind aber gering.

Wenn für die Migrationsphase nicht ausgerüstete Wagen einbezogen werden sollen, so müssen Funkverbindungen außerhalb der Kuppelstellen hergestellt werden. Zu diesem Thema sind in der Vergangenheit umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt worden [5], die allesamt mit nicht befriedigenden Ergebnissen geendet haben. Eisenbahnschienen und -züge stellen ein denkbar schlechtes Umfeld für Funk dar. Die mit Funksystemen theoretisch erzielbare Reichweite und Bandbreite wird immer nur auf der Line-of-Sight (LoS), also der ungestörten Sichtbeziehung zwischen Knoten angegeben. Eine Lösung dieses Problems könnte in der Realisierung eines WLAN-Mesh-Netzwerks entsprechend Abbildung 3 liegen. Auf keiner Seite dieser Wagengruppe findet sich eine ungestörte Sichtlinie. Wenn man aber ein Netzwerk aus Funk-Sichtverbindungen und kabelgebundenen Querverbindungen im Wagen konstruiert, ist es leicht, in diesem Netz eine optimale Route zu finden.

Für die Übertragung auf Sichtentfernungen bieten sich aus heutiger Sicht an

- WLAN: Typische Entfernung bei unverstellter Sicht bis 300 m bei Datenrate bis 54 MBit/s
- LoRaWAN (Long Range Wide Area Network): Distanzen von mehreren Kilometern bei geringer Datenrate bis max. 50 kBit/s
- Bluetooth: Distanz bis ca. 150 m bei Datenrate von bis zu 60 kBit/s bidirektionell

Berücksichtigt man neben den technischen Spezifikationen noch die Aspekte Standardisierung, Verfügbarkeit von Treibern und Anwendungen und Kosten der Schnittstellen-

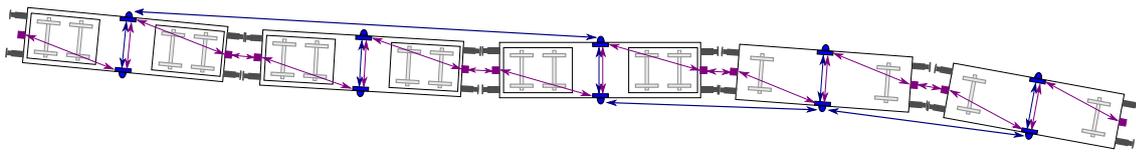


Abbildung 3: Kommunikation im Zugverband über WLAN-Mesh-Netzwerk

komponenten, so erkennt man, dass zumindest für die Kommunikation auf Sichtentfernungen WLAN eine so günstige Alternative darstellt, dass man erst dessen Grenzen ausloten sollte, bevor eine der anderen Möglichkeiten herangezogen wird. WLAN ist die einzige Technologie, bei der das ISO-OSI-Schichtenmodell umfassend zur Anwendung kommt, so dass auf allen Ebenen mit Standards in Hard- und Software gearbeitet werden kann (Protokolle wie IP, TCP, UDP, SSH etc.).

Leider bietet das WLAN-Mesh nur sehr eingeschränkte Möglichkeit, die Topologie (Wagenreihung) zu erfassen bzw. die Vollständigkeit einer Wagengruppe festzustellen. Andererseits entzieht sich der nur teilweise ausgerüstete Zug auch den Möglichkeiten der Totalautomatisierung der Zugvorbereitung, so dass die Aufnahme der Wagenreihung z.B. durch automatisches Erfassen der Wagennummer beim Statusgang erfolgen kann. Ausgerüstete Wagen können sich ggf. gegenseitig durch eine einfache Übertragungstechnik an der Kuppelstelle „erkennen“. Da aber in diesem Szenario die Kommunikation vorwiegend über die Wagenseiten erfolgt, reicht hier eine einfache Technik, etwa NFC.

In der inzwischen fast 20 Jahre alten Version 6 der Internet Protocol Specification (RFC 2460 [6]) sind IP-Adressen 128 bit lang. Es ist daher ohne weiteres möglich, eindeutige und unmittelbar einem Wagen zugeordnete IP-Adressen zu verwenden. Damit entfällt die Abhängigkeit von DHCP-Systemen, mit denen beim heute noch sehr weit verbreiteten IPv4-Protokoll die knappen Adressen verwaltet werden. Außerdem ist kein DNS-System (das ist das „Telefonbuch“ des Internet, welches einem symbolischen Namen eine IP-Adresse zuordnet) erforderlich. Wenn man die UIC-Wagennummer kennt, kennt man die IP-Adresse (Abbildung 4). Beides Schritte, die zu einem vollkommen infrastruktur-unabhängigen System führen.

```
iface bat0 inet6 static
    address fd78:3214:6290:d772:0000:2180:2472:0560
    netmask 64
```

*Abbildung 4: Auszug aus der Schnittstellenkonfiguration eines Güterwagenrechners*

---

Der erste Teil der IP-Adresse `fd78:3214:6290:d772` ist der Prefix einer Unique Local Address (ULA). Der zweite Teil ist aus der eindeutigen UIC-Wagennummer gebildet. Im Beispiel ist es ein gedeckter Güterwagen der Bauart 2472 (Hbillns) mit der laufenden Nummer 056, der bei der DB eingestellt ist (80) und im grenzüberschreitenden Verkehr eingesetzt werden darf (21).

Eine Adresse aus diesem Raum wird nur in einer lokalen Netzwerkumgebung geroutet. Möchte man Verbindungen in die Cloud aufbauen, so benötigt man an irgendeiner Stelle im WLAN-Mesh ein Gateway mit einer Mobilfunk-Schnittstelle. Aus Kostengründen könnte man diese Funktion auf Rangier- und Streckenloks implementieren. Nur wenn man permanente Verbindung zum Wagen benötigt, muss man diesem Wagen eine eigene Schnittstelle „spendieren“. Sobald man über öffentliche Netze routet, müssen globale IP-Adressen benutzt werden. Nach dem oben gezeigten Bildungsprinzip wäre es aber möglich, mit einem Mobilfunkbetreiber einen Global Unicast Adresskreis „UIC-Wagennummern“ zu vereinbaren.

## **3 Anwendungsbeispiel: Technisch überwachte Spitze von Rangierabteilungen**

### **3.1 Der Kostenverursacher „letzte Meile“**

Als „letzte Meile“ wird im Schienengüterverkehr der letzte bzw. erste Abschnitt einer Zugleistung genannt, der in Deutschland meist auf nicht elektrifizierter Infrastruktur stattfindet. Diese Teilleistungen werden häufig von anderen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) als Unterfrachtführer übernommen und mit regional operierenden Diesellokomotiven durchgeführt. Die Kosten der letzten Meile können sogar die Kosten des Hauptlaufes übersteigen und führen nicht selten zu einer Unwirtschaftlichkeit gegenüber dem Lkw-

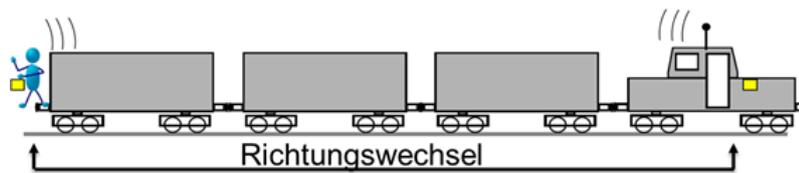


Abbildung 5: Lösungsansatz Funkfernsteuerung

Verkehr. Die hohen Kosten sind neben dem Lokomotivtausch auch auf folgende Punkte zurück zu führen:

- Aufwendige Bremsproben nach jeder Neubildung eines Zuges
- Notwendigkeit der Spitzenbesetzung. Bei geschobener Fahrt erfordert dies eine weitere Person auf dem letzten Wagen (Rangierbegleiter Rb)
- Zusätzliches Personal für Be- und Entladevorgänge (sofern vom EVU übernommen)
- Wagenmeister zur Prüfung der Wagen vor Zugabfahrt, nach Ladungswechsel

Die Einführung von Funkfernsteuerungen für Rangierlokomotiven erlaubt unter gewissen Voraussetzungen die Zustellung von Rangierabteilungen (Rabt) im Einmannbetrieb. Der Lokführer – nun Lokrangierführer Lrf genannt – besetzt bei geschobener Fahrt die Spitze und steuert die Lok mit einer mobilen Bedieneinrichtung. Er übernimmt zusätzlich die Aufgaben des Rb, nämlich die Gefahrenraumüberwachung, Signalisierung für den umgebenden Verkehr (Bahnübergänge) und die Bedienung von Infrastrukturkomponenten, wie handbediente oder ortsgestellte Weichen und Gleissperren. Beim Richtungswechsel muss er den gesamten Zug ablaufen (Abbildung 5). Wegen des damit verbundenen Zeitbedarfs ist der einmännische Betrieb bei langen Ganzzügen und häufigen Richtungswechseln unpraktikabel.

### 3.2 Ausweg – Rangieren mit technisch überwachte Spitze (RTUS)

Durch Ausstattung des letzten Wagens mit einer mobilen Einheit zur Umfelderkennung wäre es für den Lrf möglich, den Zug in beide Richtungen vom Führerstand aus zu bedienen. Er befindet sich auch bei geschobener Fahrt in einer sicheren und komfortablen Umgebung, statt auf dem Rangiertritt des letzten Wagen zu stehen. Neben der Optimie-

rung des Betriebsablaufes bedeutet dies auch eine verbesserte Sicherheit im Hinblick auf Unfälle beim Auf-/ Absteigen bzw. Rangieren. Natürlich setzt dies voraus, dass keine weiteren Tätigkeiten durch den Rb zu erledigen sind. Außerdem verursacht die Einführung neuer beweglicher (und damit verlierbarer) Objekte in den Bahnbetrieb oft große Probleme. Insofern ist die Ausstattung des letzten Wagens mit einer tragbaren Sensoreinheit sicher keine Universallösung. Die speziellen Randbedingungen im Rangierbetrieb eines großen Binnenhafens bieten aber günstige Voraussetzungen für den Einsatz:

- Die Infrastruktur ist bereits heute so gestaltet, dass nur wenige Ortsbedienhandlungen bei Rangierfahrten notwendig sind. Die verbleibenden lassen sich mit beschränktem Aufwand eliminieren.
- Es sind zwar „Sägefahrten“ ganzer Züge notwendig; alle Zugbewegungen spielen sich aber auf einem vergleichsweise kleinen Areal ab.
- Die Ausstattung der Spitze mit der Sensoreinheit kann bei der Einfahrt des Zuges immer an derselben Stelle erfolgen. Gleiches gilt für das Demontieren bei der Ausfahrt. Diese Vorgänge müssen aber sehr schnell und sicher erfolgen.

Die fehlenden unmittelbaren Sinneseindrücke müssen durch ein technisches System (Abbildung 6) ersetzt werden, welches eine mindestens gleiche Sicherheit wie der konventionelle Betrieb mit Rangierbegleiter auf dem letzten Wagen gewährleistet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Rb zwar umfassend die Fahrsituation wahrnimmt, die Steuerung der Lok aber durch die Sprechfunkverbindung mit dem Lokführer nicht stetig erfolgt. Außerdem wird die Funktionsfähigkeit der Übertragungskette nicht ständig geprüft. Das Ausbleiben einer Meldung des Rb wird u.U erst nach 20 Sekunden bemerkt, in der sich die Rangierabteilung unkontrolliert weiterbewegt.

Ein Sicherheitsgewinn ist bei technisch überwachter Spitze schon aufgrund der Möglichkeit der ständigen Überwachung der Verbindung gegeben. Demgegenüber ist die unmittelbare Wahrnehmung durch ein technisches System nie vollständig ersetzbar. Alleine durch Videoübertragung ist der Nachweis gleicher Sicherheit vermutlich nicht führbar. Eine Kombination von Videoübertragung und zusätzlicher Umfeldsensorik erscheint als Lösungsansatz aber Ziel führend und liegt dem im Folgenden beschriebenen Konzept zu Grunde.

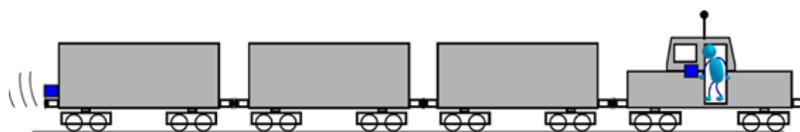


Abbildung 6: Rangieren mit technisch überwachter Spitze

### 3.3 Konzept der mobilen Sensoreinheit

Ein modularer Aufbau der Sensorikeinheit erlaubt eine stufenweise Erweiterung der Fähigkeiten:

- Vergleichsweise schnell zu realisieren ist eine Live-Videoübertragung und Notstopp der Rabt bei Verbindungsabbruch. Notwendig ist darüber hinaus eine Einrichtung zur akustischen und/oder optischen Warnung des umgebenden Verkehrs.
- Ein Radarumfeldscanner, wie er im Straßenfahrzeugbereich bereits vielfach eingesetzt wird, kann Objekte erkennen und „tracken“, die sich vor dem Fahrzeug befinden. Im Sinne von „Augmented Reality“ lassen sich diese Information im Führerstand mit dem Videobild kombinieren, um die Aufmerksamkeit des Betrachters auf Objekte zu lenken, die sich möglicherweise auf Kollisionskurs befinden.
- Durch Verfahren der Bildverarbeitung lassen sich bereits auf der mobilen Einheit Informationen extrahieren. So könnten z.B. Signalstellungen erkannt oder Weichenlagen identifiziert werden. Insbesondere bei Fahrwegverzweigungen kann der Bereich, den der Scanner auf Objekte abtastet, auf den Spurkanal und seine unmittelbare Umgebung beschränkt werden.
- Wenn das System die notwendige Trennschärfe aufweist, ist der Weg vom Unterstützungssystem zum intervenierenden Assistenzsystem möglich. Das System wird dabei um kognitive Fähigkeiten erweitert. Bei drohender Gefahr wird die Rabt automatisch gestoppt.
- Eine weitere Erweiterung der Fähigkeit führt dann zu einem System, welches Rangierfahrten vollständig autonom durchführt.

Ein Lösungsansatz für eine schnelle und sichere Anbringung in einer Weise, dass sich die Sensoren unabhängig von der Wagenbauart immer in derselben Position und Orientierung befinden, bietet der Kupplungshaken als in Form und Ort genormter Bezugspunkt.

### 3.4 Datenkommunikation zwischen Sensorikeinheit und Führerstand

Hier gelten im Prinzip dieselben Randbedingungen und Voraussetzungen wie bei den Überlegungen zum Kommunikationskonzept des Güterwagens 4.0 (siehe Kapitel 2.2). Hinzu kommt als neue Anforderung die Übertragung eines Videolivestreams, der bezüglich Auflösung und Latenz ein sicheres Fahren auf „elektronische Sicht“ gestattet. Eine Kabelverbindung ist auch für die Verbindung zwischen letztem Wagen und Lok nicht praktikabel. Weil bei der technisch überwachten Spitze die Wagen zwischen Lok und mobiler Sensoreinheit aber konventionell sind (und vorerst bleiben sollen), fehlt die Möglichkeit der Funkverbindung von Wagen zu Wagen. Vom Grundsatz her nutzbar sind daher nur Mobilfunk und direkte Funkverbindungen.

Bereits die Übertragung von binären Steuerbefehlen und Rückmeldungen über direkte Funkstrecken (Funkfernsteuerung) ist bei 700 m-Zügen aufgrund der Vielzahl an Störeinflüssen nicht trivial. Die Übertragung eines Live-Videobildes erfordert eine deutlich höhere Bandbreite und ist derzeit vor allem aufgrund der hohen Latenz kaum möglich. Auch das aktuell verfügbare 4G-Mobilfunknetz (Long Term Evolution, LTE) ist nicht ausreichend.

Frühestens 2025 wird das 5G-Netz in Deutschland flächendeckend zur Verfügung stehen [1]. 5G verspricht eine Latenzzeit der Funkstrecken von unter einer Millisekunde und eine Datenübertragungsraten von 10 Gbit/s, rund ca. 1000 mal höher als bei LTE. Für die gestellten Anforderungen wäre 5G mehr als ausreichend [2]. Die aktuellen Effizienzprobleme der „letzten Meile“ lassen aber nicht zu, mit der Lösung lange zu warten. Außerdem wird heute weder der Zeitpunkt der Vollabdeckung garantiert (Häfen sind für Mobilfunkbetreiber sicher nicht die Gebiete höchster Priorität) noch dass der Ausbau mit der Zunahme an Nutzern mit datenhungrigen Applikationen Schritt halten wird.

Aus diesem Grund macht es viel Sinn, auch für das spezielle Problem der Spitze-Spitze-Kommunikation den Ansatz des WMN (WLAN-Mesh-Network) auf Praktikabilität zu untersuchen. Auch wenn eine Strecke von 700 m unter Nutzung von Richtantennen theoretisch zu bewältigen ist, so gilt dies doch nur bei einer vollkommen ungestörten Verbindung auf der Line-of-Sight. Realisierbar wird das Kommunikationsproblem aber durch Vermittlung des Datenstroms über Relaisstationen (Abbildung 7). Diese sind so anzuordnen, dass möglichst lange ungestörte Sichtlinien zu den Fahrzeugen bestehen. Sie bilden zusammen mit den beweglichen Stationen auf dem Zug ein WLAN-Mesh.



selbstorganisierendes Kommunikationsnetzwerk aus gleichberechtigten Knoten. Durch IPv6 entfällt auch jegliche Netzverwaltung, so dass keinerlei Abhängigkeit zu externer Infrastruktur besteht.

In etwas modifizierter Form eignet sich dieser Ansatz auch für eine Punkt-zu-Punkt Kommunikation über konventionelle Güterwagen, wenn anstelle der Zwischenknoten auf Güterwagen Relaisstationen an festen, geometrisch günstig gelegenen Punkten, genutzt werden. Für den recht häufigen Fall der Rangierbewegungen langer Züge auf beschränkten Gelände kann auf diese Art eine wirtschaftliche und sichere Lösung entstehen.

Ähnliche Ansätze gibt es auch im Automotive-Bereich. Kooperierende Assistenz erfordert zwingend 5G-Mobilfunk, wenn sie flächendeckend nutzbar sein soll. Für spezielle Aufgabenstellungen (Platooning von Lkw, Kreuzungsassistent) werden auch hier Lösungen auf der Grundlage des WMN entstehen, die frühzeitiger realisiert werden können.

Mit der vorgeschlagenen mobilen, leicht montier- und demontierbaren Sensoreinheit wird außerdem ein erster Schritt in Richtung des autonomen Rangierbetrieb gezeigt.

## Autoren



### **Enning, Manfred**

Studium des Maschinenbaus an der RWTH Aachen, 1989 Promotion zum Dr.-Ing., Thema: Regelung von Gießwalzwerken. Tätigkeiten vorwiegend im Bereich Lehre und Forschung. Seit 1993 mit Schwerpunkt Schienengüterverkehr/Einzelwagenverkehr. 2010 Berufung an die FH Aachen auf das Lehrgebiet Bahnsystemtechnik.



### **Fratscher, René**

Studium des Wirtschaftsingenieurwesens in der Fachrichtung Maschinenbau an der TU Kaiserslautern. Seit 2015 als Betriebsingenieur im Projektmanagement bei der RheinCargo GmbH & Co KG in Neuss tätig.

## Literatur

- [1] *Ab 2020 droht das Aus für den klassischen Mobilfunk GSM und UMTS : Industrie 4.0: Milliardenfalle Mobilfunk*. URL: <https://www.computerwoche.de/a/industrie-4-0-milliardenfalle-mobilfunk,3219538> (besucht am 04.09.2017).
- [2] Manfred Enning und Raphael Pfaff. „Güterwagen 4.0 - Der Güterwagen für das Internet der Dinge - Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept“. In: *ETR Eisenbahntechnische Rundschau* 1 (2017). ISSN: 0013-2845.
- [3] Rosario G. Garroppo, Stefano Giordano und Luca Tavanti. „Experimental evaluation of two open source solutions for wireless mesh routing at layer two“. In: *IEEE*, 2010, S. 232–237. ISBN: 978-1-4244-6855-3. DOI: 10.1109/ISWPC.2010.5483777. URL: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5483777/> (besucht am 14.09.2017).
- [4] *Hälfte der Chemietransporte muss verlagert werden - Verband der Chemischen Industrie e.V. (VCI)*. URL: <https://www.vci.de/presse/pressemitteilungen/haelfte-der-chemietransporte-muss-verlagert-werden-vci-zur-sperrung-der-rheintalstrecke-bei-rastatt.jsp> (besucht am 08.09.2017).
- [5] Thorben Kupke. „Funkbasierte energieautarke Kommunikation für Eisenbahngüterzüge“. Diss. TU Braunschweig, 13. Nov. 2007.
- [6] *RFC 2460 - Internet Protocol, Version 6 (IPv6) Specification*. URL: <https://tools.ietf.org/html/rfc2460> (besucht am 12.09.2017).
- [7] *VTG Aktiengesellschaft digitalisiert gesamte europäische Wagenflotte*. URL: <http://www.vtg.de/presse-events/pressemitteilungen/detail/news/35-vtg-aktiengesellschaft-digitalisiert-gesamte-europaeische-wagenflotte/> (besucht am 01.03.2017).
- [8] *Wirtschaftsbereiche - Güterverkehr - Statistisches Bundesamt (Destatis)*. URL: <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/Wirtschaftsbereiche/TransportVerkehr/Gueterverkehr/Gueterverkehr.html> (besucht am 14.09.2017).