

Apps für den Güterwagen?

Wie der Güterwagen 4.0 die effiziente Integration der Güterbahn in ERTMS ermöglicht

Was ist der Güterwagen 4.0?

Der Güterwagen 4.0 ist eine Erweiterung des Güterwagens, wie er derzeit in Europa und weiten Teilen der Welt verwendet wird, mit dem Ziel, den Schienengüterverkehr fit für die Herausforderungen der Zukunft zu machen. Zu den Herausforderungen zählen Industrie 4.0 und mit ihr Logistik 4.0. Mit dem Internet der Dinge (IoT) und Cyber Physical Systems als treibenden Kräften hat die Entwicklung zur Industrie 4.0 (I40) vorwiegend die effiziente Fertigung ab Stückzahl 1 und die Selbstorganisation der Maschinen in der Fertigung der Zukunft zum Ziel. Die Logistik muss, um mit diesen Entwicklungen Schritt halten zu können, mit kleinteiligen Sendungen umgehen können und kommunikativ im Rahmen der Selbstorganisation sein.

Um sich in dieses System integrieren zu können benötigt der Güterwagen 4.0 (GW40):

- Stromversorgung
- Datenverbindung
- Sensoren
- Aktoren
- Betriebssystem

Als grundlegendes Merkmal sorgt die Stromversorgung durch Radsatzgeneratoren und Akkumulator dafür, dass im Gegensatz zu derzeitigen Telematik-Systemen konstantes Monitoring und kontinuierliche Datenübertragung möglich ist. Damit wird der GW40 in die Lage versetzt, als Objekt im IoT in selbstorganisierende Systeme eingebunden zu werden und dank seiner Aktorik autonom Einstellungen vorzunehmen sowie mit dem optionalen Antrieb sogar bei Bedarf zur Ladestelle zu fahren [1]. Während

die Vorteile an der Ladestelle durch Integration in Fertigungssysteme so groß sind, dass eine Investition in GW40 betriebswirtschaftlich sinnvoll ist, hat er ebenfalls das Potenzial, Abläufe der Vollbahn zu vereinfachen [2]. Eine wichtige Ergänzung ist das offene Betriebssystem des GW40, das WagonOS. Durch die Offenheit der Plattform lassen sich Anpassungen an den geplanten Einsatz des GW40 vergleichbar mit Apps für Smartphones umsetzen und auf den GW40 laden. Damit wird das System Güterbahn für zukünftige Entwicklungen vorbereitet und gleichzeitig der Markt für unabhängige Entwickler geöffnet [3].

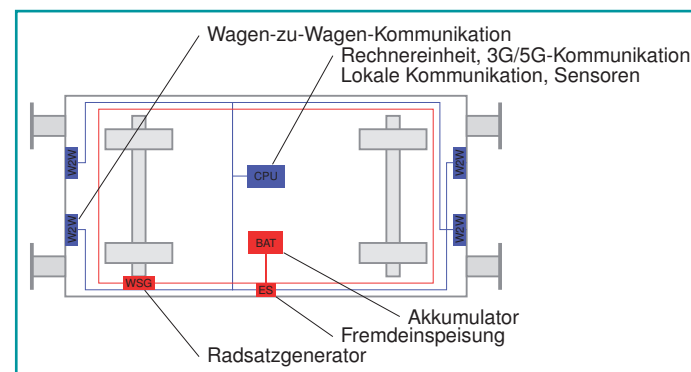


Abbildung 1: Systemarchitektur des Güterwagen 4.0.

ETCS-Bremskurven

Das europäische Zugsicherungssystem ETCS setzt, wie viele andere Zugsicherungssysteme, auf die Modellierung des Zugbremsvermögens mittels Bremskurven. Eine Bremskurve ist eine Orts-Geschwindigkeits-Kurve, die die Geschwindigkeit des Zuges für den Zeitraum der Bremsung vorhersagt. Das Bremsvermögen eines Zuges ist dabei jedoch nicht als Konstante anzusehen, vielmehr handelt es sich um eine Zufallsvariable mit einer Wahrscheinlichkeitsverteilung. Zufällig (oder als zufällig zu modellierende) schwankende Einfluss-

größen auf die Bremskurve sind beispielsweise der Bremsbelagreibwert oder der Wirkungsgrad des Bremsgestänges.

Die europäische Eisenbahngesellschaft ERA empfiehlt zur Ermittlung der Zufallsverteilung der Bremskurven für Fahrzeuge, die in einer begrenzten Anzahl von Konfigurationen verkehren, die Durchführung von wiederholten Zufallsexperimenten (Monte-Carlo-Simulation) [4]. Beispiele für Züge, die in einer begrenzten Anzahl an Konfigurationen verkehren sind vornehmlich Triebzüge. Für lokbespannte Züge, die in einer großen Anzahl an Konfigurationen zusammengestellt werden können, wird ein

Verfahren zur Umrechnung der Bremsgewichte in Bremskurven vorgeschlagen. Die Umrechnung wird dabei mittels Korrekturfaktoren vorgenommen. Diese Faktoren sind einheitlich für alle Güterwagen festgelegt, es ist also anzunehmen, dass gut gewartete und moderne Fahrzeuge durch ungünstigere Bremskurven benachteiligt werden.

Ermittlung von Bremskurven für den Güterwagen 4.0

Durch das konstante Monitoring beispielsweise von Beschleunigungen ist es möglich, die Bremsverzögerungen der Güterwagen zu messen. Durch die Einstellung im Zugverband ergibt sich nach der Bremsaufbauzeit eine gemeinsame Verzögerung des Zuges aus der Summe der Bremskräfte, damit ist also eine Messung der individuellen Verzögerung nicht möglich. Da aber der Güterwagen in vielen Zügen eingestellt wird, lässt sich durch Analyse der Korrelation mittels Big Data Analysis-Verfahren eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der einzelnen Wagen schätzen.

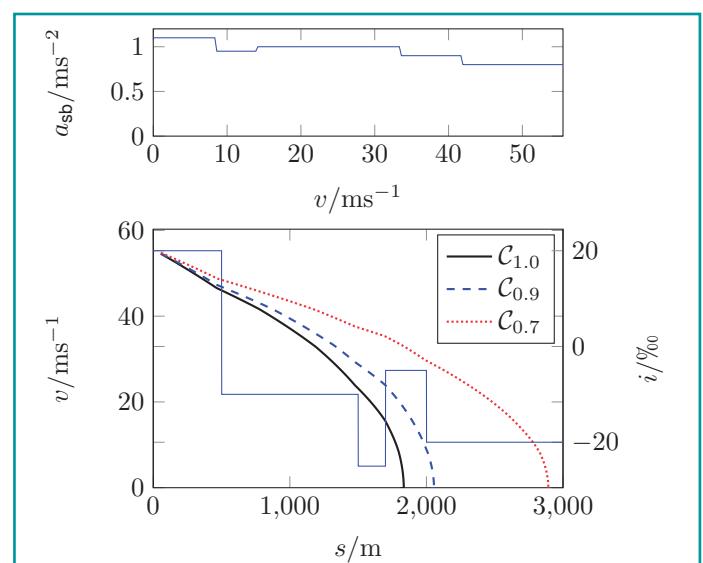


Abbildung 2: Beispiele von Bremskurven in Gefälle mit Neigung i für 70%, 90% und 100% relatives Bremsvermögen.

Die DB Cargo führt monatlich etwa 2,6 Millionen Zugfahrten zwischen Betriebsstellen durch. Unter der Annahme von durchschnittlich 20 Wagen je Zug und 10 Bremsungen je Zugfahrt sowie einer Abtaste von 10 Hz führt das zu einem Datenstream von 9,4 TB pro Monat bei 20 Byte pro Sample. Da eine Vielzahl der Güterzüge nachts fährt sind in der Spitze etwa 7-10 MB/s zu erwarten. Um eine Verarbeitung in Echtzeit zu ermöglichen sind also Big Data Stream-Verfahren anzuwenden, daher wird ein Algorithmus in MapReduce-Form vorgeschlagen.

bank, die zu jedem Wagen die Zugnummer bereithält. Im Map-Schritt werden die eintreffenden Verzögerungsdaten den Zugfahrten zugeordnet, dabei dient die Zugnummer als Output-Key. Der Shuffle-Schritt sammelt die Daten einer Zugfahrt auf einem Rechner der verteilten Architektur. Auf diesem Rechnerknoten werden im Reduce-Schritt die Verzögerungen der anderen Wagen im Zugverband ermittelt, indem eine Monte-Carlo-Simulation mit vergleichsweise kleiner Stichprobengröße durchgeführt wird. Auf Grundlage der Simulationsdaten werden Er-

Züge mit je 10 Wagen, die zufällig aus dem Wagenpool zusammengestellt wurden und eine konservative Initialisierung der Key-Value-Datenbank mit dem doppelten des wahren Varianzwertes die Schätzung gegen den wahren Wert konvergiert.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Konzept des Güterwagen 4.0 wurde eingeführt, es unterscheidet sich von bestehenden Telematik-Anwendungen durch konstantes Monitoring der Wagenzustände, Aktoren für Wagenfunktionen und das offene Betriebssystem WagonOS. Eine spezifische Anwendung, die Schätzung von Bremskurven aus beobachteten Verzögerungen, wurde dargestellt. Ein erster Vorschlag für einen möglichen Algorithmus wurde skizziert.

Im Sinne der Modularität des WagonOS handelt es sich bei den vorgeschlagenen Algorithmus zum Einen um eine Cloud-Lösung zur Behandlung der Fahrzeugdaten, zum anderen benötigen die Wagen eine App, die die Daten an die Cloud sendet sowie nach Zugzusammensetzung die Bremskurven-Daten für die Zugfahrt bereitstellt. Diese App löst ein Problem, das im Betrieb mit ETCS auftritt. Es ist zu erwarten, dass für weitere Aufgaben im Betrieb, in der Wartung und an der Ladestelle weitere Apps entstehen, die von der Standardisierung der Schnittstellen und der Sensorik und Aktorik des GW40 pro-

fitieren. Beispiele für denkbare Apps sind eine Funktion zur kooperativen automatischen Auflaufbremse oder eine „FollowMe“-Funktion, die den angetriebenen GW40 innerhalb des Werksgeländes einer Rangierperson folgen lässt.

Die Einbeziehung der Güterbahn in das Internet der Dinge mit Hilfe eines offenen Betriebssystems sorgt insbesondere mit Blick auf die Anforderungen der I40 für Zukunftssicherheit und neue Geschäftsmodelle.

Prof. Dr. Raphael Pfaff
Schienefahrzeugtechnik
FH Aachen
University of Applied Sciences
www.fh-aachen.de

Quellen

- [1] Enning, M.; Pfaff, R. Güterwagen 4.0 - der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 1: Gesamtsystembetrachtung und grundlegendes Konzept. ETR 66-1/2 (2017)
- [2] Pfaff, R.; Enning, M.; Güterwagen 4.0 – der Güterwagen für das Internet der Dinge. Teil 2: Ausgewählte technische Aspekte und Prozesse. ETR 66-5 (2017)
- [3] Pfaff, R.; Enning, M.; WagonEcosystem: Zeitgemäße Automatisierung am Güterwagen. Bahntechnik Aktuell 61 (2016)
- [4] European Railway Agency 2016, Introduction to ETCS braking curves (online verfügbar)

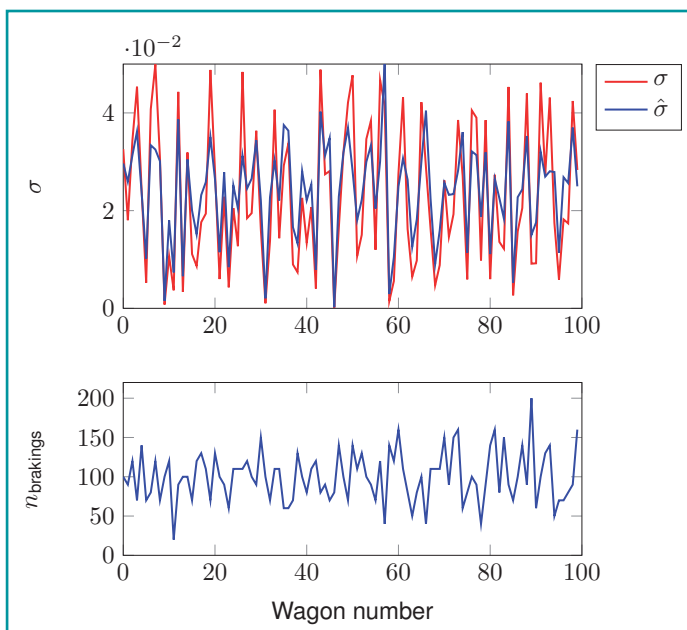


Abbildung 3: Ergebnisse des vorgeschlagenen Algorithmus (Rot: wahre Standardabweichung, Blau: geschätzte Standardabweichung)

Die Datenhaltung erfordert eine Key-Value-Datenbank, die jedem Wagen zu seiner eindeutigen Wagennummer den Erwartungswert sowie die Varianz seiner Bremskurve zuordnet sowie eine zweite Key-Value-Daten-

wartungswert und Varianz auf Grundlage Bayes'scher Statistik aktualisiert.

Das Ergebnis einer numerischen Studie für 100 Wagen zeigt, dass bereits für 100 kurze