

Die letzte Meile im Schienengüterverkehr bedarfsgerecht digitalisieren:

Güterwagen 4.0 und SAMIRA
(Shunting Assistant and Monitoring Interface
for Autonomous Rail Applications)

Prof. Dr. Raphael PFAFF

Schienenfahrzeugtechnik
Fachhochschule Aachen
Aachen

Prof. Dr.-Ing. Manfred ENNING

Bahnsystemtechnik
Fachhochschule Aachen
Aachen

INHALT

1. **Einleitung**
2. **Anforderungen an den SGV**
3. **Güterwagen 4.0**
 - 3.1 Condition Monitoring
 - 3.2 Beschleunigte Zugbildung
 - 3.3 Angetriebener Güterwagen
 - 3.4 Briefkastenbedienung von Gleisanschlüssen
4. **SAMIRA**
 - 4.1 Rangieren mit technisch überwachter Spitze
 - 4.2 Vom Rangierassistenten zum autonomen Rangieren
5. **Schlussfolgerungen und Ausblick**

1. Einleitung

Der Großteil der Verkehrsleistung im Güterverkehr wird in Europa durch Lkw erbracht. Im Licht der immer wieder beschworenen Verkehrswende ist eine Steigerung des Anteils der Schiene im Güterverkehr sicherlich wünschenswert. Leider laufen die Trends zur Verlagerung auf die Schiene und die Bedürfnisse moderner Logistik, beispielsweise Just-In-Time-Lieferungen mit Echtzeit-Tracking, immer kleinere Sendungsmengen im Zuge der *Mass Customisation*, also der Fertigung hochindividualisierter Teile, oder Same Day Delivery entgegengesetzt: Die üblichen Bahnsendungen wie Kohle, Stahl oder Steine und Erden nehmen in einer entwickelten Volkswirtschaft ohne Rohstoffe ab, die Dekarbonisierung sorgt für einen Rückgang der Ladungsmengen an fossilen Brennstoffen.

Am Beispiel von Großbritannien lässt sich der Rückgang fossiler Brennstoffe und damit der gesamten Ladungsmenge mit fortschreitender Dekarbonisierung im Zuge des Ausbaus erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung gut darstellen.

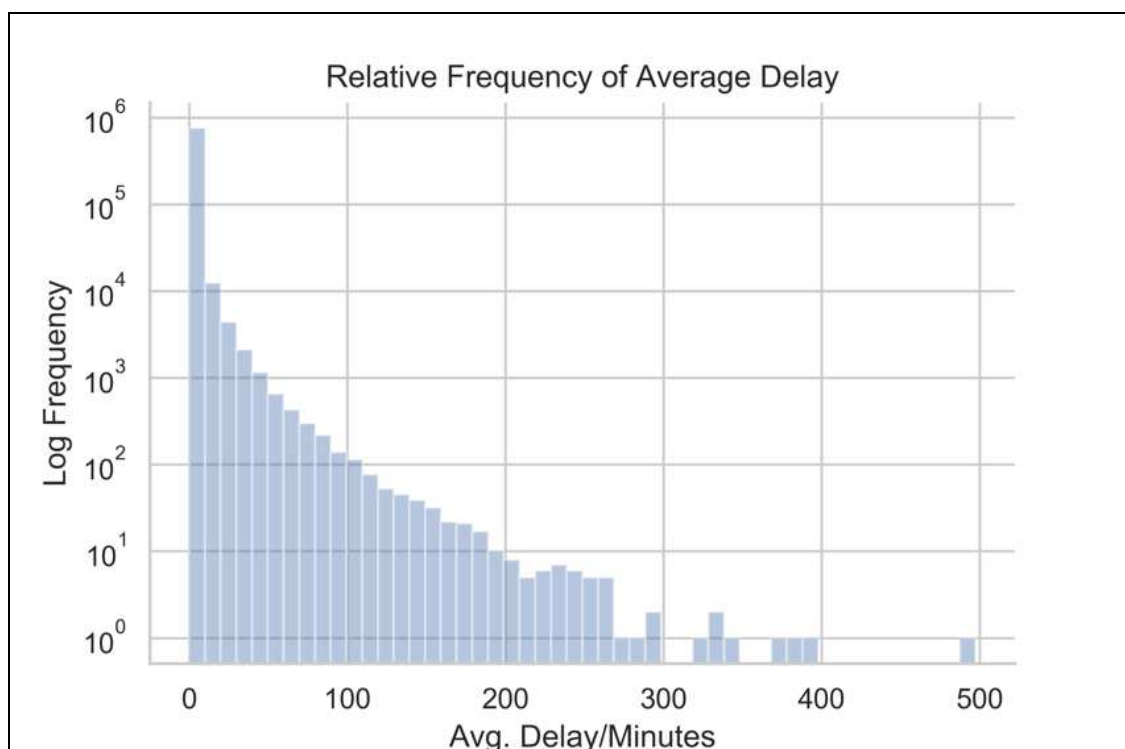
Empirische Analysen zeigen, dass mit fortschreitender Dekarbonisierung eine wichtige Grundlastkomponente im Schienengüterverkehr (SGV) fehlt – damit laufen andere Verkehre Gefahr, erheblich teurer zu werden oder gar von Streckenstilllegungen betroffen zu sein.

Wenn die Verkehrswende gelingen soll, sind intelligente Ansätze gefragt, um die von der modernen Logistik geforderten Eigenschaften zu erfüllen. Hier ist besonders herausfordernd die letzte Meile, da der Kostenanteil dieses Teil des Güterverkehrs überproportional hoch ist.

2. Anforderungen an den SGV

Der universellen Lean-Methodik sowie betriebswirtschaftlichen Zwängen folgend setzt moderne Logistik zum einen auf eine Reduzierung von Zwischenlagern und Beständen, zum anderen auf hohe Punkt-zu-Punkt-Geschwindigkeiten der Lieferung. Beides lässt sich nur über die Zuverlässigkeit der Sendung erreichen. Gerade diese Zuverlässigkeit ist jedoch eine der Schwächen des SGV, wie aus Abbildung 1 ersichtlich wird.

Abbildung 1: **Durchschnittliche Verspätungsminuten je Zugfahrt im SGV**



Quelle: Eigene Darstellung nach DB Open Data, Stand Dezember 2016

Ein Großteil der beobachteten Verspätungen ist mittelbar oder unmittelbar auf Verzögerungen bei der Zugbildung oder zu spät entdeckte Fehler der Fahrzeuge zurückzuführen.

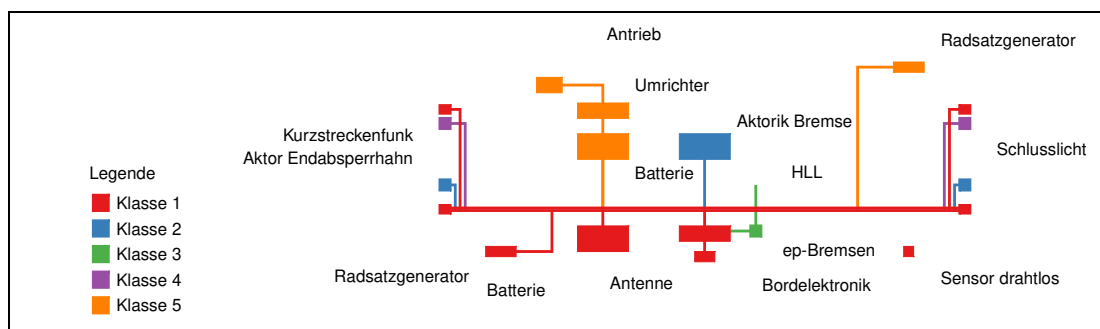
Ein weiterer Aspekt, der zu einer unbefriedigenden Leistungsfähigkeit des SGV führt, liegt in der Bedienung der Gleisanschlüsse sowie der Werksgleise. Hier muss für die interne Verteilung der Wagen, anders als für den Lkw, eine Lokomotive oder ein Zweiwege-Fahrzeug vorgehalten werden, was mit erheblichen Kosten und Kapitalbindung verbunden ist [1]. Weiterhin bedingt die Technologie des heutigen Güterwagens als „Low Tech“-Komponente, dass Gleisanschlüsse an Bahnstrecken mit Personenverkehr nur zu Tagesrandzeiten bedient werden können, keinesfalls ist eine Erreichbarkeit rund um die Uhr wie beim Lkw möglich.

Zu den oben genannten Herausforderungen durch schlechte Verfügbarkeit oder geringe Flexibilität der Zustellung kommt ein hoher Bedarf an spezifisch ausgebildetem Personal, so muss beispielweise beim Verfahren von Rangierabteilungen zusätzlich zum Lokrangierführer (Lrf) ein Rangierbegleiter eingesetzt werden, wenn die Lok nicht an der Spitze eingereicht ist.

3. Güterwagen 4.0

Das Konzept der Güterwagen 4.0 (GW40) zielt darauf ab, den Innovationsgrad des Rollmaterials im SGV zu erhöhen, ohne von staatlicher Förderung als Finanzierungsbeitrag auszugehen. Dazu wird konsequent zu jeder Funktion der Business Case gesucht, der für den Wagenhalter oder Versender einen Amortisationsbeitrag erwirtschaftet. Um die Wirtschaftlichkeit für viele Versender gewährleisten zu können, ist daher eine Modularisierung vorgesehen, die in 5 Klassen vom digitalen Leitungswagen, also einem Wagen der die Kommunikation und Zugtaufe ermöglicht, aber keine weiteren Funktionen aufweist, bis zum angetriebenen, vollautomatisierten Fahrzeug. Die Klassen und die jeweilige Struktur sind in Abbildung 2 dargestellt.

Abbildung 2: **Struktur und Klassen des GW40**



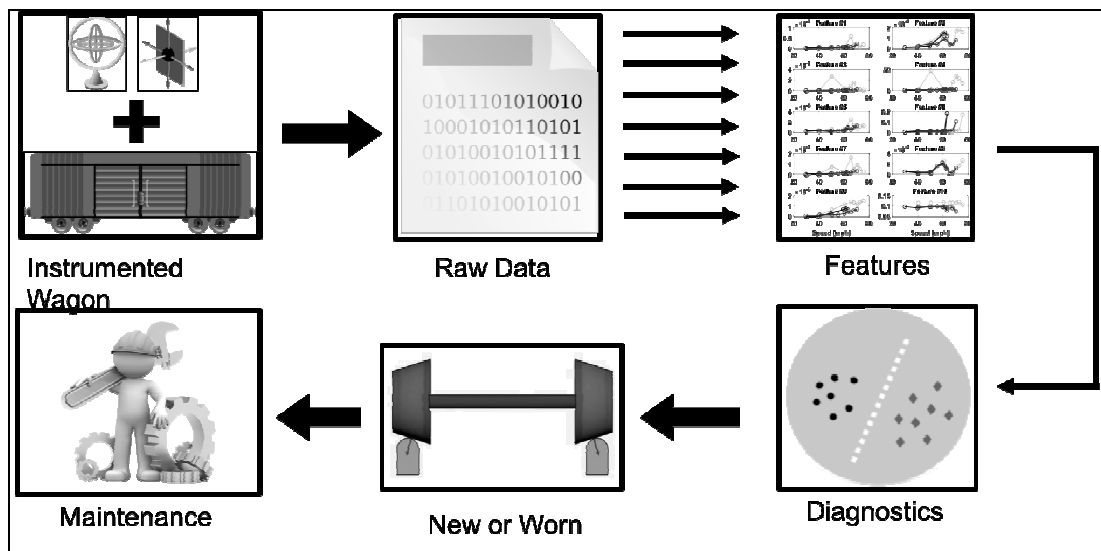
Quelle: **Eigene Darstellung**

Jeder GW40 verfügt über elektrische Energie, die über standardisierte Schnittstellen zur Verfügung gestellt wird sowie einen Speicher. Der Strom wird lokal erzeugt, da die Verteilung über Elektrokontaktkupplungen mit der Anzahl an Kuppelstellen eines Güterzugs zu unzuverlässig und verlustbehaftet ist.

3.1 Condition Monitoring

Durch die konstante Energieversorgung lässt sich, im Gegensatz zu üblichen stromverbrauchsoptimierten Telematiksystemen eine durchgängige Überwachung von kritischen Funktionen, eine ständige Datenverbindung zu einer Zentrale sowie auch energieintensive Vorverarbeitungsschritte (edge computing) wie AI at the edge umgesetzt werden.

Abbildung 3: **Condition Based Maintenance – Beispiel Radprofil**



Quelle: Shahidi et al., *Railcar Bogie Performance Monitoring...*, [2]

Wie alle Use Cases für den GW40 wird auch das Condition Monitoring-System in enger Zusammenarbeit mit den Anspruchstellern entwickelt, um sicherzustellen, dass eine angemessene Wertschöpfung bei den investierenden Stellen entsteht. Dazu werden Use Cases und Business Cases intensiv diskutiert, interessant ist sicherlich die Vielfalt, insbesondere im internationalen Vergleich.

3.2 Beschleunigte Zugbildung

Nach der Bildung eines neuen Zuges muss dieser in den Richtungsgleisen der Zugbildungsanlage oder in einem Bahnhof einer technischen Wagenbehandlung und einer Bremsprobe unterzogen werden. Die Zeitvorgaben unterscheiden sich zwischen den Eisenbahnverkehrsunternehmen, jedoch wird für eine vollständige Bremsprobe an einem 740 m langen Güterzug 90 Minuten nicht unterschritten. Ein Großteil dieser Zeit sind Wegezeiten, die durch dreimaliges Entlanggehen am neugebildeten Zug entstehen sowie Sichtprüfungen, für die einige Sekunden je Radsatz vorgesehen sind.

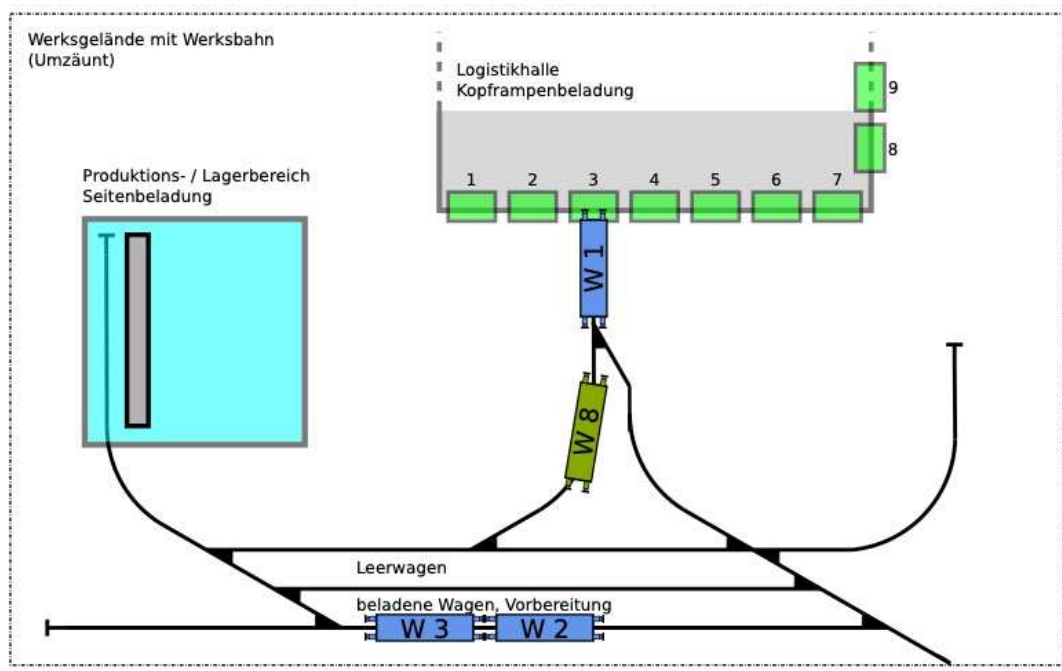
Der Güterwagen 4.0 kann diese Zeit durch eine Vernetzung auf zwei Ebenen (Kurzstreckenfunk zur Identifikation des nächsten Wagens und ein WLAN-Mesh für die Nutzlast bei geringer Latenz) und die Automatisierung der Bremsfunktionen erheblich verkürzen. Der Nutzen besteht dann darin, dass zum einen die Verweilzeit auf kostspieliger Infrastruktur sinkt, zum anderen der Personalbedarf für wenig attraktive Tätigkeiten wie Bremsproben sinkt.

3.3 Angetriebener Güterwagen

Der Lkw kommt zur Ladestelle, während ein Güterwagen vom Eisenbahnverkehrsunternehmen zum Gleisanschluss gebracht wird und in der Regel den Rest der Strecke vom Versender, entweder mit einer eigenen Lokomotive oder mit einem geeigneten Rangiergerät, rangiert werden muss. Dabei ist gerade ein Güterwagen ideal geeignet, um das fahrerlose Transportsystem auf das Werksgelände zu erweitern.

Dazu muss der Güterwagen über einen Antrieb verfügen, der mit 20 kW Leistung ein Verfahren mit Rangiergeschwindigkeit zulässt. Da ein automatischer Betrieb nach BOA auf einem abgesperrten Werksgelände stattfindet, ist die Zulassung deutlich einfacher als im Vollbahnbereich. Abbildung 4 zeigt ein typisches Werksbahnnetz.

Abbildung 4: Werksbahnnetz



Quelle: Eigene Darstellung

In einem solchen Werksbahnnetz können die Wagen ganz im Sinne von Industrie 4.0 selbstorganisierend und in Kommunikation mit der Smart Factory die jeweiligen Ladestellen selbstständig anfahren.

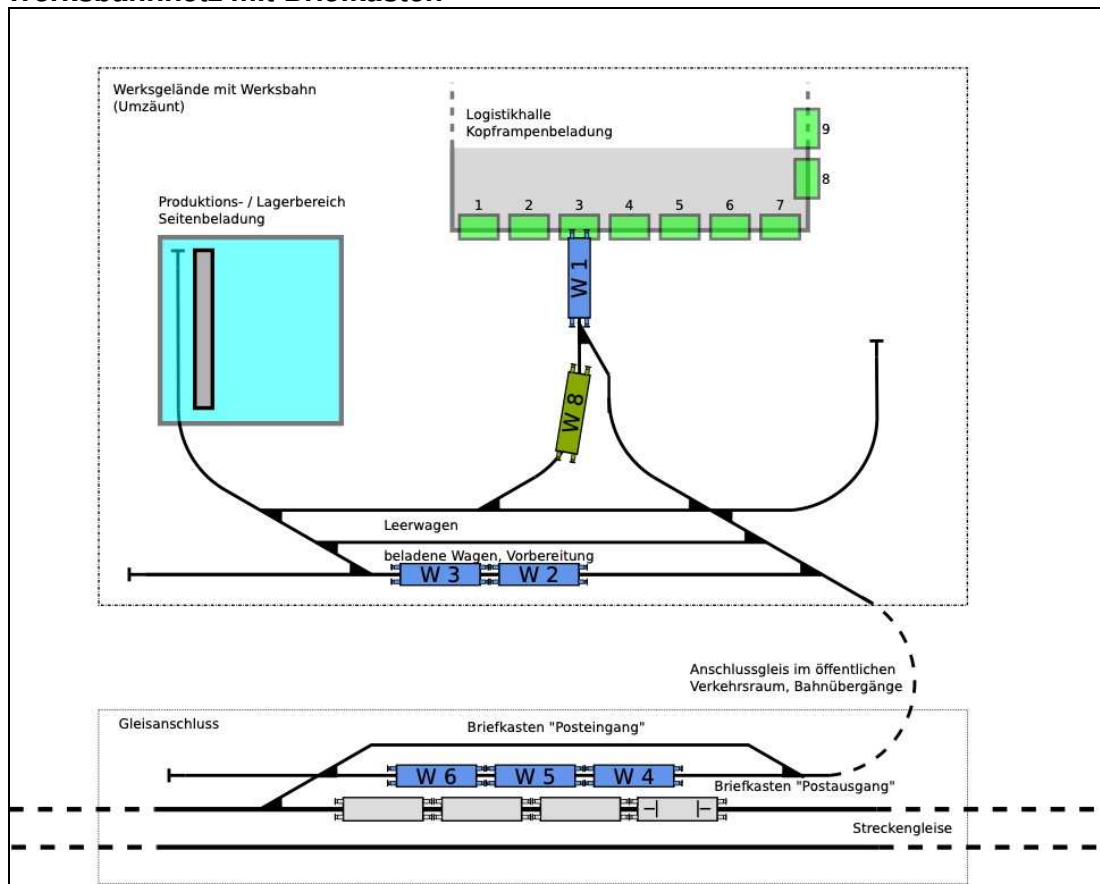
Ein Rangiergerät oder eine Lokomotive wird nicht mehr benötigt, einige Bedienhandlungen, wie die Y-förmige Gleisanordnung zur Kopframpenbedienung, ist ohne Antrieb der einzelnen Fahrzeuge auch nicht möglich.

3.4 Briefkastenbedienung von Gleisanschlüssen

Viele Gleisanschlüsse werden nicht oder nur selten bedient. Dies liegt auch daran, dass die Bedienung auf Grund der technologischen Basis des Güterwagens als Sperrfahrt, d.h. als Rangierfahrt ab dem nächstgelegenen Bahnhof mit einer Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h erfolgen muss.

Durch die Kombination von individuellem Antrieb und beschleunigter Zugbildung ist eine Anschlussbedienung in deutlich kürzerer Zeit als Zugfahrt grundsätzlich möglich. Auf der Infrastrukturseite muss lediglich die Achszähllogik um die Anzahl der ausgetauschten Achsen sicher korrigiert werden, möglicherweise eine Anwendung für Public Ledger-Ansätze.

Abbildung 5: Werksbahnnetz mit Briefkasten

Quelle: **Eigene Darstellung**

Durch diese Ergänzungen kann ein Gleisanschluss auch an einer befahrenen Bahnstrecke in weniger als zehn Minuten bedient werden. Es werden häufigere Bedienungen möglich und dank des hohen Automatisierungsgrads auch wirtschaftlich.

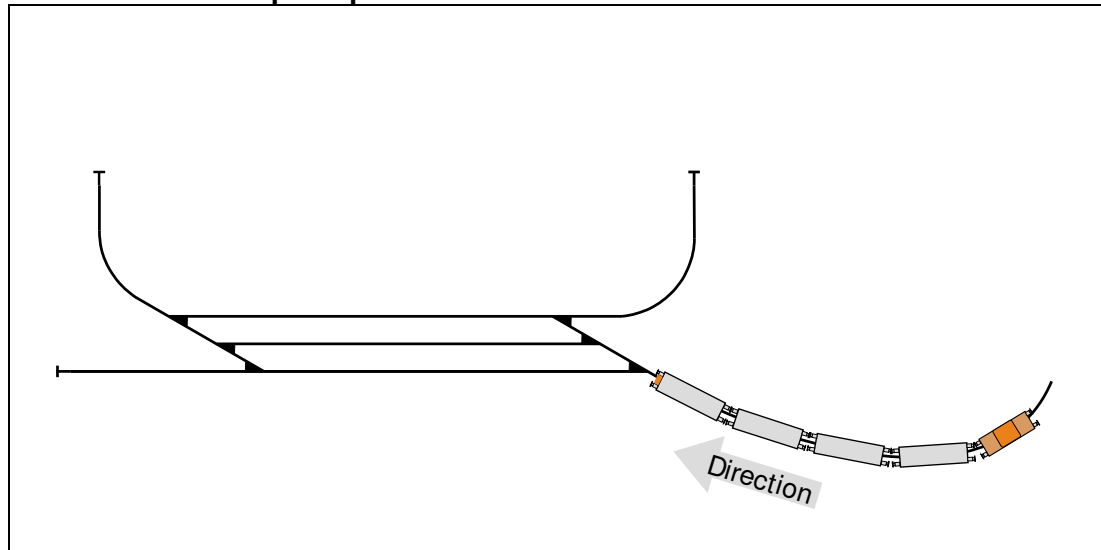
4. SAMIRA

Das Shunting Assistant and Monitoring Interface for Autonomous Rail Applications (SAMIRA) folgt einem ähnlichen Ansatz wie der GW40, indem zunächst an der Ladestelle Kosten gesenkt werden. In vielen Anwendungen, beispielsweise Häfen, bewegen sich die Rangierabteilungen innerhalb geschlossener Anlagen mit einer begrenzten Anzahl an Ein- und Ausfahrgleisen und werden teils geschoben.

Damit ist es möglich, am Zugschluss der Rangierabteilung ein Mobilgerät zu befestigen, das mit einer Bedienerchnittstelle kommuniziert. Diese Anordnung ermöglicht es dem Lrf, im Gegensatz zu am Markt befindlichen Produkten, sich im Führerstand des Triebfahrzeugs aufzuhalten anstatt auf Rangiertritt an der Zugspitze.

Das Prinzip des SAMIRA-Systems ist Abbildung 6 dargestellt.

Abbildung 6: **SAMIRA Funktionsprinzip**

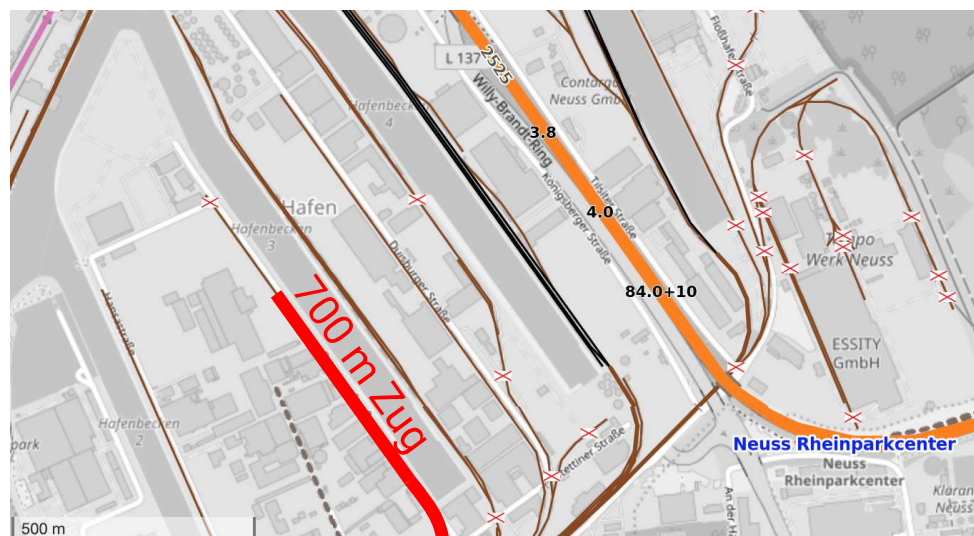


Quelle: Eigene Darstellung

4.1 Rangieren mit technisch überwachter Spitze

Das Fahren mit technisch überwachter Spitze wird durch das mobile SAMIRA-Modul ermöglicht. Da je nach Länge des geschobenen Wagenzugs der Lrf weit von der technisch überwachten Spitze entfernt, genügt eine einfache Videoübertragung von der Zugspitze in den Augen der Verfasser nicht, vielmehr ist umfangreiche Unterstützung notwendig. Diese beinhaltet eine gleisselektive Ortung und Kartendarstellung der Zugspitze sowie eine Objekt- und Weichenlagenerkennung. Dazu erhalten die im Rahmen der Demonstrationsphase zu bauenden SAMIRA-Module Stereokameras, 3D-LIDAR- und Radarsensoren. Die Übertragung der Daten erfolgt im ersten Schritt über ein ortsfestes Wifi-Mesh, in weiteren Entwicklungen kann das Wifi-Mesh des GW40 oder 5G Mobilfunk genutzt werden. Wie wichtig diese Hilfestellungen für den Lrf sind, wird aus Abbildung 7 offensichtlich.

Abbildung 7: **Zug im Gleisnetz eines Binnenhafens**



Quelle: Eigene Darstellung unter Nutzung von OpenStreetMap und OpenRailwayMap

4.2 Vom Rangierassistenten zum autonomen Rangieren

Durch die Implementierung der Assistenzfunktionen, die Aufzeichnung der Daten und das Protokollieren des Verhaltens der Lrf besteht eine hervorragende und wirtschaftliche Möglichkeit, Daten für das maschinelle Lernen von Rangiersituationen zu sammeln. Die rechtlichen Schritte, also beispielsweise die Vereinbarungen mit den Eisenbahnverkehrsunternehmen oder die Anonymisierung sind hierbei noch offen. Die Nutzung der Daten bietet jedoch die Möglichkeit, ohne direkte Investitionen Daten zu sammeln, die im Automotive-Bereich derzeit die Branche verändern.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Der SGV hat gegenüber dem Straßengüterverkehr deutliche Nachteile im Zusammenspiel mit moderner, kleinteiliger Logistik. Gleichzeitig nimmt der Anteil an bahnaffinen Verkehren deutlich ab. Um die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene zu erreichen sind daher andere Ansätze als die unbedingte Kostensenkung bei Rollmaterial nötig.

Der Güterwagen 4.0 bietet durch einen modularen Aufbau, mehrere Klassen der Automatisierung und direkten Nutzen an der Ladestelle ein Konzept, dass den Schienengüterverkehr gerade im Zusammenspiel mit moderner Logistik stärken kann.

Ergänzt wird der GW40 durch SAMIRA. Das SAMIRA-System wirkt unmittelbar als intelligente Rückfahrkamera für Güterzüge, hat aber durch Objekterkennung und Datenerfassung das Potenzial zum autonomen Rangieren beizutragen.

Zusammenfassung

Der Schienengüterverkehr hat für die kleinteilige Logistik deutliche Nachteile gegenüber dem Güterverkehr auf der Straße. Besonders die letzte Meile ist kosten- und arbeitsintensiv. Die Projekte Güterwagen 4.0 und SAMIRA reduzieren den Mehraufwand und haben das Potenzial, die systembedingten Nachteile in Vorteile zu wandeln.

Summary

Rail freight exhibits significant drawback when it comes to small scale logistics. Especially the last mile contributes to higher cost and capital required. The projects Wagon 4.0 and SAMIRA reduce additional efforts and may potentially turn systematic drawbacks into advantages.

Danksagung

Das Projekt Güterwagen 4.0 wird unter dem Förderkennzeichen 16ES0850K vom Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des Programms KMUinnovativ gefördert.

Das Projekt SAMIRA wird unter dem Förderkennzeichen EFRE-0801677 von der Leitmarktagentur NRW gefördert.

KONTAKT ZUM AUTOR:**Prof. Dr. Raphael PFAFF**

Position: Professor für Schienenfahrzeugtechnik
Organisation: FH Aachen
Anschrift: Goethestr. 1, 52064 Aachen
Telefon: 0241-6009-52454
E-Mail: pfaff@fh-aachen.de
Internet: www.wagon40.com

Co-Autor:**Prof. Dr.-Ing. Manfred ENNING**

Position: Professor für Bahnsystemtechnik
Organisation: FH Aachen
Anschrift: Goethestr. 1, 52064 Aachen
Telefon: 0241-6009-52461
E-Mail: enning@fh-aachen.de
Internet: www.wagon40.com

© Copyright 2019
Schriftenreihe BAHNTECHNIK AKTUELL (Band 71 / 2019)
DIGITAL-RAIL 2019 - BAHN-DIGITALISIERUNG - Bahn 4.0 - (Tagungsdokumentation / Proceedings)
Alle Rechte beim Verlag des IFV Bahntechnik e.V., Salzufer 17 - 19 / SG20, 10587 Berlin
www.fachpublikationen-online.de >>> ISBN 978-3-940727-64-0

QUELLENVERZEICHNIS / LITERATURANGABEN:**LITERATUR:**

- [1] Pfaff, R., Schmidt, B. D., Enning, M. (2017). Towards inclusion of the freight rail system in the industrial internet of things - wagon 4.0. Stephenson Conference, London, United Kingdom
- [2] Shahidi P., Maraini D., Hopkins B., Seidel A. (2015). "Railcar Bogie Performance Monitoring using Mutual Information and Support Vector Machines." Annual Conference of the Prognostics and Health Management Society, Coronado, California.

ANHANG

A	Nowack
B	Reinecke
C	Gradischek
D	Seemann / Fried
E	Bay / Wolter
F	Traxler
G	Labenbacher / Man
H	Tesar / Otto et al.
J	Dahlhaus / Krcmar
S	Bay
IFV	IFV BAHNTECHNIK e.V.