

Automatisiertes Rangieren mit Schienenfahrzeugen – welchen Beitrag können fahrzeugseitige Assistenzsysteme leisten?

Franzen, Julian¹; Pinders, Udo²; Stecken, Jannis¹; Kuhlenkötter, Bernd¹

¹Ruhr-Universität Bochum, Lehrstuhl für Produktionssysteme, Bochum, Deutschland

²Westfälische Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG, Hattingen, Deutschland

Zusammenfassung

Die Automatisierung des Schienen(güter)verkehrs stellt im Kontext der Optimierung des Rangierbetriebs einen kontrovers diskutierten Ansatz dar. Dieser Beitrag nimmt eine Bewertung vor, welchen Beitrag fahrzeugseitige umfeldwahrnehmende Assistenzsysteme im Kontext des automatisierten Rangierens bei aktuellem technischen und regulatorischen Stand zu leisten im Stande sind. Darüber hinaus werden unter Rückgriff auf Entwicklungsergebnisse des Forschungsprojekts RANGierASSistent nutzenbringende Funktionen, welche auf Kenntnis und Auswertung des Umfelds basieren, sowie erste praktische Erfahrungen vorgestellt.

Keywords: Assistenzsystem, autonomes Fahren, Umfeldsensorik

1 Vollautomatisierung des Rangierens?

Durch die steigende Globalisierung und immer größere Vernetzung steigt die Menge der beförderten Güter. So wurden im Jahre 2016 in Deutschland mit 4,6 Milliarden Tonnen

1,1 % mehr Güter als im Jahre 2015 transportiert und damit zum vierten Mal in Folge ein neuer Höchstwert erzielt [1]. Dabei wurden Transportleistungen von 471,8 Tonnenkilometern (tkm – Maßeinheit für die Verkehrsleistung im Güterverkehr, Produkt aus zurückgelegten Kilometern mit der Gütermenge in Tonnen) auf der Straße erbracht, was ein Plus von 2,8% zum Vorjahr bedeutet. Die Transportleistung des Schienengüterverkehrs sank hingegen um 0,5% auf 116,0 tkm [1] trotz vielerlei Vorteilhaftigkeiten dieses Verkehrsträgers (z. B. aus ökologischer Sicht hinsichtlich allgemein angestrebter Emissionsverringerungen [2]).

Als Ursache der Diskrepanz zwischen der sinkenden Transportleistung und bahnspezifischen Vorteilen werden gemeinhin hohe Kosten im Vergleich zum Straßenverkehr ausgemacht [3]. Um dennoch eine Konkurrenz zum Straßenverkehr darstellen und damit die verbundenen Vorteile des SGV aktivieren zu können, muss somit eine höhere Effizienz erreicht werden. Als konkreter Konkurrent zum Straßengüterverkehr kann der Einzelwagenverkehr gesehen werden [3]. Den zentralen Punkt des Einzelwagenverkehrs bildet dabei der Rangiervorgang.

Bei der Betrachtung des Rangierens wird schnell deutlich, dass dieser Prozess noch immer von manuellen Tätigkeiten dominiert wird und vom Grundverständnis daher ein erhebliches Potenzial zur Automatisierung besitzt. Entgegen der für die Streckenfahrt genutzten Gleise erfolgt das Rangieren häufig auf einer sehr rudimentären Infrastruktur.

Daher muss, bezogen auf diesen Anwendungsfall, die viel und kontrovers diskutierte Vollautomatisierung bzw. das autonome Rangieren (z. B. [3,4]) jedoch nicht zwangsläufig den Königsweg für eine Attraktivitätssteigerung darstellen. Vielmehr gilt es im Sinne aller Prozessbeteiligten durch Aktivierung der Vorteile einer Automatisierung nutzbringende Lösungen mit angemessenem Automatisierungsgrad zu generieren. Es ist gemäß Abbildung 1 diejenige Lösung angemessen, welche im Lösungsraum, begrenzt durch ein limitierendes Viereck aus technischer Realisierbarkeit, regulativen Vorgaben, der Investitionsbereitschaft der Nutzer sowie einer psychologischen Komponente bestehen kann.

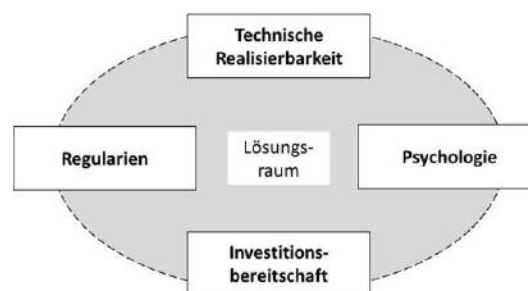


Abbildung 1: Limitierendes Viereck zur Definition des Lösungsraums

Um einen geeigneten Automatisierungsgrad zu identifizieren, wird im Rahmen dieses

Beitrags zunächst der Aspekt der technischen Realisierbarkeit aufgegriffen. Dazu wird im folgenden Kapitel unter Rückgriff auf Szenarien aus dem Rangierbetrieb mit Funkfernsteuerung analysiert, welche konkreten Gefährdungsereignisse für den Rangierbetrieb mit Hinblick auf automatisierte Funktionen relevant sind und wie diese aufgrund der vorherrschenden Infrastruktur durch Zuhilfenahme fahrzeugseitiger Umfeldsensorik beherrscht werden können. Die daraus resultierende Einschätzung wird dann auf die anderen Elemente des limitierenden Vierecks gemäß Abbildung 1 projiziert, um eine endgültige Einschätzung hinsichtlich eines geeigneten Automatisierungsgrades für das Rangieren auf Bahnhöfen und Anschlussgleisen treffen zu können.

2 Wieviel Automatisierung ist anforderungsgerecht?

2.1 Randbedingungen und Methodik

Um das Rangieren im SGV ökonomischer zu gestalten, wurde die Notwendigkeit zum Einsatz von zwei Mitarbeitern bestehend aus Triebfahrzeugführer zum Steuern des Triebfahrzeugs sowie eines Rangierers zur Beobachtung und Absicherung des Arbeitsbereichs in Fahrtrichtung durch die Einführung von Funkfernsteuerungen (FFS) aufgeweicht. So ist es unter Einsatz einer FFS nach aktueller Gesetzeslage möglich, das Fahrzeug oder Gespann mit nur einem Mitarbeiter zu rangieren, da dieser nicht mehr ortsfest an das Bedienpult im Führerhaus der Maschine gebunden ist [5]. Dem so entstehenden ökonomischen Vorteil steht die deutliche Erweiterung des Aufgabenspektrums des nun alleine verantwortlichen Lokfahrzeugführers gegenüber. Dieser muss nun nicht nur die Steuerung des Fahrzeugs oder Gespanns durchführen, sondern ebenfalls die Überwachung und die Sicherung des Fahrweges übernehmen. Eine Unterstützung des Lokfahrzeugführers durch fahrzeugseitige umfelderfassende Hilfssysteme erscheint somit insbesondere bei Nutzung einer FFS durch das erweiterte Aufgabenspektrum sinnvoll.

Im Rahmen dieses Beitrags soll zunächst analysiert werden, in welchen konkreten Szenarien die Unterstützung grundsätzlich sinnvoll ist und in einem weiteren Schritt, welchen Nutzen bereits vorhandene Technologien und Lösungen im Kontext des Rangierens, zunächst im Gleisbereich des Bahnhofs, liefern können. Zur Identifizierung der entsprechenden Potenziale dient DIN EN 50239 „Funkfernsteuerung von Triebfahrzeugen für Güterbahnen“, konkret Anhang A [6] als belastbare Grundlage für die Annahme von Einsatzszenarien von Funkfernsteuerungen zum Rangieren im Bahnhofsbereich. Die Ergebnisse dieser Analyse werden im folgenden Unterkapitel 2.2 dargestellt.

2.2 Ergebnisse der Analyse

Die Durchführung der methodisch unterstützen Analyse erfolgte auf Basis der Grundlage von auftretenden Szenarien gemäß DIN EN 50239, Anhang A. In Anlehnung an die dort aufgeführten Betriebsbedingungen unter Einsatz einer FFS wurden Rangierszenarien bzw. Ereignisse identifiziert, in denen gefähderungsträchtige Situationen auftreten können. Diese Gefahrenereignisse lassen sich im Wesentlichen zu Gefährdungen für Personen, Material sowie Umwelt klassifizieren.

Eine grundsätzliche Eignung zur Analyse von konkreten Gefahrenereignissen hinsichtlich der Gefahrenidentifikation und -beherrschung zeigt die häufig genutzte Fehlerbaumanalyse (FTA – Fault Tree Analysis). Gemäß Abbildung 2 liefert die Anwendung der FTA auf die identifizierten Gefahrenereignisse Assistenzfunktionen zur Gefährdungsminderung bzw. –beherrschung. Konkret werden entsprechend dieser Vorgehensweise Fehlhandlungen auf der Ebene des Rangierers, welche die Gefährdungen erst ermöglichen, als Ansatzpunkt mit Unterstützungspotenzial interpretiert. Der rechte Teil von Abbildung 2 illustriert auf diesem Weg beispielhaft gefundene Assistenzfunktionen zur Unterstützung des Rangierers.

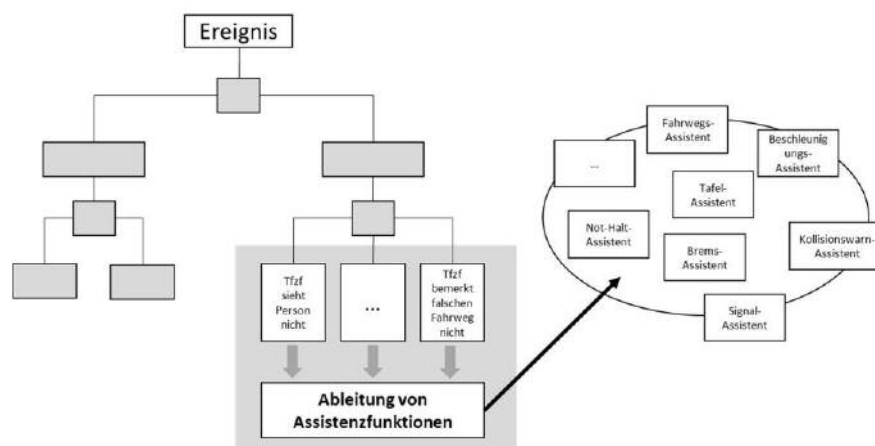


Abbildung 2: Ableitung von Assistenzfunktionen aus identifizierten Gefahrenereignissen

2.3 Adaption vorhandener Assistenzsysteme

Auf den ersten Blick wecken diese Funktionen aufgrund der reinen Begrifflichkeit Erinnerungen an bereits etablierte Assistenzsysteme des Straßenverkehrs [7]. Wie in [8] näher beleuchtet, unterscheiden sich die Randbedingungen beim Betrieb des Schienengüterverkehrs erheblich von denjenigen beim Betrieb von Straßenfahrzeugen. Daher ist eine einfache Übernahme der vorhandenen Lösungen nicht möglich, die Nutzung bereits vorhandener Technologien, soweit möglich, allein aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten jedoch erstrebenswert (siehe Abbildung 1, „Investitionsbereitschaft“) [9].

Folgende Betrachtung erläutert diese These: die Umsetzung einer fahrzeugseitigen Assistenzfunktion sowohl für den Schienen- als auch für den Straßenverkehr gründet auf dem Vorliegen eines anforderungsgerechten Umgebungsabbilds. Auf dieses Umgebungsabbild können Methoden des industriellen Sehens, wie diverse Bildfilter, Kantenerkennungsverfahren und perspektive Umwandlungen angewendet. So können Informationen aus dem Abbild extrahiert und in einem verwertbaren Format für die weitere Verwendung zur Verfügung gestellt werden. Gemäß Abbildung 3 ist es für die ersten beiden Schritte des angenommenen Ablaufs möglich, überwiegend auf den Stand der Technik zurückzugreifen. Auch wenn sich die technischen Randbedingungen von Bahn- und Automobilbetrieb erheblich unterscheiden, so bestehen an die Sensorik selbst in etwa gleichartige Anforderungen [8,9]. Somit besteht seitens der Sensorik die Möglichkeit zur Technologieübernahme mit den damit verbundenen Vorteilen hinsichtlich der Produktreife, Verfügbarkeit und Preis. Der Rückgriff auf bereits existierende Lösungen aus dem Bereich des industriellen Sehens zur Extraktion verwertbarer Informationen aus den Sensordaten erfolgt ebenfalls im Sinne niedriger Produktkosten im Sinne der limitierenden Faktoren. Letztlich fällt somit lediglich ein gewisser Anpassungsaufwand zur Übernahme in das bahnspezifische Umfeld an.

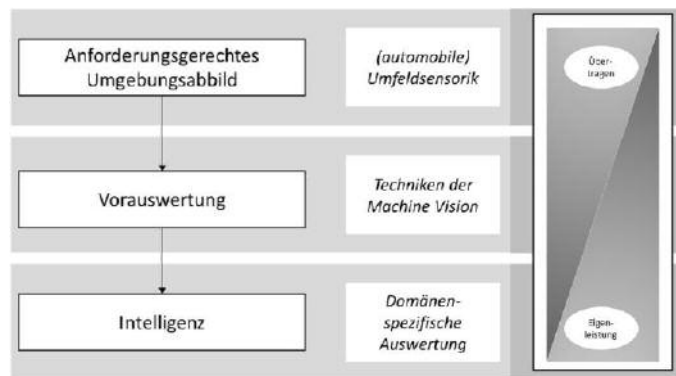


Abbildung 3: Adaption von Automobillösungen für Assistenzsysteme in den Bahnbereich

Entsprechen somit Schritt 1 und 2 gemäß Abbildung 3 dem Stand der Technik, bedeutet die Umsetzung einer Auswertung für die Realisierung einer bahndomänenspezifischen Assistenzintelligenz aufgrund deutlich andersartiger Anforderungen einen erheblichen Anstieg des Umsetzungsaufwandes. Zwar können vorhandene automobiler Lösungen als Orientierung bei der Entwicklung dienen, insgesamt sind Vorhaben in diesem Bereich jedoch der Anwendungsforschung zuzuschreiben.

Obige Behauptung soll im Folgenden durch zwei Beispiele belegt werden, indem die gemäß Abbildung 2 gefundenen Assistenzfunktionen der Not-Halt- und der Fahrwegerkennungsassistenz für das Schienenfahrzeug beispielhaft erläutert und dem entsprechenden Pendant aus dem Automobilbereich gegenübergestellt werden.

Der Not-Halt-Assistent für Schienenfahrzeuge im Rangierbetrieb hat die Aufgabe, Personen und Gegenstände im Umfeld der Lokomotive zu erkennen und durch entsprechende proaktive Bremshandlungen zur Verhinderung von Kollisionen zu schützen. Im Straßenverkehr sind solche Anti-Kollisions-Systeme (CAS – Collision Avoidance Systems) bereits zugelassen und etabliert [7]. Aufgrund der Betriebsverhältnisse kann im Bahnbereich auf die Verwendung von radar- und kamerabasierter Automobilsensorik zurückgegriffen werden. Für die Stufe der Vorverarbeitung des Umgebungsabbildes kann für die Personen- und Objektdetektion ebenfalls auf etablierte Methoden zurückgegriffen werden. Anders sieht es bei der Umsetzung der Intelligenz einer bahnspezifischen Assistenzfunktion aus. Zwar besteht in der grundsätzlichen Arbeitsweise des Moduls eine gewisse Ähnlichkeit zum Automobil durch Abgleich von Personen- bzw. Objektpositionen mit hinterlegten Gefahrenräumen [7], durch die grundsätzliche Andersartigkeit der Dynamik des Schienenverkehrs ergibt sich jedoch als Abgrenzung zur Automobillösung die Notwendigkeit der Berücksichtigung des aktuellen Bremsweges. Dieser hängt bei Zügen nicht nur von Geschwindigkeit und Neigung, sondern auch vom schwer beherrschbaren Rad-Schiene-Kontakt und der aktuell - aufgrund der Zugzusammenstellung - möglichen Verzögerung ab [10].

Als weiteres Beispiel soll an dieser Stelle der Spurhalteassistent für Kraftfahrzeuge dienen. Auf Basis eines Kameraabbildes von der Straße vor dem Fahrzeug werden mit Hilfe diverser Vorverarbeitungsmethoden die Fahrbahnmarkierungen im Bild identifiziert und als Grenzen für den lateralen Bewegungsbereich des Fahrzeugs definiert. Bei einem Überschreiten dieser Grenzen wird wahlweise eine Warnung des Fahrers oder ein proaktiver Gegenlenkbefehl ausgegeben [7]. Zwar besteht aufgrund der Schienengebundenheit von Bahnfahrzeugen keine Sinnhaftigkeit für den Einsatz dieser Assistenzfunktion, dennoch können Techniken zur Bildaufnahme und -verarbeitung im Bereich der Schienenfahrzeuge zur Detektion des Schienenverlaufs genutzt werden. Um auf Basis der Schienenerkennung eine nutzbringende Assistenzfunktion umzusetzen, ist es denkbar, an den Grenzen des straßenbasierten Systems anzuknüpfen. Bisher betrachtet das Assistenzsystem nur „normale“ Fahrbahnmarkierungen, jedoch nicht jene an Auf- und Abfahrten sowie Kreuzungen. Genau an diesem Punkt muss ein schienenverlaufsbasiertes Bahnassistenzsystem jedoch ansetzen. Erst wenn es möglich ist, den Fahrwegverlauf auch in herausfordernden Umgebungen wie Rangierbahnhöfen, welche verschiedenste Weichentypen aufweisen können, zu detektieren, können darauf aufbauende Funktionen wie eine Fahrwegerkennung oder eine Bereichsfokussierung für Kollisionsschutzsysteme zur Entlastung der Auswerteeinheit realisiert werden [11]. Auch dieses Beispiel verdeutlicht, dass Grundlagen von automobilen Assistenzsystemen durchaus adaptiert werden können, die Realisierung domänenspezifischer Intelligenz jedoch einen deutlichen Mehraufwand mit zugehöriger Expertise darstellt.

Insgesamt stellt, ähnlich wie bei automobilen Assistenzsystemen, auch in der Bahntechnik die „Fahrt auf Sicht“ die wesentliche Grenze für die Einsatzfähigkeit des Systems dar. Zwar kann die Sensorreichweite die Sehweite des Menschen insbesondere bei schlechter Witterung oder des Nachts um ein Vielfaches übertreffen, durch Hindernisse wie Arbeitsgeräte, Häuser- und Hallenwände oder andere Fahrzeuge verdeckte Szenarien können jedoch bei reiner fahrzeugseitiger Betrachtung ohne Kommunikation mit der umgebenden Infrastruktur aus physikalischen Gründen nicht aufgenommen werden. Dies ist ein wesentlicher Grund, warum eine Vollautomatisierung nur mit Hilfe von fahrzeugseitigen Assistenzsystemen nicht möglich ist.

Eine Annäherung an die Einschätzung des bedarfsgerechten Automatisierungsgrads liefert die Berücksichtigung der weiteren Elemente des limitierenden Vierecks „Regularien“ und „Psychologie“ gemäß Abbildung 1.

Aus rechtlicher Sicht berücksichtigen aktuell gültige Gesetze und Regelwerke explizit automatisiertes Rangieren in öffentlichen Bereichen nicht. Gleiches gilt für die Zulassung von derartigen System, so dass in beiden Bereichen Handlungsbedarf besteht. Um einen technologisch und rechtlich beherrschbaren Innovationsschritt vollziehen zu können, bildet die Teilautomatisierung gemäß obiger Darlegungen daher zunächst einen ausreichenden Zwischenschritt mit dennoch ausreichenden Herausforderungen.

Speziell der Verbleib des Menschen im Prozess im Falle des teilautomatisierten Rangierens (Unterstützung statt Substitution) kann, ähnlich der rechtlichen Evolution bezüglich Assistenzsystemen im Automobil, ein erhebliches Gewicht als Erfolgsfaktor für eine rechtliche Etablierung sein. An diesem Punkt setzt auch die psychologische Komponente an. Sowohl für Gutachter, Behörden als auch Entscheider und Anwender stellt die einer Teilautomatisierung innewohnende Innovation eine große, aber deutlich geringere Hürde im Kontext des „Widerstands gegen Neues“ dar. So ist das Erreichen einer hinreichenden Akzeptanz deutlich wahrscheinlicher, als bei einer sofortigen Lösung mit hohem oder maximalem Automatisierungsgrad.

Zusammenfassend lautet die Erkenntnis aus der Untersuchung des Rangierbetriebs auf technische Umsetzbarkeit von automatisierten Assistenzfunktionen im Kontext verbundener gesetzlicher, psychologischer und monetärer Aspekte somit, dass unter aktuell vorherrschenden Umständen eine den Rangierer unterstützende Teilautomatisierung von Aufgaben durch fahrzeugseitige Assistenzsysteme als momentan bedarfsgerechteste Lösung identifiziert werden kann.

Dabei tritt auf Seiten der technischen Umsetzung ein nicht zu unterschätzender Arbeitsaufwand im Bereich der Anwendungsforschung zu Tage. Das im folgenden Kapitel beschriebene gemeinsame Forschungsprojekt des Lehrstuhls für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum und der Westfälischen

LokomotivFabrik Reuschling setzt genau an diesem Punkt der Entwicklung eines fahrzeugseitigen Assistenzsystems zur Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit des Rangierens an.

3 Entwicklung eines fahrzeugseitigen Assistenzsystems

Die im Folgenden vorgestellten Entwicklungsergebnisse stammen aus dem gemeinsamen Forschungsprojekt „RANGierASSistent“ der Ruhr-Universität Bochum und der Westfälischen Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG. Das Vorhaben wird durch das BMWI im Rahmen der ZIM-Förderlinie gefördert.

Ziel ist die Entwicklung eines lokomotivseitigen Assistenzsystems zur Unterstützung des Rangierers bei der Zugzusammenstellung durch Teilautomatisierung des Prozesses. Letztlich soll eine Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit im Prozess erreicht werden. Leitgedanke ist dabei, den Rangierer in entscheidenden Situationen zu unterstützen, jedoch nicht zu ersetzen. Um das System sowohl in Neu- als auch Bestandsfahrzeuge integrieren zu können, orientiert sich die Architektur des Systems an einem modularen Leitgedanken mit eigenständiger Rechenkapazität und einer möglichst geringen Anzahl an Schnittstellen zum Trägerfahrzeug.

3.1 Systemfunktionen und Architektur

Die Unterstützung des Rangierers umfasst zwei Funktionen: zum einen eine richtungssensitive Zwischenraumüberwachung, bei der der Gleisbereich zwischen Lokomotive und kuppelbarem Waggon auf gefährdete Personen untersucht wird. Zum anderen bestimmt das Modul der Ankopplungsunterstützung eine optimale Rangiergeschwindigkeit und gibt auf Basis eines Abgleichs dieser Regelgeschwindigkeit mit der tatsächlichen Geschwindigkeit bei Notwendigkeit eine Beschleunigungs- oder Bremsempfehlung aus. Der Aspekt der Teilautomatisierung liegt in dem Auslösen eines Not-Halts bei nicht vermeidbarem Zusammenstoß [8, 11].

Grundlage für die Umfeldaufnahme und deren weitere Auswertung bildet für den Prototypen des Systems gemäß Abbildung 4 eine Architektur bestehend aus einem Fernbereichs-Radarsensor, bisher verwendet im Straßenverkehr, einer Videokamera und einer Auswerteeinheit. Die Absenz geeigneter bahnspezifischer Sensorik aufgrund des Innovationsgrades des Vorhabens sowie die Verfügbarkeit von etablierter, und vergleichsweise kostengünstiger Sensorik aus dem Automobilbereich bei gleichartigen Anforderungen legitimieren deren Anwendung.

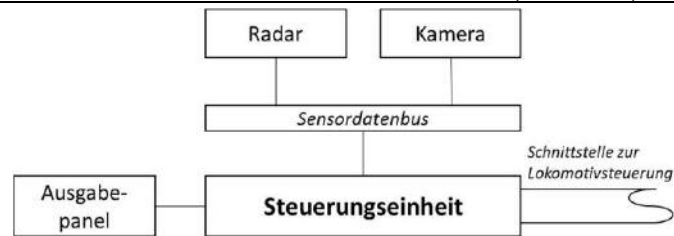


Abbildung 4: Schema der Systemarchitektur

3.2 Umsetzung domänenspezifischer Module

Wie bereits in Kapitel 2 erläutert, erfordert die Umsetzung der Assistenzfunktionen gemäß Abb. 3 domänenspezifischen Entwicklungs- und Forschungsaufwand. Grundsätzlich benötigte Vorauswertungen der Sensordaten liefern nach einer bahnspezifischen Parametrisierung allgemeine Personen- und Objektdetektionsmethoden. Für die Umsetzung einer domänenspezifischen Intelligenz müssen diverse Randbedingungen wie z. B. der aktuelle Bremsweg und die Fahrwegerkennung bei der Planung und Umsetzung berücksichtigt werden. Die Notwendigkeit dieser Funktionen sowie deren Umsetzung werden im Folgenden beleuchtet.

Der Bremsweg von Straßenfahrzeugen hängt, vereinfacht dargestellt, von der Geschwindigkeit, den Reibungsverhältnissen sowie der aktuellen Hangneigung ab. Bei Schienenfahrzeugen ergibt sich zusätzlich aus der planmäßigen Betriebsform mit mehreren Waggon ein zeitlicher Versatz in der Bremswirkung. Zwar ist jeder Waggon separat druckluftgesteuert gebremst, doch besitzen die Waggonbremsen, zu interpretieren als Reihenschaltung mehrerer Elemente, aufgrund der endlichen Geschwindigkeit der Druckluft mit steigendem Abstand zu Lokomotive (Druckluftquelle) eine gewisse Verzögerung bis zum Bremsenfall [10]. Darüber hinaus resultiert aus dem zwischengeschalteten Steuerventil eines jeden Waggon eine weitere Verzögerungskomponente, so dass durchaus bis zu 45 Sekunden vergehen können, bis die volle Bremswirkung hergestellt ist. Daher besitzt das System eine Komponente zur automatischen Anhängelastbestimmung, über welche dann indirekt auf die zur Verfügung stehende Verzögerung geschlossen und damit der aktuelle Bremsweg kalkuliert werden kann.

Der Wert für den aktuellen Bremsweg bildet die Basis für die Dynamisierung der hinterlegten Gefahrenräume mit unterschiedlichen Warnstufen für die Zwischenraumüberwachung. Ebenso wird mittels dieses Eingangswerts die Dynamisierung der Geschwindigkeitsregelkurve durch Anpassung der Zielgeschwindigkeit sowie des optimalen Bremspunktes vorgenommen. Abbildung 5

verdeutlicht die Wirkung der Funktionsparametrisierung mittels des aktuellen Bremswegs der Geschwindigkeitsempfehlung für die Fahrt zur kuppelbereiten Position.

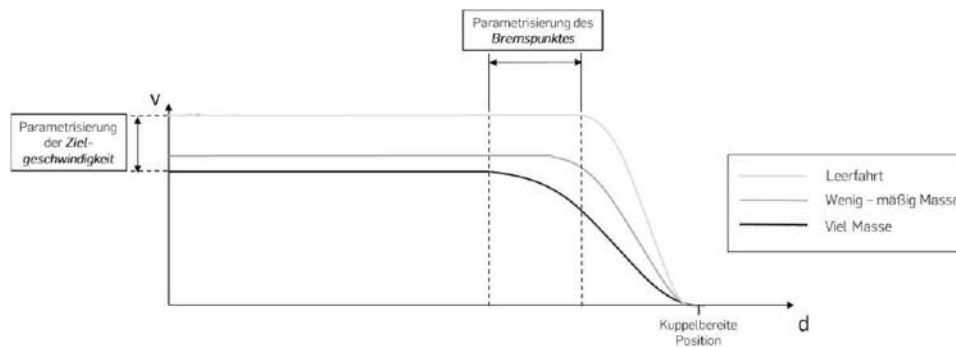


Abbildung 5: Wirkung der Parametrisierung auf die Geschwindigkeitsempfehlung

Ebenfalls elementar wichtig ist die Berücksichtigung des eingestellten Fahrwegs bei der Zielidentifizierung. Die bloße Verwendung eines Radarsensors liefert ein Umgebungsabbild ohne Informationen über den tatsächlichen Fahrweg [11]. Daher wird mittels geeigneten bereits verfügbaren Softwarelösungen der Schienenverlauf im Kamerabild vom Arbeitsraum vor der Lokomotive identifiziert. Der Schienenkopf stellt eine für die Kantendetektion ausreichende Grundlage zur Verlaufserkennung dar. Anschließend findet nach einer perspektivischen Umwandlung des Gleisverlaufs eine Fusion mit den Radarsensordaten statt.

Der domänenspezifische Mehraufwand im Gegensatz zur Straße besteht in der Notwendigkeit zur Analyse der Weichenstellung. Stellen komplexe Geometrien der zu ermittelnden Verläufe im Straßenverkehr, z. B. auf Kreuzungen sowie Auf- und Abfahrten bisher Grenzen des Assistenzsystems dar [7], besteht insbesondere beim Rangieren in Bahnhofsbereichen die Notwendigkeit, ebendiese komplexen Verläufe in Form von Weichenstellungen zu erkennen. Lösungsansatz im Rahmen der Umsetzung eines Prototyps stellt die Betrachtung der Zungenstellung mit Hilfe der Kantenauswertung gemäß Abbildung 6 dar. Für alle definierten Weichenstellungen kann somit gemäß Abbildung 6, rechts, zwischen Gleiskörper und Zunge eine geschlossene Linienführung auf der einen und eine Lücke zwischen Gleiskörper und Zunge auf der anderen Seite festgestellt werden. Mit Kenntnis dieser Linienführungen für beide Gleiskörper kann dann der Fahrweg eindeutig bestimmt und berücksichtigt werden.

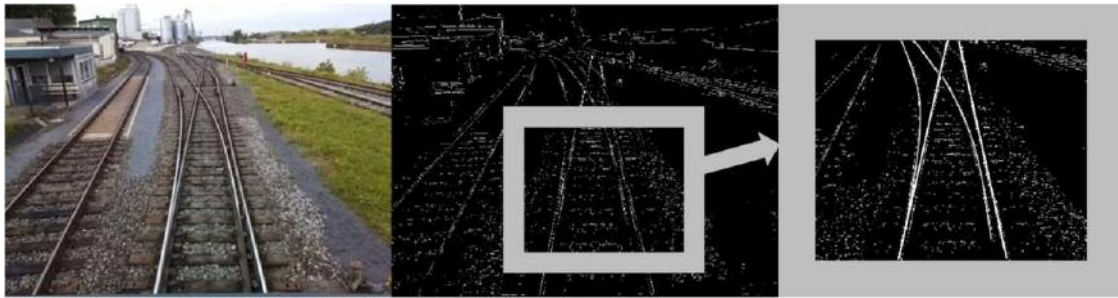


Abbildung 6: Fahrwegerkennung, links: Originalbild, mittig: nach Kantendetektion [Canny], rechts: Analyse der Zungenstellung (Lücke rechts, Fahrweg geradeaus)

Das komplexe Zusammenspiel der einzelnen domänenspezifischen Module in der Gesamtlösung verdeutlicht Abbildung 7.

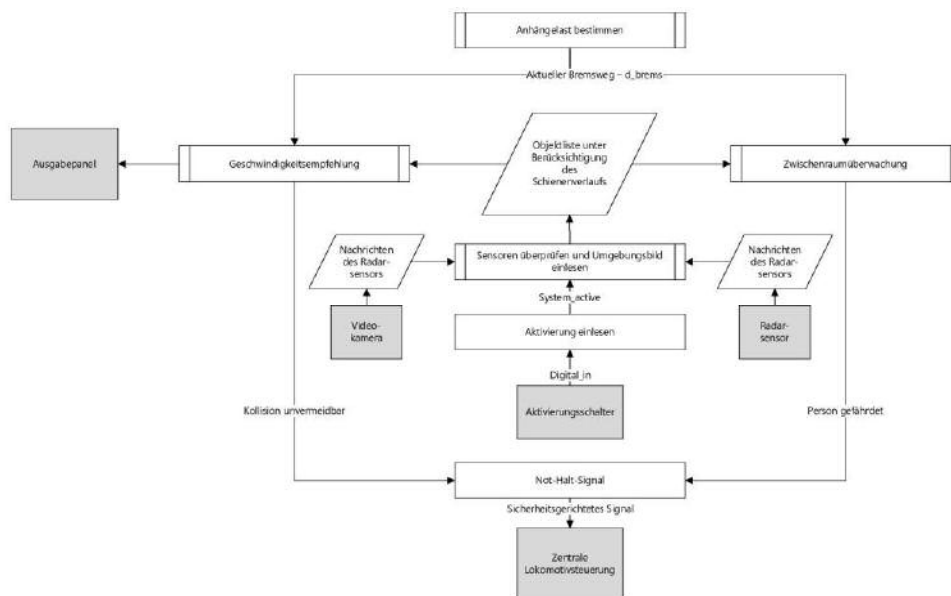


Abbildung 7: Schema der Gesamtarchitektur

3.3 Erste praktische Erfahrungen und Erkenntnisse

Im bisherigen Projektverlauf entstanden Ergebnisse, welche die Funktion der zu entwickelnden Module bestätigen. Grundsätzliche Methoden zur sensorunabhängigen Detektion von Personen und Objekten erfolgen nach einer entsprechenden Anpassung bzw. Parametrisierung zufriedenstellend. Selbiges gilt in Anbetracht des Projektstatus für die Assistenzfunktionen, also die Intelligenz des Systems. Dies soll am Beispiel der Geschwindigkeitsführung verdeutlicht werden.

So wurden in fünf Testrangierszenarien, welche verschiedene Bedingungen (Tageszeit,

Witterung, Gleisneigung) aufwiesen, aus dem Stand heraus kuppelbereite Ziele von vier verschiedenen Triebfahrzeugführern jeweils mit und ohne Unterstützung durch das Assistenzsystem angefahren. In diesen insgesamt 40 Testfahrten wurde eine Verringerung der Prozessdauer um 15% sowie eine Reduktion der Beschleunigungsstöße durch Aufprallen auf das kuppelbereite Ziel von knapp 50% bei Nutzung des Assistenzsystems festgestellt. Diese ersten Tests sprechen zum einen für eine Erreichung des Zielkriteriums einer erhöhten Wirtschaftlichkeit durch verringerte Prozesszeiten. Zum anderen deuten die Ergebnisse, insbesondere die Verringerung der Aufprallbeschleunigung auf eine reproduzierbare Erhöhung der Sicherheit zum einen und der Wirtschaftlichkeit durch schonenderes Aufprallen auf der anderen Seite hin.

Obwohl diese ersten praktischen Tests eine Zielerreichung im Sinne der Optimierung des Rangierprozesses versprechen, müssen andauernde Tests des Prototyps im operativen Tagesgeschäft die im Rahmen des Forschungsprojekts „RANGierASSist“ entstandenen Ergebnisse bestätigen.

4 Ausblick für die Vollautomatisierung des Schienengüterverkehrs

Das Ergebnis der umfassenden Betrachtung der Automatisierung des Rangierens im Schienengüterverkehr gemäß Kapitel 2 und 3 liefert das Ergebnis, dass gemäß dem aktuellen Stand der Technik und der darauf kurz- bis mittelfristig erreichbaren Innovationshöhe eine Teilautomatisierung erstrebenswert und beherrschbar ist. Eine wesentliche Grenze der reinen fahrzeugseitigen Betrachtung liegt in der Tatsache begründet, dass bereits aus rein physikalischer Sicht umfelderfassende Sensorsysteme wie der Rangierer nur „auf Sicht“ fahren können. Eine naheliegende Lösung, Sensortechnologien auf höhere Reichweiten zu ertüchtigen, können dabei auch nur marginale Verbesserungen herbeiführen, denn Rangierszenarien finden oftmals auf schlecht einsehbaren Geländen statt, so dass hier eher Hindernisse als mangelnde Reichweite der limitierende Faktor sind. Nach jetzigem Stand ist daher eine Vollautomatisierung in offenen Räumen nur mit fahrzeugseitiger rückgriffreier Sensorik, also mit vertikaler Integration des Automatisierungsgedankens auch unter Erhöhung der Sensorreichweite nicht umsetzbar.

Eine abschließende Betrachtung soll an dieser Stelle einen Ansatz skizzieren, in dem die horizontale Integration des Automatisierungsgedankens in die horizontale Wertschöpfungskette einen hohen Automatisierungsgrad ermöglichen kann.

Grundsätzlich kann die Lokomotive gemäß Abbildung 8, (1), ausgestattet mit Umfelderfassungs- und Auswertungssystemen sowie einiger weiterer Sensorik, z. B. zur Ortung, mit entsprechender Funkanbindung als Cyber-Physisches System (CPS), also als

digitale Repräsentation des Fahrzeugs, betrachtet werden (Vertikale Integration im Betrachtungsobjekt Fahrzeug, [12]).

Um nun autonom, also ohne den Eingriff des Menschen agieren zu können, ist, so zeigen es die Ergebnisse aus Kapitel 2 und 3, Kenntnis über andere Teilnehmer über die Sichtweite der Lokomotivassistenzsysteme hinaus erforderlich. Wird der CPS-Gedanke gemäß Abbildung 8, (2) auf weitere Fahrzeuge und Elemente der Infrastruktur angewendet, können die von ebendiesen CPS erzeugten Informationen, welche ebenfalls eine Repräsentation ihrer physischen Eigenschaften darstellen, nun in ein nächstgrößeres CPS „Transportsystem“ eingespeist und damit bereitgestellt werden.

Die Verfügbarkeit der Repräsentationen der Teilnehmer des CPS „Transportsystem“ ermöglicht nun die Konstruktion eines übergeordneten intelligenten Koordinationsmodells für den Betrieb ebendieser Teilnehmer. Dem Grundgedanken der Vollautomatisierung folgend, entsteht die Lebendigkeit dieses Modells, bestehend aus Strukturen und Regeln, jedoch erst durch Randbedingungen, resultierend aus Integration der kompletten horizontalen Wertschöpfungskette gemäß Abbildung 8, (3). Konkret besteht an dieser Stelle eine Schnittstelle zum beliebig weit definierbaren Netz aus Kunden, Betreibern, Infrastrukturbetreibern, welches unter dem Leitbegriff des CPS „Logistiksystem“ zusammengefasst und damit als Teil der horizontalen Wertschöpfungskette interpretiert werden kann. In diesem wird der Betrieb auf einer übergeordneten Ebene datenbasiert reguliert und durch Anforderungen an Auftragsart, Termintreue, Verfügbarkeiten und Kostenrestriktionen angestoßen. Diese Anforderungen können wiederum auch aus ähnlichen strukturierten Systemen, wie den Cyberphysischen Produktionssystemen (CPPS) [13] stammen, sodass auch hier Schnittstellen für eine eventuelle Vereinigung dieser Systeme denkbar sind.

Aufgrund der datenbasierten Repräsentation aller Teilnehmer des CPS können zu fällende Entscheidungen dann in einem mehrdimensionalen bzw. Optimierungsproblem erfasst und durch geeignete Lösungsverfahren getroffen werden.

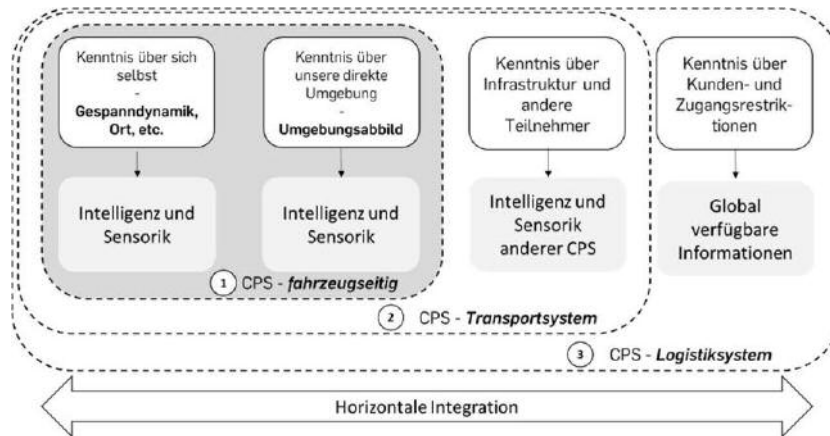


Abbildung 8: Betrachtung des Schienenfahrzeugs als Teil eines CPS „Logistiksystem“

Abschließend sei bemerkt, dass es sich bei obiger Beschreibung um eine hypothetische Fortführung des Themas „Vollautomatisierung des Güterverkehrs“ handelt, von dem das eingangs betrachtete Rangieren nur noch einen Teilprozess darstellt. Zunächst gilt es, wie im Forschungsprojekt „RANGierASSistent“ behandelt, anforderungsgerechte und beherrschbare Teilautomatisierungslösungen als Zwischenschritt zu entwickeln. Nur so können technische, gesetzliche und psychologische Hürden im Kontext der Automatisierung von schienenfahrzeugbezogenen Prozessen bewältigt werden, ohne sich im Gesamtvorhaben zu verlieren. Die Teilautomatisierungslösungen müssen zunächst genutzt werden, um aufgedeckte sicherheitstechnische und wirtschaftliche Vorteile zu aktivieren und den Schienengüterverkehr so als Alternative zu anderen Verkehrsträgern zu positionieren.

Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Güterverkehr 2016: Neuer Höchststand beim Transportaufkommen. Pressemitteilung 57/17 vom 17. Februar 2017.
- [2] Müller, S.; Liedtke, G.; Lobig, A.: Chancen und Barrieren für Innovationen im deutschen Schienengüterverkehr: Eine innovationstheoretische Perspektive. In: Zeitschrift für Verkehrswissenschaft, Heft 3, Seiten 177-206. Verkehrsverlag Fischer, 2017.
- [3] Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur: Masterplan Schienengüterverkehr, 2017.
- [4] Nießen, N.; Schindler, C.; Vallée, D.: Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb - Potentiale für den Schienenverkehr. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, 66 (2017) 4, S. 32-37.
- [5] VBG-Fachwissen: Sicherheit für Lokrangierführer: Funkfernsteuerung bei Eisenbahnen. VBG, 2014.
- [6] DIN EN 50239: Bahnanwendungen – Funkfernsteuerung von Triebfahrzeugen für Güterbahnen. Beuth-Verlag, 2000.
- [7] Winner, H. et al.: Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden, Springer, 2015.
- [8] Franzen, J.; Pinders, U.; Kuhlenkötter, B.: Development of a guiding system for secured shunting operations. In: Proceedings of The Stephenson Conference 2017, London (UK), 2017.
- [9] Winnet, J.; Iraklis, A.; Keating, E.; McGordon, A.; Ridler, T.; Hughes, D.: Automotive to rail – can technologies cross the gap? In: Proceedings of The Stephenson Conference 2017, London (UK), 2017.
- [10] Wende, D.: Fahrdynamik des Schienenverkehrs. Wiesbaden, Teubner, 2003.
- [11] Franzen, J.; Pinders, U.; Schreiber, W.; Kuhlenkötter, B.: Erhöhung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit durch ein innovatives Assistenzsystem. In: ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, Heft 6/2017, Eurailpress, Hamburg, 2017.
- [12] Kagermann, Henning, et al. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern; Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0. Forschungsunion, 2013.
- [13] Monostori, L.: Cyber-physical Production Systems: Roots, Expectations and R&D Challenges. In: Procedia CIRP Volume 17, Pages 9 – 13, 2017.

Autoren**Franzen, Julian**

Julian Franzen M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum.

**Pinders, Udo**

Dipl.-Ing. Dipl. Wirt.-Ing. Udo Pinders ist seit 2002 als technischer Geschäftsführer und Teilhaber der Westfälischen LokomotivFabrik Reuschling GmbH & Co. KG tätig.

**Stecken, Jannis**

Jannis Stecken M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum.

**Kuhlenkötter, Bernd**

Prof. Dr.-Ing. Bernd Kuhlenkötter ist Leiter des Lehrstuhls für Produktionssysteme der Ruhr-Universität Bochum.