

# JadeWeserPort: Ergebnisse des Projektes RangierTerminal4.0

Erprobung und Demonstration automatisierten Rangierens in Wilhelmshaven

**JAKOB GEISCHBERGER | RALF FALGENHAUER | JANNIS SINNEMANN | ROMINA HANISCH | ANDREAS GRUNWALD | MARTIN CICHON**

**Im Rahmen des Projektes RangierTerminal4.0 erfolgte die Konzipierung und Erprobung automatisierter Rangiervorgänge am JadeWeserPort (JWP) in Wilhelmshaven. Ein besonderer Fokus lag dabei einerseits auf der Integration der vielfältigen beim Rangieren im Hafenbetrieb involvierten Prozesse zu einer nahtlosen Prozesskette, andererseits auf der technischen Umsetzung und Demonstration. Nachfolgend wird ein Überblick über die Projektergebnisse sowie ein Ausblick auf nächste Schritte gegeben.**

## Einführung

Die Prozesslandschaft eines Hafens unterliegt vielfältigen Anforderungen und Wechselwirkungen. Dabei führen ökonomische und ökologische Gesichtspunkte zu einem Bedarf steigender Effizienz sowohl bei den Transportprozessen selbst als auch in den zugrundeliegenden Systemprozessen und -architekturen. Einen wesentlichen Bestandteil der Prozesskette in Häfen stellt dabei der Umschlag der Waren zwischen ankommenden bzw. auslaufenden Schiffen (Seeseite) und den bodengebundenen Verkehrsträgern zum Weitertransport ins Landesinnere (Landseite Straße/Schiene) dar. Betrachtet man den Umschlag auf die Schiene näher, rücken zwangsläufig die Rangierprozesse innerhalb des Hafens in den Vordergrund. Eingebettet sowohl in die hafengebundenen Warenprozesse, die Systemarchitektur unterschiedlicher Logistiksysteme und nicht zuletzt auch in die bahnbetrieblichen Prozesse und Infrastruktur bspw. das Stellwerk sind sie ein wichtiger Bestandteil des Warenumschlages zwi-

schen See und Schiene. Gleichzeitig stellt die Automatisierung des Bahnbetriebes, allgemein gesprochen, einen wesentlichen Treiber für erhoffte Effizienzgewinne in schienengebundenen Transportprozessen dar. Die Vereinigung dieser beiden Aspekte führt zum Ausgangspunkt des Projektes RangierTerminal4.0: Dieses hatte die Entwicklung einer nahtlosen Prozesskette mit anschließender Erprobung automatisierten Rangierens im Hafenkotext zum Ziel, wobei eine entsprechend ausgerüstete Rangierlokomotive unter Forschungsbedingungen automatisiert Rangiervorgänge durchführen und gleichzeitig Anforderungen der Hafenprozesse und des Bahnbetriebes miteinbezogen werden sollten. Dabei galt es, zunächst eine Eisenbahninfrastruktur aufzubauen, die den automatisierten Betrieb einer Rangierlokomotive zulässt. Anschließend stand die technische Entwicklung bzw. Umrüstung einer automatisierten Rangierlokomotive einschließlich Steuerung und Sensorik im Vordergrund. Des Weiteren galt es, eine Integration der involvierten IT-Systeme bzw. der unterschiedlichen Planungs- und Ausführungsprozesse im Hafen durchzuführen.

Das Projekt wurde im JWP in Wilhelmshaven umgesetzt, dessen Vorstellgruppe gute Voraussetzungen für die Erprobung mitbringt. Der Bedarf nach einer automatisierten Rangierlokomotive stützt sich des Weiteren in der kürzlich abgeschlossenen Elektrifizierung der zuführenden Strecke aus Oldenburg zum JWP: Während vorher noch dieselbetriebene Streckenlokomotiven überwiegend die Rangieraufgaben im Hafenbereich übernommen hatten, ist dies für strombetriebene Streckenlokomotiven nicht mehr möglich, weil eine Elektrifizierung aus Sicherheitsgründen nicht bis unterhalb der Krane im Terminal möglich ist. Dies führte zu einer wesentlichen Veränderung der bahnbetrieblichen Prozesse im Hafen und schlussendlich zum Bedarf nach einer zusätzlichen Rangierlokomotive.

An der Erprobung der automatisierten Rangierlokomotive waren insgesamt fünf Projektpartner unter Konsortialführung des JWP beteiligt, wie in Tab. 1 aufgeführt.

Während die Berichterstattung des Konsortiums zu Beginn des Projektes [1] sich stärker auf die Analyse bestehender Prozesse und die daraus resultierende Erstellung einer Systemtopologie konzentrierte, wird nachfolgend ein Schwerpunkt auf die lokomotivseitige und prozessuale Umsetzung sowie die Darstellung der Projektergebnisse, insbesondere der Realerprobung und der Integration der Prozesse, gelegt.

## Aufbau der Rangierlokomotive

Zu Beginn des Projektes wurde eine umfangreiche Analyse des Rangierprozesses durchgeführt, die noch keine Elektrifizierung der Zulaufstrecke (s.o.) mit einbezog. Anschließend wurde im Hinblick auf die angedachte Automatisierung des Rangierprozesses zunächst ein Prozess-Zielbild erstellt. Davon ausgehend erfolgte die Erstellung einer avisierten Systemtopologie [1, 2], auf deren Basis die technische Umsetzung der Komponenten und Systeme fußt. Abb. 1 zeigt die umgesetzte Systemtopologie mit Fokus auf die Rangierlokomotive.

Abb. 1 zeigt im oberen rechten Bereich zunächst die landseitig verorteten Prozessanteile: Deren wesentlicher Bestandteil ist das innerhalb des Projektvorhabens entwickelte RT40-Modul, das anstehende Rangieraufgaben aus dem Logistiksystem einliest und auf Grundlage des in der Leitstelle dafür eingestellten Fahrwegs automatisch den Datensatz eines Rangierauftrags für die Lokomotive erstellt. Darüber hinaus leitet es Statusmeldungen der Lokomotive an die Infrastrukturseite weiter.

Der Rangierauftrag wird über ein entsprechendes Kommunikationsmodul per Funk an die Lokomotive weitergeleitet, spezifischer über das Vehicle Communication Module (VCM) an

Name	Sitz	Abkürzung
JadeWeserPort	Wilhelmshaven	JWP
Technische Hochschule Nürnberg	Nürnberg	THN
Westfälische Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG	Hattingen	WLH
dbh Logistics IT AG	Bremen	dbh
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Institut für Verkehrssystemtechnik	Braunschweig	DLR

Tab. 1: Projektpartner im Vorhaben RangierTerminal4.0

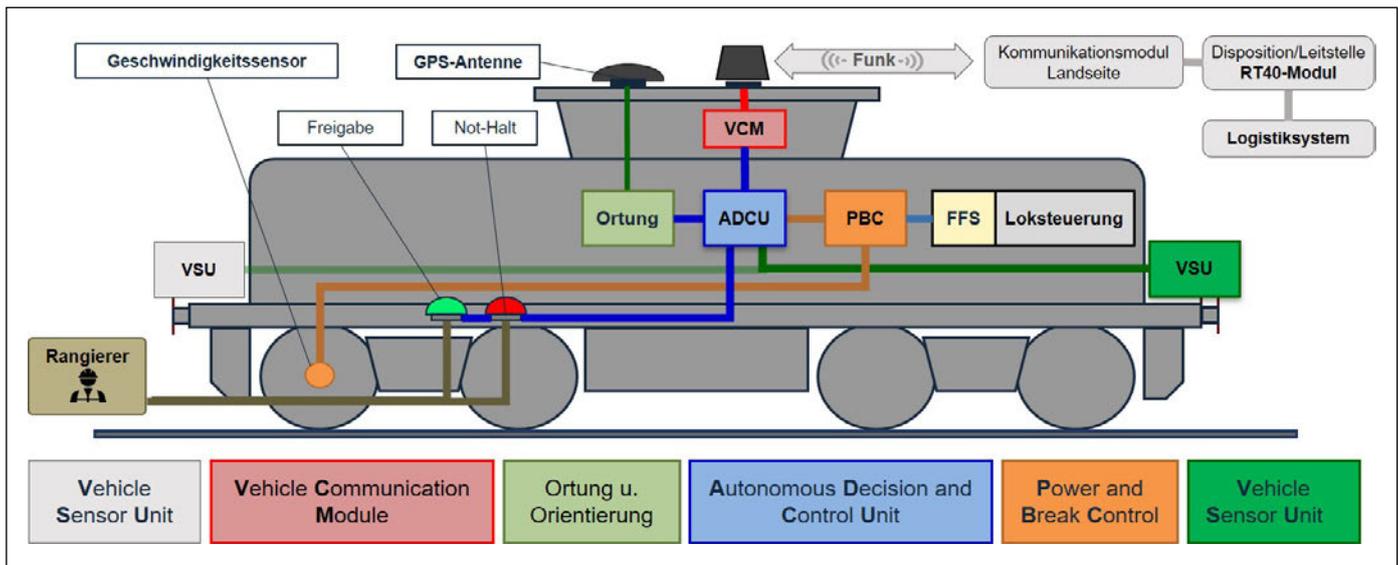


Abb. 1: Aufbau der Rangierlokomotive, mit zusätzlich erforderlichen Modulen für ein automatisiertes Rangieren

Quelle: THN

die Autonomous Decision and Control Unit (ADCU). Diese generiert unter Einbezug von Informationen zur Lokposition aus dem Ortungsmodul sowie der Fahrwegüberwachung Fahrmanweisungen für die Power and Break Control (PBC) [3]. Über die Funkfernsteuerung setzt diese die Fahrmanweisungen in Steuerbefehle für die Lokomotivsteuerung um. Zudem liefert sie Bewegungsparameter sowie Rückmeldungen der Steuerbefehle an die ADCU. Des Weiteren werden seitens der ADCU kontinuierlich Statusmeldungen abgesetzt, die bspw. Position, Tätigkeit oder besondere Ereignisse an die Landseite kommunizieren.

In der aktuellen Systemarchitektur sind für den Rangierprozess begleitende manuelle Tätigkeiten, wie z.B. Kuppeln, Schlauchen oder das Lösen der Druckluftbremse der Wagen noch Rangierpersonal vorgesehen. Es ist über ein webbasiertes Tablet mit dem RT40-Modul verbunden, das die entsprechenden Arbeitsaufträge übermittelt. Grundsätzlich ist es mit dem beschriebenen System möglich, vorgenannte Funktionen und Informationsübertragung über eine digitale automatische Kupplung (DAK) und entsprechende Aktorik an den Wagen vollständig zu automatisieren.

Die Fahrwegüberwachung erfolgt mithilfe der Vehicle Sensor Units (VSU), die an den beiden Enden der Lokomotive positioniert werden können. Die Sensorboxen sind u. a. mit LiDAR-Sensorik ausgestattet, die Objekte im Bereich des Fahrwegs vor der Lokomotive wie Personen oder abgestellte Wagen erkennt. Die ADCU nutzt diese Informationen, um zu entscheiden, ob es sich bei den klassifizierten Objekten um Hindernisse oder um zu rangierende Wagen handelt, an die angesetzt werden soll. Da bei den Realerprobungen am JWP nur eine Sensorbox an der Front der Lokomotive zum Einsatz kam, konnte die Fahrwegüberwachung für eine Fahrtrichtung genutzt werden. Für die zweite Fahrtrichtung bzw. geschobene

Einheiten erfolgte die Überwachung durch den Triebfahrzeugführer bzw. Rangierpersonal an der Zugspitze. Lösungsansätze hierfür werden u. a. in [4] erarbeitet.

#### Ablauf eines Rangiervorganges

An einem beispielhaften Rangiervorgang, ausgehend vom Vorbereitungsdienst bis zum Abschluss des Auftrags, wird die Grundfunktionalität dargestellt: Die Aktivierung der automatisierten Rangierlokomotive erfolgt zunächst durch den Vorbereitungsdienst bzw. das Rangierpersonal, das den Betriebsmodus der Lokomotive auf „Standby“ setzt. Dazu erfolgt ein Start aller für den automatisierten Betrieb notwendigen Systeme. Die Lokomotive sendet ab sofort kontinuierlich Statusmeldungen über die Lok-Kommunikation an das RT40-Modul. Diese beinhalten die Identifikationsnummer der Lokomotive, die Koordinaten ihres Standortes und den Zustand der Betriebsbereitschaft (Standby bzw. Betriebsbereit). Im Ergebnis ist die Lokomotive für den Fahrdienstleiter (Fdl)/Disponent im RT40-Modul verfügbar.

Soll im nächsten Schritt eine Lokomotive für einen Rangierauftrag eingesetzt werden, wählt der Fdl eine Rangieraufgabe sowie eine entsprechend verfügbare Lokomotive aus. Dabei wurde das System so konfiguriert, dass zukünftig die Verwendung mehrerer automatisierter Lokomotiven möglich ist. Anschließend erfolgt zunächst die Veränderung des Betriebsmodus der Lokomotive von „Standby“ nach „Betriebsbereit“. Aus Sicherheitsgründen war eine Einbindung des Leitsystems nicht möglich, weswegen aktuell der durch das Leitsystem eingestellte Fahrweg vom Standort der Lokomotive zum Ziel der Rangieraufgabe noch manuell vom Fdl ins RT40-Modul eingegeben werden muss. Es folgt die automatisierte Erstellung des Datensatzes zum Rangierauftrag sowie die Übertragung an die

ADCU, die daraus wiederum die Steuerbefehle zur Ausführung der Rangieraufgabe generiert und an die PBC weitergibt (s.o.). Sobald alle Freigaben auf der Lokomotive vorliegen, arbeitet diese den Rangierauftrag automatisch ab. Gleichzeitig werden anfallende Arbeitsaufträge am Ende des Rangierauftrags (wie bspw. Kuppeln und Schlauchen) an das Rangierpersonal via webbasiertem Tablet weitergeleitet. Aus Sicherheitsgründen ist während manueller Tätigkeiten der Automatikmodus der Lokomotive deaktiviert. Nach Durchführung der Arbeitsaufträge muss der Rangierer per Freigabetaster an der Seite der Lokomotive bestätigen, dass sich keine Person mehr innerhalb des Gefahrenraumes befindet – danach erfolgt eine erneute Aktivierung des Automatikmodus. Am Ziel jedes Auftrages wird der Automatikmodus durch die ADCU deaktiviert, und eine Fertigmeldung wird via Lokstatus an das RT40-Modul bzw. an die Landseite abgesetzt. Bei Verfügbarkeit einer DAK erfolgt der entsprechende Informationsaustausch über diese, und die manuellen Tätigkeiten des Rangierers entfallen.

#### Von ersten Tests zur Demonstration

Die verschiedenen Komponenten wurden von unterschiedlichen Projektpartnern entwickelt und bereitgestellt. Dementsprechend war eine längere Phase unterschiedlicher Funktionstests erforderlich. Diese erfolgten in mehreren Stufen: Im Fall der ADCU etwa wurden deren Funktionen zunächst in einer Simulationsumgebung [5] anhand verschiedener Fahrsituationen geprüft. Anschließend konnten Tests zwischen zwei oder mehreren Komponenten durchgeführt werden, bspw. zwischen der ADCU, dem Ortungsmodul und der Fahrwegüberwachung. Es folgte eine Reihe von ersten Teilsystemtests unter Realbedingungen, zunächst auf dem Testgelände der Firma Reuschling in Hattingen [6]. Nach erfolgrei-

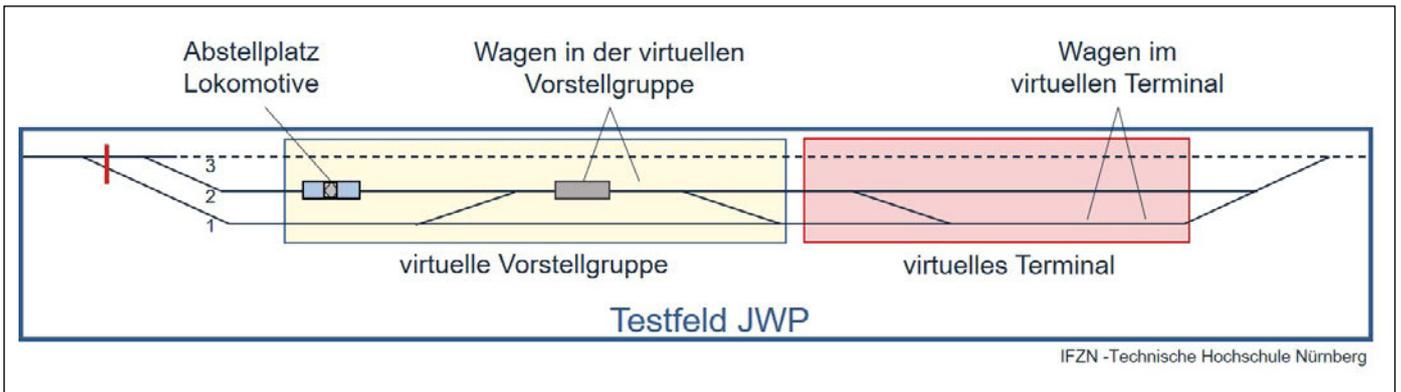


Abb. 2: Testfeld im JWP für die Demonstration zweier Use Cases

Quelle: THN

Teil-RA	Benennung	Beschreibung
1.1	Vorlauf	Fahrt vom Abstellplatz ins Terminal; Ansetzen an den entsprechenden Wagen auf Gleis 1; Kuppeln, Schlauchen, Bremse lösen (Fahrwegüberwachung durch VSU)
1.2	Rangierfahrt mit Wagen in die Vorstellgruppe	Fahrt mit gezogener Einheit vom Terminal in die Vorstellgruppe auf Gleis 2 (Fahrwegüberwachung durch Triebfahrzeugführer)
1.3	Rangierfahrt mit Wagen ins Terminal	Fahrt mit geschobener Einheit von der Vorstellgruppe ins Terminal auf Gleis 2; Entkuppeln, Entschlauchen, Bremse anlegen (Fahrwegüberwachung durch Rangierer)
1.4	Nachlauf	Fahrt vom Terminal in die Vorstellgruppe auf Gleis 2 (Fahrwegüberwachung durch Triebfahrzeugführer)

Tab. 2: Szenario 1: Wagen aus dem Terminal in die Vorstellgruppe und zurück ins Terminal rangieren

chem Durchlaufen dieser waren anschließend mehrere Gesamtsystemtests auf dem Gelände des JWP möglich, die in einer erfolgreichen Demonstration von zwei Use Cases im November 2023 mündeten. Wie in Abb. 2 dargestellt, erfolgte die Demonstration auf den Gleisen 1 und 2 der Vorstellgruppe.

Abb. 2 zeigt exemplarisch ein demonstriertes Szenario, bei dem Wagen aus dem Terminal in die Vorstellgruppe und zurück ins Terminal rangiert werden (in einem anderen erfolgte die Abstellung der Lok an einem Abstellplatz). Dabei besteht die gesamte Rangieraufgabe aus insgesamt vier Teil-Rangieraufträgen (Teil-RA).

Abb. 3 zeigt die ausgerüstete Lokomotive bei der Ausführung des zu demonstrierenden automatisierten Rangiervorganges.

**Ergebnisse der Dauererprobung**

Die Demonstration der automatisierten Durchführung eines Rangierauftrages verlief anhand eines definierten Use Cases erfolgreich. Im Zuge der Dauererprobung konnte für die Funktionen ein stabiler Betrieb festgestellt werden. Gleichzeitig ergeben sich aus einem Forschungsvorhaben wie diesem Rückschlüsse vom aktuell realisierten technischen Stand auf eine zukünftige Weiterentwicklung. Beides ist nachfolgend mit Blick auf ausgewählte Komponenten angeführt:

Die Kommunikation zwischen Landseite und Lokomotive erfolgte problemlos anhand der VCM, gelöst durch das eingesetzte Modul J.I.M. (Jobbased Intelligent Monitoring) der Firma Reuschling. Mit diesem ist nach aktuel-

lem Stand jedoch keine sicherheitsgerichtete Übertragung möglich, sodass dafür perspektivisch alternative Übertragungsmöglichkeiten erwogen werden sollten (z.B. via 5G). Die Umsetzung des Rangierauftrages in eine Fahrmanweisung erfolgte ebenfalls fehlerfrei und robust. Dabei war auch eine Unterbrechung, Ersetzung oder ein vollständiger Abbruch durch den Fdl möglich.

Für das Rangieren größerer Zugkonstellationen muss zukünftig noch ein Fahrermodell entwickelt werden, das die Längsdynamik und dabei speziell das Bremsen ermöglicht. Die VSU ist mithilfe des LiDAR-Sensors in der Lage, Objekte vor der Lokomotive zu detektieren und deren Position zur Lokomotive zu bestimmen (bezogen auf den Fahrweg aus dem Rangierauftrag). Ebenso erfolgt eine zuverlässige Wagenklassifizierung anhand von Geometrie und Position der ermittelten „Bounding Box“ über der Pufferbohle. In weiteren Vorhaben kann die Umfelderkennung durch weitere Sensoren (z.B. Radar- und Kamerasysteme) verbessert werden. Die ADCU bestimmt für alle übermittelten Objekte die Hindernisrelevanz und leitet daraus die entsprechenden Fahrmanweisungen ab. Dies führt dazu, dass die Lokomotive vor Hindernissen im Fahrweg mit entsprechendem Sicherheitsabstand stehen bleibt, oder – bei zu geringem Abstand zum Hindernis – eine Schnellbremsung ausführt. Zu beachten ist, dass die Hindernisrelevanz für sich bewegende Objekte ebenso wie das Umsetzen darauf abgestimmter Fahrmanweisungen noch entwickelt

werden müssen (z.B. sich bewegende Personen außerhalb des Lichtraumprofils). Die Umsetzung der Fahrmanweisungen in Brems- und Fahrmanöver zeigte sich zuverlässig, ohne dabei in die Sicherheitsarchitektur der Lokomotive eingreifen zu müssen (dadurch bleibt zu jeder Zeit eine sichere Rückfallebene erhalten). Die Umsetzung der Leistungssteuerung erfolgte über sog. Leistungsstufen, über die die Drehzahl des Motors schrittweise erhöht bzw. reduziert wird. Dies stellt eine eher grobe, aber ausreichende Regelung der Geschwindigkeit im Hinblick auf die Demonstration dar, die zukünftig jedoch mittels direkter Drehzahlsteuerung verfeinert werden könnte. Ebenso sollte eine Integration der Leistungs- bzw. Betriebssteuerung direkt in die Lokomotivsteuerung erwogen werden. In Bezug auf Sicherheitsaspekte bestehen jederzeit Eingriffsmöglichkeiten durch Fdl, Rangierpersonal oder Triebfahrzeugführer (im Testbetrieb) in laufende Rangieraufträge über das RT40-Modul, Not-Halt-Taster der Lokomotive und über das Tablet des Rangierers (RT40-Modul).

**Zusammenfassung und Ausblick**

Ziel des Projektes RangierTerminal4.0 war die Konzipierung, technische Umsetzung und Durchführung automatisierter Rangiervorgänge unter Realbedingungen. Dabei konnte anhand einer Demonstration im JWP das zuverlässige und stabile Zusammenwirken der einzelnen technischen Komponenten zu einem Gesamtsystem festgestellt werden.



**Abb. 3:** Demonstration im JWP, Rangierlokomotive mit Sensorbox (VSU) während des automatisierten Rangiervorgangs

Quelle: JWP

Es erfolgte eine Einbettung des Rangierprozesses in die IT-Architektur des Hafens (Logistik- bzw. Auftragssystem) unter Einbezug des Stellwerkes und weiterer Hafenprozesse. So konnte die technische Umsetzung und Machbarkeit des automatisierten Rangiervorganges gezeigt und gleichzeitig eine integrierte Betrachtungsweise der gesamten Prozesslandschaft im Hafen sichergestellt werden. Dadurch entsteht ein Beitrag zur

weiteren Effizienzsteigerung und Synergie hafenbasierter Prozesse, um langfristig zur Ressourceneinsparung beitragen zu können. ■

#### QUELLEN

[1] Geischberger, J.; Falgenhauer, R.; Hanisch, R.; Franzen, J.; Grunwald, A.: „Rangierterminal4.0: Automatisiertes Rangieren im JadeWeserPort,“ EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2021

[2] Cichon, M.; Falgenhauer, R.: „Integrales ATO-System für Rangier-Aufgaben,“ Tagung Rad-Schiene, Dresden, 2023

[3] Sinnemann, J.; Franzen, J.; Pinders, U.: „Befähigung zum autonomen Fahren im Bestand,“ EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 1/2023

[4] Münchow, S.; Fratscher, R.; Henke, L. M.; Pfaff, R.: „SAMIRA – die smarte Rückfahrkamera für Rangierabteilungen,“ Deine Bahn 11/2021

[5] Schäfer S.; Cichon, M.: „Entwicklung eines echtzeitfähigen virtuellen Laborprüfstands (Simulationsumgebung) für das szenariobasierte Testen und Validieren hochautomatisierter Fahrentscheidungs- und Steuerungssysteme von Rangierlokomotiven,“ 19. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden, Tagungsband, pp. 108-110, 01 03 2023

[6] Franzen, J.; Sinnemann, J.; Pinders, U.; Kamau, E.: „Autonomes Fahren – Steuerung als Grundlage des virtuellen Fahrermodells?,“ SIGNAL+DRAHT 7/2023



#### **Jakob Geischberger, M.Sc.**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt e. V. (DLR)  
Institut für Verkehrssystemtechnik,  
Braunschweig  
jakob.geischberger@dlr.de



#### **Dipl.-Ing. (FH) Ralf Falgenhauer**

Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Institut für Fahrzeugtechnik  
Technische Hochschule Nürnberg  
Georg Simon Ohm, Nürnberg  
ralf.falgenhauer@th-nuernberg.de



#### **Dr.-Ing. Jannis Sinnemann**

Innovation Manager  
Westfälische Lokomotiv-Fabrik  
Reuschling GmbH & Co. KG, Hattingen  
j.sinnemann@reuschling.de



#### **Romina Hanisch, M.Sc.**

Port Office/Hafenbahn  
Niedersachsen Ports GmbH & Co. KG,  
Wilhelmshaven  
rhanisch@nports.de



#### **Betriebsw. (MBA) Andreas Grunwald**

Standortleiter Wilhelmshaven  
dbh Logistics IT AG, Wilhelmshaven  
andreas.grunwald@dbh.de



#### **Prof. Dr.-Ing. Martin Cichon**

Institutsleiter  
Karlsruher Institut für Technologie,  
Karlsruhe  
cichon@kit.edu