

# RangierTerminal4.0: Automatisiertes Rangieren im JadeWeserPort

Forschungsprojekt untersucht automatisierte Rangiervorgänge im Hafen anhand einer Realerprobung.

**JAKOB GEISCHBERGER | RALF FALGENHAUER | ROMINA HANISCH | JULIAN FRANZEN | ANDREAS GRUNWALD**

**Das Forschungsprojekt RangierTerminal4.0 untersucht beispielhaft die Konzeption der Automatisierung einer Rangierlokomotive sowie deren Auswirkungen auf die vielfältige Prozesslandschaft im JadeWeserPort (JWP) anhand einer Realerprobung unter Forschungsbedingungen. Der Fokus des Projektes liegt zum einen auf der technischen Konzeptionierung und Umsetzung des automatisierten Rangiervorganges und zum anderen auf der Anpassung von Kommunikations- und Informationsprozessen. Um die automatisch ablaufenden Rangierbewegungen langfristig in den Realbetrieb einbetten zu können, müssen sowohl bahnbetriebliche als auch logistische Transportketten mit den eingesetzten Managementsystemen aufeinander abgestimmt und optimiert werden.**

## Einstieg

Der Güterumschlag erfolgt in Containerterminals in der Regel intermodal zwischen zwei Verkehrsmitteln. Dabei stellt insbesondere der Umschlag zwischen Zug und Schiff eine erhebliche Herausforderung dar. Dies begründet sich zum einen in der richtigen Reihenfolge, in der z.B. Container be- bzw. entladen werden müssen. Zum anderen gilt es, die Rangiervorgänge der Züge sowohl im Terminal als auch eingehend und ausgehend zur freien Strecke zum richtigen Zeitpunkt durchzuführen. Diese Umschlagprozesse finden somit in der Schnittstelle zwischen Planung und Überwachung des Containerumschlags einerseits sowie der Zuglaufplanung andererseits statt. Die Automatisierung von Prozessen kann dazu beitragen, die Effizienz und dadurch die Auslastung von Häfen zu steigern.

Vor diesem Hintergrund stellt dieser Beitrag das vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Förderprogramms für Innovative Hafentechnologien (IHATEC) geförderte Forschungsprojekt RangierTerminal4.0 vor, das sich auf die Eisenbahnrangierprozesse im JWP in Wilhelmshaven (Abb. 1) konzentriert. Es untersucht beispielhaft die Konzeption der Automatisierung einer Rangierlokomotive anhand einer Realerprobung unter Forschungsbedingungen. Zudem werden deren Auswirkungen auf die Prozesslandschaft im Hafen analysiert.

Die Automatisierung des Rangierbetriebs geschieht auch im Kontext der geplanten Elektrifizierung der Zulaufstrecke von Oldenburg zum JWP sowie dessen Vorstellgruppe bis Ende 2022 [1]. Tab. 1 zeigt die am Projekt beteiligten Partner. Der vorliegende Beitrag ermöglicht einen Einblick in das Forschungsvorhaben auf Prozessebene und illustriert die angedachte technische Umsetzung.

## Rangieren im JWP: Stand der Technik

Zur Darstellung des aktuellen Rangiervorganges wird die bestehende Prozesskette aufgeschlüsselt und analysiert. Abb. 2 zeigt den zusammengefassten heutigen Prozess. Aus der Abb. 2 wird ersichtlich, dass derzeit die Rangiervorgänge von der dieselbetriebenen Streckenlokomotive übernommen werden. Nach einem Umstellvorgang schiebt diese den Wagenzug in das Terminal. Da aus Sicherheitsgründen ein Containerumschlag im angekuppelten Zustand nicht erlaubt ist, verkehrt die Streckenlokomotive zwischenzeitlich als Rangierfahrt zurück in die Vorstellgruppe, ehe sie nach dem Abschluss der Ladearbeiten den fertigen Wagenzug im Terminal erneut ankuppelt und in die Vorstellgruppe zurückzieht. Derzeit verkehren im wesentlichen Ganzzüge ab bzw. zum JWP. Eine zukünftig möglicherweise erforderliche Zugtrennung zur Bedienung weiterer Gleisanschlüsse im Hafen wurde in der Prozessanalyse bereits berücksichtigt. Die Dauer des Rangierprozesses in-



Abb. 1: JWP mit Vorstellgruppe (rot) und Terminal (blau)

Quelle: JadeWeserPort

Name	Ort	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: Übersicht der Projektpartner

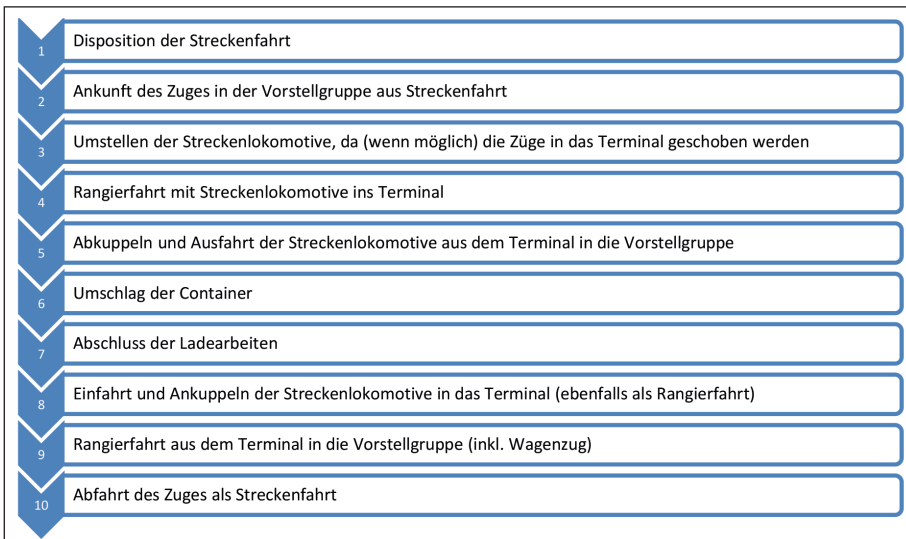


Abb. 2: Konventioneller Rangierprozess heute

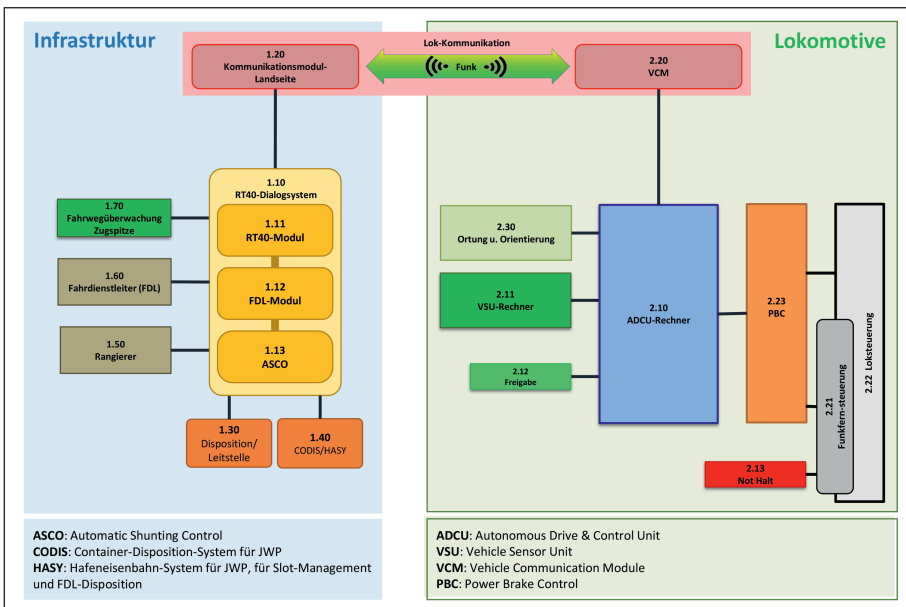


Abb. 3: Systemtopologie für automatisiertes Rangieren (Zielbild)

klusive Umschlag beträgt insgesamt etwa acht Stunden. Dieses Zeitfenster resultiert aus der Slotvergabe, die meist langfristig (oft quartalsweise) erfolgt.

Vor dem Hintergrund der geplanten Elektrifizierung wird die Durchführung von Rangiervorgängen durch die dieselbetriebene Streckenlokomotive zukünftig vermutlich nicht mehr möglich sein, da die dann überwiegend elektrisch betriebenen Streckenlokomotiven einen auf bestimmte elektrifizierte Abschnitte limitierten Bewegungsspielraum innerhalb des JWP hätten. Zudem ist die Elektrifizierung von Containerterminals mit einer Krananlage aus Sicherheitsgründen nicht möglich; ebenso erfolgt keine Elektrifizierung der Gleisanschlüsse zu den angrenzenden Güterverkehrszentren. Aus diesen Gründen wird eine separate Rangierlokomotive im JWP benötigt werden, wel-

che nach der Elektrifizierung die Aufgaben übernimmt, die im heutigen Prozess noch von der dieselbetriebenen Streckenlokomotive übernommen werden. Vor dem Hintergrund dieser Rahmenbedingungen stellt die geschilderte Konstellation eine geeignete Ausgangssituation zur Analyse von automatisierten Rangierprozessen im Hafen dar.

**Automatisiertes Rangieren im JWP**

In den beiden vorhergehenden Kapiteln wurde die Ausgangssituation des Rangierbetriebs am JWP geschildert und der bestehende Prozess erläutert. Neben der physischen Prozessebene fällt auch den Kommunikationsprozessen große Bedeutung zu. Beispielsweise gilt es, bisher telefonisch erfolgte Abstimmungen in digitale Kommunikationswege zu überführen. Zentrale Bedeutung fällt dabei der Automati-

sierung der Rangierlokomotive zu, die nun nicht mehr von menschlicher Hand gesteuert wird, sondern durch übermittelte Rangieraufträge und eigene Fahrwegüberwachung selbstständig agiert. Das Formulieren eines Zielbildes für die Umsetzung eines automatisierten Rangiervorganges basiert auf einem komplexen Gerüst zusammenhängender Komponenten und Systeme. Abb. 3 zeigt die im Projekt erarbeitete Systemtopologie als Zielbild für die Realisierung einer automatisierten Rangierfahrt und dient als Ausgangspunkt weiterer Erläuterungen. Es sei an dieser Stelle auf den grundsätzlichen Unterschied zwischen idealisiertem Zielbild in Serienreife und dem innerhalb einer prototypischen Erprobung realisierbaren Zielbild hingewiesen (wie es Abb. 3 zeigt). Im Rahmen des realisierbaren Zielbildes kann durch den Einsatz der automatisierten Rangierlokomotive der Personalbedarf gesenkt werden, da die Rollen des Rangierers (Rg) und des Triebfahrzeugführers (Tf) in eine Personalunion überführt werden können (vgl. [2]). Der Aufgabenbereich des Tf bedeutet dabei nur mehr eine überwachende Tätigkeit, allerdings liegt im Rahmen des prototypischen Forschungsbetriebes die Verantwortung für die Fahrzeugbewegungen weiter bei ihm.

Im Wesentlichen bedarf zunächst die aktuell telefonisch bzw. über Rangierfunk ablaufende Kommunikation zwischen Fahrdienstleiter (Fdl)/Disponent und dem Tf der Rangierlokomotive einer digitalen Entsprechung. Dazu wird infrastruktureseitig eine computergestützte Lösung entwickelt, im Zielbild mit 1.10 RT40-Dialogsystem bezeichnet. Diese bündelt zunächst die Informationen aus verschiedenen Quellen zu einem sog. Rangierauftrag. Beispielsweise werden Logistikinformationen über eine von dbh entwickelte Excel-Upload-Funktion für Transportaufträge bereitgestellt. Der Rangierauftrag kann dann an die Rangierlokomotive mithilfe der Lok-Kommunikation (rot) weitergegeben werden. Dies geschieht mithilfe von https-Transfers, die zwischen dbh (Landseite) und dem Lokomotivhersteller Reuschling (Zugseite) abgestimmt wurden. Über das Vehicle Communication Module (VCM) gelangt der Rangierauftrag anschließend zum von der THN entwickelten „ADCU-Rechner“ (Autonomous Drive & Control Unit) und wird lokseitig interpretiert und verarbeitet (blau). Dabei existieren Schnittstellen zu anderen Modulen, wie etwa dem Vehicle Sensor Unit (VSU) oder dem Ortungs-Sensormodul des DLR. Die ADCU übergibt die daraus errechneten Informationen an die sog. Power Brake Control (PBC), welche als Schnittstelle zwischen der ADCU und der tatsächlichen Steuerungseinheit der Rangierlokomotive fungiert. Vorteil dieser Topologie ist, dass die Steuerungssignale der ADCU für unterschiedliche fahrzeugspe-

zifische Steuerungen immer gleich bleiben und lediglich die Übersetzung hierfür angepasst werden muss. Dies soll nachgelagerte Zertifizierungsprozesse erleichtern und die Einführung neuer Hardwaregenerationen für jedes Modul einzeln ermöglichen [3, 4].

### Technische Umsetzung

Ausgehend von der in Abb. 3 eingeführten Systemtopologie, wird nachfolgend die technische Umsetzung des automatisierten Rangiervorganges anhand der unterschiedlichen Module näher erläutert.

### RT40-Dialog-System

dbh entwickelt ein RT40-Dialog-System, mit dessen Hilfe zum einen die Benutzer in ihrer Funktion als Fdl, Rg oder Administrator Verwaltungsfunktionen wahrnehmen und zum anderen über eine Kommunikationsplattform (Open System Integration Server: OSIS) Daten mit dem Lok-Modul der Firma Reuschling ausgetauscht werden können. So kann ein Rangierauftrag erzeugt und an die Rangierlokomotive weitergegeben werden. Die Verwaltungsfunktion enthält Stammdatenverwaltungen für Lok, Gleise, Benutzer etc. sowie eine Auftragsverwaltung. Ferner werden Dienste für die Kommunikation und Upload-Funktionen entwickelt.

### Übertragung des Rangierauftrags an die Rangierlokomotive

Die Einbindung der Rangierlokomotive in die Signalkette des logistischen Gesamtsystems erfolgt bidirektional mittels eines Funkmoduls. Dazu wird eine bisher überwiegend als Condition-Monitoring System eingesetzte IoT-Lösung (Internet of Things, IoT) des Projektpartners Reuschling (J.I.M. – Job-based Intelligent Monitoring-System [5]) eingesetzt. Durch Verknüpfung der verschiedenen Elemente des Gesamtsystems wird J.I.M. als Infrastructure-as-a-Service für den Datentransfer in komplexen Regelaufgaben genutzt. Es sei darauf hingewiesen, dass auf Basis des zugrunde gelegten Kommunikationsprinzips zwar Informationen für den prototypischen Betrieb des Rangier-Terminals4.0 unter Berücksichtigung eines geeigneten betrieblichen Sicherheitskonzepts prototypisch ausgetauscht werden können, die sichere Kommunikation jedoch keinen Schwerpunkt dieses Projekts bildet.

### ADCU und VSU

Die ADCU übernimmt die Fahraufgabe des Tf der Rangierlokomotive und bildet damit ihre zentrale Steuerungslogik. Hier werden alle steuerungsrelevanten Entscheidungen zur Durchführung der Rangierfahrten auf der Grundlage des Rangierauftrages getroffen. Dazu verfügt die ADCU über verschiedene Schnittstellen (Abb. 3), um mit den angeschlossenen Modulen Daten auszutauschen. Dazu gehören das VCM, das Modul

Ortung und Orientierung, die VSU sowie die PBC.

Für die automatische Ausführung von Rangieraufgaben benötigt die ADCU den zu Beginn des Prozesses erzeugten Rangierauftrag (s.o.). Der Weichenwärter bzw. Fdl stellt die Rangierfahrstraße ein und stößt danach den Rangierauftrag via RT40-Dialogsystem an.

In diesem Datensatz ist die Rangieraufgabe für die Rangierlokomotive exakt beschrieben. Die Rangierlokomotive sendet kontinuierlich Statusmeldungen mit Informationen zu ihrem Standort und ihren aktuellen Aktionen an das RT40-Modul und bekommt, ebenfalls kontinuierlich, Informationen zum aktuellen Rangierauftrag vom RT40-Modul.

Für die Ausführung der Rangieraufgabe erstellt die ADCU eine virtuelle Karte des geplanten Fahrtverlaufs auf Grundlage der Daten aus dem Rangierauftrag. Das Modul Ortung und Orientierung liefert der ADCU Informationen über die aktuelle Position der Rangierlokomotive.

VSU-Boxen (Abb. 4) an beiden Spitzen der Rangierlokomotive dienen der Fahrwegüberwachung. Die VSU sind mit verschiedenen Sensoren wie LiDAR, Radar, S/W-Kamera und IR-Kamera sowie einem Rechner zur Vorverarbeitung der Sensordaten ausgestattet. Die so ermittelten Objektdaten aus dem Umfeld der Rangierlokomotive werden der ADCU zur Verfügung gestellt und dort ebenfalls in die virtuelle Karte eingetragen. Aus Fahrwegkoordinaten, Position der Rangierlokomotive und den Objektpositionen wird die Hinderisrelevanz der Objekte ermittelt und damit ein Digitaler Zwilling generiert. Die ADCU ermittelt mithilfe von Bremskurven und der aktuellen Geschwindigkeit den Anhalteweg der Rangierlokomotive. In Kombination mit der Breite des Lichttraumprofils ergibt sich damit der Gefahrenbereich vor der Rangierlokomotive. Sobald ein Hindernis im Gefahrenbereich erkannt wird, initialisiert die ADCU eine entsprechende Bremsanweisung für die PBC.



**Abb. 4:** Vehicle Sensor Unit (VSU-Box), Montage an beiden Spitzen der Rangierlokomotive

Quelle: TH Nürnberg

### Ortung und Orientierung

Aufbauend auf Vorarbeiten aus anderen IHATEC-Projekten [6], wird die Rangierlokomotive mit einer Ortungseinheit des DLR ausgestattet, welche die Signale unterschiedlicher Sensoren verarbeitet und Informationen über die aktuelle Position der Rangierlokomotive zur Verfügung stellt. Diese werden anschließend wie oben beschrieben an die ADCU weitergegeben. Als Sensortechnologien werden Empfänger für Satellitennavigation (GNSS, Global Navigation Satellite Systems) und inertielle Messeinheiten (IMU, Inertial Measurement Unit) eingesetzt [7]. Ergänzend werden von der ADCU Geschwindigkeitsinformationen bezogen. Da entsprechende interne Algorithmen auch Kartendaten nutzen können, kann somit bei Informationen über die aktuelle Fahrstraße – z. B. extrahiert aus dem Rangierauftrag über eine passende Schnittstelle – gleisgenau geortet werden. Andernfalls werden die Pfadhypothesen im Gleisnetz (= „Fahrstraße“) geschätzt. Dabei werden für jede Pfad-



**Zweiwegebagger**  
Atlas AB 1604 ZW

- junge Maschinen
- viele Anbaugeräte  
z.B. Hammer, Schwellenfach-, Sortiergreifer ...
- regelmäßig gewartet
- Bahnabnahme
- Rückfahrkamera
- Zusatzkreislauf Stopfgerät



**Schienenscheren**

**MFSRC-240**  
bis 52 kg/mtr. Schiene  
Gewicht: 2.500 kg  
Trägergerät ab 19 to.

**ATLAS HANNOVER Baumaschinen GmbH & Co.**  
Bremer Straße 6  
30880 Laatzen  
Tel.: 05102/7004-32  
Fax: 05102/7004-44  
Ansprechpartner: Erik Manowski  
E-Mail: manowski@atlas.hannover.de



**Vermietung,  
Verkauf und Service**

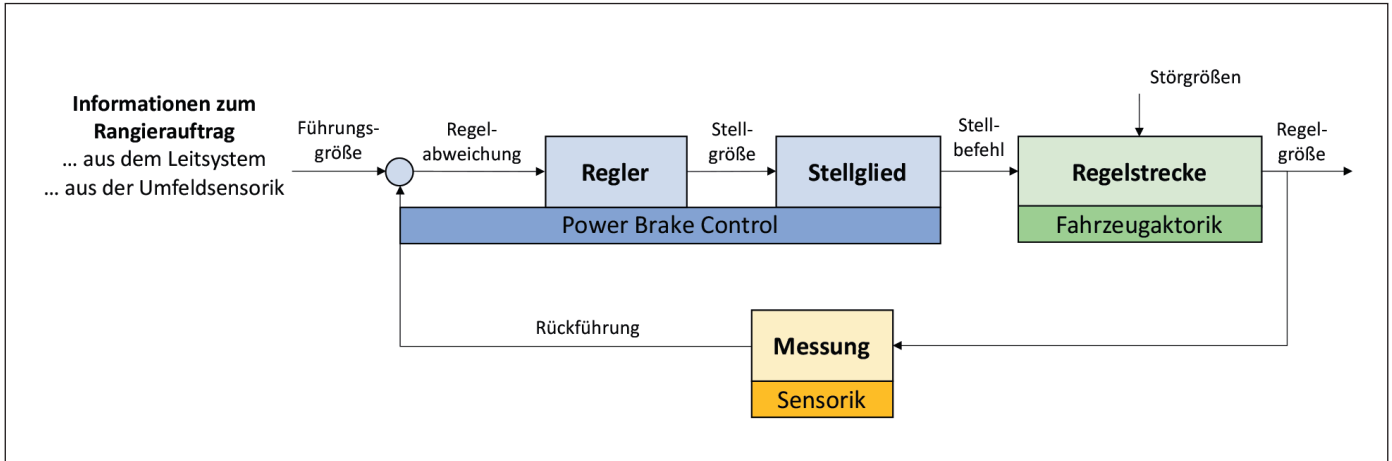


Abb. 5: Intelligente Regelung der Fahrbewegung der Rangierlokomotive (Elemente des übergeordneten Regelkreises)

Quelle: WLH

hypothese die Daten der Sensoren in einem Kalman-Filter verarbeitet. Alle Hypothesen werden kontinuierlich mit den Sensordaten bewertet, sodass bei ausreichend hoher Konfidenz gleisgenau geortet werden kann. Die Daten der Sensoren werden kontinuierlich abgetastet, und die Algorithmen sind so gestaltet, dass die Position und andere Bewegungsgrößen mit konstanter Abtastrate geschätzt und ausgegeben werden. Dies ist auch der Fall bei zwischenzeitlichen Lücken im GNSS-Empfang.

### Regelung der Rangierlokomotive

Die automatisierte Abarbeitung einer Rangieraufgabe wird im Vorhaben prototypisch durch eine dieselhydraulische Rangierlokomotive (Henschel DHG 500 C) bewältigt. Dazu wird die Fahrbewegung der Rangierlokomotive durch eine intelligente Regelung koordiniert. Der zugrunde gelegte Regelkreis ist schematisch in Abb. 5 dargestellt.

Die Regelgröße setzt sich zusammen aus der Geschwindigkeit sowie der fahrzielabhängigen Position der Rangierlokomotive und wird durch fahrzeugseitige Sensorik ermittelt. Die Informationen zur Rangieraufgabe, welche durch die ADCU vorverarbeitet wurden, bilden die Führungsgrößen des Regelkreises. Dabei handelt es sich um Geschwindigkeitsvorgaben für definierte Streckenabschnitte oder situative Meldungen der Umfeldsensorik.

Die PBC gleicht die Führungsgröße mit der Regelgröße ab und leitet daraus modellbasiert eine Stellgröße (bspw. Erhöhung oder Reduktion der Geschwindigkeit) zur Erreichung des Zielzustands ab. Die Ableitung und Realisierung eines geeigneten Regelverhaltens wird im weiteren Projektverlauf im Spannungsfeld zwischen Prozesssicherheit und -effizienz eine Herausforderung darstellen.

Um eine tatsächliche Beeinflussung der Fahrbewegung vorzunehmen, steht auf der Rangierlokomotive eine Regelstrecke in Form der Komponenten des Antriebsstrangs (Motor, Strömungsgetriebe) und der Brems-

anlage des Fahrzeugs (indirekte und direkte Bremse) zur Verfügung. Das zwischengeschaltete Stellglied übersetzt die Stellgröße in konkrete Stellbefehle. Hierzu ist eine fahrzeugspezifische Übersetzung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Fahrzeugkonfiguration, des tatsächlichen Komponentenverhaltens sowie dessen Korrelation mit der Fahrbewegung notwendig.

### Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde vom aktuellen Stand im Projekt RangierTerminal4.0 berichtet, das die Erprobung einer automatisierten Rangierlokomotive im JadeWeserPort unter Berücksichtigung und Anpassung der komplexen Prozesslandschaft zum Ziel hat. Dazu wurde ein Zielbild entwickelt, das die Kommunikation und Schnittstellen zwischen den benötigten technischen Modulen beschreibt und als Ausgangspunkt der technischen Umsetzung dient. Im weiteren Projektverlauf stehen nun die technische Ausgestaltung sowie umfangreiche Tests unter Realbedingungen an. Des Weiteren wird eine simulative Abbildung und Bewertung der Rangierprozesse stattfinden, um entsprechende Effekte durch Variation von Parametern oder des Untersuchungsraumes zu ermitteln.

### QUELLEN

- [1] DB Netz AG, „Bauprojekte: Oldenburg – Wilhelmshaven“, 2021. <https://bauprojekte.deutschebahn.com/p/oldenburg-wilhelmshaven>, 10.09.2021 um 10:00 Uhr
- [2] Landwehr, T. et al.: „Range-E - Autonomes Rangieren auf der Hafenbahn“, 2020. <https://doi.org/10.2314/KXP:1698271174>, 10.09.2021 um 10:00 Uhr
- [3] Cichon, M.; Falgenhauer, R.: „Das Eisenbahn-Testfeld in Lehre und angewandter Forschung an der Technischen Hochschule Nürnberg“, Ingenieurspiegel 2/2020
- [4] Cichon, M.; Schaal, R.: „Vollautomatische Abdrücklokomotive - Machbarkeitsstudie und Aufbau eines Demonstrators“, 16. Internationale Schienenfahrzeugtagung Dresden Rad/Schiene, 2018
- [5] Westfälische Lokomotiv-Fabrik Reuschling GmbH & Co. KG: „Jobbased Intelligent Monitoring - J.I.M.“, 2021. <https://jim-reuschling.de/>, 10.09.2021 um 10:00 Uhr
- [6] Roth, M.; Heusel, J.; Baasch, B.; Jahan, K.; Schulz, S.; Groos, J.: „Intelligent in-service shunters in German harbor railways“, in 27th ITS World Congress, Hamburg, Germany, 11-15 October 2021
- [7] Baasch, B.; Heusel, J.; Groos, J.; Shankar, S.: „Eingebettete Zustandsüberwachung der Gleisinfrastruktur: Entwicklung und Erprobung von eingebetteten Multi-Sensor-Systemen für die kontinuierliche Zustandsüberwachung der Gleisinfrastruktur im operativen Betrieb“, DER EISENBAHNINGENIEUR 12/2019, S. 6-8,



**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  
ralf.falgenhauer@th-nuernberg.de



**Romina Hanisch, M. Sc.**  
Mitarbeiterin Hafenmanagement/  
Hafenbahn  
JadeWeserPort Realisierungs GmbH & Co. KG, Wilhelmshaven  
r.hanisch@jadeweserport.de



**Dr.-Ing. Julian Franzen**  
Koordinator Innovation  
Westfälische Lokomotiv-Fabrik  
Reuschling GmbH & Co. KG, Hattingen  
j.franzen@reuschling.de



**Betriebsw. (MBA) Andreas Grunwald**  
Standortleiter Wilhelmshaven  
dbh Logistics IT AG, Wilhelmshaven  
andreas.grunwald@dbh.de