

Simulationsbasiertes Testen der Kompatibilität von ATO-Sensorik und Strecke

Die Vorteile einer Automatisierung der Bahn werden vor allem in der Optimierung und Verkürzung von Betriebsabläufen bspw. durch kürzere Wendezeiten oder dem Wegfall von Pausenzeiten gesehen und können damit unmittelbar mit einer Verdichtung des Angebots einhergehen. Zeitgleich sollen der Betrieb und das Angebot qualitativ hochwertiger werden. Die Kapazität des Schienennetzes steigt und die Pünktlichkeit kann erhöht werden. [1], [2]



1. Motivation

Die aktuellen Entwicklungen und Fortschritte bei der technischen Umsetzung und Erprobung von Automatisierungslösungen im Schienenverkehr (engl.: Automated train operation, ATO) sind eindeutig erkennbar. Als Anreiz für eine Automatisierung werden dabei die Erhaltung der langfristigen Attraktivität des Schienenverkehrs und der damit verbundenen ökologischen Aspekte genannt, also der Wert der Bahn als emissionsärmeres Verkehrsmittel im Vergleich zum Automobil (vgl. [3], [4], [5]). Es wird aber auch der entstandene Wettbewerbsdruck innerhalb des technologischen Fortschritts im verkehrsübergreifenden Vergleich gesehen, weshalb der Schienenverkehr derzeit

einen entsprechenden Innovations- und Umsetzungsdruck verspürt (vgl. [6]).

Die im Vorspann des vorliegenden Artikels beschriebenen Vorteile der Automatisierungslösungen werden zusätzlich durch entsprechende Herausforderungen für das heutige Bahnsystem begünstigt. Der Bedarf an Personal auf den Triebfahrzeugen wächst kontinuierlich und korrespondiert nicht mehr mit dem verfügbaren betrieblichen Personal der Verkehrsunternehmen (vgl. [7], [8]). In den kommenden drei Jahren werden demnach in Deutschland nur noch knapp die Hälfte der benötigten Triebfahrzeugführerinnen und Triebfahrzeugführer tätig sein. Damit der Schienenverkehr jedoch auch langfristig ein attraktives Angebot gewährleisten kann, muss das



Dr.-Ing. Martin Fischer

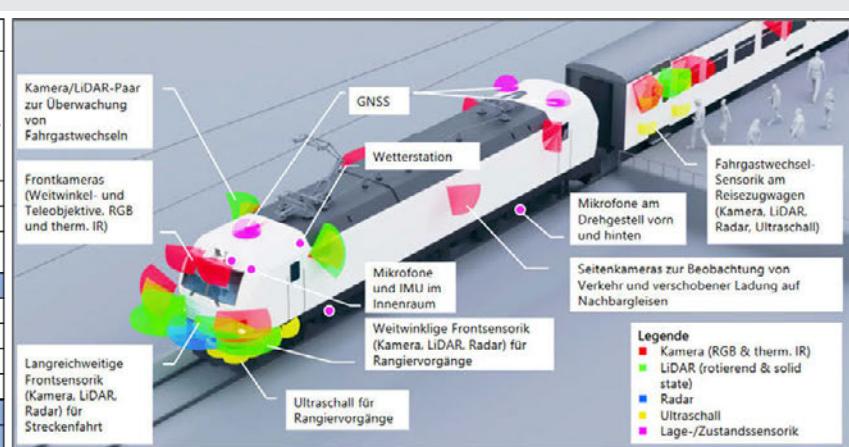
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Gruppenleiter Menschzentrierte Simulationsumgebungen in der Abteilung Verifikation und Validierung
ma.fischer@dlr.de



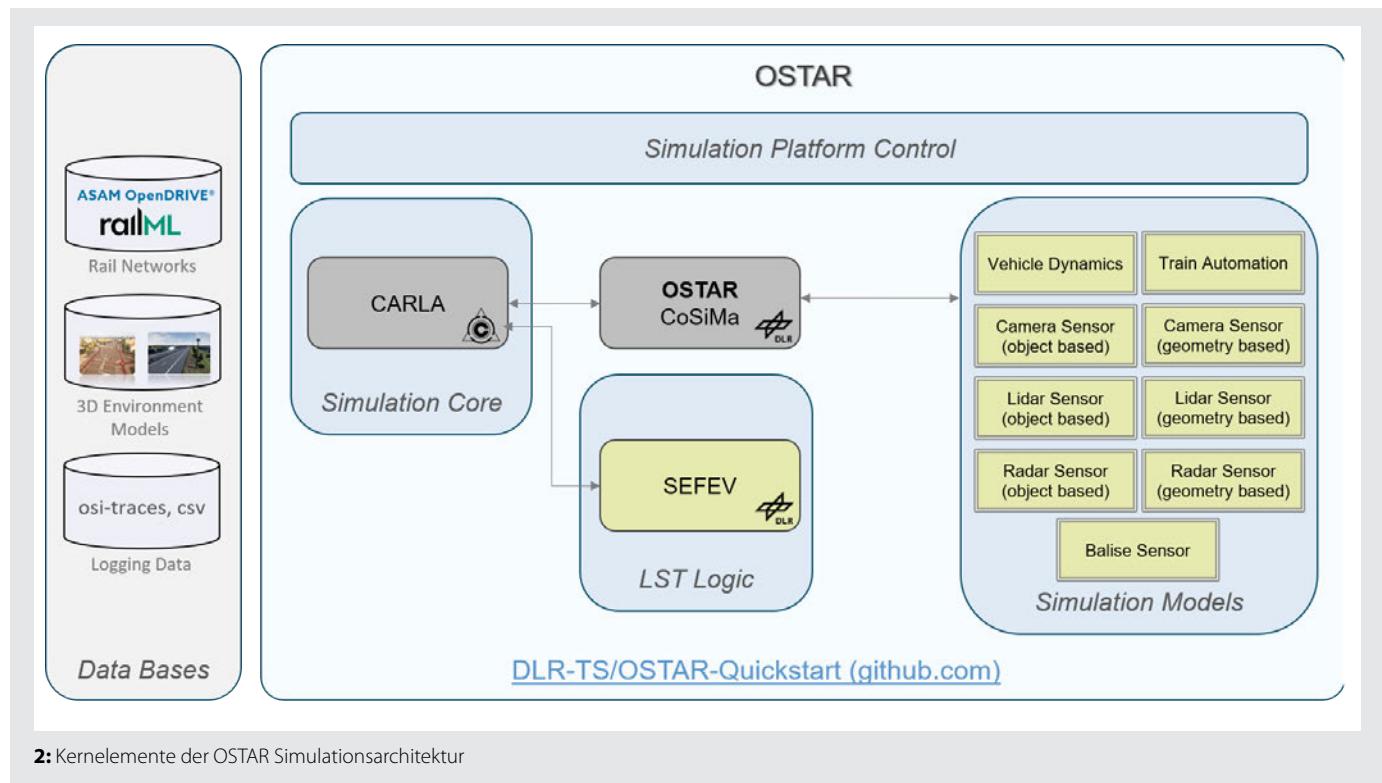
Dr.-Ing. Christian Meirich

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Institut für Verkehrssystemtechnik, Komm. Abteilungsleiter Bahnbetrieb in der Abteilung Design & Bewertung von Mobilitätslösungen
christian.meirich@dlr.de

	Sensorik						
	Kamera	LIDAR	Radar	Ultraschall	Mikrofone	GPS/GNSS	Digitale Karte
Aufwendungsfälle							Fahrzeugodometrie
Streckenfahrt							
Rangievorgang							
Objekt- & Hinderniserkennung bzw. Umfeldüberwachung							
Personendetektion							
Überwachung auf Nachbargleisen							
Fahrgastwechsel							
Innenraumüberwachung							
Drehgestellüberwachung							
Zugortung & Landmarkenerkennung							
Gleiserkennung							



1: Anwendungsfälle (Quelle: [17]) und bahnseitige Sensorausstattung Quelle: [18]



2: Kernelemente der OSTAR Simulationsarchitektur

Thema der Automatisierung in allen seinen Ausprägungen, von der technischen Machbarkeit bis hin zu den betrieblichen Auswirkungen für die unterschiedlichen Marktsegmente, erforscht und schlussendlich auch im Sektor eingeführt werden.

Dass Züge im Vollbahnsystem automatisiert werden können oder diese mit unterschiedlicher Technik per Remotesteuerung ferngesteuert werden können, wurde bereits in mehreren Demonstrationen bzw. in Forschungsprojekten gezeigt (vgl. [9], [10] [11]). Allen Demonstrationen vorangestellt werden umfangreiche Tests sowohl im Labor als auf der Test- und Demonstrationsstrecke selbst. Der Fokus liegt dabei häufig in der technischen Umsetzung unter Realbedingungen, jedoch auf einem lokal begrenzten Testgebiet. Das Ziel muss es jedoch sein, die Erkenntnisse im Nachgang auf das gesamte Eisenbahnnetz übertragen zu können und somit die benötigte Technik entsprechend auszulegen.

Es wird daher anvisiert, laboreigene Tests mittels Simulationen durchzuführen, um die benötigte Sensorik für das automatisierte Fahren und die Kompatibilität der zugehörigen Strecken zu ermitteln. Ein zentraler Vorteil bei diesem Vorgehen ist die Wiederholbarkeit der Simulationsläufe für verschiedene Sensor Set-ups, d.h. für Variationen in der Anzahl oder Art der Sensoren und deren Position. Auch können in

kürzester Zeit Tests mit beliebigen Variationen von Umwelteinflüssen, wie z.B. dem Stand der Sonne oder der Menge an Regen bei ansonsten identischen Bedingungen durchgeführt werden. So können unter Berücksichtigung von streckenseitigen Besonderheiten, die beispielsweise zu Verdeckungen führen können, und von allgemeinen physikalischen Effekten der jeweiligen Sensortypen mögliche Einschränkungen der generellen Funktionsfähigkeit einer bestimmten Sensorkonfiguration ermittelt werden. Die Nutzung simulationsbasierter Tests trägt somit unmittelbar zur Vorbereitung eines reibungslosen, automatisierten Bahnbetriebs bei.

2. Benötigte Sensorik für einen automatisierten Bahnbetrieb

Bei der Automatisierung des Schienenverkehrs werden unterschiedliche Grundannahmen für die technische Ausstattung bzw. Ertüchtigung sowohl für die Fahrzeuge als auch auf Seiten der Infrastruktur vorgenommen und erprobt. Dabei ist es wichtig zu erwähnen, dass eine Automatisierungslösung mindestens genauso sicher sein muss, wie der heutige konventionelle Zugbetrieb. Daher basieren die technischen Basissysteme für die Automatisierungskonzepte auf der heutigen Leit- und Sicherungstechnik.

Das am häufigsten verfolgte Konzept geht von einer Lösung aus, die ATO mit ETCS verknüpft (ATO over ETCS) [12]. Dabei greift die zugseitige ATO mittels ETCS in die Zugsteuerung ein (Antriebs- und Bremssteuerung) und die ETCS-Komponenten fungieren sowohl zug- als auch streckenseitig als Sicherungssystem. Beispielsweise funktioniert die automatisierte digitale S-Bahn Hamburg, die zum ITS World Congress vorgestellt wurde, nach diesem Prinzip (vgl. [13]). Jedoch werden auch alternative Lösungen erprobt. Das Forschungsprojekt ARTE testet die Automatisierung auf Strecken ohne ETCS-Ausrüstung, da diese in Deutschland noch nicht flächendeckend ausgerollt ist (eine Entwurfssatzung der aktuellen Ausrüstungsstrategie bis 2029 wurde von der DB InfraGO in [14] veröffentlicht). Daher soll die Automatisierung in diesem Projekt auf einer kommerziellen Strecke, die mit punktförmiger Zugbeeinflussung ausgerüstet ist, getestet werden. Die Signalerkennung wird dabei mithilfe eines bildgebenden, deterministischen Verfahrens, entsprechend einer Kameralösung, umgesetzt und erprobt [15].

Die heutigen Aufgaben eines Triebfahrzeugführers beinhalten neben der reinen Fahrtätigkeit ebenfalls Aufgaben wie die Betriebsvor- und -nachbereitung, die Abfertigung des Fahrgastwechsels oder die Streckenbeobachtung und die



3: Ausschnitt der Strecke Northeim–Bodenfelde aus der Zugführerperspektive. Realfahrt (links) und Simulationsfahrt (rechts)

Beobachtung von entgegenkommenden Zügen hinsichtlich Auffälligkeiten (vgl. [16]). Damit die umfangreichen Aufgaben eines heutigen Triebfahrzeugführers durch eine zukünftige Technik vollständig abgebildet werden können, werden für die Ausrüstung eines automatisierten Zuges je nach Anwendungsfall unterschiedliche Sensorsysteme, -konzepte und -Set-ups relevant. Dabei spielt die Automatisierungsstufe (GoA – Grade of Automation) eine entscheidende Rolle. In diesem Artikel wird davon ausgegangen, dass eine Automatisierungsstufe von GoA 3 oder GoA 4 zugrunde gelegt ist, d.h. es befindet sich kein Triebfahrzeugführer oder keine Triebfahrzeugführerin mehr im Führerstand des Zuges und die Technik übernimmt die entsprechenden Funktionen. Im Allgemeinen können die benötigten Technologien nach dem Bericht 31 des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsorschung (vgl. [17]) in die in Bild 1 dargestellten Anwendungsfälle unterschieden werden.

Des Weiteren können die Systeme hinsichtlich ihres Anwendungsfalls klassifiziert werden. Hierzu zählen optische Systeme wie Kameras, welche als Weitwinkel-, Langreichweiten-, als thermische oder Infrarot-Kamera ausgebildet sein können. Weiter kommen Laserscanner (LiDAR) und akustische Systeme wie Mikrofone oder Ultraschallsensoren zum Einsatz. Wie in Bild 1 dargestellt, werden für unterschiedliche Anwendungsfälle häufig Kombinationen von verschiedenen Sensortypen benötigt.

3. Beschreibung Werkzeugkette

Mit seinem Open Source Simulationsframework OSTAR (Open Simulation Toolchain for Automotive and Rail Research)¹⁾ bietet das

DLR Industrieunternehmen, Kommunen, Betreibern und genehmigenden Stellen eine einfache und genaue Möglichkeit, die Passung von Fahrzeug und Strecke sowie deren ideale sensorische Ausrüstung zu ermitteln bzw. anvisierte Konstellationen zu überprüfen, ohne aufwendige Feldtests durchführen zu müssen (vgl. [19]).

Die Simulation (vgl. Bild 2) stützt sich dabei auf verschiedene im Automotive- oder Bahn-Bereich gängige Standards: u.a. wird für die Beschreibung der Strecke die im Automotive-Umfeld gängige Beschreibungssprache ASAM OpenDRIVE²⁾ verwendet. Hier ist eine zeitnahe Umstellung auf das im Bahnbereich etablierte RailML³⁾ Format vorgesehen. Für die Anbindung von Simulationsmodulen werden die immer populärer werdenden Standards FMI⁴⁾, zur Anbindung von Simulationsmodellen und ASAM OSI⁵⁾, zur Kommunikation mit diesen Modellen zur Laufzeit der Simulation genutzt. Als zentrale Komponente baut OSTAR auf die Open Source Software CARLA⁶⁾ auf, welche die Basisfunktionen der Gesamtsimulation mit sich bringt. Ein wichtiger Bestandteil des Frameworks ist darüber hinaus das „Simulation Environment for ERTMS Verification“ (SEFEV), welches eine Kernkomponente der Bahn-Simulationssoftware des RailSiTe® Labors⁷⁾ des Instituts für Verkehrssystemtechnik des DLR darstellt. Mit SEFEV werden alle relevanten eisenbahntechnischen Simulationen der Leit- und Sicherungstechnik abgebildet. Über den vom DLR entwickelten

Co-Simulations-Manager CoSiMa werden schließlich alle weiteren relevanten Simulationsmodule angebunden. Für den betrachteten Anwendungsfall sind hier von besonderer Bedeutung die jeweiligen Sensormodelle. OSTAR verwendet hier u.a. die ENVITED Open Source Model & Simulation Library. Neben den Sensoren werden über den CoSiMa auch weitere Softwaremodule wie die Simulation der Fahrdynamik oder zusätzlicher bahnspezifischer Sensoren, wie z.B. von Balisenlesern eingebunden. Auch ein konkreter Algorithmus für die Automatisierung der Zugsteuerung kann auf diesem Wege integriert werden.

Als Datenbasis wird ein digitales Abbild der Betriebsumgebung, also der Strecke mit der vorhandenen Infrastruktur, sowie ein Abbild des geplanten Fahrzeugs mit seinem Sensor-Set-up benötigt. Die Eigenschaften der Sensoren in der Simulation werden mithilfe der Möglichkeiten des Testfeld Niedersachsen⁸⁾ validiert. Damit können belastbare Simulationen, auch unter unterschiedlichen Wetterbedingungen, sichergestellt werden.

OSTAR bietet mit seinem offenen, frei erweiterbaren Sourcecode und den implementierten Schnittstellen für jegliche Art von Simulationsmodellen ein flexibles, modulares Simulationswerkzeug für die Beantwortung von Forschungsfragen.

4. Anwendungsbeispiel

Im Projekt ARTE arbeitet das DLR zusammen mit ALSTOM und der TU Berlin an den Voraussetzungen zur Bahnautomatisierung [20]. Als ein zentrales Element wurde dabei die Überprüfung der Eignung einer spezifischen Strecke für den automatisierten Bahnbetrieb identifiziert. Dabei geht es

2) <https://www.asam.net/standards/detail/opendrive/>

3) <http://www.railml.org/>

4) <https://fmi-standard.org/>

5) <https://www.asam.net/standards/>

6) <https://carla.org/>

7) <https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/forschungsinfrastruktur/grossforschungsanlagen/railsite>

8) <https://www.testfeld-niedersachsen.de>

um eine frühzeitige Einschätzung, ob ein automatisierter Zug mit einer bestimmten Sensorik alle Signale ausreichend früh detektieren kann. In diesem Zusammenhang erstellt das DLR derzeit einen digitalen Zwilling der Strecke Northeim–Bodenfelde (vgl. Bild 3). d.h., zum einen wird die Strecke topologisch hochgenau nachgebildet, zum anderen werden alle relevanten Elemente der Leit- und Sicherungstechnik, also Signale und streckenseitige Sensorik erfasst und im digitalen Zwilling positionsgetreu integriert.

Dieser digitale Zwilling im Zusammenspiel mit der beschriebenen Werkzeugkette OSTAR wird dann für die Analyse der kritischen Streckenabschnitte verwendet. Ausgehend von einem anvisierten Sensor Set-up werden als Ergebnis u.a. Maximalgeschwindigkeiten für bestimmte Abschnitte oder bei bestimmten Wetterbedingungen erwartet, die durch einen Einsatz der getesteten Sensorik möglich sind. Auch eine Empfehlung von zusätzlicher strecken- oder fahrzeugseitiger Sensorik und Kommunikationsausrüstung wird im Rahmen der Analyse betrachtet.

So soll im Projekt ARTE anhand von generischer Sensorik und des erstellten digitalen Zwillings der Strecke ein erster Nachweis der Leistungsfähigkeit des simulationsbasierten Ansatzes erfolgen, welcher dann in weiteren Projekten ausgebaut und verfeinert werden wird.

5. Diskussion

Im Rahmen der Prüfung eines ATO-Systems können simulative Probefahrten unter repräsentativen Randbedingungen mit dem Fahrzeug in der Betriebsumgebung vorgenommen werden. Somit können Erkenntnisse hinsichtlich der Positionierung der benötigten Sensoreinheiten sowie der individuellen Ausrüstungsmerkmale (z.B. Reichweite, Abstrahlwinkel) bereits vor der eigentlichen Realerprobung gewonnen und mögliche Sensorenengpässe – also Situationen, in denen selbst ein optimiertes Sensor-Set-up des Fahrzeugs in den Grenzbereich gelangt – ermittelt werden. Für die ermittelten Engpässe können fahrzeug- und infrastrukturseitige Maßnahmen konzipiert und deren Wirkung unmittelbar in der Simulation evaluiert werden. Ein zentraler Vorteil der simulativen Erprobung liegt bei der kontrollierten Veränderbarkeit von flankierenden Parametern, bspw. von verschiedenen Sensorkonzepten und deren Zusammenspiel, von der Abbildung

unterschiedlicher Wettereinflüsse sowie in der Variation von Streckenparametern und Fahrgeschwindigkeiten. Ebenfalls können über die Simulation auch Erkenntnisse für mögliche redundante Ausrüstungen gewonnen werden, die einerseits im Störungsfall und beim Ausfall einzelner Sensorkomponenten relevant werden, andererseits jedoch entsprechende Doppel-ausrüstung bedeuten und damit einen negativen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Systems haben.

Der simulationsbasierte Ansatz bietet daher nicht nur im Rahmen der Genehmigung, sondern auch in der Phase von Ausschreibungen bereits einen erheblichen Informationsvorsprung. Anforderungen können zunächst ermittelt und vor der Zuschlagserteilung mit angemessenem Aufwand geprüft werden. Darüber hinaus können Betrieb und mögliche Einschränkungen ermittelt und damit eine Grundlage für die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems bereitgestellt werden.

All diese Punkte bieten einen Mehrwert hinsichtlich der Bewertung gegenüber der heutigen kostenintensiven feldseitigen Erprobung, welche entweder mit vielen Testtagen oder auf unterschiedlichen Streckenabschnitten erprobt werden muss. Die Erwartung bei der Nutzung liegt also in der Einsparung von kostenintensiven Testtagen, die immer Sperrpausen oder andere betriebliche Einschränkungen für den Planverkehr bedeuten. ●

Literatur

- [1] Harms, Christopher (2016): Autonomes Fahren auf der Schiene: Wie die Bahnen schon heute selbstständig unterwegs sind. Allianz pro Schiene e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/autonomes-fahren-auf-der-schiene/>, zuletzt aktualisiert am 29.11.2016, zuletzt geprüft am 20.06.2024.
- [2] Büker, Thorsten; Heller, Simon; Hennig, Eike; Reinhart, Peter; Weymann, Frédéric (2024): Zum verkehrlichen Nutzen der Digitalen Schiene Deutschland. In: El - Der Eisenbahningenieur (02/2024), S. 47–52.
- [3] Allianz pro Schiene (2024): Treibhausgas-Emissionen: Klima schonen? Bahn fahren. Verkehrsträgervergleich Treibhausgas-Emissionen. Allianz pro Schiene e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/treibhausgas-emissionen/>, zuletzt aktualisiert am 17.06.2024, zuletzt geprüft am 20.06.2024.
- [4] Allianz pro Schiene (2024): Verkehr und Umwelt. Daten & Fakten grafisch aufbereitet. Allianz pro Schiene e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/umwelt/daten-fakten/>, zuletzt aktualisiert am 03.06.2024, zuletzt geprüft am 20.06.2024.
- [5] Michel Allekotte, Fabian Bergk, Kirsten Biemann, Carolin Deregowski, Wolfram Knörr, Hans-Jörg-Althaus, Daniel Sutter, Thomas Bergmann (2019): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Ressortforschungsplan des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit. Hg. v. Umweltbundesamtes. Dessau-Roßlau (156/2020). Online verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/texte_156-2020_oekologische_bewertung_von_verkehrsarten_0.pdf, zuletzt geprüft am 20.06.2024.
- [6] DB InfraGO AG (2024): InfraGO-Zustandsbericht 2023. DB InfraGO AG. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.dbinfrago.com/resource/blob/12851844/6d8f1b4e177c28d5fd3a3b53e5cc43b/InfraGO-Zustandsbericht-2023-data.pdf>, zuletzt geprüft am 20.06.2024.
- [7] Wendling, Sabrina (2024): Bedarf an Lokführerinnen und Lokführern wächst weiter. In: Allianz pro Schiene, 27.03.2024. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/presse/pressemeldungen/bedarf-lokfuhrer-waechst/>, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- [8] Westedt, Christian; Schulte, Kai (2024): Qualitätsbericht SPNV NRW 2023. Hg. v. Kompetenzzentrum ITF NRW. Bielefeld. Online verfügbar unter https://infoportal.mobil.nrw/fileadmin/02_Wiki_Seite/02_Information_Service/09_SPNV_Qualitaetsbericht/Qualitaetsbericht_SPNV_NRW_2023.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- [9] LUCI DLR: DLR Institut für Verkehrssystemtechnik (2022): Forschende lassen Zug mit Hilfe von 5G-Mobilfunktechnologie im Erzgebirge ferngesteuert fahren. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Online verfügbar unter <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/news/forschende-lassen-zug-mit-hilfe-von-5g-mobilfunktechnologie-im-erzgebirge-ferngesteuert-fahren>, zuletzt aktualisiert am 02.06.2024, zuletzt geprüft am 24.06.2024.
- [10] ARTE: Bekehermes, Tobias; Arslan, Bekir; Naumann, Anja (2023) ARTE – a technical solution for driverless trains on non-ETCS lines. SIGNAL + DRAHT 115, (12/2023), Seiten 18–25.
- [11] SBB/CFF/FFS (2024): SBB hat Testfahrten mit ferngesteuerten Lokomotiven unter laufendem Betrieb durchgeführt. In: SBB CFF FFS, 20.03.2024. Online verfügbar unter <https://news.sbb.ch/medien/artikel/127574/sbb-hat-testfahrten-mit-ferngesteuerten-lokomotive-unter-laufendem-betrieb-durchgefuehrt>, zuletzt geprüft am 24.06.2024.
- [12] Harms, Christopher (2017): ATO over ETCS – Chancen durch höhere Automatisierung. Interview mit Markus Pelz und Volker Knollmann (Siemens). Allianz pro Schiene e.V. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/ato-automatisierung-mit-etcs/>, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- [13] Schröder, Jan; Gonçalves Alpoim, Christopher; Dickgießer, Boris; Knollmann, Volker (2021): Digitale S-Bahn Hamburg – Erstmals Realisierung von „ATO over ETCS“ in Deutschland. Digital S-Bahn Hamburg – Germany's first implementation of ATO over ETCS. In: SIGNAL + DRAHT 113 (7–8), S. 52–59. Online verfügbar unter https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/SIGNAL_DRAHT_113_7-8_2021.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- [14] Digitale Schiene Deutschland (2024): DB InfraGO AG: Fortschreibung ETCS-Ausrüstungsstrategie. DB InfraGO AG. Online verfügbar unter https://www.dbinfrago.com/resource/blob/12829520/9167f7d113ebd92200e865e290e74f/2024_16_20240416_KuVa_ETCS_Ausruestungsstrategie-data.pdf, zuletzt geprüft am 21.06.2024.
- [15] Bekehermes, Tobias; Arslan, Bekir; Naumann, Anja (2023): ARTE – eine technische Lösung für fahrerlose

Züge auf Nicht-ETCS-Strecken. ARTE – a technical solution for train automation on non-ETCS lines. In: SIGNAL + DRAHT (10/2023), S. 18–25.
 [16] DB Netz AG (Hrsg.): Fahrdienstvorschrift; Richtlinie 408 (idF v. 12.12.2021).
 [17] Leinhos, Dirk; Flatt, Holger; Witte, Stefan (2022): Sensorik als technische Voraussetzung für ATO-Funktionen. Unter Mitarbeit von Christian Klotz, Rustam Tagiew und Pavel Klasek. Hg. v. Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsorschung beim Eisenbahn-Bundesamt (Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsorschung, Bericht 31).
 [18] Digitale Schiene Deutschland (2024): Sensors4Rail bringt mehr Kapazität auf die Schiene. Hg. v. Deutsche Bahn AG. Online verfügbar unter <https://digitale-schiene.de/deutschland/sensors4rail-bringt-mehr-kapazitaet-auf-die-schiene/>

ne-deutschland.de/Sensors4Rail, zuletzt aktualisiert am 24.06.2024, zuletzt geprüft am 24.06.2024.

- [19] Fischer, Martin und Bahn, Björn und Gröne, Kilian und Baumgarten, Frank und Behnecke, Danny (2023) The Open Source Toolchain for Automotive Research (OSTAR) as a Closed-Loop System Simulation Framework for Integration Test and Validation. Explore-to-Innovate 2023, 22.-23. Jun. 2023, Benningen, Deutschland.
- [20] Specht, Felix und Michels, Alexander und Adebahr, Frederik-Alexander und Meirich, Christian und Hofstätter, Raphael und Milius, Birgit und Naumann, Anja (2022) Automatisiertes Fahren in Niedersachsen / Automated driving in Lower Saxony - ARTE. SIGNAL + DRAHT 114, (9) Seiten 10-15.

Summary

Simulation based compatibility tests of ATO sensors and tracks

The article addresses the possibilities of using simulated-based tests for automated driving in rail operations to determine the required sensors and compatibility with track characteristics. These simulations allow to design the real tests as resource efficient as possible and is hence a methodical support of the later testing in real conditions.

Bosch Engineering



Mehr Sicherheit im Rangierbetrieb mit der Bosch Perception-Technologie

- Warnung vor Hindernissen im Gleisbereich
- Kuppelassistenzfunktion und Signalerkennung
- Erhöhte Sicherheit, weniger Reparaturkosten

