

Umfeldwahrnehmung für fahrerlose Bereit- und Abstellfahrten

Im Projekt „AutomatedTrain“ erarbeiten Bahn und Industrie die sicherheitstechnische Auslegung der neuesten Sensorikgeneration für die Hinderniserkennung.

Ruben Schilling | Peter Bauckhage |
Meike Meller | Peter Rudolph |
Richard Wolf | Christian Hauswald

Um dem steigenden Fachkräftemangel und dem demografischen Wandel entgegenzuwirken, arbeiten im Kooperationsprojekt „AutomatedTrain“ neun Partner aus Industrie, Bahnsektor und Wissenschaft daran, die technische Machbarkeit der vollautomatisierten, fahrerlosen Bereit- und Abstellfahrten sowie das automatisierte Auf- und Abrüsten von Zügen zu demonstrieren. Ein wesentlicher Technologiebaustein ist hier die Sensorik zur Umfeldwahrnehmung. Bei ihrer Auslegung und Integration müssen zahlreiche bahnspezifische Herausforderungen gemeistert werden. Neue innovative Ansätze wie z. B. Raytracing-Simulation unterstützen bei der Verifizierung.

Ziel des Projektes ist der Nachweis der technischen Machbarkeit der vollautomatischen, fahrerlosen Ab- und Bereitstellungs- und Abstellfahrten im höchsten Automatisierungsgrad „ATO GoA 4“ (Grade of Automation 4) im offenen Netz. Dies ist ein Schritt auf dem Weg zur vollautomatischen Streckenfahrt [8]. Die Umsetzung erfolgt gemäß der Zielstellung der Digitalen Schiene Deutschland (DSD) in einer ETCS-Umgebung („ATO over ETCS“) und mit einer fahrzeugseitigen Umfeld- und Hinderniserkennung. Dafür werden zwei verschiedene Triebzüge mit einem Sensorset für die Umfeldwahrnehmung ausgestattet. Die Demonstration der fahrerlosen Bereitstellungs- und Abstellfahrten findet im Prüf- und Validationszentrum der Siemens Mobility GmbH (Siemens Mobility) in Wegberg-Wildenrath statt. Die Feldtests zur Erhebung von Sensordaten und Handlungsableitung im realen Betrieb erfolgen auf Referenzstrecken in Stuttgart.

Zunächst werden im Projekt „AutomatedTrain“ auf der Grundlage heutiger betrieblicher Vorgehensweisen die betrieblichen und technischen Grundlagen der vollautomatischen Ab- und Bereitstellungs- und Abstellfahrten entwickelt [3]. Die Fahrzeuge müssen dafür vor dem Anfahren und während der Bereitstellfahrt selbstständig erkennen, ob der Fahrweg frei ist. Sie müssen entsprechend reagieren, indem sie vorausschauend vor möglichen Hindernissen warnen, selbstständig bremsen oder einen Nothalt ausführen. Dafür entwickeln Siemens Mobility

und Bosch Engineering GmbH jeweils ein neues Hinderniserkennungssystem mit gemeinsamem Systemansatz. Diese werden in einen Siemens Mireo Regionalzug sowie eine S-Bahn der Baureihe 430 von Alstom integriert. Für die Teilfunktion der selbstständigen Fahrwegbeobachtung des neuen Systems definieren und integrieren die Partner eine neue, fahrzeugübergreifende Sensorikgeneration für die Umfeldwahrnehmung, die auch die Erfüllung der Sicherheitsanforderungen der Anwendungsfälle des Projektes ermöglichen soll. Jedes der Fahrzeuge enthält zusätzlich eigene Sensoren für die Lokalisierung. Dabei fließen Erkenntnisse aus vorangegangenen Technologiedemonstratoren wie dem Projekt Sensors4Rail [1] der DSD, dem Advanced TrainLab [7], der S-Bahn Berlin [2] und Astrid [6] von Siemens Mobility ein. Die sicherheitstechnische Auslegung ist ein entscheidender technischer Entwicklungsschritt gegenüber der Sensorauslegung von Vorgängerprojekten wie Sensors4Rail.

Bahnspezifische Herausforderungen

Das Projekt steht vor einer Vielzahl von Herausforderungen. Die Randbedingungen und Anforderungen für die sichere, vollautomatische Abstellung und Bereitstellung von Zügen im offenen Bahnsystem wurden erstmalig definiert. In der Entwicklung passender Algorithmen und der Softwarearchitektur konnten bereits große Fortschritte erzielt werden.

Im offenen Bahnsystem kommen bis einschließlich dem hochautomatisierten Fahren mit Triebfahrzeugführer (Tf) (ATO GoA 2) keine Sensoren zur Umfeldwahrnehmung zum Einsatz. Dementsprechend gibt es keine für diesen Anwendungsfall spezifisch entwickelte Sensorik. Vollständige Neuentwicklungen sind im Rahmen eines kurzen FuE-Projektes nicht realisierbar, weshalb auf verfügbare, für andere Anwendungen entwickelte Komponenten zurückgegriffen wurde. Hier sind Anpassungen notwendig, die teilweise erst nach dem Einsatz im Bahnumfeld deutlich werden.

Eine erste Umsetzung der fahrerlosen Bereitstellung wird durch die Umrüstung eines Fahrzeuges aus dem laufenden Betrieb erfolgen. Die Umrüstung von Bestandsfahrzeugen („Retrofit“) muss einen Betrieb mit und ohne Tf ermöglichen. Die Optionen zur Positionierung der Sensoren sind daher eingeschränkt.

Das Projekt „AutomatedTrain“ begegnete diesen Herausforderungen durch frühe Tests im

Labor und auf dynamischen Mockups der Zielfahrzeuge sowie die Einbindung von Experten aus den Bereichen Fahrzeugtechnik, Sensorik und Bahnbetrieb.

Die Schaffung einer diversen und hochqualitativen Datengrundlage ist der zentrale Hebel zur Entwicklung und Validierung eines Hinderniserkennungssystems. Aufgrund der im Allgemeinen hohen Auslastung der Bahntrassen muss der Großteil der Daten im Regelbetrieb passiv aufgezeichnet werden. Für die Fahrt auf öffentlichen Strecken müssen bei der Integration ins Fahrzeug diverse bahnspezifische Anforderungen wie z. B. elektromagnetische Verträglichkeit (EMV), Stoßfestigkeit, Gewichts- und Bauraumbeschränkungen sowie der Schutz vor Manipulation durch Dritte eingehalten werden.

Die Datenaufzeichnung und -sammlung muss dabei weitestgehend automatisiert erfolgen, um hohe Aufwände für Fahrzeug, Trassen und Personal zu vermeiden. Funktional muss die Sensorik zur Hinderniserkennung mindestens die gleiche Leistungsfähigkeit wie ein menschlicher Fahrer haben und passfähig zu Betriebskonzept und Fahrzeug sein. Dies stellt insbesondere hohe Anforderungen an die Reichweite der Sensorik und die technische Verfügbarkeit unter verschiedenen Umweltbedingungen.

Aus Gründen der Skalierbarkeit muss die Sensorik so ausgelegt werden, dass sie in verschiedene Baureihen integriert werden kann. Für die Integrationsfähigkeit in verschiedene Baureihen müssen entsprechende Reserven bei der Auslegung der Sensorik berücksichtigt werden. Abweichende Positionen in den verschiedenen Zugfronten dürfen dabei die Abdeckung der geforderten Sichtfelder nicht beeinträchtigen.

Die Auslegung eines Hinderniserkennungssystems für die Abstell- und Bereitstellungs- und Abstellfahrten ohne spezielle Zusatzmaßnahmen erfordert ein Konzept, das für eine Sicherheitsintegritätslevel 1 (SIL1)-Systementwicklung geeignet ist [5]. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Schutz von Personen. Abgesehen von Sonderfällen wie Bahnübergängen, die streckenseitig gesichert werden können, ermöglicht die Berücksichtigung der oben genannten Herausforderungen die Entwicklung eines breit verwendbaren Hinderniserkennungssystems.

Schließlich ist die nachhaltige Auslegung der Sensorik ein wichtiger Aspekt für absehbare Funktionen in weiterführenden Projekten, wie beispielsweise für fahrerlose Streckenfahrten. Andernfalls führen lange Umrüstzeiten und

zeitaufwendige Nachweise für die Fahrzeugtechnik schnell zu langen Projektlaufzeiten für jede weitere zu entwickelnde Funktion.

Funktionale Anforderungen an die Sensorik

Das vollautomatische Fahren stellt im Bereich Umfeldwahrnehmung verschiedene Anforderungen an eine Onboard-Sensorik. Zum einen muss ein vollautomatisches, fahrerloses Fahrzeug (Automatisierungsstufe GoA 4) selbst prüfen können, ob ein Hindernis im Fahrweg liegt, bevor es anfahren kann. Zum anderen benötigt das Fahrzeug eine sensorische Vorausschau, um während der Fahrt bewegliche Objekte erkennen und im Notfall so frühzeitig warnen zu können, dass diese den Gefahrenbereich rechtzeitig verlassen können. Schließlich muss ein GoA 4-Fahrzeug vor unbeweglichen Hindernissen genauso rechtzeitig einen Nothalt einleiten können, wie es bei einer manuellen Fahrt der Fall wäre.

Für die Sichtfeldanforderungen müssen mögliche Streckenneigung (Steigung / Gefälle) und Gleisradien einbezogen werden. Auch Gleisüberhöhungen und verschiedene Lichtraumprofile sind zu berücksichtigen. Schließlich müssen die Verfügbarkeits- und Sicherheitsanforderungen unter allen Umweltbedingungen eingehalten werden. Die funktionalen Anforderungen an die notwendigen Sichtfelder sind schematisch in den Abb. 1 und 2 dargestellt.

Die Funktionen zur Hinderniserkennung benötigen den Zeitpunkt der von den Sensoren erfassten Daten (im Millisekundenbereich), da diese mit der kartierten Umgebung abgeglichen werden. Die Position des fahrenden Zuges, die Karte und die Messdaten werden dabei zusammengeführt. Mittels synchronisierter Sensorik wird die erforderliche Genauigkeit erreicht. Für die optimale Nutzung der aufgezeichneten Sensordaten in einer Data Factory [4] ist zudem eine Synchronisierung der Messfenster bei gleicher Messfrequenz (Bilder pro Sekunde) hilfreich.

Auslegung Sensorik

In enger Zusammenarbeit erstellten Bosch Engineering, Siemens Mobility und DSD im Projekt „AutomatedTrain“ eine Auslegung der Sensorik, die die Anforderungen der Anwendung besser erfüllt als alle verfügbaren Systeme. Um den Sicherheits- und Verfügbarkeitsanforderungen unter allen Umweltbedingungen gerecht zu werden, ist das Sensorset redundant und multi-modal aufgebaut, d. h. es beinhaltet verschiedene Arten von Sensoren für die geforderten Sichtbereiche.

Besonders interessante Aspekte der redundanten Auslegung sind:

- die Fähigkeit zur Aufteilung der Sicherheitsanforderungen mittels unabhängiger Messprinzipien
- die Möglichkeit der Fehlertoleranz gegenüber Ausfall bei Einfach Fehlern

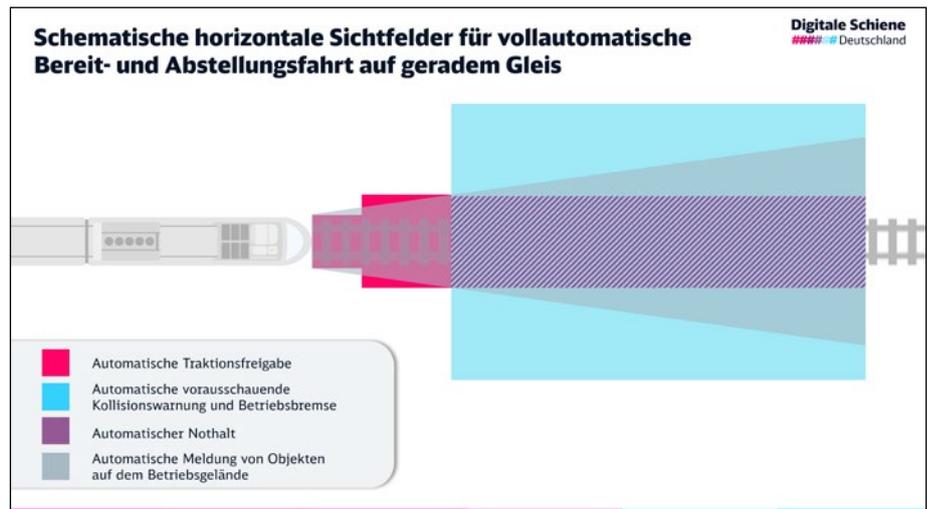


Abb. 1: Schematische Darstellung funktionaler Anforderungen der vollautomatischen Ab- und Bereitstellung an die horizontalen Sichtfelder der Sensorik

Quelle aller Abb.: Digitale Schiene Deutschland, DB InfraGO

- die Erhöhung der Verfügbarkeit bei schwierigen Umgebungsbedingungen
- die Möglichkeit, die unterschiedlichen Stärken der Sensoren, z. B. für besonders komplexe Wahrnehmungsfunktionen, zu kombinieren.

Im Projekt „AutomatedTrain“ besteht die Sensorik für die Umfeldwahrnehmung aus fünf verschiedenen Modalitäten: Ultraschallsensoren, LiDAR-Sensoren, Fernbereichsradar, Farbkameras sowie Infrarotkameras (LWIR).

Die Ultraschallsensoren bieten eine gute Abdeckung des Anfahrbereichs, da sie einen großen Öffnungswinkel haben und sich gut in die Front integrieren lassen. Die LiDAR-Sensoren decken alle Bereiche ab. Für zukünftige Funktionen, die verschiedene Objekttypen unterscheiden können müssen, und für Fahrten bei hohen Geschwindigkeiten gibt es eine zusätzliche Abdeckung mit Farb- und Infrarotkameras.

Die Sensorhardware im Bereich des autonomen Fahrens auf der Straße entwickelt sich mit großer Geschwindigkeit weiter. Im Projekt konnte auf eine fünfte Generation der Fernbereichsradarsensoren aus dem Automotive-Bereich zurückgegriffen werden, die eine erhebliche Leistungssteigerung bei Reichweite, Sichtfeld und Auflösung bietet. Für die LiDAR-Sensorik wurden verschiedene Typen mit hohen Auflösungen und großer Reichweite sowie ein neuer Prototyp mit frequency modulated continuous wave (FMCW)-Messtechnik ausgewählt, der neben Abständen und Intensitäten auch die Messung von Geschwindigkeiten ermöglicht. Bei den Kameras war der Einsatz von rückbeleuchteten high dynamic range (HDR)-Bildsensoren möglich, die auch in Gegenlichtsituationen, bei niedrigem Umgebungslicht oder auf spiegelnden Oberflächen sehr gute Ergebnisse liefern. Bei den Ultraschallsensoren wurden Komponenten

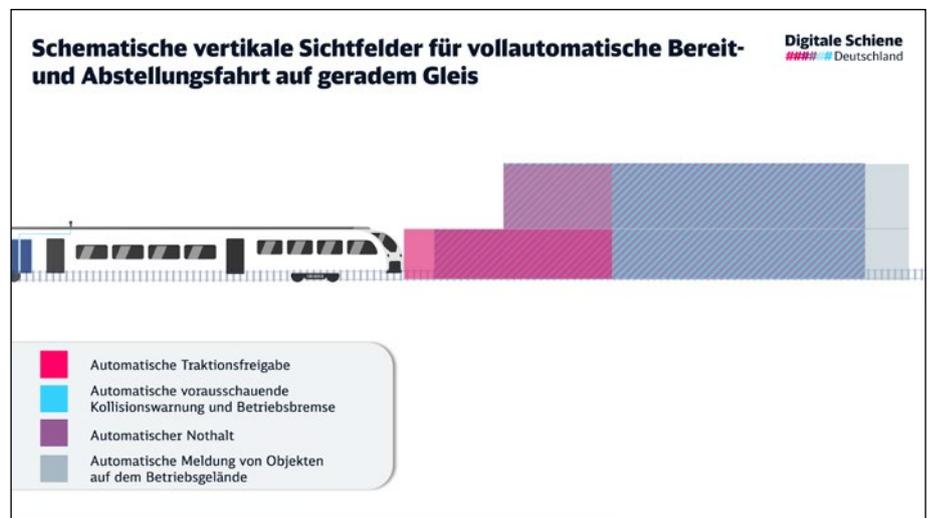


Abb. 2: Schematische Darstellung funktionaler Anforderungen der vollautomatischen Ab- und Bereitstellung an die vertikalen Sichtfelder der Sensorik

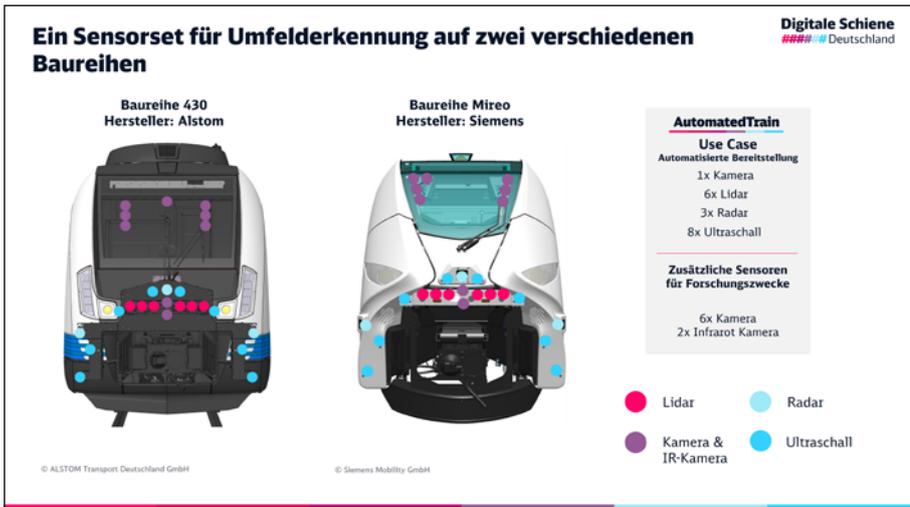


Abb. 3: Integration der gemeinsamen Sensorik für die Umfeldwahrnehmung

ten verwendet, die für eine sichere Erfassung geeignet und für den Einsatz in Bahnumgebungen optimiert sind.

Sensorikintegration und -verifikation mittels Raytracing-Simulation

Eine wichtige Aufgabe der Integration ist es, die Sichtfelder der einzelnen Sensoren so zu positionieren und auszurichten, dass sie zusammen das geforderte Sichtfeld lückenlos darstellen können.

Die Sichtbereiche lassen sich durch einen vertikalen und einen horizontalen Raumwinkel und eine Mindestvorausschau definieren. Für jeden Sensor müssen zudem die Einbauwinkel und die -position im jeweiligen Fahrzeug berücksichtigt werden.

Neben den Sichtfeldbedingungen muss insbesondere bei den LiDAR-Sensoren überprüft werden, ob eine Mindestpunktdichte durch die verschiedenen LiDAR-Sensoren überall im geforderten Sichtbereich erreicht wird.

Die Integration (Abb. 3) wurde schrittweise auf Basis von Bildern, Experteneinschätzungen, der Sichtung von Datenblättern und Zeichnungen, Begehungen der Fahrzeuge und Prüfungen an CAD-Modellen vorbereitet.

Im Projekt „AutomatedTrain“ unterstützt ein neu entwickeltes Überprüfungsverfahren mittels Raytracing die Integration. Dieses Werkzeug kann für eine zu überprüfende Sensorintegration berechnen, ob ein Hindernis an jeder möglichen Position vor dem Fahrzeug ausreichend abgebildet wird. Das Werkzeug soll in Zukunft auch für weitere Baureihen genutzt werden. Abb. 4 zeigt das Prüfergebnis geeigneter integrierter LiDAR-Sensoren. Dargestellt ist jeweils das Prüfergebnis aller untersuchten 3D-Hindernispositionen als Projektion in die Draufsicht bzw. Seitenansicht sowie, zur Veranschaulichung, auch im 3D-Raum. Das Werkzeug stellt ausreichend sichtbare Objektpositionen grün (covered locations) dar und unzureichende rot (uncovered locations).

Ausblick

Die im Projekt gewonnenen Daten dienen als Basis für einen skalierbaren Ansatz, um möglichst viele Fahrzeuge als Datenerzeuger an eine Data Factory [4] anzuschließen. So werden Voraussetzungen geschaffen, um auch zukünftige KI-Funktionen in hoher Qualität entwickeln zu können und Daten für die Validierung zu gewinnen. Der fahrzeugübergreifende Ansatz ermöglicht eine kontinuierliche Weiterentwicklung auch über Projektgrenzen hinaus.

In diesem Jahr werden die funktionalen Tests des Systems, inklusive der Umfeldwahrnehmung, begonnen und im Jahr 2026 mit dem Ziel des Nachweises der technischen Machbarkeit (Technology Readiness Level, TRL 6) abgeschlossen. Die neu entwickelte Funktionalität wird daher nicht mehr innerhalb der Projektlaufzeit Teil einer Fahrzeugzulassung. Die Auslegung des Sensorsystems stimmt positiv, dass das Sicherheitsniveau eines menschlichen Fahrers in dieser Anwendung erreicht werden könnte. Die im Projekt gewonnenen Erkenntnisse können auch das hier dargestellte Sensorset in Zukunft noch verändern und weitere Optimierungen ermöglichen.

Zum Abschluss des Projektes „AutomatedTrain“ werden die beiden Züge mit integrierter Sensorik auf der InnoTrans 2026 in Berlin der Öffentlichkeit präsentiert.

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) gefördert. Mehrere Verbundpartner arbeiten unter der Leitung der Digitalen Schiene Deutschland gemeinsam an der Realisierung, darunter Bosch Engineering, Codewerk GmbH, DB Regio AG, duagon Germany GmbH, IAV GmbH, Red Hat GmbH, Siemens Mobility sowie die Technische Universität Dresden.

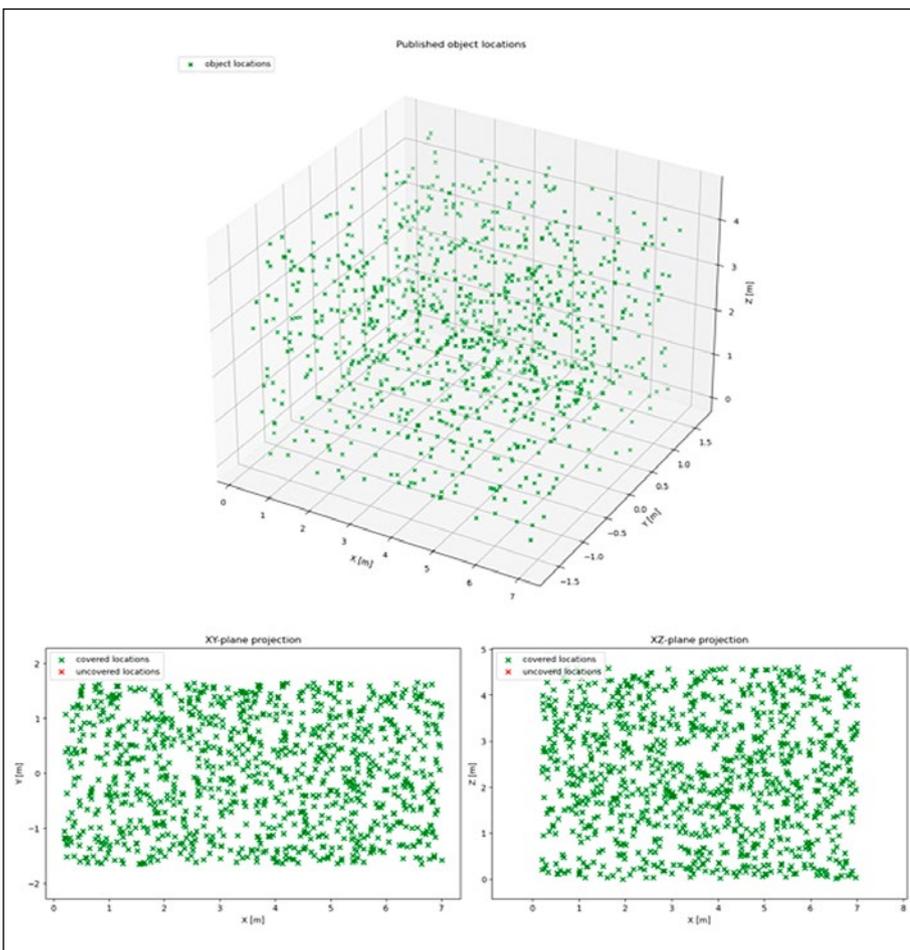


Abb. 4: Beispielhaftes Ergebnis der Raytracing-Abdeckungsprüfung für ein Objekt minimaler Größe mit LiDAR-Sensoren im Nahbereich in Fahrzeugkoordinaten

QUELLEN

- [1] Hauswald, C.; Skibinski, S.; Reiniger, F.; Euler, T.; Isaac, G.; Irvathraya, A.: Sensors4Rail: Ein Erfolgsprojekt ist zu Ende, El 09/2023
- [2] <https://press.siemens.com/global/de/pressemitteilung/innovatives-hinderniserkennungssystem-wird-erstmalig-bei-der-s-bahn-berlin-erprobt>, abgerufen am 05.03.2025 um 16:40
- [3] Wolf, R.; Langer, H.-G.: GoA4-Readiness – Herausforderungen für zukünftige Fahrzeuggenerationen, ZEVrail 2022 Ausgabe 01/02
- [4] <https://digitale-schiene-deutschland.de/de/aktuelles/2022/Data-Factory>, abgerufen am 05.03.2025 um 16:40
- [5] https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Workshop_ATO_Risk.html, abgerufen am 31.01.2025
- [6] <https://bmdv.bund.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/astrid.html>, abgerufen am 05.03.2025 um 16:40
- [7] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9b365c9c-3d04-4d0a-908e-d8d700a6c934/zev-8-2021-siemens.pdf>, abgerufen am 05.03.2025 um 16:40
- [8] Spiegel, D.; Hauswald, C.: Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene, El 05/2024



Dipl.-Inform. Ruben Schilling
Senior Experte Umfeldwahrnehmung
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO, Berlin
ruben.schilling@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. Peter Bauckhage
Projektleiter
Bosch Engineering GmbH, Abstatt
peter.bauckhage@de.bosch.com



Dipl.-Ing. (Univ.) Meike Meller
Senior Key Expert
R&D Projektmanager
Themenfeld Driverless Train Operation
Siemens Mobility GmbH, Erlangen
meike.meller@siemens.com



Peter Rudolph
ADAS / AD Entwickler
Siemens Mobility GmbH, Berlin
peter_rudolph@siemens.com



Dr. rer. nat. Christian Hauswald
Technischer Projektleiter
Digitale Schiene Deutschland
DB InfraGO, Berlin
christian.hauswald@deutschebahn.com



Dipl.-Ing. (Univ.) Richard Wolf
Senior Key Expert Train Concept
Siemens Mobility GmbH, Erlangen
richard.wolf@siemens.com

Handbuch Eisenbahnbrücken

Komplett überarbeitet und deutlich erweitert:
Das Standardwerk behandelt praxisorientiert
**Bauformen, Brückensysteme, Tragwerksformen,
Unterbauten, Ausrüstungselemente sowie
Bauverfahren und Behelfsbrücken.**

Jetzt
vorbestellen
und € 20,-
sparen!



3. Auflage Juni 2025,
Autoren: Tristan M. Mölter, Michael Fiedler, Rolf H. Pfeifer,
ca. 1.100 Seiten, Hardcover,
ISBN 978-3-96245-270-4,
Print mit E-Book Inside € 119,-*
(statt € 139,-* nach Erscheinen)
[www.trackoedia.com/
eisenbahnbruecken](http://www.trackoedia.com/eisenbahnbruecken)

MIT
E-BOOK
INSIDE

Mehr Infos und Bestellung:
www.trackoedia.com



NEU

MIT
E-BOOK
INSIDE

**Handbuch
Entwerfen von Bahnanlagen**
Print mit E-Book Inside € 118,-*
[www.trackoedia.com/
bahnanlagen](http://www.trackoedia.com/bahnanlagen)



MIT
E-BOOK
INSIDE

ETCS in Deutschland
Print mit E-Book Inside € 89,-*
[www.trackoedia.com/
etcsdeutschland](http://www.trackoedia.com/etcsdeutschland)

Treffen Sie die Global Rail Group
auf der **IAF vom 20. - 22. Mai**
in Münster, Halle Süd, Stand 441.

* Preise inkl. MwSt,
zzgl. Versand

BESTELLUNGEN:
Tel.: +49 7953 718-9092
E-Mail: office@trackoedia.com
Online: www.trackoedia.com

PER POST:
GRT Global Rail Academy and
Media GmbH / TrackoMedia
Kundenservice
D-74590 Blauffelden