

Sensors4Rail: Ein Erfolgsprojekt ist zu Ende

Wie sensorbasierte Wahrnehmungssysteme der Automobilindustrie auf den Zug gebracht wurden und der umfassendste Multi-Sensordatensatz im Bahnsektor entstanden ist

**CHRISTIAN HAUSWALD |
SEBASTIAN SKIBINSKI | FLORIAN REINIGER |
TOBIAS EULER | GORDON ISAAC |
ANANTHAKRISHNA IRVATHRAYA**

Die erste Phase des Projektes Sensors4Rail (S4R) fand von 2019 bis Ende 2021 statt. Sie beinhaltete die Systementwicklung mit Industriepartnern, den Fahrzeugumbau und die Live-Demonstration von sensorbasierten Wahrnehmungssystemen auf dem ITS-Weltkongress 2021 in Hamburg. In der zweiten Phase des Projektes lag der Fokus auf einer räumlichen und zeitlichen Ausweitung der Testfahrten. Hierzu wurde die Software maßgeblich weiterentwickelt und wurden über 500 Stunden hochqualitative, synchrone Sensor- und Funktionsdaten bei unterschiedlichsten Wetter- und Lichtbedingungen gesammelt. Die Daten wurden in die DB-eigene Data Factory überführt und werden aktuell ausgewertet. Die Erkenntnisse und Daten aus dem S4R-Projekt bilden eine wichtige Basis für die weitere Spezifikation der ATO-GoA 4-Systemarchitektur und für die Entwicklung der benötigten technischen Lösungen für das vollautomatisierte Fahren auf der Schiene.

Das vollautomatisierte Fahren im höchsten Automatisierungsgrad (Grade of Automation 4, GoA 4) im offenen Vollbahnsystem ist Teil des Zielbildes der Digitalen Schiene Deutschland (DSD). In diesem Zielbild sollen Züge im ganzen Netz fahrerlos fahren können ohne aufwendige Um- und Einbauten an der Infrastruktur wie das Einhegen von Trassen oder die Verwendung von Bahnsteigtüren. Hindernisse und irreguläre Vorkommnisse müssen vom Zug selbst erkannt werden. Hierbei übernehmen technische Systeme weitere Aufgaben, die heute der Triebfahrzeugführer (Tf) ausführt. Neben dem automatischen Fahren, also Anfahren, Beschleunigen, Bremsen und Halten, gehört dazu auch die Streckenbeobachtung. Dafür sind intelligente, sensorbasierte Wahrnehmungssysteme notwendig, die Objekte im Zugumfeld detektieren können. Diese Systeme bestehen aus verschiedenen Sensoren, die man vom autonomen Fahren auf der Straße kennt und die i. d. R. an der Zugspitze angebracht werden. Die Sensoren sollen möglichst bei allen Sicht- und Witterungsverhältnissen (Tag, Nacht, Regen etc.) zuverlässig die Umgebung abbilden. Für das S4R-Projekt wurde eine Multisensorkonfiguration verwendet und erprobt [1]. Sie bestand aus insgesamt 14 Sensoren für die Umfeldwahrnehmung, darunter Kameras für mittlere und große

Sichtweiten, Infrarotkameras, LiDARe (Light Detection And Ranging) und Radare. Auf dem Weg zum vollautomatisierten Fahren auf der Schiene ist das Projekt S4R ein wichtiger Zwischenschritt.

Ziele und Durchführung der zweiten Projektphase

In der ersten Phase des Projekts S4R wurden die Systementwicklung der sensorbasierten Wahrnehmungssysteme mit vier Industriepartnern sowie der Fahrzeugumbau abgeschlossen. Siemens Mobility unterstützte bei der Fahrzeugintegration, verantwortete die Systemtests und die Lokalisierung der Zugfrontposition mittels einer modernen Odometrie-Einheit unter Einbindung eines Globalen Navigationssatellitensystem (GNSS), Fahrzeugodometrie und Landmarkenpositionen. Für die Realisierung der Umfeldwahrnehmung und Objekterkennung waren die Partner Bosch Engineering (Radar, Infrarot Long-Range-, Mid-Range- und Stereokamera) und Ibeo Automotive Systems (LiDAR-Sensoren) verantwortlich. Here Technologies lieferte die hochauflösende Digitale Karte (High Definition (HD)-Map) in 3D, um die zentimetergenaue Verortung des Zuges auf der integrierten DB-Streckentopografie zu ermöglichen. Die Deutsche Bahn AG (DB) war verantwortlich für Projektmanagement, Fahr-

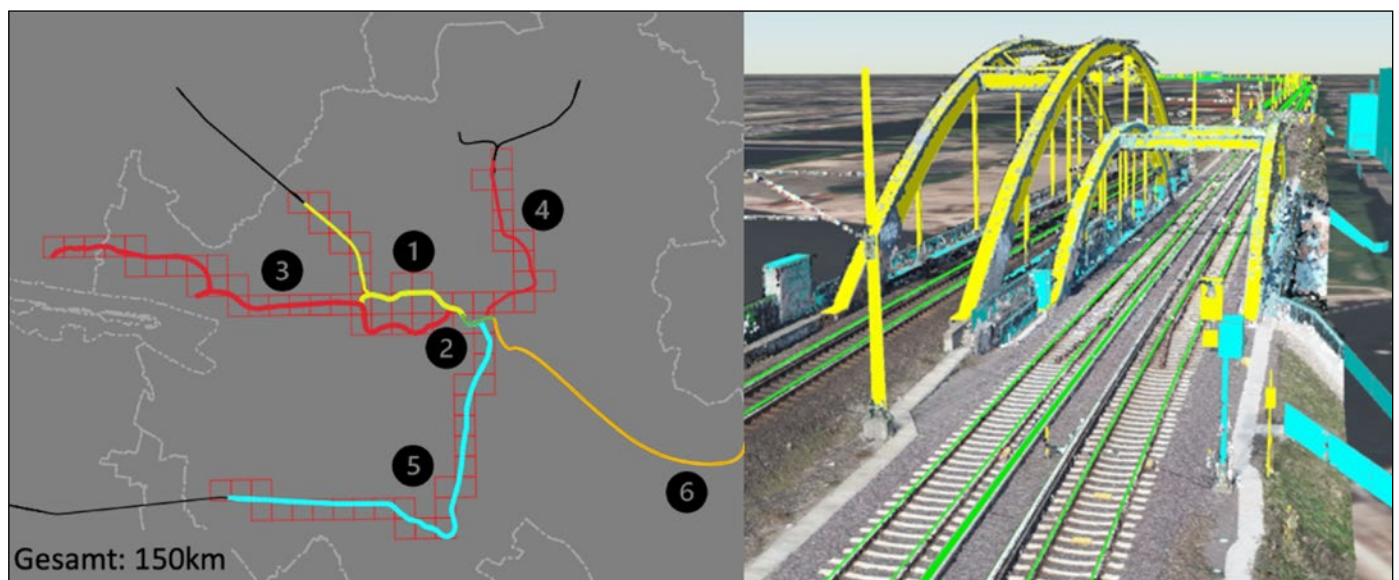


Abb. 1: Links: erfasste Strecken auf dem Hamburger S-Bahn-Netz, rechts: Überlagerung der semantischen Kartenobjekte und einer LiDAR-Punktwolke

zeug-Engineering, Zulassung, Safety und stellt das Fahrzeug sowie die Infrastruktur. Die Systeme wurden live auf dem ITS-Weltkongress 2021 in Hamburg präsentiert.

In der zweiten Phase des Forschungsprojekts, die von Januar 2022 bis Juni 2023 andauerte, wurde das Versuchsfahrzeug „Santana“ für den Dauertestbetrieb optimiert. Daraufhin wurden insgesamt über 500 Stunden Testfahrten im S-Bahn-Netz der Stadt Hamburg durchgeführt. Dabei wurden sowohl die Rohdaten aller Umfeld- und Lokalisierungssensoren als auch die Funktionsdaten der implementierten Algorithmen aufgezeichnet. Mithilfe der Ausweitung des Testgebietes auf weitere Strecken im Hamburger S-Bahn-Netz konnten wertvolle Erkenntnisse über die Performanz der Funktionen, wie etwa „Objekt- und Schienendetektion“, in unterschiedlichen Szenarien und Streckenabschnitten gewonnen werden. Außerdem stand eine Erhöhung der Diversität der Sensorrohdaten im Vordergrund. Dazu zählten neben neuen Teststrecken auch die Durchführung von Testfahrten bei unterschiedlichsten Wetterbedingungen und Tages- sowie Nachtzeiten.

Erweiterung der digitalen Karte

Für die Ausdehnung des Testgebietes von der in Projektphase 1 genutzten Teststrecke (S21 zwischen Berliner Tor und Aumühle) auf das gesamte S-Bahn-Netz im Stadtgebiet von Hamburg musste zunächst eine digitale Karte für fünf neue Strecken erstellt werden. Die digitale Karte beinhaltet Topologiedaten, die den genauen Gleisverlauf beschreiben und u.a. als Grundlagen für eine hochgenaue Lokalisierung

dienen. Darüber hinaus sind darin dreidimensionale Landmarken (z.B. Oberleitungsmasten, Signale oder Bahnsteige) als Referenzobjekte entlang der Strecke enthalten [2]. Zur Erstellung der digitalen Karte wurden LiDAR-Aufnahmen mit einem speziell ausgerüsteten Messfahrzeug erstellt. Dabei wird die Umgebung mit Lasersensoren vermessen und so eine hochgenaue dreidimensionale Punktwolke erzeugt. Auf Basis dieser Punktwolke wird eine Objekterkennung und -extraktion durchgeführt, um semantische Kartenobjekte zu ermitteln, die die Umgebung vereinfacht darstellen. In Abb. 1 sind auf der linken Seite die erfassten Strecken innerhalb des Stadtgebietes von Hamburg zu sehen. Die in Phase 1 genutzte Strecke 6 (S21 Berliner Tor–Aumühle, orange) wurde in Phase 2 um die farblich gekennzeichneten Abschnitte 1–5 erweitert. Weiterhin zeigt Abb. 1 auf der rechten Seite die Überlagerung der semantischen Kartenobjekte (gelb, grün, blau) durch die ursprünglichen Messdaten.

Fernüberwachung des Systems bei den Testfahrten

In der Projektphase 1 wurde das S4R-System in einem manuell überwachten Showcase-Betrieb genutzt, d.h. zu jedem Zeitpunkt wurde das System von geschultem Personal auf dem Zug überwacht. Dabei musste das System rückwirkungsfrei auf die Zugsteuerung implementiert werden, d.h. der Zug selbst „merkte“ nichts von dem System und wurde ganz konventionell von einem Tf gefahren. Für das Ziel, hunderte Stunden Testfahrten zu unterschiedlichsten Tages- und Nachtzeiten durchzuführen, war dieses Vorgehen in der zweiten Phase nicht

mehr praktikabel. Aus diesem Grund wurden umfangreiche Maßnahmen getroffen, um

1. die Stabilität des Gesamtsystems im Dauerbetrieb sicherzustellen,
2. Fehler im System automatisch zu erkennen und zu beheben und eine
3. Fernüberwachung und Diagnose zu ermöglichen.

Um eine hohe Stabilität des Gesamtsystems im 24/7 Dauerbetrieb sicherzustellen, wurden im Rahmen der Software-Releases für Phase 2 die Testaktivitäten und die Dauer der Tests signifikant ausgeweitet. So wurde beispielsweise im Laboraufbau die Gesamtsoftware eine Woche im Dauerlauf auf ihre Stabilität getestet. Zusätzlich wurden alle Systeme so konfiguriert, dass sämtliche Softwarefehler auch nachträglich nachvollzogen und vollumfänglich analysiert werden konnten. Auf diesem Weg konnten selbst selten auftretende Fehler identifiziert und behoben werden. Von diesen Optimierungen haben auch die im Projekt verwendeten Open-Source-Komponenten, wie z.B. ROS2 bzw. die Middleware Fast-DDS und somit die Open-Source-Community nachhaltig profitiert. Für den Fall von unvorhergesehenen Fehlern und Problemen wurde zudem eine umfangreiche automatische Fehlerbehandlung als weitere Softwarekomponente implementiert. Diese hat die Aufgabe, die Zustände sämtlicher Hardware- und Softwarekomponenten auf dem S4R-Zug zu überwachen und im Fehler- bzw. Degradationsfall Komponenten neu zu initialisieren. Somit konnte der gewünschte Zustand des Gesamtsystems im Bedarfsfall auch ohne geschultes Personal an Bord selbstständig wiederhergestellt werden.

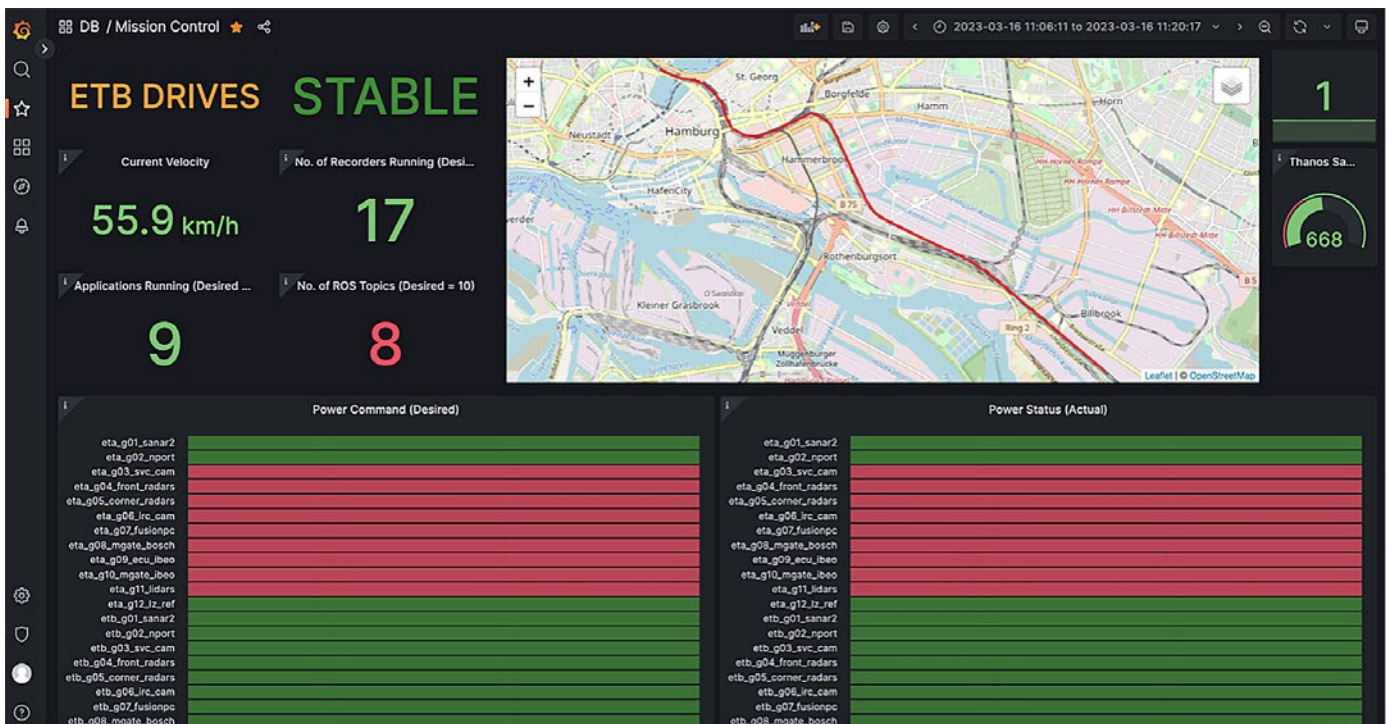


Abb. 2: Remote Monitoring der Zustände sämtlicher auf dem Zug zusätzlich verbauter Hardware- bzw. Softwarekomponenten und eine daraus resultierende Gesamtbewertung des Systemzustandes (hier „Stable“, d.h. der Systemzustand entspricht dem Soll-Zustand.)

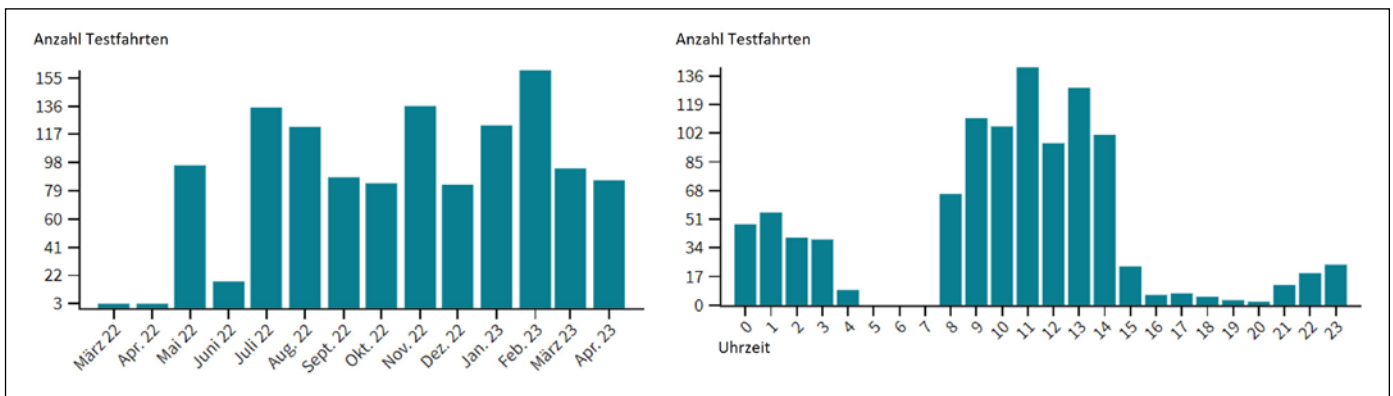


Abb. 3: Statistische Auswertung der aufgezeichneten Fahrten (Datensets) sortiert nach Aufnahmemonat (links) und Aufnahmezeitpunkt am Tag (rechts)

Zudem wurde im Rahmen von Projektphase 2 ein dauerhaftes Remote Monitoring (also eine kontinuierliche Überwachung) sämtlicher Software- und Hardwarekomponenten umgesetzt (Abb. 2). Dadurch konnten Probleme wie z.B. ausgefallene oder degradierte Hardware- oder Softwarekomponenten, Speicherüberläufe und/oder Frequenzeinbrüche von Sensoren oder Verarbeitungsmodulen nachvollzogen und verortet werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass durch die gemeinsam mit den Projektpartnern getroffenen Maßnahmen die im Rahmen des Projekts entwickelten und eingesetzten Softwarekomponenten signifikant für den Dauerbetrieb optimiert wurden. Zudem konnte durch das engmaschige Monitoring des Gesamtsystems sichergestellt werden, dass sich das System stets in einem stabilen Zustand befindet und die aufgezeichneten Daten eine hohe Qualität haben.

Statistik über die gesammelten Daten

In der Phase 2 von S4R wurden insgesamt 547 Stunden Testfahrten mit Datenaufzeichnung durchgeführt. Dabei wurde eine Strecke von ca. 17.500 km auf dem Netz der S-Bahn Hamburg zurückgelegt. Die aufgezeichnete Datenmenge betrug dabei etwa 460 TB (1 TB (TeraByte) = 1000 GB (Gigabyte) = 1 000 000 MB (Megabyte)). Diese riesige Datenmenge ist aufgeteilt auf über 1100 Datensets, welche jeweils eine Fahrt vom jeweiligen Startbahnhof zum Zielbahnhof der Testfahrt (je nach Fahrplan) darstellt und zwischen wenigen Minuten und ca. einer Stunde lang ist.

Die meisten Aufzeichnungen erfolgten fahrplanbedingt tagsüber und beinhalteten ca. 4600 km. Weitere ca. 2900 km wurden nachts aufgezeichnet und ca. 50 km in der Dämmerung. Aufgrund der engen Fahrplankontaktung im Hamburger S-Bahn-Netz konnten nur wenige Fahrten zu den Stoßzeiten zwischen 4.00 Uhr und 7.00 Uhr sowie 16.00 Uhr und 20.00 Uhr durchgeführt werden.

Eine erste Auswertung der Wetterdaten ergab, dass ein Großteil der Fahrten bei bedeckten

Wetterverhältnissen aufgezeichnet wurde. Aber auch besonders seltene Wettervorkommisse wie Eisregen oder Schneeschauer sind in den Aufzeichnungen vorhanden. Diese sind von hohem Wert für die Entwicklung weiterer Softwarefunktionen.

Um eine KI-Software für die Umgebungswahrnehmung zu entwickeln, benötigt es große Datenmengen mit hoher Datenqualität. So werden z.B. tausende „Trainingsbilder“ benötigt, um eine KI-Software auf die Erkennung

bestimmter Objekte zuverlässig zu trainieren. Wichtig beim Training ist, dass die Bildbereiche mit den zu erlernenden Objekten vorher bei der Datenaufbereitung markiert werden. Diese markierten Bildbereiche nennt man Annotationen.

Um die aufgezeichneten Daten später für das Machine Learning verwenden zu können, wurde in der Entwicklungsphase der Fokus insbesondere auf die Zeitsynchronität der Daten gelegt (gleicher Akquisitionszeitpunkt aller

Made in Germany www.lenord.com

Der perfekte Sensor für Ihre Applikation

Wir finden die richtige Lösung für Sie!

- Flexibel und einfach integriert
- Drehzahl, Temperatur und Vibration
- Geringe Life-Cycle-Costs

Vertrauen Sie auf unsere Expertise bei Erstausrüstung und Retrofit-Projekten.

LENORD +BAUER *Finding solutions. Founding trust.*

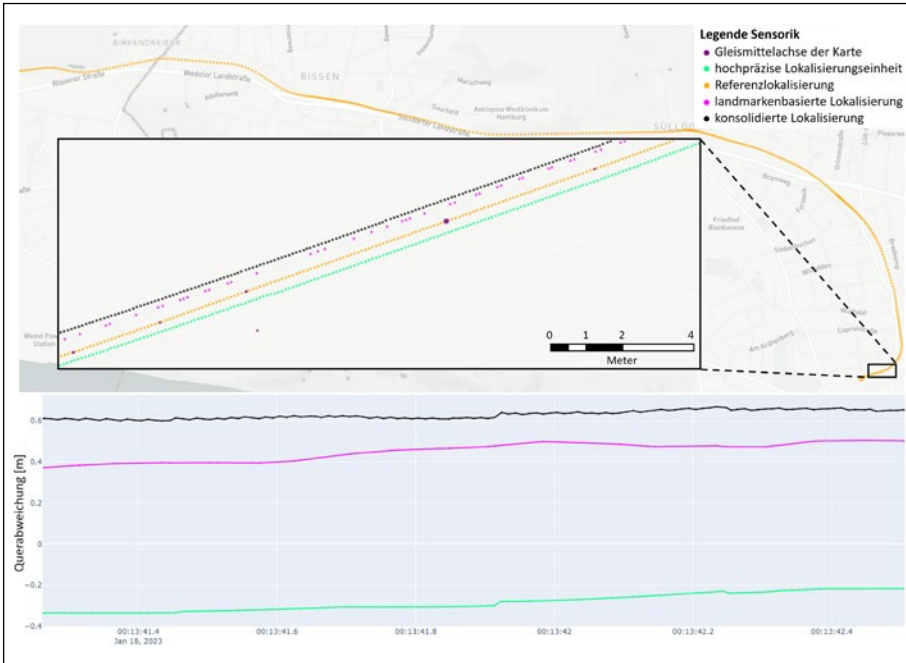


Abb. 4: Ein Ausschnitt der gefahrenen Strecke vom 18. Januar 2023 mit Vergrößerung in Höhe des S-Bahnhofs Blankenese zusammen mit der gebildeten Querabweichung in Bezug auf die Referenzlokalisierung [3]

ler Sensoren). Dies ist die Voraussetzung dafür, im Nachgang eine Sensorfusion durchzuführen (Zusammenführen der Informationen aller Sensoren zu einem Zeitpunkt) und damit ein multimodales Sensorset zu erstellen. Anders als im Automotive-Sektor gibt es bislang kaum bahnspezifische offene Datensätze, die für die Entwicklung von KI-Software verwendet werden können. Aus diesem Grund wurde in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) ein erstes "Open Sensor Data Set for Rail" (OSDaR23)

veröffentlicht, das noch aus Daten aus einem Vorprojekt zu S4R besteht [3]. Die Veröffentlichung von zwei weiteren „Open Sensor Data Sets for Rail“ mit den hier dargestellten S4R-Daten ist für die Jahre 2024 und 2026 geplant. Alle aufgezeichneten Daten aus dem Projekt werden in der Data Factory [4] gespeichert und archiviert. Das Zielbild der Data Factory ist es, diese großen Mengen notwendiger Daten dem Bahnsektor bereitzustellen, sodass sie für das „Training“ von KI-Software verwendet werden können.

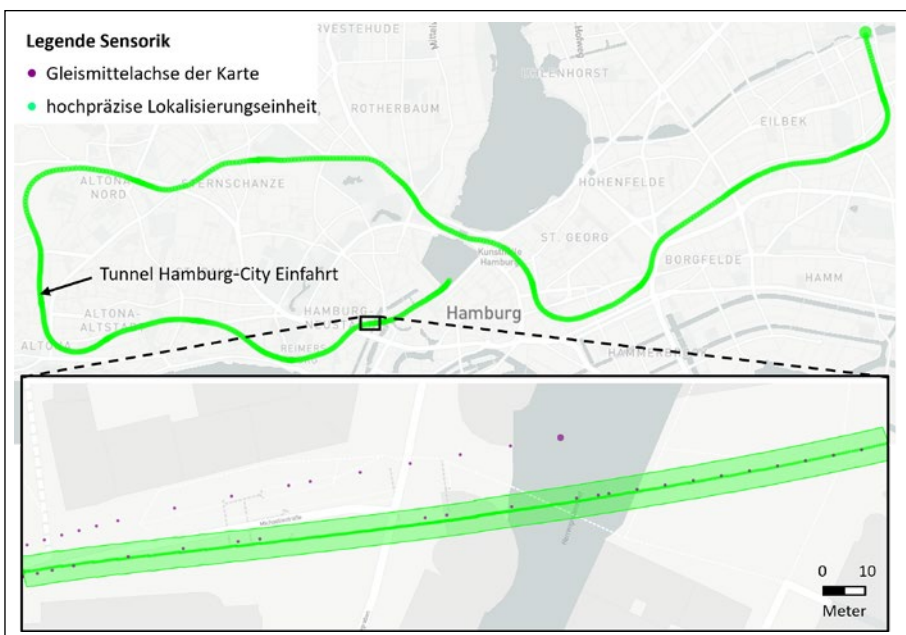


Abb. 5: Durchfahrt des S-Bahn-Tunnels Hamburg-City vom 27. Oktober 2022
Quelle der Kartendaten: <https://www.openstreetmap.org/>

Methode zur Auswertung der Lokalisierungsdaten

Die Position des Zuges ist von entscheidender Bedeutung, da sie verschiedene Auswirkungen auf Betrieb und Sicherheit hat. Vereinfacht erklärt ist die Positionsbestimmung der Zugspitze im europäischen Zugbeeinflussungssystem (European Train Control System, ETCS) ein Zusammenspiel aus einem (1D-) Referenzpunkt und, bezogen darauf, die relativ zurückgelegte Distanz. Der Referenzpunkt wird hierbei durch die letzte relevante Balisengruppe (LRBG) und die zurückgelegte Distanz mittels Odometriesensorik ermittelt. Mit Zunahme der relativen Distanz summiert sich die Ungenauigkeit der Odometriesensorik, was sich negativ in der Erhöhung des Konfidenzintervalls niederschlägt.

Für den zukünftigen vollautomatisierten Betrieb (GoA 4) reicht jedoch diese Art der Lokalisierung nicht aus, da die Positionsgenauigkeit zu gering ist und zusätzlich die genaue Ausrichtung der Zugspitze zu jedem Zeitpunkt fehlt. Dies gilt auch für weitere Anwendungsfälle des digitalen Bahnsystems, die von einer genaueren Lokalisierung mit geringerem Konfidenzintervall des Zuges profitieren, wie z.B. eine zugzentrische Leit- und Sicherungstechnik [5]. Zudem werden für Funktionen der Umfeldwahrnehmung – wie etwa die Detektion von Hindernissen im Lichtraum – Informationen zu allen sechs Freiheitsgraden für eine absolute Position der Zugspitze und -ausrichtung benötigt. Um diese Problematik zu untersuchen, wurde in der ersten Phase des Projekts S4R eine Sensorfusion zur absoluten Positionsbestimmung und Ausrichtung der Zugspitze erfolgreich demonstriert. In der zweiten Projektphase wurden die aufgenommenen Daten tiefer analysiert und verschiedene Lokalisierungslösungen miteinander verglichen.

Bewertungsgrundlage der Lokalisierungslösungen

In beiden Endwagen des Testfahrzeuges befindet sich der gleiche Sensoraufbau, der u.a. zur Ermittlung der geographischen Koordinaten und Ausrichtung des Zuges dient. Dieser besteht aus mehreren globalen Navigationssatellitensystem (GNSS)-Empfängern, Kamera-, Radar-, LiDAR-, Odometrie- und IMU-Sensoren. Hierbei ist die Position und Ausrichtung des aktiven Zuges besonders interessant, um im GoA 4-Betrieb Objekte inner- und außerhalb des Lichtraums zu verorten. Im Rahmen von S4R wurden unterschiedliche Konzepte zur Positionsbestimmung umgesetzt. Dazu gehören eine Fusion aus GNSS und Trägheitsnavigationssystem (INS) sowie eine simultane Positionsbestimmung und Kartierung (SLAM) mittels Radarsensorik und eine landmarkenbasierte Lokalisierung durch optische Abstands- und Geschwindigkeitsmessung (LiDAR). Es erfolgt eine Fusion dieser Einzelpositionen, um eine konsolidierte Position zu erzeugen. Parallel dazu wird eine hochpräzise Lokalisierungseinheit – basierend auf GNSS, INS und Odometriesensorik – berechnet. Die von den GNSS-Empfängern

empfangenen Daten werden zusätzlich durch einen Korrekturservice verbessert [1].

Für jeden Sensor existieren Umweltbedingungen, die die Genauigkeit der Positionsschätzung beeinflussen können. Für die Bewertung der unterschiedlichen Lokalisierungslösungen ist daher eine genaue Referenzposition und -ausrichtung mit Zeitinformationen notwendig. Anhand dieser können Abweichungen in der Position ermittelt werden. Die Ermittlung der Referenzposition findet im Nachgang, dem sogenannten Postprocessing, statt. Hier kommt die hochgenaue Karte mit Informationen aus der Gleismittelachse ins Spiel. Die Informationen aus Topografie und Topologie zusammen mit der hochpräzisen Lokisierungseinheit ermöglichen eine gleisgenaue Ortung. Positionsabweichungen werden kompensiert. Darüber hinaus wird durch die Ermittlung der Referenzlokalisierung die hochpräzise Lokisierungseinheit erneut auf die Probe gestellt. Berücksichtigt werden hier sowohl die geschätzte Ungenauigkeit als auch die Distanz zur Gleismittelachse. In Abb. 4 ist eine Nachtfahrt vom 18. Januar 2023 zusammen mit dem Streckenverlauf dargestellt. Die Fahrt beginnt am Hamburger S-Bahnhof Blankenese und endet am S-Bahnhof Wedel. In der vergrößerten Ansicht sind die Positionen der oben erwähnten Sensoren genauer zu erkennen. Diese werden in Beziehung zur Referenzlokalisierung des aktiven Zuges gesetzt. Unter anderem wird zur Bewertung der unterschiedlichen Lokisierungslösungen die Querabweichung genommen. Über den gewählten Ausschnitt sind sowohl die Querabweichungen der hochpräzisen Lokisierungseinheit als auch der konsolidierten und landmarkenbasierten Lokalisierung relativ konstant.

Eine besondere Herausforderung für die Lokalisierung ist vor allem der S-Bahn-Tunnel Hamburg-City mit einer Länge von 5,8 km und der Harburger S-Bahn-Tunnel mit einer Länge von 4,4 km. Der Bildausschnitt in Abb. 5 zeigt die Positionsdaten der hochpräzisen Lokisierungseinheit zusammen mit der geschätzten

orthogonalen Unsicherheit bzw. des transversalen Fehlers. Die Datenaufnahme dieser Fahrt beginnt am S-Bahnhof Friedrichsberg und endet am S-Bahnhof Jungfernstieg. Unterirdisch wird die Fahrt ab Hamburg-Altona fortgesetzt. Ab diesem Punkt, an dem der Zug in den Tunnel einfährt, gibt es keinen Satellitenempfang mehr, was eine zusätzliche Herausforderung für die Positionsbestimmung ist. Der vergrößerte Ausschnitt gegen Ende der Fahrt zeigt die Position zusammen mit der orthogonalen Unsicherheit nach ungefähr 5 km seit Tunneleinfahrt. Dieser befindet sich auf Höhe der S-Bahn-Station Stadthausbrücke. Es ist zu erkennen, dass die orthogonale Unsicherheit der Position der hochpräzisen Lokisierungseinheit innerhalb der Gleismittelachse der Karte liegt. Nicht immer tritt ein derart zufriedenstellendes Ergebnis in Bezug auf die Genauigkeit der Position auf.

Die anderen Sensoren arbeiten in diesem Umfeld wesentlich schlechter. Auch die Referenzlokalisierung weicht bei anderen Testfahrten ab. Weitere nächste Schritte bestehen darin, die aufgenommenen Daten zu nutzen, um eine bessere Einschätzung der unterschiedlichen Lokisierungslösungen sowohl unter gleichen als auch unter verschiedenen Umweltbedingungen zu betrachten. Ziel ist es, die Anforderungen an die Lokalisierung für den Betriebsmodus GoA 4 besser zu verstehen.

Ausblick und weitere Projekte

Im nächsten Schritt werden die gesammelten Daten ausgewertet und für eine weitere Veröffentlichung als „Open Data Set for Rail“ vorbereitet. Die Erkenntnisse aus den funktionalen Tests und der Auswertung der Lokalisierung fließen in die zukünftige Spezifikation der ATO-GoA 4-Systemarchitektur ein, welche im Rahmen der europäischen Initiative Europe's Rail Joint Undertaking (ERJU) mit anderen europäischen Bahnbetreibern und der Industrie abgestimmt und homogenisiert wird. Das nächste große Projekt der DSD und Nachfolger zu S4R mit dem Namen „AutomatedTrain“ [6] wurde bereits angekün-

digiert. Dieses Projekt hat zum Ziel, in einem Konsortium aus Industrie, Wissenschaft, Infrastrukturbetreiber und EVU einen ersten Use-Case für die vollautomatisierte, fahrerlose (GoA 4) Bereitstellung- und Abstellungsfahrt von Zügen umzusetzen. Bis 2026 werden als Prototypen ein Zug von Siemens sowie ein Regionalzug der S-Bahn Stuttgart ausgerüstet. Der erste Zug wird dabei den Weg aus der Abstellanlage bis zur ersten Station vollautomatisiert und ohne Lokführer zurücklegen. Er wird dabei nicht mehr, wie im Projekt „Digitale S-Bahn Hamburg“ [7], von einem Fern-Tf gesteuert, sondern nutzt ausschließlich das Sensorsystem und die intelligente Software. Bei Hindernissen muss das Fahrzeug also selbstständig abbremsen. Zudem wird auch das vollautomatisierte Auf- und Abrüsten des Zuges getestet. Ergänzend dazu sammelt der zweite Zug unter anderem Daten für die Hinderniserkennung. Beide Fahrzeuge werden mit der nahezu gleichen Hardware, aber mit unterschiedlichen Softwarelösungen ausgerüstet. Dadurch können die aufgenommenen Sensordaten und die Reaktionen der Software auf besondere Vorkommnisse miteinander verglichen werden. ■

QUELLEN

- [1] Hauswald, C. et al.: „Digitale Schiene Deutschland testet erstmals sensorbasierte Wahrnehmungssysteme im Bahnbetrieb“ – Deine Bahn 04/2022
- [2] Digitales Register – die „single source of truth“ für Infrastrukturdaten für das vollautomatisierte Fahren (Link: <https://digitale-schiene-deutschland.de/Digitales-Register>) – abgerufen am 20.06.2023
- [3] Tilly, R.; Neumaier, P.; Schwalbe, K.; Klasek, P.; Tagiew, R.; Denzler, P.; Klockau, T.; Boekhoff, M.; Köppel, M. (2023): Open Sensor Data for Rail 2023 [Data set]. TIB. <https://doi.org/10.57806/9mv146r0>
- [4] Die Data Factory – „Datenproduktion für das Training von KI-Software (Link: <https://digitale-schiene-deutschland.de/aktuelles/Data-Factory>)“ – abgerufen am 20.06.2023
- [5] Skowron, F.; Treydel, R.: Blöcke waren gestern – Chancen einer zugzentrierten LST, EI 11/2022
- [6] DB Presseinformation AutomatedTrain vom 05.07.2023 (https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Deutsche-Bahn-und-Industrie-erproben-vollautomatisiertes-Fahren-von-Zuegen-10870974), (https://www.deutschebahn.com/de/presse/pressestart_zentrales_uebersicht/Deutsche-Bahn-und-Industrie-erproben-vollautomatisiertes-Fahren-von-Zuegen-10870974)
- [7] Schröder, J.; Gonçalves Alpoim, C.; Dickgiesser, B.; Talg, M.: Digitale S-Bahn Hamburg – Erstmalsige Streckenausrüstung von ATO über ETCS in Deutschland, EI 10/2021



Dr. Christian Hauswald

Technischer Projektleiter
„Sensors4Rail“

christian.hauswald@deutschebahn.com



Dr. Sebastian Skibinski

Software Leiter „Sensors4Rail“

sebastian.skibinski@deutschebahn.com



Florian Reiniger

Test Manager Data Factory

florian.reiniger@deutschebahn.com



Tobias Euler M.Sc.

Experte Lokalisierung

tobias.euler@deutschebahn.com



Dr. Gordon Isaac

Teilprojektleiter

Digitale Karte „Sensors4Rail“

gordon.isaac@deutschebahn.com



Ananthakrishna Irvathraya

Teilprojektleiter Lokalisierung

„Sensors4Rail“

ananthakrishna.irvathraya@deutschebahn.com

Alle Autoren:
DB Netz AG, Berlin