

Hanno Winter¹, Dr.-Ing. Volker Willert¹, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Adamy¹, Dr.-Ing. Michael Leining², Max Spindler³, Dr. rer. nat. Martin Lauer³, Denis Stein⁴, Oliver Heirich⁵, Dr. rer. nat. Jörn Groos⁶, Arne Geffert⁷, Dr.-Ing. Uwe Becker⁷, Dipl.-Ing. Michael Breuer⁸

¹ Fachgebiet für Regelungsmethoden und Robotik, TU Darmstadt

² DB Netz AG

³ Institut für Mess- und Regelungstechnik, Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

⁴ FZI Forschungszentrum Informatik

⁵ DLR Institut für Kommunikation und Navigation

⁶ DLR Institut für Verkehrssystemtechnik

⁷ Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik, TU Braunschweig

⁸ Institut für Regelungstechnik, RWTH Aachen

Abstract

Dieser Artikel gibt einen Überblick über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik beider sicheren Ortung von Schienenfahrzeugen. Des Weiteren wird das Vorhaben Localization Reference Train (LRT) vorgestellt. Dabei handelt es sich um eine Kooperation zwischen mehreren deutschen Forschungsgruppen und der DB Netz AG in der gemeinschaftlich ein Testfahrzeug mit umfangreicher Sensorik ausgestattet wird. Die aufgezeichneten Messdaten dienen vor allem der Entwicklung und Validierung von neuen Ortungsmethoden sowie der Evaluierung bisher unabhängig voneinander evaluierter Methoden auf einer Trägerplattform. Im Folgenden wird die Grundidee, die Zielsetzung sowie der aktuelle Stand des Vorhabens LRT beschrieben.

1 Einleitung

In der Leit- und Sicherungstechnik hat sich das Prinzip des Blockabschnitts zur Sicherung von Zugfahrten nun schon seit mehreren Jahrzehnten bewährt. So gilt der Schienenverkehr als eines der sichersten Verkehrsmittel (Pachl 2016, Maschek 2015). Auf eine Milliarde Personenkilometer kommen in Deutschland 2,7 Verletzte und 0,04 Tote. Dem gegenüber stehen 275,8 Verletzte und 2,93 Tote in Personenkraftwagen (Vorndran 2010). Das Zeitalter der Digitalisierung stellt den Schienenverkehr jedoch vor große Herausforderungen. Die größte davon ist, gegenüber neuen Marktteilnehmern wettbewerbsfähig zu bleiben. In diesem Zusammenhang wird auch an einer neuen Leit- und Sicherungstechnik gearbeitet, die eine günstigere und kapazitätsoptimale Ausnutzung von Strecken ermöglicht (Sennhenn 2015). Der kapazitätsbeschränkende Faktor ist die auf Blockabschnitte beschränkte Ortung von Zügen. Moderne Zugbeeinflussungssysteme wie ETCS ermöglichen zwar eine genauere Ortung, allerdings lohnt der Ausstattungsaufwand von Strecken mit den dafür notwendigen Zusatzeinrichtungen nur für solche mit dichter Zugfolge. Aus diesem Grund wird weiter an neuen Methoden geforscht. Das Ziel ist eine sichere, kontinuierliche und gleisgenaue Ortung von Zügen, die mit möglichst wenigen streckenseitigen Zusatzeinrichtungen auskommt und daher auch für geringer

ausgelastete Strecken wirtschaftlich ist. Im Weiteren wird in diesem Zusammenhang nur noch von einer sicheren Ortung gesprochen. Zur Validierung von neuen Ortungsmethoden sind Versuchsfahrten unter realen Bedingungen unabdingbar. Die Durchführung von Testfahrten ist im Schienenverkehr jedoch nicht ohne weiteres möglich. Dadurch wird die konsequente Entwicklung von neuen Ortungsmethoden über lange Zeiträume fast unmöglich. Aus diesem Grund ist das im Folgenden vorgestellte Vorhaben Localization Reference Train (LRT) entstanden. Es soll die nachhaltige Entwicklung und Validierung von neuen Ortungsmethoden für alle an LRT beteiligten Partner erleichtern. In Abschnitt 2 wird zunächst ein Überblick über den aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik bei der sicheren Ortung gegeben. Die bisherigen Ergebnisse werden in Abschnitt 3 zusammengefasst und anschließend wird das Vorhaben LRT in Abschnitt 4 vorgestellt.

2 Stand von Wissenschaft und Technik

Motiviert durch die Abschaltung der künstlichen Signalverschlechterung (Selective Availability) bei GPS im Jahr 2000 sowie durch den Beschluss zur Entwicklung des europäischen Satellitennavigationssystems Galileo kam es in Europa seit Ende der 90er Jahre zu vielen Forschungsprojekten, die sich vor allem mit einer satellitengestützten sicheren Ortung beschäftigten. Im Projekt RailOrt wurde gezeigt, dass eine satellitengestützte Ortung im Schienenverkehr unter bestimmten Randbedingungen grundsätzlich möglich ist (Bikker et al. 1998). Daneben befasste sich das Projekt APOLO mit der Genauigkeit von verschiedenen GNSS-Empfängern für sicherheitsrelevante Bahnapplikationen. Obwohl damals schon Lokalisierungsgenauigkeiten von unter 1m erreicht wurden, wurde ein weniger schneller Einzug der GNSS-Technologie in sicherheitskritische Bahnanwendungen als in anderen Verkehrsbereichen vorhergesagt, da die Genauigkeiten in schwierigen Betriebssituationen ein ungelöstes Problem blieben (Filip et al 2001, APOLO). In den beiden eng miteinander verbundenen Projekten LOCOPROL und LOCOLOC wurde eine Satellitenortung im Rahmen von ERTMS/ETCS untersucht. Als Hauptproblem wurde dabei die eingeschränkte Sichtbarkeit von Satelliten in städtischen Gebieten festgestellt (Libbrecht und Stuesson 2005). Ein neuer Sensor zur Stützung der GNSS-Informationen kam im Projekt DemoOrt zum Einsatz. Dieses beschäftigte sich mit dem Aufbau eines Demonstrators, der durch die Fusion von diversitären fahrzeugautarken Einzelsystemen eine hochgenaue, verlässliche und sichere Ortung ermöglichen sollte. Neben einem GNSS-Empfänger wurde erstmals ein Wirbelstrom-Sensorsystem zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung und Weichenerkennung eingesetzt. Der Demonstrator konnte die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit einer sicheren Ortung bei verschiedenen Testfahrten zeigen (Meyer zu Hörste et al 2009). Die gleiche Sensorkonfiguration kam später im Rahmen von GaLoROI zum Einsatz. Wohingegen andere Projekte meist nur die Machbarkeit eines satellitengestützten Ortungssystems zeigten, wurde in GaLoROI explizit die Durchführung eines späteren Sicherheitsnachweises berücksichtigt. Die Ortungseinheit kam während eines Langzeittests auf der 8km langen Strecke zwischen Opava východ und Hradec nad Moravicí in der Tschechischen Republik erfolgreich zum Einsatz (Becker 2014).

Weitere Projekte wie SATLOC, 3inSat und ERSAT EAV beschäftigten sich mit der Möglichkeit einer satellitengestützten Ortung im Rahmen von ETCS mithilfe von virtuellen Balisen (Barbu und Marais 2014). Testfahrten im Rahmen von SATLOC konnten das gewählte Konzept bestätigen. Im Fall von ERSAT EAV liegt noch keine abschließende Bewertung der durchgeführten Tests vor, da diese erst vor Kurzem beendet wurden. Ein alternativer Ansatz zur Realisierung von virtuellen Balisen ohne GNSS wird von Nikitin et al. vorgestellt. Das vorgeschlagene System, welches die Position von Zügen mithilfe von Tonfrequenz-Gleisstromkreisen bestimmt, wurde in Russland auf der Strecke Sotschi – Adler

erfolgreich getestet (Nikitin et al. 2016). Neben den bisher erwähnten Projekten gibt es noch eine Vielzahl weiterer.

Eine allgemeine Übersicht über bisherige oder laufende Projekte, zusammen mit den verwendeten Sensoren, wird in Tabelle 1 gegeben.

Tab. 1 Projekte in Europa, die sich mit einer satellitengestützten sicheren Ortung beschäftigen oder beschäftigt haben (ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

#	Bezeichnung	Sensoren								Zeitraum	
		GNSS	IMU, Gyroskop oder Beschl.-sensor	Odometer	Correxit	Wirbel- stromsensor	Balisen o. ä.	Doppler- radar	Laser- scanner		dig. Karte
1	RailOrt	✓	✓	✓						✓	1997 beendet
2	ALOIS	✓	✓	✓						✓	1999 – 2000
3	APOLO	✓	✓	✓							1999 – 2001
4	SATNAB [16]	✓									unbekannt
5	LOCOPROL	✓		✓						✓	2001 – 2004
6	LOCOLOC	✓		✓			✓			✓	2002 – 2004
7	INTEGRAIL	✓	✓	✓						✓	2001 – 2004
8	RUNE	✓	✓	✓				✓		✓	2001 – 2006
9	ECORAIL	✓		✓						✓	2001 – 2006
10	DemoOrt	✓				✓				✓	2004 – 2008
11	GRAIL-1	✓	✓	✓						✓	2005 – 2008
12	POSITRON [17]	✓	✓	✓	✓	✓		✓		✓	unbekannt
13	PiLoNav [18]	✓	✓	✓	✓				✓	✓	2010 – 2014
14	GRAIL-2	✓	✓	✓						✓	2010 – 2013
15	SiPoS-Rail [19]	✓	✓							✓	2011 – 2014
16	GaLoROI	✓				✓				✓	2012 – 2014
17	SATLOC	✓								✓	2012 – 2014
18	3inSat	✓		✓						✓	unbekannt
19	ERSAT EAV	✓								✓	2015 – 2017

Soweit keine andere Quelle angegeben ist, wurde die Auflistung aus den Arbeiten von (Meyer zu Hörste et al. 2009, Böhringer 2008, Lu 2014, Marais 2016) zusammengestellt und teilweise mit zusätzlichen Informationen zur verwendeten Sensorik ergänzt.

3 Schlussfolgerungen aus bisherigen Ergebnissen

Für die weitere Entwicklung einer sicheren Ortung können aus der Vielzahl an Projekten und deren Ergebnissen (vgl. Tabelle 1) wichtige Schlussfolgerungen gezogen werden. Zunächst lassen sich die Probleme bei der Entwicklung einer sicheren Ortung auf die folgenden Punkte reduzieren: 1. Eine Initialposition muss zuverlässig und witterungsunabhängig bestimmt werden. 2. Das aktuell befahrene Gleis sowie Gleiswechsel müssen witterungsunabhängig und zuverlässig detektiert werden. 3. Fahrtrichtung und Geschwindigkeit müssen witterungsunabhängig und zuverlässig detektiert werden. 4. Genauigkeit und Aktualität der digitalen Karte müssen gewährleistet sein. 5. Abschließend muss ein Sicherheitsnachweis geführt werden.

Bisherige Sensorkonzepte bauen meist auf einer Kombination aus Methoden der Satellitennavigation (GNSS-Empfänger) in Verbindung mit einer Inertial bzw. Koppelnavigation (IMU, Odometer, Correxit-Rail-Sensor, Wirbelstromsensor, Dopplerradar) auf. Dabei sollen sich die Eigenschaften der unterschiedlichen Navigationsverfahren bzgl. absoluter und relativer Ortung sowie kurzzeitiger und langzeitiger Genauigkeit der Positionslösung durch eine Sensordatenfusion optimal ergänzen. In vielen Projekten wird, vermutlich aus Redundanzgründen, nicht ganz auf ETCS-Balisen als weiteres absolutes Ortungssystem verzichtet, da ein längerer Ausfall des GNSS Empfängers sonst nicht mehr kompensiert werden könnte. Die Testergebnisse aller bisherigen Projekte zeigen die prinzipielle Machbarkeit einer sicheren Ortung mit den gewählten Sensorkonzepten. Bezogen auf die weiter oben genannten Probleme bleibt jedoch insbesondere die Detektion von Gleiswechseln ein Problem. Deswegen ist es notwendig über andere Sensorkonzepte nachzudenken. Eine Möglichkeit ist der Einsatz

von optischen Sensoren, d.h. Kameras und/oder Laserscannern. Diese können bisherige Konzepte sowohl durch absolute als auch relative Ortsinformationen unterstützen. Ein Ansatz zur Detektion von Schienen in Laserscannerdaten wird beispielsweise in (Stein et al. 2016) vorgestellt. Aufgrund der aktuellen Entwicklungen im Automobilbereich, wo optische Sensoren immer stärker Einzug halten (Shashua 2016, Ziegler et al. 2014), kann unter Umständen sogar schon auf leistungsstarke Algorithmen zurückgegriffen werden, die sich für den Bahnbereich anpassen lassen. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der bisherigen Projekte weiteren Handlungsbedarf zeigen, um die Genauigkeit und Verfügbarkeit der Ortung zu erhöhen.

4 Das Vorhaben Localization Reference Train

Das Vorhaben Localization Reference Train (LRT) ist ein Zusammenschluss aus verschiedenen deutschen Forschungsgruppen und der DB Netz AG, mit dem Ziel ein gemeinsames Testfahrzeug zur Entwicklung und Validierung von neuen Ortungsmethoden zu realisieren.

4.1 Motivation

Für die Erprobung neuer Sensoren und Sensorsetups sowie zur Gewinnung von Testdatensätzen für die Entwicklung von Ortungsmethoden sind Testfahrten unter realen Bedingungen unabdingbar. Diese können z.B. mit speziellen Forschungsfahrzeugen wie dem Zwei-Wege Fahrzeug RailDrIVE® des Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt durchgeführt werden (Lüddeke et al. 2012, Lüddeke und Kluge 2014). Vorteil derartiger Forschungsfahrzeuge ist die Möglichkeit zur experimentellen Datenerhebung unter kontrollierten Bedingungen auf realen Strecken sowie die Verfügbarkeit sehr umfangreicher, redundanter und neuester Sensorik. Hauptnachteil derartiger Fahrzeuge ist jedoch die eingeschränkte Einsatzmöglichkeit auf Hauptstrecken, die aus den geringen Geschwindigkeiten von typischerweise unter 50km/h resultiert. Die Validierung neuer Ortungsmethoden setzt jedoch umfangreiche Datensätze voraus, die sämtliche relevanten Umgebungsbedingungen und längere Streckenabschnitte abdecken. Für deren Erhebung sind langfristige Messkampagnen mit Schienenfahrzeugen im operativen Eisenbahnbetrieb notwendig. Die Durchführung solcher ist im Schienenverkehr jedoch nicht ohne weiteres möglich, denn Grundvoraussetzung ist in der Regel eine Kooperation mit einem Schienennetzbetreiber. Zudem muss jede Testfahrt mit dem bestehenden Fahrplan koordiniert werden. Aufgrund dieser Schwierigkeiten ergeben sich die folgenden Einschränkungen bezogen auf die Erforschung einer sicheren Ortung: 1. Im Vergleich zu anderen Forschungsgebieten ist es sehr aufwändig eigene Ortungsmethoden und -algorithmen in der Praxis zu validieren. Das schränkt den Kreis derjenigen ein, die sich effektiv mit den Problemen einer sicheren Ortung beschäftigen können. 2. Der Testzeitraum ist in der Regel zeitlich begrenzt, da nach dem Abschluss der Finanzierung von Forschungsprojekten in der Regel auch die Kooperation mit dem Schienennetzbetreiber endet. Die konsequente Weiterentwicklung von Ortungskonzepten wird somit behindert. 3. Neben der zeitlichen Beschränkung ist auch das Testgebiet auf das Netz des beteiligten Schienennetzbetreibers beschränkt. Zusammen ergibt sich daraus, dass Testfahrten unter verschiedenen klimatischen und räumlichen Bedingungen kaum realisiert werden können. An dieser Stelle setzt LRT an. Durch den Zusammenschluss von verschiedenen deutschen Forschungsgruppen und der DB Netz AG sollen die oben genannten Beeinträchtigungen bei der Erforschung einer sicheren Ortung für alle Beteiligten reduziert werden. Dazu soll

gemeinschaftlich ein Testfahrzeug mit Sensorik ausgestattet werden. Die damit erfassten Messdaten können dann von allen Beteiligten unabhängig voneinander genutzt werden. Dieses Vorgehen ist aus den folgenden Gründen von Vorteil:

- Bei einer gemeinschaftlichen Realisierung reduziert sich der organisatorische, materielle und finanzielle Aufwand für jeden Einzelnen. Zu Beginn ist zwar mit einer aufwändigeren Abstimmungs- und Planungsphase zu rechnen, doch langfristig sollten die im Weiteren genannten Vorteile überwiegen.
- Durch die gemeinschaftliche Ausstattung des Testfahrzeugs mit Sensorik wird diese deutlich vielfältiger ausfallen, als es jedem Einzelnen bei der Ausstattung eines eigenen Testfahrzeugs möglich gewesen wäre. Dies erlaubt es, verschiedenste Ortungsmethoden zu testen, direkt miteinander zu vergleichen und im Hinblick auf einen noch zu führenden Sicherheitsnachweis zu bewerten.
- Da das Vorhaben zusammen mit der DB Netz AG, dem größten deutschen Schienennetzbetreiber, geplant ist, kann davon ausgegangen werden, dass eine langfristige Kooperation möglich ist. Auf diese Weise wird eine nachhaltige Forschung an einer sicheren Ortung möglich und es können zeitliche und räumliche Effekte untersucht werden.
- Das Vorhaben trägt zu einer besseren Vernetzung der Forschungsgruppen bei, fördert den wissenschaftlichen Diskurs zum Thema der sicheren Ortung und kann somit dabei helfen, dass eine sichere Ortungslösung gefunden wird. Somit hat LRT das Potential die Forschung an einer sicheren Ortung in Zukunft schneller und nachhaltig voranzubringen.

4.2 Hintergründe

Die Idee für das Vorhaben LRT entstand Mitte des Jahres 2016. Sie ging aus Gesprächen zwischen der Forschungsgruppe des Fachgebiets Regelungsmethoden und Robotik (rnr) der TU Darmstadt und des Instituts für Mess- und Regelungstechnik (mrt) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) hervor¹². Dabei wurden die weiter oben genannten Probleme bei der Erforschung einer sicheren Ortung thematisiert. Es wurde beschlossen im Rahmen der Innovationsallianz (TU Darmstadt 2017, DB AG 2017) zwischen der DB und der TU Darmstadt ein Testfahrzeug zu schaffen, an dem sich dann auch das mrt beteiligt. Es zeigte sich schnell, dass sich auch weitere deutsche Forschungsgruppen an LRT beteiligen möchten. Die Abkürzung „Localization Reference Train“ bezeichnet zunächst das ganze Vorhaben um die zur Entwicklung und Validierung von Ortungsmethoden (Localization) notwendigen Messdaten (Reference) mit einem Testzug (Train) zu generieren. Sie kann aber auch als Bezeichnung des Testfahrzeugs an sich verstanden werden.

4.3 Aktueller Stand

Nach aktuellem Stand beteiligen sich die folgenden Partner an LRT:

- DB Netz AG
- Fachgebiet Regelungsmethoden und Robotik (TU Darmstadt)
- Institut für Mess- und Regelungstechnik (KIT)

² Am mrt besteht schon seit geraumer Zeit eine Gruppe, die sich mit der Ortung von Zügen beschäftigt (Railway Localization Group), wohingegen die Forschung auf diesem Gebiet am rnr erst im April 2016 im Rahmen der Innovationsallianz zwischen der DB und der TU Darmstadt etabliert wurde (TU Darmstadt 2017, DB AG 2017).

- FZI Forschungszentrum Informatik (Karlsruhe)
- Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (TU Braunschweig)
- Institut für Regelungstechnik (RWTH Aachen)
- Institut für Kommunikation und Navigation (DLR Oberpfaffenhofen)
- Institut für Verkehrssystemtechnik (DLR Braunschweig)

Wie im folgenden Abschnitt 4.3.1 genauer beschrieben wird, laufen zurzeit Gespräche, um ein passendes Testfahrzeug sowie eine Teststrecke zu finden. Außerdem wird in Abschnitt 4.3.2 näher auf den aktuellen Stand des geplanten Messsystems eingegangen.

4.3.1 Testfahrzeug und -strecke

Das Testfahrzeug und die Teststrecke werden in Absprache mit der DB Netz AG ausgesucht. In den Tabellen 2 und 3 werden die gemeinsam erarbeiteten Anforderungen an das Testfahrzeug und die Teststrecke kurz zusammengefasst. Aktuell wird in Gesprächen mit einem regionalen Netzbetreiber geprüft, inwieweit sich die gewünschten Anforderungen umsetzen lassen.

Tab. 2 Gewünschte LRT-Anforderungen an das Testfahrzeug mit Relevanz („+“ = unabdingbar, „o“ = wenn möglich).

#	Anforderung an das Testfahrzeug	Relevanz
A1	Zulassung als Eisenbahnfahrzeug	+
A2	Wetterschutzter Raum, in dem das System zur Messdatenerfassung untergebracht werden kann	+
A3	Vorhandensein einer elektrischen Energieversorgung für die Messtechnik	+
A4	Befestigung von Sensoren direkt am Fahr-/Drehgestell, dem Fahrzeugboden oder den Frontseiten des Zuges	+
A5	Geschwindigkeiten von 80–160 km/h	o

Tab. 3 Gewünschte LRT-Anforderungen an die Teststrecke mit Relevanz („+“ = unabdingbar, „o“ = wenn möglich).

#	Anforderung an die Teststrecke	Relevanz
A1	Wiederholbare Befahrbarkeit	+
A2	Geschwindigkeiten von 80–160 km/h	o
A3	Anspruchsvolle Umgebungsbedingungen in Form von Tunneln, Bahnsteigdächern, Vegetation, Bahnübergängen usw.	o
A4	Rangierfahrten bis 30 km/h mit häufigen Richtungswechseln und vielen parallelen Gleisen	o
A5	Mehrere hundert Kilometer Distanz zwischen Start und Ziel	o
A6	Vorhandensein von Kartenmaterial	o

4.3.2 Messsystem

In Tabelle 4 sind die verschiedenen Sensortypen aufgelistet, die derzeit für das Testfahrzeug zur Verfügung stehen. Die verschiedenen Sensoren machen es möglich Verfahren der Satelliten-, Inertial- und Koppelnavigation zu erproben. Darüber hinaus können mithilfe des LiDARs und den Kameras

verschiedene Merkmale entlang der Strecke detektiert werden. Diese können beispielsweise zur Erkennung von Gleiswechseln genutzt werden. Die Stereokamera erlaubt es außerdem eine Lokalisierung mittels visueller Odometrie zu erproben. Im weiteren Verlauf des Vorhabens können auch Sensoren wie z.B. ein GSM-Modul, ein Dopplerradar, ein Radimpulsgeber und/oder ein RFID-System hinzukommen.

Tab. 4 Verfügbare Sensoren für das LRT-Testfahrzeug

Typ	Messgröße(n)
GNSS	Position
IMU	Beschleunigungen, Drehraten, (Magn. Flussdichte)
DIS ²	Geschwindigkeit
Correvit-Rail-Sensor	Geschwindigkeit
LiDAR	Distanz, Echo
Stereokamera	Bilddaten

Aktuell noch nicht endgültig geklärt ist die Ausführung des Systems zur Messdatenerfassung. Angestrebt wird der Aufbau eines modularen Systems, das aus einer dauerhaften Basiskonfiguration besteht und sich bei Bedarf einfach erweitern lässt. Die wichtigste Anforderung an das System ist jedoch eine synchrone Erfassung bzw. Zeitstempelung aller Messdaten, da dies die Grundlage für jede anschließende Sensordatenfusion in Ortungsalgorithmen ist. Weiterhin muss das System in der Lage sein, den kompletten Messdatenstrom in Echtzeit zu verarbeiten und die aufgezeichneten Messdaten sollen von jedem möglichst einfach interpretiert werden können, wobei der eigentliche Prozess der Messdatenerfassung für jeden transparent sein muss. In den teilnehmenden Forschungsgruppen bestehende Systeme können nicht direkt übernommen werden, da diese in der Regel spezielle Hard- und Software sowie spezielles Know-how zur Bedienung benötigen und somit die genannten Anforderungen nicht erfüllen. Deswegen wird zum einen geprüft, wie bestehende Systeme möglichst einfach genutzt werden können, um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen und zum anderen wird ein neues System unter Verwendung des Robot Operating System (ROS) (ROS.org 2017) getestet. Das gesamte Messsystem bestehend aus Sensorik und 2Difference-Inductance-Sensor (Spindler et al 2016) Messdatenerfassung ist in Abbildung 1 skizziert. Zusätzlich zeigt Abbildung 2 in der Frontansicht auch mögliche Montagepositionen der optischen Sensoren (Stereokamera und LiDAR). Die genaue Montage auf dem späteren Testfahrzeug hängt jedoch von diesem, noch zu findenden, ab. Dabei ist es auch denkbar, das gesamte Messsystem auf einer eigenen Plattform zu fixieren, die sich auf einer Kupplung des Zuges montieren lässt.

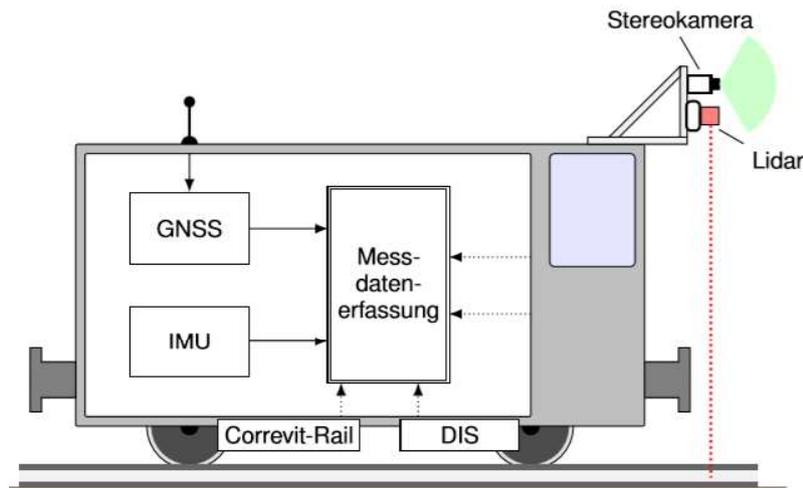


Abb. 1 Beispielhafte schematische Darstellung der Sensoren und der Messdatenerfassung auf dem Testfahrzeug (Seitenansicht).

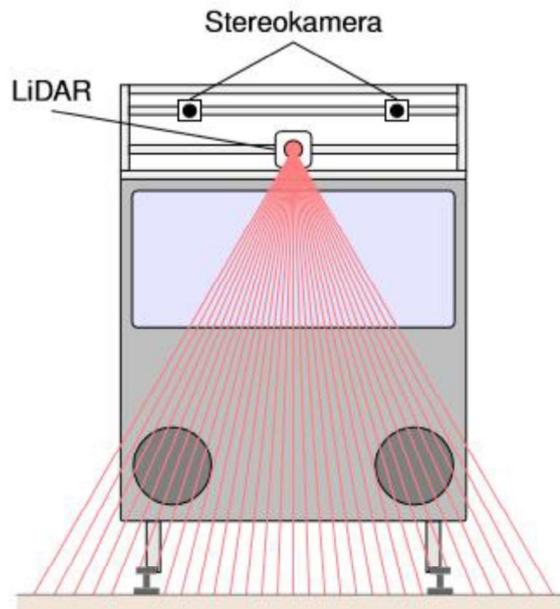


Abb. 2 Beispielhafte schematische Darstellung der Anbringung des LiDAR und der Stereokamera auf dem Testfahrzeug (Frontansicht).

5 Zusammenfassung

Die Ergebnisse aus bisherigen Forschungsarbeiten zeigen, dass eine sichere Ortung prinzipiell machbar ist. Um jedoch die bestehende Leit- und Sicherungstechnik ersetzen zu können, müssen die gefundenen Konzepte noch weiterentwickelt und validiert werden. Die Durchführung von Testfahrten zur Validierung von neuen Ortungsmethoden für den Schienenverkehr ist jedoch nicht ohne weiteres möglich. Das Vorhaben LRT hilft dabei, dies für alle Beteiligten in Zukunft leichter zu gestalten. Außerdem entstehen durch die Zusammenarbeit mehrerer Forschungsgruppen und der DB Netz AG langfristige Synergien, die dazu beitragen können die Forschung an einer sicheren Ortung schneller und nachhaltig voranzubringen.

Aus den bisherigen Gesprächen zur Abstimmung zwischen allen Beteiligten entstand unter anderem ein Lastenheft, anhand dessen zurzeit nach einem geeigneten Testfahrzeug und einer Teststrecke gesucht wird. Es wird erwartet, dass das erste LRT-Testfahrzeug im Laufe dieses Jahres (2017) zur Verfügung steht. Ein geeignetes System zur Messdatenerfassung wird aktuell konzipiert. Die für das Testfahrzeug benötigte Sensorik zur Erprobung verschiedenster Ortungsverfahren ist jedoch bereits vorhanden. Bis alle Anforderungen erfüllt werden können sind jedoch vermutlich mehrere Iterationen notwendig. Außerdem wird ein Benchmark angestrebt, mithilfe dessen die Entwicklung von sicheren Ortungsmethoden einem breiteren Publikum zugänglich gemacht werden kann. Diese Vorgehensweise wird in der Automobilbranche bereits erfolgreich angewandt (Geiger et al. 2012). LRT hat somit das Potential die Entwicklung und Validierung von neuen Ortungsmethoden für sicherheitskritische Anwendungen im Schienenverkehr langfristig mit realen Messdaten zu unterstützen.

6 Literaturverzeichnis

- APOLO Advanced Position Locator System. [http:// cordis . europa . eu / telematics / tap _ transport / research/projects/apollo.html](http://cordis.europa.eu/telematics/tap_transport_research/projects/apollo.html).
- Barbu, G., Marais, J. (Apr. 2014). The SATLOC project. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00987106>.
- Becker, U. (2014). GaLoROI Galileo Localisation for Railway Operation Innovation – Final Report. http://www.galoroi.eu/wp-content/uploads/2016/09/GaLoROI_Final-Report.pdf.
- Bikker, G., et al. (Feb. 1998) Rail Ort - Ortung im spurgebundenen Verkehr auf der Basis von Satelliten-Navigation. In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 47, S. 172–175.
- Böhringer, F. (2008). Gleiselektive Ortung von Schienenfahrzeugen mit bordautonomer Sensorik. Diss. Institut für Mess- und Regelungstechnik, Universität Karlsruhe (TH).
- Däubler, L., Bikker, G., Schnieder, E. (2002). SATNAB - Satellitengestütztes Navigations-Bodenexperiment. In: Signal + Draht 6.
- DB AG (Feb. 2017). Innovationsallianz DB AG TU Darmstadt. <http://www1.deutschebahn.com/innovationsallianz>.
- Eickmann, C., Gerlach, K. (2008). Fahrzeugseitiges Ortungssystem für den sicheren Bahnbetrieb. In: EI - Der Eisenbahningenieur 8, S. 30–34.
- Filip A., Mocek, H., Bazant, L. (2001). Zugortung auf GPS/GNSS-Basis für sicherheitskritische Anwendungen. In: SIGNAL + DRAHT 5, S. 16–21.
- Geiger, A., Lenz, P., Urtasun R. (2012). „Are we ready for Autonomous Driving? The KITTI Vision Benchmark Suite“. In: IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Libbrecht, R., Stuesson, H. (Juni 2005). LOCOPROL Final Report. <http://www.transport-research.info/project/low-cost-satellite-based-train-location-system-signalling-and-trainprotection-low-density>.
- Lu, D. (2014). „GNSSforTrainLocalisationPerformanceEvaluation and Verification“. Diss. Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Braunschweig, 2014.
- Lüddecke, K., Kluge A. (2014). Mobiles Labor RailDrive – synchrone Erfassung von Sensordaten. In: EI - Der Eisenbahningenieur 1, S. 46–49.

-
- Lüddecke, K., Rahmig, C., Lemmer, K. (2012). „Hochgenaue und integrale Ortung für den Schienenverkehr der Zukunft“. In: EI - Der Eisenbahningenieur 9, S. 72–75.
- Marais, J. (2016). GNSS et Rail : Où en est-on? <http://www.guide-gnss.net/contenuguide/uploads/2016/03/160315-RIM-IFSTTAR-JMarais.pdf>.
- Maschek, U. (2015). Sicherung des Schienenverkehrs. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Meyer zu Hörste, M. et al. (Dez. 2009). Berichte aus dem DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik, Band 8, Entwicklung eines Demonstrators für Ortungsaufgaben mit Sicherheitsverantwortung im Schienengüterverkehr (DemoOrt), Abschlussbericht der Phasen 1 und 2. Techn. Ber. DLR Institut für Verkehrssystemtechnik.
- Nikitin, A. et al. (2016) „Die Bestimmung der Positionen von Zügen mithilfe der Tonfrequenz-Gleisstromkreise“. In: Signal + Draht 7+8, S. 29–34.
- Pachl, J. (2016). Systemtechnik des Schienenverkehrs. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- ROS.org (Feb. 2017) | Powering the world's robots: <http://www.ros.org/>.
- Rütters, R. M. (2014). Autonome Positionsbestimmung von Schienenfahrzeugen unter Verwendung differentieller GNSS-Verfahren. Fortschrittberichte VDI: Reihe 8, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik; Nr. 1239.
- Sennhenn, F. (Okt. 2015). Infrastruktur 4.0 – Digitalisierung bei DB Netz. In: EI - Der Eisenbahningenieur, S. 3.
- Shashua, A. (2016). Keynote: Autonomous Driving, Computer Vision and Machine Learning. In: Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR).
- Spindler, M., Stein, D., Lauer, M. (Aug. 2016). „Low power and low cost sensor for train velocity estimation“. In: IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation (ICIRT), S. 259–264.
- Stein, D., Spindler, M., Lauer, M. (Juni 2016). „Model-based rail detection in mobile laser scanning data“. In: IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), S. 654–661.
- TU Darmstadt (Feb. 2017). Innovationsallianz TU Darmstadt / Deutsche Bahn AG. http://www.verkehr.tu-darmstadt.de/bs/bahnsysteme/kooperation__db/kooperation/.
- Vorndran, I. (Dez. 2010). Unfallstatistik–Verkehrsmittel im Risikovergleich. In: Auszug aus der Publikation "WISTA – Wirtschaft und Statistik“.
- Ziegler, J. et al. (2014). Making Bertha Drive—An Autonomous Journey on a Historic Route. In: Intelligent Transportation Systems Magazine 6, S. 8–20.