

# Referenz- und Testumgebung für fahrzeugautarke Ortung im Schienenverkehr

---

## Motivation

Nach dem aktuellen Stand der Technik erfolgt die Ortung von Zügen innerhalb des Bahnsektors mittels streckenseitiger Sensorik. Einzelne Gleisabschnitte werden von Sensoren überwacht, die Überfahrten von Zügen registrieren, um eine Aussage treffen zu können, ob ein Gleisabschnitt belegt ist oder nicht. Dieses über das gesamte Streckennetz verteilte Sensorsystem stellt einen hohen finanziellen Aufwand für den Bahnsektor dar, da Anschaffung und Instandhaltung der streckenseitigen Sensorik zu hohen Kosten und Verzögerungen im Betriebsablauf führen. Um die Kosten für die Infrastruktur zu senken, die Effizienz zu erhöhen, neue innovative Ansätze für sicherheitskritische Anwendungen und Business Cases für nicht-sicherheitskritische Anwendungen zu schaffen, werden zuverlässige, infrastrukturunabhängige Positionierungssysteme an Bord von Fahrzeugen benötigt. Die Entwicklung und Erforschung dieser fahrzeugseitigen Ortungssysteme steht im Zentrum der LRT-Initiative, welche wichtige deutsche Forschungsgruppen miteinander vernetzt.

## Stand der Technik bei der fahrzeugautarken Ortung von Schienenfahrzeugen

Motiviert durch die zunehmende zivile Nutzung des Satellitennavigationssystem GPS, kam Ende der 90er Jahre zum ersten Mal die Idee einer fahrzeugautarken Ortung mithilfe von GPS und zusätzlichen Sensoren für die Sicherung von Zugfahrten auf [1]. Mit der Abschaltung der künstlichen Signalverschlechterung (Selective Availability) bei GPS im Jahr 2000 sowie dem Beschluss zum Aufbau des europäischen Satellitennavigationssystem Galileo gewann das Thema deutlich an Aufmerksamkeit, wie die vielen durchgeführten Forschungsprojekte seit dieser Zeit verdeutlichen. Eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Projekte, an denen auch immer wieder Partner der LRT-Initiative beteiligt waren, kann [2] und [3] entnommen werden. Durch die großen Innovationsprogramme „Digitale Schiene Deutschland“ und „smartrail4.0“ der Deutschen Bahn AG (DB) bzw. Schweizerischen Bundesbahnen AG (SBB) gewinnt das Thema zurzeit weiter an Aufmerksamkeit [4, 5].

In den bisherigen Forschungsprojekten konnte gezeigt werden, dass eine fahrzeugautarke Ortung mit der nötigen Genauigkeit von weniger als 1,5 m technisch möglich ist [3, 6, 7]. Typischerweise findet eine Kombination von Satellitennavigationssystemen (GNSS) mit Inertialsensorik (IMU), Koppelnavigationssensoren (Tachometer, Hodometer) und einer digitalen Streckenkarte statt. Im Fall eines Ausfalls des GNSS lässt sich eine hochgenaue Positionslösung mit dieser Sensorkonfiguration jedoch nur für einige Sekunden gewährleisten. Aus diesem Grund wird aktuell unter anderem auch an neuartigen Sensoren geforscht, die eine absolute Positionierung von Schienenfahrzeugen unabhängig von GNSS mit einer hohen Verlässlichkeit (Verfügbarkeit, Zuverlässigkeit, Sicherheit) gewährleisten sollen [8, 9].

Insgesamt wurde bisher jedoch noch keine Sensorkonfiguration gefunden die eine vertrauenswürdige Ortung mit der nötigen Genauigkeit und Verlässlichkeit gewährleisten kann. Aus diesem Grund gibt es bis heute keine öffentliche Hauptbahn, die eine fahrzeugautarke Ortung zur Sicherung von Zugfahrten einsetzt.

- [1] G. Bikker, K.-A. Klinge, S. Röver, M. Schroeder und E. Schnieder, "Railort - Ortung im spurgebundenen Verkehr auf der Basis von Satelliten-Navigation"; in: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, Seiten 172–175, Februar 1998.
- [2] H. Winter, V. Willert, J. Adamy, M. Leining, M. Spindler, M. Lauer, D. Stein, O. Heirich, J. Groos, A. Geffert, U. Becker und M. Breuer, "Localization Reference Train – Sichere Ortung für den Schienenverkehr"; in: Scientific Railway Signalling Symposium, Seiten 17–26, April 2017.
- [3] J. Otegui, A. Bahillo, I. Lopetegi und L. E. Díez, "A survey of train positioning solutions"; in: IEEE Sensors Journal, Seiten 6788–6797, Oktober 2017.
- [4] "Digitale Schiene Deutschland." Online: <https://www.digitale-schiene-deutschland.de/>
- [5] "smartrail 4.0." Online: <https://www.smartrail40.ch/>
- [6] M. Grimm, K. Hartwig und M. M. zu Hörste, "Anforderungen an eine sicherheitsrelevante Ortung im Schienenverkehr"; in: 20. Verkehrswissenschaftliche Tage, Dresden, September 2005.
- [7] "smartrail 4.0: Zwischenbericht Technologie PoC Lokalisierung" Januar 2019. Online: [https://smartrail40.ch/service/download.asp?mem=0&path=\download\downloads\Integrierter\\_ZwischenberichtTechPocGLAT\\_v1.2\\_web.pdf](https://smartrail40.ch/service/download.asp?mem=0&path=\download\downloads\Integrierter_ZwischenberichtTechPocGLAT_v1.2_web.pdf)
- [8] M. Spindler und M. Lauer, "High accuracy estimation of velocity and position for railway vehicles using ferromagnetic inhomogeneities"; in: 2018 21th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Seiten 1202–1207, November 2018.
- [9] B. Siebler, O. Heirich und S. Sand, "Train localization with particle filter and magnetic field measurements"; in: 2018 21st International Conference on Information Fusion (FUSION), Seiten 1–5, Juli 2018.

## Ziele

Zielsetzung der LRT-Initiative ist es, eine **Referenz- und Testumgebung auf einem Zug aufzubauen**, um Analysen und Tests von Sensordaten und den damit verbundenen Algorithmen zur Positionierung zu ermöglichen. Dadurch soll die bestmögliche Kombination von verschiedenen zugseitigen Sensorinformationen für den Bahnsektor ermittelt werden, die eine möglichst präzise, robuste und integrale Positionierungslösung gewährleistet. Damit soll den genannten Herausforderungen begegnet und die **Serienreife von technischen Systemen und Algorithmen zur fahrzeuggebundenen Positionierung beschleunigt** werden. Ferner möchte die LRT-Initiative die **Bestrebungen zur Standardisierung** von Sensorkonzepten, Schnittstellen und Messdaten maßgeblich prägen, um eine bessere vergleichende Bewertung von Positionierungs-Algorithmen hinsichtlich der sogenannten RAMS-Kenngrößen (Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit) zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang zielt die LRT-Initiative auch darauf ab, die **Zugänglichkeit von Test- und Sensordaten zu steigern**, z.B. durch Veröffentlichung von Referenz-Datensätzen. Auf diese Weise soll die Wissenschaft und Forschung im Themenfeld der fahrzeugautarken Ortung von Schienenfahrzeugen zielführend stimuliert werden um letztlich eine **Überführung der Forschung in den laufenden Betrieb** zu gewährleisten. Damit die vorgenannten Ziele erreicht werden können, sollen mit der LRT-Initiative thematisch beteiligte **Forschungsgruppen stärker vernetzt** werden, so dass zentrale Forschungsfragestellungen gemeinsam gelöst werden und alle Partner von der gemeinsamen Nutzung des Wissens und der Hardware profitieren können.

## Forschungsagenda

- **Schritt 1: Vernetzung von Instituten und Universitäten (Forschung)**  
In einem ersten Schritt werden Universitäten und Institute gesammelt, die Forschung zum Thema „fahrzeugautarke Ortung im Schienenverkehr“ durchführen. Es erfolgen Kontaktaufnahme und gegenseitige Vorstellung der aktuellen Arbeit und Forschungsfragen. Gemeinsame und individuelle Ziele, Bedarfe, Kontakte und Kompetenzen werden notiert.
- **Schritt 2: Vernetzung mit Anbietern von benötigter Forschungsinfrastruktur**  
Kontaktaufnahme mit möglichen Anbietern von Forschungsinfrastruktur über die passenden LRT-Teilnehmer. Insbesondere geht es dabei um die Verfügbarkeit von Fahrzeugen und Strecken, sowie die Rahmenbedingungen und notwendigen Vorarbeiten für die Aufzeichnung von Messdaten.
- **Schritt 3: Abstimmungen über Erfassung von Messdaten**  
Ausgehend von der jeweiligen Forschungsfrage werden Anforderungen der einzelnen Institute an aufgezeichnete Messdaten aufgestellt. Anschließend erfolgt eine Vereinheitlichung dieser Anforderungen. Ein Datensatz, der den Anforderungen genügt, kann somit von allen beteiligten Instituten zur Klärung eigener Forschungsfragen verwendet werden. Die Abstimmungen sollen über den gesamten Zeitraum der Zusammenarbeit der LRT-Partner stattfinden. So ist sichergestellt, dass gemeinsam Forschungsfragen weiterentwickelt werden können. Aus den Einsichten vergangener Messkampagnen und der Analyse der Daten werden Problemstellungen mit praktischer Relevanz skizziert, die innerhalb der LRT-Initiative erforscht und bearbeitet werden können. Somit wird die Lücke zwischen Theorie und praktischer Anwendung reduziert.
- **Schritt 4: Abstimmung über die Verbreitung von gemeinsamen Daten**  
Es wird geklärt, wie gemeinsame Messdaten allen teilnehmenden Instituten zur Verfügung gestellt werden können und in welchem Maße eine Veröffentlichung der Daten erfolgen kann und soll. Außerdem wird festgelegt, wie eine solche Veröffentlichung erfolgen kann, sodass die Daten von anderen Forschungseinrichtungen verwendet werden können. Auch diese Arbeit findet über den gesamten Zeitraum der Zusammenarbeit statt, so dass neue Einsichten der Partner kontinuierlich eingearbeitet werden können.

## Kooperationsstruktur und Governance

Die LRT-Initiative ist aktuell ein loser Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen mit gleichen Interessen im Themenfeld der Fahrzeugautarken Ortung im Schienenverkehr. Die gemeinsame rechtliche Basis ist lediglich ein NDA. Bei den Kosten trägt aktuell jeder Partner seinen Anteil selbst ohne eine gesonderte Finanzierung.

Die LRT-Initiative verfolgt eine Strategie der Professionalisierung: Während der Verbund auch in Zukunft für alle Interessierten offen sein soll, widmet sich LRT insbesondere der Bündelung der im Themenfeld „Fahrzeugautarke Ortung Schienenverkehr“ über ganz Deutschland verteilten wissenschaftlichen Kompetenzen. So sollen Erkenntnisse und auch Ressourcen untereinander geteilt und gemeinsam darüber diskutiert werden. Insbesondere soll LRT einen vereinfachten Zugang zu Test-Infrastruktur im Themenfeld der fahrzeugautarken Ortung ermöglichen, so dass neue Algorithmen-Entwicklungen schneller im Feld getestet und mit bestehenden Ansätzen verglichen werden können.

Folgende konkrete **Maßnahmen** sind für die kommenden drei Jahre geplant:

- Aufbau einer *öffentlichen Webseite* zur Information über LRT und weiteren Mitstreiter-Gewinnung
- Aufbau einer leistungsstarken *Datenbank zur Speicherung und zum Management gemeinsam erfasster Sensor-Messdaten*
- Sammlung, Katalogisierung und weitgehende Veröffentlichung von *thematischen Forschungsbeiträgen* (Konferenzbeiträge, Fachzeitschriften-Artikel, etc.) der beteiligten Partner
- *Definition von Daten- und Prozess-Standards zur Erfassung von Sensordaten* für die fahrzeugautarke Ortung mit dem Ziel der Erhöhung der Vergleichbarkeit von Messkampagnen
- *Definition von Standards für die Nutzung von Multi-Sensor- und Kartendaten* durch Algorithmen der fahrzeugautarken Ortung
- Konzipierung und Umsetzung eines *Verfahrens zum Benchmarking von Algorithmen* der fahrzeugautarken Ortung
- Halbjährliche Durchführung von *LRT-Workshops* zur öffentlichen Information über die eigenen erreichten Arbeitsergebnisse, zur Vereinbarung der nächsten Schritte sowie zur Interaktion mit der erweiterten Fachwelt
- Ausarbeitung von „*LRT-Mess-Paketen*“ in Zusammenarbeit mit Anbietern von Messfahrzeugen und potenziellen Teststrecken; Services zur Nutzung durch weitere Akteure im Bereich der fahrzeugautarken Ortung.
- *Initiierung eines thematischen „runden Tisches“* zusammen mit der Industrie zur gemeinsamen Definition einer Umsetzungsstrategie; Beitrag zu deren Fortschreibung auf rein wissenschaftlicher Basis

## LRT-Initiative im Überblick

### Inhalte:

- Localization Reference Train (LRT) ist eine Initiative bestehend aus mehreren deutschen Forschungsgruppen, die sich mit der fahrzeugseitigen Lokalisierung von Zügen beschäftigen.
- Die Einführung von fahrzeugseitigen Ortungssystemen hat das Potenzial den Schienenverkehr deutlich effizienter und kostengünstiger zu gestalten. Bisher sind solche Systeme allerdings noch nicht ausreichend in der Praxis evaluiert worden.
- LRT versucht, gemeinsam die Hürden zur praktischen Evaluierung von fahrzeugseitigen Ortungssystemen abzubauen, um eine Einführung solcher Systeme zu beschleunigen.
- Aus diesem Grund widmet sich LRT der Erfassung von Daten, dem Aufbau von frei zugänglichen Datensätzen und der Schaffung von Richtlinien für einen effektiven Austausch der aufgenommenen Daten.

### Partner (Stand 02/2020):

- Fachgebiet Regelungsmethoden und Robotik (rnr), TU Darmstadt
- Fachgebiet Geodätische Messsysteme und Sensorik (GMSS), TU Darmstadt
- Institut für Mess- und Regelungstechnik (MRT), KIT
- Institut für Verkehrssicherheit und Automatisierungstechnik (iVA), TU Braunschweig
- Institut für Regelungstechnik (irt), RWTH Aachen
- Institut für Verkehrssystemtechnik, DLR Braunschweig

Webseite: <https://lrt-initiative.org/>