



Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Zuwendungsempfänger: Pinpoint GmbH	Förderkennzeichen: 03WIR1221F
Vorhabenbezeichnung: WIR! - SmartRail - Exakte Lokalisierung und Fahrregelung für autonome Eisenbahnfahrzeuge; TP4	
Laufzeit des Vorhabens: 01.08.2023 - 31.07.2025	
Berichtszeitraum: 01.08.2023 - 31.07.2025	

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor

Teil I Kurzbericht

Ursprüngliche Aufgabenstellung sowie den wissenschaftlichen und technischen Stand, an den angeknüpft wurde

Hintergrund und Ausgangssituation

Der zunehmende Mangel an Triebfahrzeugführern führt in Deutschland vermehrt zu Zugausfällen und verdeutlicht die Abhängigkeit des Bahnverkehrs von verfügbaren Arbeitskräften. Als Lösungsansatz wird die Automatisierung von Bereitstellungsfahrten untersucht. Diese verspricht neben einer Entlastung des Personals auch Vorteile wie höhere Regelmäßigkeit, gesteigerten Fahrgastkomfort und eine effizientere Nutzung der Infrastruktur. Erste Tests autonomer Züge, etwa in Frankreich, zeigen bereits positive Effekte hinsichtlich Kapazität und Energieeffizienz.

Zentrale Voraussetzung für den automatisierten Betrieb ist eine hochpräzise und zuverlässige Lokalisierung des Zuges. Besonders anspruchsvoll ist dabei der Übergang zwischen Außen- und Innenbereichen, da unterschiedliche Technologien kombiniert werden müssen. Im Außenbereich kommt satellitengestützte Ortung (GNSS) zum Einsatz, deren Schwächen durch zusätzliche Datenquellen ausgeglichen werden sollen. Für Innenbereiche wird eine UWB-basierte Funklokalisierung weiterentwickelt und an die Anforderungen des Bahnbetriebs angepasst.

Die Pinpoint GmbH hat in diesem Projekt die FuE-Arbeiten zur Umsetzung eines Indoor-Lokalisierungssystems für Züge entwickelt und praktisch erprobt

Marktsituation zum Zeitpunkt der Antragstellung

Satellitenbasierte Ortungssysteme (z. B. GPS) sind heute eine etablierte Basistechnologie mit hoher Genauigkeit bis in den Zentimeterbereich. Ihre Funktionsfähigkeit setzt jedoch eine direkte Sichtverbindung zu Satelliten voraus, weshalb sie in Innenbereichen wie Gebäuden oder Bahnhofshallen nicht zuverlässig einsetzbar sind.

Für diese Bereiche kommen alternative Indoor-Ortungstechnologien zum Einsatz, etwa auf Basis von WLAN, Bluetooth, RFID oder optischen Verfahren. Besonders verbreitet sind Ultrabreitband- (UWB-) Systeme, die durch Messung von Signallaufzeiten präzise Entfernungen und damit Positionen bestimmen können.

Innerhalb von UWB-Systemen existieren unterschiedliche Verfahren:

- **TDoA (Time Difference of Arrival)** ermöglicht hohe Teilnehmerzahlen, erfordert jedoch eine aufwendige Synchronisation der Infrastruktur.
- **TWR (Two-Way Ranging)** benötigt keine Synchronisation, ist aber in der Kapazität eingeschränkt.

Derzeit gibt es keine hybriden Systeme, die die Vorteile beider Ansätze kombinieren. Ein solches System soll im Projekt entwickelt werden, um eine präzise, skalierbare und wirtschaftliche Ortung zu ermöglichen.

Weitere Herausforderungen bestehen in der begrenzten Reichweite (typisch 20–25 m in Industrieumgebungen), der Reduktion benötigter Infrastruktur sowie der Einhaltung hoher Sicherheitsanforderungen im Bahnbetrieb. Während bestehende Systeme bereits sicherheitszertifiziert sind, müssen für neue Ansätze insbesondere Fragen der Manipulationssicherheit (Security) und Betriebssicherheit (Safety) untersucht werden.

Ziel ist die Entwicklung eines robusten, sicheren und effizient installierbaren UWB-Ortungssystems, das eine flächendeckende Positionsbestimmung ermöglicht und den Einsatz im Bahnumfeld optimiert.

Ablauf des Vorhabens

Das Vorhaben wurde im o.g. Zeitraum zusammen mit der TU Chemnitz, der DRAIVE GmbH und dem SRCC umgesetzt.

Neben Personal wurden Material zur Umsetzung des Ortungssystems gefördert.

Wesentliche Ergebnisse

Im Projekt wurde zunächst eine geeignete Testumgebung konzipiert und anschließend in einer Zugwaschhalle auf dem Gelände des Fahrzeug- und Technologiezentrums Chemnitz (FTC) der DB RegioNetz umgesetzt. Dabei wurden Schnittstellen zu den beteiligten Partnersystemen realisiert, unter anderem mittels Protobuf und containerbasierter

Bereitstellung über Docker.

Ein zentraler Schwerpunkt lag auf der Entwicklung und Implementierung von Handover-Algorithmen, die einen nahtlosen Übergang zwischen GNSS-basierter Ortung im Außenbereich und UWB-basierter Ortung im Innenbereich ermöglichen. Parallel dazu wurde das UWB-Funkprotokoll optimiert, um die Positionierungsrate zu erhöhen.

Die entwickelten Verfahren wurden im Testfeld durch reale Zugfahrten validiert und iterativ weiterentwickelt. Zudem erfolgte die Integration mit dem GNSS-Subsystem der DRAIVE GmbH sowie mit Regelungskomponenten der Technische Universität Chemnitz.

Die Projektergebnisse wurden im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit auf Fachveranstaltungen präsentiert, darunter die InnoTrans 2024 sowie das Railway Forum 2025. Ergänzend wurde ein Projektvideo erstellt und eine Fachveranstaltung des Rail.S e. V. zum Thema Zugortung durchgeführt.

Teil II Ausführlicher Bericht

1. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die bereitgestellten Fördermittel wurden vorrangig für die Finanzierung von Forschungs- und Entwicklungspersonal eingesetzt, das maßgeblich zur Realisierung der Zugortung beitrug. Hierzu zählten insbesondere Embedded-Entwickler, Algorithmenentwickler sowie Projektleitungsressourcen, die gemeinsam die konzeptionelle Entwicklung, Implementierung und Validierung des Systems sicherstellten.

Ergänzend wurden in geringem Umfang Sachmittel eingesetzt, insbesondere für UWB-Hardware zur Umsetzung der erforderlichen Gebäudesatelliten sowie für entsprechende Test- und Evaluierungsgeräte.

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Ohne die gewährte Förderung wäre die Umsetzung der UWB-basierten Ortung für Züge nicht realisierbar gewesen. Insbesondere hätten weder geeignete Versuchsfahrzeuge zur Verfügung gestanden, noch wäre der Aufbau eines Testbeds in Kooperation mit der Deutschen Bahn möglich gewesen. Darüber hinaus hätte es an essenziellem Nutzerfeedback seitens der Deutschen Bahn gefehlt, ebenso wie an der Durchführung notwendiger Testfahrten. Auch die für die Entwicklung der Fahrzeugbewegungsmodelle erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsressourcen hätten ohne die Förderung nicht bereitgestellt werden können.

Die Förderung ermöglichte hingegen in entscheidendem Maße die Durchführung von Testfahrten mit Zügen der Deutschen Bahn sowie den direkten Zugang zu relevanten technischen Ansprechpartnern innerhalb des Unternehmens. Darüber hinaus wurde die Umsetzung der komplexen Fahrzeugortung im Instandhaltungswerk der Deutschen Bahn realisiert. Ein weiterer zentraler Beitrag der Förderung bestand in der Ermöglichung mehrfacher Iterationszyklen in der Vorentwicklung, die für die Entwicklung und Optimierung der Positionierungsalgorithmen von entscheidender Bedeutung waren.

Die Angemessenheit der Projektarbeiten ergibt sich aus der Komplexität der Technologie, den hohen Anforderungen an Robustheit und Genauigkeit sowie dem Innovationsgrad des adressierten Systems zur Indoor-Positionierung.

2.1 Konkret geleistete Projektarbeiten

Im Rahmen des geförderten Vorhabens wurden unter anderem folgende Arbeiten durchgeführt:

Firmware- und Softwareentwicklung

- Integration UWB und GPS-Daten auf einer Software-Plattform
- Referenzmessdatenerhebung (GPS, UWB, Beschleunigungs- und Drehratensensoren) im Feld zur späteren, iterativen Algorithmenentwicklung

Aufbau von Test- und Integrationsumgebungen

- Konzeption einer Referenzumgebung
- Umsetzung der Referenzumgebung im FTC Chemnitz/Waschhalle
- Dauerlauf der Positionierungsinfrastruktur innerhalb der Waschhalle
- Durchführung von Feldtests und Integrationsarbeiten mit der TU Chemnitz und der Firma DRAIVE GmbH

Werkzeuge zur Projektierung und Implementierung

- Erweiterung der Planungs- und Diagnosewerkzeuge der Pinpoint um GPS-Daten und UWB-Fahrzeugdaten
- Analyse der UWB Messdaten anhand aufgezeichneter Daten
- Replay der Messdaten zur iterativen Entwicklung der Positionierungsalgorithmen sowie zur Durchführung von Regressionstests

Geschäftsentwicklung und Markterschließung

- Aufbau strategischer Beziehungen zu Großkunden und Industriepartnern (Deutsche Bahn, SBB, ÖBB, Cancom, SRCC).
- Durchführung internationaler Messeauftritte zur Steigerung der Sichtbarkeit und Marktakzeptanz (InnoTrans 2024, Railway Forum 2025, Smart Rail Enquete 2025)
- Evaluierung neuer Anwendungsfelder und Business-Modelle im industriellen und öffentlichen Umfeld.

Die vorgenannten Arbeiten waren für die erfolgreiche Umsetzung des FuE Projekts sowohl notwendig als auch angemessen und stehen im direkten Zusammenhang mit den Zielen des Fördervorhabens.

3. Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Projekt erbrachten Leistungen haben den technologischen, wirtschaftlichen und strategischen Grundstein für die langfristige Verwertung der entwickelten Positionierungstechnologie im Bahnumfeld gelegt. Aus dem Fördervorhaben sind sowohl unmittelbare wirtschaftliche Verwertungschancen als auch nachhaltige strukturelle Vorteile für die weitere Unternehmensentwicklung hervorgegangen.

Insbesondere konnten durch die Projektergebnisse belastbare technologische Grundlagen geschaffen werden, die eine Überführung in marktfähige Anwendungen ermöglichen. Gleichzeitig wurde die Position des Unternehmens im relevanten Marktumfeld gestärkt und der Zugang zu potenziellen Kunden und Partnern im Bahnsektor nachhaltig verbessert. Darüber hinaus bilden die aufgebauten Kompetenzen und entwickelten Lösungen eine wesentliche Basis für weiterführende Innovations- und Entwicklungsprojekte.

3.1 Wirtschaftliche Ergebnisse und Prognosen

Bereits während der Projektlaufzeit konnte ein erstes umfangreiches Referenzprojekt im Bereich des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) akquiriert werden. Dieses Projekt weist ein Gesamtvolumen im sechsstelligen Bereich auf und bestätigt die grundsätzliche Marktfähigkeit der entwickelten Technologie. Es fungiert zugleich als zentrales Referenzvorhaben und schafft eine belastbare Grundlage für die weitere Akquise in diesem wachstumsstarken Marktsegment.

Auf Basis der bestehenden Kundenkontakte, des erkennbaren Marktinteresses sowie der erfolgreichen Umsetzung im Pilotprojekt wird für die kommenden fünf Jahre ein zusätzliches Projektvolumen im mittleren siebenstelligen Bereich prognostiziert. Diese Erwartung unterstreicht das signifikante wirtschaftliche Potenzial der entwickelten Lösung sowie deren Relevanz für zukünftige Anwendungen im Bahnumfeld.

3.2 Strategische Partnerschaften und Erweiterung des Verwertungspotenzials

Die Partnerschaft mit der Deutschen Bahn konnte im Verlauf der Projektlaufzeit deutlich intensiviert werden. In diesem Zuge wurden zusätzliche Anwendungsfelder erschlossen sowie weitere Folgeprojekte und Partnerschaften im Bahnumfeld initiiert. Ein zentrales Beispiel hierfür ist das im Rahmen des Projekts „KiBliLok“ entwickelte Indoor-Navigationssystem für sehbeeinträchtigte und blinde Menschen in Bahnhöfen, das erfolgreich erprobt werden konnte. Aufbauend auf diesen Ergebnissen sind weitere Vorhaben geplant, die auf eine breite Verfügbarkeit der Lösung abzielen und darüber hinaus die digitale Reisebegleitung in komplexen Bahnhofsinfrastrukturen insgesamt verbessern sollen.

Zusammenfassend eröffnen die im Projekt entwickelten Technologien insbesondere in folgenden Anwendungsfeldern relevantes Potenzial:

- Indoor-Navigation in Bahnhöfen, insbesondere zur barrierefreien Unterstützung von Reisenden,
- präzise Lokalisierungsdienste für Passagiere und Reisende in komplexen Infrastrukturen,
- Ortung und Management von Fahrzeugen wie Bussen und Straßenbahnen, insbesondere zur automatisierten Verwaltung in Depots und Betriebshöfen.

3.3 Nachhaltigkeit des Verwertungskonzepts

Die im Projekt erarbeiteten technischen Grundlagen – insbesondere in den Bereichen Firmware, Tools, Testumgebungen und Algorithmen – werden dauerhaft als integrale Bestandteile bestehender und zukünftiger Produkte genutzt und kontinuierlich weiterentwickelt. Auf dieser Basis konnte eine nachhaltige technologische Plattform geschaffen werden, die eine effiziente Übertragung der Projektergebnisse in weitere Anwendungs- und Geschäftsfelder ermöglicht.

Parallel dazu tragen die im Projekt aufgebauten und vertieften Kundenbeziehungen maßgeblich zur kontinuierlichen Erweiterung der Marktabdeckung bei. Das Vorhaben hat somit unmittelbar zur Verstetigung der unternehmerischen Entwicklung sowie zur nachhaltigen Stärkung der Marktposition des Unternehmens beigetragen.

4. Während der Durchführung bekannt gewordener Fortschritt bei anderen Stellen

Im Projektverlauf wurden relevante Entwicklungen und Fortschritte anderer Unternehmen und Forschungseinrichtungen systematisch beobachtet und dokumentiert, um Markttrends und Wettbewerbseinflüsse angemessen berücksichtigen zu können.

4.1 Wettbewerb im Bereich UWB-Positionierung

Zu den wesentlichen Wettbewerbern zählen die Unternehmen Localino und Piper Networks, die ebenfalls UWB-basierte Lokalisierungssysteme anbieten. Deren Lösungen basieren jedoch primär auf einer serverseitigen Ortung, die die für den Bahnbereich erforderliche Autonomie einzelner Fahrzeuge sowie die Möglichkeit zur direkten Fusion mit fahrzeugseitigen Sensordatenquellen nur eingeschränkt unterstützt. Insbesondere im Kontext zukünftiger Anwendungen wie dem automatisierten Fahren von Zügen ist jedoch eine fahrzeugseitige, unabhängige Positionierung von zentraler Bedeutung, um die notwendigen Anforderungen an Zuverlässigkeit und Sicherheit zu erfüllen.

Im Gegensatz dazu basiert die Pinpoint-Technologie auf einem DL-TDOA-Ansatz („GPS-

Mode“). Dieses Verfahren ermöglicht eine vollständig fahrzeugseitige Positionsbestimmung und erlaubt zugleich die Integration sowie Kreuzvalidierung mit weiteren fahrzeugseitigen Sensordatenquellen. Auf diese Weise wird ein hohes Maß an Systemzuverlässigkeit, Robustheit und Unabhängigkeit erreicht, das insbesondere für sicherheitskritische Anwendungen im Bahnumfeld von entscheidender Bedeutung ist.