Kompetenznetzwerk
automatisierte und
vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Marktbeobachtung

Automatisierung im Schienenverkehr

Juli 2026

Version 0.0.1

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

MARKTBEOBACHTUNGSBERICHT

Automatisierung der Fahraufgabe im Schienenverkehr

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Die Automatisierung der Mobilität auf der Schiene bietet großes Potential, um Zuverlässigkeit und Kapazität des Schienenverkehrs zu steigern und dabei der Herausforderung des wachsenden Fachkräftemangels zu begegnen. Das Kompetenznetzwerk innocam.NRW informiert über das aktuelle Marktgeschehen und bringt relevante Akteurinnen und Akteure zusammen.

In diesem Marktbeobachtungsbericht soll ein Überblick über marktreife Lösungen zur Automatisierung der Fahraufgabe sowie aktuelle Forschungsprojekte in diesem Bereich gegeben werden. Der Bericht soll dabei für Akteurinnen und Akteure und Interessierte als Informationsquelle dienen. Besonders soll dieser Bericht Potentiale der Automatisierung im Schienenverkehr hervorheben und aufzeigen, welche Lösungen für bestehende Herausforderungen auf dem Weg zur Realisierung einer flächendeckenden Automatisierung gefunden werden können.

Im vorliegenden Marktbeobachtungsbericht …

- werden die Potentiale des automatisierten Schienenverkehrs anhand verschiedener Use Cases verdeutlicht;
- werden die verschiedenen Ebenen der sich ergebenden Rahmenbedingungen vorgestellt;
- wird ein Überblick über die relevanten Technologien und deren Zusammenspiel im System präsentiert;
- werden bereits realisierte und geplante Umsetzungen sowie relevante Forschungsprojekte vorgestellt.

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

INHALTSVERZEICHNIS

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

01	POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG	S. 5
02	RAHMENBEDINGUNGEN	S. 11
03	TECHNOLOGIE BEGRIFFE UND TECHNOLOGIEN	S. 18
04	SYSTEMAUFBAU VOLLBAHN, METRO UND STRASSENBAHN	S. 31
05	UMSETZUNG REALISIERTE ANWENDUNGEN, PLANUNG, FORSCHUNGSPROJEKTE	S. 35
06	FAZIT	S. 58

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

AEG – Allgemeines Eisenbahngesetz

APS – Advanced Protection System

ATC – Automatic Train Control

ATO– Automatic Train Operation

ATP – Automatic Train Protection

ATS – Automatic Train Supervision

BOStrab – Verordnung über den Bau und Betrieb der Straßenbahnen

CBTC – Communication Based Train Control

C-ITS – Cooperative Intelligent Transport System

DR – Digitales Register

EBO – Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung

EIU – Eisenbahninfrastrukturunternehmen

ERTMS – European Traffic Management System

ETCS – European Train Control System

EVU – Eisenbahnverkehrsunternehmen

FAS - Fahrerassistenzsystem

FRMCS - Future Railway Mobile Communication System

GNSS – Global Navigation Satellite System

GoA – Grade of Automation

GSM-R – Global System for Mobile Communication for Railways

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

ÖPNV – Öffentlicher Personennnahverkehr

RTO – Remote Train Operation

SGV – Schienen-Güterverkehr

Tf – Triebfahrzeugsführende(r)

TSI – Technische Spezifikationen für die Interoperabilität

V2I – Vehicle to Infrastructure

V2V – Vehicle to Vehicle

V2X – Vehicle to X

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

Kompetenznetzwerk
automatisierte und
vernetzte Mobilität
innocam.NRW

01 POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG

Wichtigste Potentiale, die Automatisierung motivieren

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Verkürzte Zugfolgezeiten
- Ohne Neubau von Strecken
- Reduktion der Varianz im Fahrverhalten
- Pünktlichkeit
- Abhilfe für Fachkräftemangel
- Reduzierung menschlicher Fehler
- Optimiertes Bremsen und Beschleunigen
- Reduzierter Verschleiß
- Effiziente Energienutzung
- Anpassung an Nachfrage (z.B. On-Demand-Verkehre)

Automatic Train Operation (ATO) | Digitale Schiene Deutschland
ATO over ETCS als Schlüssel für mehr Effizienz, Kapazität und Nachhaltigkeit
Potenziale der Automatisierung im Schienenverkehr und 5G als Kommunikationsebene

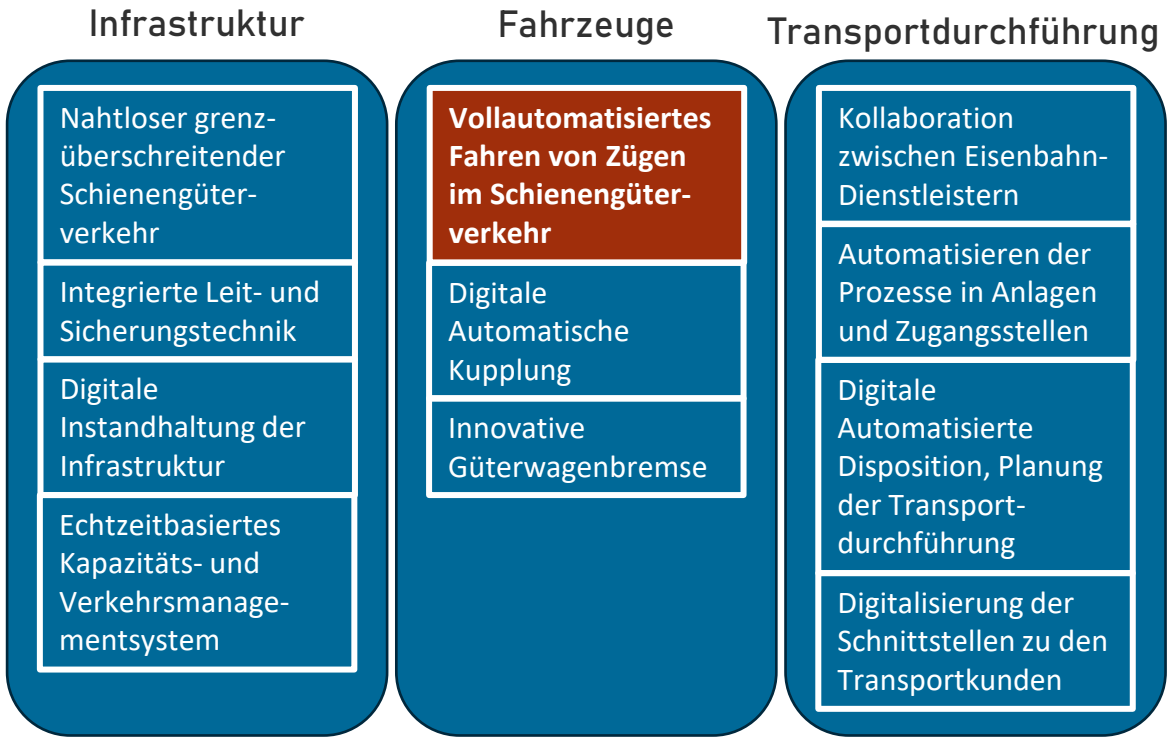
Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG

Potentiale automatisierter Eisenbahnbetrieb – Beispielhafte Use Cases (1): Automatisierung und Digitalisierung des Schienengüterverkehrs (SGV)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Bundesministerium für Verkehr zeigt Handlungsfelder, um mit dem Schienengüterverkehr (SGV) ein nachhaltiges und klimafreundliches Verkehrssystem zu schaffen
  - ➢ Güterverkehr auf Schiene verlagern
- Vollautomatisiertes Fahren im SGV verspricht: Sicherung der zukünftigen Geschäftsfähigkeit, Verbesserung der Zuverlässigkeit, Steigerung der Energieeffizienz, Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit, Kapazitäts- und Qualitätssteigerung für mehr Pünktlichkeit und Erhöhung der Resilienz (Bsp.: Personalwechsel entfällt)
- Anforderungen an System: Umfelderkennung, Lokalisierung, Prävention von Störungen, Fahrfunktionen automatisiert, Möglichkeit zur Fernüberwachung und Steuerung
- Vollautomatisierte Rangierfahrten stellen wichtige Vorstufe zur Erprobung der Technik dar



Strategie zur umfassenden Automatisierung und Digitalisierung des Schienengüterverkehrs

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG

Potentiale automatisierter Eisenbahnbetrieb - Beispielhafte Use Cases (2): Vollautomatische Metros – Mobilität von Morgen schon Heute

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Stand 2023 sind knapp 120 Metrolinien (Netzwerklänge 2.279km) weltweit vollautomatisiert. 23 % dieser automatisierten Metrolinien befinden sich in Europa. Insgesamt sind 14 % aller Linien vollautomatisiert (GoA4).
- Vollautomatisierte Metros als zentraler Baustein der Mobilität von Morgen durch Vorteile für Fahrgäste und Städte:

› Kapazitätssteigerung: Verkleinerung der Sicherheitsabstände durch ständigen Austausch der Fahrzeuge ermöglicht engere Taktung

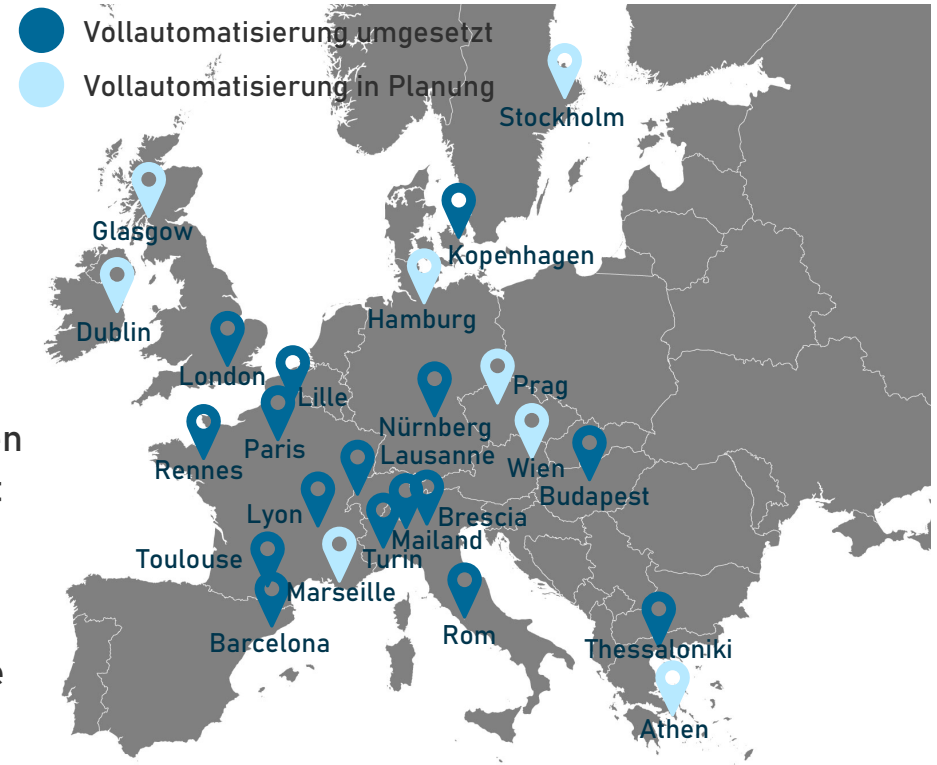
› Energieeffizienz: Bis zu 30 % geringerer Energiebedarf durch optimales Bremsen und Beschleunigen, basierend auf Fahrgastgewicht und Streckenbeschaffenheit

› Flexibilität und Pünktlichkeit: Schnelle Reaktion auf stark schwankendes Fahrgastaufkommen und sekundengenaue Berechnung von Ankunftszeiten

› Personalmangel: Sicherung des Betriebs trotz Fachkräftemangel; Mitarbeitende übernehmen andere Aufgaben (Kundenservice, Sicherheitsüberwachung) und Betriebskosten werden reduziert

› Verschleiß und Wartung: konstantes Bremsen und Beschleunigen führt zu weniger Verschleiß, Wartungssensoren erkennen Fehler frühzeitig

Europe Continent Map by Vemaps.com



Quelle: Allianz pro Schiene

© Vemaps.com

Vollautomatische Metro: Autonome Mobilität in Europa
20250822_Global-Metro-Figures_Statistics-Brief_WEB.pdf

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

POTENTIALE DER VERNETZUNG

Potentiale automatisierter Eisenbahnbetrieb- Beispielhafte Use Cases (3): Straßenbahnautomatisierung - fahrerloses Fahren in hochkomplexen Verkehrssituationen

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Vernetzung und Automatisierung von Straßenbahnen kann von Entwicklungen im Automobil- und U-Bahn-Bereich profitieren. V2X-Vernetzung ermöglicht u.a. Intelligente Steuerung von Lichtsignalen, die ÖPNV priorisieren.
- CBTC-Systeme zur Zugsicherung, Zugsteuerung und Betriebsüberwachung sind für isolierte Systeme (U-Bahnen) entwickelt. Zum Einsatz bei Straßenbahnen müssten sie durch intelligente Systeme zur Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmenden ergänzt werden.
- Relevante Szenarien ähneln mehr dem Straßenverkehr, aber direkte Implementierung der Systeme aus dem Automobilbereich nicht möglich. Unterschiede zur Straße: Strommasten (Personen werden verdeckt, nicht erkannt), Schienen (reflektieren Licht, fehlende Ausweichmöglichkeiten), träges Bremsverhalten

- Wichtigste Potentiale:
  - Taktverdichtung und Kapazitätssteigerung (Fahrgastwechsel optimieren durch präzises Halten, Vernetzungsbasiertes Abstandhalten)
  - Unfall(kosten)reduktion (Vernetzung, Kooperative Perzeption V2V oder V2I)
  - Pünktlichkeit und Fahrplanstabilität (intelligentes Verkehrsmanagement)
  - Reduktion Personalbedarf
  - Energieverbrauch senken (optimale Fahrprofile)
  - Verschleißreduktion, Kosten für Wartung und Instandhaltung (Prädiktive Systemüberwachung)

Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

POTENTIALE DER AUTOMATISIERUNG

Potentiale automatisierter Eisenbahnbetrieb - Beispielhafte Use Cases (4): Vollautomatischer Regionalverkehr – Antwort auf den Fachkräftemangel

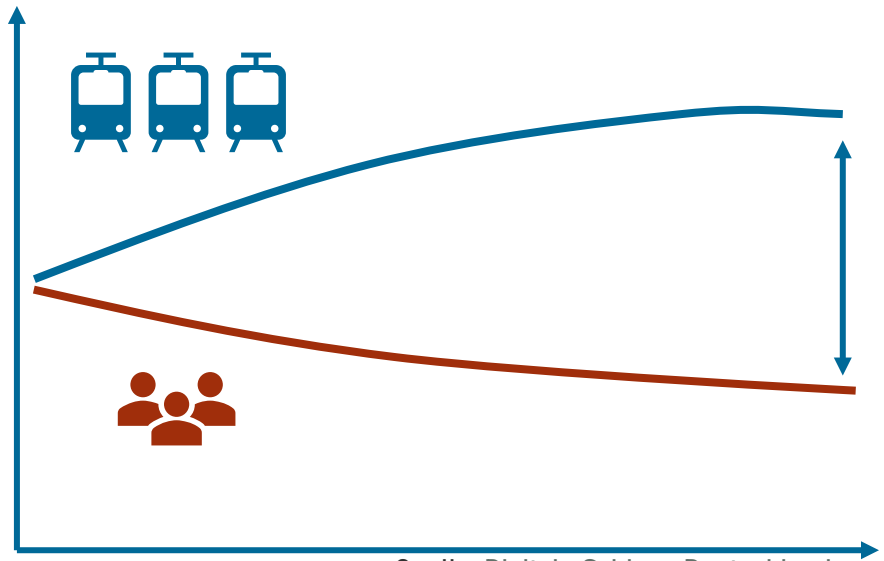
Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Erreichen der Klimaziele und der Verkehrswende sieht zunehmende Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene vor
  - ➢ Steigerung von Anzahl der Zugfahrten und Netzwerkkapazität
- Schon heute knappes Angebot an Triebfahrzeugführenden stellt große Herausforderung dar
- Vollautomatisiertes Fahren bietet die Möglichkeit einen vom Personal unabhängigen Fahrzeugeinsatz zu realisieren
  - ➢ Flexibilität
- Effektiver Personaleinsatz führt zu höherer Betriebsstabilität

➢ „Automated Train“ Projekt

AutomatedTrain | Vollautomatisierte Bereitstellungs- Abstellungsfahrt | Digitale Schiene Deutschland

GoA4: Mehrverkehr auf der Schiene bei gleichzeitiger Fachkräfteknappheit



Quelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

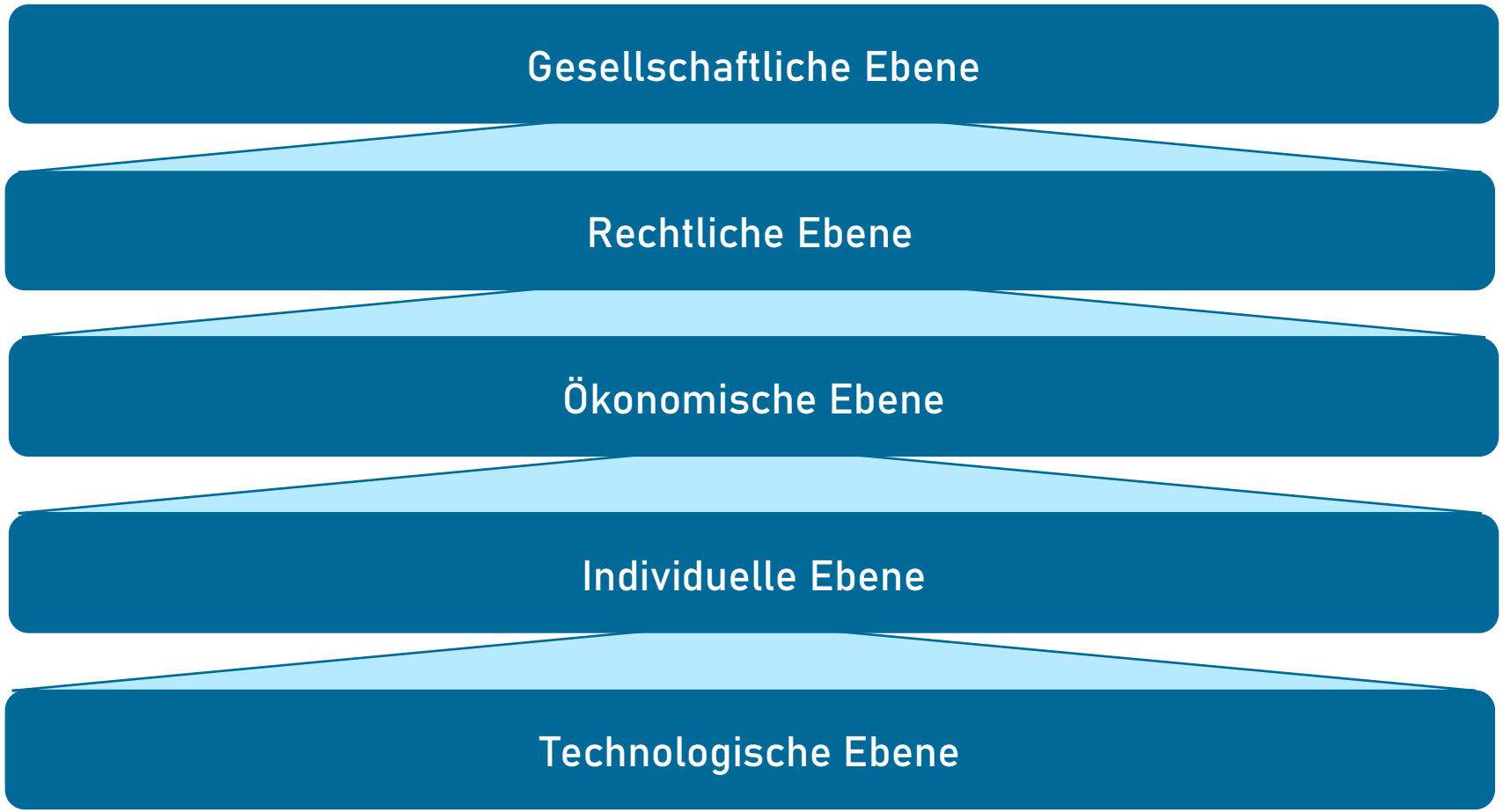
02 RAHMENBEDINGUNGEN

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

Herausforderungen im System Bahn

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW



Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

Gesellschaftliche Ebene

Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Wahrgenommene Sicherheit (Rückfallebene (Tf) aus Wirtschaftlichkeitsgründen nur im Übergangszeitraum möglich)
- Hohe Verfügbarkeit (Verlässlichkeit, Erreichbarkeit, Barrierefreiheit)
- Kommunikation von Sicherheitsgewinnen und des Beitrags zum Klimaschutz
- Mit der fortschreitenden Automatisierung geht ein Beschäftigungs- und Qualifikationswandel einher.

Bildquelle: Alstom

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

Rechtliche Ebene

Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Unionsrecht: Interoperabilitätsrichtlinie schreibt Triebfahrzeugführende (Tf) zwingend vor:
  - TSI „Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung“: Tf ist an Ausübung sicherheitsrelevanter Aufgaben beteiligt
  - TSI „Zugsteuerung, Zugsicherung und Signalgebung“: Schnittstelle Tf – Maschine
- Deutsches Recht: schreibt Tf nur auf Verordnungsebene vor:
  - AEG: Eisenbahnen sind verpflichtet, Betrieb sicher zu führen
  - EBO/BOStrab: Triebfahrzeuge müssen im offenen System während der Fahrt mit Tf besetzt sein

➢ Für fahrerlosen Zugbetrieb (ab GoA3, Ausnahme Metro im geschlossenen System) sind Anpassungen am Regelwerk notwendig.

Autonomes Fahren – rechtlich betrachtet
Railway cybersecurity
2021-09_Fachartikel_ETR_ATO.pdf

- Verfassungsrecht: Grundrechtliche Schutzpflicht schreibt vor, dass durch autonomes Fahren das Sicherheitsniveau nicht herabgesetzt werden darf und zusätzliches Sicherheitspotential ausgeschöpft werden muss
- Cybersecurity-Pflichten nach NIS: sicherer Betrieb von Signal- und Steuerungssystemen (ERTMS, ETCS, GSM-R)
- Datenschutz nach DSGVO: Aufzeichnung und Speicherung von Fahr- und Kameradaten, Interessensabwägung: hoher gesellschaftlicher Nutzen vs. Rechte des Einzelnen

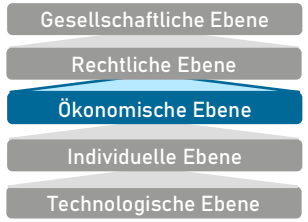
EUROPEAN UNION AGENCY FOR RAILWAYS
Eisenbahn-Bundesamt
enisa
European Parliament
Deutscher Bundestag

Eisenbahn-Bundesamt
European Union Agency for Cybersecurity
Europäisches Parlament
Deutscher Bundestag
European Union Agency for Railways

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

Ökonomische Ebene – Wirtschaftliche Tragfähigkeit



Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Bahn Branche ist deutlich kleiner als Automobil Branche und auch die Investitionen in Forschung und Entwicklung sind deutlich geringer.
  - ➢ Ausreichende Forschung und Entwicklung, Pilotprojekte notwendig
- Allerdings sind für die Bahn auch die Entwicklungskosten geringer, da Leit- und Sicherungssysteme bereits Standard sind und weniger Freiheitsgrade existieren.
- Hohe Investitionskosten durch Nachrüsten von Fahrzeugen, Leittechnik und Stellwerken

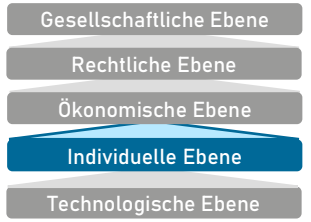
- Strategie:
  - ➢ stufenweise Entwicklung von Produkten für möglichst zeitnahen Mehrwert für Kund:innen und Betreibende
  - ➢ Technologietransfer aus anderen Branchen (z.B. Automobil auf Straßenbahn, vollautomatisiertes Fahren über CBTC)
- Hohen Fixkosten steht die Einsparung an Betriebskosten (Potential der Automatisierung) gegenüber: geringere Personalkosten, Energieeinsparung, mehr Pünktlichkeit, höhere Kapazität, Reduktion der Instandhaltungskosten

Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: Current Trends and Existing Challenges
Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene
Autonomous trains: a brief review – Mediarail.be – Rail Europe News

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

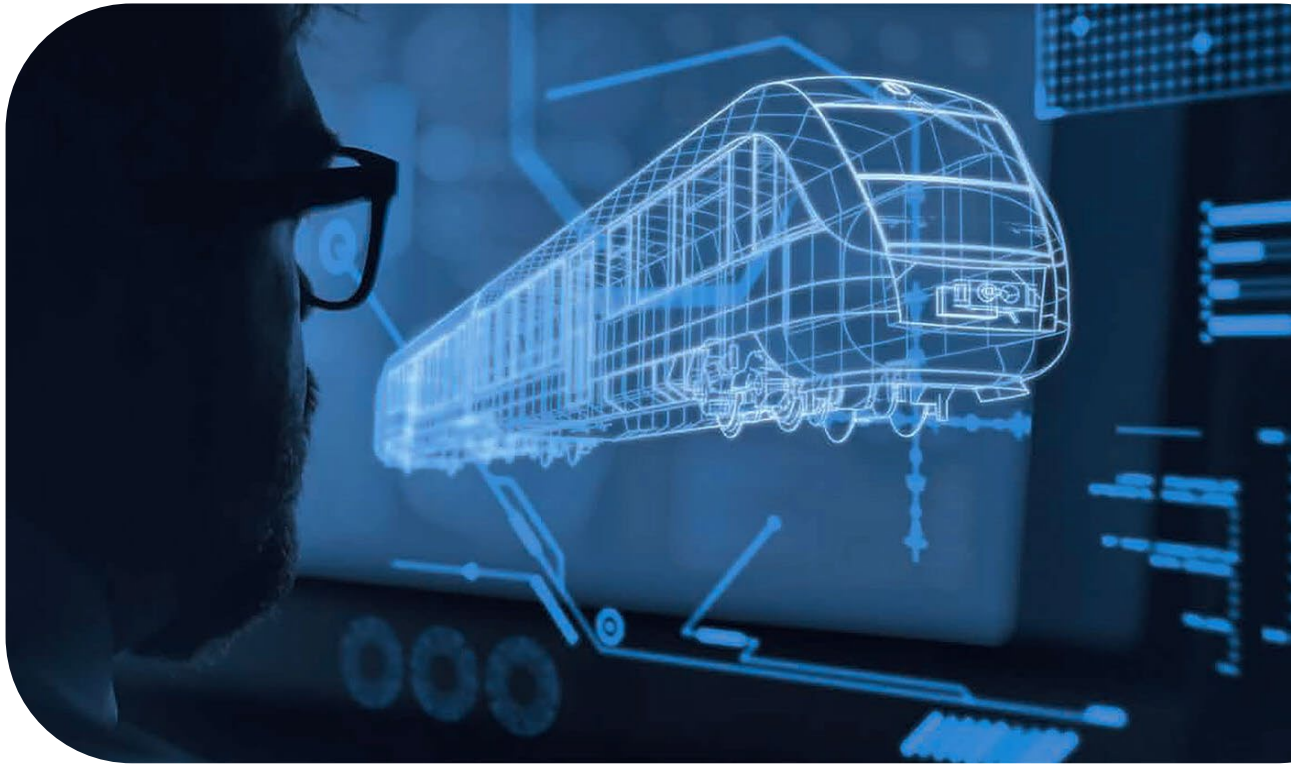
Individuelle Ebene – Stakeholder



Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Unternehmen: Durch strikte Trennung von Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) und Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) entstehen viele Schnittstellen. Gute Zusammenarbeit ist essenziell für erfolgreiche Umsetzung von vollautomatisiertem Zugbetrieb.
- Personal: Berufsanforderungen ändern sich; Weg von klassischen Tf Aufgaben hin zu dezentraler Überwachung und Koordination, Kundenservice, Wartung und Instandhaltung
- Nutzer: Sicherheit und Vertrauenswürdigkeit der ATO-Technologie müssen kommuniziert werden, um Akzeptanz bei Nutzenden zu sichern



Bildquelle: mtu-solutions

Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene
Deployment of Autonomous Trains in Rail Transportation: Current Trends and Existing Challenges

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

RAHMENBEDINGUNGEN

Technologische Ebene

Quelle: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Viele Altsysteme sind in Deutschland noch in Betrieb. Neue Entwicklungen sollen nur in Einklang mit ERTMS/ ETCS erfolgen (noch nicht flächendeckend eingeführt).
  - Strategie: Anpassung an aktuelle Infrastruktur, gleichzeitig geringer Weiterentwicklungsaufwand
  - Eine geeignete Migrationsstrategie muss gefunden werden.
- Fahrwegüberwachung und Ableitung von Handlungsreaktionen müssen mit ATO-System mindestens Sicherheitsstandard mit Tf entsprechen.
  - Hinderniserkennung (Interpretationsspielraum, welche Objekte Tf aus welcher Entfernung erkennen kann)
  - Das System muss nachweislich unter allen Randbedingungen funktionieren (Wetter, Laub, Mischverkehr).

Bildquelle: Pilz- The Spirit Of Safety

Vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren auf der Schiene

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

Kompetenznetzwerk
automatisierte und
vernetzte Mobilität
innocam.NRW

03 TECHNOLOGIE

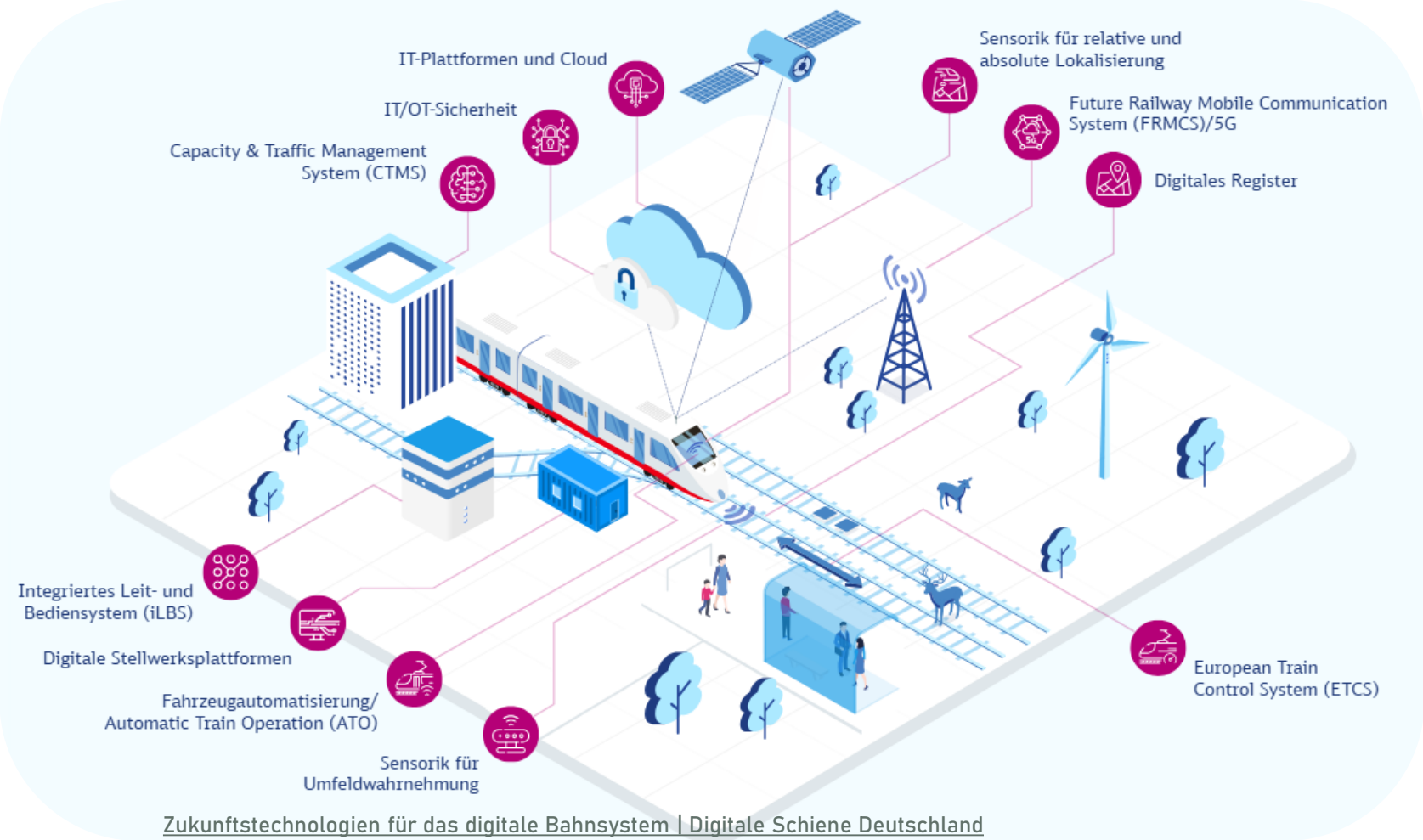
BEGRIFFE UND TECHNOLOGIEN

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

Übersicht über zentrale Technologien

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW



Zukunftstechnologien für das digitale Bahnsystem | Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

ATO - Aufgabenverteilung bei verschiedenen Automatisierungsgraden

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	GoA1	GoA2	GoA3	GoA4
Fahraufgabe	Triebfahrzeug-führende	Automatisch	Automatisch	Automatisch
Fahrgastwechsel	Triebfahrzeug-führende	Triebfahrzeug-führende	Zugpersonal	Automatisch
Streckenbeobach-tung	Triebfahrzeug-führende	Triebfahrzeug-führende	Automatisch	Automatisch
Störfallmanage-ment	Triebfahrzeug-führende	Triebfahrzeug-führende	Zugpersonal	Zentrale

Quelle: Automatic Train Operation (ATO) | Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

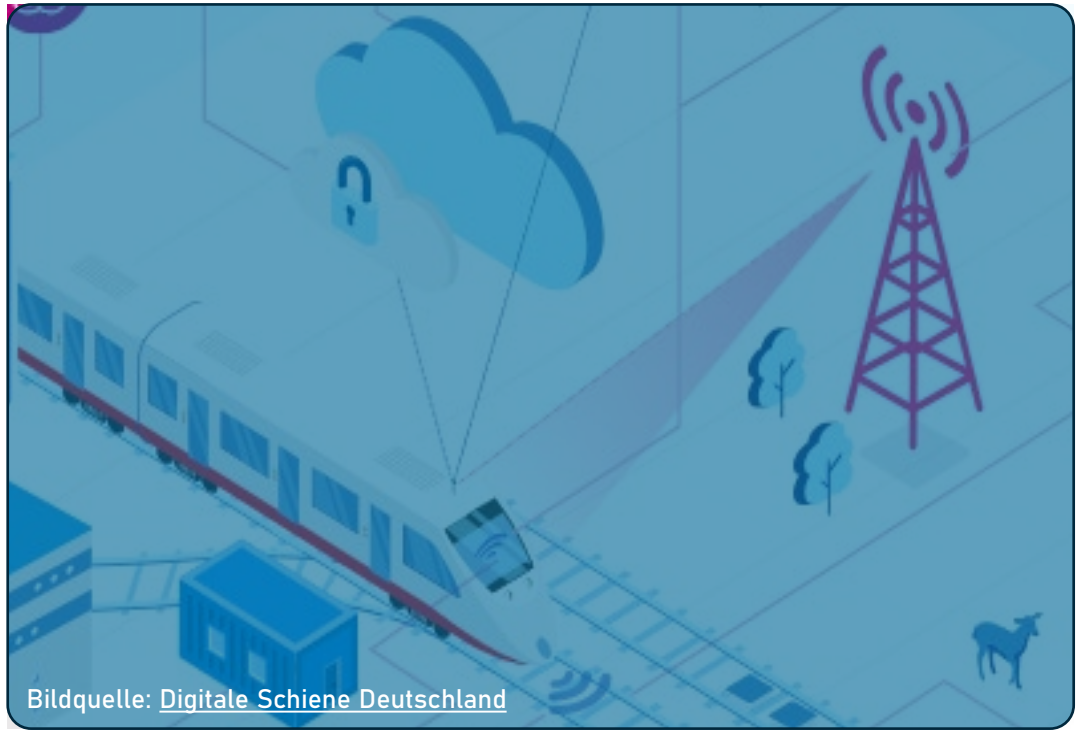
TECHNOLOGIE

Future Railway Mobile Communication System (FRMCS) / 5G

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Der Bahnfunkstandard FRMCS, basierend auf 5G-Technologie, soll das bisher verwendete 2G-basierte GSM-R als robuste Echtzeitübertragung ersetzen.
- FRMCS unterstützt Datendienste wie ETCS und automatisierten Fahrbetrieb (ATO).
- Für das Design von FRMCS wurden zwei wichtige Bedingungen festgelegt:
  1) Entkopplung der Kommunikationsfunktionen der Plattform von der bahnspezifischen Applikation (Systeme können unabhängig voneinander aufgerüstet werden)
  2) Nutzung von standardisierten, handelsüblichen Komponenten (Kosteneffizienz)

FRMCS, also a Rail Digitalization Enabler
FRMCS/5G-Datenkommunikation | Digitale Schiene Deutschland
Digitale Schiene Deutschland- Zukunftstechnologien für das Bahnsystem.pdf



Bildquelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

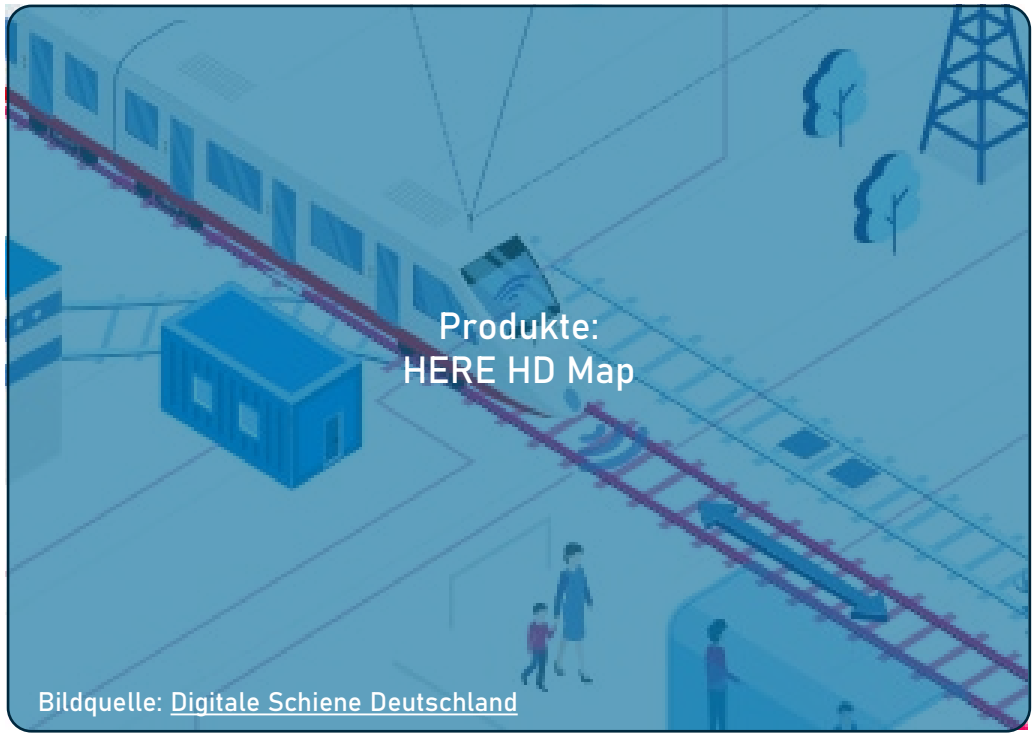
TECHNOLOGIE

Digitales Register

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Das Digitale Register (DR) soll eine einheitliche Datengrundlage für den digitalen Bahnbetrieb bilden. Diese hochgenauen, realen Referenzdaten werden genutzt, um die erhobenen Daten mit diesen abzugleichen.
- Die 3D-Daten werden durch Lidar-Punktwolken erzeugt. Detektierte Objekte werden klassifiziert, präzisiert und gelabelt und wandern ins Digitale Register. Auf Grundlage dieser Daten wird eine präzise, hochauflösende digitale Karte erstellt, welche für hoch- und vollautomatisiertes Fahren benötigt wird.

Digitales Register | Digitale Schiene Deutschland
Digitale Schiene Deutschland- Zukunftstechnologien für das Bahnsystem.pdf



Bildquelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

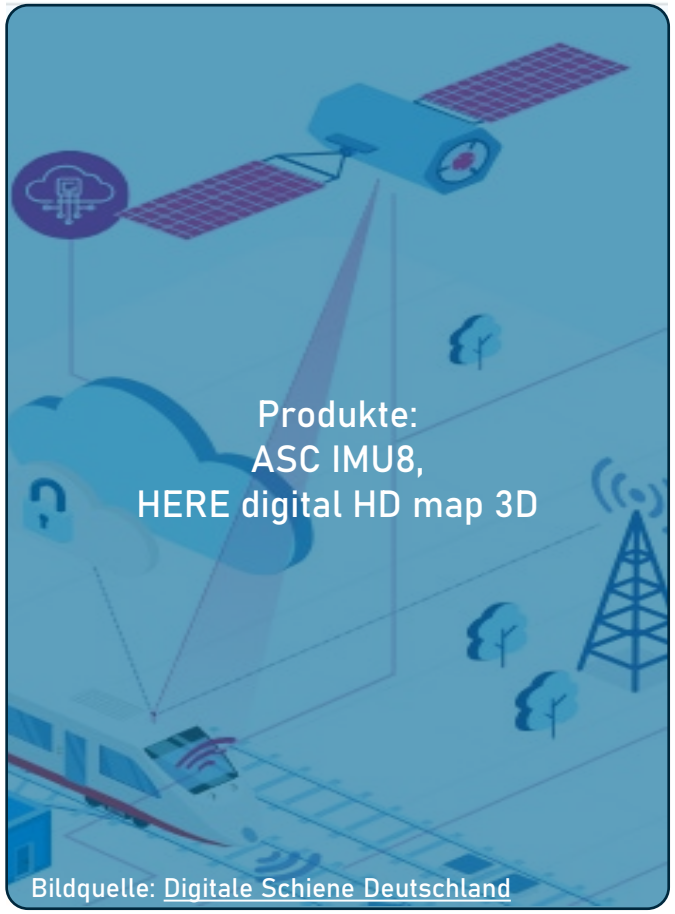
TECHNOLOGIE

Sensorik für relative und absolute Lokalisierung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Für die präzise und sichere Ortung von Zügen müssen verschiedene, unabhängige Ortsmessungen durchgeführt werden.
- Status quo: Zur relativen Lokalisierung werden Sensoren zur Geschwindigkeits- und Wegmessung (Odometrie) verwendet. Absolute Lokalisierung wird durch Balisen (infrastrukturseitige Kommunikationseinrichtungen) im Gleis realisiert.
- Exaktere absolute Lokalisierung wird benötigt, um Kapazitäten auf Bestandsstrecken erhöhen zu können.
- Zukünftig können für die absolute Lokalisierung auch Sensoren wie LiDARe eingesetzt werden. Der Abstand zu Landmarken wie Oberleitungsmasten wird gemessen und mittels hochauflösender Digitaler Karte eine präzise Ortung realisiert.
- Ergänzend wird hochgenaue Satellitennavigation (GNSS) zur absoluten Lokalisierung genutzt.

LiDAR based Landmark and Odometry fusion for precise rail localization without additional infrastructure
Sensor system for development of perception systems for ATO
Sensorik für relative und absolute Lokalisierung | Digitale Schiene Deutschland



Bildquelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

Sensorik für Umfeldwahrnehmung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Für die Umfelderkennung kommt hochperformative Sensorik (Kamera, Lidar, Radar) am und im Fahrzeug zum Einsatz.
- Kameras für Nahbereich (entsprechend Sichtbereich der Tf) und große Sichtweite ermitteln Bilddaten und Tiefenwerte
- Lidar-Sensoren scannen das Sichtfeld mit Lasertechnologie und dienen der Objektklassifizierung.
- Infrarotkameras ermöglichen die Wahrnehmung selbst bei schlechten Lichtverhältnissen.
- Radarsensoren, um die relative Geschwindigkeit und Distanz eines Objekts zu ermitteln.
- Die Sensorrohdaten werden in einem Serversystem verarbeitet und mit Optimal-Bildern verglichen
- Die Umfeldwahrnehmung bildet zusammen mit Automatic Train Operation (ATO) den wichtigsten Baustein für vollautomatisiertes, fahrerloses Fahren.

Sensor system for development of perception systems for ATO
Sensorik für Umfeldwahrnehmung | Digitale Schiene Deutschland

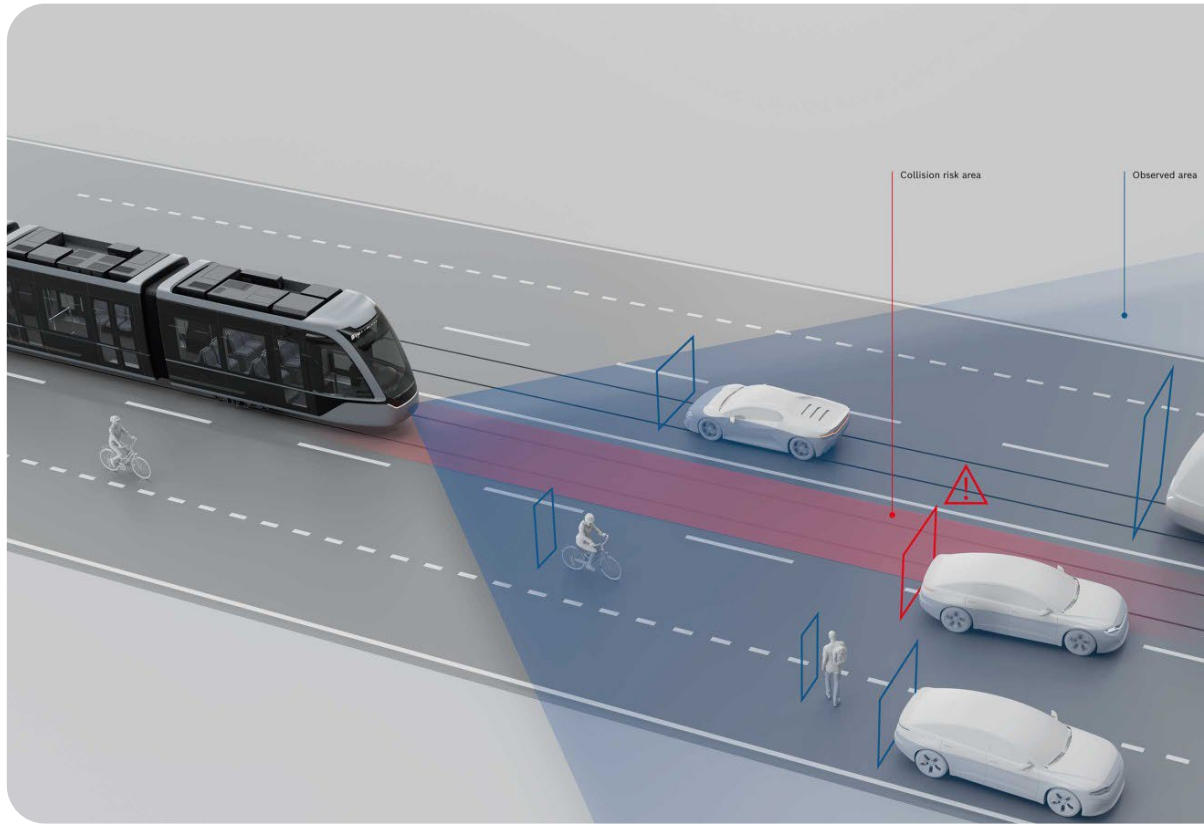
Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

Fahrerassistenzsysteme

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Assistenzsysteme dienen als Sensorbasierte Unterstützung der Tf, um diese zu warnen, und greifen nur im absoluten Notfall selbst ein. Verbreitete Assistenzsysteme sind:
  - Kollisionsschutz- und Emergency Brake-Assistent: Erkennt Hindernisse im Fahrbereich, warnt Fahrende und führt im Notfall eine Notbremsung durch.
  - Toter-Winkel Assistent: Erkennt Hindernisse im toten Winkel (besonders für Straßenbahnsysteme relevant)
  - Müdigkeitswarner: Erkennt Müdigkeit der Fahrenden
  - Navigationsgestützte Fahrprofilvorgabe: Gibt eine energieeffiziente Fahrweise vor. Dafür müssen beim Fahren in hochkomplexen Systemen neben dem Streckenverlauf und Fahrplan auch Streckeninformationen wie das Verkehrsaufkommen über Vernetzung mit Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmenden gegeben sein.
- Insbesondere im Straßenbahnbereich eignet sich die Übertragung von Assistenzsystemen aus dem Automobilbereich.



Bildquelle: Bosch

Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

Fahrerassistenzsysteme (für Straßenbahnen)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	KOLLISIONSSCHUTZ UND EMERGENCY BRAKE-ASSISTANT	TOTER-WINKEL-ASSISTENT	MÜDIGKEITSWARNER	NAVIGATIONSGESTÜTZTE FAHRPROFILVORGABE
Alstom	ODAS™ COMPAS™			
Bosch	Tram forward assist Tram near range assist	Tram flank assist	Tram focus assist	
Cognitive Pilot	Cognitive Tram Pilot			Cognitive Tram Pilot
Siemens	Siemens Tram Assistant			
Stadler	Stadler NOVA Smartsense			Fahrassistenzsystem von Stadler
EYYES	RailEye® Front Collision Warning	RailEye® Blind-Spot Assistant		

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

Fahrzeugautomatisierung – Automatic Train Operation (ATO)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Die ATO-Technologie setzt vorgegebene Anweisungen zum Beschleunigen und Bremsen um. Es werden geringere Reaktionszeiten zwischen Übermittlung und Umsetzung der Fahrbefehle mit geringerer Schwankung ermöglicht als bei manueller Steuerung. Geschwindigkeitsvorgaben werden exakt eingehalten.
- Bei Automatisierungsgraden ab GoA3 (Entfall des Fahrpersonals) liegt die Sicherheitsverantwortung bei einem sicheren System (z.B. Automatic Train Protection).
- Fahrfunktionen wie Auf- und Abrüsten oder Hupen müssen ebenfalls automatisiert werden.

Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Automatic Train Operation (ATO) | Digitale Schiene Deutschland

ATO over ETCS als Schlüssel für mehr Effizienz, Kapazität und Nachhaltigkeit – Erfahrungen und Strategien aus der Praxis

- Fahrzeugseitige ATO-Komponente: Berechnet basierend auf Fahrplaninformationen und Streckendaten das optimale Fahrprofil und regelt Beschleunigungs- und Bremsvorgänge
- Streckenseitige ATO-Komponente: Sammelt die Strecken- und Fahrplandaten von Verkehrsmanagementsystemen und überträgt diese an die ATO-Fahrzeuggeräte.

Bildquelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

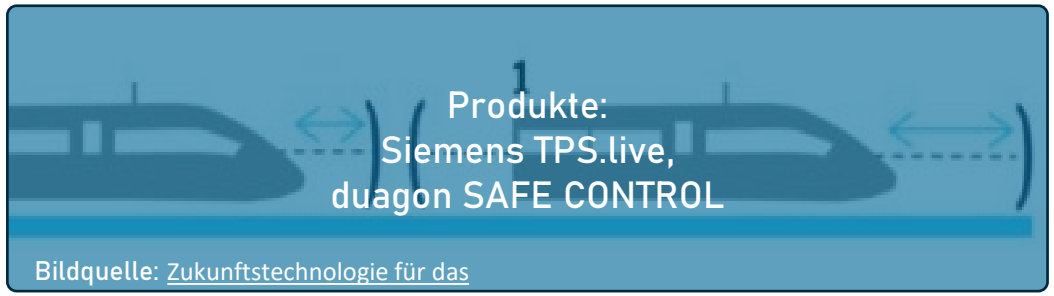
Advanced Protection System (APS)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Heute ist die Strecke in ortsfeste, physikalische Blockabschnitte eingeteilt, welche gesperrt sind bis der sich darin befindliche Zug den Abschnitt verlassen hat.
- Um die volle Streckenkapazität zu nutzen, muss statt einer streckenzentrischen Logik mit festen Blockabständen eine (zugzentrische) Sicherungslogik mit geringeren Abständen eingesetzt werden. Dabei werden Sicherheitsabstände vor und hinter jedem Zug, abhängig von seiner Geschwindigkeit und Bremskurve als Moving Block, eingehalten.
- APS kombiniert Fahrwegsicherung und streckenseitige Zugbeeinflussungskomponenten in einem System.

Digitale Schiene Deutschland- Zukunftstechnologien für das Bahnsystem.pdf

- Das Verkehrsmanagement teilt dem APS Trassenwünsche mit. Das APS prüft ob Fahrwege sicher eingestellt werden können und übermittelt Stellbefehle an die Streckenelemente. Die Fahrerlaubnis (ETCS Movement Authority) wird an den Zug übermittelt.
- Die notwendigen Daten werden vom Digitalen Register und der Leitzentrale bezogen.
- Mit APS reduziert sich die benötigte Infrastrukturausrüstung stark und durch Moving Blocks wird die Kapazität gesteigert.



Bildquelle: Zukunftstechnologie für das

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

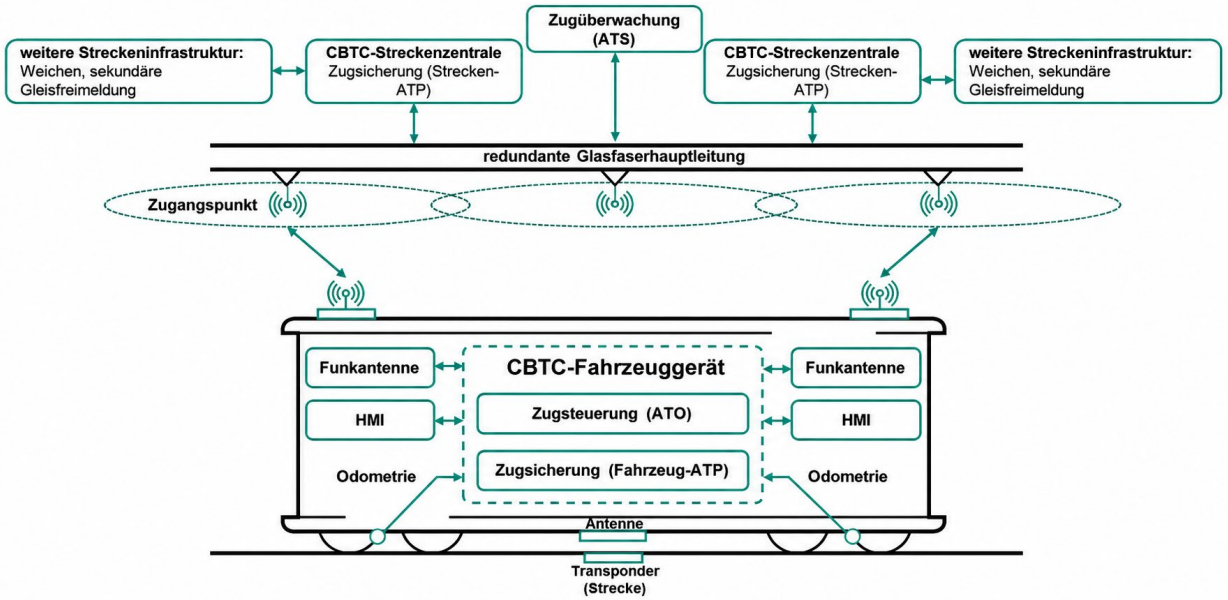
Automatische Zugbeeinflussungssysteme – Automatic Train Control (ATC)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- ATC liegen drei Subsysteme zugrunde, deren Aufgaben von verschiedenen fahrzeug- und streckenseiteigen Komponenten übernommen werden:
- Automatic Train Protection (ATP): Durch Ortung von Fahrzeugen und Abstandsregelungen wird die Sicherstellung des signaltechnisch sicheren Schutzes vor Kollisionen, Geschwindigkeitsüberschreitungen und anderen Gefährdungen gewährleistet.
- Automatic Train Operation (ATO): Ausführung der Funktionen, die bisher von Tf durchgeführt werden. Beispielsweise: Geschwindigkeitsregulation, Zielbremsung, Türsteuerung.
- Automatic Train Supervision (ATS): Überwachung der Fahrzeuge und Regelung des Betriebs und Ablauf im Störfall

A Framework to Define Operational Design Domains for Automated Train Operations

- ATP ist immer zwingend erforderlich, ATO und ATS können in unterschiedlichem Umfang ergänzt werden.



Bildquelle: Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

TECHNOLOGIE

European Train Control System (ETCS)

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- ETCS ist Teil des European Rail Traffic Management System (ERTMS)
- Ziel ist es, bestehende Zugbeeinflussungssysteme durch ETCS zu ersetzen. Dafür müssen auch die Fahrzeuge mit ETCS ausgestattet werden.
- In Deutschland soll ETCS im Level 2 ohne Signale ausgebaut werden. 2024 sind jedoch nur 1,6 % des Bundesschienennetzes mit ETCS ausgerüstet.
- Das Stellwerk meldet die Strecke frei und gibt diese Information an die ETCS-Zentrale (RBC). Das RBC vergibt eine Fahrerlaubnis basierend auf der Freimeldung und Streckendaten wie Höchstgeschwindigkeit, Neigung und der Position anderer Züge. Die Erlaubnis wird per Funk an das ETCS-Fahrzeuggerät übertragen.

European Train Control System (ETCS) | Digitale Schiene Deutschland
Digitale Schiene Deutschland- Zukunftstechnologien für das Bahnsystem.pdf
ETCS: Nur 1,6 Prozent der Schienenwege ausgerüstet | Allianz pro Schiene
ETCS Levels and Modes
Jörn Pachl: Systemtechnik des Schienenverkehrs 7.Auflage

- Das ETCS-Fahrzeuggerät berechnet die sichere maximale Geschwindigkeit. Außerdem übermittelt es seine aktuelle Position an das RBC, welche aktuell anhand von im Gleis verbauten Balisen, deren exakte Position bekannt ist, ermittelt wird.

Bildquelle: Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

Kompetenznetzwerk
automatisierte und
vernetzte Mobilität
innocam.NRW

04 SYSTEMAUFBAU

VOLLBAHN, METRO UND STRASSENBAHN

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

SYSTEMAUFBAU

Vollautomatisiertes Fahren in geschlossenen Systemen - Metro

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Strecke: Fest im Gleis installierte Balisen dienen der exakten Positionsbestimmung und direkten Kommunikation mit den Zügen. Neben Positionsdaten des jeweiligen Zugs und der anderen Fahrzeuge im Netz werden auch Informationen über Geschwindigkeits-begrenzung, Signalzustände oder Baustellen übermittelt.
- Fahrzeug: Die Züge werden mit automatischer Zugsicherung (ATP) und automatischer Zugsteuerung (ATO) ausgerüstet. Das ATP-System errechnet und kontrolliert Zugabstände und Geschwindigkeiten. Das ATO-System ist für das automatisierte Fahren zuständig.
- Da ständig Informationen zwischen allen Zügen und der Infrastruktur ausgetauscht werden, wird das Gesamtsystem Communication Based Train Control (CBTC) genannt.
- Bahnsteig: Am Bahnsteig muss der Fahrgastwechsel gesichert werden. Dafür können Bahnsteigtüren installiert oder der Bereich per Sensorik überwacht werden.
- In geschlossenen Systemen ist kein Hinderniserken-nungssystem notwendig, sofern unvorhergesehene Hindernisse ausgeschlossen werden können.

Vollautomatische Metro: Autonome Mobilität in Europa

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

SYSTEMAUFBAU

Vollautomatisiertes Fahren in offenen Systemen - Vollbahn

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Ausführung: Automatisierung im Vollbahnbereich kann mit „ATO over ETCS“ realisiert werden. Das ATO-System berechnet das optimale Fahrprofil und setzt dieses um. Ein Zugsicherungssystem übernimmt die Sicherung des Fahrwegs sowie die Zugbeeinflussung, z.B. auf Basis von ETCS. ETCS ist dabei für die Überwachung und Einhaltung von Zugabständen und Geschwindigkeiten verantwortlich.
- Kameras und Sensoren sind für die Beobachtung des Gleisumfelds, die Hinderniserkennung und eine hochgenaue Lokalisierung verantwortlich.
- Datenbasis: Im Hintergrund muss eine einheitliche Datenbasis vorhanden sein, die reale Referenzdaten für den Abgleich zur Verfügung stellt.
- Anwendung: In Europa bisher aufgrund offenen Systems nicht im Regelbetrieb. Beispielanwendung: AutoHaul, Australien.

https://digitale-schiene-deutschland.de/Downloads/189_208_Fiack_etal.pdf

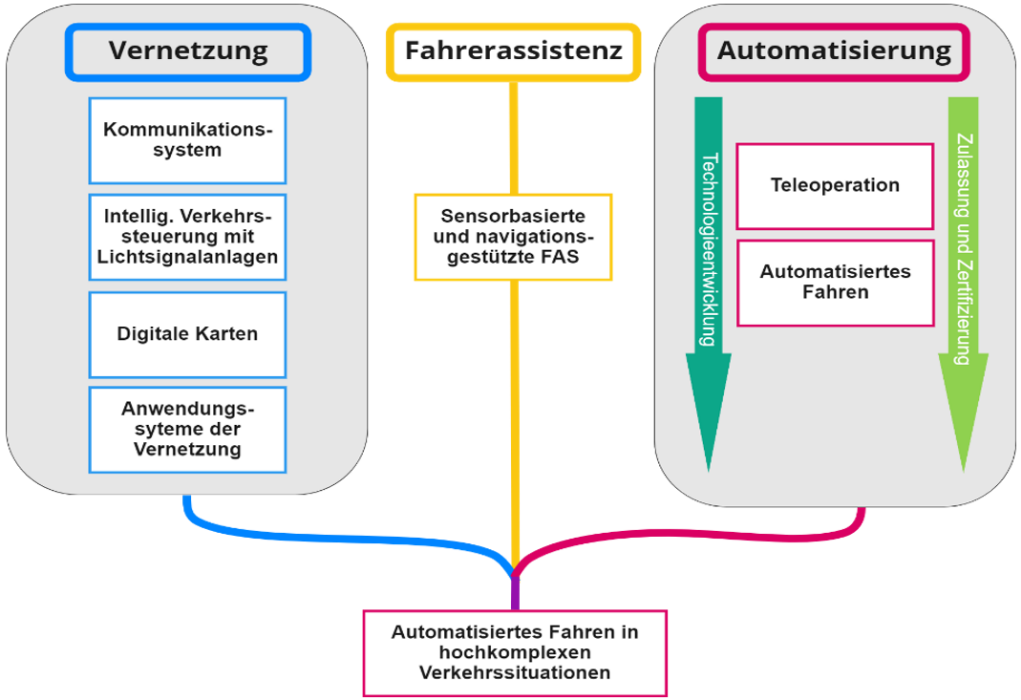
Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

SYSTEMAUFBAU

Vollautomatisiertes Fahren in hochkomplexen Systemen - Straßenbahn

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Im hochkomplexen Straßenbahnsystem ist automatisiertes Fahren aktuell nicht realisiert, weshalb hier kein einheitliches System vorgestellt werden kann.
- Fahrerassistenzsysteme (FAS) können als Vorstufe zur vollständigen Automatisierung betrachtet werden. Auch hier dienen Sensor- und Kameradaten als Grundlage der Umfeldwahrnehmung und (Eigen-) Lokalisierung. Allerdings dienen FAS in erster Linie der Unterstützung von Fahrenden und übernehmen im Gegensatz zu ATO keinerlei Fahrfunktionen.
- Die Vernetzung mit Infrastruktur und anderen Verkehrsteilnehmenden (siehe innocam.NRW Marktbeobachtung *Vernetzte Mobilität auf der Straße*) stellt hier eine wichtige Bedingung zur Realisierung vollständiger Automatisierung dar. Sie ermöglicht die Nutzung von Sensordaten anderer Teilnehmender, um Objekte außerhalb des Sichtfelds zu berücksichtigen, die Erstellung einer einheitlichen Digitalen Karte und so eine effiziente Verkehrsflusssteuerung.



Quelle: BMV - Roadmap Straßenbahnautomatisierung – DZSF--Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung Überblicksforschung veröffentlicht

Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

Kompetenznetzwerk
automatisierte und
vernetzte Mobilität
innocam.NRW

05 UMSETZUNG

REALISIERTE ANWENDUNGEN, PLANUNG, FORSCHUNGSPROJEKTE

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Zugsicherungssysteme, Lokalisierung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	ETCS (Vollbahn) (für ATO over ETCS genutzt)	CBTC (Straßenbahn)	Sensorik für Lokalisierung, Digitale Karte	Geolokalisierung (GNSS, GPS)
Technologiereife (*Technologiereife in Deutschland falls abweichend)	Einsatz im Regelbetrieb	Einsatz im Regelbetrieb	Erprobung	Erprobung
Projekte	AutoHaul, S-Bahn Hamburg, Digitaler Knoten Stuttgart (*in Planung)	RUBIN, ATO RhW etc.	Sensors4Rail	TASV, CLUG
Produktbeispiele	Alstom ONVIA, CAF Auriga, Hitachi Rail, Siemens Trainguard ETCS, Stadler GUARDIA	Alstom URBALIS CBTC, CAF OPTIO, Hitachi Rail, Siemens Trainguard MT, Stadler NOVA Pro	ASC IMU8, HERE digital HD map 3D, Siemens	Hitachi Rail, iMAR iRailLoc-C, Siemens

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

ATO, Umfelderkennung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	ATO	Remote Train Operation	(Zugseitige) Sensorik Umfeldwahrnehmung	(Streckenseitig)Sensorik Umfeldwahrnehmung
Technologiereife (*Technologiereife in Deutschland falls abweichend)	Einsatz im Regelbetrieb	Erprobung	Einsatz im Regelbetrieb (*Erprobung)	Einsatz im Regelbetrieb
Projekte	AutoHaul, S-Bahn Hamburg, Digitaler Knoten Stuttgart (*in Planung)	ARTE, Automatic Train Operation Technologies for Cargo, EDITA	EDITA, Automated Train, ARTE, TASV, Sensors4Rail, etc	RUBIN, AutoHaul, EDITA
Produktbeispiele	Alstom, CAF, Hitachi Rail, Siemens Mobility, Stadler	Alstom	Bosch Mainline & Urban Forward Assist, Siemens Mainline Assistant und ODS-T	Siemens ODS-P

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Intelligente Fahrgastsicherheit

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	Türsensorik	Bahnsteig (Kamera, Radar)	Innenraum
Technologiereife (*Technologiereife in Deutschland falls abweichend)	Einsatz im Regelbetrieb	Einsatz im Regelbetrieb	Erprobung
Projekte	RUBIN, S-Bahn Hamburg	RUBIN	TASV
Produktbeispiele		Hitachi Rail, EYYES RailEye® Intelligent Platform Monitoring, Siemens ODS-P	Alstom Smart CCTV, Hitachi Rail, EYYES RailEye® Intelligent CCTV, Siemens Intelligent CCTV

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Güterverkehr – AutoHaul

Regelbetrieb

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Australien

in Betrieb seit 2018 auf einer Strecke von 1.700km

Autonome Schwerlastlokomotiven in GoA4 mit ATO over ETCS

An Bord Kollisionserkennungssystem integriert, Videomaterial der on-bord Kamera kann jederzeit remote eingesehen werden

Die insgesamt 42 Bahnübergänge werden durch Lasersysteme gesichert und von Mitarbeitenden aus der Ferne videoüberwacht. In dem eher abgelegenen Gebiet ist kaum mit Hindernissen auf der Strecke zu rechnen.

Quelle: AutoHaul : Hitachi Review

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Güterverkehr – SNCF TASV – Autonomer Güterzug

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Frankreich

Bereits getestet

Güterzuglokomotive für den Betrieb mit Fahrerassistenz-systemen in GoA2 aufgerüstet (GoA4 vorgesehen)

Remote Operation als Backup im Ausnahmefall, Geolocation für genaue Positionserfassung, Kameras und Sensoren, um Signale zu lesen und Hindernisse zu erkennen. Besonders die visuelle Wahrnehmung der Umgebung und die schnelle Ableitung von Reaktionen sind relevant für einen zukünftigen Betrieb in GoA4.

Quelle: SNCF

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Güterverkehr – Automatic Train Operation Technologies for Cargo

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Deutschland
- Erprobung seit Oktober 2025 auf der niederländischen Betuweroute
- GoA2
- ATO-System inklusive Hinderniserkennung und Remote Train Operation (Systemüberwachung wird weiterhin von einem Menschen durchgeführt, jedoch aus der Ferne (GoA2))

Quelle: DB Cargo: Startschuss für automatisierte Lok im Schienengüterverkehr

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Fernverkehr – Jōetsu Shinkansen

Planung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Japan

2021 GoA4 Test auf dem Joetsu Shinkansen, geplanter Einsatz im Regelbetrieb bis Mitte 2030

GoA2-3 (mit Passagieren und Personal an Bord, kann im Notfall schnell eingreifen), GoA4 auf dem Weg in die Abstellung

Damit will JR East besonders dem Personalmangel begegnen. Da das Shinkansen Netzwerk ein abgetrenntes Netz ist und mit Bahnsteigtüren Menschen vom illegalen Betreten abgehalten werden können, wäre auch ein GoA4 Betrieb mit Passagieren an Bord möglich. Aufgrund großer Distanzen zwischen den Stationen hätte dann jedoch das Personal im Störfall eine lange Anfahrt.

Quelle: Driverless Shinkansen Japan bullet trains to launch by 2028

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Regionalverkehr– EDITA

Regelbetrieb

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Tschechien

Seit 2025 ist der Zug in Betrieb

ATO over ETCS, GoA2 – Tf aus rechtlichen Gründen an Bord; Geplant GoA4

Autonomer Regionalzug für wenig befahrene Verbindungsstrecken. Wegseitige Systeme: ADEROS Systeme zur Erkennung von Hindernissen und risikoreichen Situationen an Bahnübergängen, Supporting Trafic System (managend Karten und Missionen des Zugs), Diagnostic System (leitet Informationen über Streckenintegrität an Zug weiter), Remote Zugüberwachung und Kontrolle

Fahrzeugseitige Systeme: VEXA Train Expert Control System (Entscheidungsfindung, Aufgaben des Tf übernehmen), Objekt- und Hinderniserkennung (Sensordaten mit KI auswerten), Umweltwahr-nehmung (Wetterkonditionen, Geräusche, Rauch, etc. überwachen)

Quelle: Autonomer Zug in Tschechien | Eisenbahn Magazin

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Regionalverkehr– Digitaler Knoten Stuttgart

Planung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Nachrüsten von Regionalzügen und S-Bahnen (und Strecken) mit ATO over ETCS bis Ende 2030

Im Bereich des Digitalen Knoten Stuttgart ist Fahren mit GoA2 möglich (Tf weiterhin an Bord)

Hochautomatisiertes Fahren in offenen Systemen

Streckenseitiges ATO-System (Fahrplan- und Streckendaten bereitstellen), fahrzeugseitiges ATO-System (optimales Fahrprofil ermitteln, Umsetzung sobald Fahrerlaubnis erteilt und Tf automatischen Modus aktiviert), fahrzeugseitiges ETCS

Quelle: Hochautomatisiertes Fahren im Digitalen Knoten Stuttgart | Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Regionalverkehr– ARTE

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Erste automatisierte Testfahrten 2023

Zwei Züge von Alstom mit ATO over ETCS ausgestattet

GoA3 im regulären Betrieb, GoA4 im Rangierbetrieb

Für den Notfall Remote Train Operation (RTO) installiert

Arbeitsweise der Tf imitieren: Hinderniserkennung und Signale lesen (Bilder von Kameras und Sensoren mit Optimal-Bild der Strecke vergleichen)

Aufrüsten von bereits im Betrieb befindlichen Zügen ermöglicht nahtlosen Übergang

Quelle: Züge ohne Lokführer? Alstom präsentiert automatisierte Bahn | ndr.de

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Regionalverkehr – Train Autonome – Service Voyageurs

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Frankreich

Erster Test im März 2021: Zug konventionell von Tf gefahren, während das ATO-System im Hintergrund Informationen sammelt.

Erste Fahrt in GoA2: Mai 2021 unter Aufsicht von Tf

Erfolgreiche Tests in GoA2, geplant GoA4

TER-Zug vom Typ Regio2N mit Sensoren (Kamera, Radar, Lidar) aufgerüstet

Im Anschluss an diese erste Testphase wird der Zug im regulären Betrieb eingesetzt. Dabei arbeitet das ATO-System im Schattenmodus, um weitere Daten zu sammeln, während der Zug konventionell von Tf gesteuert wird

System zur Fahrgastsicherheit entwickelt um einen Betrieb ohne Personal zu ermöglichen.

Quelle: https://voie-libre.com/les-projets-de-trains-autonomes/

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Regionalverkehr– Automated Train

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Projektabschluss und Präsentation 2026

ATO over ETCS Level 2

Autonome Bereitstellungs- und Abstellungsfahrten, automatisiertes Auf- und Abrüsten von Zügen in GoA4

Aufgerüstetes Siemens Mireo Fahrzeug: Automatisches Vorbereiten des Zugs (inklusive Selbsttests), Fahrerlose Fahrt zum Startbahnhof max. 40km/h (Wahrnehmung der Fahrspur, Digitale Karte und Echtzeit-Lokalisierung, Objekterkennung und Ableitung von Reaktionen)

Zug der S-Bahn Stuttgart: Hinderniserkennung im Realbetrieb operiert im Schattenmodus

Quelle: Deine Bahn Artikel

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Urbane Anwendungen – S-Bahn Hamburg

Regelbetrieb

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Regelbetrieb seit 2021

ATO over ETCS

Auf entsprechend ausgebauten Strecken Betrieb in GoA2 (Tf in überwachender Funktion), Bereitstellung der Züge (remote überwacht) autonom in GoA4

System agiert wie ein Autopilot, Tf kann jederzeit Kontrolle übernehmen

Infrastrukturseitige Aufrüstung: elektronisches Stellwerk, Signaltechnik und Balisen, ATO-Computer

Die 4 Fahrzeuge sind mit ATO- und ETCS-Computer und Radaren aufgerüstet, für automatisiertes Öffnen und Schließen der Türen sind Sensoren integriert.

Quelle: Digitale S-Bahn Hamburg | Digitale Schiene Deutschland

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Vollbahn: Urbane Anwendungen – RUBIN U-Bahn Nürnberg

Regelbetrieb

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Vollautomatische U-Bahn seit 2008 in Betrieb

GoA4 mit CBTC und Überwachung aus der zentralen Leitstelle für Notfälle

Kamera und Radarsysteme überwachen und sicher den Bahnsteig, unbefugtes eindringen von Personen/ Gegenständen in Tunnel und Gleisbett werden erkannt und Bremsung eingeleitet

Intelligente Türen erkennen eingeklemmte Personen oder Gegenstände, Abfahrt wird verhindert

Quelle: Echtes Pionierstück: Nürnbergs automatische U-Bahn – Digitales Nürnberg

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Automatisierte Zahnradbahn
- Rheineck–Walzenhausen line (ATO RhW)

Planung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Schweiz

Geplante Eröffnung der ersten GoA4 Bahn in offener Umgebung für 2027

GoA4 mit CBTC

Beurteilung und Bewertung von Gefahren als wichtiger Bestandteil

Sicherheitseinrichtungen an Stationen, Bahnübergängen und auf freier Strecke

Bahn mit Kollisionswarnsystem ausgerüstet

Quelle: Appenzellerbahn

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

EXKURS

Lokalisierung mittels Satellitennavigation – fahrzeugseitige Zuglokalisierung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Certifiable Localisation Unit with GNSS (CLUG)

- Fahrzeugseitige Zugortung über GNSS (Global Navigation Satellite System) soll Qualität und Genauigkeit der Lokalisierung verbessern.
- Mögliche Reduzierung streckenseitiger Lokalisierungselemente und Erhöhung der Zuverlässigkeit
- Bewertung der Sicherheitsanforderungen und Leistungsfähigkeit
- Verfahren zu Zertifizierung des Lokalisierungssystems
- Machbarkeit durch CLUG-Ansatz beweisen: Fahrzeugseitige Sensoren (GNSS, Inertial-, Geschwindigkeitssensoren), digitale Karte, European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) strahlt Korrekturdaten aus

Quelle: https://clugproject.eu/en

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

EXKURS

Prüfstandards und Methoden für den Einsatz von KI in fahrerlosen Zügen

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Safe.trAIn: Fraunhofer Institute for Cognitive Systems

- KI als günstige Methode zum Erreichen von Automatisierung verglichen mit Ausbau von Infrastruktur
- KI-basierte Ansätze für fahrerlose Züge, insbesondere zur Umfelderkennung
- Ziel: Prüfstandards und Methoden für Einsatz von KI-Systemen in fahrerlosen Zügen
- Einklang mit Sicherheitsnachweisen, Testverfahren, Prüfmethoden
- Entwicklung für Standards und Normen (DIN DKE SPEC 99002 “Terminology – AI in railway applications”)

Quelle: safe.trAIn

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Urbane Anwendungen – Straßenbahn

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

	Kollisionsschutz-Assistent	Vernetzung und Priorisierung	Automatisierung im Linienbetrieb	Automatisierung im Depot
Technologiereife (im Straßenbahnbereich)	Einsatz im Regelbetrieb	Erprobung	Prototypischer Einsatz	Prototypischer Einsatz
Projekte	InnoTram	Frankfurt MIND+, Rail2X, VERONIKA	Siemens Autonomous Tram, MAAS	AStriD
Produkte	Bosch Tram Forward Assistant, Cognitive Tram Pilot, Siemens Tram Assistant collision warning system, Stadler NOVA Smartsense	Sitraffic ESCoS, MK5 OBU Cohda Wireless,		Stadler NOVA Pro Depot GoA4

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Straßenbahn: Digital Train Control und Frankfurt MIND+

Planung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

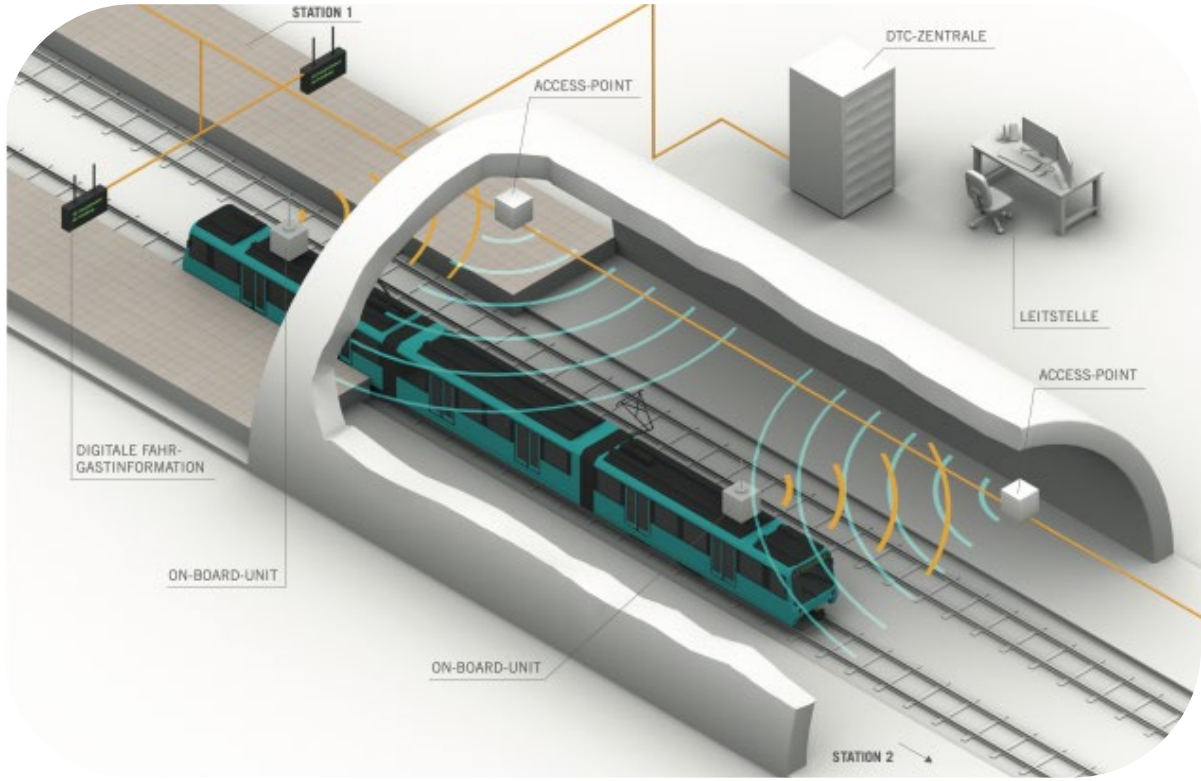
Deutschland

Probebetrieb seit 2025

Im Tunnel: Automatisierung bis GoA4 mit CBTC, ermöglicht Moving Blocks

Bei Ausfahrt aus dem Tunnel übernimmt Tf Steuerung und Verantwortung, unterstützt von Fahrerassistenzsystemen

Außerhalb des Tunnels: Vernetzung von Verkehrsteilnehmenden (Individual- und öffentlicher Verkehr) und Ampelanlagen mit C-ITS-Technologie



Quelle: DTC - Innovation VGF

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Straßenbahn: Entwicklungsprojekte

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Siemens Autonomous Tram:

Deutschland

Tests auf einer 13km langen Strecke in Potsdam

GoA2 (Langfristig bis GoA4)

Anwendbarkeit von Lösungen für automatisiertes Fahren aus Automobil Branche

Automatisierung von Fahrfunktionen: Beschleunigen und Bremsen, Positionsbestimmung (GNSS, Odometrie und Beschleunigungssensoren), Objekt und Signalerkennung und Handhabung (Kamera, Radar, Lidar), Berücksichtigung anderer Verkehrsteilnehmenden (Fußgänger:innen, PKW)

Keine Vernetzung mit der Infrastruktur

AStriD:

Deutschland

Automatisierter Betrieb im Depot (geplante Marktreife bis 2026)

Kollisionswarnung, Fahrautomat (GoA2), Depotmanagementsystem (GoA4)

Depot stellt geschlossenes System dar und reduziert so die Komplexität der Fahrsituation

Reduktion des Personalaufwands für Rangieren, Auf- und Abrüsten der Bahnen

Lokalisierung der Bahnen mittels Sensoren und infrastrukturseitiger Unterstützung inklusiver digitaler Karte

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Straßenbahn: MAAS/ InnoTram

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Deutschland

Straßenbahn sammelt im Regelbetrieb Sensor und Kameradaten

Teleoperation als Ergänzung zur Automatisierung, Eingriff von Fachpersonal aus der Ferne bei Fehlermeldung

Teleoperation für Rangieren und Abstellfahrten

Assistenzsysteme durch Einsatz von Technologie aus dem Automobil Bereich: Front und Seitenkollisionswarnung, Notbremsassistent, Head-up Display

Projektergebnis: Bremsassistent in neuen Straßenbahnen der Baureihe ST15 verbaut (kein Eingriff in Fahrzeugsteuerung)

Quelle: Forschung für die Straßenbahn der Zukunft – TU Darmstadt

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

UMSETZUNG

Straßenbahn: Forschungsprojekt

Forschung

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Rail2X:

Deutschland

Abschluss 2020

Übertragung der V2X Technologie auf Eisenbahn durch aufrüsten eins Fahrzeugs

Kommunikationsstandard ITS-G5

Use-Cases: Übermittlung von Diagnosedaten Zug und Infrastruktur (Wartung und Instandhaltung), Datenaustausch Bahnübergang und Straßenverkehr (An- und Abmeldung kreuzender Autos), Datenaustausch Zug und Haltepunkt (Anfahrt/ Durchfahrt an Bedarfshaltestellen)

VERONIKA:

Deutschland

Abschluss 2019

V2X basiertes Fahrerassistenzsystem

Anmeldung und Priorisierung von ÖPNV an Ampeln

Kommunikationsstandard ITS-G5

Aufrüstung von Straßenbahnen und Bussen sowie signalisierten Knotenpunkten

Fahrzeug fordert Freigabe an, Schaltzeitdaten werden Tf in VERONIKA-Smartphone App angezeigt, Geschwindigkeitsvorschlag für Ankunft bei Grünphase

Schalt- und Ankunftszeitprognose noch zu ungenau

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

06 FAZIT

Gefördert von
Ministerium für Umwelt,
Naturschutz und Verkehr
des Landes Nordrhein-Westfalen

FAZIT

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

- Automatisierung im Schienenverkehr ist eine mögliche Lösung, um langfristig eine Verlagerung des Verkehrs von der Straße auf die Schiene zu ermöglichen. Besonders hervorzuheben sind hierbei die realisierbare Kapazitätserhöhung (durch beispielsweise Moving-Blocks), die Effizienzsteigerung sowie der geringere Personalbedarf.
- Die notwendigen Technologien sind bereits hinlänglich bekannt und werden in mehreren Forschungsprojekten erprobt und weiterentwickelt. Eine größere Herausforderung besteht für Deutschland in der aktuellen Rechtslage.
- Die Unterscheidung unterschiedlich komplexer Verkehrssituationen (geschlossenes, offenes (wenig, viel befahren) oder hochkomplexes System) ist notwendig und erklärt die verschiedenen Technologien und Systeme, die zum Einsatz kommen.
- Für geschlossene Systeme ist Automatisierung bis GoA4 längst Stand der Technik. In offenen Systemen ist in Deutschland aktuell das Fahren bis GoA2 möglich. Im hochkomplexen Straßenbahnbereich ist eine vollständige Automatisierung bisher nicht realisiert. Hier kommen aktuell als Vorstufe FAS zum Einsatz.
- Ausblick und notwendige Maßnahmen:
  - Um den Betrieb von Zügen ab GoA3, also ohne Tf, zu ermöglichen muss die Rolle der Tf neu definiert werden.
  - Die gegebene Sicherheit von vollautomatisierten Bahnen sowie der Anspruch an die Sicherheit müssen geklärt werden.
  - In Deutschland ist der weitere Ausbau von ETCS für die Realisierung von ATO over ETCS dringend notwendig.

Gefördert von Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen

KONTAKT

Kompetenznetzwerk automatisierte und vernetzte Mobilität
innocam.NRW

Leitung Arbeitskreis Schiene

Christian Frowein
+49 241 8025575
christian.frowein@innocam.nrw

Innovationsmanager

Matthis Hötter
+49 241 8023548
matthis.hoetter@innocam.nrw

Leitung der Geschäftsstelle

Lasse Pipoh
+49 162 4861673
lasse.pipoh@innocam.nrw

Wissenschaftlicher Leiter

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz Eckstein
info@innocam.nrw

Gefördert von
Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen