



DZSF-Projekt: Automatisierte Betriebsfunktionen von Straßenbahnfahrzeugen: Bewertung der Potenziale von Technologien zum vernetzten Fahren

Expertenworkshop
20.10.2021

Tagesordnung

Zeit	Inhalte
13:00 – 13:10	Begrüßung und Teilnehmerliste
13:10 – 13:15	Vorstellung des Projekts und des Konsortiums
13:15 – 13:45	Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1) Begleitende Leitfrage: <i>Was sind die aktuell größten Herausforderungen?</i>
13:45 – 14:30	Arbeitspaket 2: Aufgaben einer Straßenbahn, Automatisierungspotenziale und relevante Querschnittstechnologien Begleitende Leitfrage: <i>Welche Technologien sind potenziell bahnbrechend?</i>
14:30 – 14:45	Pause
14:45 – 16:00	Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn Begleitende Leitfrage: <i>Worin liegen die großen Potenziale einer Straßenbahnautomatisierung und wie werden diese erreicht?</i> Diskussion in parallelen Arbeitsgruppen Abschließende Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Projektvorstellung

Projektkonsortium und Beteiligte

Projektkonsortium



Marlo Consultants GmbH
Projektkoordination



Karlsruher Institut für Technologie

- Autonomes Fahren und Fahrzeugtechnik (Institut für Fahrzeugsystemtechnik)
- Bewertung (Institut für Volkswirtschaftslehre)



Transport Technologie – Consult Karlsruhe GmbH

Modellbildung und Simulation



Albtal-Verkehrs-Gesellschaft mbH
fachliche Projektleitung und Praxis-Know-How



Projektbegleitender Arbeitskreis

Vertreter diverser Unternehmen, Verbände, öffentlicher Einrichtungen

Allgemeine Infos

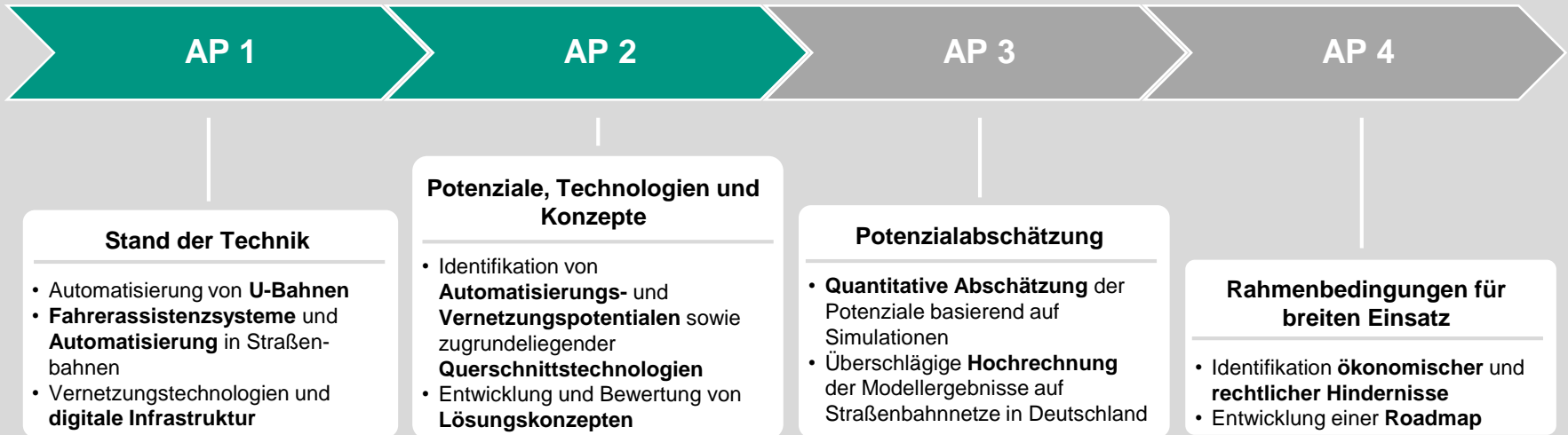
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim



FoPS
Forschungsprogramm Stadtbahn
Verbesserung der Verkehrsverhältnisse der Gemeinden

- Auftraggeber: **DZSF**
- Projektbeginn: März 2021
- Projektlaufzeit: 15 Monate
- Projekt wird im Auftrag des BMVI unter der FE-NR. 70.0943/2017 im Rahmen des **Forschungsprogramms Stadtverkehr** durchgeführt

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



Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Allgemeine Informationen

Literaturdatenbank

- Datenbank mit ca. 130 Einträgen
- deutsch- und englischsprachige Quellen sowie einige Literaturstellen aus dem chinesischen Raum

Betrachtete Literaturtypen:

- Bücher, Buchbeiträge
- Zeitschriftenaufsätze / Fachartikel
- (Projekt-)Berichte, Studien
- Präsentationen und Internetauftritte von Unternehmen und Universitäten
- Positionspapiere
- Pressemitteilungen



Fokus



Automation im übrigen Schienenverkehr



Fahrerassistenzsysteme



Automatisierte Straßenbahn



Kommunikation und Vernetzung



Technologien

Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Untersuchte Projekte

Automation im übrigen Schienenverkehr



Communication Based Train Control (CBTC)

Produkte:

- SelTrac CBTC
- Trainguard TM

Umsetzungen:

- z.B. Nürnberg, Paris

ATO over ETCS

Projekte:

- Shift2Rail
- Digitale S-Bahn Hamburg
- Sensors4Rail

Fahrerassistenzsysteme



System:

Kollisionsassistent

- Komponenten
- Funktionen

Produkte:

- Siemens Tram Assistant
- Bosch TFCW
- Bombardier: ODAS
- Cognitive Tram Pilot

Umsetzungen:

z.B. Frankfurt, Ulm, Den Haag, Duisburg, ...

Automatisierte Straßenbahn



System:

Teilautomatisierte Straßenbahn

- Komponenten
- Systemarchitektur
- Funktionen
- Herausforderungen

Projekte:

- Siemens Autonomous Tram
- MAAS
- AStriD
- Thales & AVG

Vernetzung und Kommunikation



System:

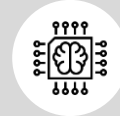
Intelligent vernetzte Straßenbahn (C-ITS)

- Komponenten
- Systemarchitektur
- Funktionen
- Herausforderungen

Projekte:

- VERONIKA
- Rail2X
- C-Roads

Technologien



Technologien aus Straßen- und Schienenverkehr:

- Sensorik
- Kommunikationstechnologie
- Intelligente Datenverarbeitung

Weiteres:

- Kommunikationsinfrastruktur
- Standards

Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Stand der Wissenschaft und Technik

	CBTC	Kollisionsschutzassistent	Grünphasenassistent und Priorisierung	Automatisierung einzelner Betriebsfunktionen
Basis- bzw. Querschnittstechnologien	<ul style="list-style-type: none"> • Sensorik (Lokalisierung) • Kommunikationstechnologie • Kommunikationsinfrastruktur • HMI 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensorik (Umgebungserfassung) • Intelligente Datenverarbeitung • HMI 	<ul style="list-style-type: none"> • Kommunikationstechnologie • Kommunikationsinfrastruktur • HMI 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensorik (Umgebungserfassung, Lokalisierung) • Intelligente Datenverarbeitung • HMI • Kommunikationstechnologie • Kommunikationsinfrastruktur
Funktionen	<ul style="list-style-type: none"> • Zugsicherung • Automatische Zugführung • Automatische Zugüberwachung 	<ul style="list-style-type: none"> • Objektdetektion • Objekthandhabung • Einschätzung des Kollisionsrisikos • Warnung oder Eingriff 	<ul style="list-style-type: none"> • Anmeldung und Prioritätsanforderung • Übertragung SPaT-Infos • Anzeige optimaler Fahrgeschw. 	<ul style="list-style-type: none"> • Autom. Beschleunigen und Anhalten • Geschw.überwachung • Abstandhalten • Objekt- / Signaldetektion • Objekt- / Signalhandhabung • Berücksichtigung Verkehr • Interaktion Verkehr • Funktionen aus Linienbetrieb • Autom. Depotprozesse • Kommunikation zw. Systemen
Technologiereife	Technologie im Markt und vielerorts im Regelbetrieb Weltweit steigende Nutzung	Technologie im Markt, Einsatz im Regelbetrieb	Technologie in Erprobung (z.B. in Kassel)	Prototypischer Einsatz z.B. in Potsdam

Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Diskussion: Aktuelle Grenzen und Herausforderungen

Leitfrage

Was sind aktuelle **Grenzen, Herausforderungen** und offene Fragen?

© unsplash, Felicia Buitenwerf

Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Diskussionsergebnisse: Aktuelle Grenzen und Herausforderungen

Diskussionsinhalte

Rechtsgrundlage / -entwicklung

- starker Fokus auf PKW-Bereich und straßengeb. Personenbeförderung
- Anpassungen der Sicherheitsanforderungen nötig → andere Rahmenbedingungen bei Straßenbahn
- Betreiber fordern Bestätigung, dass Produkte sicher sind (E1-Zertifikat)
- keine Einbindung von Straßenbahnen im Gesetz zum autonomen Fahren

Zulassung

- schwierig bei KI, vor allem bei sicherheitskritischen Funktionen
- Fehlende Einbindung von Zulassungsstellen in Entwicklungsprozess und Forschung
- Zulassung und Technologie schwer zu trennen → sollte gemeinschaftlich betrachtet werden

Akzeptanz

- Fahrer: keine ablenkenden Assistenzsysteme erwünscht
- Passagiere: Misstrauen in Technik, Fahrer als Bezugsperson fällt weg
- Verkehrsbetriebe: Funktionsfähigkeit der Systeme noch nicht ausreichend

Unterschiede zum Straßenverkehr

- Gewicht (zusätzlich stark abh. von Personenanzahl)
- Witterung → nasse Schienen
- Spurführung → geringere Manövrierbarkeit
- Stehende Personen im Innenraum → begrenztes Verzögerungspotenzial

Technologie

- Umgebungswahrnehmung und –interpretation inkl. Risikoeinschätzung noch unbefriedigend
- Unklar, welche Technologie sich durchsetzen wird (z.B. bei Kommunikationstechnologie)

Übergang in Bestandsnetzen

- keine Neubauten
- Migration notwendig
- Teilautomatisierung und Mischbetrieb schwierig

Anforderungen an funktionale Sicherheit

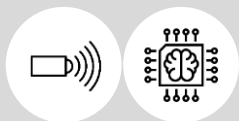
- Verantwortlichkeiten bei fehlendem Fachpersonal
- Umgang mit funktionsunfähigen, sicherheitsrelevanten Systemen (z.B. Türen)
- Mensch als Kontrollinstanz fällt weg

Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)

Grenzen und Herausforderungen

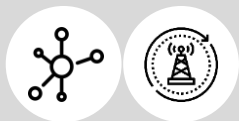
Aktuelle Herausforderungen des automatisierten und vernetzten Fahrens im Straßenbahnsektor

Technik und Infrastruktur



Sensorik und intelligente Datenverarbeitung

- Wetter- und Belichtung
- Zuverlässigkeit vs. Verfügbarkeit
- Unterscheidung Hindernis, Nicht-Hindernis (Klassifikation)
- Intentionsschätzung
- Sicherheitsanforderungen



Vernetzung und digitale Infrastruktur

- Standardisierung
- unterschiedliche Kommunikationstechnologien
- Frequenznutzung
- Zeit und Aufwand für Integration
- Migrationsstrategien
- Funkabdeckung

Kosten



Akzeptanz

Rahmenbedingungen



Systemeigenschaften der Straßenbahn

- geringe Manövrierbarkeit
- begrenzte Verzögerung
- große Masse
- kreuzender Verkehr
- geringe Distanz zu Hindernissen
- direkter Kontakt zu VRUs



Rechtlicher Rahmen

- fehlende Grundlagen
- Fokus auf Straßenverkehr und unabh. Bahnkörper
- ungeklärte Verantwortlichkeiten
- Festlegungen für Frequenznutzung
- Zulassungsprozess

Arbeitspaket 2

Vorgehen und Verwertung der Ergebnisse in AP 3 und AP 4

Welche **Aufgaben** müssen durch **automatisierte Straßenbahnen** bewerkstelligt werden?
Wo liegen Potenziale für Automatisierung?

Welche **Funktionen** sind hierfür notwendig?
Welche **Anforderungen** ergeben sich?

AP 2



Technologische Lösungsansätze

Querschnitts-
technologien des
automatisierten
Fahrens



Querschnitts-
technologien des
vernetzten
Fahrens

AP 3



Quantitative Abschätzung
der Potenziale

AP 4



Wirtschaftliche Betrachtung
und Migrations-
strategie

Arbeitspaket 2

Aufgaben im Straßenbahnverkehr



Arbeitspaket 2

Einsatzmöglichkeiten von Automatisierung

Verkehrssituationen	Aufgaben
Fahrt zwischen Haltestellen	<ul style="list-style-type: none">• Einhaltung des Geschwindigkeitsprofils• Abstandhalten zu Straßenbahnen und anderen Verkehrsteilnehmern• Hinderniserkennung und Risikoeinschätzung• Berücksichtigung von Signalen und Verkehrszeichen
Bewerkstellung von Haltestellen	<ul style="list-style-type: none">• Sichere und effiziente Abfertigung• Präzises Halten• Durchführen und Überwachen des Fahrgastwechsels
Bewerkstellung von Kreuzungen und Bahnübergängen	<ul style="list-style-type: none">• Berücksichtigung von Signalen und Verkehrszeichen• Hinderniserkennung• Interaktion mit Sicherungssystemen
Bewerkstellung von Tunneln	<ul style="list-style-type: none">• Interaktion mit Sicherungssystemen bei nicht einseharem Bremsweg• Berücksichtigung von Signalen und Verkehrszeichen• Hinderniserkennung
Umgang mit Ausnahmesituationen	<ul style="list-style-type: none">• Erkennen, Melden und Reagieren auf Ausnahmesituationen oder Notfälle
Interaktion und Kommunikation (verstärkt erforderlich bei Abwesenheit des Fahrers)	<ul style="list-style-type: none">• Informationsweitergabe an Zentrale, Werkstatt, ...• Bereitstellung einer Schnittstelle für Kommunikation zwischen Zentrale und Passagieren• Informationsweitergabe an Passagiere• Integration einer Schnittstelle für Kommunikation bzw. Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern
Vernetzung	<ul style="list-style-type: none">• Steigerung der Verkehrssicherheit (kooperative Perzeption)• Steigerung der Verkehrseffizienz

Arbeitspaket 2

Erforderliche Grundfunktionen der Automatisierung



Umgebungswahrnehmung

- Überprüfung der Fahrwegfreiheit
- Situationsinterpretation, Risikoeinschätzung
- Signal- und Verkehrszeichenerfassung
- Überwachung des Kupplungsbereichs
- Identifikation von Passagieren am Bahnsteig
- Situationseinschätzung in Ausnahmesituationen



Zustandsüberwachung und Steuerung von Komponenten und Systemen

- Innenraumüberwachung
- Entgleisungsdetektion
- techn. Systeme: Zugtraktion, Türsteuerung, ...



Lokalisierung

- Positionsbestimmung
- Orientierungsbestimmung
- Geschwindigkeitsüberwachung



Vernetzung

- Vehicle-to-everything Kommunikation (V2X)
- Informationsaustausch mit Straßenbahnfahrzeugen, anderen Verkehrsteilnehmern, Infrastruktur, Netzwerken



Fahrzeugführung

- Verhaltensplanung
- Situationsabhängige Geschwindigkeits- und Beschleunigungsregelung
- Automatisiertes Halten und Abfahren



Interaktion

- Automatisierte Interaktion mit Passagieren, Verkehrsteilnehmern, ...

Arbeitspaket 2

Querschnittstechnologien

Sensorik (Umgebungserfassung)

- Kamera
- Infrarotkamera
- Lidar
- Radar
- Ultraschall
- Mikrofon



DSGVO

Sensorik (Lokalisierung)

- GNSS (+RTK)
- Odometriesensoren
- Inertial Measurement Unit (IMU)
- weitere

Sensorik (Zustandsüberwachung)

- Akustische Sensoren
- Optische Sensoren
- weitere

Automatisiertes Fahren

Intelligente Datenverarbeitung

- Umgebungserfassung (Objektdetektion, -klassifizierung, Verhaltensprädiktion, Segmentierung, ...)
- Sensorfusion
- Ermittlung situationsabh. Parameter zur Fahrzeugführung
- Innenraumüberwachung (Anomaliedetektion, ...)
- Zustandsüberwachung techn. Komponenten (Anomaliedetektion, Defektprediktion, ...)
- Cybersicherheit
- Hardware: Hochleistungsprozessoren



DSGVO

Querschnittstechnologien

Kommunikationstechnologie

- Kommunikationsstandards:
 - ETSI ITS-G5 / DSRC
 - IEEE 802.11bd
 - LTE (Uu und PC5 Schnittstelle)
 - 5G (Uu und PC5 Schnittstelle)
 - LPWANs

Intelligente Datenverarbeitung

- Intelligentes Verkehrsmanagement und Bedarfssteuerung

Vernetztes Fahren

Kommunikationsinfrastruktur

- Feldgeräte: OBU und RSU
- Zentralebene: Verkehrsmanagementzentrale, LSA-Steuerzentrale, RSU-Zentrale
- Standardisierte Schnittstellen: OCIT-C, OCIT-O
- digitale Kartendaten
- Mobilitätsdaten: MDM, mCLOUD, ...
- Cybersicherheit: Public-Key-Infrastruktur (PKI)

Interaktionsgestaltung zwischen Mensch und Fahrzeug – HMI Design

- Innen: Fahrer – Fahrzeug, Passagiere – Fahrzeug
- Außen: Fahrzeug – Fußgänger / Radfahrer / andere Verkehrsteilnehmer

Leitfragen

1. Welche Querschnittstechnologien sind potenziell **bahnbrechend** für den Fortschritt im Bereich Straßenbahnautomatisierung?
2. An welchen Stellen sind **Weiterentwicklung und Anwendung gebremst** und wodurch?
3. Was sind die wichtigsten **Stellschrauben** und **Entwicklungspotenziale**?

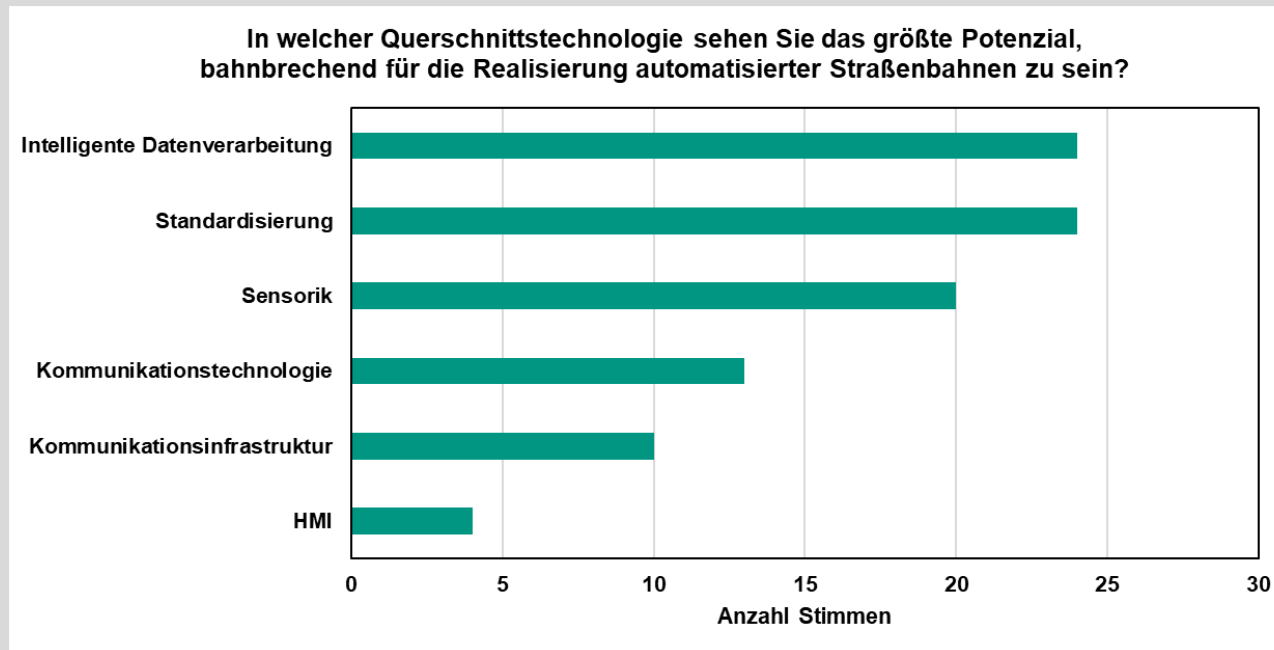


© unsplash, Felicia Buitenwerf

Arbeitspaket 2

Diskussionsergebnisse: Querschnittstechnologien

Umfrageergebnisse (Mehrfachnennungen möglich)



Diskussionsinhalte

Nachhaltigkeit von Technologien

- Kompatibilität von Technologien unterschiedlicher Generationen muss gewährleistet sein → es sollte nicht alle 5-10 Jahre das Upgraden auf eine neue Technologie notwendig sein
- Straßenbahnen werden bis zu 40 Jahre genutzt
- Meinung: ITS-G5 zu favorisieren, da Technologieerhalt eher zu erwarten ist
- Gegenmeinung: 5G soll kompatibel mit 6G Netzwerken sein

Unabhängigkeit und Standardisierung

- Kommunen und Verkehrsunternehmen bevorzugen den eigenen Betrieb von Kommunikationsinfrastruktur inkl. Netzwerken → keine Abhängigkeit von Mobilfunkanbietern
- Sehr große Unterschiede zwischen Kommunen → jede Kommune muss derzeit noch einzeln betrachtet werden
- Standardisierung notwendig, aber nicht einfach umsetzbar

Sensorik, KI

- Redundanz muss gewährleistet sein, um Systemausfällen vorzubeugen bzw. diese zu kompensieren → Sicherheit muss weiter gegeben sein
- Remote Eingriffsmöglichkeiten als Back-Up (Teleoperation)
- Fernwartung ermöglichen
- Verfügbarkeit bei gleichzeitig hoher Sicherheit
- Redundanz auch durch untersch. Sensortypen und Vernetzung

Personal

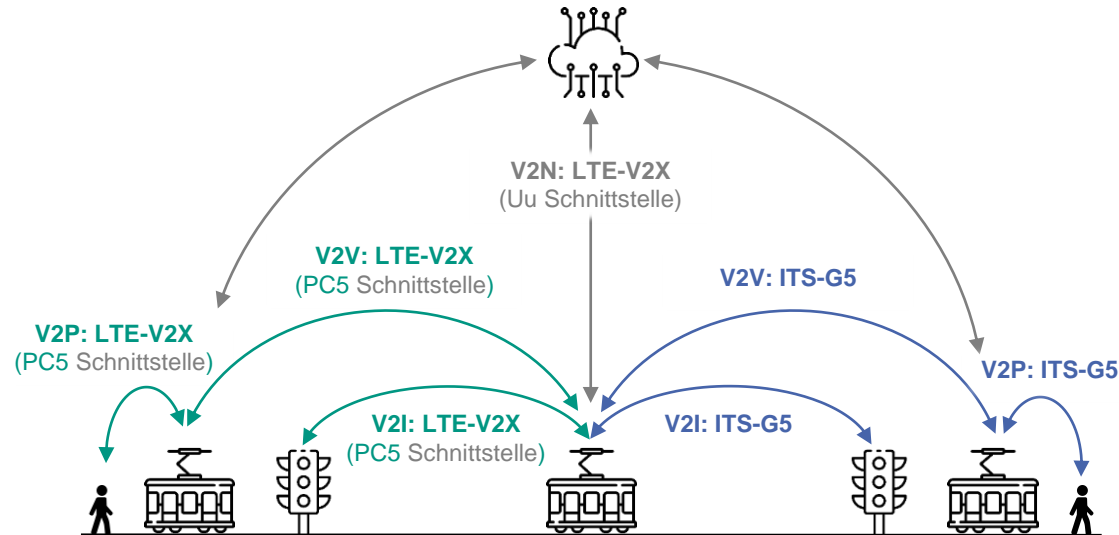
- immer mehr Qualifizierung notwendig
- Personalmangel in vielen Bereichen
- ständige Weiterentwicklung bzw. Änderung der verwendeten Technologien erfordert gleichzeitig schnelle Anpassung der Personalqualifikationen

HMI

- bei FAS sehr gutes Design notwendig, um Ablenkung zu vermeiden
- Leistungsfähigkeit/Aufmerksamkeit des Fahrers muss trotz Entlastung erhalten bleiben

Arbeitspaket 2

Querschnittstechnologien – V2X-Kommunikation



LTE-V2X: Up- / Downlink

- Uu Schnittstelle
- Nutzung der Mobilfunkfrequenzbänder
- Reichweite > 1 km

LTE-V2X: Sidelink

- PC5 Schnittstelle
- Nutzung des C-ITS Frequenzbandes (5,9 GHz)
- unabh. von Mobilfunk
- Reichweite < 1 km

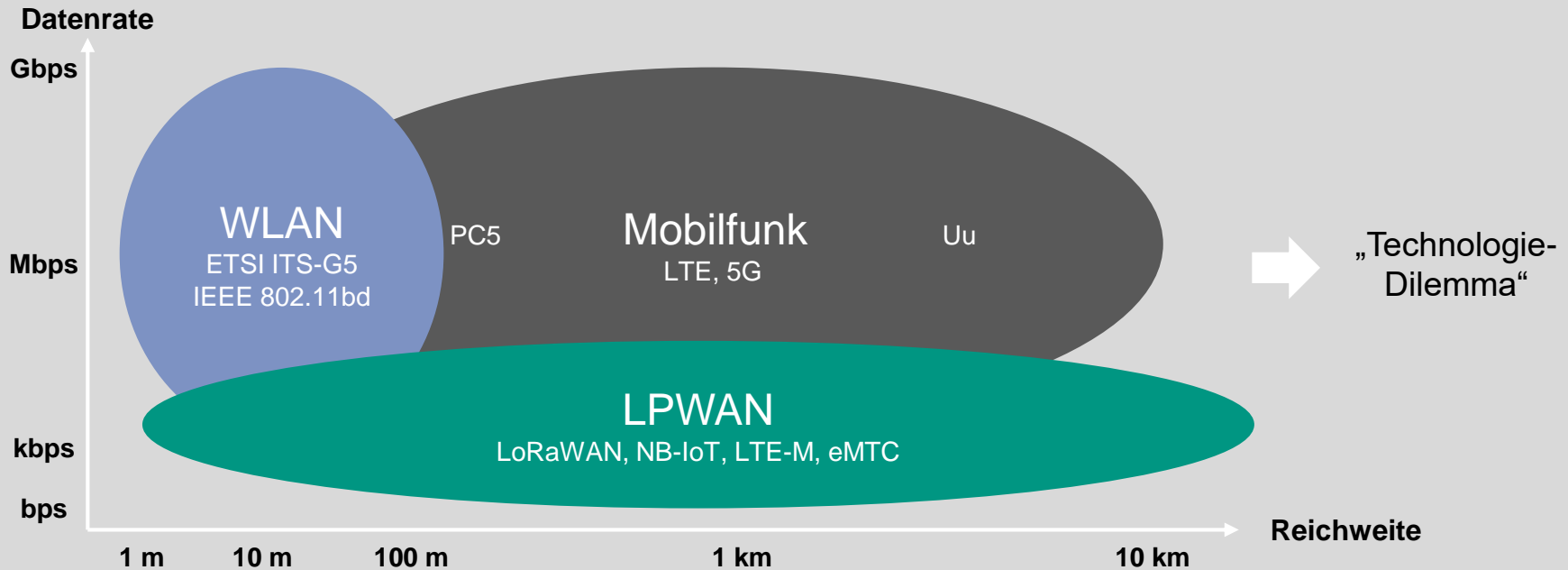
WLAN-V2X:

- basierend auf IEEE 802.11p WLAN-Standard
- in Europa: ETSI ITS-G5
- Nutzung des C-ITS Frequenzbandes (5,9 GHz)
- Reichweite < 1 km

Arbeitspaket 2

Querschnittstechnologien – Kommunikationstechnologie

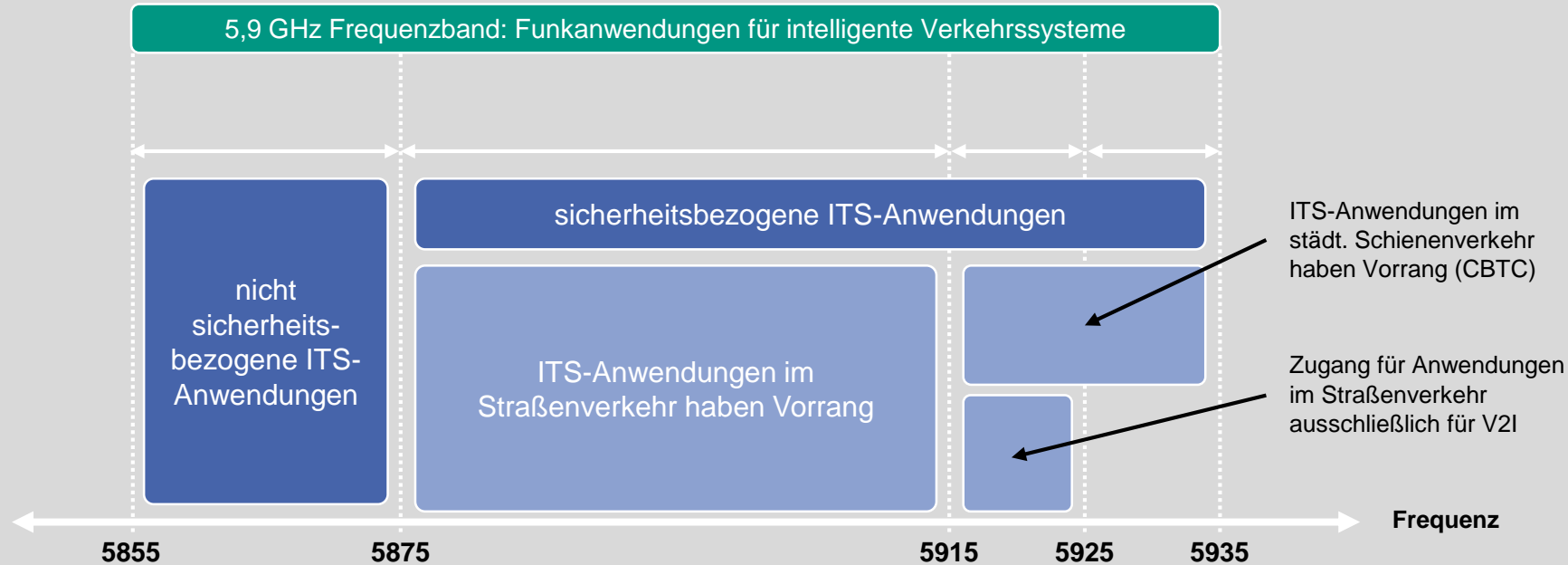
Eigenschaften relevanter Kommunikationstechnologien



Arbeitspaket 2

Querschnittstechnologien – Vernetzung: Frequenznutzung

Frequenzbandnutzung für ITS-Anwendungen nach Durchführungsbeschluss (EU) 2020/1426



Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Entwicklung von Lösungskonzepten

Schritt 1: Plenumsdiskussion



Was sind Potenziale der Straßenbahnautomatisierung?



Diskussion der Potenziale der Straßenbahnautomatisierung



Gewichtung der Potenziale

Schritt 2: Gruppenarbeit



Welche technischen Konzepte sind im Zuge der Straßenbahnautomatisierung denkbar?



Welche Querschnittstechnologien sind dafür zwingend notwendig, welche haben einen positiven Einfluss?



Welche Rahmenbedingungen haben Einfluss?

Schritt 3: Plenumsdiskussion



Vorstellung und Diskussion der Lösungsansätze



Bewertung im Plenum:

- Welche Automatisierungspotenziale werden durch die jeweiligen Ansätze realisiert und in welchem Grad?
- In welchem Zeithorizont ist mit einer Umsetzung einzelner Konzepte zu rechnen?
- Welche Hürden müssen zuvor überwunden werden?

Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Entwicklung von Lösungskonzepten

Potenziale der Straßenbahnautomatisierung



Grundlagen

- Automatisierbare Aufgaben
- Erforderliche Funktionen
- Potenzielle Querschnittstechnologien

Lösungskonzepte



Kombination Querschnittstechnologien



Technologische Lösungskonzepte



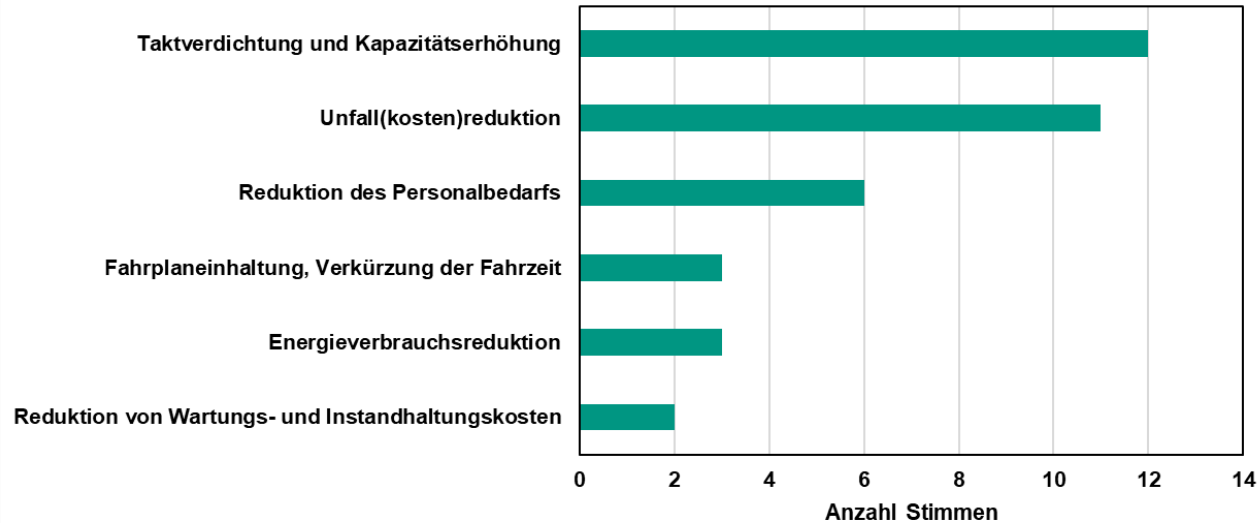
Bewertung der Erfüllung von Anforderungen

Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Umfrageergebnisse: Automatisierungspotenziale

Umfrageergebnisse (Einzelnennungen)

Was sind die Potenziale, die mit der Automatisierung des Straßenbahnbetriebs verfolgt werden sollten?



Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Diskussionsergebnisse: Automatisierungspotenziale

Diskussionsinhalte

Kapazitätssteigerung

- mehr ÖPNV → Taktverdichtung nötig
 - gleichzeitig Personalmangel → Ergänzung durch autom. Systeme
 - aus vorhandener Infrastruktur mehr herausholen
 - Doppelnutzung: Paketstraßenbahn
 - Erreichen von Klimazielen (mehr ÖPNV, weniger MIV)
- Taktverdichtung durch:
- effizientere Abfertigung an Haltestellen
 - Vereinheitlichung von Fahrverhalten
 - Reduktion von Störungen, Unfällen, ...

Sicherheitssteigerung / Unfalls(kosten)reduktion

- Menschlicher Fehlerquelle entgegenwirken
- Vernetzung: Position und Trajektorie der Straßenbahn an andere Verkehrsteilnehmer übermitteln (größte Unfallverursacher)

Kritische Stimme:

- Straßenbahnautomatisierung als Utopie
- extrem defensives Fahrverhalten gefordert
- starke Interaktion mit kreuzendem Verkehr (auch Fußgänger und Radfahrer)
- große Gefahr bei Unfällen, auch mit geringer Geschwindigkeit

Steigerung Systemrobustheit

- Reduktion von Störungen im Betriebsablauf (weniger Unfälle, Systemzustandsüberwachung, prädiktive Wartung und Instandhaltung)
- allgemeine Kostensenkung im Betrieb

Fahrstil und Verkehrseffizienz

- Umsetzen eines komfortablen und effizienten Fahrstils
- Steigerung der Verkehrseffizienz durch Kommunikation mit Lichtsignalanlagen oder Weichen (inkl. Priorisierung)
- Strategisches Verkehrsmanagement basierend auf V2X-Kommunikation
- Bedarfssteuerung: Reaktion auf Bedarfschwankungen entkoppelt von Personaleinsatzplanung

Arbeit in Gruppen

- Vier Gruppen → Einteilung in Breakout-Sessions
- Online-Tool: *miro*
- Methode: digitale Pinnwand, moderierte Gruppenarbeit
- Zeit: 30 min



Aufgaben-/ Fragestellung

Frage 1: Konzepte

Erarbeiten Sie als Gruppe Lösungskonzepte, die zur Realisierung einzelner der diskutierten Automatisierungs- und Vernetzungspotenziale beitragen.

Frage 2: Querschnittstechnologien

Welche der vorgestellten Querschnittstechnologien sind dabei erforderlich, welche sind hilfreich?

Frage 3: Rahmenbedingungen

Welche Rahmenbedingungen spielen eine bedeutende Rolle?



© unsplash, fortytwo

Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Ergebnisse der Gruppenarbeiten: Konzepte

Unfall(kosten)reduktion	Reduktion Personalbedarf	Effizienzsteigerung des Verkehrssystems
<p>Sensorbasierte Hinderniserkennung durch intelligente Bildverarbeitung, Erkennung seitlich in Lichtraum hereinragender Hindernisse (Umsetzung als Assistenz oder sicherheitsrelevante Funktion)</p>	<p>Teleoperation / Fernsteuerung bspw. für Betriebslenkung/Disposition im Rangierbetrieb, auf dem Betriebshof oder auch auf der Strecke</p>	<p>V2X-Vernetzung mit Signal- und Weichenanlagen</p>
<p>V2V-Kommunikation (auch mit Straßenverkehr) zur Vermeidung von Unfällen → Informationen bzw. Warnungen an Teilnehmer des Straßenverkehrs bei sich nähernder Straßenbahn</p>	<p>Erhöhung des Automatisierungsgrades von Werkstätten (personalintensive Prozesse), Vernetzung von Betriebshofmanagement und Fahrzeugen</p>	<p>Weiterentwicklung der Türüberwachung um bewusste Störungen (z.B. durch Personen) zu umgehen → Verwendung anderer Sensorik</p>
<p>Kollisionsvermeidendes FAS basierend auf fahrzeug- und infrastrukturseitiger Sensorik sowie Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern</p>		<p>Bereitstellung von Informationen an Fahrgäste am Bahnsteig und im Fahrzeug → Koordination des Fahrgastwechsels</p>
<p>Vorausschauende Bewertung von Verkehrsszenarien</p>		<p>Verbesserung der Barrierefreiheit durch zuverlässige Zustiegsinformationen (z.B. Position und Belegung)</p>
<p>Dokumentation der Fahrt, Nutzung der Daten von Umgebungssensoren zur Unfallaufklärung</p>		
<p>Verbesserte Überwachung des Türbereichs zur Detektion kleinerer Gegenstände</p>		

Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Ergebnisse der Gruppenarbeiten: Querschnittstechnologien

Sensorik (Umgebungserfassung)

- Kombination untersch. Sensortypen (Kamera, Radar, Lidar)
- Auch Nutzung infrastrukturseitiger Sensorik zur Überwachung kritischer Stellen
- Betriebshof: eher infrastrukturseitig, nicht zwangsweise im Fahrzeug → bei klarer Trennung von Lauf- und Fahrweg nur rudimentär nötig

Sensorik (Lokalisierung)

- sollte infrastrukturbasiert sehr genau und kostengünstig möglich sein
- Nutzung der Umgebungssensorik des Fahrzeuges zur Landmarkenerkennung
- Betriebshof: infrastrukturseitig
- GNSS, IMU und SLAM
- Hochgenau, wenn Daten über V2X übertragen werden

Intelligente Datenverarbeitung im Fahrzeug

- Sensorfusion der Daten untersch. Sensortypen (auch aus Infrastruktur)
- Bewertung der Sensordaten zur intelligenten Kollisionsvermeidung und Prädiktion von Trajektorien und Situationen
- Entfernungsmessung
- 3D Segmentierung
- Objekt-Tracking
- Risikoanalyse

Kommunikationstechnologie

- niedrige Latenz für Teleoperation (5G notwendig?)
- Anforderungen stark von Use Case abhängig
- Standardisierte Kommunikation auf Basis der Entwicklungen im Automotive-Bereich

Intelligente Datenverarbeitung in Infrastruktur oder Zentrale

- infrastrukturseitige Überwachung kritischer Stellen und Bewertung der Situation → Übermittlung relevanter Infos an Fahrzeuge
- im Yard Management System
- Zustandsbasierte Wartungsplanung in Zentrale

Sensorik (Zustandsüberwachung techn. Systeme)

- Kamerabasierte Schadensanalyse zur Vorsondierung, Fokus auf entspr. Beschädigungen/ Wartungsaspekte
- Zwingend notwendig: Überwachung funktionskritischer Systeme (z.B. Sensorik)

Sensorik (Zustandsüberwachung Innenraum)

- Untersuchung Fahrgastinnenraum auf Vandalismus
- Erkennen stehender und somit bei Schnellbremsung gefährdeter Personen → Mitberücksichtigung bei Fahrverhaltensplanung möglich

HMI

- ergonomischer Arbeitsplatz
- Abbildung Tram-Schaltfläche in Leitstand zur Teleoperation
- Warnungen optisch, akustisch aber nicht störend
- Depot: optische Markierung autom. detektierter Schäden bspw. auf Tablet

Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn

Ergebnisse der Gruppenarbeiten: Rahmenbedingungen

Akzeptanz

- Gesellsch. Akzeptanz durch Sicherheitsnachweise und Klärung der Verantwortung
- Fahrerakzeptanz: Fehlalarme vermeiden
- Passagiere: Berücksichtigung Insassen bei Gefahrenbremsungen
- Akzeptanz andere Verkehrsteilnehmer: Verhalten und Reaktion auf Infos zum Verhalten der Tram (V2X)

Standardisierung

- gemeinsam mit Automotive als Vorbereitung auf spätere Vernetzung
- Standardisierung Tele-Op. Arbeitsplatz und Schnittstellen zw. Fahrzeug und Leitsystem
- Günstige Schnittstellen für Standardisierung und Modularisierung
- Standardisierte Datenschnittstellen, Protokolle, Kommunikationstechn.
- Standardisierung der ethischen Entscheidungen einer KI

Zulassung

- Validierung von Betriebsfunktionen durch Nutzung versch. Technologien
- Frage der erforderlichen Sicherheit und der Spezifikation der Anforderungen an Technologien
- Zulassung von Systemen mit Eingriff in Sicherheitsebene aufwendig, da keine eindeutigen Regelungen vorhanden sind

Technische Rahmenbedingungen

- Verlässlichkeit der übertragenen Infos kooperativer Systeme
- Synergien mit kooperativen Diensten des Straßenverkehr nutzen
- Intelligenz nach Mögl. im Fahrzeug, hohe Investitionen in Infrastruktur vermeiden
- Leistungsfähige und kostengünstige Komponenten aus anderen Anwendungsbereichen verfügbar machen und nutzen

Systemkompatibilität und Nachhaltigkeit

- Nachhaltige Verfügbarkeit von Technologien → über Größenvorteil im Sektor für langfristige Verfügbarkeit sorgen → Skaleneffekte
- Kompatibilität von Alt- und Neusystemen

Anforderungserstellung

- Analyse und Auswertung von Kollisionen und Unfallstatistik (auch Beinahekollisionen)
- Ableiten von Ursachen, Handlungsbedarfen und Maßnahmen
- Ableiten passender Anforderungen an z.B. Sensorik

Haftung und Verantwortung

- Haftungsfrage klären: Betreiber oder Hersteller?
- Bzgl. Sensor Sharing: Hersteller verlassen sich aus Gründen der funktionalen Sicherheit eher auf eigene Daten als auf Daten anderer

Rechtliche Rahmenbedingungen

- Tele-OP Verordnung für Straßenbahnbetrieb (vgl. Gesetz autonomes Fahren für Straße)
- Technische Regeln für Fahrbetrieb ohne Fahrer
- Kontinuierliche Überprüfung rechtlicher Rahmenbedingungen, Identifizierung Änderungsbedarf während Entwicklungsprozess neuer Technologien



© KVV, Paul Gärtner

Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim



Eisenbahn-Bundesamt

FoPS
FORSCHUNGSPROGRAMM STADTVERKEHR

Verbesserung der
Verkehrsverhältnisse
der Gemeinden

KIT
Karlsruher Institut für Technologie

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!