

# **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	<b>Begrüßung und Teilnehmerliste</b>
13:10 – 13:15	<b>Vorstellung des Projekts und des Konsortiums</b>
13:15 – 13:45	<b>Ergebnisse der Literaturrecherche (AP 1)</b> Begleitende Leitfrage: <i>Was sind die aktuell größten Herausforderungen?</i>
13:45 – 14:30	<b>Arbeitspaket 2: Aufgaben einer Straßenbahn, Automatisierungspotenziale und relevante Querschnittstechnologien</b> Begleitende Leitfrage: <i>Welche Technologien sind potenziell bahnbrechend?</i>
14:30 – 14:45	<b>Pause</b>
14:45 – 16:00	<b>Weg zur automatisierten und vernetzten Straßenbahn</b> 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

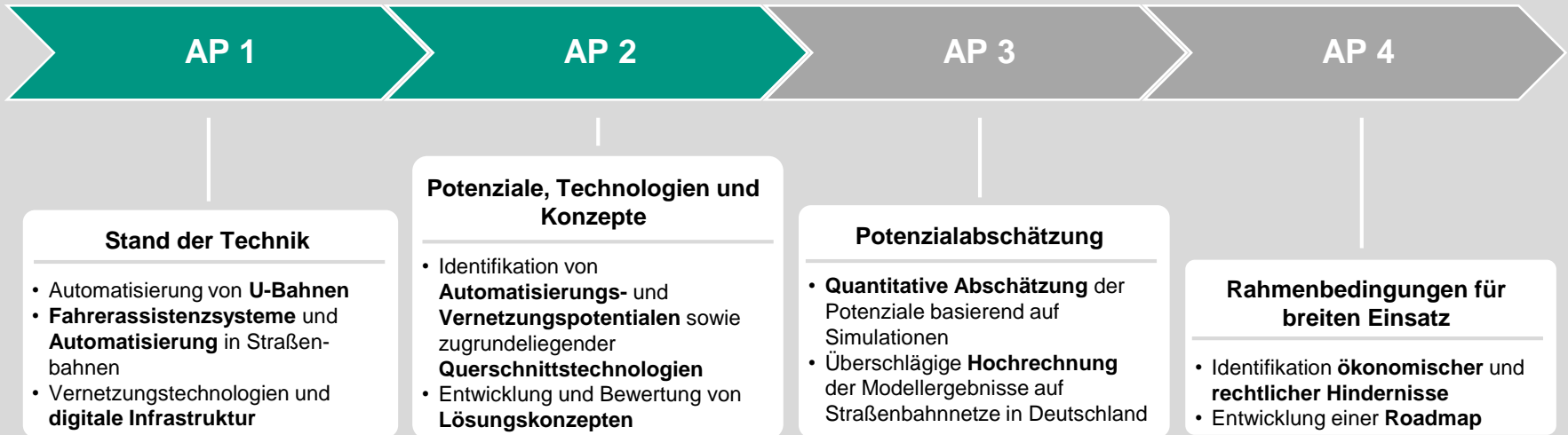
### Allgemeine Infos

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim



- 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
<b>Basis- bzw. Querschnittstechnologien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik (Lokalisierung)</li> <li>• Kommunikationstechnologie</li> <li>• Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>• HMI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik (Umgebungserfassung)</li> <li>• Intelligente Datenverarbeitung</li> <li>• HMI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kommunikationstechnologie</li> <li>• Kommunikationsinfrastruktur</li> <li>• HMI</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensorik (Umgebungserfassung, Lokalisierung)</li> <li>• Intelligente Datenverarbeitung</li> <li>• HMI</li> <li>• Kommunikationstechnologie</li> <li>• Kommunikationsinfrastruktur</li> </ul>
<b>Funktionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zugsicherung</li> <li>• Automatische Zugführung</li> <li>• Automatische Zugüberwachung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objektdetektion</li> <li>• Objekthandhabung</li> <li>• Einschätzung des Kollisionsrisikos</li> <li>• Warnung oder Eingriff</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anmeldung und Prioritätsanforderung</li> <li>• Übertragung SPaT-Infos</li> <li>• Anzeige optimaler Fahrgeschw.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Autom. Beschleunigen und Anhalten</li> <li>• Geschw.überwachung</li> <li>• Abstandhalten</li> <li>• Objekt- / Signaldetektion</li> <li>• Objekt- / Signalhandhabung</li> <li>• Berücksichtigung Verkehr</li> <li>• Interaktion Verkehr</li> <li>• Funktionen aus Linienbetrieb</li> <li>• Autom. Depotprozesse</li> <li>• Kommunikation zw. Systemen</li> </ul>
<b>Technologiereife</b>	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

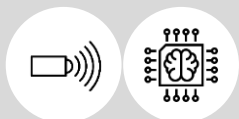
- Verantwortlichkeiten bei fehlendem Fachpersonal
- Umgang mit funktionsunfähigen, sicherheitsrelevanten Systemen (z.B. Türen)
- Mensch als Kontrollinstanz fällt weg

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

# 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**?



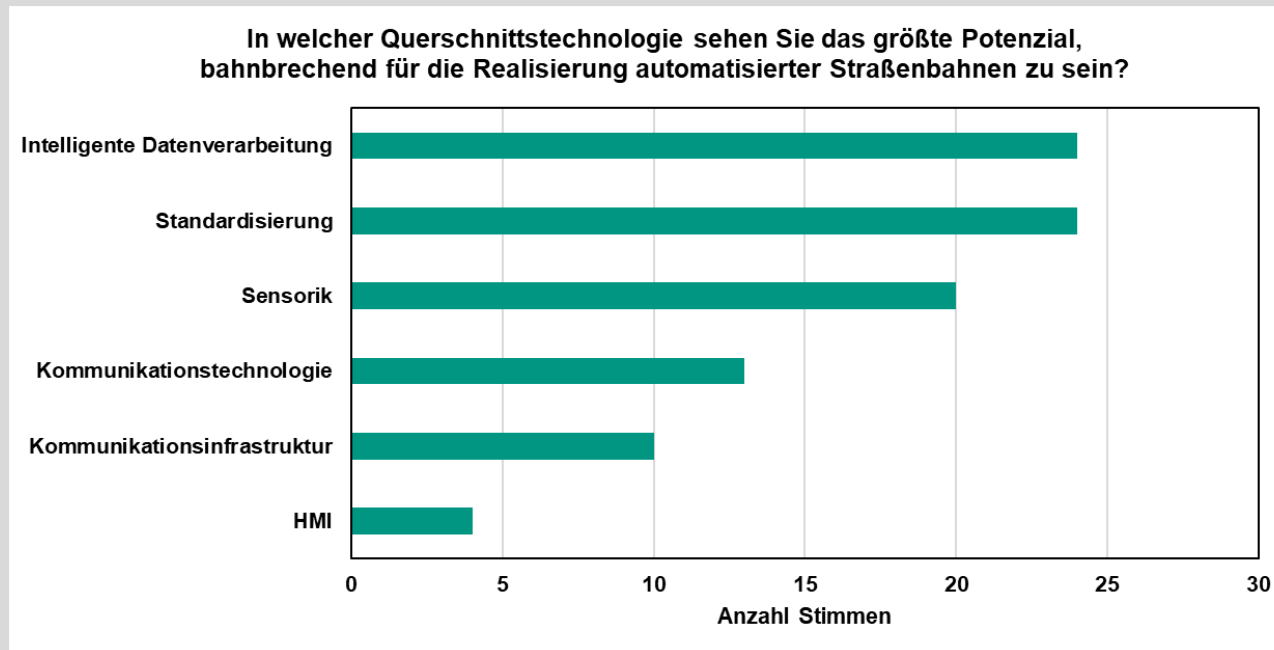
© unsplash, Felicia Buitenwerf



# 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

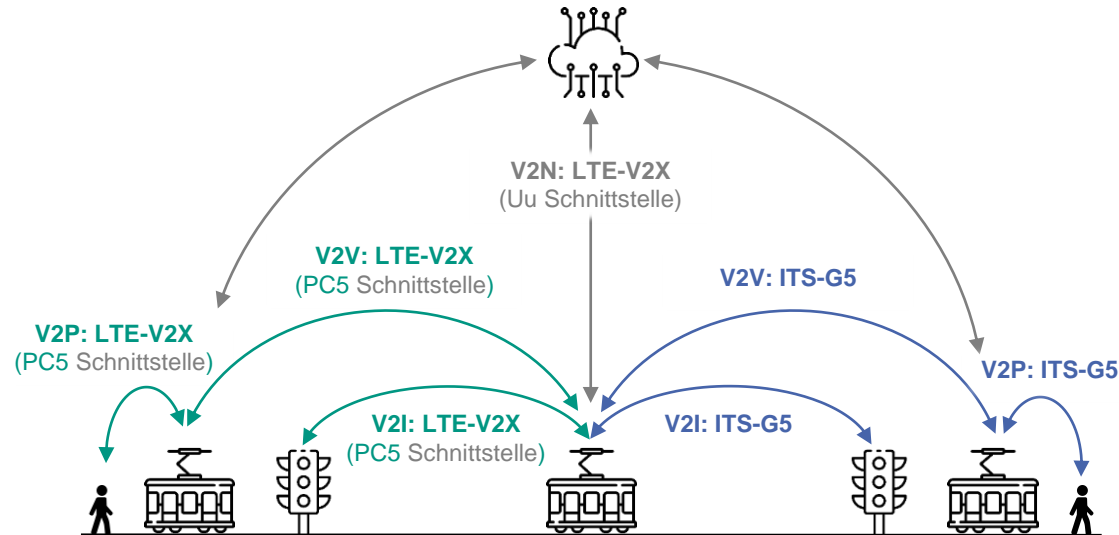
- immer mehr Qualifizierung notwendig
- Personalmangel in vielen Bereichen
- ständige Weiterentwicklung bzw. Änderung der verwendeten Technologien erfordert gleichzeitig schnelle Anpassung der Personalqualifikationen

#### 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

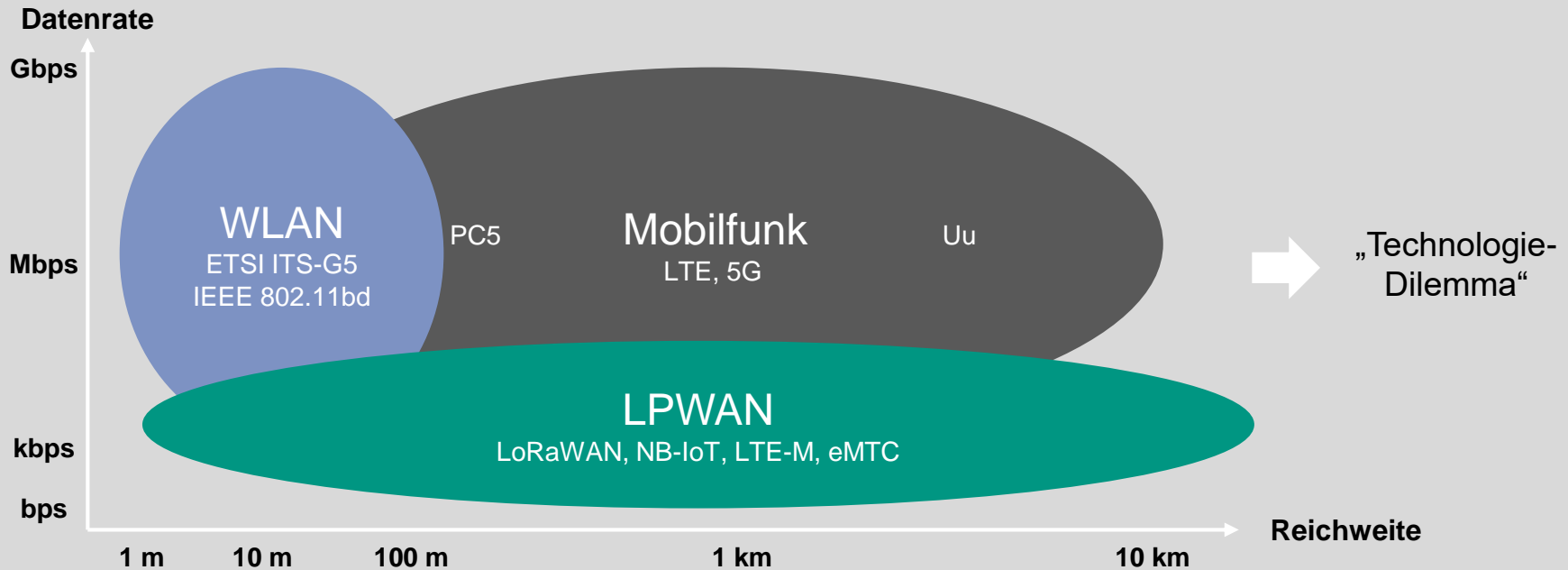
### WLAN-V2X:

- 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

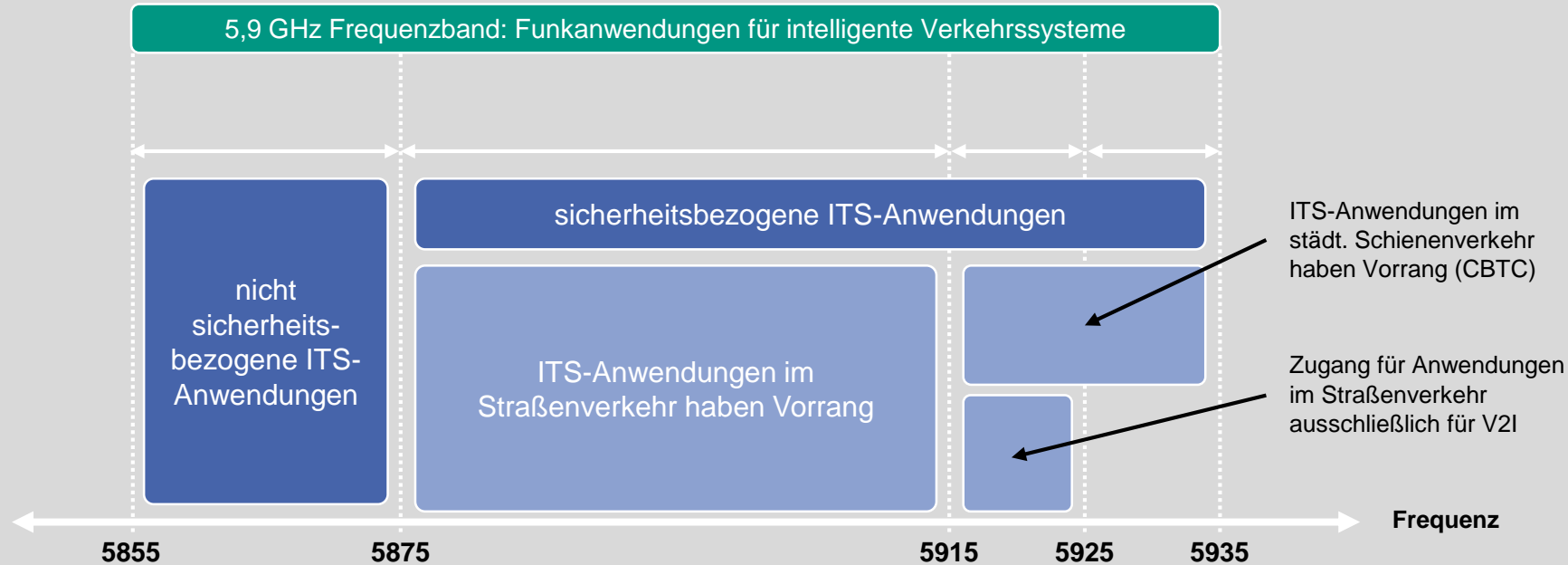
### Eigenschaften relevanter Kommunikationstechnologien



# 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



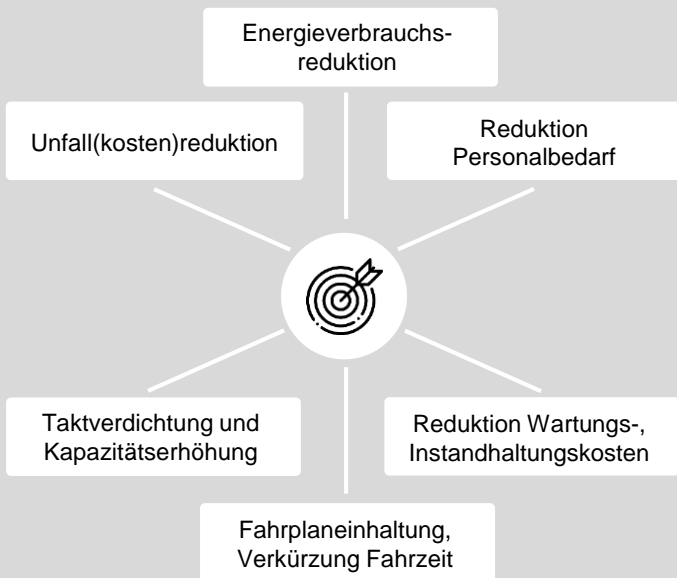
#### **Bewertung im Plenum:**

- 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



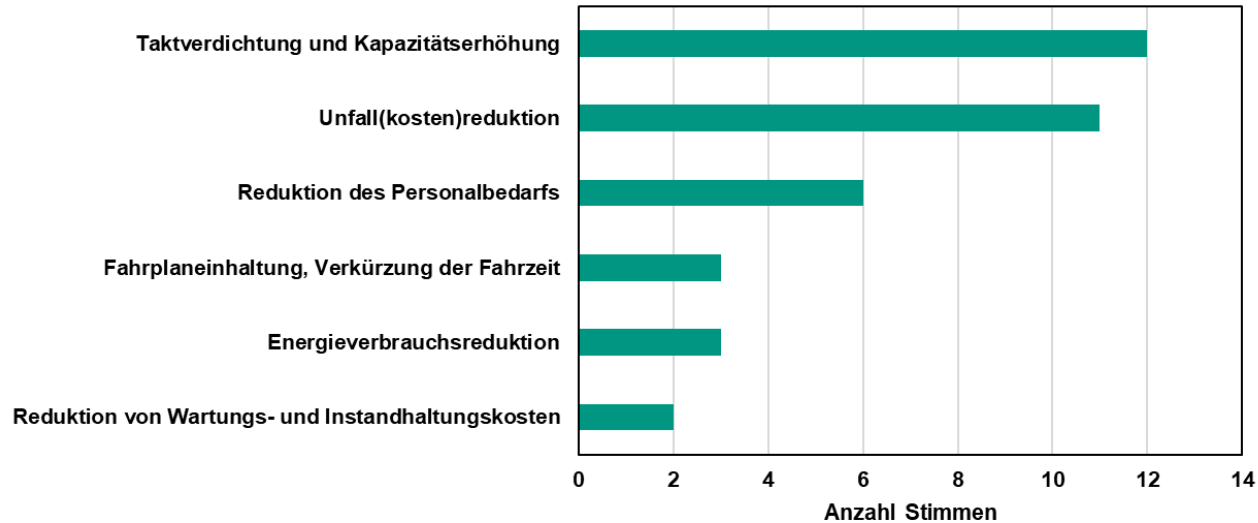
Bewertung der Erfüllung von Anforderungen

# 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

Sensorbasierte Hinderniserkennung durch intelligente Bildverarbeitung, Erkennung seitlich in Lichtraum hereinragender Hindernisse (Umsetzung als Assistenz oder sicherheitsrelevante Funktion)

V2V-Kommunikation (auch mit Straßenverkehr) zur Vermeidung von Unfällen → Informationen bzw. Warnungen an Teilnehmer des Straßenverkehrs bei sich nähernder Straßenbahn

Kollisionsvermeidendes FAS basierend auf fahrzeug- und infrastrukturseitiger Sensorik sowie Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern

Vorausschauende Bewertung von Verkehrsszenarien

Dokumentation der Fahrt, Nutzung der Daten von Umgebungssensoren zur Unfallaufklärung

Verbesserte Überwachung des Türbereichs zur Detektion kleinerer Gegenstände

### Reduktion Personalbedarf

Teleoperation / Fernsteuerung bspw. für Betriebslenkung/Disposition im Rangierbetrieb, auf dem Betriebshof oder auch auf der Strecke

Erhöhung des Automatisierungsgrades von Werkstätten (personalintensive Prozesse), Vernetzung von Betriebshofmanagement und Fahrzeugen

### Effizienzsteigerung des Verkehrssystems

V2X-Vernetzung mit Signal- und Weichenanlagen

Weiterentwicklung der Türüberwachung um bewusste Störungen (z.B. durch Personen) zu umgehen → Verwendung anderer Sensorik

Bereitstellung von Informationen an Fahrgäste am Bahnsteig und im Fahrzeug → Koordination des Fahrgastwechsels

Verbesserung der Barrierefreiheit durch zuverlässige Zustiegsinformationen (z.B. Position und Belegung)

# 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 Landmarken-erkennung
- 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 Straßenverkehrs 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!