

Assistenzsysteme in Straßenbahnen



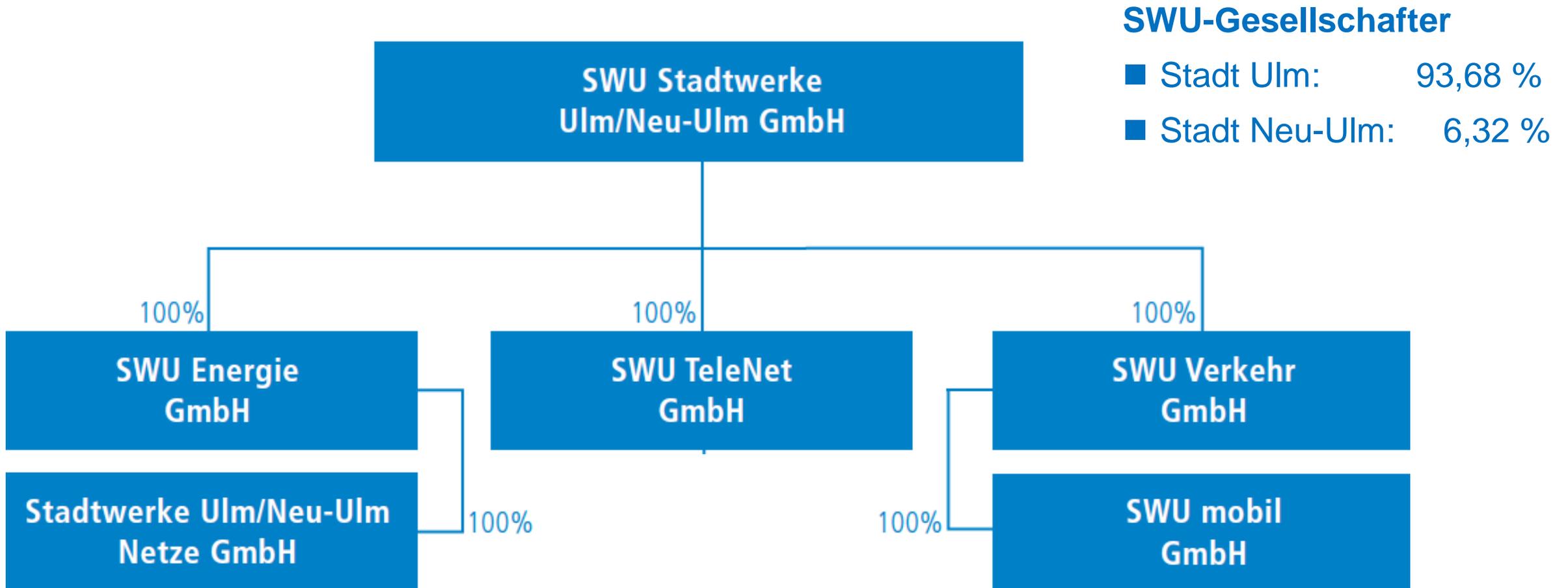
SWU

SWU
DING

Inhalt

1. Vorstellung der SWU
2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?
3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug in Ulm
4. Bremsassistenzsystem in der neuen Fahrzeugserie Avenio M
5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden und was nicht
6. Ausblick

1. Vorstellung der SWU-Unternehmensgruppe



1. Vorstellung der SWU-Unternehmensgruppe

+ 77 Mio. kWh Wasserkraft

produzieren wir jährlich in unseren regionalen Wasserkraftwerken

+ 5.000 km Netz

betreiben wir für die Versorgung der Region mit Strom, Wärme, Gas und Wasser

+ 675 km Glasfaser

Unser Ziel: alle Häuser in Ulm und Neu-Ulm über Glasfaser zu versorgen

+ 40 Mio. Fahrgäste (2019)

nutzen unser ÖPNV-Angebot jährlich

SWU Verkehr – Mobilität in Zahlen



335 Mitarbeiter

Im Fahrdienst, Verwaltung und Werkstätten



> 40 Mio. Fahrgäste (2019)



267,1 km Linienlänge, 22 Linien

davon 20,3 km auf 2 Straßenbahnlinien
seit 01.01.2020 direkt an SWU vergeben



480 Haltestellen



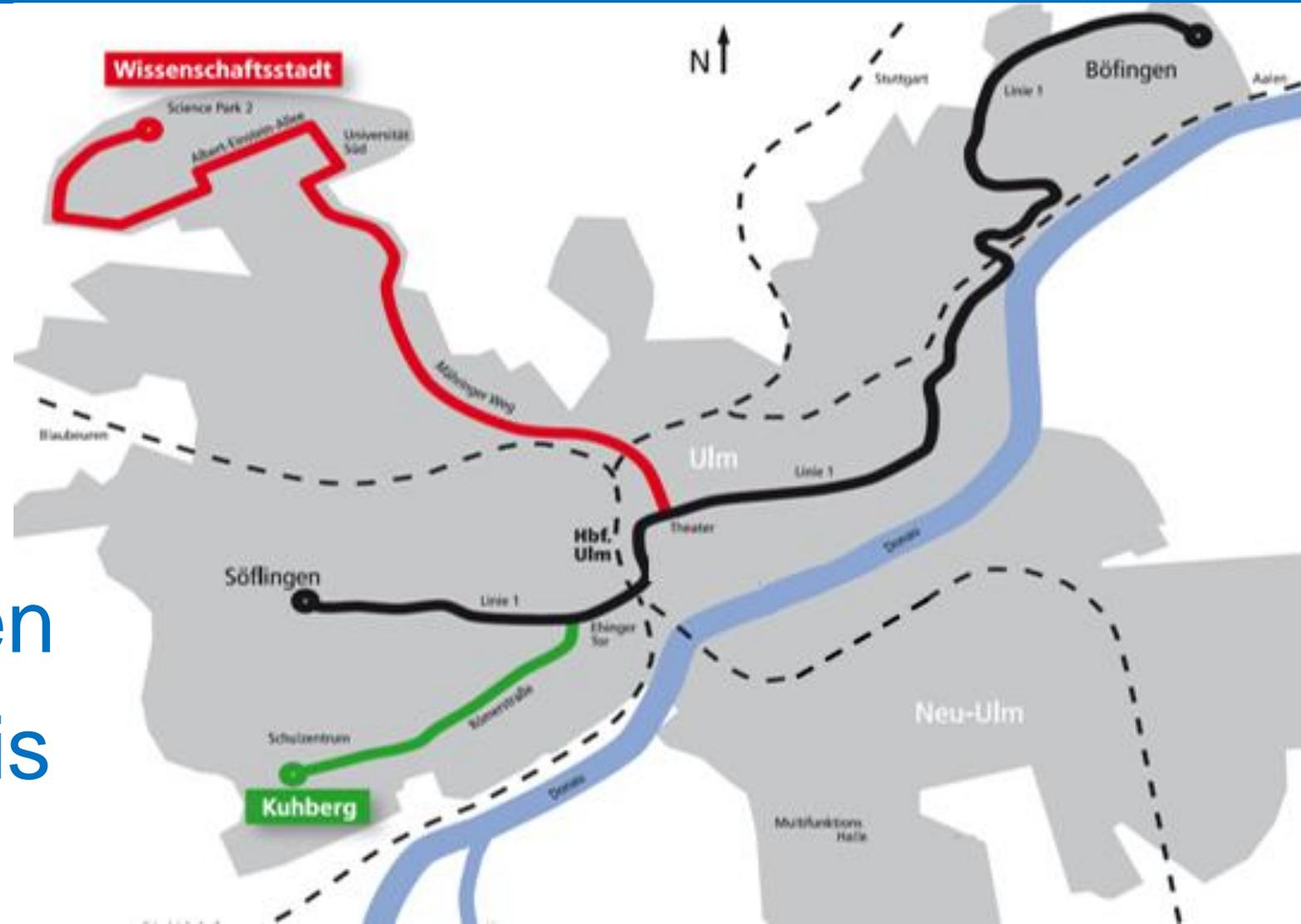
91 Linienfahrzeuge

davon 28 Straßenbahnen
(Combino und Avenio M)
und
63 Omnibusse (Euro VI und Kompakthybrid)



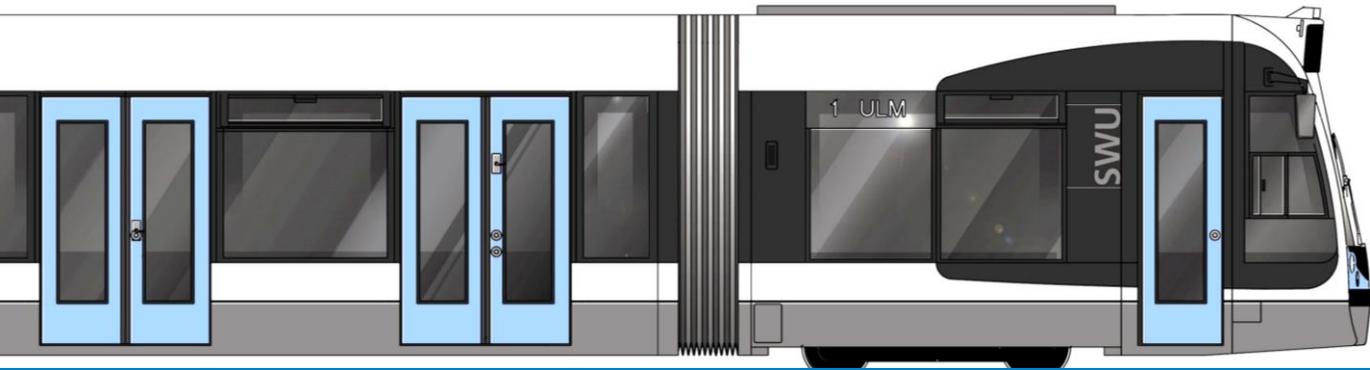
1. Vorstellung der SWU Verkehr GmbH

2 Straßenbahnlinien
20,3km Doppelgleis



1. Vorstellung der SWU Verkehr GmbH

28 Straßenbahnfahrzeuge



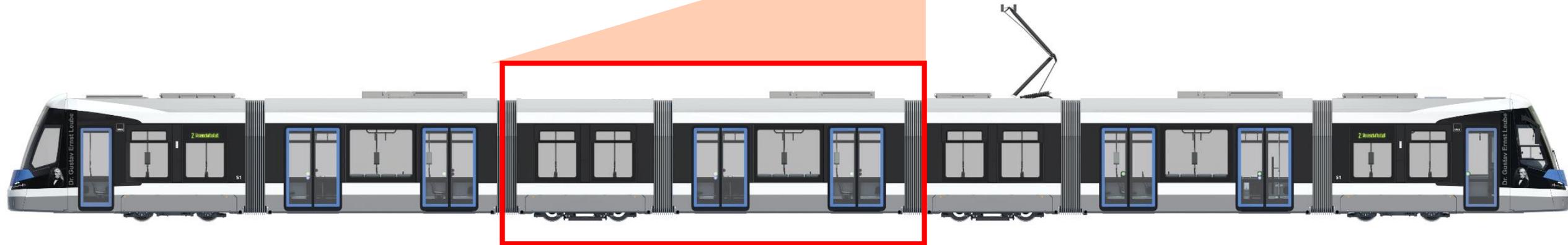
10 Combino
(2003/2008)



18 Avenio M
(2018/2022+2023)

1. Vorstellung der SWU Verkehr GmbH

Avenio Bestand: 5-teiler, 31,5m Länge, 185 Personen



Avenio verlängert: 7-teiler, 42m Länge, 245 Personen + ca. 70 Personen/Fahrzeug

1. Vorstellung der SWU Verkehr GmbH



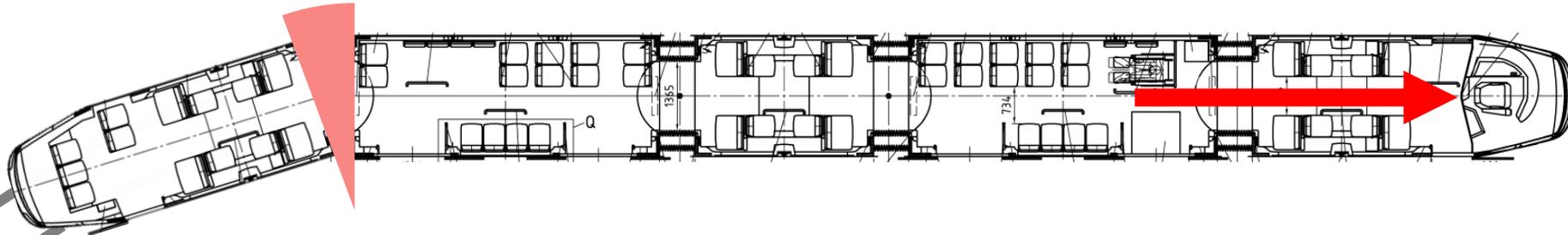
2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?

NEIN

Beispiele schon vorhandener System:

2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?

Begrenzung max. Kurvengeschwindigkeit



Abhängig vom Bogenradius wird die maximale Fahrgeschwindigkeit begrenzt.

Der Fahrer trägt Verantwortung für das Führen des Fahrzeuges.

2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?

Begrenzung max. Kurvengeschwindigkeit

Automatische Türüberwachung

2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?

Der Fahrer bekommt über das optische Türschließsignal mitgeteilt, dass alle Türen geschlossen und verriegelt sind.

Lokal an jeder Türe wird von der jeweiligen Türsteuerung der **Einklemmschutz**, die **Mitschleifüberwachung** und die **ordnungsgemäße Verriegelung** sichergestellt.

Hier übernimmt das „Assistenzsystem“ bereits heute sicherheitsrelevante Aufgaben!



2. Sind Assistenzsysteme etwas Neues?

Begrenzung max. Kurvengeschwindigkeit

Automatische Türüberwachung

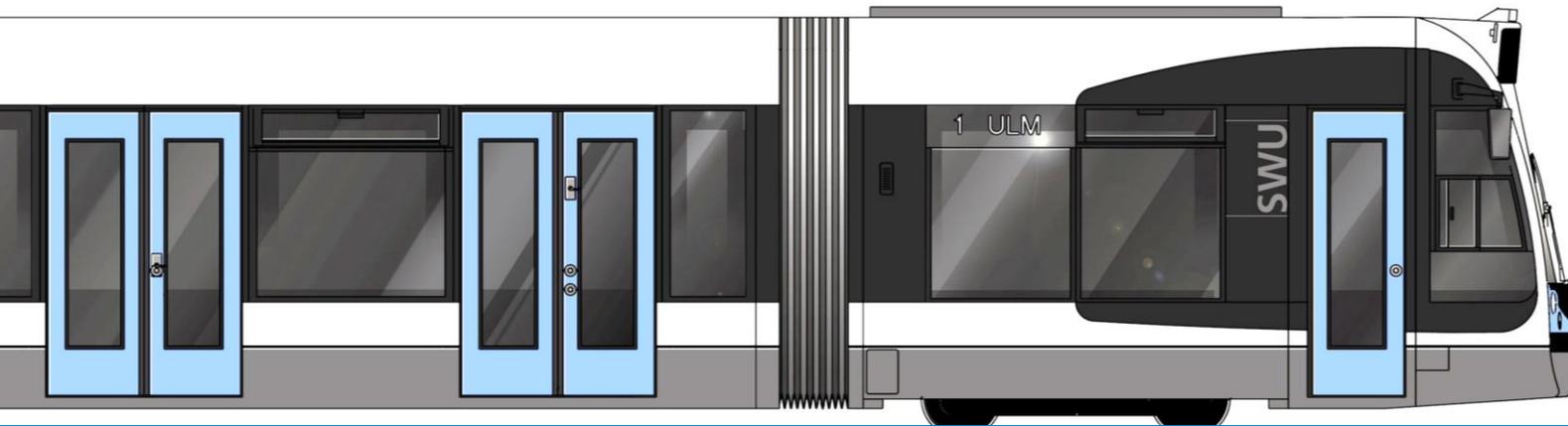
Fahr- und Bremstempomat

Gleit- und Schleuderschutz

3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

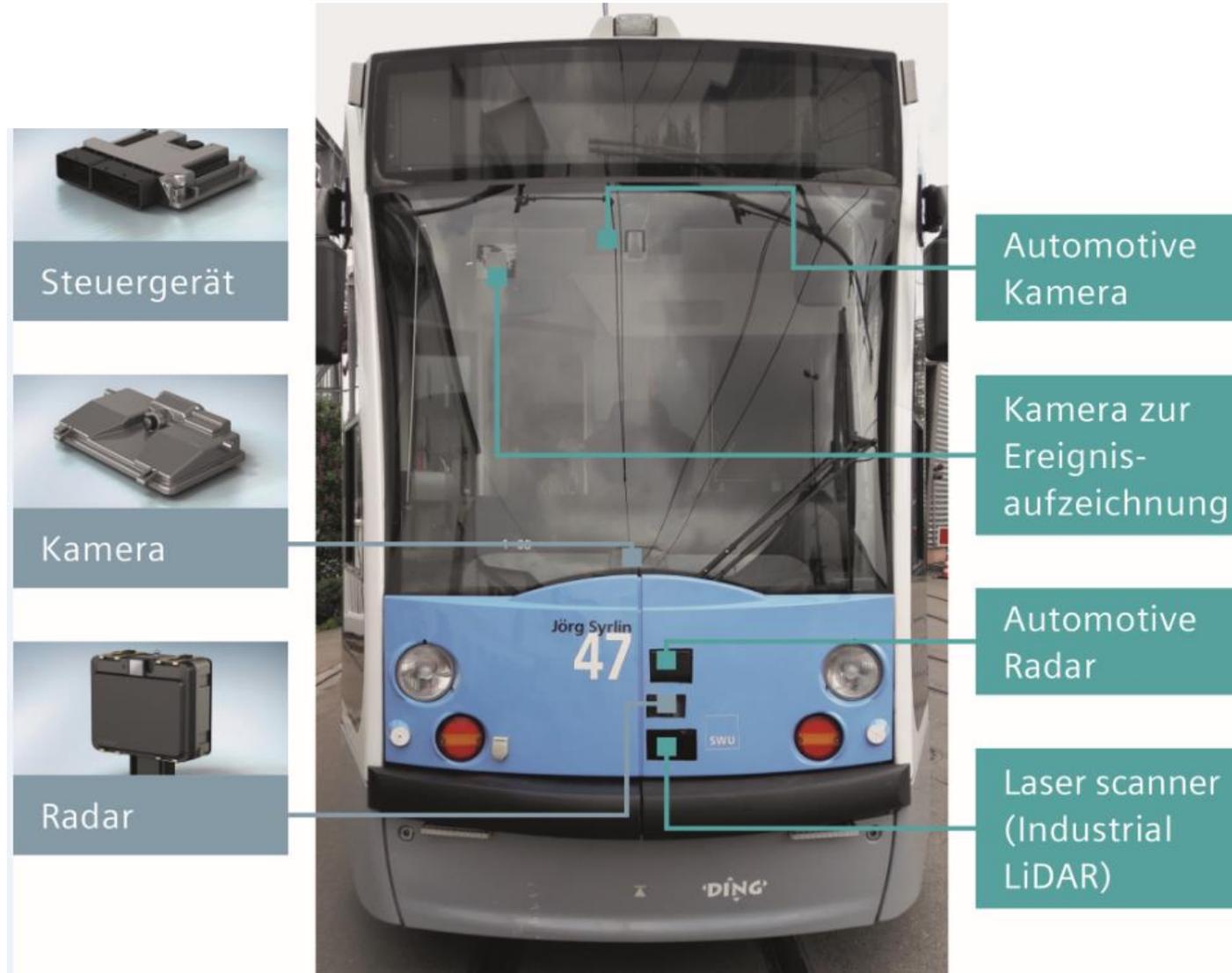
Testfahrzeug Combino 47



3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Zwei voneinander unabhängige Systeme.

Ziel:
Evaluation der Systeme und der Sensoren



3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Evaluation Kamera

- gute laterale Positionsschätzung
- gute Objektklassifizierung
- Entfernungsmessung nicht ausreichend

Kamera



nah fern statisch bewegt **genau**

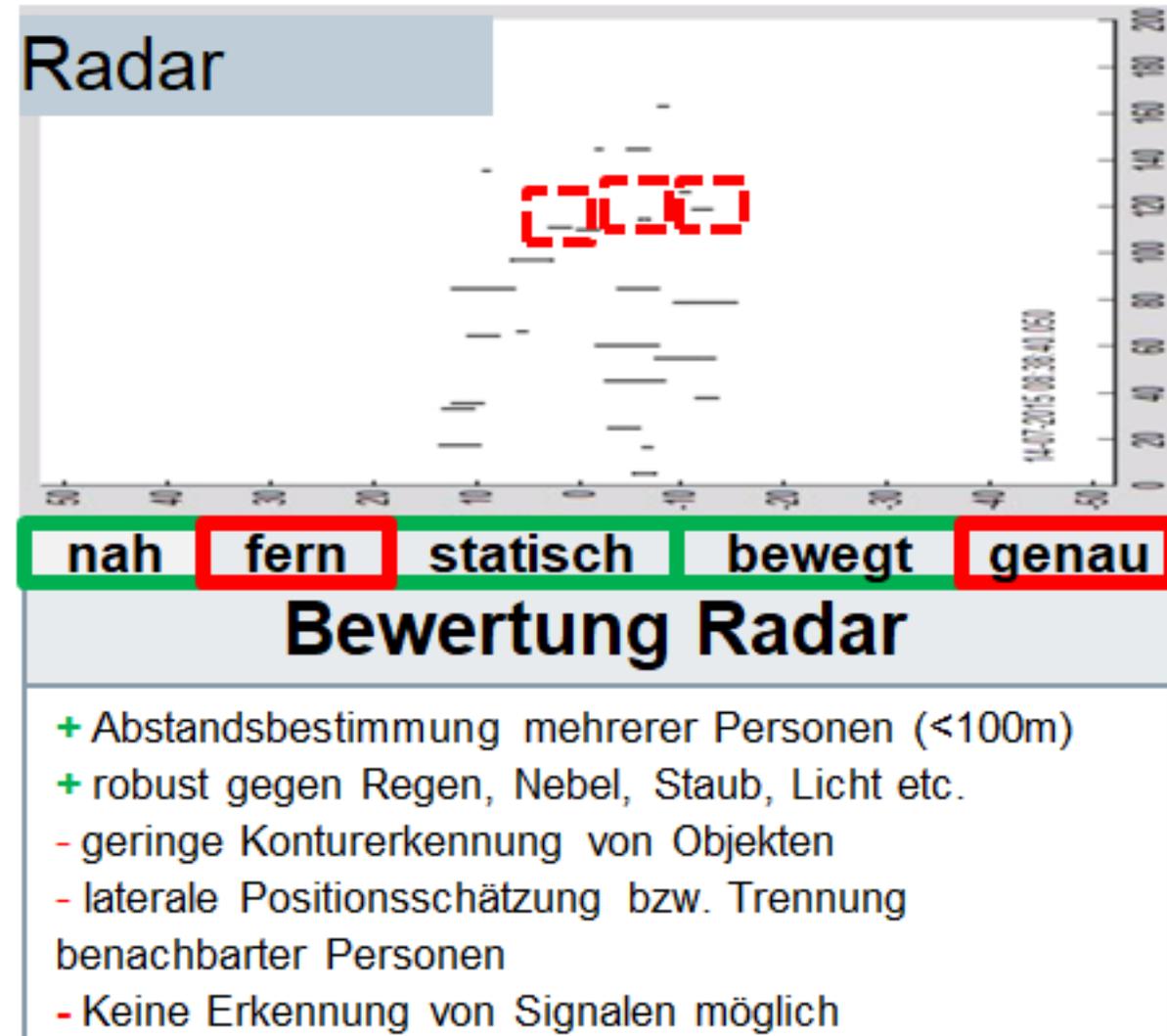
Bewertung Kamera

- + Zuverlässige Detektion & Klassifikation möglich, insbes. durch Stereo-System
- + Laterale Positionsschätzung der Hindernisse <10cm
- + Longitud. Entfernungsmessung <50-100cm bei Stereo
- Probleme bei wechselnden Lichtverhältnissen
- mäßige Entfern.- und Geschw.-Messung bei Mono

3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Evaluation Radar

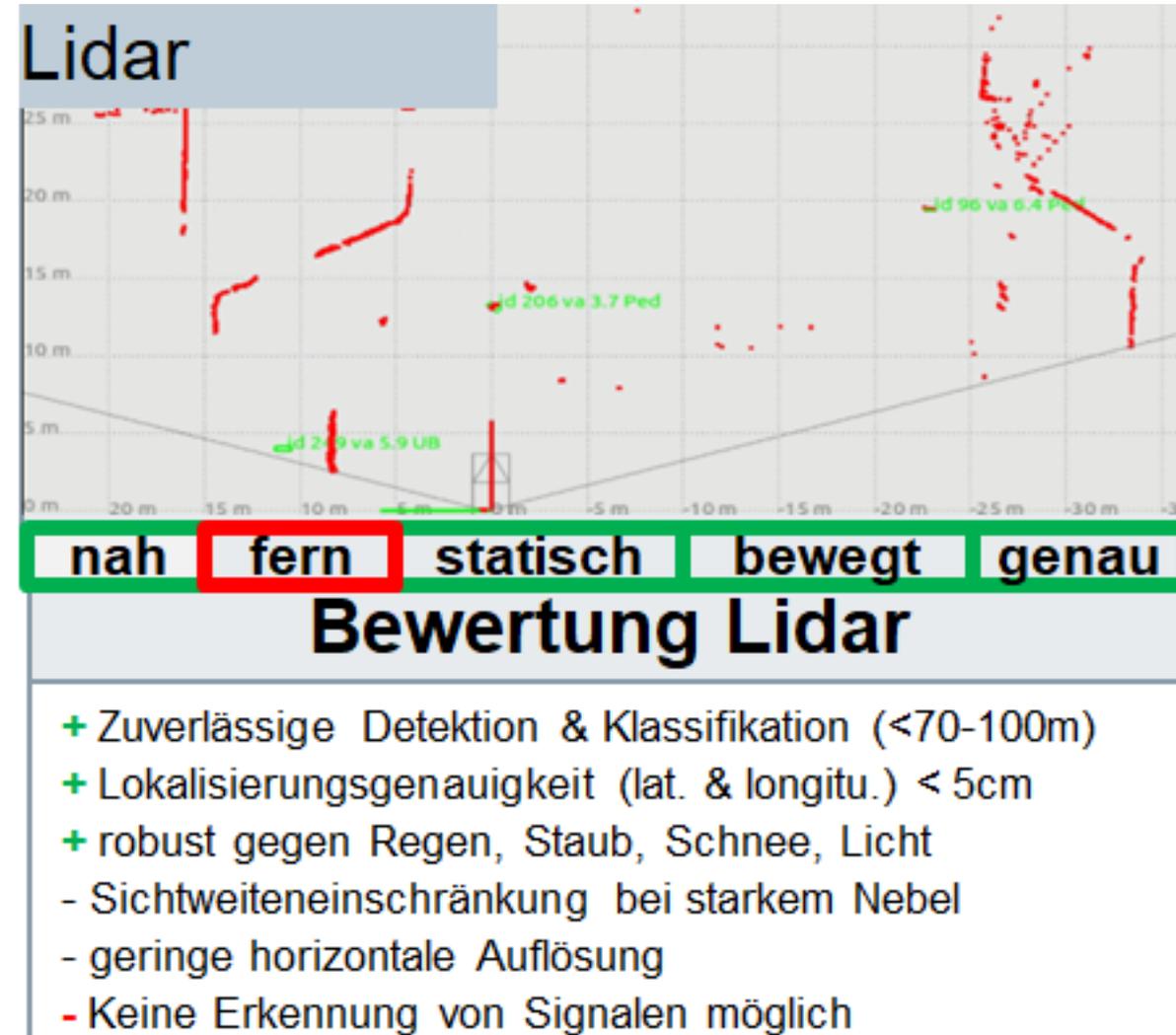
- gute Objekterkennung auch bei schlechter Sicht
- Laterale Auflösung nicht ausreichend
- Fahrwegerkennung nicht ausreichend



3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Evaluation Lidar

- gute Objekterkennung
- sehr genaue Lokalisierung
- Reichweite nicht ausreichend
- Fahrwegerkennung nicht ausreichend



3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Bewertung der Sensoren nach folgenden Kriterien:

Entfernung

u=ultranah (0 bis 20 cm)

n = nah (20 cm bis 200 m)

Witterungsbedingungen

R = Regen, N= Nebel

S = Schnee, D=Dunkelheit

G = Gegenlicht

Genauigkeit

la=lateral

lo=longitudinal

ko=kontour

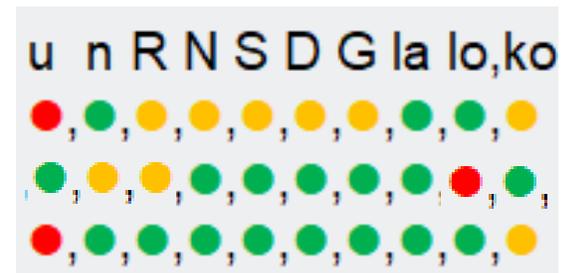
3. Erfahrungen Straßenbahnversuchsfahrzeug

Erkenntnis: die Fusion mehrerer Sensoren ist notwendig

Sensor A



Sensor A



Sensor B



Sensor C



Sensor A+B+C

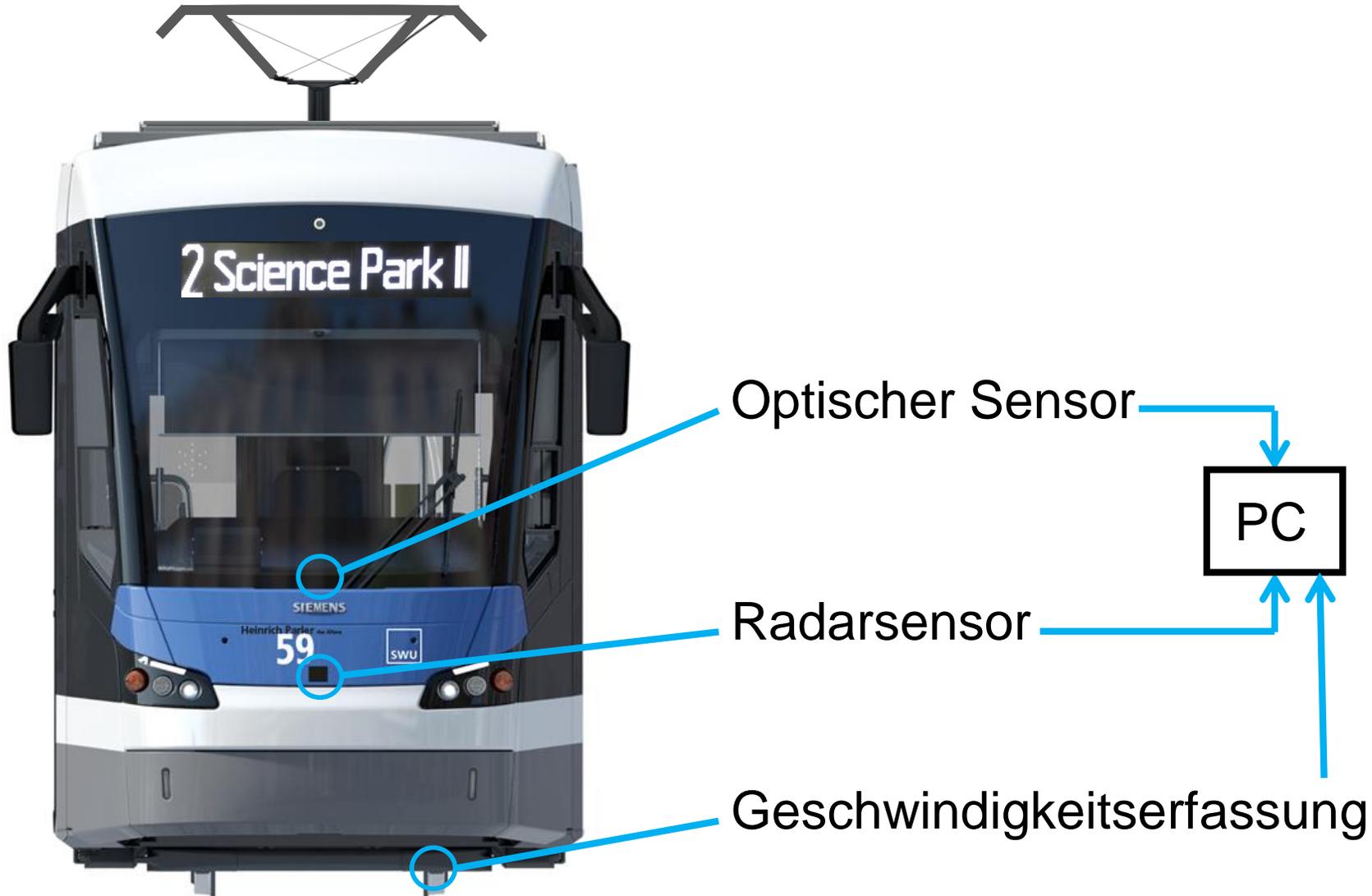


● Geeignet

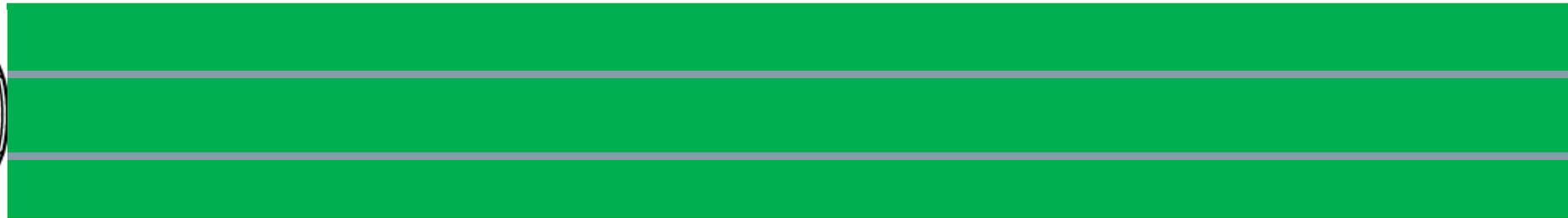
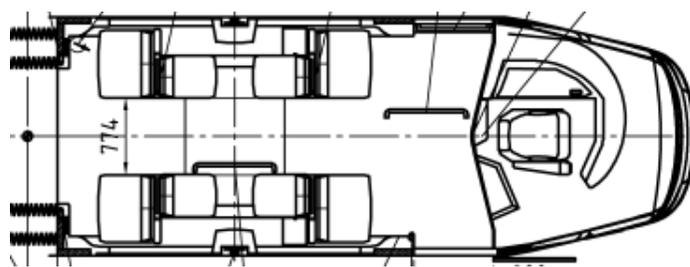
● Bedingt
geeignet

● Nicht geeignet

4. Bremsassistenzsystem im Avenio M

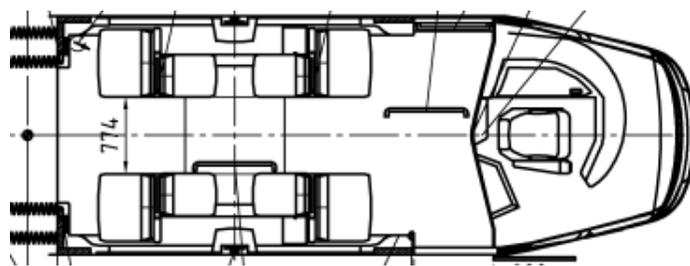


4. Bremsassistentensystem im Avenio M



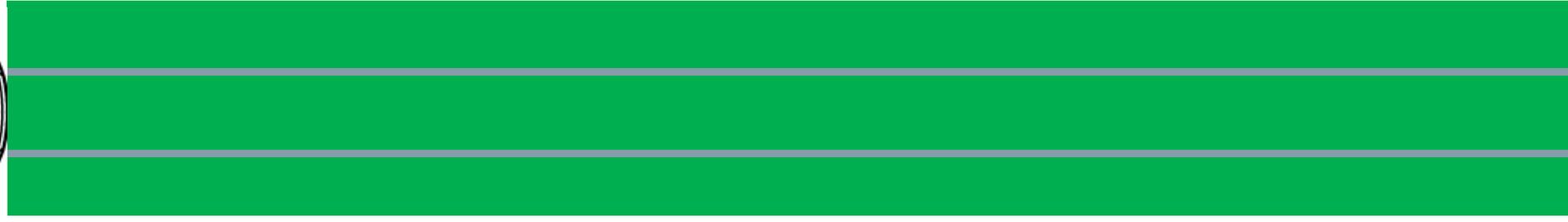
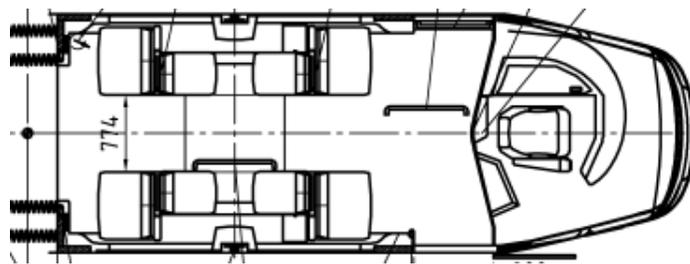
Selbsttest vor Fahrtbeginn

4. Bremsassistentensystem im Avenio M



System gestört

4. Bremsassistentensystem im Avenio M



Selbsttest OK

4. Bremsassistentensystem im Avenio M



4. Bremsassistentensystem im Avenio M



**Warnstufe 1
Fahrerwarnung**



Warnton 1: Summer



4. Bremsassistentensystem im Avenio M

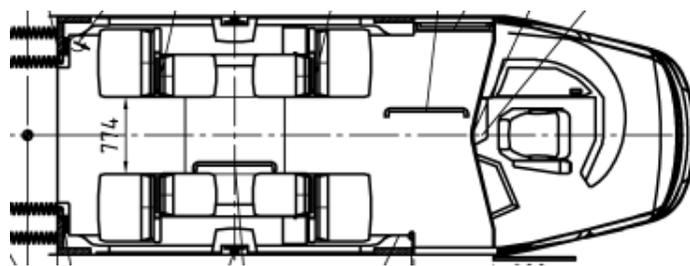


Warnstufe 2
Bremseingriff

Warnton 2: Gong



4. Bremsassistentensystem im Avenio M



Bahn steht mit Sicherheitsabstand von ca. 0,5m



4. Bremsassistentensystem im Avenio M



Bremseingriff mit ...

...max. $1,23\text{m/s}^2$ Verzögerung (normale Betriebsbremsung)

...Ruckbegrenzung von $1,3\text{m/s}^3$

...ist jederzeit vom Fahrer **auflösbar**

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

VDV Die Verkehrs-
unternehmen

VDV-Schrift

191
07/2019

Fahrerassistenzsysteme (FAS) für
Straßenbahnen zur Kollisionsvermeidung
mit direkt im Fahrweg befindlichen
Hindernissen

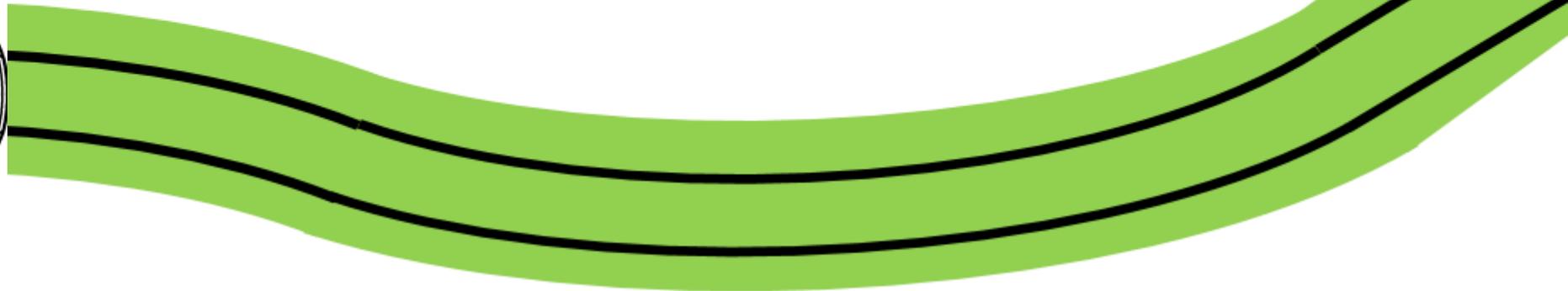
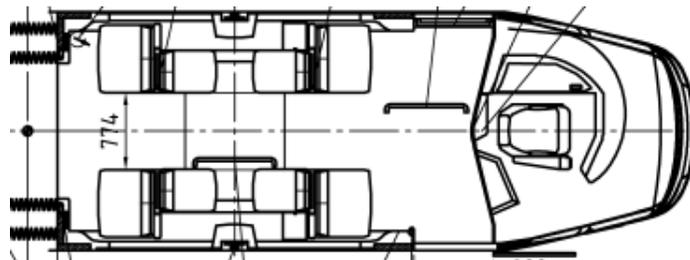
FAS der Funktionsstufe 1

Gesamtbearbeitung
Schienenfahrzeugausschuss

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

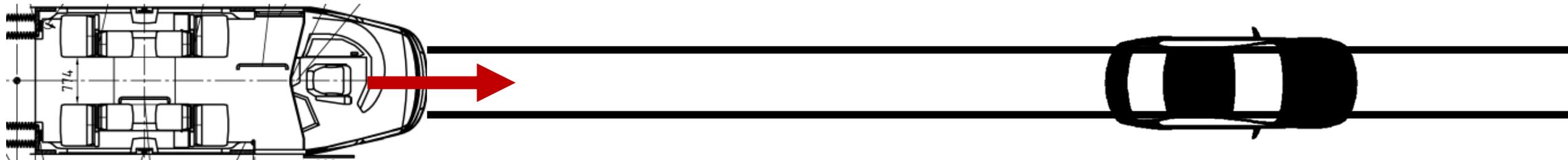
Grundsätzlich:

es muss der “**Fahrschlauch**” erkannt werden um zu definieren, was sich **im Fahrweg** sich befindet



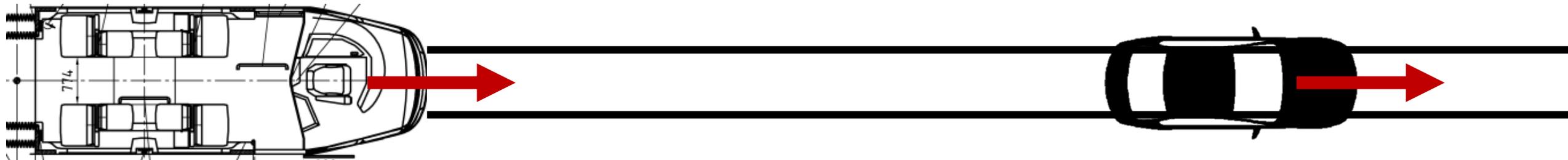
5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

**Es werden erkannt: Pkw, Lkw, Busse und Bahnen welche
- im Fahrweg stehen**



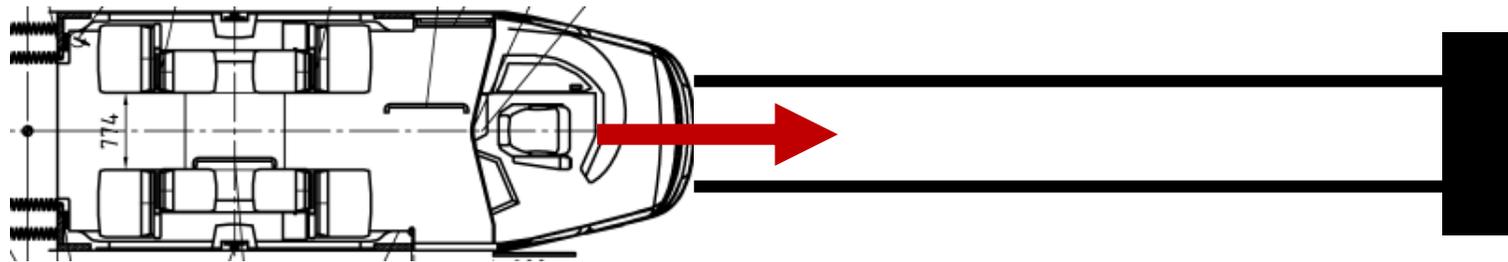
5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

**Es werden erkannt: Pkw, Lkw, Busse und Bahnen welche
- im Fahrweg fahren oder stoppen**



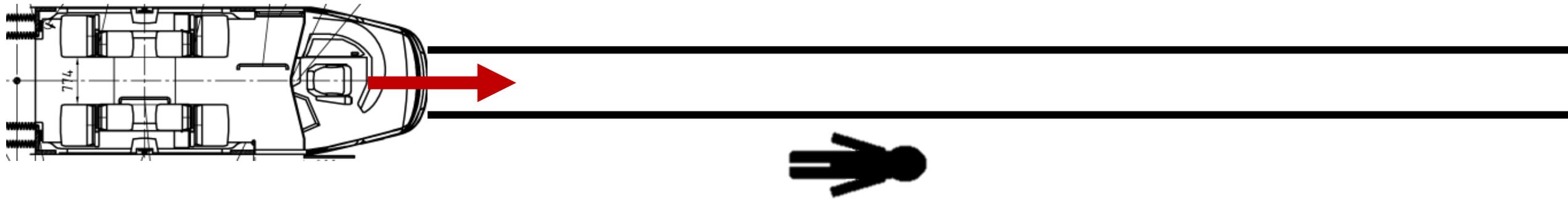
5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Es werden erkannt: Gleisabschlüsse/ Prellböcke



5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Es wird gerade gearbeitet an: Personenerkennung



5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

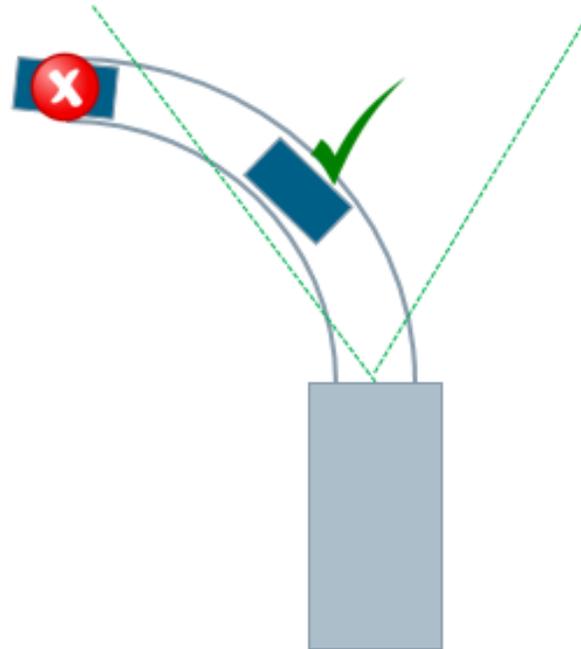
Es gibt derzeit noch Einschränkungen bei:

- der zuverlässigen Erkennung des **“Fahrschlauches”**
- der zuverlässigen Erkennung **aller Verkehrssituationen**
- schlechten **Umgebungsbedingungen**
(Dämmerung, Regen, tiefstehende Sonne usw.)

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Kurven kleiner 50 m

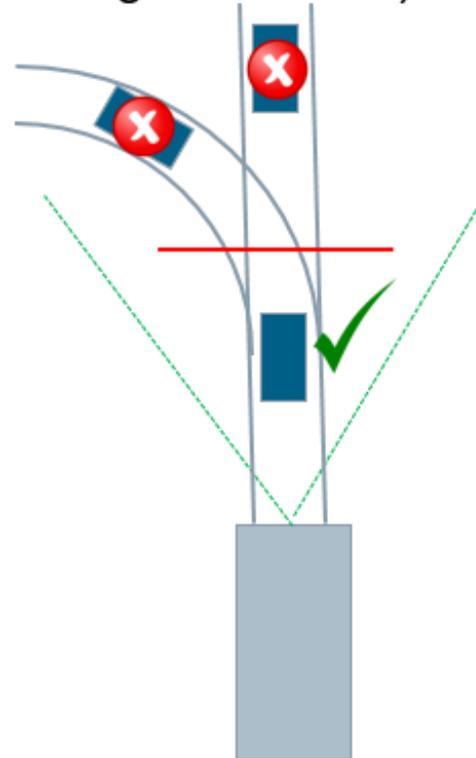
-> Erkennung von Objekten nur innerhalb des Sichtwinkels der Sensoren



5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

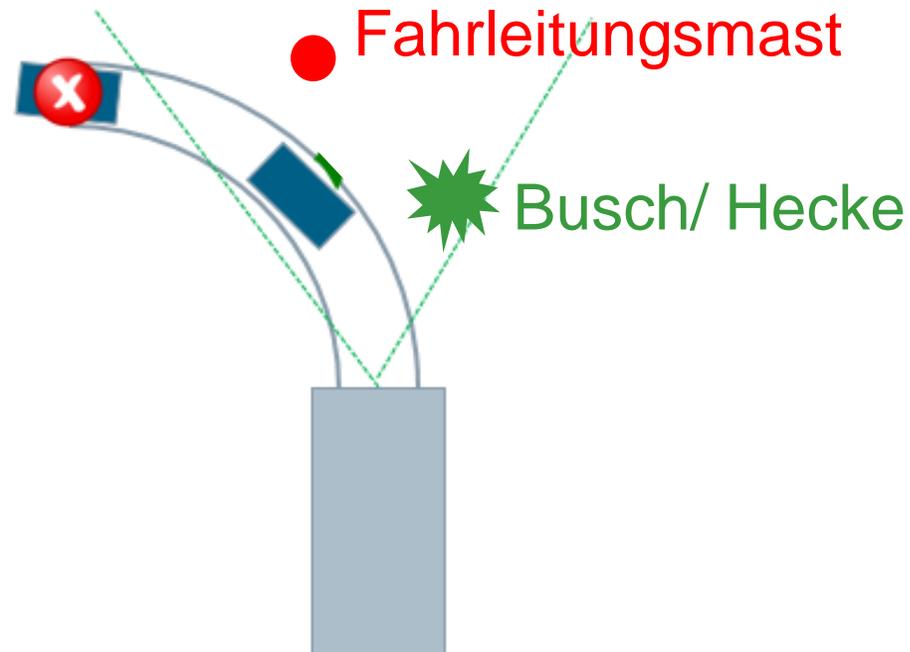
Fahrweg hinter Weichen

-> Reaktion nur auf Objekte bis zum Mittelpunkt der Weiche
(Fahrweg unbekannt)



5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Unterdrückung von Hindernissen, welche nicht im Fahrweg stehen



5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

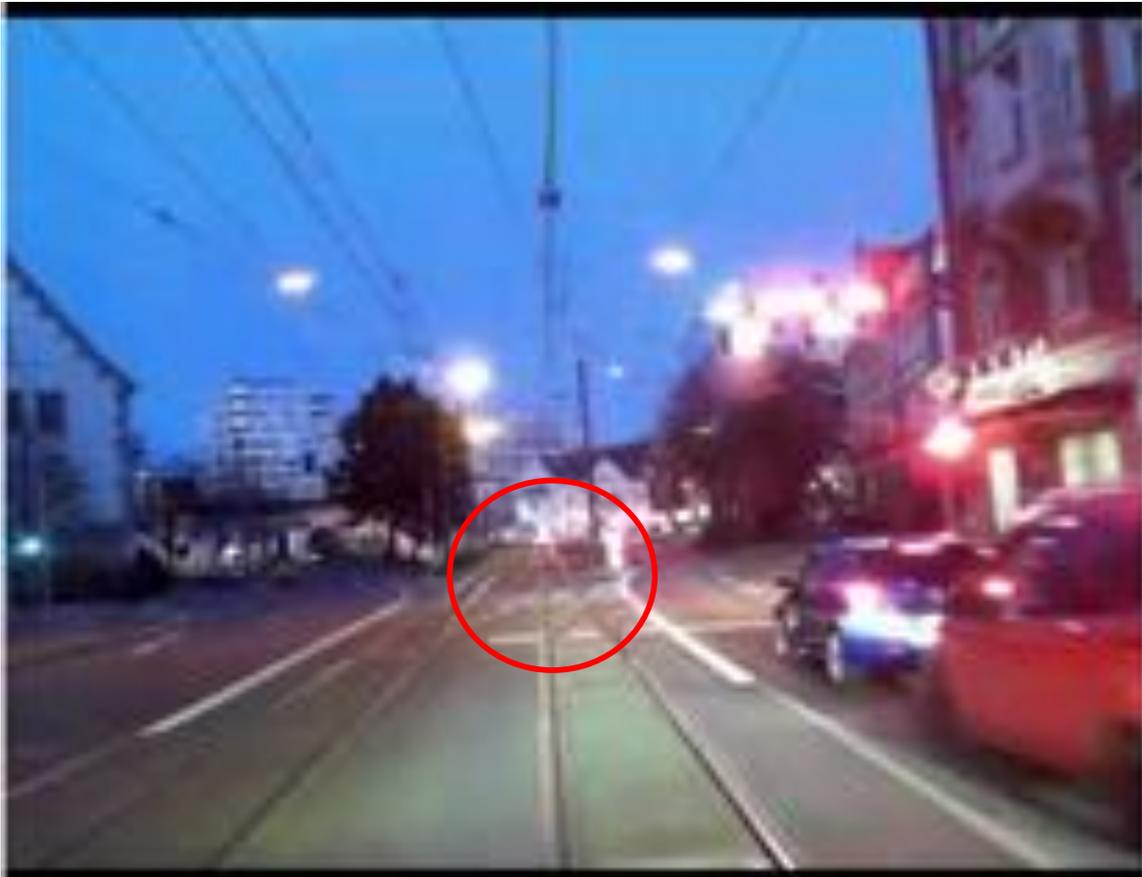
Falsche Schienenerkennung durch schlechte Lichtverhältnisse



Fahrleitungsmast wurde als im Fahrweg stehend erkannt

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

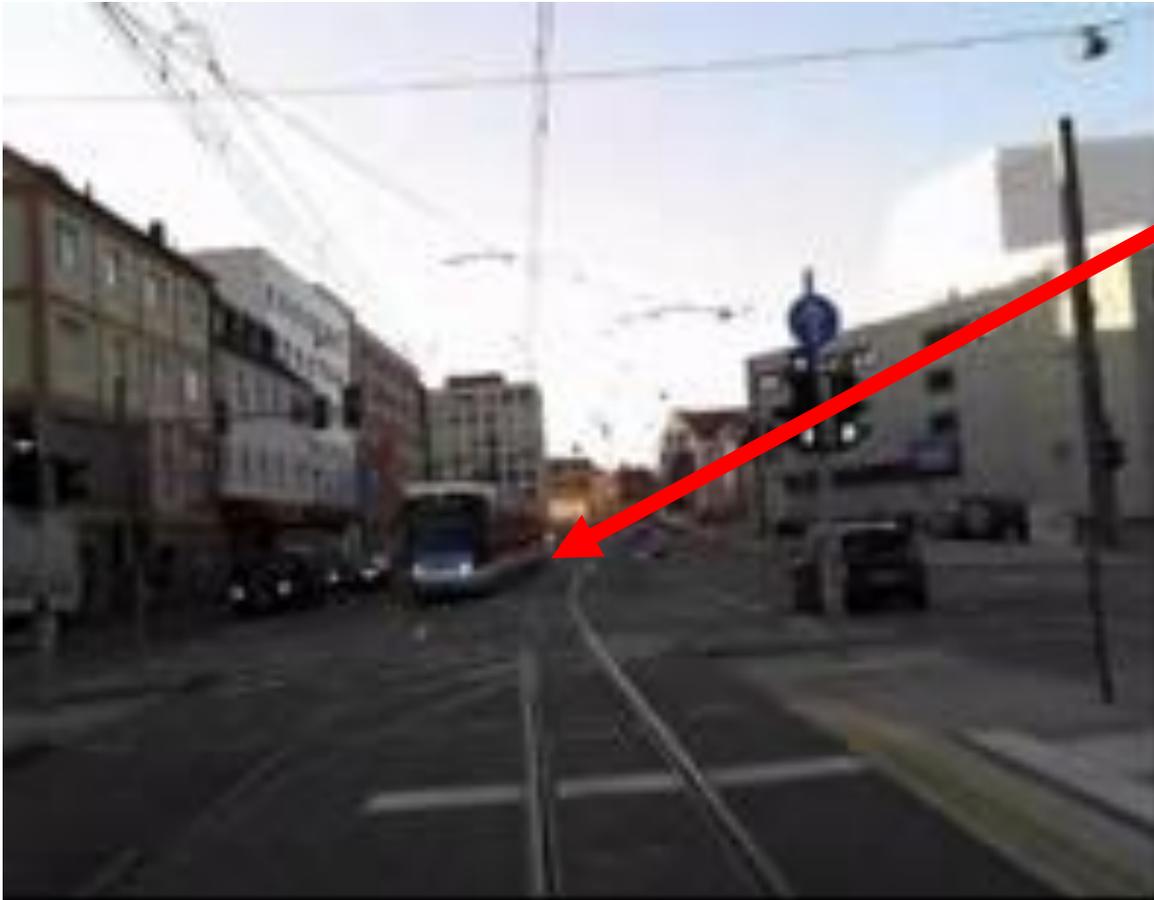
Falsche Objekterkennung durch Lichtübergang hell/dunkel



Warnung auf nicht vorhandenes Objekt

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Falsche Schienenerkennung



Warnung auf entgegenkommende
Bahn

5. Was kann von heutigen Systemen erwartet werden

Falsche Objekterkennung durch Kombination Weiche/Schatten



Warnung auf nicht vorhandenes Objekt

6. Ausblick

6. Ausblick

Grade of Automation

GoA0 Fahren auf Sicht

GoA1 Fahrer wird durch Assistenzsysteme unterstützt

GoA2 Halbautomatischer Betrieb, Fahrer startet und überwacht

GoA3 Fahrerbegleitetes automatisches Fahren

GoA4 Vollautomatischer fahrerloser Betrieb

6. Ausblick

GoA0 und GoA1

Geringe Sicherheitsanforderungen an die Systeme, da der **Fahrer voll in der Verantwortung** für das Führen des Fahrzeuges ist.

....

GoA4

Extrem hohe Sicherheitsanforderungen (SIL4) an die Systeme, da das Fahrzeuge komplett autonom fährt.

Erst mit der Einsparung des Fahrers entsteht ein wirtschaftlicher Nutzen. Bei den Stufen GoA1 bis GoA3 addieren sich die hohen Systemkosten zu den schon vorhanden Personalkosten.

6. Ausblick

In völlig abgeschirmten Bereichen (U-Bahn) wird heute schon autonomes Fahren nach GoA4 praktiziert (Beispiel Nürnberg).

Hierbei wird allerdings der Fahrweg durch Tunnel und Einfriedung von allen nicht erfassbaren Hindernissen freigehalten.

6. Ausblick

Derzeit wird daran geforscht, wie die **Abläufe im Betriebshof automatisiert** werden können (autonomes Rangieren und Abstellen der Fahrzeuge).

Hier herrschen „**vereinfachte**“ **Bedingungen** da sich die Betriebshöfe in nicht öffentlich zugänglichen, eingezäunten Geländen befinden.

Allerdings ist absehbar, dass die Kosten deutlich höher als der Nutzen sind.

6. Ausblick

Ein nächster, jedoch sehr großer Schritt, könnte das **vollautomatische Fahren außerhalb der Stadtzentren** auf unabhängigem Bahnkörper sein.

Für die Fahrt im **innerstädtischen Bereich** sind aber **weiterhin Fahrer** notwendig. Es würde hierdurch aber ein fortwährender Wechsel zwischen GoA1 und GoA4 erfolgen.

6. Ausblick

Ein komplett automatisierter Fahrbetrieb an der Oberfläche in Innenstädten ist beim derzeitigem Entwicklungsstand der Technik nicht absehbar.

Danke für
Ihre Zeit.



SWU

SWU
DING