Innovative Zugsicherungstechnik der Stadtbahn Frankfurt am Main

Hybrides Zugsicherungssystem - CBTC

DIGITAL TRAIN CONTROL
SYSTEM FRANKFURT

FRANKFURT MIND+

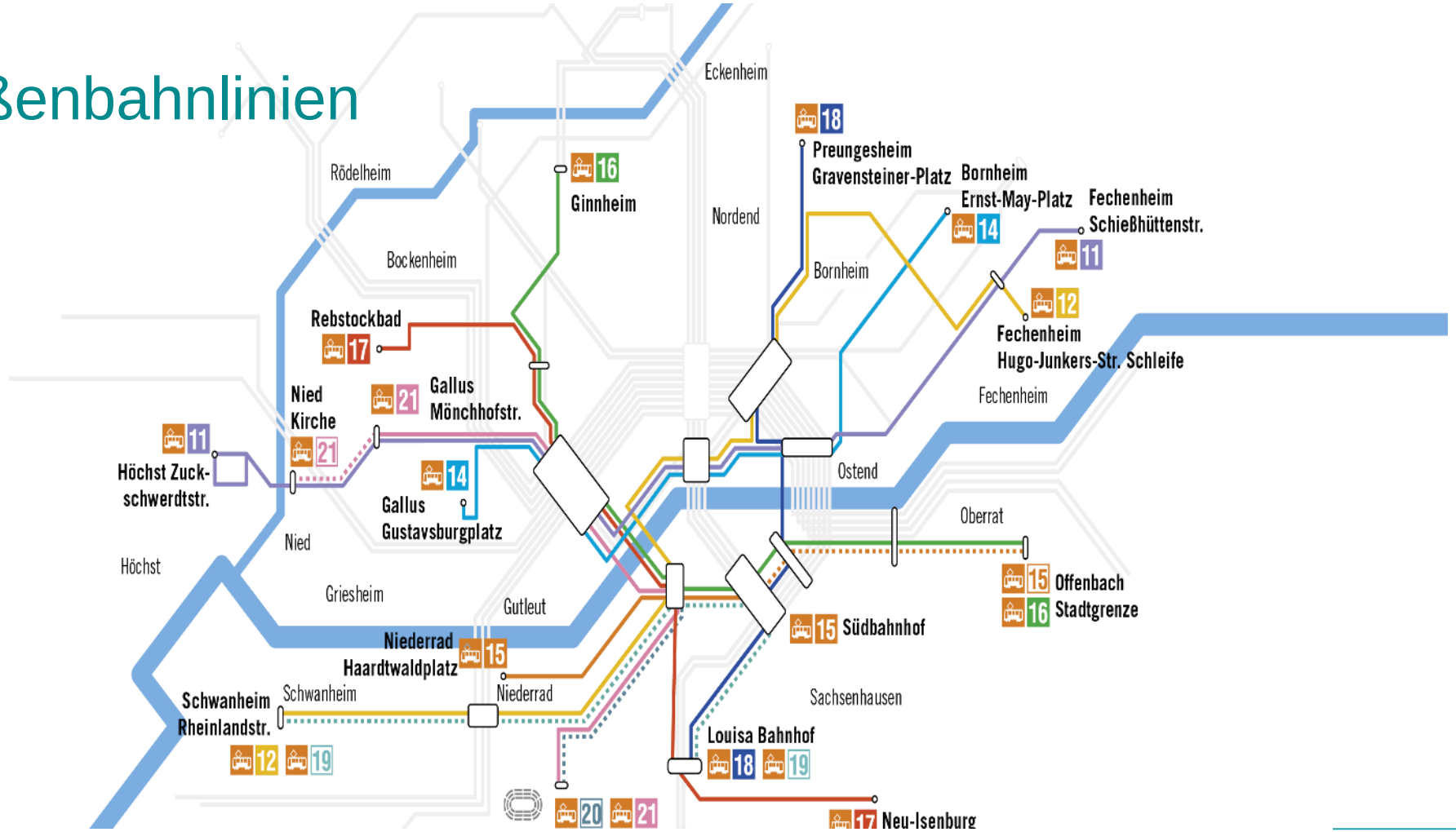
Kontakt:

christian.schmidt@vgf-ffm.de

VGF

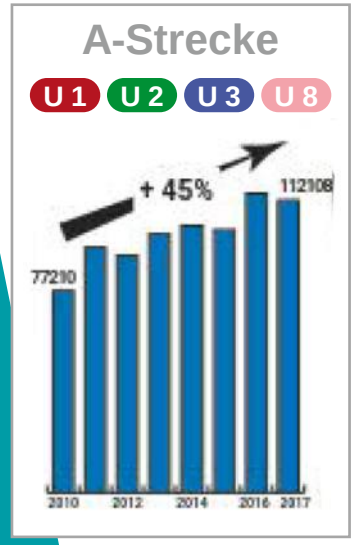
Streckennetz Straßenbahn

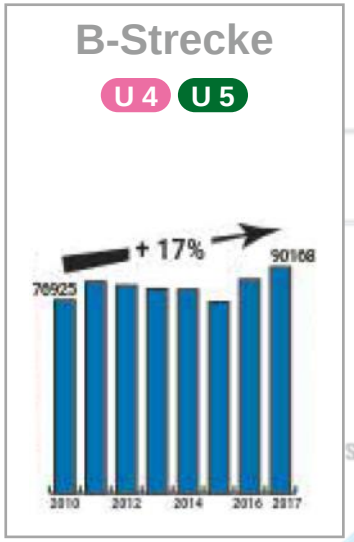
10 Straßenbahnlinien

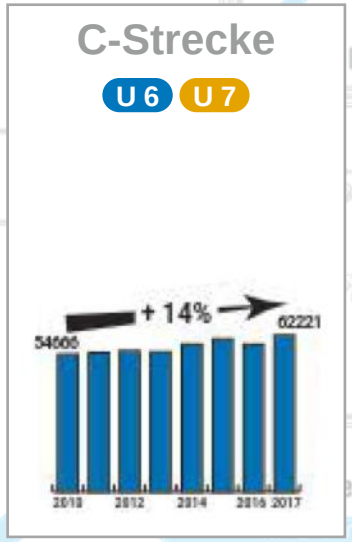


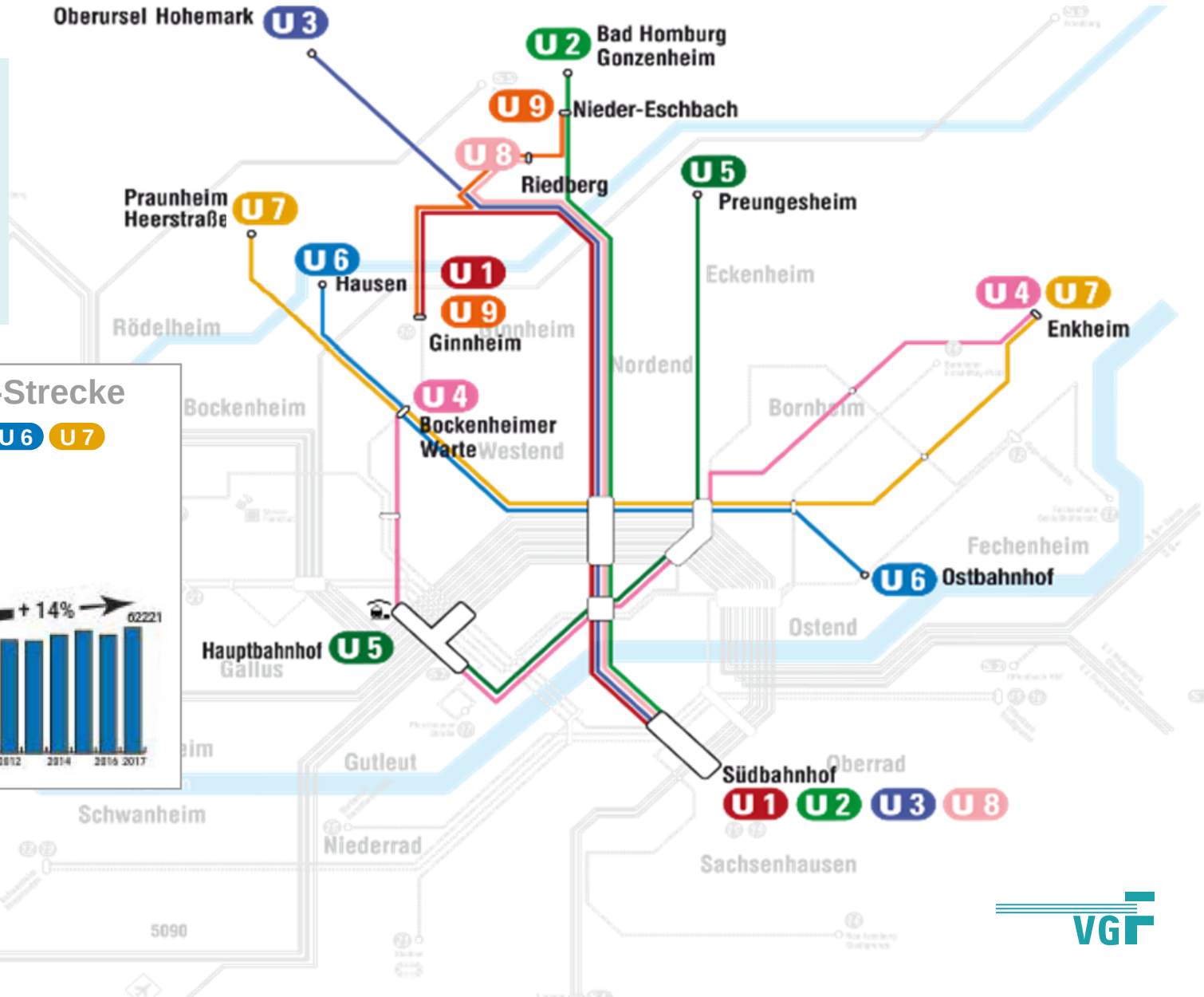
Streckennetz Stadtbahn und Fahrgastzuwächse

- Unterirdische und oberirdische Streckenführung
- 3 Hauptstrecken
- 9 Linien









Zugsicherungstechnik – Obsoleszenzproblem

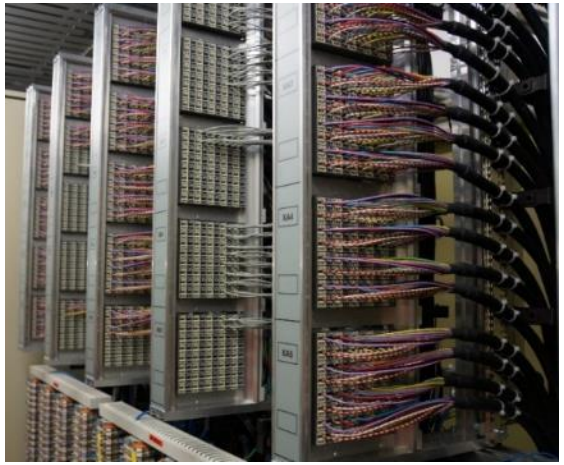
Relaisstellwerke

- **1974:** Römer
- **1978:** Römerstadt
- **1980:** Bornheim Mitte
- **1981/2007:** Hauptwache 1
- **1984:** Hauptwache 2
- **1984:** Bommersheim

ESTW Stellwerke

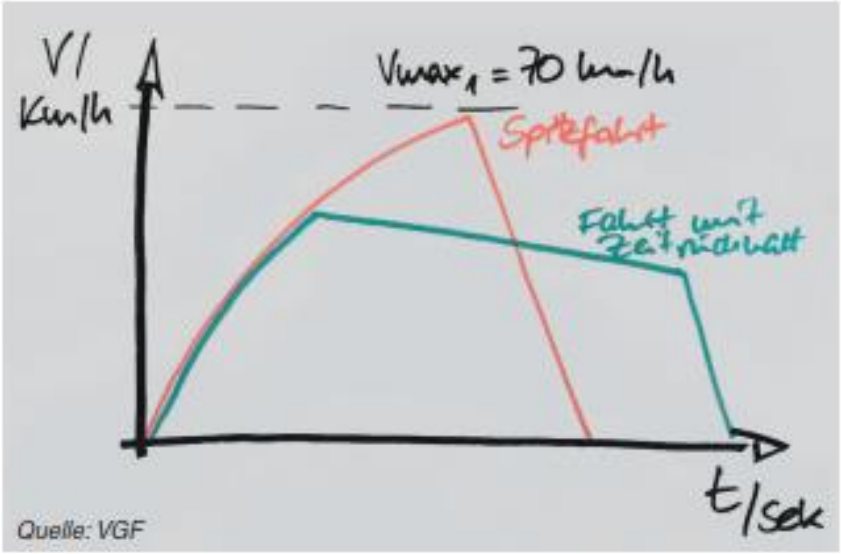
- **1989:** Heddernheim (Bauform Simis B)
- **2001:** Bockenheim (Bauform Sicas 3216)
- **2016:** Zoo (Bauform Sicas ECC)

Relaisgestelle



Kabelabschlussgestell

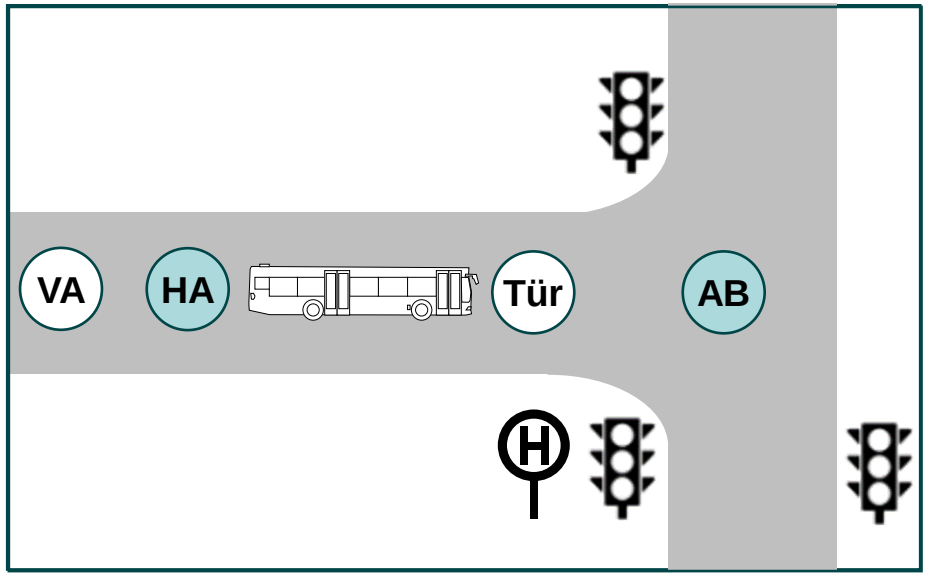
Rechnerschrank

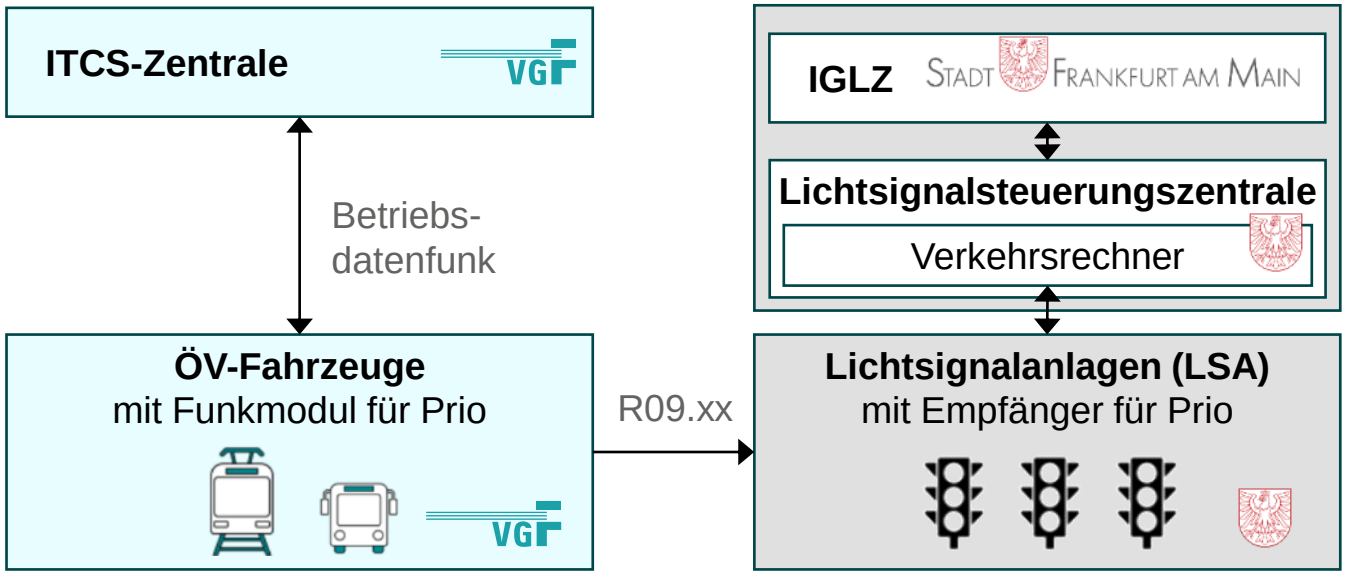


VGF-ECO-MODUS
Das Energieeffizienz-Programm

VGF

ÖPNV-Bevorrechtigung – Status Quo





- Technik ist seit **1980er** Jahren angewendete Praxis
- Nutzung sogenannter **Meldepunktketten** als **Meldeprinzip** zur **ÖPNV-Priorisierung**
- Nutzung der **Infrarotbaken** und **Funktechnik**
- **Umstrukturierungen** im **Frequenzbereich** (**Umstellung** 20 KHz-Raster auf 12,5 kHz bis Ende 2028)

- **Schwäche bei den situationsbedingten Anforderungen**
- **Bestandtechnologie erschwert Innovationen**

Konzeptstudie

Strategische Planung 2018

Januar	Mai	Juni	November	Dezember
VGF Kickoff-Workshop	Bekanntmachung Markterkundungs-verfahren	Gespräche Markterkundung	Technischer Workshop CBTC	Abschluss Konzeptstudie
ESE Engineering und Software-Entwicklung	Ziel: Frühzeitigen Informationsaus-tausch zwischen der VGF und der Branche.	Institut für Bahntechnik GmbH HANNING & KAHL BBR VERKEHRSTECHNIK voestalpine	THALES SIEMENS BOMBARDIER	ESE Engineering und Software-Entwicklung

VGF

Konzeptstudie – CBTC – Zukunftssicherheit

Weltweite betriebsbewährte Produktplattformen minimieren zukünftige Obsoleszenz und sichern somit die Investition.

Konzeptstudie

Referenzbesuche 2019

Mai
San Francisco
THALES

Mai
Ottawa
OTrain
THALES

Mai
Toronto
BOMBARDIER

August
Kopenhagen
SBANE
SIEMENS
Ansaldo STS
A Hitachi Group Company

VGF

Zugsicherungstechnik – Heute und in Zukunft

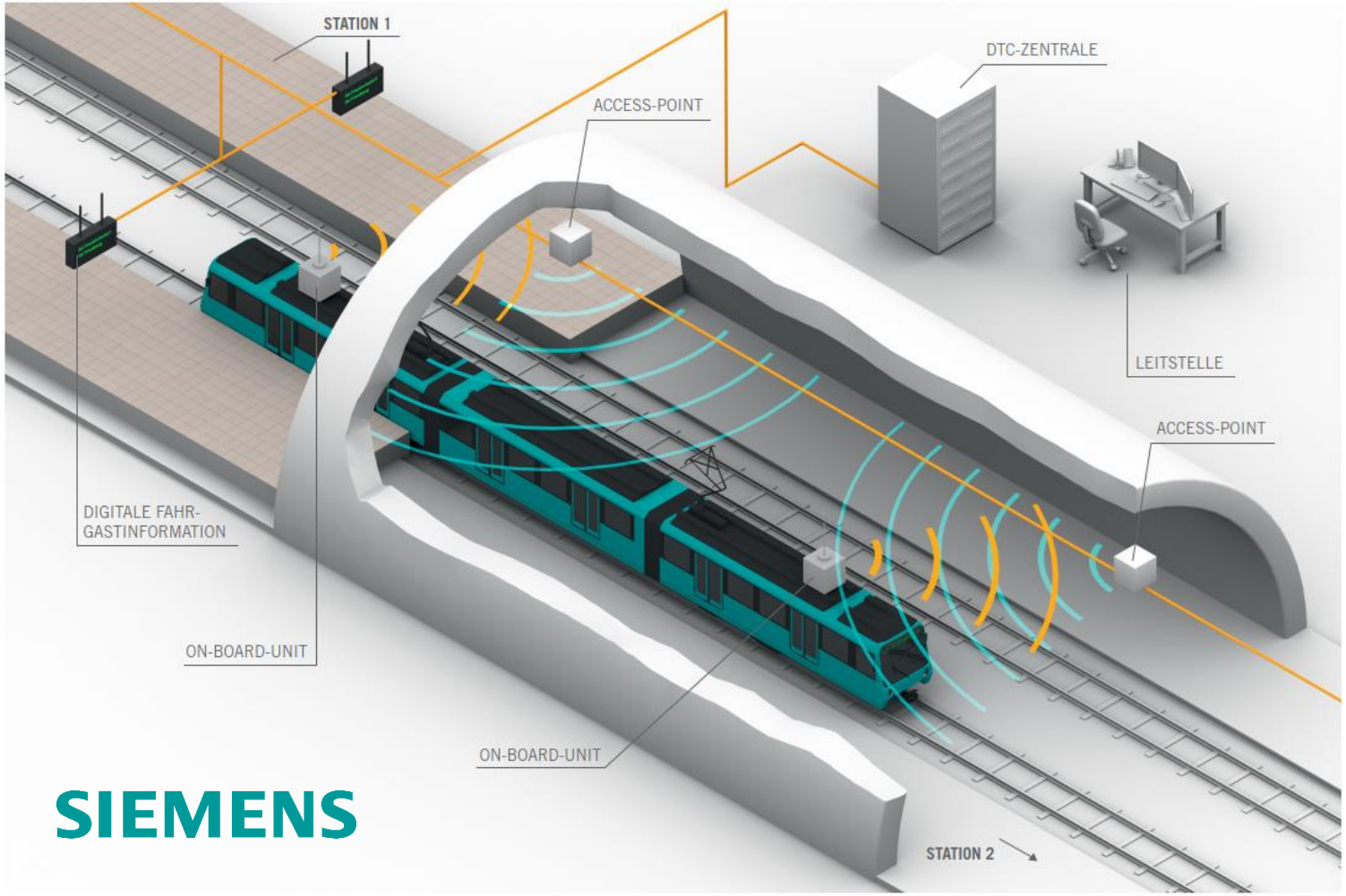
AKTUELL: VERBAUTES SYSTEM
FIXED-BLOCK SIGNALING

IN ZUKUNFT: COMMUNICATION**B**ASED**T**RAIN**C**ONTROL
MOVING BLOCK SIGNALING

B-Strecke Taktverdichtung von 24 auf 30 Züge je Stunde in der HVZ

Digitalisierung der Zugsicherungstechnik

DIGITAL TRAIN CONTROL
SYSTEM FRANKFURT

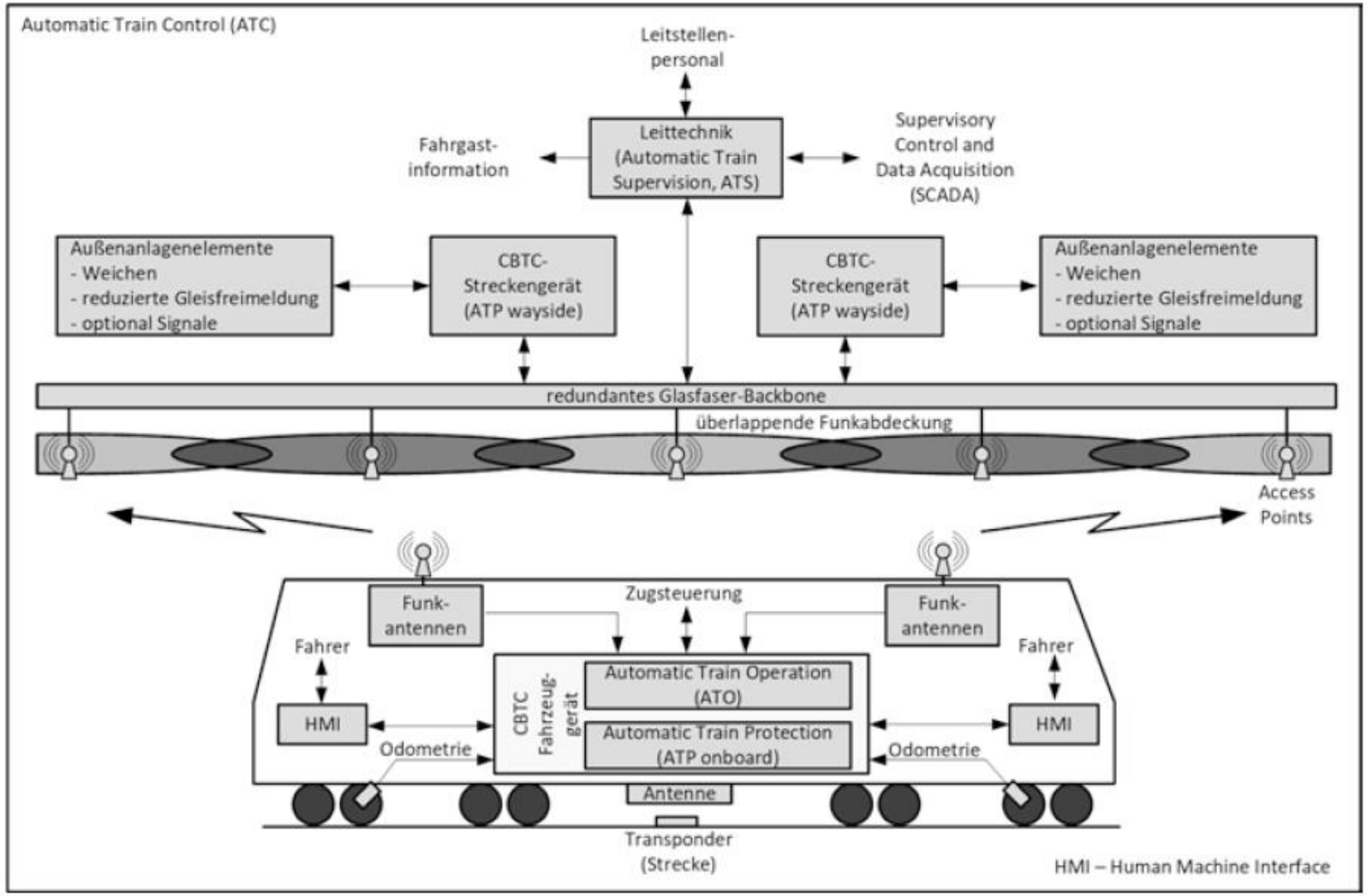


- CBTC-Technik im Tunnel
- Taktverdichtung von 24 auf 30 Züge in der Stunde in der HVZ
- Ganzheitlicher Systemansatz
- Erhöhung der Stabilität, der Qualität und der Wirtschaftlichkeit des Betriebs
- Energieoptimierung (bis zu 25%) und Lösung von Obsoleszenzproblemen

VGF

DTC-Komponenten – Systemaufbau CBTC IEEE 1474.1

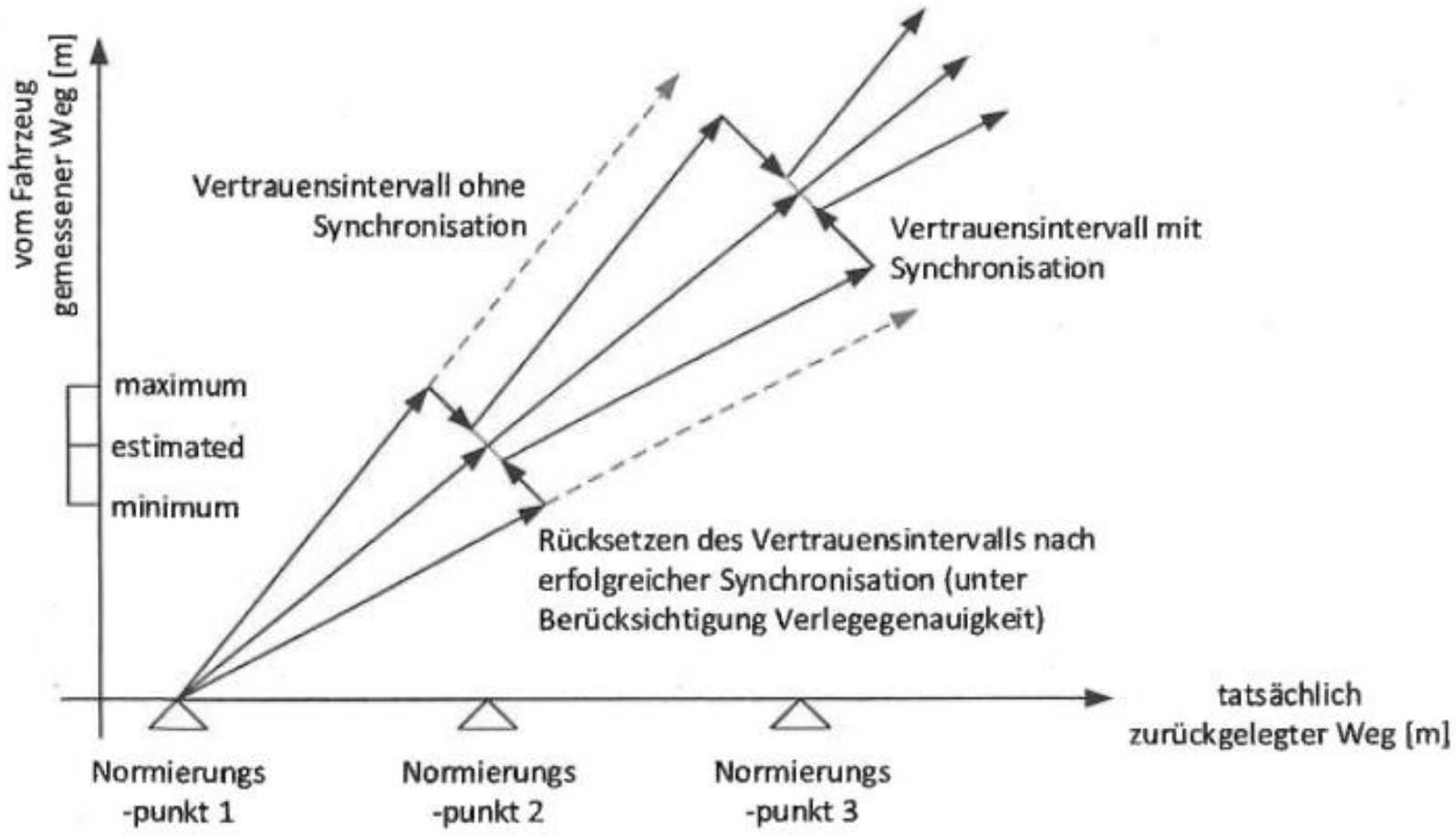
Leitstelle – Strecke - Fahrzeug (Systembindung an einen Lieferanten)



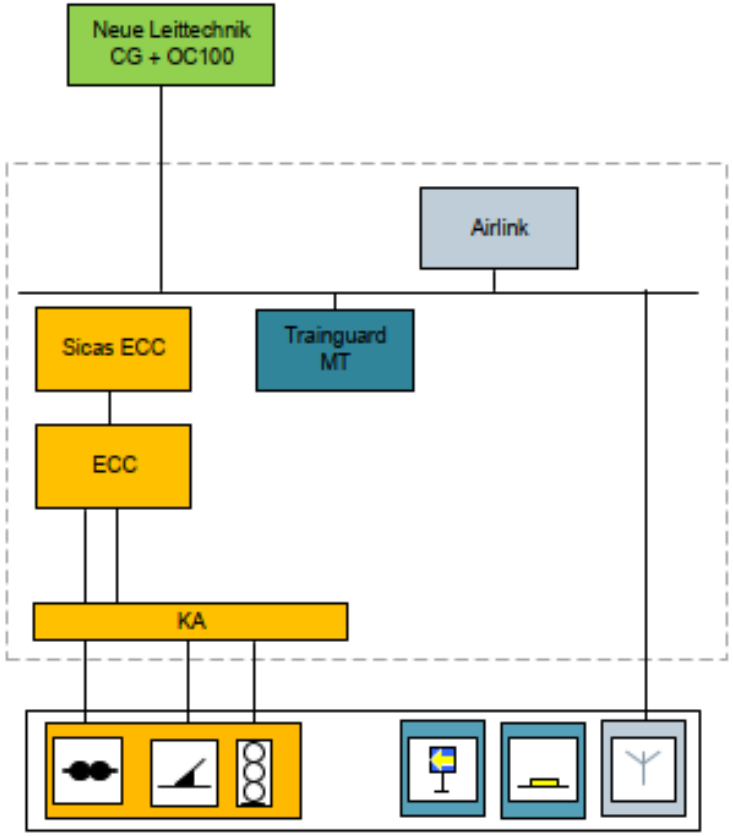
Strecke - Eurobalisen

- Einsatz von Ortsmarken auf Basis von passiven Balisen
- Bei Überfahrt werden die Balisen mit Energie versorgt und
- senden eine Balisen ID
- Bestimmung der absoluten Fahrzeugposition mit Hilfe des Streckenatlas (TDB – Track Data Base) und der eindeutigen Identifikationsnummer
- Erhöhung der Ortungsgenauigkeit (Schleudern und Gleiten)

Ortungsgenauigkeit durch regelmäßige Synchronisation



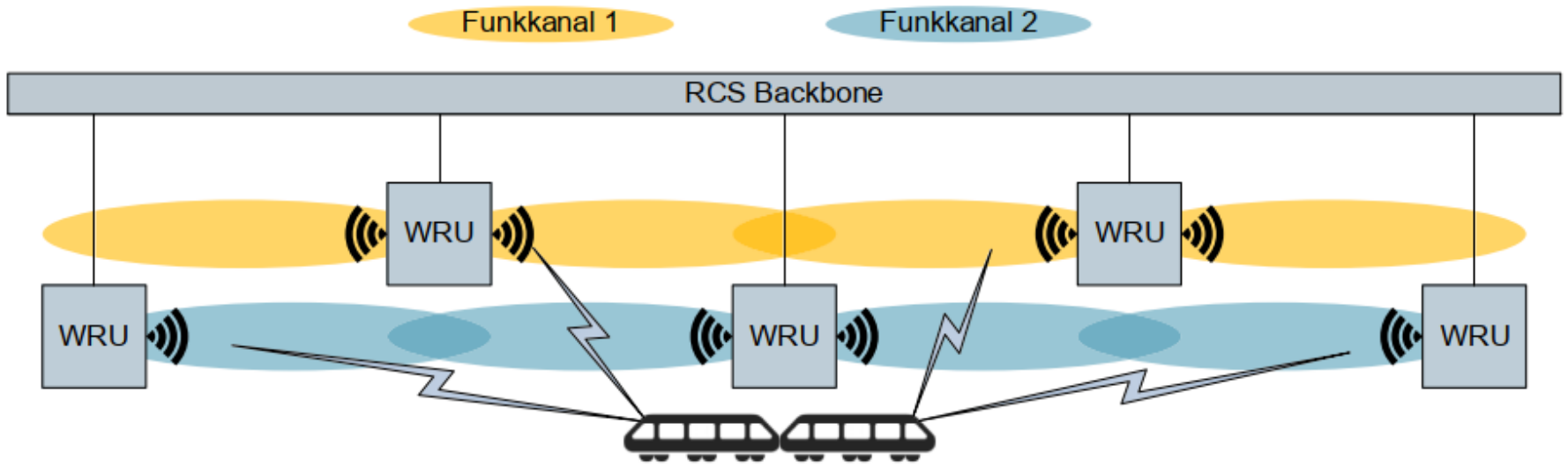
Strecke – Stellwerkstechniken, Teilsysteme von Trainguard MT



- **Sicas ECC** - Elektronisches Stellwerk, überwacht und steuert die Einzelelemente der Fahrstraße (Weiche, Gleisabschnitte (Achszählung))
- **WCU-ATP** - Sichere Detektion und Separierung der CBTC und Nicht-CBTC Fahrzeuge. Ermittelt die Movement Authorithy (Zuglaufverfolgung, Fahrerlaubnis)

WCU = Wayside Control Unit

Datenkommunikation – Airlink – CBTC Radio System



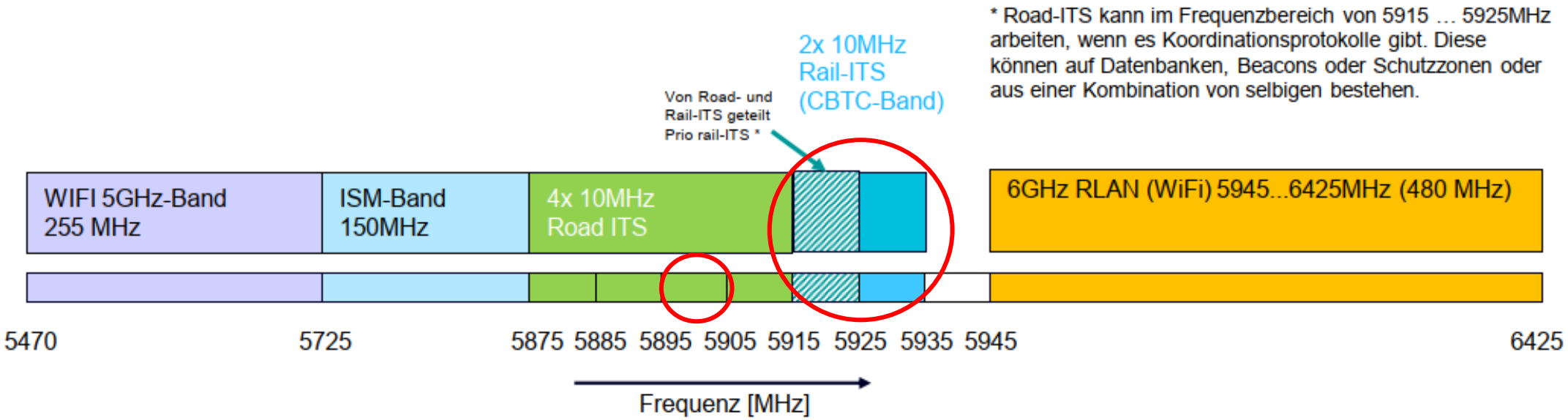
WRU = Wayside Radio Unit

- Eine hochverfügbare, redundante, bidirektionale IP-basierte Datenverbindung
- Frequenzbereich von [5,915 MHz bis 5,935 MHz] - aktuell keine Hardware, neuer Frequenzbereich
- Zwei Funkkanäle wegen Ausfallsicherheit (Redundanz)
- Netto Datenrate liegt bei etwa 750 kbit/s ausschließlich für CBTC-Anwendungen

CBTC- und C-ITS (V2X)- Funkfrequenzen

02/2020 Beantragung über den VDV, Exklusiven Frequenzbereich 5,915 – 5,935 GHz

- 5 875 - 5 935 MHz : Intelligente Verkehrssysteme (IVS) allgemein
- 5 925 - 5 935 MHz: Beschränkung auf IVS im städtischen Schienenverkehr



CBTC – Funkanforderungen

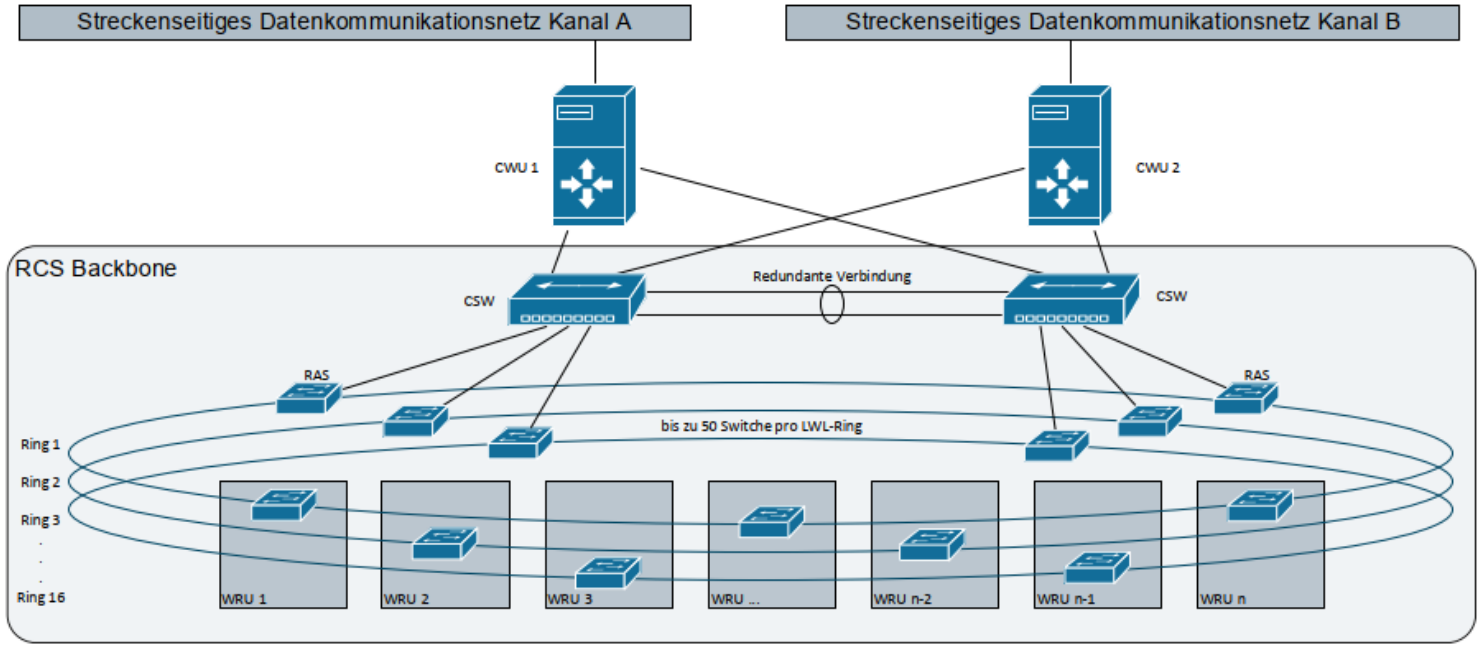
- Bandbreite < 1 Mbps / Zug
- Latenzzeiten < 100 msec
- Verfügbarkeit (sehr hoch): 99,999%
- Priorisierungsmöglichkeiten
- Interferenzminimierung (störungsfreie Kommunikation)

C-ITS (V2X) Funkanforderungen

- 5,9-GHz-Band
- Bildung von Ad-hoc-Netzwerken
- C-V2X basiert auf Mobilfunktechnologie
- ITS-G5 spezielle WLAN Technologie für den Verkehrssektor
- Fequenzbereichskonflikt zwischen C-V2X und ITS-G5

Datenkommunikation

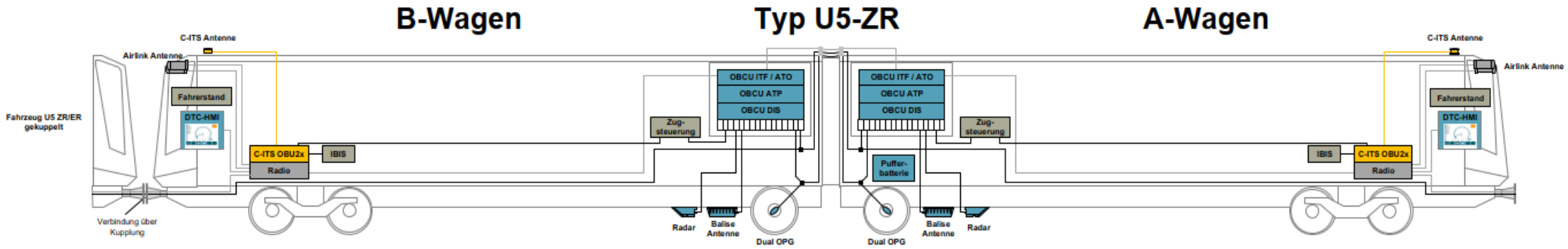
Radio Backbone Netzwerk



- Anschluss über Glasfaserkabel (LWL)
- Alle Wayside Radio Unit`s (WRU), streckenseitige Funkkomponenten, werden mit dem LWL in einer Ringstruktur mit redundanter Topologie verbunden
- Max. 50 Knoten können an einem LWL-Ring teilnehmen
  - B-Strecke = 159 WRU
  - A-Strecke = 93 WRU
  - C-Strecke = 112 WRU

Fahrzeug

Ausstattung



- Fahrerstand: HMI- Display, Bedien-elemente (ATO-Start, Störschalter), zwei Radioantennen (Frequenzkanal 1 und Frequenzkanal 2 für CBTC Radiosystem)
- Fahrgastraum: Funkkommunikations-system (Radio Communication System – RCS), Onboard Control Unit, C-ITS
- Dach: Kombi-Antenne für C-ITS
- Achsen: Wegimpulsgeber
- Unterflurbereich: Radar, Balisenantenne, Pufferbatterie

Fahrzeugtechnik – Ausstattung für Fahrzeugortung

Balisenantenne
Wagenkasten Unterflurbereich oder Drehgestell, eisenfreier Raum

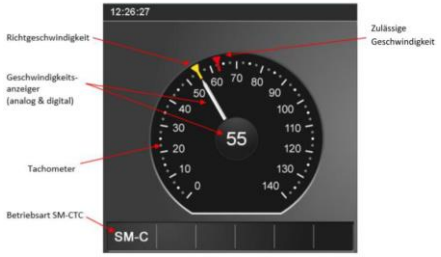
Induktive Wegimpulsgeber
Weg und Geschwindigkeitssensorik, werden im Mittendrehgestell integriert

Doppler-Radar
Weg- und Geschwindigkeitssensorik, wird im Unterflurbereich am Wagenkasten angebracht

Fahrzeugtechnik – Ausstattung im Fahrzeug

Radio-Antenne wird im oberen Frontscheibenbereich innenseitig eingebaut.

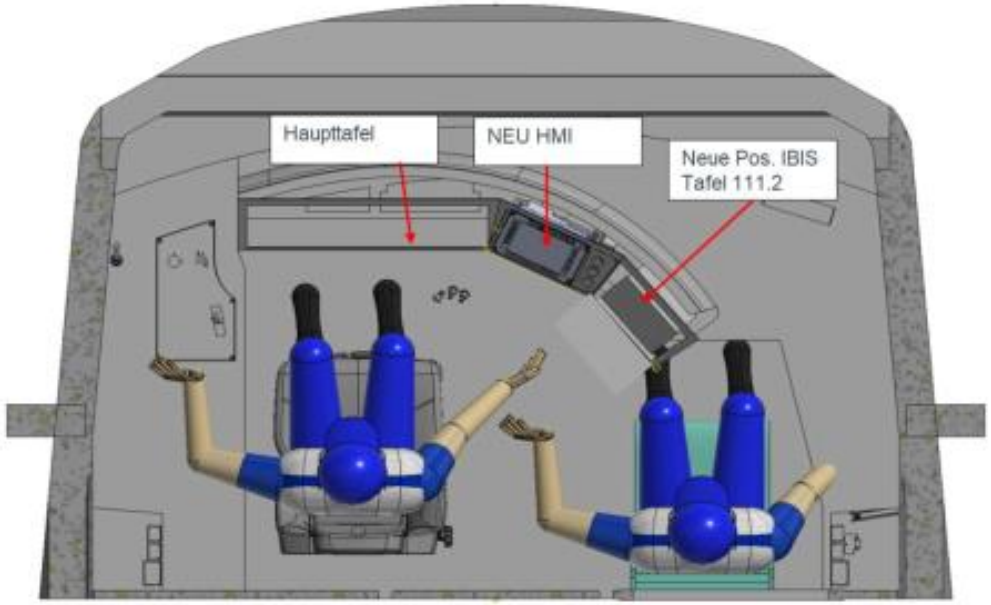
ATO – Starttaster,
Störschalter, überbrückt CBTC im Fahrzeug

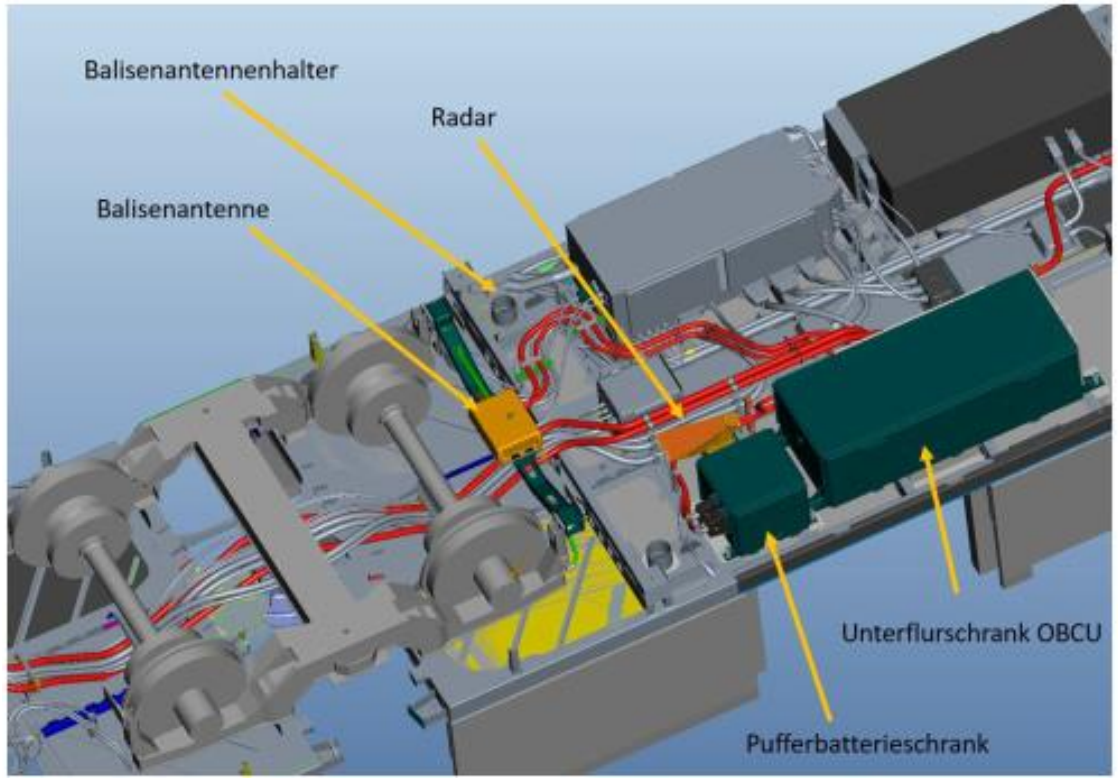


HMI-Display wird im Fahrerstand in der Mitte (Blickfeld) integriert

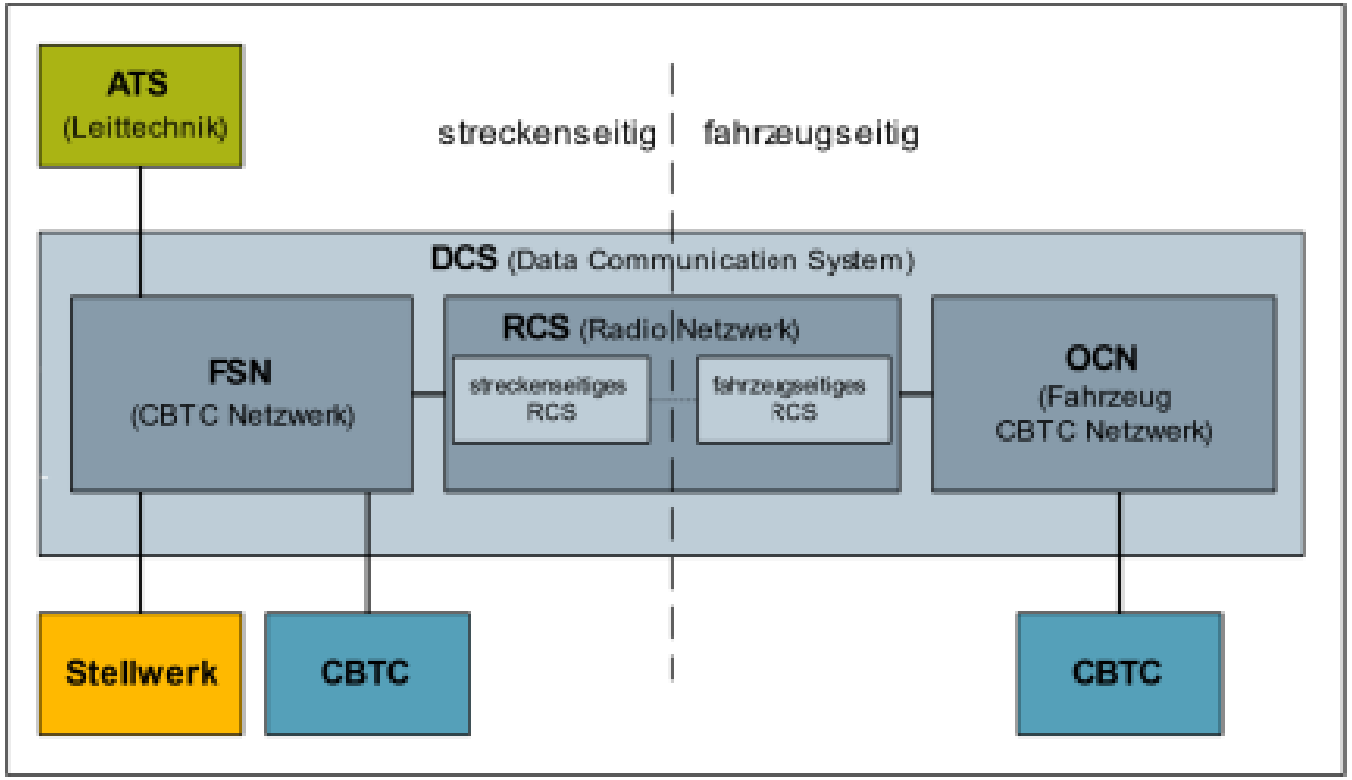
Der **Fahrzeugrechner (OBCU**) wird in einem Technikcontainer unter das Fahrzeug verbaut

Schematische Abbildungen der Geräteanordnungen U5 ZR





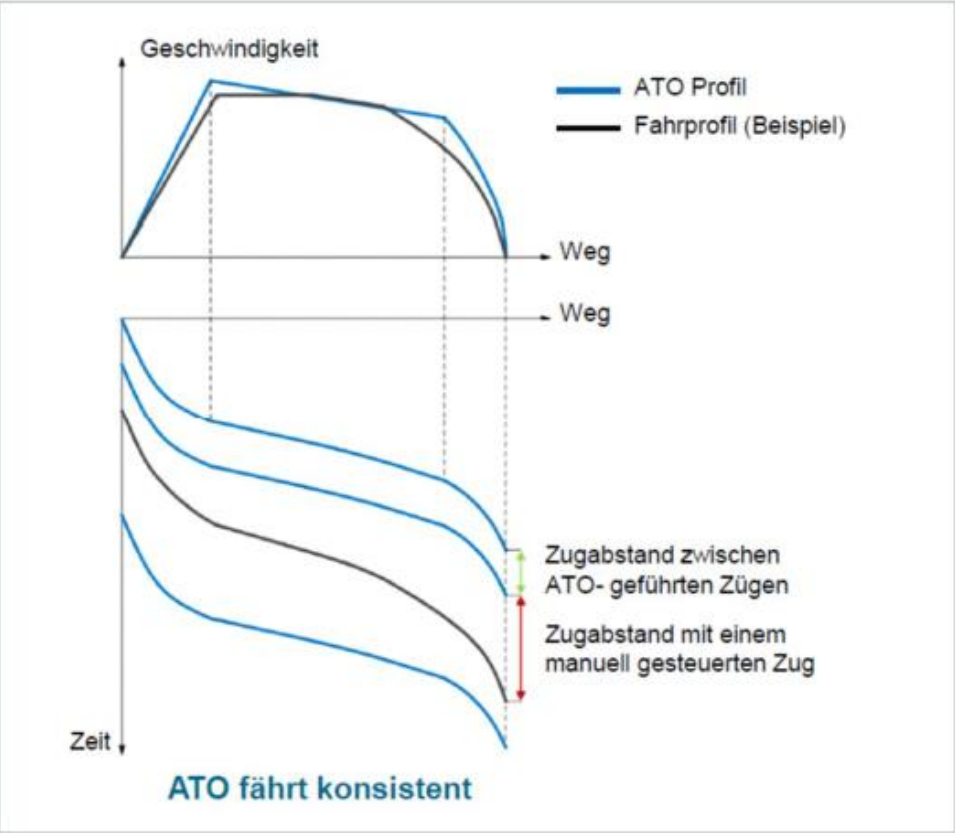
Zuständigkeiten und IT-Sicherheit



- Verlagerung von Zugsicherungstechnik von der Strecke auf das Fahrzeug
- Festlegung eines eindeutigen Zuständigkeitskonzepts und KRITIS-Schutzziele (u.a. physische Sicherheit, Netzwerksicherheit, Übertragungssicherheit, Benutzer- und Rollenmanagement)

Automatisiertes fahren im Nahverkehr
Vorteile ATO Betrieb

SIEMENS
Ingenuity for life



ATO reduziert den Zugabstand durch
- Eliminieren von Fahrstil-Schwankungen
- Präziseres Fahren
- Fahren näher an der sicheren Bremskurve

ATO bremst präziser
- Passend für Rollstuhlrampen und Bahnsteigtüren
- Automatische Türöffnung
- Verkürzung der Haltezeiten

ATO erhöht die Leistungsfähigkeit
- Verkürzung von Verspätungen mit Hilfe der Zugregelung
- Verringerung des Energieverbrauchs und des Verschleißes
- Reduzierung CO2-Emissionen

Quelle: Dr. Steingröver

VGF

Vergleich
CBTC versus ETCS Level 2

SIEMENS
Ingenuity for life

	CBTC	ETCS Level 2
Architektur	Strecken- und Fahrzeuggeräte, funkbasierte Datenübertragung, Betriebsleittechnik, diverse Redundanzen, z.B. Fahrzeug Head-Tail	Strecken- und Fahrzeuggeräte, funkbasierte Datenübertragung
Radio-Übertragung	WLAN im Bereich IEEE 802.11 (2.4, 5.8 or 5.9 GHz); LTE (Standard in China für neue U-Bahn-Systeme)	Standard GSM-R, ab 2016 GSM-R Baseline 1: Packet Data (GPRS); andere Systeme möglich, z.B. TETRA
Automatisierungsgrad	Hoch: halb-automatischer Betrieb (GoA2 mit ATO) bis zu fahrerlosem Betrieb (GoA4)	Manueller Betrieb (GoA1), halb-automatischer Betrieb GoA2; ATO (GoA2-GoA4 in der Standardisierung)
Zugvollständigkeit	Sichere Fahrzeugfunktion mit der Zugsteuerung zusammen	Gleisfreimeldung (Achszähler, Gleiskreise)
Zugposition	Zugbasiert, unabhängig von Gleisfreimeldung	Gleiskreis basiert plus auf dem Zug kalkuliert
Leistungsfähigkeit	30 und mehr Züge die Stunde durch Moving-Block Betrieb	Limitiert durch Blockteilung und GSM-R (bis zu 22 – 24 Züge)
Betrieb mit Plattformtüren	Integriert mit hoher Haltepunktgenauigkeit	Ist im ETCS nicht enthalten; zusätzliches System oder Verfahren notwendig
Interoperability	Nur Kundenspezifisch vorhanden, zur Zeit nur in New York und Paris	Zugsicherung interoperable, ATO (GoA2-GoA4 in der Standardisierung)
Betriebsleittechnik	Erweiterte Funktionen integriert in der CBTC Architektur mit automatischer Zugregelung und automatischem Linienbetrieb	Nicht im ETCS Standards; kundenspezifische Lösungen

extern © Siemens Mobility GmbH 2018

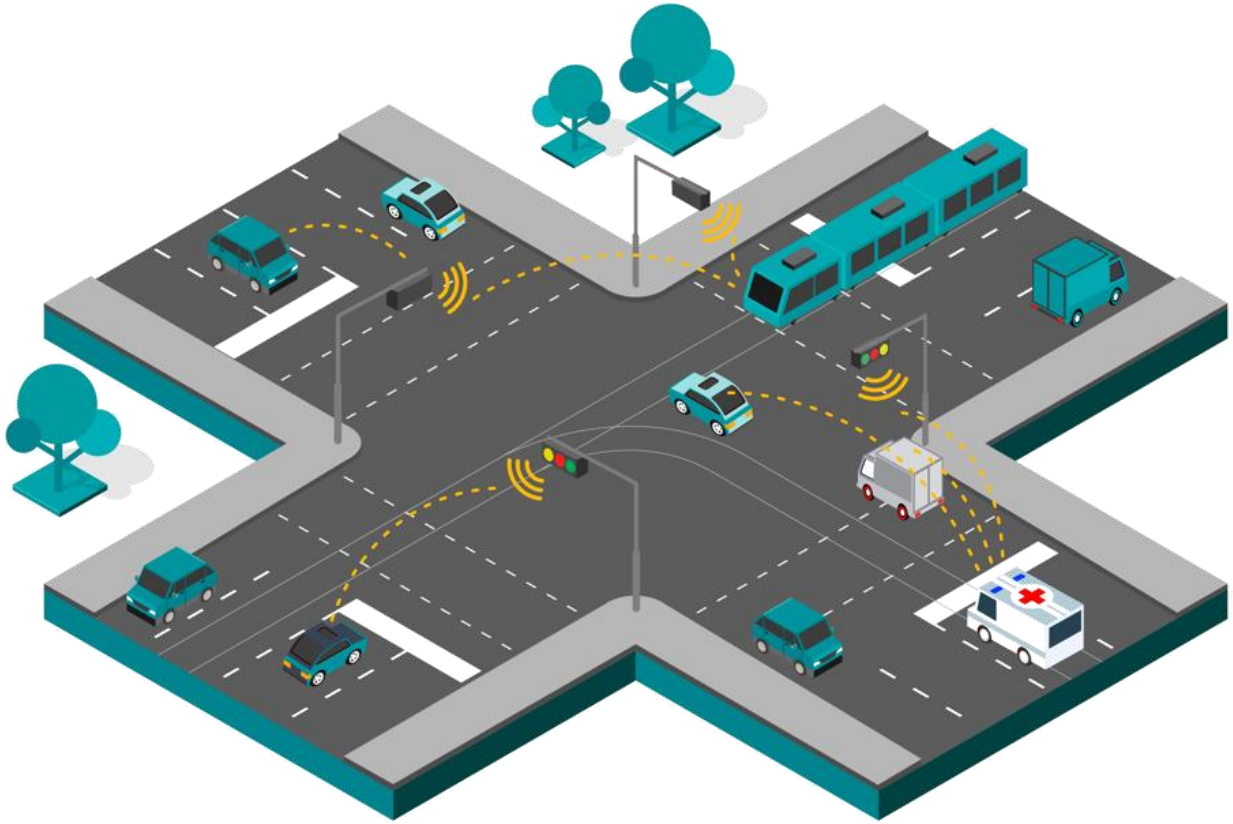
SIEMENS

Quelle: Dr. Steingröver

VGF

Frankfurt MIND(+)
Zukunftsfähigkeit für intelligente Mobilität

Innovationspotential – C-ITS (V2X)-Kommunikation



- Beschleunigung des ÖPNV und die Möglichkeit der MIV / Fahrrad Einbettung
- Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern und mit der Infrastruktur, u.a. Lichtsignalanlagen (Vernetzung)
- Warnung vor Baustellen, Gefahrenstellen und Einsatzfahrzeugen
- Ganzheitliche städtische Verkehrsoptimierung (MIND(+))
- Schadstoffreduktion durch geringere Standzeiten und Energieeinsparung

C-ITS im ÖPNV

C-ITS (V2X) im ÖPNV: International standardisierte und europaweite harmonisierte Lösung der C-ITS Services über die C-ROADS Plattform

Traffic Signal Priority

Prioritäts-anforderung

Green Light Optimal Speed Advisory

Grünphasen-vorhersagen für effizientes und komfortables Fahren

Aufeinanderfolgende Ampeln werden optimal an den Fahrtverlauf des Fahrzeugs adaptiert.

C-ITS (V2X) Mengengerüst im Projekt DTC

YUNEX TRAFFIC

RSU2X
Kommunikationsmodul zur bidirektionalen Kommunikation wischen Fahrzeug und Infrastruktur Kommunikationswege über ITs-G5 und C-V2X möglich.

160 Stück

OBU2X-R
Fahrzeugseitige Komponente mit Global Navigation Sattelite System (GNSS), mit der Aufgabe Daten Zwischen Fahrzeug und Infrastruktur Auszutauschen.

650 Stück

IRS
Schnittstellenadapter

Aufgabenverteilung in dem Verbundvorhaben Frankfurt MIND(+)

Frankfurt-MIND

- **Taktverdichtung der Zugfolge**
  durch den Verbau von OBU´s (On Board Units)
- **Zukunftsorientierte und digitale ÖPNV-Bevorrechtigung**
  (Blaupause für Deutschland)

Ø Umsetzung ÖPNV-Bevorrechtigung

Ø Reduktion Schadstoffemissionen und Energieeinsparung

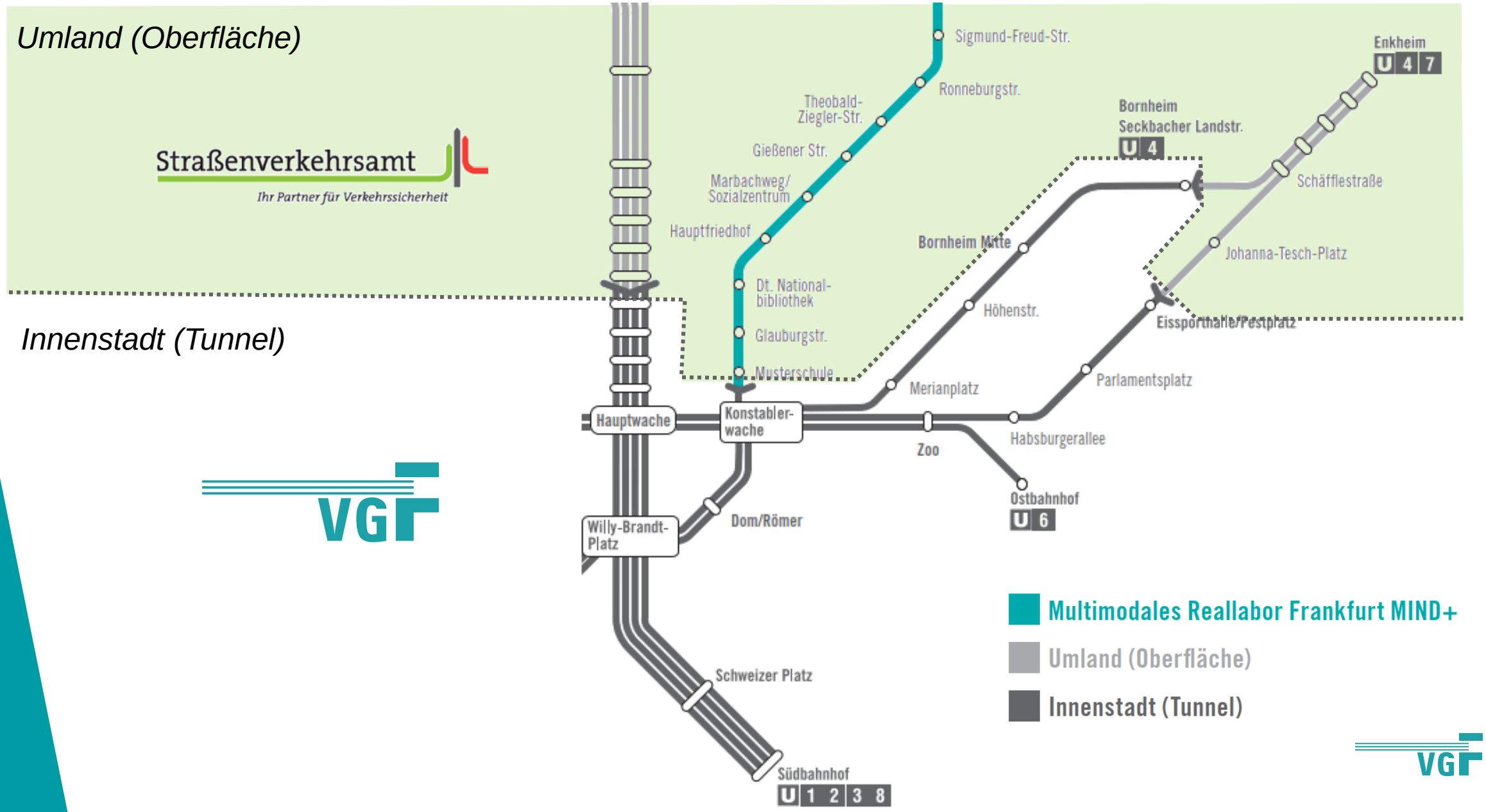
Ø Verstetigung des Verkehrs

Ø Verbesserung Mobilitätsangebot

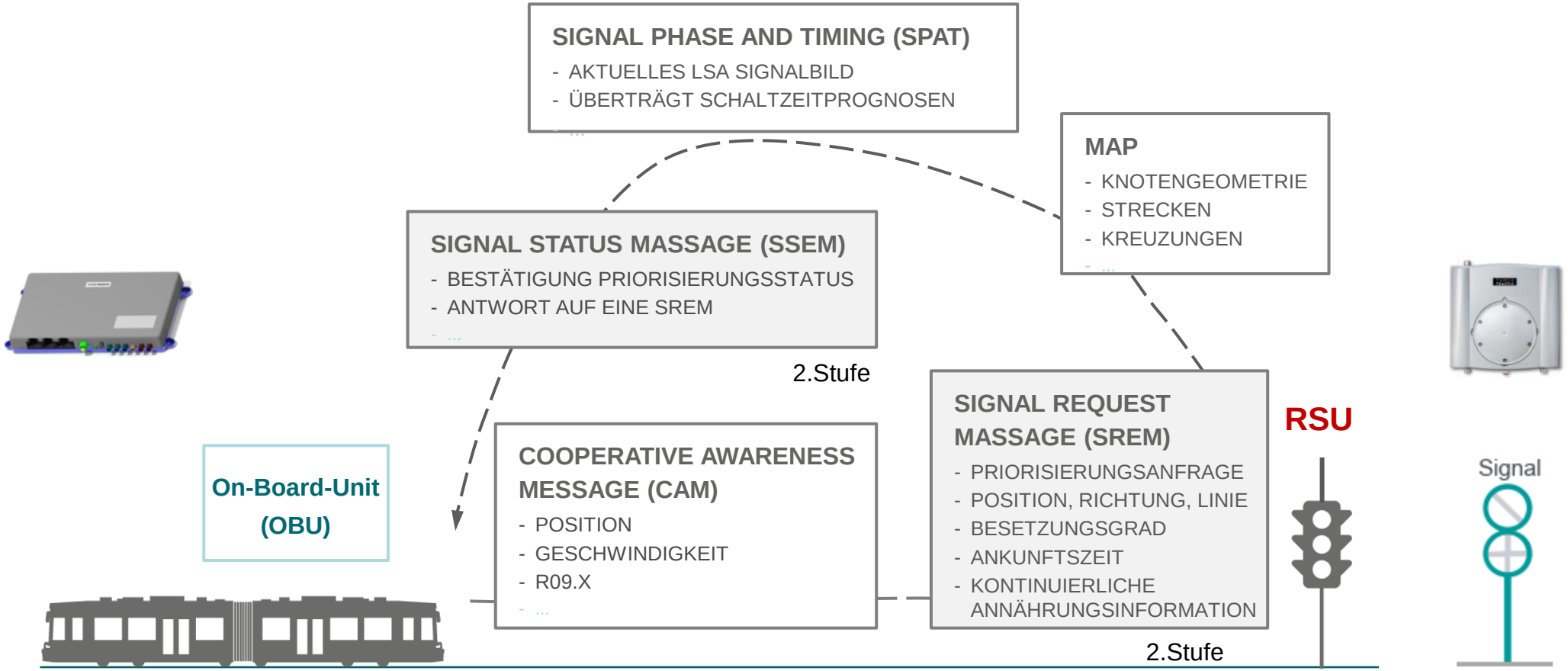
Frankfurt MIND+

- Beschaffung von **RSU´s (Road Side Units)**
- Schaffung der technischen Grund-
  lagen für die **Kommunikation zwischen Infrastruktur und den Verkehrsteilnehmern**
- Bereitstellung **Schaltzeitprognose für GLOSA**
- Bereitstellung **Priorisierung (TSP)**

„Multimodales Reallabor“ Frankfurt

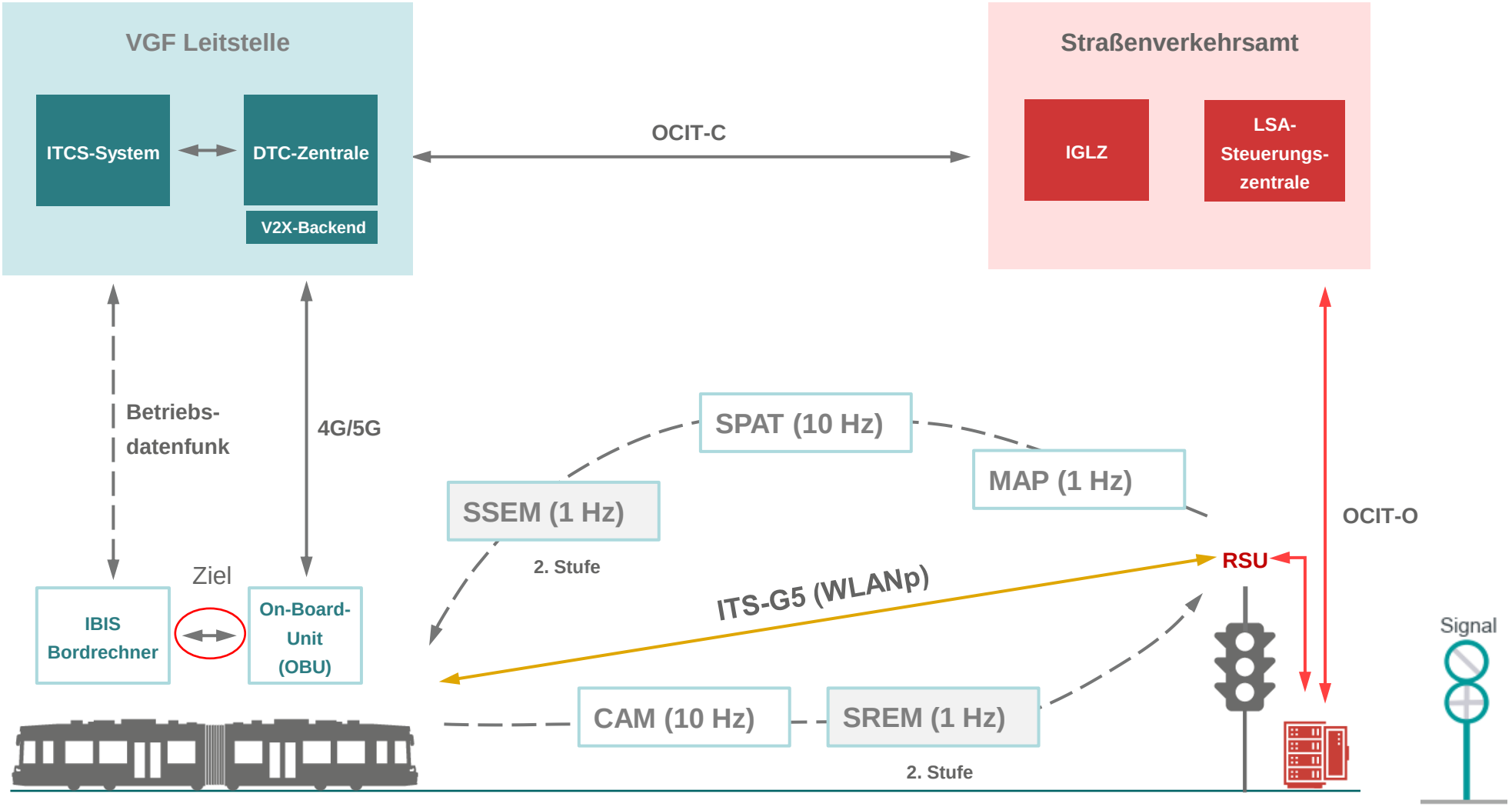


Frankfurt MIND(+) C-ITS (V2X) Nachrichtentypen und -inhalte



Frankfurt MIND(+) C-ITS Nachrichtentypen und –inhalte

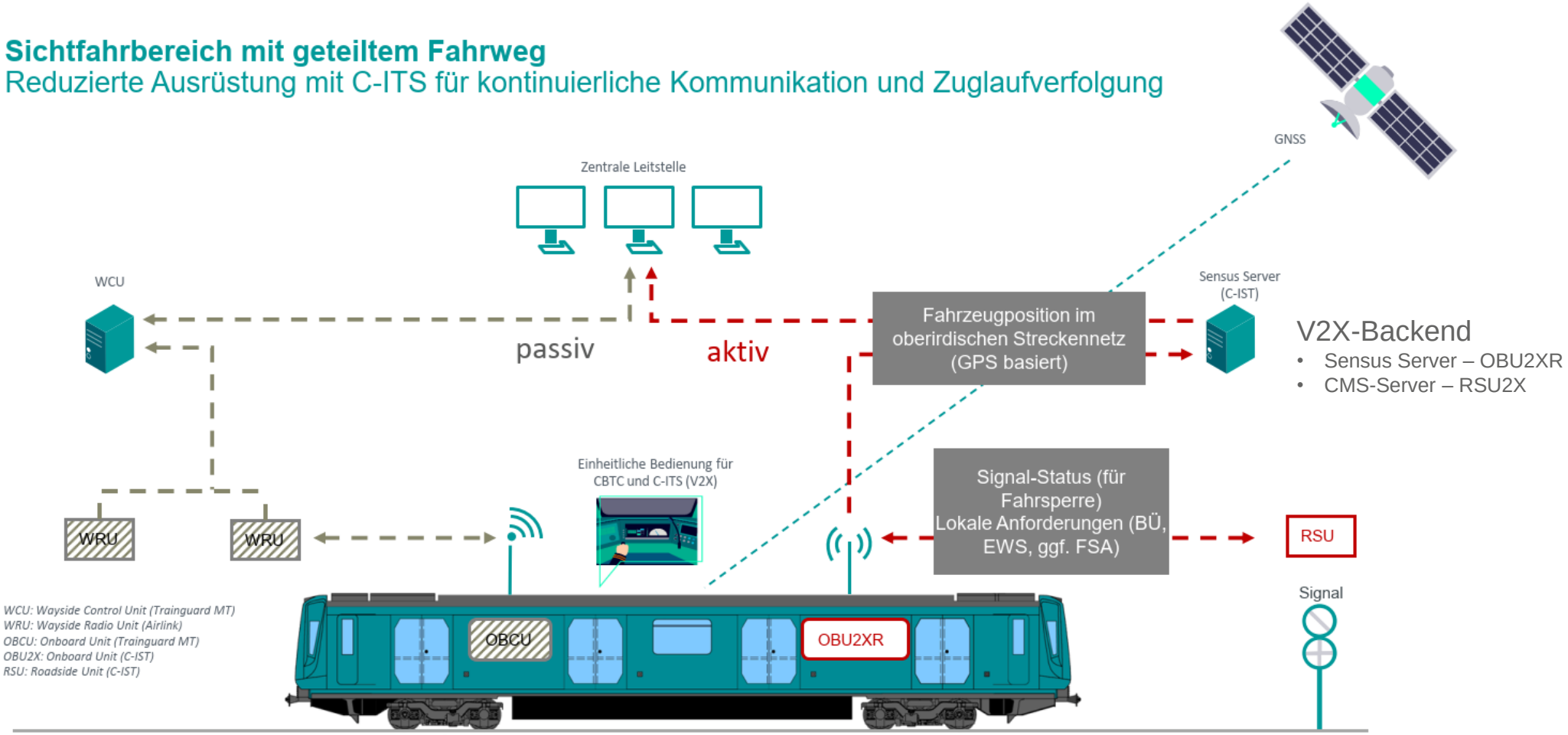
Zweiwegekommunikation, zentrale + lokale ÖV-Priorisierung



Lokal: Extrem niedrige Latenz für sichere Informationen notwendig

C-ITS (V2X) im Sichtfahrbereich

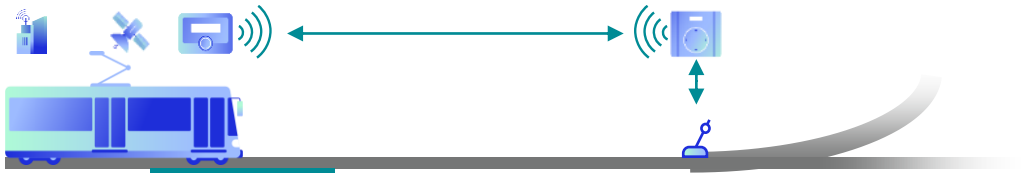
Sichtfahrbereich mit geteiltem Fahrweg
Reduzierte Ausrüstung mit C-ITS für kontinuierliche Kommunikation und Zuglaufverfolgung



- Hochauflösende Zugortbestimmung ohne Gleisfreimeldungen
- Kontinuierliche bidirektionale Datenkommunikation
- Keine verfahrenssichere Funktionen – C-ITS (V2X) ist kein Zugsicherungssystem

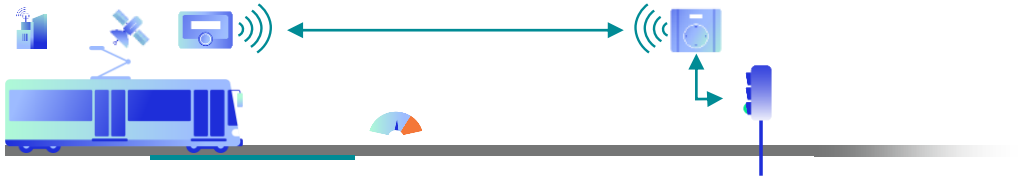
C-ITS (V2X)-Anwendungsfälle im Straßen- / Stadtbahnbereich

Einzelweichensteuerung

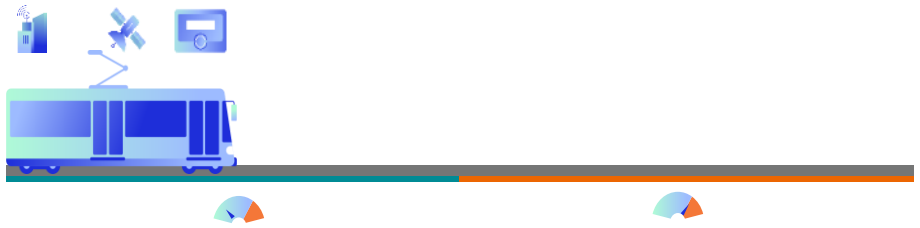


Fahrsignalanlagen

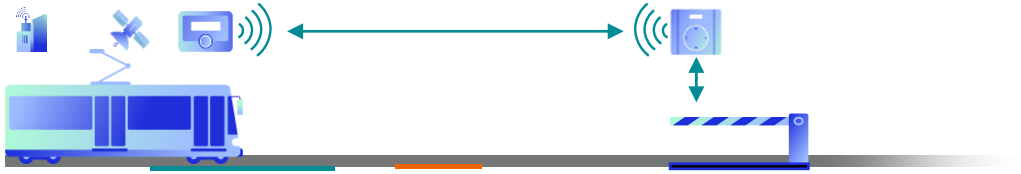
ÖV-Priorisierung



Ortsabhängiger Geschwindigkeitsassistent



Bahnübergangssicherung



Virtuelle Fahrsperre

Grafiken und Anwendungsfälle:

YUNEX TRAFFIC

VGF

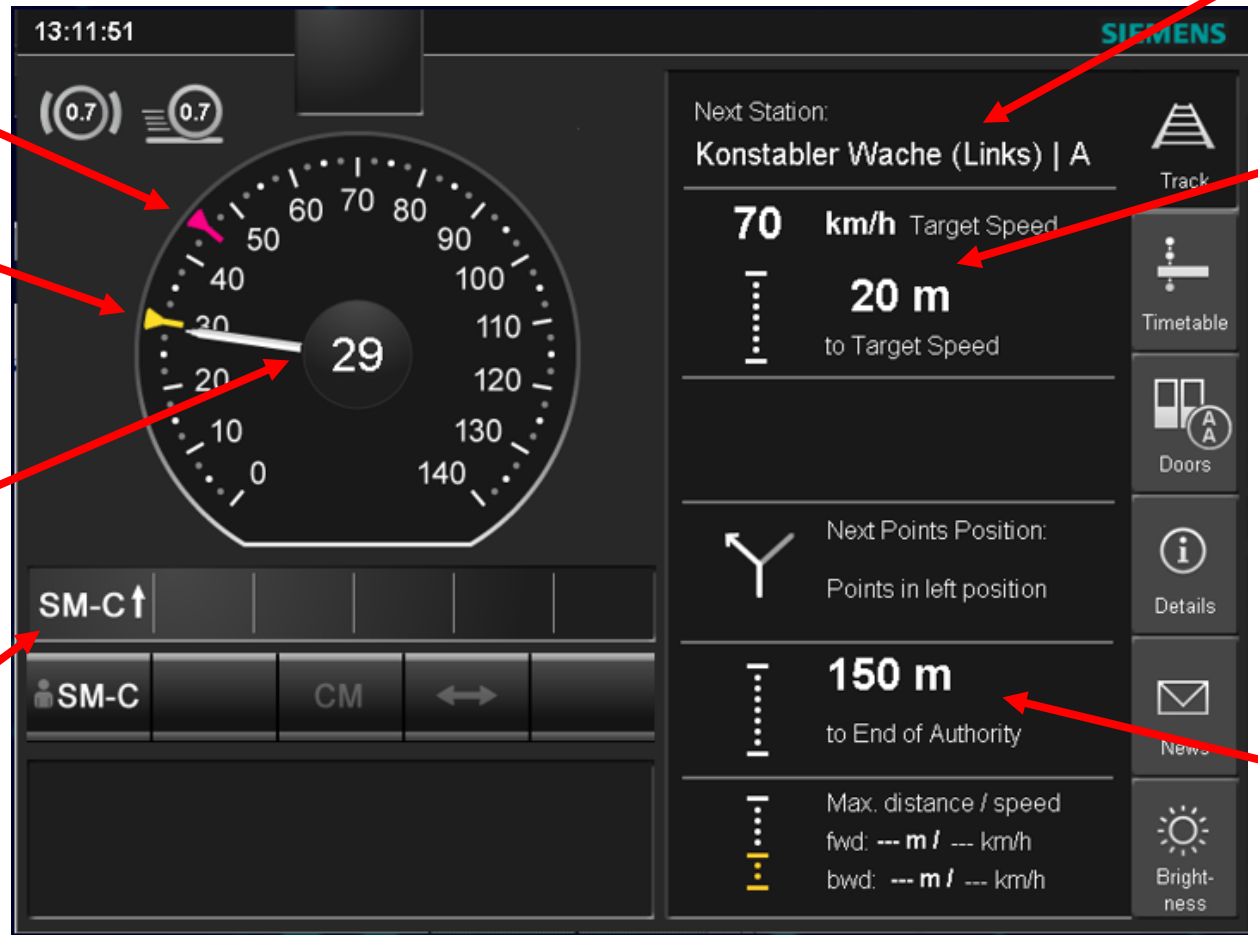
HMI-Display und Anzeigefunktionen

Nächste Station

Zulässige Höchstgeschwindigkeit

Zu erwartende Geschwindigkeit + Entfernung bis zur Änderung

Richtgeschwindigkeit



Geschwindigkeitsanzeige (analog + digital)

CBTC Betriebsart

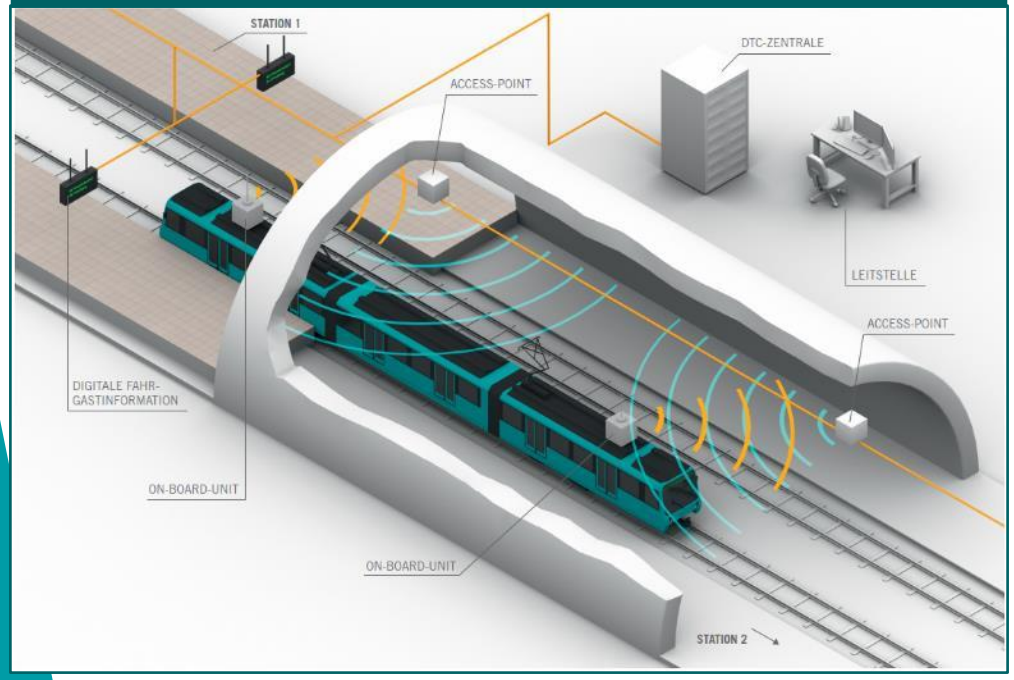
Menüauswahl
- Fahrplan
- Nachrichten
- Einstellungen
- etc.

MA – Movement Authority Fahrwegfreigabe

Hybrid CBTC

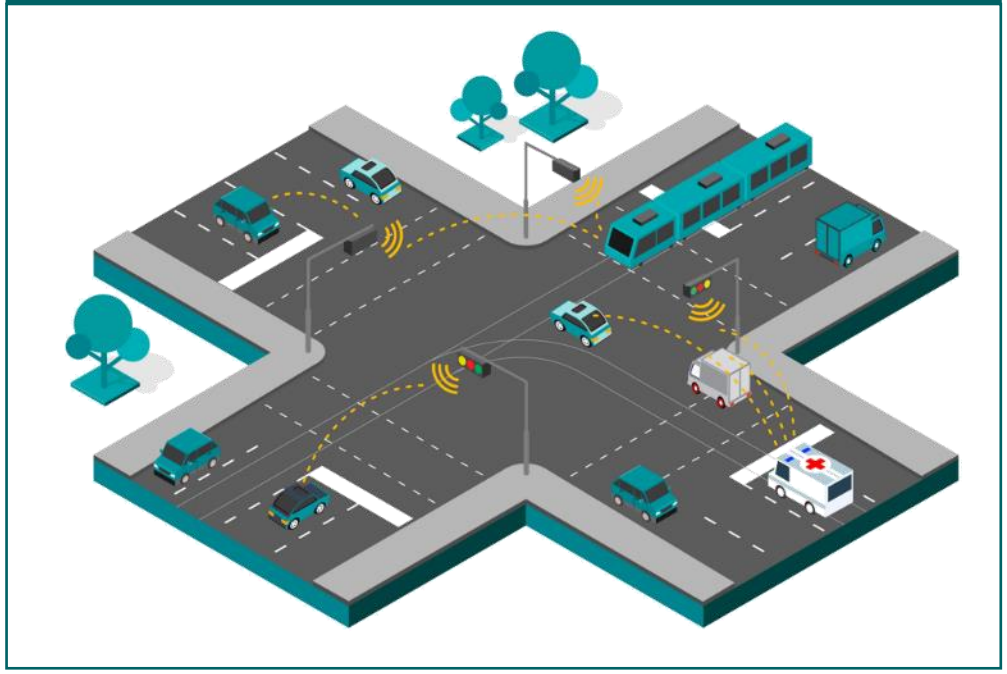
Optimale Wirtschaftlichkeit durch bedarfsgerechte Streckenausrüstung

Trainguard MT mit ATP und ATO
Zugsicherungsbereich / Tunnel



+

C-ITS (V2X)
Sichtfahrbereich / Oberfläche



Symbiose von ATP - CBTC (GoA2) im Tunnel- und Assistenzsystem C-ITS (GoA0) im Straßenbereich

Automatisierungsgrade (GoA / Grade of Automation) der Straßenbahn und Stadtbahn Frankfurt

Grade of automation	Train operation	Setting the train in motion	Driving and stopping the train	Opening and closing the doors	Operation in the event of disruptions
0	Driving on sight	Driver	Driver	Driver	Driver
1 (SCO)	ATP with a driver	Driver	Driver	Driver	Driver
2 (STO)	ATP and ATO with a driver	Driver / Automatic	Automatic	Driver	Driver
3 (DTO)	Driverless	Automatic	Automatic	Automatic / Attendant	Attendant
4 (UTO)	Unattended	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

The work of Shift2Rail from 2016-2019

The work of Shift2Rail from 2019-2022

ATP - Automatic Train Protection
ATO - Automatic Tran Operation

Shift2Rail

Straßenbahn Frankfurt

Stadtbahn Frankfurt (Tunnel)

Quelle für die Grafik: Shift2Rail

Anmerkung: GoA0 ist keine offizielle Terminologe im Rahmen von S2R, ist aber im Nahverkehr durchaus gebräuchlich, um das Fahren auf Sicht zu beschreiben.

Quelle: Herr Spyra, Siemens Mobility

Zukünftige Optimierung des oberirdischen Betriebsablaufs und Automatisierung im Tunnelbereich bei der VGF in Frankfurt

Grade of automation	Train operation	Setting the train in motion	Driving and stopping the train	Opening and closing the doors	Operation in the event of disruptions
0	Driving on sight	Driver	Driver	Driver	Driver
SCO 1	ATP with a driver	Driver	Driver	Driver	Driver
STO 2	ATP and ATO with a driver	Driver / Automatic	Automatic	Driver	Driver
DTO 3	Driverless	Automatic	Automatic	Automatic / Attendant	Attendant
UTO 4	Unattended	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic

The work of Shift2Rail from 2016-2019

The work of Shift2Rail from 2019-2022

ATP - Automatic Train Protection
ATO - Automatic Tran Operation

Shift2Rail

+ Fahrerassistenzsystem im niveaugleichen Bereich, bzw. **Straßenbereich** in Frankfurt

Höherstufung / Automatisierung zu GoA2 im **Tunnelbereich**

Möglichkeit des „Upgrades“ zu GoA4 auf bestimmten **Tunnelabschnitten**

Quelle für die Grafik: Shift2Rail

Anmerkung: GoA0 ist keine offizielle Terminologe im Rahmen von S2R, ist aber im Nahverkehr durchaus gebräuchlich, um das Fahren auf Sicht zu beschreiben.

Quelle: Herr Spyra, Siemens Mobility

Ganzheitliche Optimierung im schienengebundenen Stadtverkehr

Projekte

DIGITAL TRAIN CONTROL
SYSTEM FRANKFURT

FRANKFURT MIND+

Potenziale zur Attraktivitätssteigerung des ÖPNV

1. ÖPNV-Kapazitätserhöhung
2. Priorisierung des ÖPNV
3. Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen
4. Ausbaufähigkeit für weitere Lösungen

Kundenkreis und Adressaten

- Bürger
- Frankfurt
- VGF

VGF

VDV-Mitteilung – Blaupause für andere Kommunen und Städte

VDV-Mitteilung **4022**
05/2023

Beschleunigung von ÖPNV-Fahrzeugen an Lichtsignalanlagen mit C-ITS

Migration des ÖPNV von „morgen“
im Umfeld von Lichtsignalanlagen

Gesamtbearbeitung

Ausschuss für Telematik und Informationssysteme (ATI)

Themenpunkte:

- Status Quo
- C-ITS im ÖPNV
- Roadmap, Migration und hybrider Betrieb
- Fördermittel und Finanzierung
- Ausblick

FRANKFURT MIND+ VDV Die Verkehrsunternehmen VGF

Bahnbetriebliche Potenziale

Wirtschaftliche Potenziale

Technische Schnittstellen

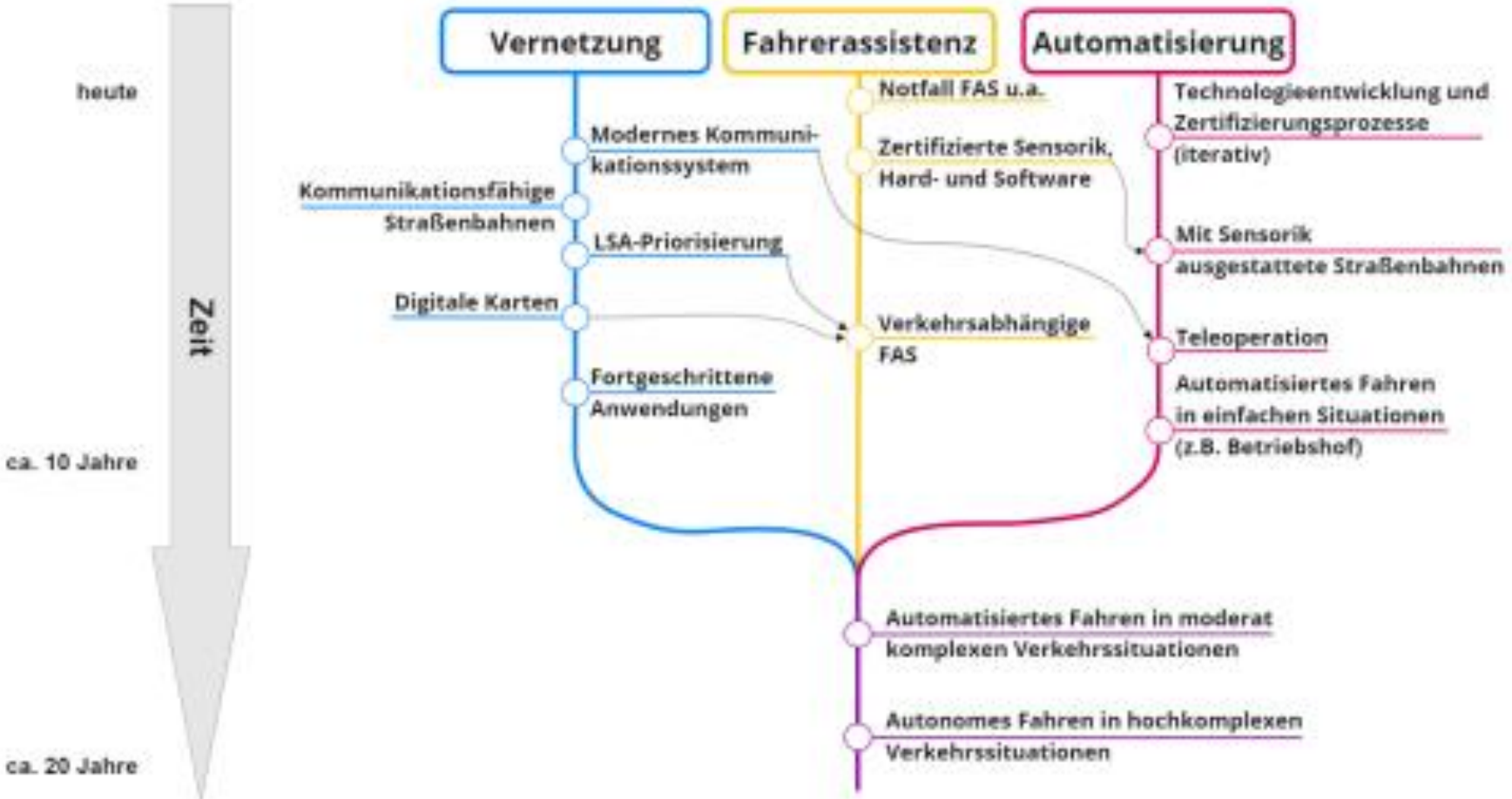
Wirtschaftliche Schnittstellen

Anwendungssysteme der Vernetzung

Roadmap und Handlungsempfehlung

Stand: 07/2023

Roadmap zum vernetzten und automatisierten Fahren



Verkehrswende erfahrbar machen…

FRANKFURT MIND+
Straßenverkehrsamt
Ihr Partner für Verkehrssicherheit

VGF

DIGITAL TRAIN CONTROL
SYSTEM FRANKFURT
SIEMENS