

# Automatisierung Bahn Auswirkungen auf den Triebfahrzeugführer und die Technik

Dipl.-Ing. Leander Flamm  
DLR Braunschweig  
Institut für Verkehrssystemtechnik

Dresden, 20.06.2018



Wissen für Morgen



# Automatisierung Bahn Agenda

Überblick über das DLR

Stand der Technik

Herausforderungen

Potenziale der Automatisierung



Wissen für Morgen



# Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft



## Forschungseinrichtung

- Luftfahrt
- Raumfahrt
- Energie
- Verkehr
- Sicherheit

## Raumfahrtmanagement

## Projekträger

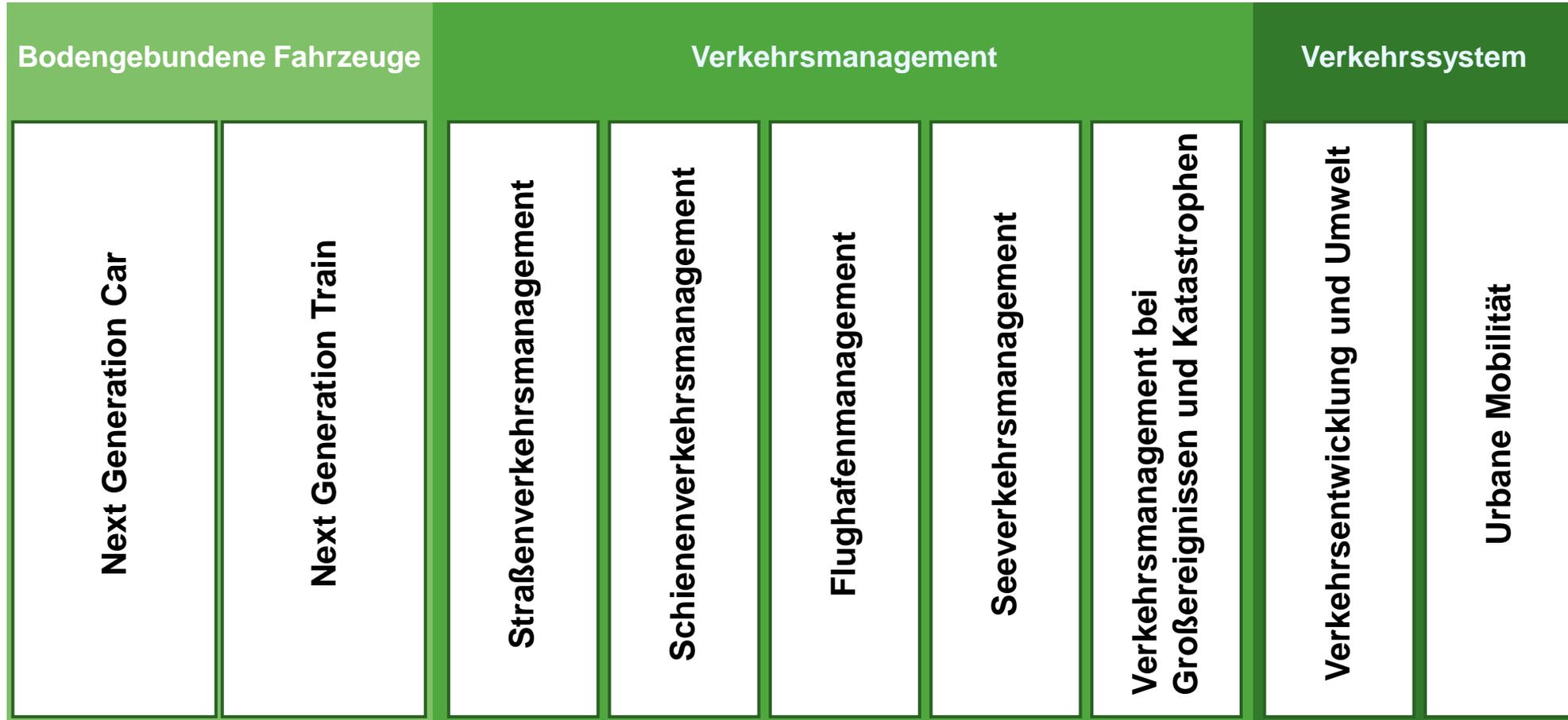


Ca. 8.000 Mitarbeiter/innen in  
40 Instituten und Einrichtungen  
in 20 Standorten

Gesamterträge 2015: 891 Mio.€  
(Forschung, Betrieb, Management)



# Portfolio des Forschungsbereichs Verkehr



66 M€ pa  
Budget

25  
Institute

660  
Mitarbeiter

~3-facher  
Hebel

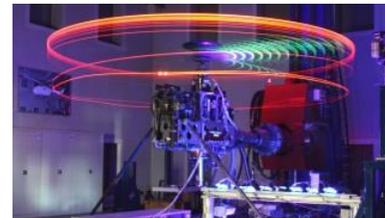


# Standort Braunschweig

## Institute

- Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik
- Institut für Faserverbundleichtbau und Adaptronik
- Institut für Flugführung
- Institut für Flughafenwesen und Luftverkehr
- Institut für Flugsystemtechnik
- Institut für Verkehrssystemtechnik

1.200 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



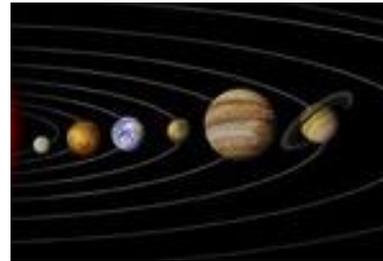
# Standort Berlin



## Institute

- Institut für Optische Sensorsysteme
- Institut für Planetenforschung
- Institut für Verkehrsforschung
- Institut für Verkehrssystemtechnik
- Institut für Fahrzeugkonzepte

550 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter



# Institut für Verkehrssystemtechnik

**Sitz:** Braunschweig, Berlin

**Mitarbeiter:** ca. 170 Mitarbeiter/innen aus versch. wissenschaftl. Bereichen

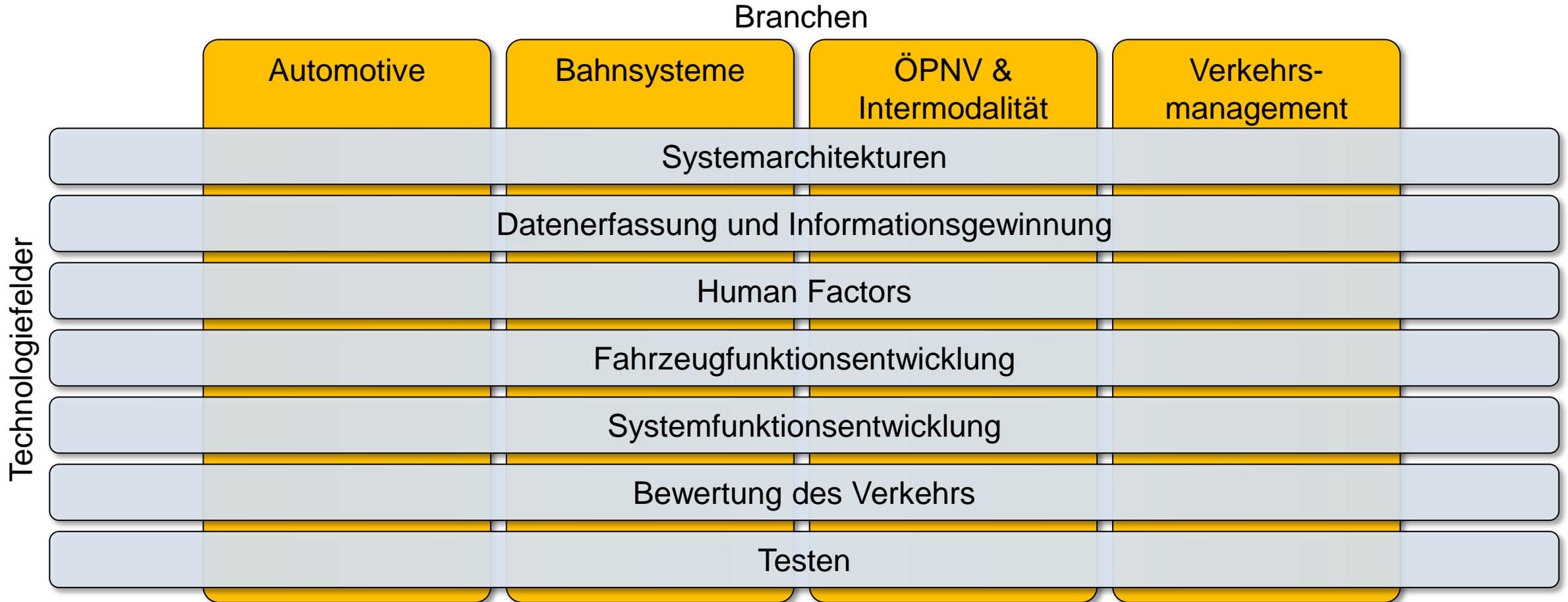
**Forschungsgebiete:** Automotive  
Bahnsysteme  
ÖPNV & Intermodalität  
Verkehrsmanagement

**Aufgabenspektrum:** Grundlagenforschung  
Konzepte und Strategien  
Prototypische Entwicklungen

**Qualität:** zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und VDA 6.2  
sowie RailSiTe<sup>®</sup> gemäß ISO 17025



# Branchen & Technologiefelder



# Technologiefeld Bewertung des Verkehrs

## Angebotsplanung und Betrieb

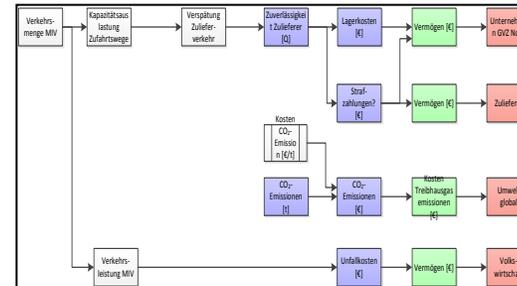
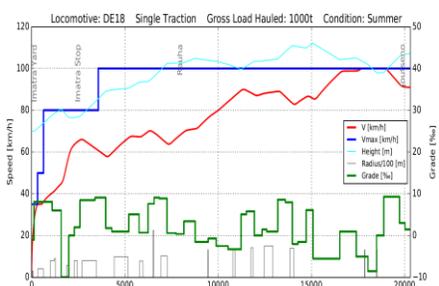
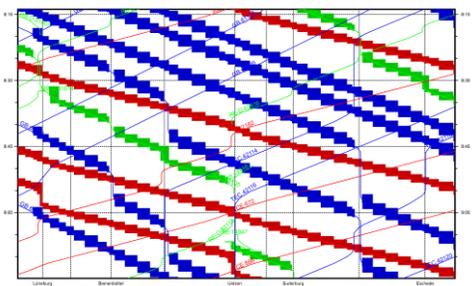
- Hochautomatisierter Bahnbetrieb
- Konzeptionelle Lösungen / innovative Betriebsszenarien
- Energieeffizienz und Lärmreduktion
- Öffentliche (kollektive) Verkehrssysteme
- Bewertung von Potentialen

## Qualität und Wirtschaftlichkeit

- Wirtschaftliche Analyse von Verkehrssystemen
- Identifizierung und Systematisierung von Key Performance Indikatoren (KPI)
- Entwicklung von Bewertungssystemen

## Simulation und Modellierung

- Mikroskopische Verkehrssimulation
- Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation
- Testumgebung für Fahrassistenz und autonome Fahrfunktionen
- Verkehrseffekte des autonomen Verkehrs



# Automatisierung Bahn

## Agenda

Überblick über das DLR

Stand der Technik

Herausforderungen

Potenziale der Automatisierung



Wissen für Morgen



# Stand der Technik: Automatisches Fahren in der Praxis

- Vollautomatischer Betrieb ohne Lokführer (Tf) existiert in abgetrennten Netzen (vor allem U-Bahn)
- Mit LZB kann im Regelbetrieb automatisch gefahren werden; Tf überwacht weiterhin (AFB)
- Zur Kapazitätserhöhung (exaktere Fahrweise) wird eine automatische Zugsteuerung ohne Veränderung von Sicherungstechnik und Tf-Verantwortung genutzt (z.B. London Thameslink)
- Extrem hoher Investitionsaufwand zur Umrüstung bestehender Strecken
- Meiste Anwendungen auf neu gebauten Strecken



# Gegenüberstellung „Hochassistiertes Fahren“ vs. „Vollautomatisierung“

- Vollautomatisierung für die Zukunft als Research & Development (R&D) Thema
- wirtschaftliche Realisierung **IN NAHER ZUKUNFT**: hochassistierte Systeme

Merkmal	Hochassistiertes Fahren	Vollautomatisierung
Grade of Automation	GoA2 ++	GoA4
Zulassung	Im wesentlichen wie heute bereits bei der AFB + Nachweis der Rückwirkungsfreiheit	Volle Zulassung
Sicherheitsanforderung	Stets menschliche Rückfallebene	Hochsichere Technik auch für Grenzfälle
Änderungsumfang in Gesetzen und Regelwerken	Gering	Hoch
Kosten	Gering	Hoch



# Notwendigkeit eines leistungsfähigen Schienenverkehrssystems

- Aktuelle Studien<sup>1</sup> zu den Auswirkungen des automatisierten Straßenverkehrs zeigen:
  - Hohe erwartete Zunahme der Straßenverkehrsleistung
    - Sowohl für Carsharing als auch Ridepooling
    - Verlagerung von Fuß-, Rad- und Bus-Wegen auf die Straße
    - Verlängerung der durchschnittlichen Reisezeiten im Vergleich zu heute (!)
  - Einziges Szenario mit reduzierter Verkehrsleistung behält schnellen Bahnverkehr bei
- Schneller Eisenbahnfernverkehr erreicht momentan sehr hohe Marktanteile
  - Wegen Komfortmerkmalen weiterhin gute Konkurrenzsituation zum autonomen Auto erwartet
  - Chance durch autonome Zubringerfahrzeuge auf der Straße

<sup>1</sup>z.B.: OECD International Transport Forum, Urban Mobility System Upgrade („Lissabon-Studie“), 2015



# Automatisierung Bahn Agenda

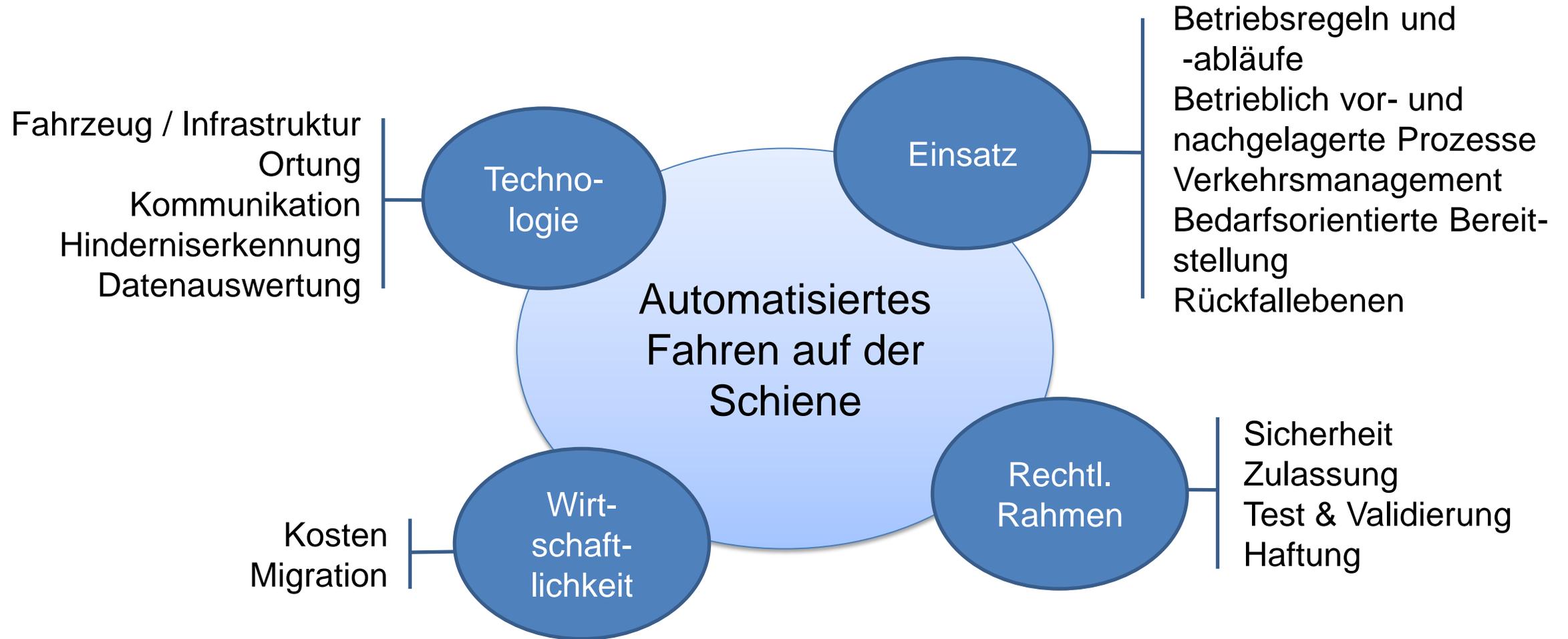
Überblick über das DLR  
Stand der Technik  
Herausforderungen  
Potenziale der Automatisierung



Wissen für Morgen



# Technologische, betriebliche und rechtliche Herausforderungen



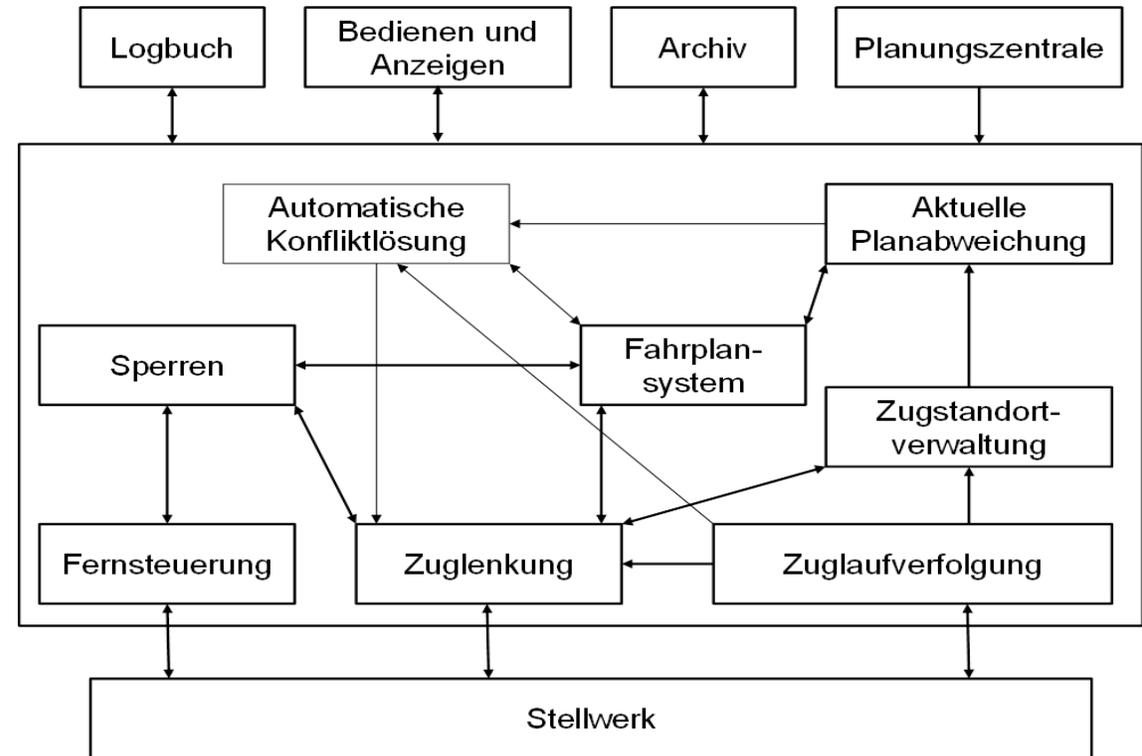
# Grade of Automation (GoA) nach IEC 62267

Bahnbetriebliche Basisfunktion		Nicht automatischer Betrieb	Teil-automatischer Betrieb	Fahrerloser Betrieb	Begleiterloser Betrieb
		NTO	STO	DTO	UTO
		GOA1	GOA2	GOA3	GOA4
Sicherung der Zugbewegung	Sicherung der Fahrstraße	S	S	S	S
	Sicherung der Abstandshaltung	S	S	S	S
	Sicherung der Geschwindigkeit	X	S	S	S
Fahren und Bremsen		X	S	S	S
Kollisionsvermeidung mit Objekten und Personen (Hinderniserkennung)		X	X	S	S
Sicherung des Fahrgastwechsels		X	X	X oder S	S
Zugbetrieb	Bereitstellung und Abstellung	X	X	X	S
	Überwachung des Zugzustands	X	X	X	S
Sicherstellung der Störfallerkennung und des Störfallmanagements		X	X	X	S und/oder Personal im OCC



## Viele Technologien sind bereits vorhanden und betriebserprobt (1/2):

- Etabliert / in techn. Ausführung:
  - Infrastrukturseitig:
    - Fahrwegsicherung mittels Stellwerk
    - Fernsteuerung von Fahrwegelementen
    - Zuglenkung
    - Blockweise Ortung
    - Aut. Gefahrenraumüberwachung
  - Fahrzeugseitig:
    - Antriebs- und Bremsregelung
    - Bremsprobe (PV etabliert, GV i.t.A.)
    - Zugvollständigkeitsprüfung (PV)
    - Abfertigung und Bereitstellung
    - Zugbeeinflussung
    - Geschwindigkeitsüberwachung



Quelle: W. Mücke, Betriebsleittechnik im öffentlichen Verkehr, 2008

→ Vollautomatisierung erprobt bei Metros, VAL etc. und standardisiert in IEC 62267



## Viele Technologien sind bereits vorhanden und betriebserprobt (1/2):

- Etabliert / in techn. Ausführung:
    - Infrastrukturseitig:
      - Fahrwegsicherung mittels Stellwerk
      - Fernsteuerung von Fahrwegelementen
      - Zuglenkung
      - Blockweise Ortung
      - Aut. Gefahrenraumüberwachung
    - Fahrzeugseitig:
      - Antriebs- und Bremsregelung
      - Bremsprobe (PV etabliert, GV i.t.A.)
      - Zugvollständigkeitsprüfung (PV)
      - Abfertigung und Bereitstellung
      - Zugbeeinflussung
      - Geschwindigkeitsüberwachung
  - Absehbare Realisierung:
    - Zugortung in ausreichender Genauigkeit und Verfügbarkeit
    - Aut. Fahrwegsteuerung durch Disposition
    - Zuverlässige Kommunikation
    - Zugvollständigkeitsprüfung (GV)
  - Weiterer Forschungsbedarf:
    - Hinderniserkennung
    - Umfelderkennung
    - Aut. / virt. Kuppelvorgänge
    - Fernsteuerung (virtueller Führerstand)
    - Aut. Fahrwegsteuerung durch Fahrzeuge
    - Störfallmanagement
- ETCS bildet eine solide Grundlage für weitere Automatisierungsgrade**



# Offene Technologische Aspekte

## Zuverlässige Kommunikation

- Verfügbarkeit am Markt
- Sicherheit
- Kosten

## Hochgenaue und zuverlässige Ortung

- Technologie
- Kosten

## Hindernis- / Umfelderkennung

- Technologie
- Rechtliche Anforderungen

## Cyber Security

- Ansatz
- Verfahren

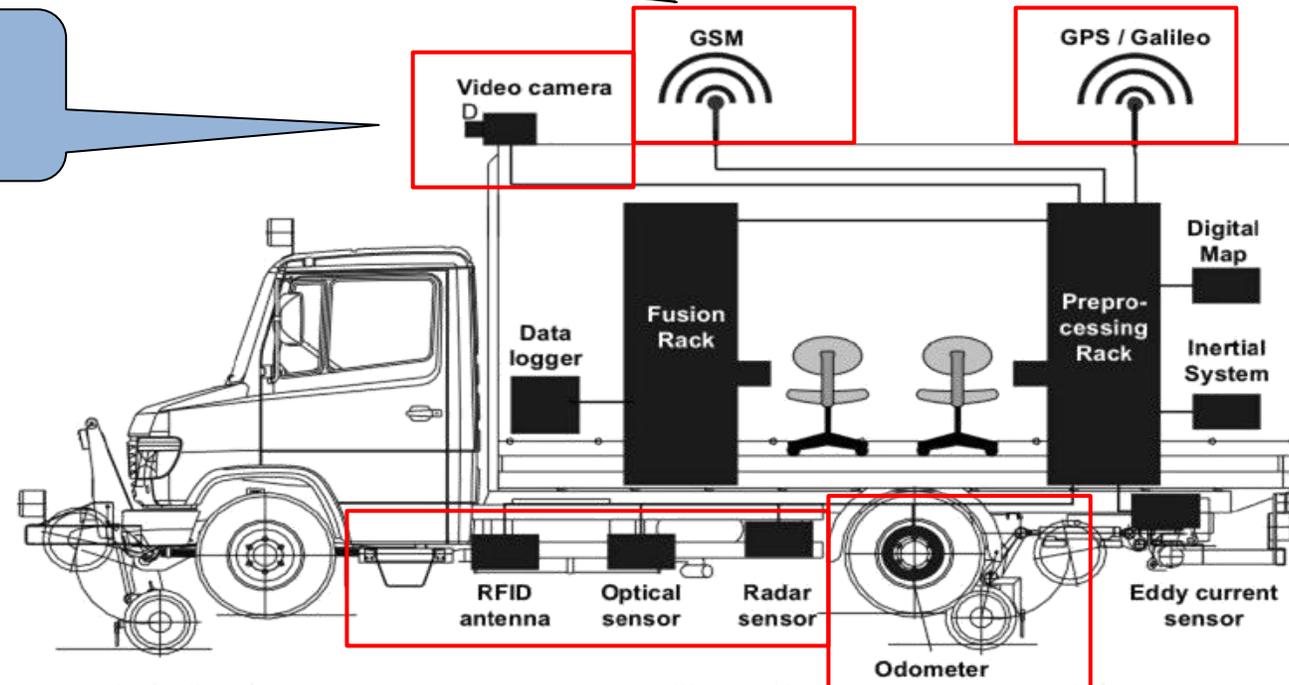


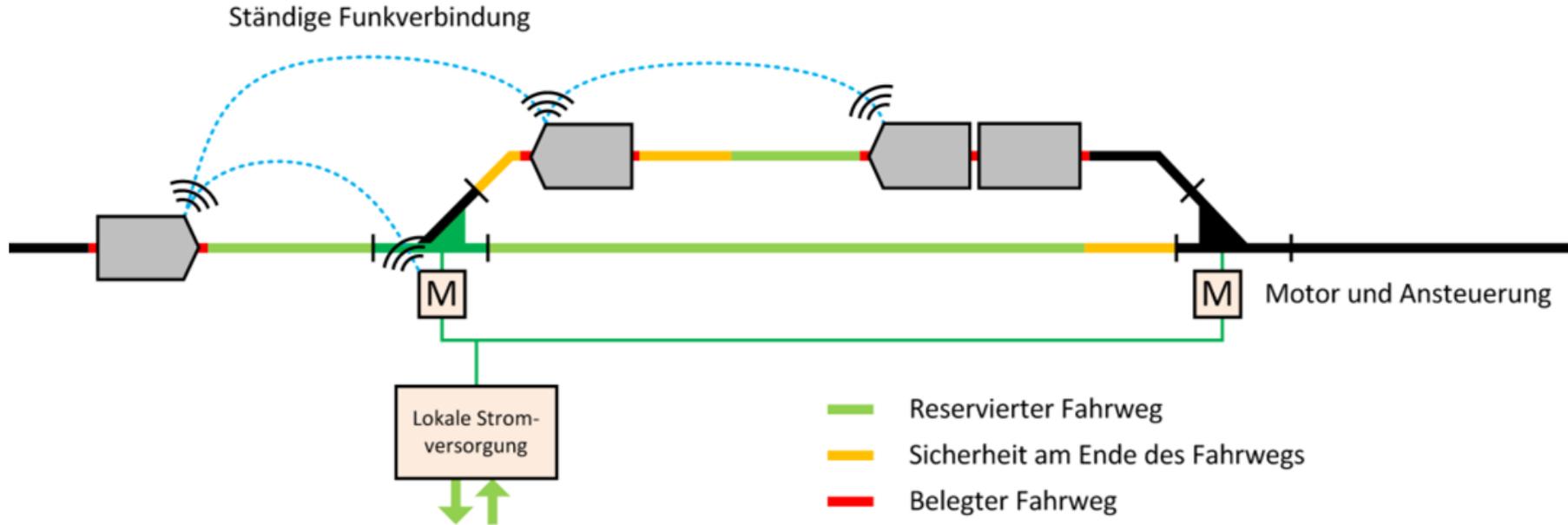
Figure 1: RailDrIVE – the testing and measurement vehicle of the DLR equipped with potential components of a train-borne positioning system

# Weiterer Forschungsbedarf / Laufende Untersuchungen

Basisfunktionen	Big Data	Smart Everything	Ortung	Objekt-erkennung	Kommuni-kation	Virtuali-sierung
Nachfragegesteuerte aut. Bereitstellung	o	o	z	z	o	
Aut. Kuppelvorgänge			z	z	z	
Adaptive aut. Reaktion auf Nachfrageschwankungen	z	o	z		o	
Fernsteuerung (virtueller Führerstand)			o	o	z	z
<b>Aut. Fahrwegsteuerung durch Fahrzeuge</b>			z		z	
Aut. Störfallmanagement	z	o	z		o	
Fernsteuerung von Kuppelvorgängen			o	o	z	z

(z = zwingend erforderlich, o = optional)

# Weiterer Forschungsbedarf / Laufende Untersuchungen



Information	Zwischen	Verzögerung	Sicherheit
Gleisbelegung	Infrastruktur, Fdl, TO	Echtzeit	Hoch
Fahrwegzustand (Lage, Störungen, Fahrstraßen)	Infrastruktur, Fdl, TO	Echtzeit	Hoch
Zugnummer	Fahrzeug und Fdl, TO	Unkritisch	Hoch

# Änderungsbedarf des einfachen Rechts

- Eine Umsetzung des automatisierten Fahrens auf der Schiene muss im einfachen Recht umgesetzt werden
- Tests für Nachweise müssen definiert und standardisiert werden
- Divergierende Anforderungen von Zivil- und Strafrecht müssen erfüllt werden
- Oftmals wird die Anwesenheit von Personal bzw. die Durchführung von Aufgaben von Personal implizit oder explizit vorausgesetzt
- Anpassungen an Gesetze und / oder Konzernrichtlinien für einen vollautomatisierten Betrieb sind zwingend erforderlich

## Beispielsweise:

- Allgemeines Eisenbahngesetz – AEG
- Eisenbahn-Bau- und Betriebsordnung – EBO
- Eisenbahn-Signalordnung – ESO
- Triebfahrzeugführerschein-Prüfungsverordnung – TfPV
- Fahrdienstvorschrift – RiL 408
- Signalbuch – RiL 301
- Vorschriften für Nichtbundeseigende-Eisenbahnen – FV-NE / RiL 438



# Regeländerungen in Richtlinien

## Unterteilung der Aufgaben des Fahrpersonals nach analysierten Regelwerken in:

- Züge fahren - Regelbetrieb
- Züge fahren - Störungsbetrieb
- Züge fahren - Meldungen
- Züge fahren - Ausrüstung
- Rangieren

## Auszug der Aufgaben aus den analysierten Regelwerken:

- Breites Spektrum an Aufgaben für das Betriebspersonal
- Die Aufgaben können komplex bis trivial sein (siehe Tabelle)

Richtlinie (RiL)	Task / Ausführung	Kommentar
301.0002 (9)	Ungültige Signale (weißes Kreuz)	Komplexe Bilderkennung & Anbindung Zugbeeinflussung notwendig
408.2554 §2(3)	Evakuierung im Tunnel bei Feuer im Zug	Erfordert nicht zwingend Tf, aber Zugpersonal
438 §2 (7)	eine richtigzeigende Uhr (Ausrüstung)	Mitarbeiter im Betriebsdienst

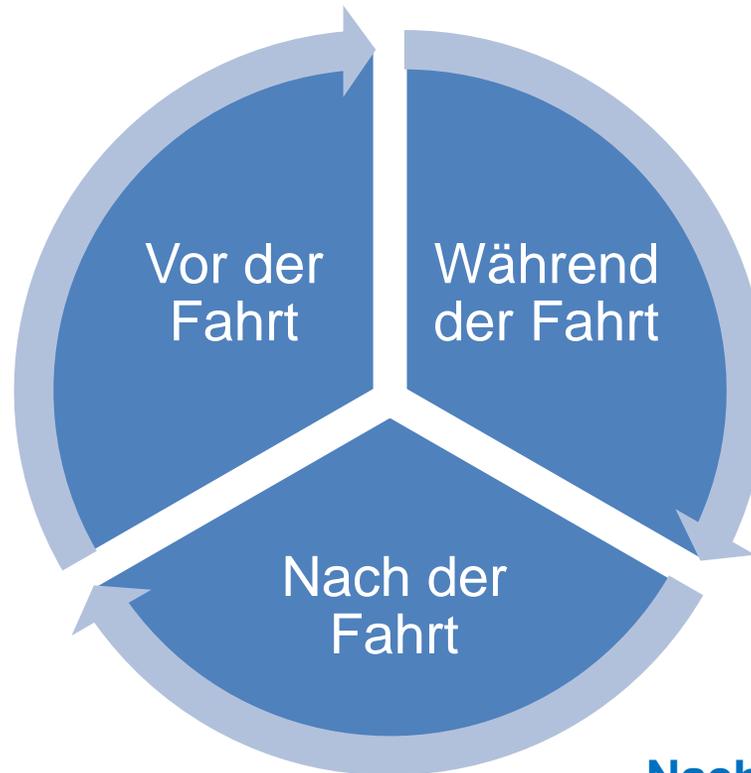
Quelle: DLR



# Aufgaben des Triebfahrzeugführers im Personenverkehr (Triebzug)

## Vor der Fahrt

- Bremsprüfung
- Türprüfung
- Prüfung der Sicherheits-einrichtungen
- Prüfung, Dateneingabe und Einstellung der Zugsicherungstechnik (PZB / LZB)
- Prüfung der Fahrzeugsicherheit
- Bereitstellung des Zugs



## Während der Fahrt

- Abfertigung der Züge
- Funkanweisungen
- Störfallbehandlung
- Zugsicherungstechnik (PZB / LZB / ETCS)
- Streckenbeobachtung
- Geschwindigkeitsregelungen
- Signalbeobachtung

## Nach der Fahrt

Abstellung des Zugs

# Bediener im Kontext zunehmender Automatisierung

- Hoch- oder Voll-Automatisierung des Bahnbetriebs heißt nicht sofort auch Vollautomatisierung aller Prozesse
- Bediener bleiben für Überwachung, Disposition und Störungsbehandlung (in einem Übergangszeitraum) vorhanden (GoA 3)

→ **Folglich müssen Systeme so gestaltet sein, dass eine Übernahme oder ein Eingriff durch den Menschen möglich ist!**

- Situation wird durchschaubar dargestellt
- Bediener wird die notwendige Zeit zum Situationsverständnis gegeben
- Vermeidung von Automation Misuse oder Disuse



Quelle: DLR

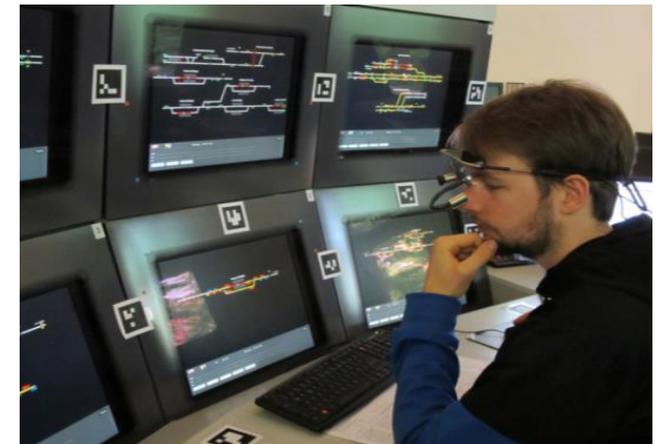


# Bediener im Kontext zunehmender Automatisierung: Beispiel Fahrdienstleiter

Ziel: Nutzergerechte Gestaltung der Bahn-Arbeitsplätze im Kontext zunehmender Digitalisierung und Automatisierung

Begleitung des Fdl im laufenden Prozess der Automatisierung:

- Unterstützung des Fdl beim Aufbau von Situationsbewusstsein und bei der Entscheidungsfindung in Störungssituationen
- Beispiel: Blickbewegungsstudie am Leitstellenarbeitsplatz (Bilder)



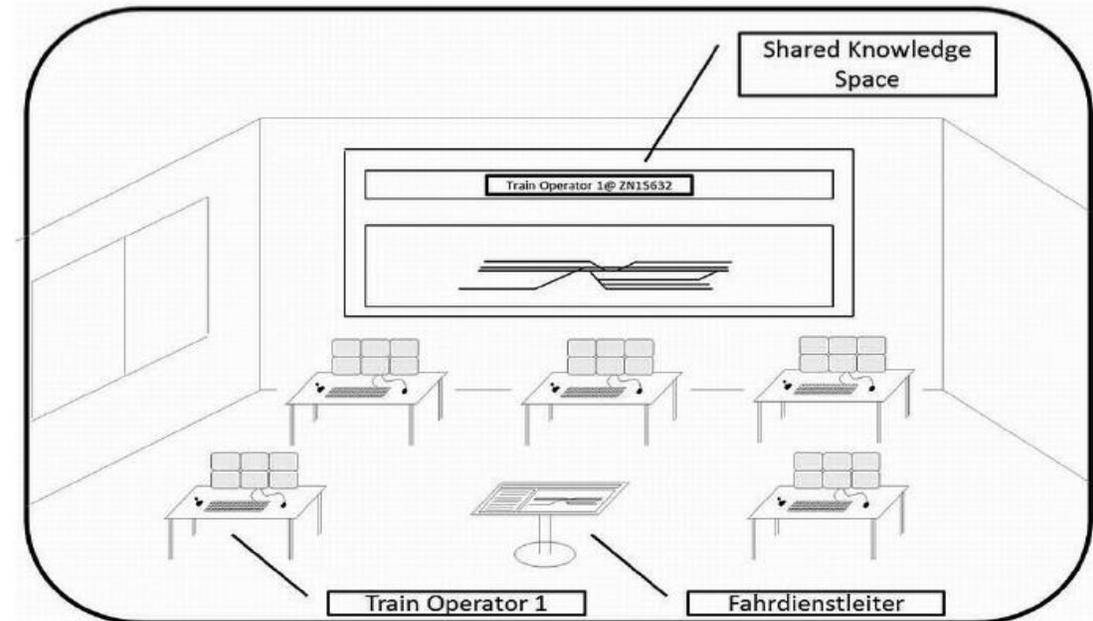
Quelle: DLR



# Bediener im Kontext zunehmender Automatisierung

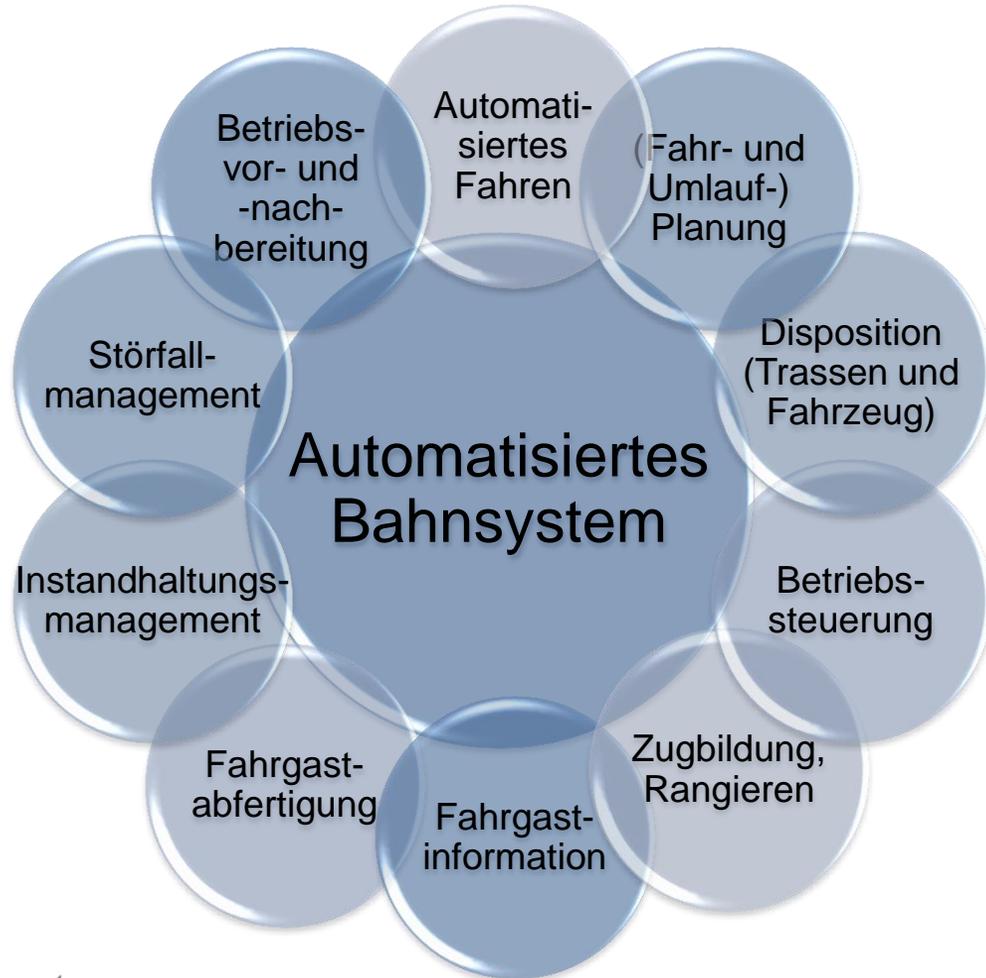
## Ansatz: Train Operator (TO)

- **Ausgangsposition:**
  - Bediener bleiben für Überwachung, Störungsbehandlung (in einem Übergangszeitraum) vorhanden (GoA 3)
- **Ansatz:**
  - Situative Anfragen des Zuges an den TO bei kritischen Situationen
- **Anfrage:**
  - z. B. Tiere im Gleis = Fahren auf Sicht
- **Bearbeitung durch TO:**
  - Räumlich getrennte Fernsteuerung
- **Rückgabe des Zuges:**
  - Dokumentation des Eingriffs
  - Automatische Weiterfahrt



Quelle: DLR

# Hochautomatisiertes Bahnsystem – Mehr als nur Züge ohne Lokführer



## Herausforderungen:

- Technische Umsetzbarkeit
- Betriebliche Einführung
- Wirtschaftlichkeit
- Sicherstellung bahntypischer Anforderungen (u. a. RAMS)
- (Cyber)Security
- Handhabbarkeit
- Akzeptanz
- Rechtliche Rahmenbedingungen

# Automatisierung Bahn Agenda

Überblick über das DLR  
Stand der Technik  
Herausforderungen  
Potenziale der Automatisierung

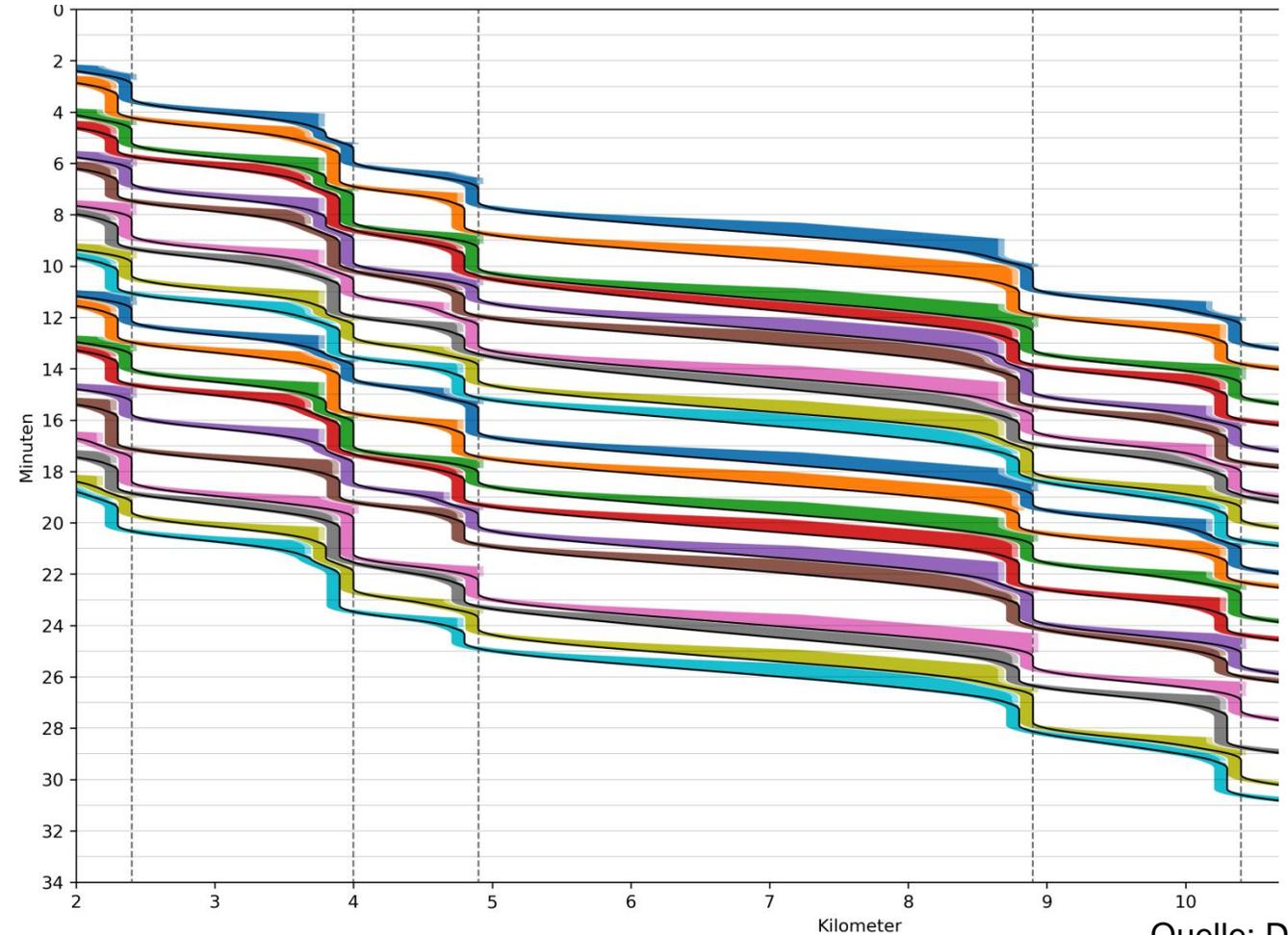


Wissen für Morgen



# Betrieb: Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit

- Effekt vorrangig durch Moving Block erzeugt
- Automatisierung erlaubt exaktere Steuerung des Zuges auch bei dynamischen Geschwindigkeitsvorgaben
- Verkürzte Zugfolge kann genutzt werden:
  - Um die Kapazität zu erhöhen
  - Um das Zugangebot zu verbessern
- Beispiel: Hohe Taktdichte durch Bahnsteigdoppelbelegung

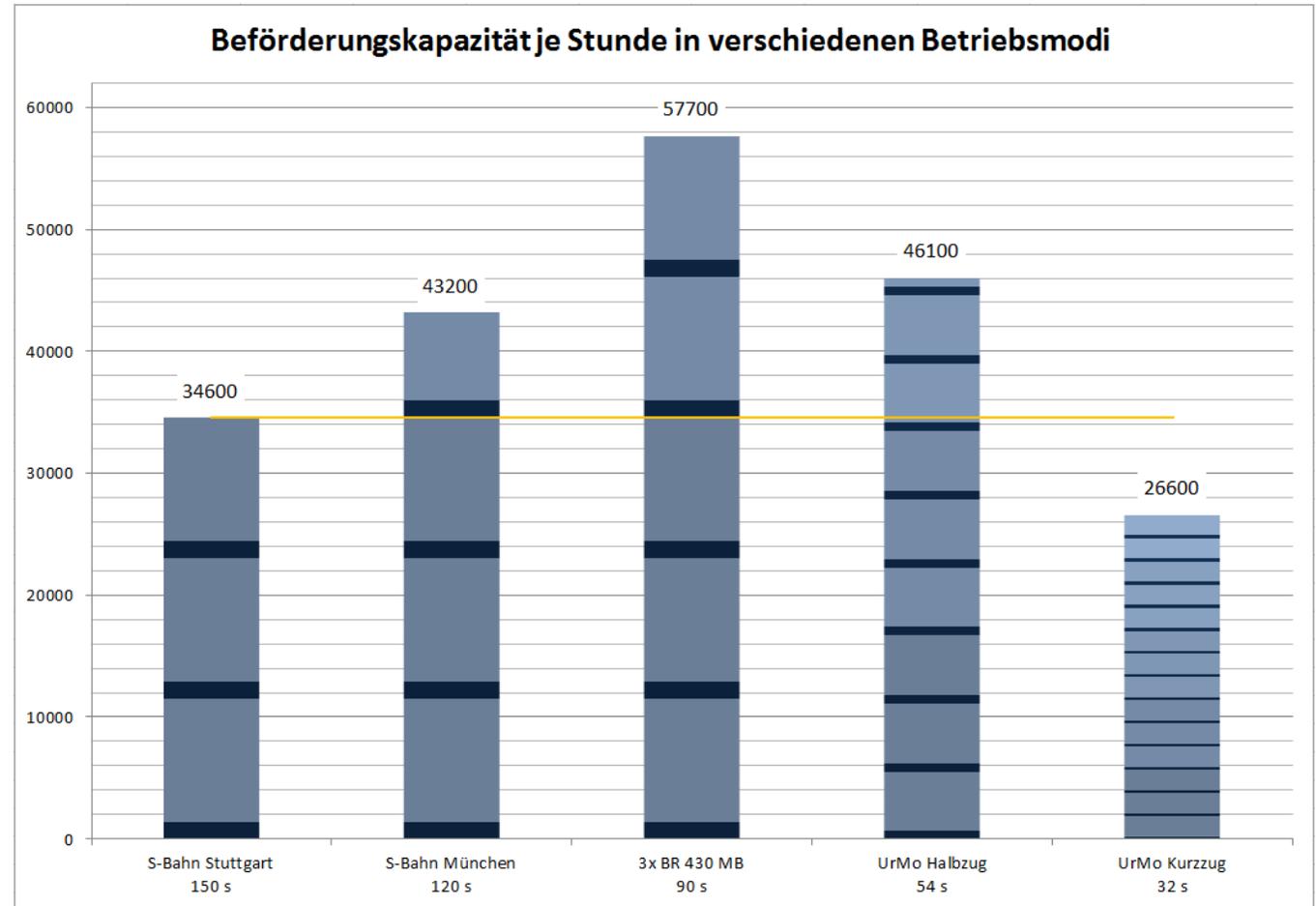


Quelle: DLR



# Betrieb: Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit

- Insbesondere im dichten Nahverkehr
- Abhängig von der Infrastruktur und konkretem Betriebsprogramm!
- Die Automatisierung kann die Kapazität einer Strecke um bis zu 30 % steigern
- Bei gleichbleibender Kapazität könnte die Zuglänge halbiert und die Taktfolge somit verdoppelt werden
- Sehr kleine Fahrzeugeinheiten (z.B. 35 m) können die geforderte Kapazität allerdings nicht bereitstellen



Quelle: DLR

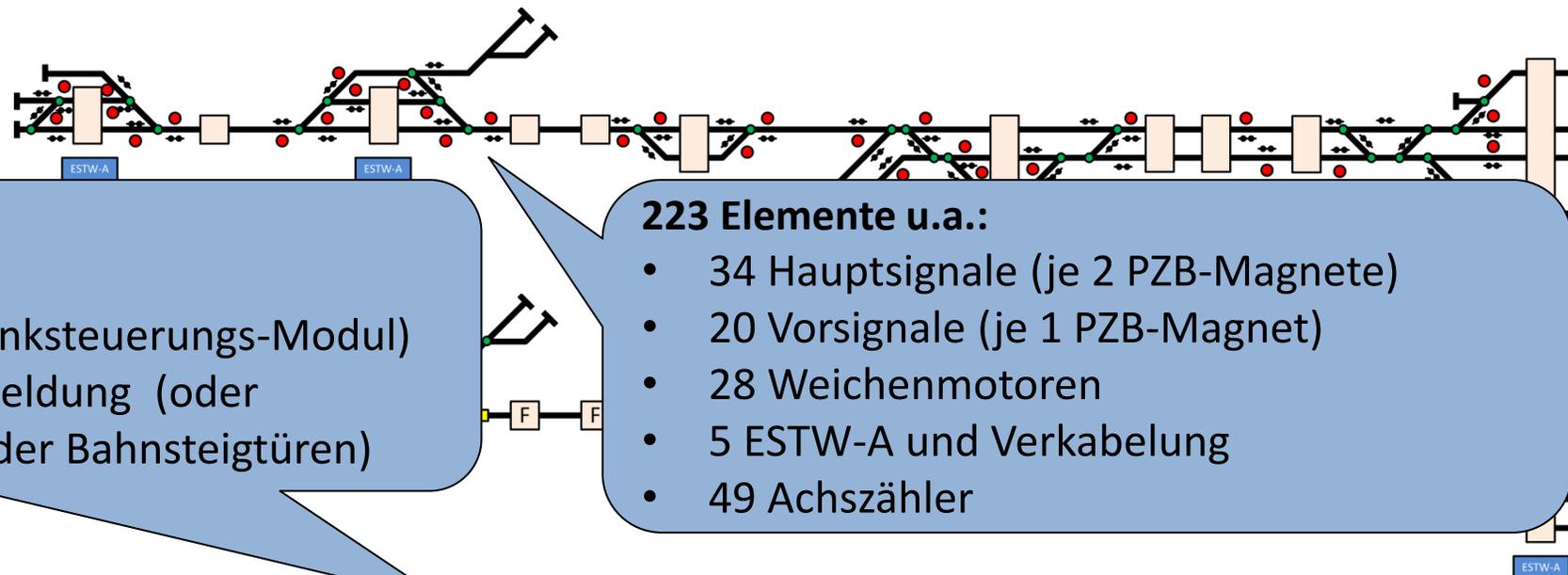
## Betrieb: Flexiblere Betriebsführung

- Entfall der Fahrpersonalplanung
  - Kurze Bereitstellungszeiten für Bedarfsverkehre
  - Kürzere Wendezeiten
  - Entfallende Abhängigkeiten bei Personalübergängen
  - Außerhalb von urbanen Netzen weiterhin Servicepersonal an Bord (jedoch kein Zwangspunkt)
- Wirtschaftlicher Betrieb kleinerer Fahrzeugeinheiten aufgrund entfallender Fixkosten (1 Tf je Zug)
  - Erhöhte Taktfrequenzen
  - Häufigere Anbindung einzelner Außenäste eines Netzes
  - Kurswagen
  - Überhaupt weiterhin wirtschaftlicher Betrieb von Nebenstrecken
- Beschleunigung von Abläufen auf dem Betriebshof durch automatisierte Zugbewegungen

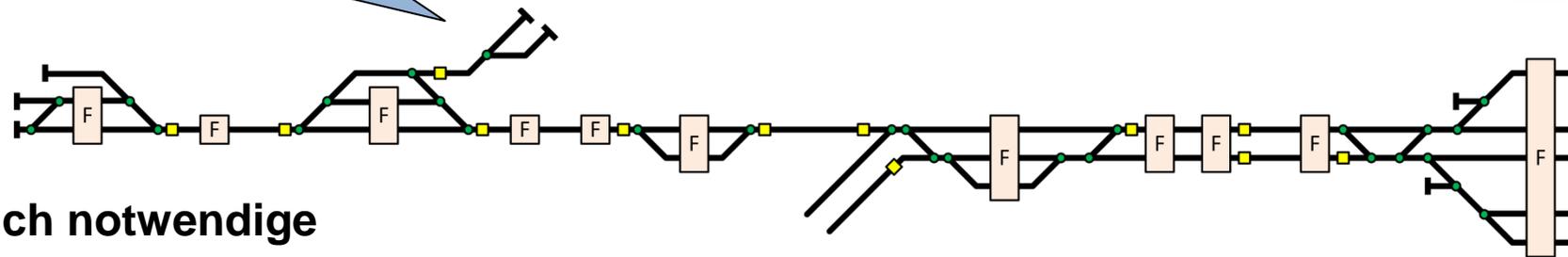


# Kosten: Benötigte Fahrweg- und Fahrzeugausrüstung

- Ausgangszustand:  
Betrieb mit PZB



- Endzustand:  
Automatisierter Betrieb  
Fahrzeuge sichern und stellen  
ihren Fahrweg autonom

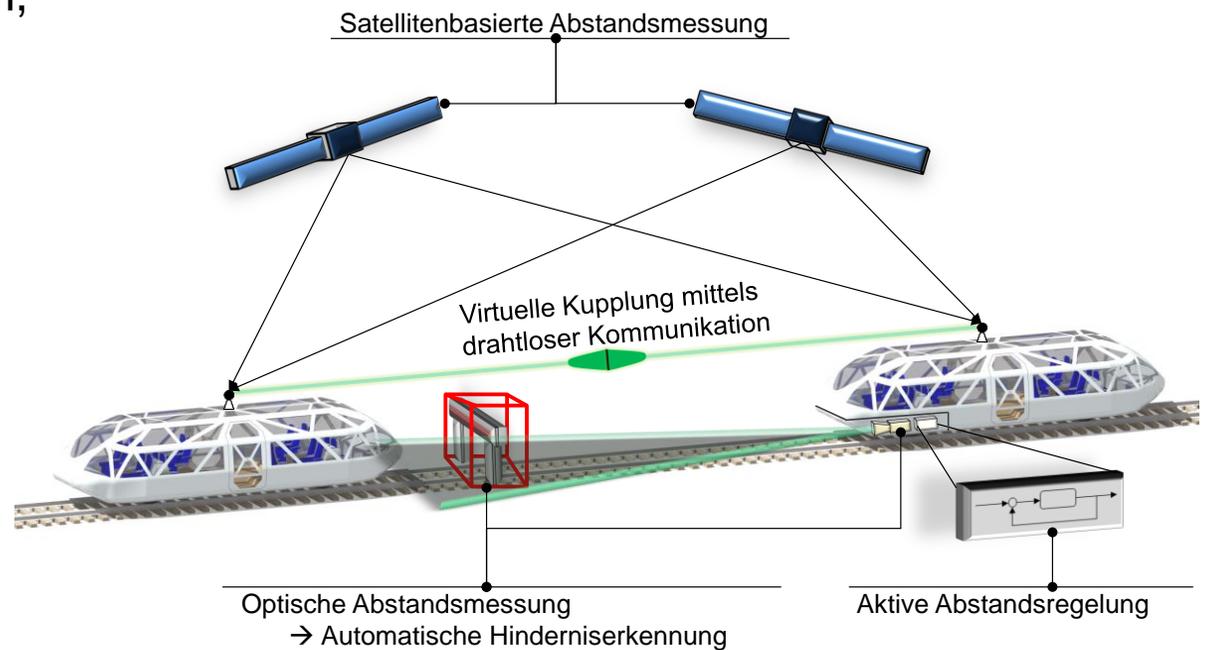


Quelle: DLR



# Zusammenfassung & Ausblick

- Der Bahnverkehr wird auch in Zukunft für die Bewältigung der Verkehrsnachfrage benötigt
- Viele Technologien sind verfügbar und betriebserprobt
- Ortung, Kommunikation, Hinderniserkennung und Cyber Security sind noch zu bearbeiten
- Die Migration kann auf verschiedenen Wegen erfolgen, die unterschiedliche Vor- und Nachteile aufweisen
- Betriebliche und rechtliche Rahmenbedingungen müssen dem technologischen Fortschritt noch angepasst werden
- Der vollautomatische Bahnbetrieb wird neue Anwendungsfälle und Geschäftsmodelle ermöglichen



Quelle: DLR



# Mitarbeiter gesucht!

- **Digitalisierung und Automatisierung im Bahnbetrieb**
  - Verkehrsingenieur o.ä. (m/w)
  - [https://www.dlr.de/dlr/jobs/desktopdefault.aspx/tabid-10596/1003\\_read-27331/](https://www.dlr.de/dlr/jobs/desktopdefault.aspx/tabid-10596/1003_read-27331/)
- **Studentische Mitarbeiter und Praktikanten**

## **Dr.-Ing. Christian Meirich**

Bewertung des Verkehrs  
Angebotsplanung und Betrieb

Telefon 0531 295-3824  
[christian.meirich@dlr.de](mailto:christian.meirich@dlr.de)

## **Dipl.-Ing. Leander Flamm**

Bewertung des Verkehrs  
Angebotsplanung und Betrieb

Telefon 0531 295-2674  
[leander.flamm@dlr.de](mailto:leander.flamm@dlr.de)

[www.DLR.de](http://www.DLR.de) | Institut für Verkehrssystemtechnik

