

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

Projektträger

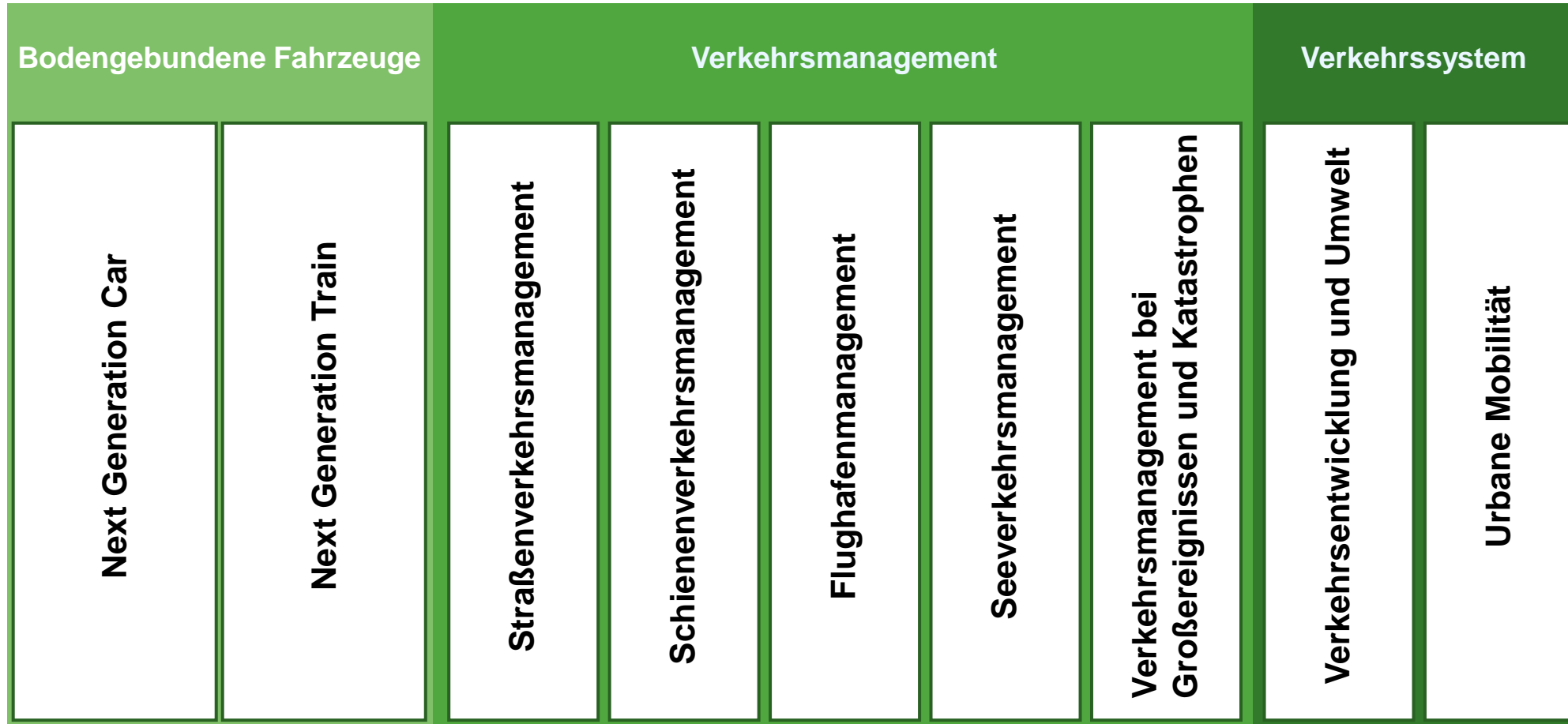


Ca. 8.000 Mitarbeiter/innen in
40 Instituten und Einrichtungen
in 20 Standorten

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

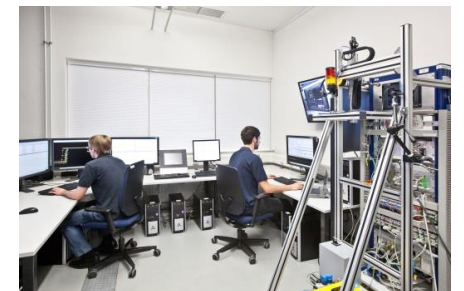
Sitz: Braunschweig, Berlin

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

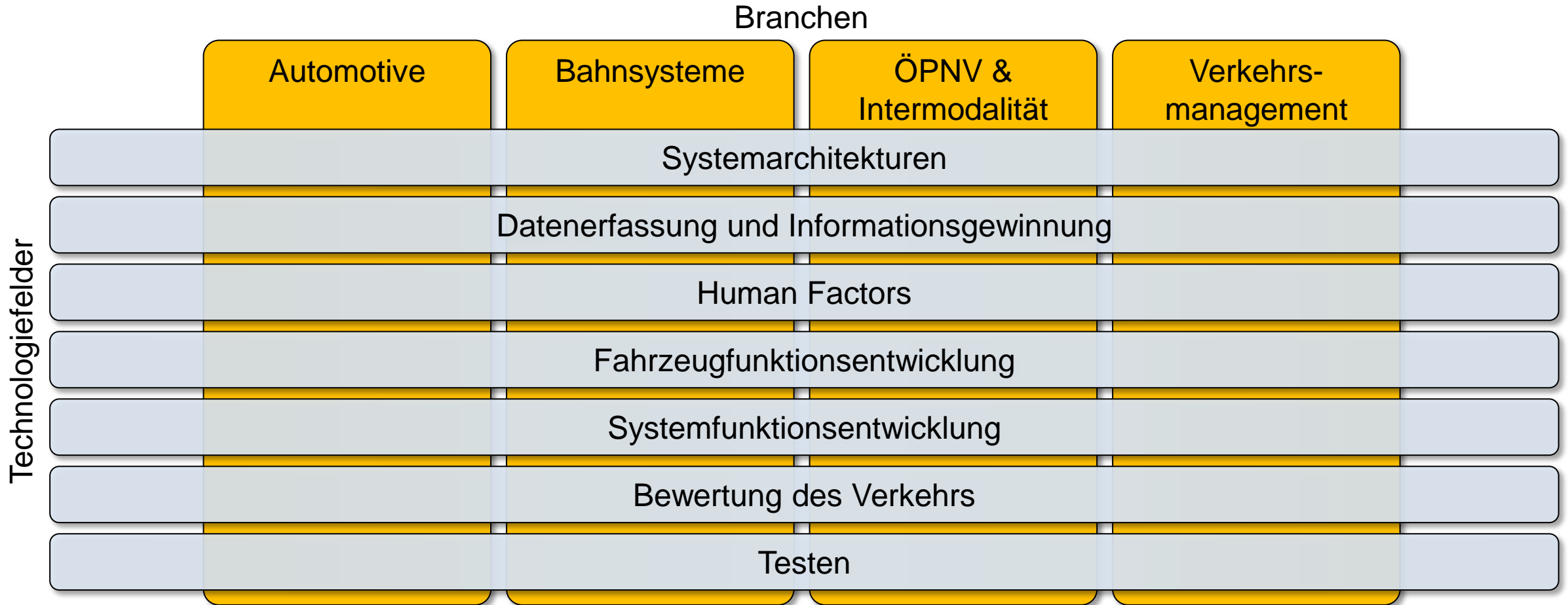
Forschungsgebiete: Automotive
Bahnsysteme
ÖPNV & Intermodalität
Verkehrsmanagement

Aufgabenspektrum: Grundlagenforschung
Konzepte und Strategien
Prototypische Entwicklungen

Qualität: zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 und VDA 6.2
sowie RailSiTe[®] gemäß ISO 17025



Branchen & Technologiefelder



Technologiefeld Bewertung des Verkehrs

Angebotsplanung und Betrieb

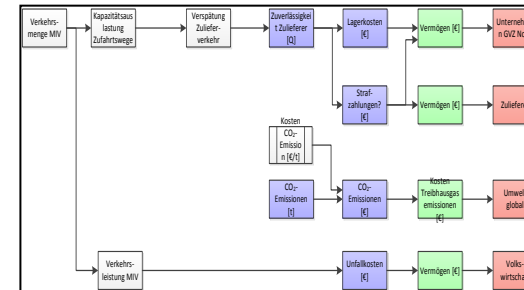
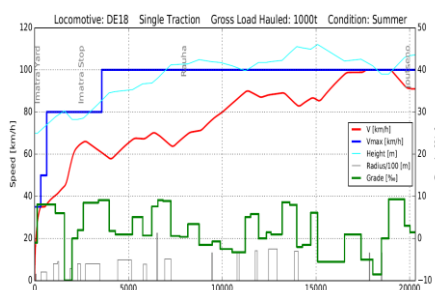
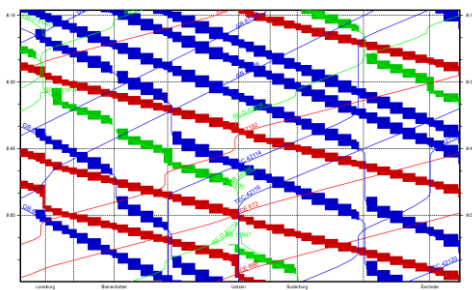
- Hochautomatisierter Bahnbetrieb
- Konzeptionelle Lösungen / innovative Betriebsszenarien
- Energieeffizienz und Lärmreduktion
- Öffentliche (kollektive) Verkehrssysteme
- Bewertung von Potentialen

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 Studien¹ 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

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



Automatisierung Bahn Agenda

Überblick über das DLR

Stand der Technik

Herausforderungen

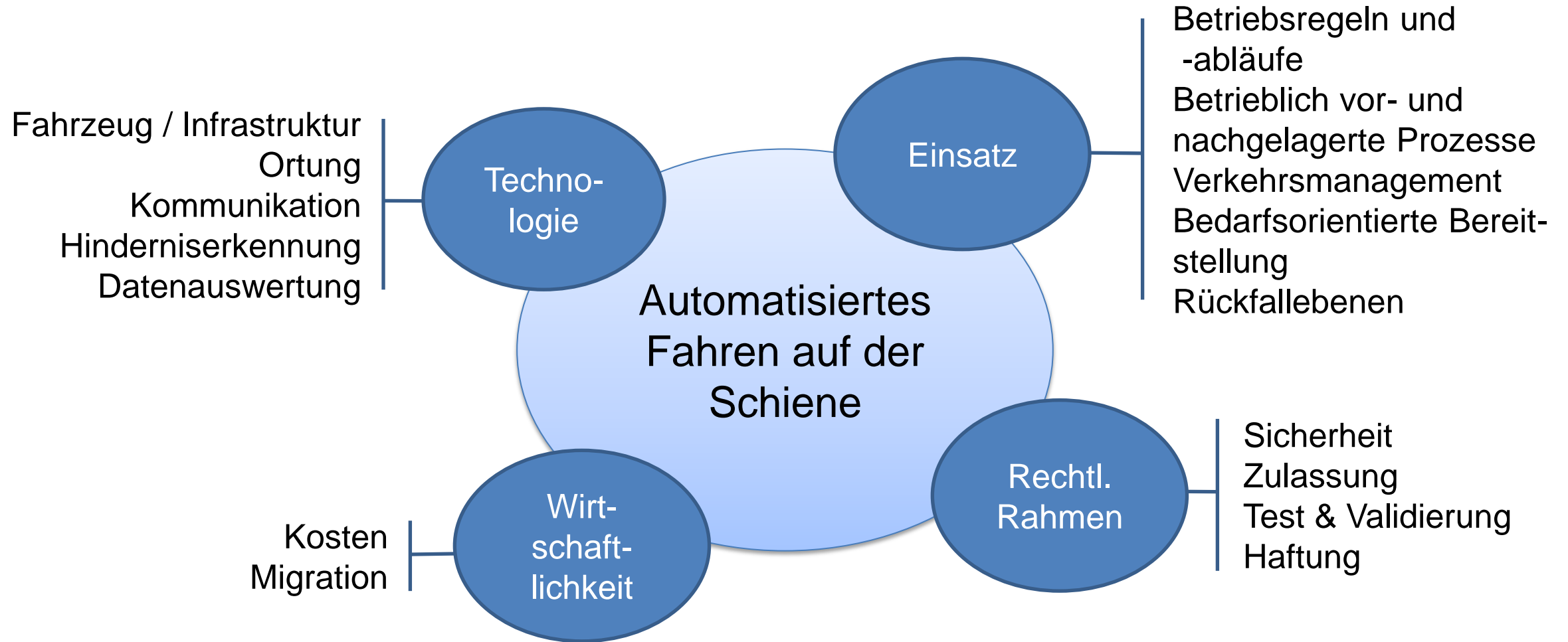
Potenziale der Automatisierung



Wissen für Morgen



Technologische, betriebliche und rechtliche Herausforderungen



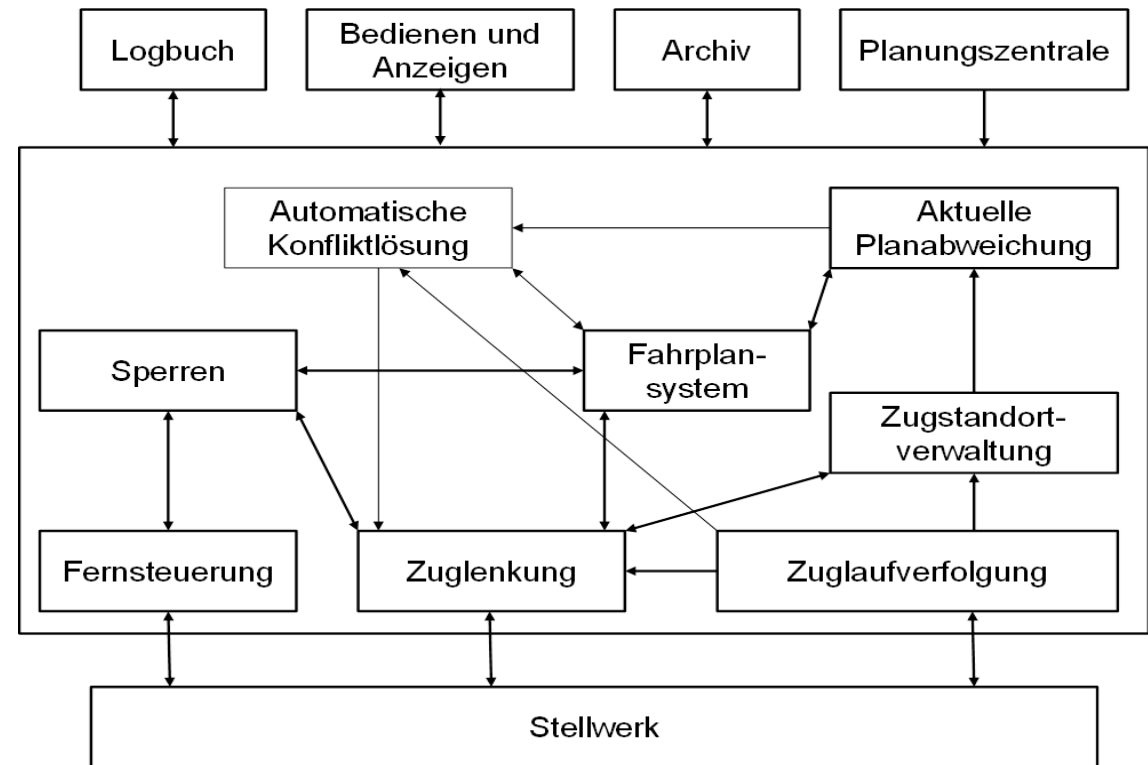
Grade of Automation (GoA) nach IEC 62267

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

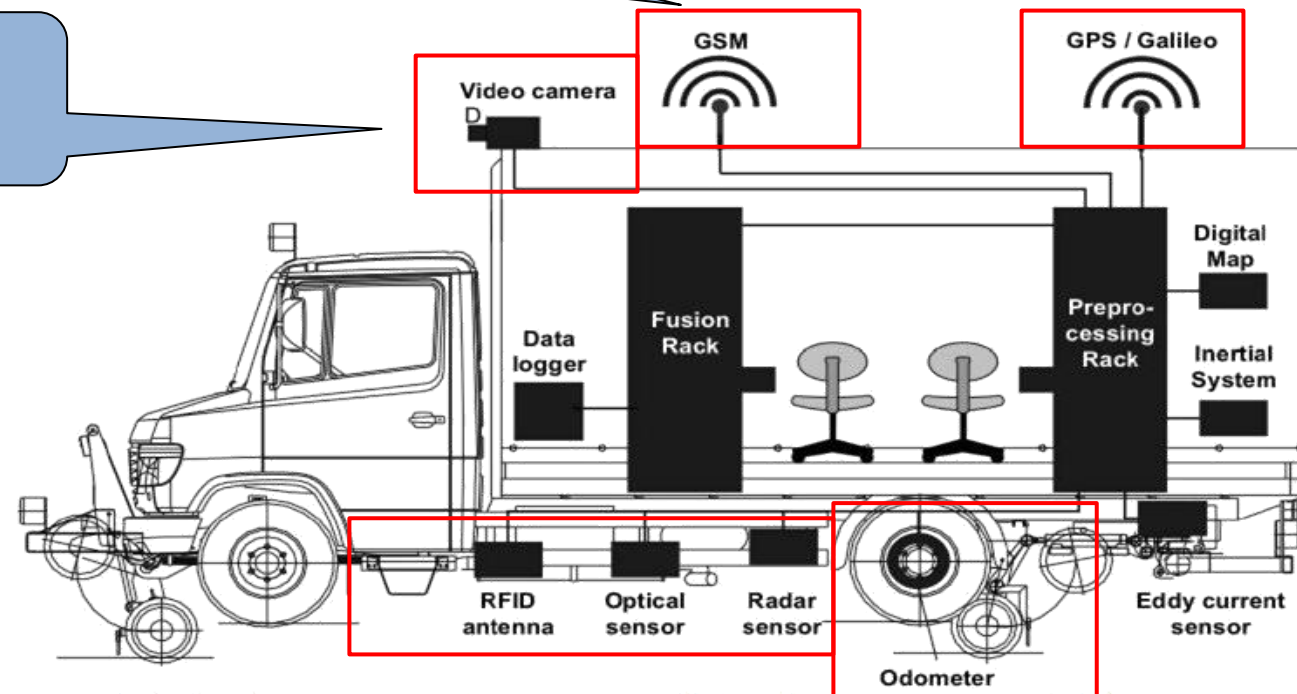


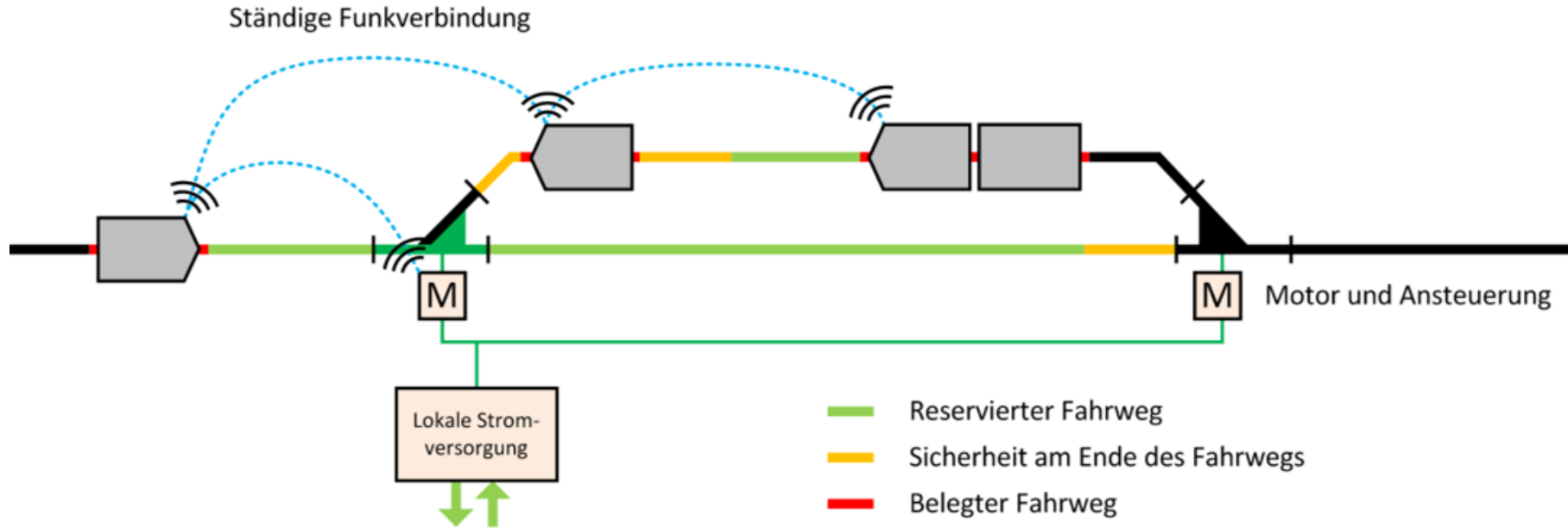
Figure 1: RailDrIVE – the testing and measurement vehicle of the DLR equipped with potential components of a train-borne positioning system

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
Aut. Fahrwegsteuerung durch Fahrzeuge			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

Quelle: DLR



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

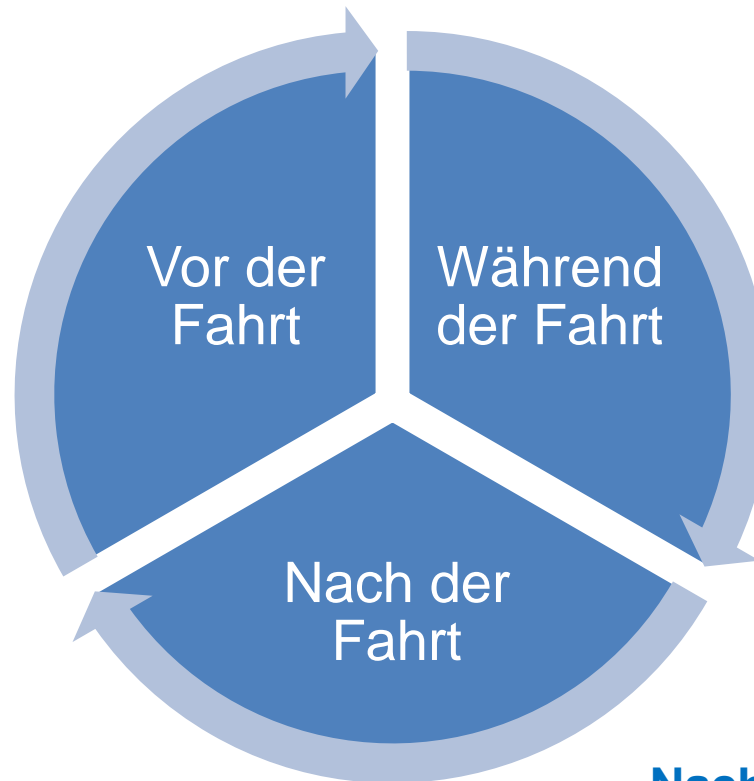
Quelle: DLR



Aufgaben des Triebfahrzeugführers im Personenverkehr (Triebzug)

Vor der Fahrt

- Bremsprüfung
- Türprüfung
- Prüfung der Sicherheits-einrichtungen
- Prüfung, Dateneingabe und Einstellung der Zugsicherungs-technik (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

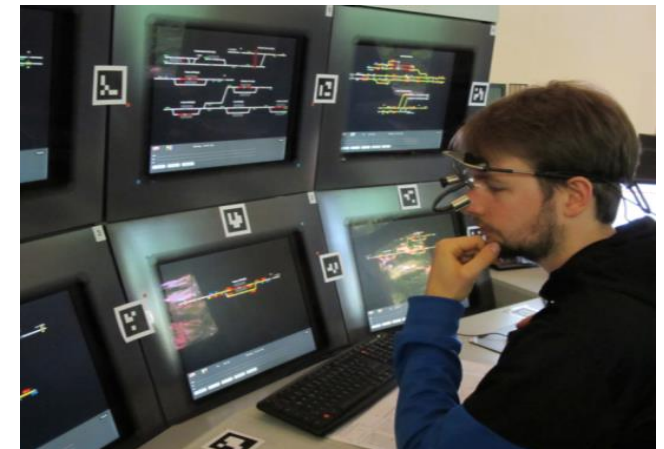


Bediener im Kontext zunehmender Automatisierung: Beispiel Fahrdienstleiter

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)



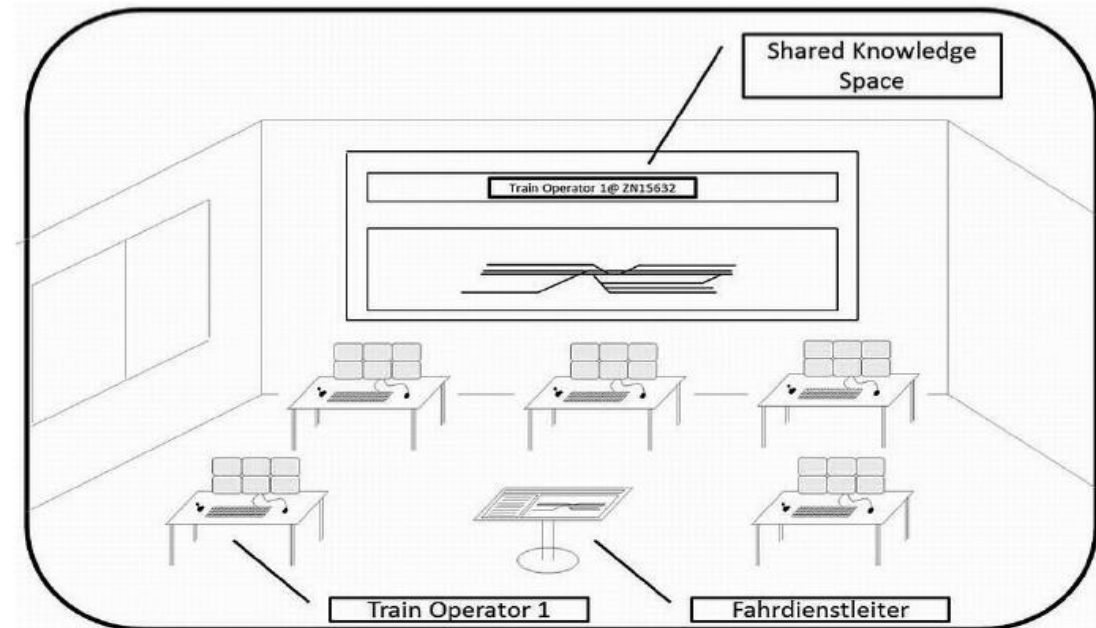
Quelle: DLR



Bediener im Kontext zunehmender Automatisierung

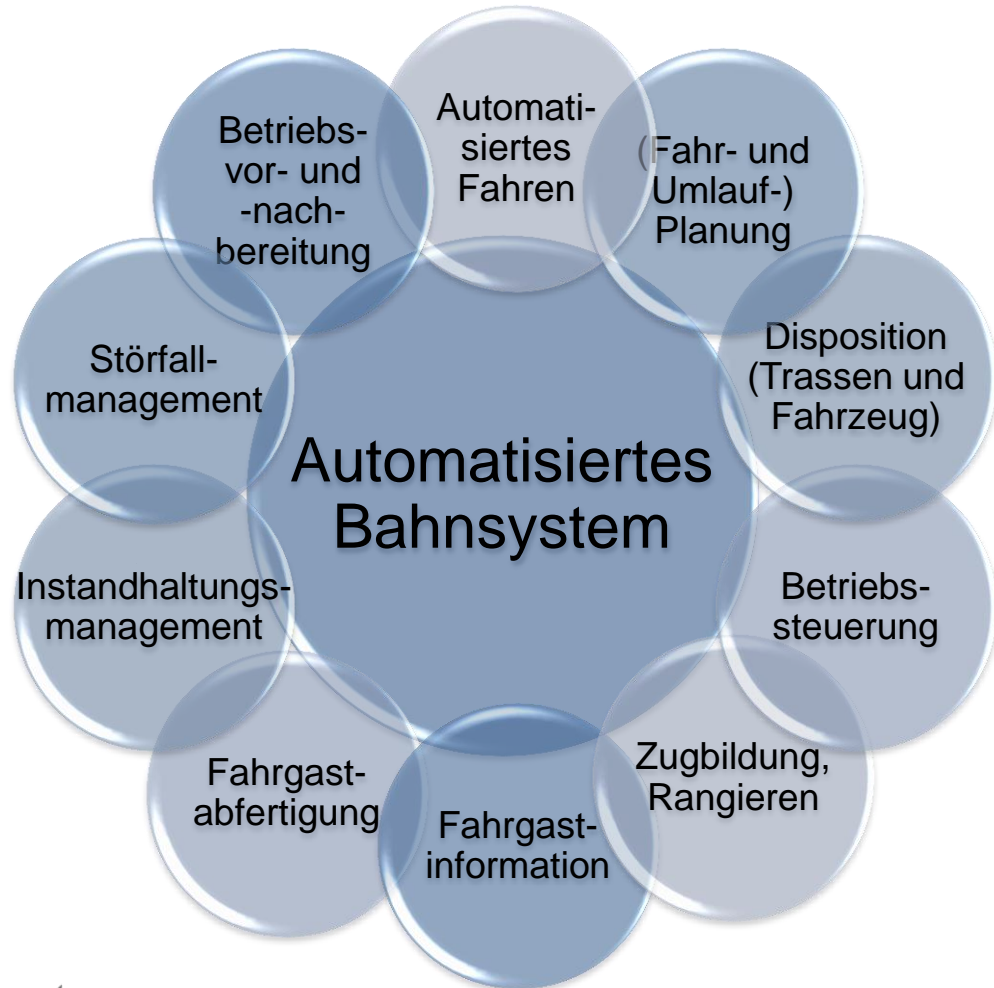
Ansatz: Train Operator (TO)

- **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

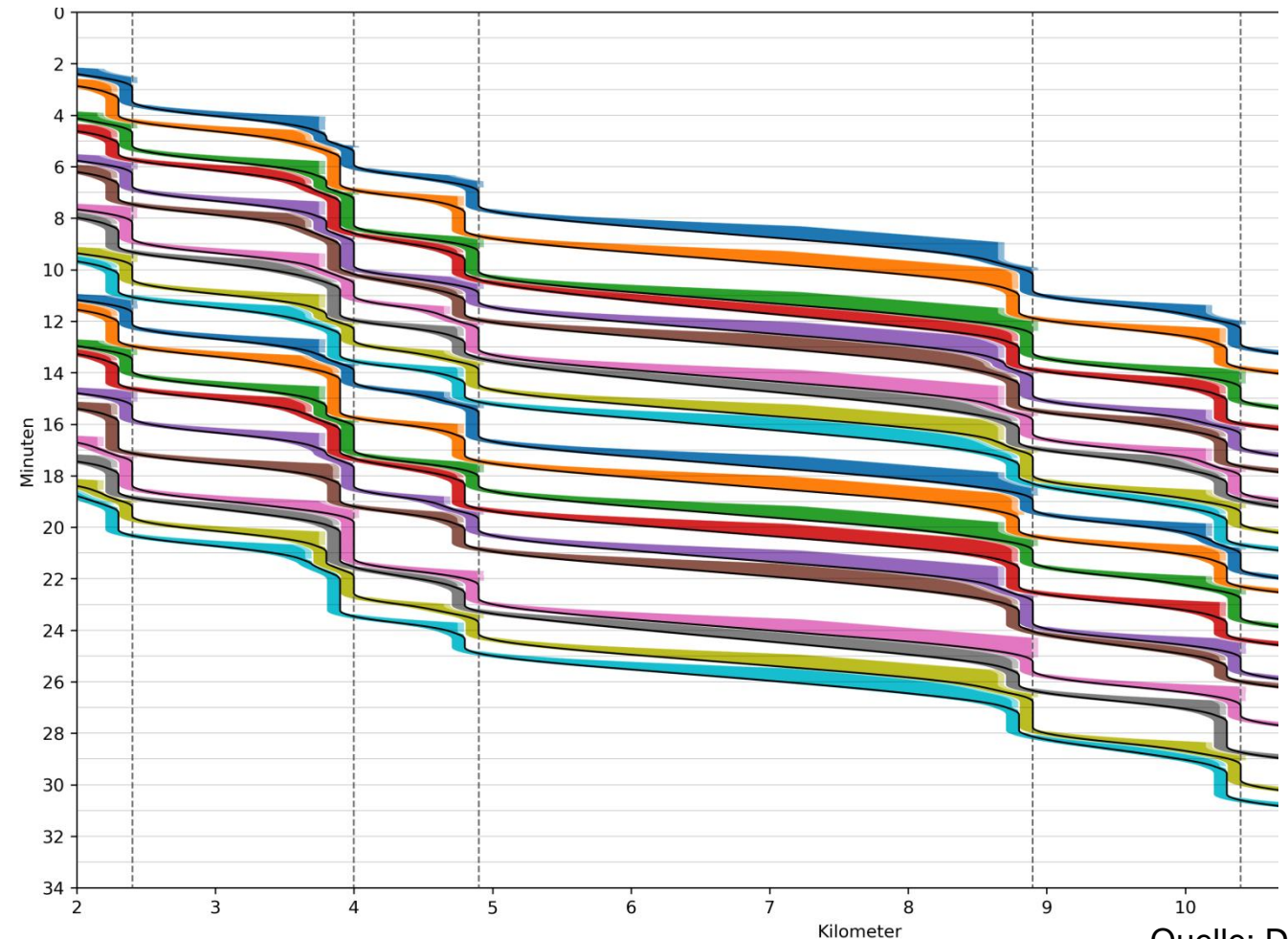


Wissen für Morgen



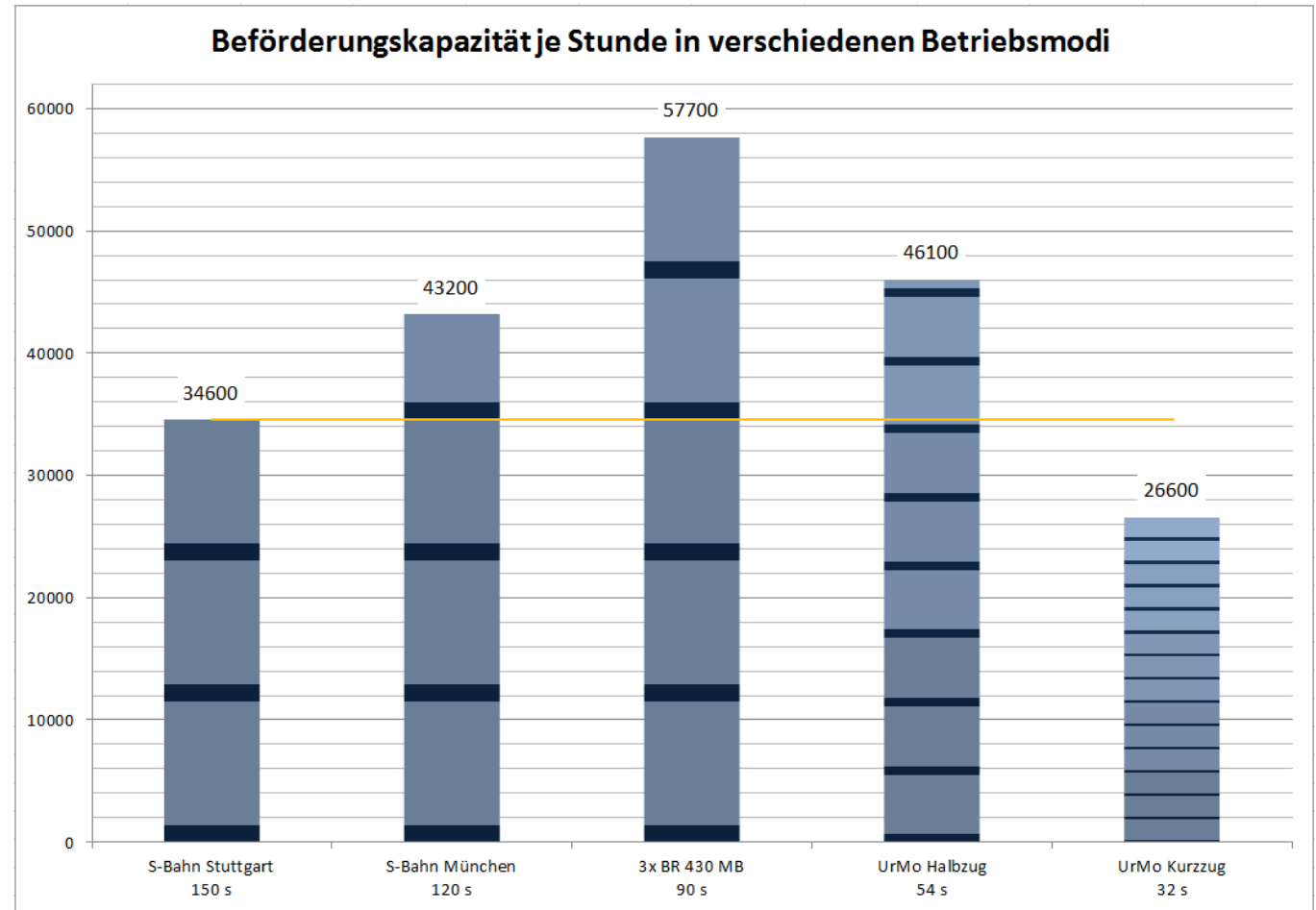
Betrieb: Erhöhung der Streckenleistungsfähigkeit

- 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



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



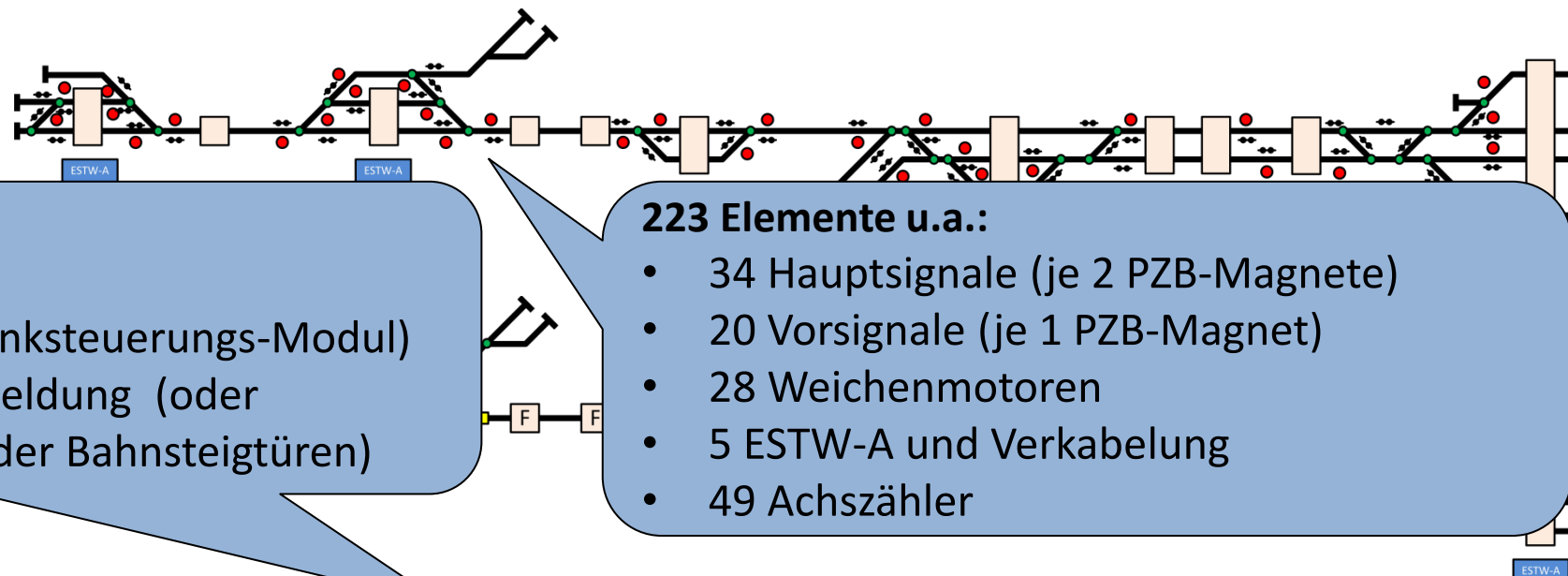
Betrieb: Flexiblere Betriebsführung

- 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

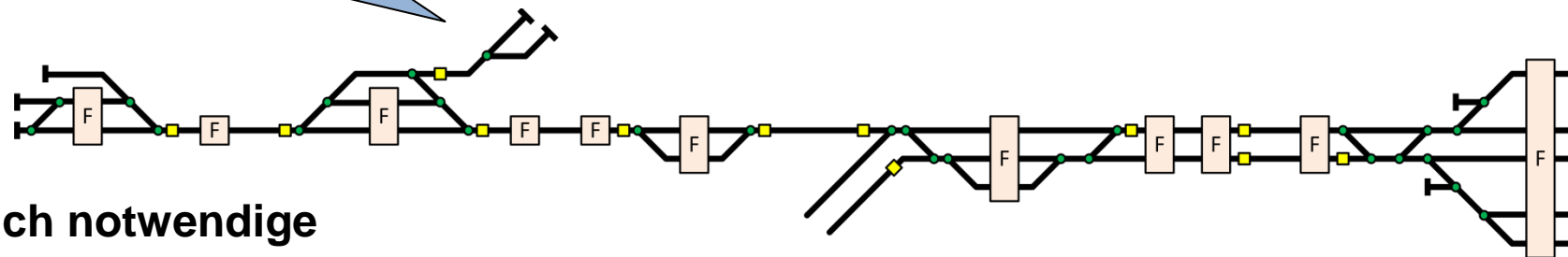


Kosten: Benötigte Fahrweg- und Fahrzeugausrüstung

- Ausgangszustand:
Betrieb mit PZB



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

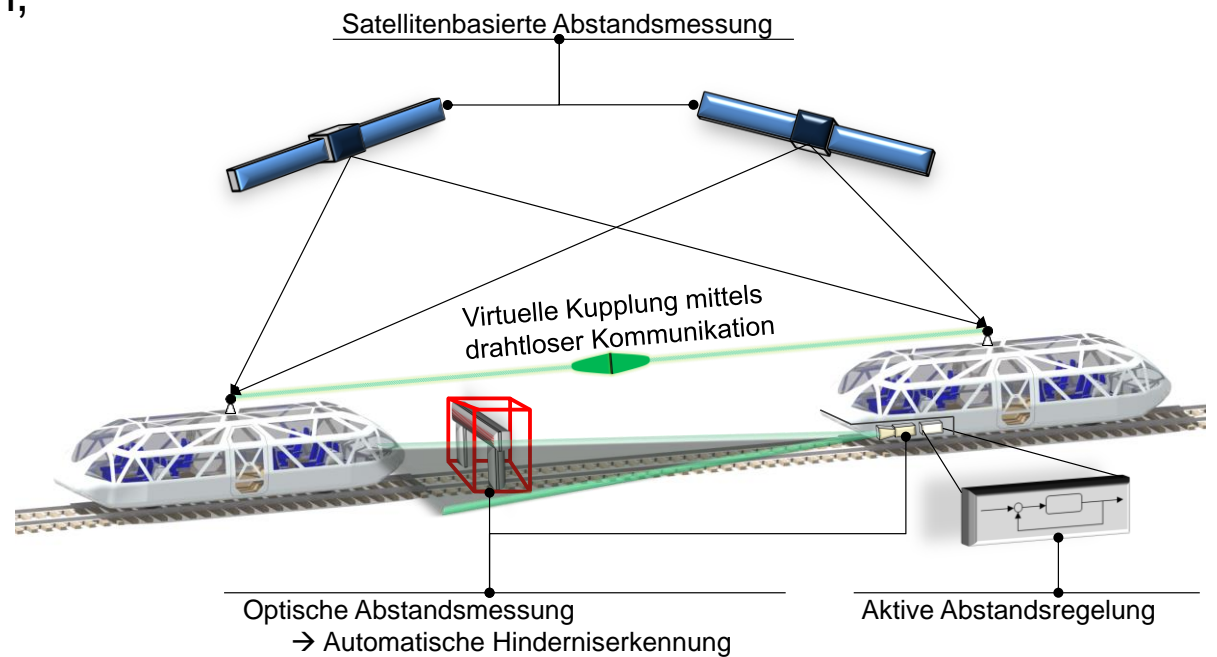


Quelle: DLR



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/
- **Studentische Mitarbeiter und Praktikanten**

Dr.-Ing. Christian Meirich

Bewertung des Verkehrs
Angebotsplanung und Betrieb

Telefon 0531 295-3824
christian.meirich@dlr.de

Dipl.-Ing. Leander Flamm

Bewertung des Verkehrs
Angebotsplanung und Betrieb

Telefon 0531 295-2674
leander.flamm@dlr.de

www.DLR.de | Institut für Verkehrssystemtechnik

