HUMAN FACTORS IN DER TELEOPERATION IM SCHIENENVERKEHR

Gestaltungsdimensionen & Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsprojekten

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

DLR

Herzlich Willkommen!

Agenda

1) Vorstellung
2) Teleoperation & Human Factors
3) Teleoperation als Bestandteil der Automatisierung auf der Schiene
4) Forschungsergebnisse und offene Fragen
    - Makroebene: Arbeits- und Organisationsgestaltung
    - Mikroebene: Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion
5) Fazit und Diskussion



Dr. Kristin Mühl
DZSF

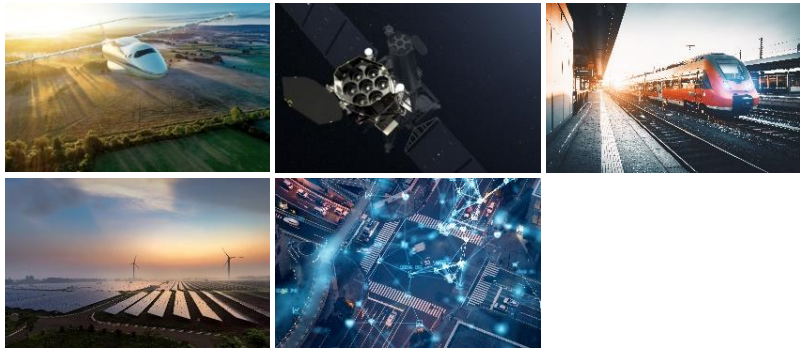


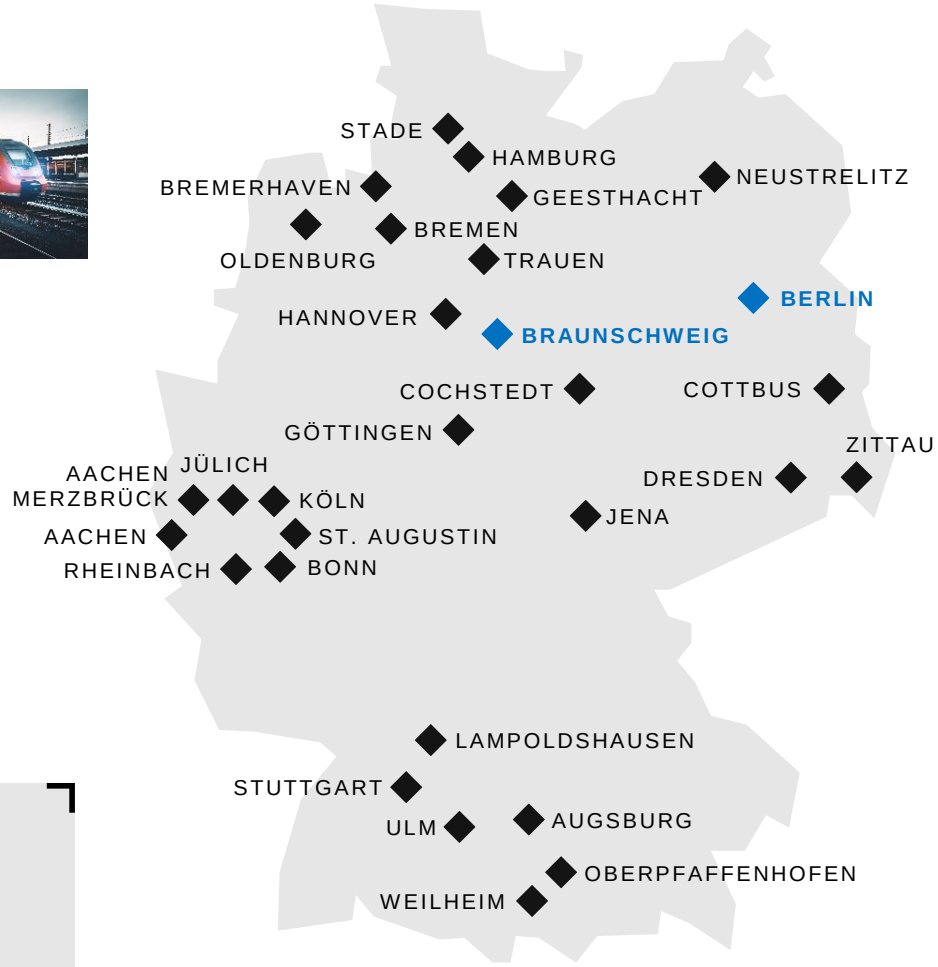
Laura Quante
DLR



Dr. Annika Dreßler
DLR

Das DLR im Überblick





FORSCHUNGSEINRICHTUNG

RAUMFAHRTAGENTUR

PROJEKTTRÄGER

FORSCHUNGS-BEREICHE

Luftfahrt
Raumfahrt
Energie
Verkehr
Sicherheit
Digitalisierung

ZAHLEN UND FAKTEN

10.000 Mitarbeitende

54 Institute/Einrichtungen an 30 Standorten

Büros in Brüssel, Paris, Tokio und Washington

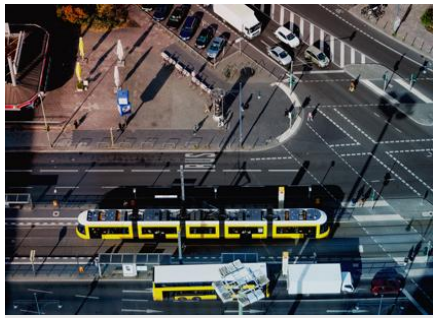
Institut für Verkehrssystemtechnik



SCHIENEN-VERKEHR

Digitalisierter Schienen-verkehr und -betrieb

Schienensysteme und -technologien



INTERMODALER VERKEHR

Informationssysteme und Mobilitätsdienste

Technisches Transport- und Mobilitätsmanagement



STRASSEN-VERKEHR

Digitaler Straßenverkehr

Kooperative Straßenfahrzeuge und Systeme

FORSCHUNGSINFRASTRUKTUR



Prof. Dr.
Gert Bikker

Institutsdirektor
Schienensystem-technik

Mitarbeitende: ca. 220 aus Ingenieurswissenschaft, IT-Wissenschaft, Psychologie etc.



Dr.
Tobias Hesse

Institutsdirektor
Straßensystem-technik (komm.)

Teleoperation & Human Factors

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

TELEOPERATION als der

“UNSICHTBARE SCHLÜSSEL”

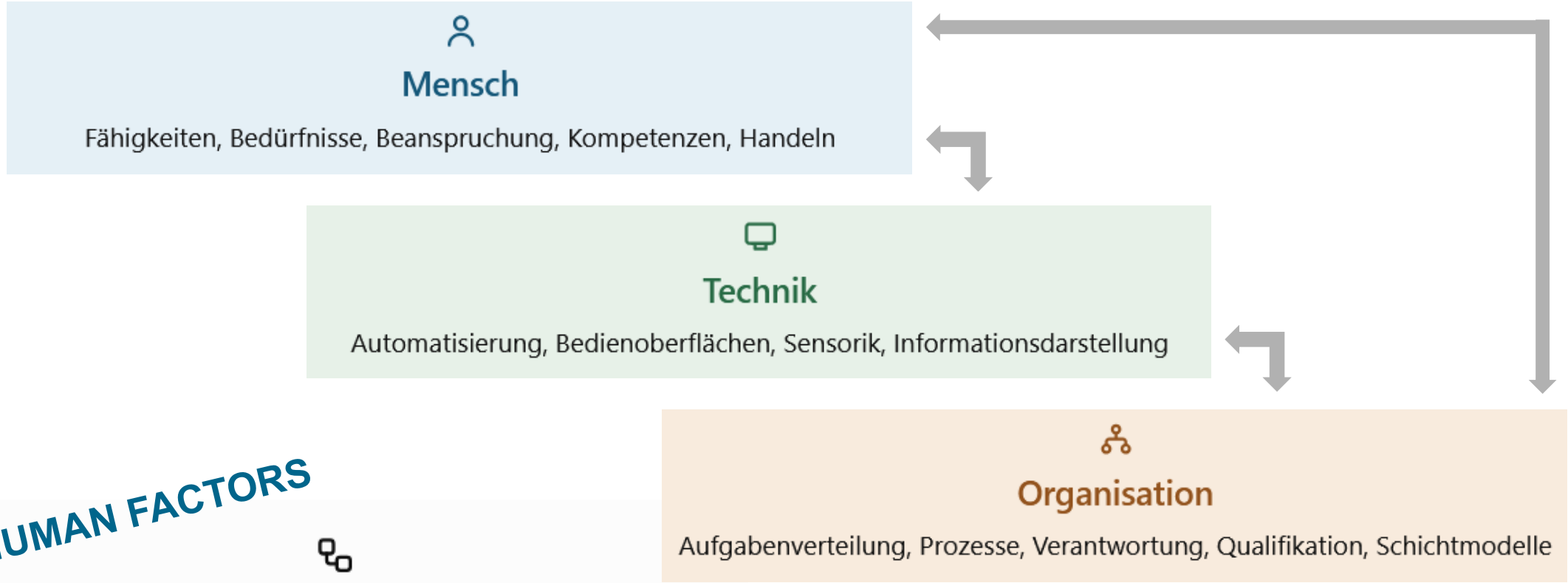
*für automatisiertes Fahren **



* inspiriert durch https://borncity.com/news/teleoperation-der-unsichtbare-schluessel-fuer-autonome-fahrzeuge/

Teleoperation & Human Factors

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt



Teleoperation & Human Factors

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Human Factors - Themen der Teleoperation

(1) Aufgaben und Rollenverteilung

(2) Informationsverarbeitung und Situationsbewusstsein

(3) Beanspruchung, Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit

(4) Mensch-Technik-Interaktion und Bedienbarkeit

(5) Übergaben, Kommunikation und Zusammenarbeit

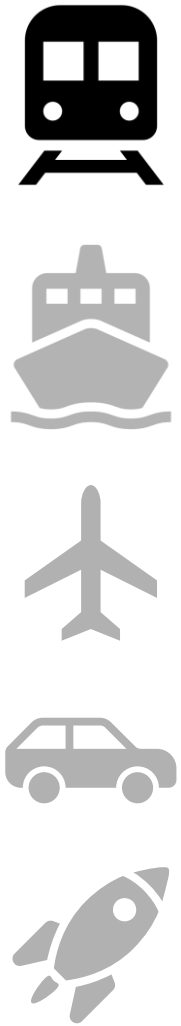
(6) Arbeitsorganisation und Arbeitsplatzgestaltung

(7) Sicherheit, Störungen und menschliche Zuverlässigkeit

(8) Akzeptanz und Attraktivität der Tätigkeit

Teleoperation als Bestandteil der Automatisierung auf der Schiene

- **Digitalisierung und Automatisierung: Bausteine von Zukunftsstrategien für den Schienenverkehr**
- **Technische und betriebliche Lösungen für Teleoperation gehören dazu:**
  - Ebene menschlicher Kontrolle und Verantwortungsübernahme unverzichtbar (Teleüberwachung)
  - Rückfallebene für automatisierte Systeme unverzichtbar (Teleoperation in der Rückfallebene)
  - Auch als Regellösung für bestimmte Anwendungsfälle wirtschaftlich interessant, z. B. Bereitstellung von Fahrzeugen, Rangierbetrieb (Teleoperation im Regelbetrieb)
- **Viele offene Fragen zum effizienten und sicheren Betrieb und zur Zulassung von Teleoperationssystemen**
  - betreffen alle Ebenen der Systemgestaltung, u. a. Kommunikationstechnik, Gestaltung der Mensch-Technik-Schnittstellen, Zuschnitt von betrieblichen Prozessen, Aufgaben, Verantwortungsbereiche, Berufsrollen und Kooperationsprozesse
- **Von den Antworten hängen System-KPI ab:**
  - z. B. mit Blick auf das technische System (z. B. Zuverlässigkeit), die darin arbeitenden Menschen (z. B. Beanspruchung, Leistung, Zufriedenheit), den Betrieb und die Wirtschaftlichkeit (z. B. Effizienz, Kapazität, Sicherheit) und die Zulassungsfähigkeit

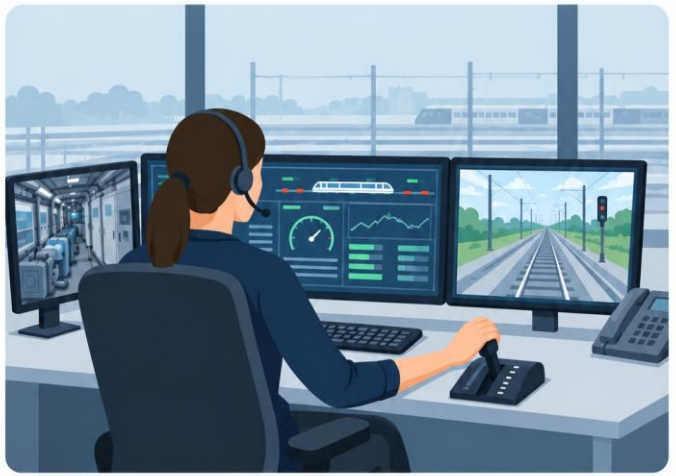


Zug und Schiff: Milkghost Studio

Teleoperation – ein neuer Arbeitsplatz
Zentrale Gestaltungsbereiche aus Human-Factors-Sicht

Arbeits- und Organisationsgestaltung

- Makroebene: gesamtheitliche Perspektive, lange Zeitskala
- Schwerpunkt: neu entstehende Arbeitstätigkeiten
  - Fähigkeiten und Fertigkeiten
  - Mentale Beanspruchung, Konzentration, Situationsbewusstsein, Leistung
- Langfristige Folgen: Arbeitszufriedenheit, Gesundheit, Fluktuation



Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion

- Mikroebene: situative Perspektive, kurze Zeitskala
- Schwerpunkt: technische Systeme für Ausführbarkeit der Aufgaben im Remote-Betrieb
  - Gebrauchstauglichkeit (Effektivität, Effizienz, Nutzerzufriedenheit)



Teleoperation im Schienenverkehr
Forschungsprojekte am DLR

Projekte

ATO Teleoperation

CaRe4Rail

ATO RTO
Automatic & Remote Train Operation

ATO-Cargo

5G REALLABOR BRAUNSCHWEIG – WOLFSBURG

ARTE

Akzeptanz GoA3+

Next Generation Railway System (NGRS)

SBB Fernrangieren

Partner & Fördergeber

ALSTOM

DB Cargo

HITACHI

THALES

SBB CFF FFS

Europe's Rail

Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

ProRail

SIEMENS

Digitale Schiene Deutschland

Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung IfEV TU Braunschweig

REMOOT

bbi Bahnbetrieb & Infrastruktur Eisenbahn-Betriebs- & Experimentierfeld

TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Technische Universität Braunschweig

OTVV

Gefördert durch: Bundesministerium für Verkehr aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

LNVG

ERC SOLUTIONS

start

Niedersachsen. Klar.

Gefördert durch: Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Finanziert von der Europäischen Union NextGenerationEU



ARBEITS- UND ORGANISATIONS-GESTALTUNG

Arbeits- und Organisationsgestaltung
Mögliche Gestaltungsdimensionen



Aufgaben (N = 11)

- Betriebliche Einsatzbereiche (Rückfallebene, Regelbetrieb, Bereit-/Abstellung)
- Art der Überwachung (konstant vs. situativ)
- Modus der Kontrolle (manöverbasiert vs. manuell)
- Gestaltung der Wartezeiten (Multitasking, Nebentätigkeiten)

Technische Randbedingungen (N = 7)

- Bedienelemente zur Geschwindigkeitssteuerung (z. B. Fahrbremshebel, Joystick, Maus)
- Erforderliche und ergänzende Sensorinformationen
- Befehle und Kommunikation (mündlich vs. schriftlich/digital)

Betriebliche Randbedingungen (N = 7)

- Arbeitsort (z. B. Kontrollzentrale, Remote, dezentral an Bahnhöfen)
- Ausbildung (z. B. aufbauend auf Tf-Ausbildung)
- Zugehörigkeit (EVU, EIU, ?)

Arbeits- und Organisationsgestaltung
Entwicklung eines attraktiven, menschzentrierten Berufsbilds

Vorgehen

- Aufbauend auf den Gestaltungsdimensionen: Konzeptentwicklung mit Expert/innen aus dem Bahnbetrieb (Tf und Fdl)
- Bewertung des Konzepts in Onlinestudie mit 100 Tf und Fdl
  - Arbeitszufriedenheit, Weiterbildungswahrscheinlichkeit, Vor-/Nachteile, Attraktivität individueller Aspekte und Nebentätigkeiten, …

Eckpunkte des konzipierten Berufsbilds

- Tele-Tf muss nicht kontinuierlich die Betriebssituation überwachen, bekommt Meldung bei Unregelmäßigkeiten
- In Phasen ohne Übernahmeanforderung kann Tele-Tf andere Aufgaben bearbeiten
- Fernsteuerung manuell (Fahrbremshebel), häufig genutzte Schalter physisch vorhanden, weniger häufig genutzte als Touchdisplay
- Arbeitsort dezentral an Bahnhöfen, mehrere Tele-Tf teilen sich einen Netzbereich
- […]



Arbeits- und Organisationsgestaltung
Entwicklung eines attraktiven, menschzentrierten Berufsbilds

- **Erste Einschätzung der Attraktivität möglicher Tele-Tf-Berufe**
  - ~ 30% der befragten Tf und ~ 50% der Fdl würden gern als Tele-Tf arbeiten
  - ~ 33% der Befragten würde sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Tele-Tf weiterbilden
- **Gründe für und gegen eine Weiterbildung**
  - Pro: Wohnortnähe, feste Arbeitszeiten, sauberer Arbeitsplatz, Witterungsunabhängigkeit, Arbeitsplatzerhalt
  - Kontra: Büro-/Bildschirmarbeitsplatz, Spaß am Tf-Beruf, unzureichende Technik, Monotonie/Unterforderung
- **Ansatzpunkte für die weitere Ausgestaltung der Berufsbilder und Arbeitsplätze, z. B.**
  - Ansprechende ergänzende Tätigkeiten während Wartezeiten, z. B.
    - Unterstützung von Kolleg/innen bei konkreten Fragestellungen & Schulung anderer Mitarbeitenden
    - Eigene fachliche Weiterbildung
  - Phasenweise wechselnder Einsatz als Tf im Führerstand und im Tele-Betrieb

Arbeits- und Organisationsgestaltung
Weitere Ergebnisse

- **Arbeitsort** (ARTE, BMWK/BMWE)
  - Wurde der Zug von außerhalb des Führerstands aus einer Zentrale heraus gesteuert (mittels Videobildern zweier Frontkameras), war die kognitive Belastung am höchsten und das Bewusstsein über die Situation am geringsten
- **Mögliche Aufgabenteilung** (ATO-Cargo, BMV)
  - Überwachung einer Zugflotte (Supervision Desk)
  - Fernsteuerung eines Zuges (Control Desk)
- **Akzeptanz von GoA 3 und 4 seitens Tf** (Akzeptanz GoA3+, DZSF)
  - Potenzial für strukturiertere und familienfreundlichere Arbeitsbedingungen
  - Bedenken in Bezug auf möglichen Arbeitsplatzverlust, Verlust motivationaler Aspekte, sinkende Arbeitszufriedenheit und Sicherheit

Arbeits- und Organisationsgestaltung
Zentrale Erkenntnisse und offene Fragen

Zentrale Erkenntnisse

- Tele-Tf stellt für eine signifikante Gruppe der befragten Tf und Fdl einen attraktiven und vorstellbaren Beruf dar
- Bedenken hinsichtlich sinkender Arbeitszufriedenheit und der technischen Machbarkeit sowie Sorge vor Arbeitsplatzverlust
  - → sollten adressiert werden, z. B. über weiterführende Mensch-zentrierte Gestaltung der Tätigkeiten, Testbetrieb unter realen Bedingungen, frühzeitiger Dialog mit Betroffenen

Offene HF-Fragen

- Arbeitsbelastung, z. B. optimale Zahl von Einsätzen pro Schicht
- Fähigkeiten und Fertigkeiten, z. B. Notwendigkeit von Fahrerfahrung
- Arbeitsort, z. B. Situationsbewusstsein bei räumlicher Distanz
- Arbeitsgestaltung, z. B. personelle/räumliche Trennung von Überwachung und Steuerung
- Kooperation, z. B. veränderte Zusammenarbeit mit Beteiligten



GESTALTUNG DER MENSCH-TECHNIK-INTERAKTION

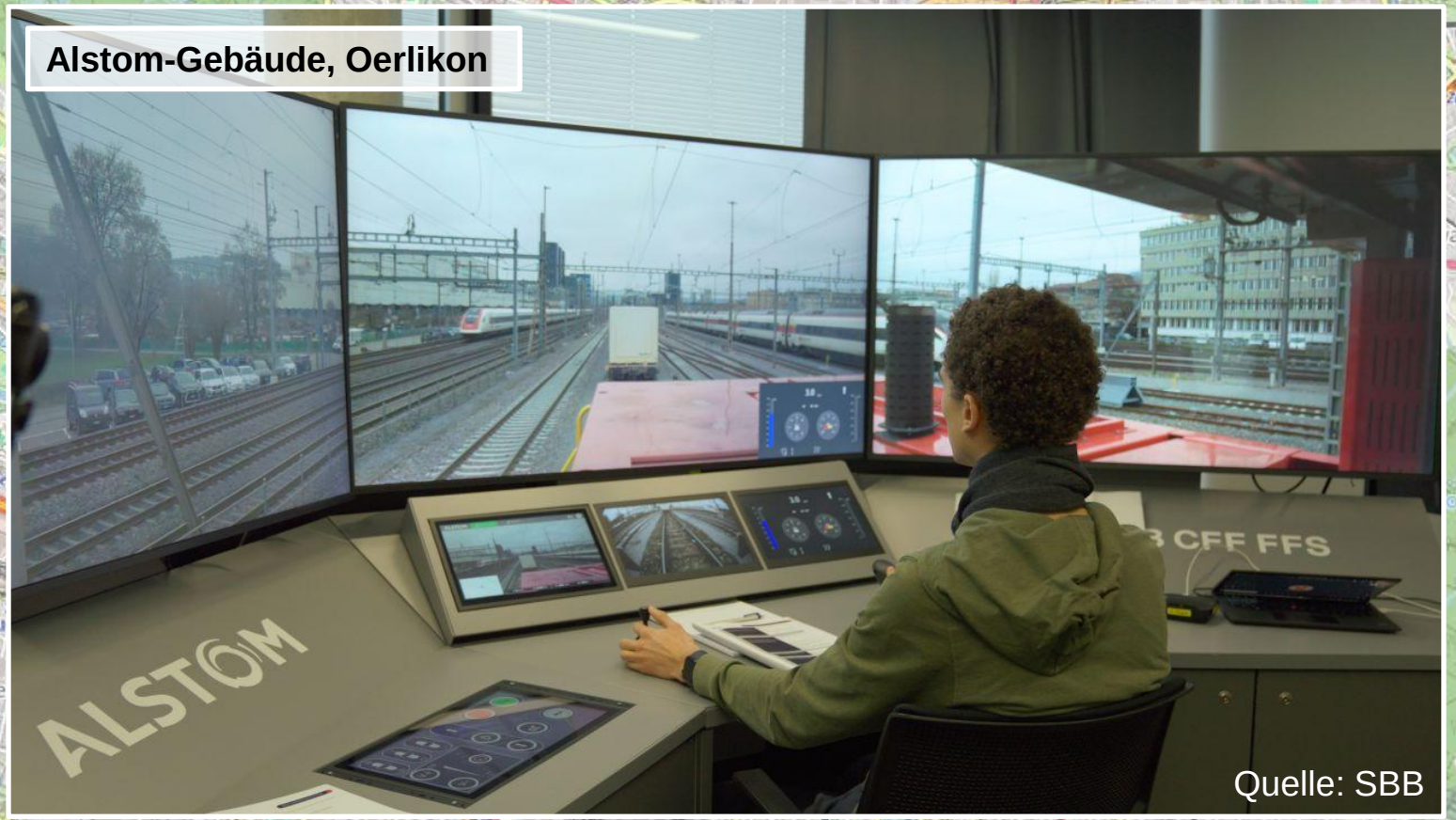
Mensch-Technik-Interaktion
Pilotstudie Fernrangieren (SBB)



Rangierbahnhof Mülligen



Aem 940 (Alstom Prima H4)



Alstom-Gebäude, Oerlikon

Quelle: SBB

Bildquellen: Rangierbahnhof und Aem 940

Mensch-Technik-Interaktion
Pilotstudie Fernrangieren (SBB)

		I	II	III
Training	**0**	Zwergsignal **vor** Fahrzeugspitze	**Keine Besonderheiten**	Halt **vor Signal**
Test	**A**	Zwergsignal **direkt bei** Fahrzeugspitze	Halt vor **Person** im Gleis	**Stromloser Abschnitt**
	B	Zwergsignal **vor** Fahrzeugspitze	Halt vor **Hemmschuh**	Halt vor **roter Haltsignaltafel** im Gleis
	C	vor **unbelegter Weiche** (o. **Kreuzungsweiche**)	**Keine Besonderheiten**	Halt vor **Prellbock**
	D	Zwergsignal **vor** Fahrzeugspitze	**Keine Besonderheiten**	**Anfahren an SchienenFz** (wie zum Kuppeln)
	E	Zwergsignal **vor** Fahrzeugspitze	Zwerg **fällt auf Halt** zurück	Halt **vor Signal**

- Feldtest mit 24 SBB-Lokführern
- 12 rangiertypische Aufgaben
- Tag vs. Nacht

Mensch-Technik-Interaktion
Pilotstudie Fernrangieren (SBB) – Zentrale Ergebnisse

Effektivität

- Aufgaben konnten mit Systemprototyp größtenteils gelöst werden; zwei große Ausnahmen:
  - Erkennung eines Hemmschuhs auf dem Gleis nur in 25 % der Fälle
  - Genaues Erkennen des Standorts und der Orientierung des Fahrzeugs auf dem Rangierbahnhof nur in 65 % der Fälle

Effizienz

- Remote-Ausführung durch Lokführer schwieriger bewertet als auf der Lok, mit Abstufungen zwischen den Aufgaben
  - U. a. erhöhte Beanspruchung bei der Informationsaufnahme → durch Kameraauflösung Erkennung von Details (z. B. Weichenstellung, Signalstellung) auf weitere Entfernungen teils sehr schwierig (Hemmschuh-Szenario) → vorsorgliche Reduktion der Fahrgeschwindigkeit
  - Gewisse Effizienzsteigerung durch wiederholten Umgang mit dem System (Trainingseffekt)
- → Effizienzverluste durch Qualitätsverluste in der Informationsübertragung

Mensch-Technik-Interaktion
Einjähriger Testbetrieb (ATO-Cargo)

Ziele von ATO-Cargo

- Entwicklung und Erforschung einer ATO-Technologie mit menschlichem Fernzugriff als Rückfallebene
- Beinhaltet Spezifikation, Beschaffung, Implementierung und Genehmigung sowie einjährigen Probebetrieb auf der Betuweroute
- Fokus auf GoA2 und GoA4 im Güterverkehr



Quelle: DB

HF-Begleitung durch DLR, u. a.

- Identifikation von HF-Anforderungen
- Iterativer Entwicklungsprozess des Arbeitsplatzes mit Klickprototypen und Simulation
- Evaluation des Arbeitsplatzes während des einjährigen Testzeitraums
  - Interviews und Fragebögen u. a. zu Beanspruchung & Müdigkeit, Usability & Akzeptanz
  - Leistungsfähigkeit (z. B. Reaktionszeiten)

Mensch-Technik-Interaktion
ATO-Cargo: Erste Eindrücke aus den Interviews

Erfahrungen

- Es wurde teilweise stärker gebremst bzw. zu stark beschleunigt, weil die Geschwindigkeit des Zuges über Video weniger gut einschätzbar war (als Konsequenz wurde dann vorsichtiger gefahren)
- Lokführer nahmen eine gewisse Verzögerung wahr (im Vergleich zu Fahrten in der Lok)
- Ton aus dem Führerstand war hilfreich; manchen fehlten die Vibrationen und das Gefühl des Brems-/Beschleunigungsverhaltens
- Wurde als vergleichbar mit Simulatorfahrten erlebt
- Erwartung, dass Training hilft, Geschwindigkeit und Reaktion des Zuges besser einzuschätzen
- Eins-zu-Eins-Nachbildung des Kontrollpults wurde positiv hervorgehoben

REMOOT OTIV



Quelle: OTIV

Stichprobe

- 5 Lokführer
- 1-5 Einsätze am Tele-Arbeitsplatz

Mensch-Technik-Interaktion
Weitere Ergebnisse

- **Remote-Steuerung** (ARTE, BMWK/BMWE)
  - Eine Fernsteuerung mittels Tablet ist möglich und insbesondere für Personal an Bord (z. B. Zugbegleitende unter GoA 3) eine praktikable Lösung
  - Videoqualität und gleichmäßige Steuerung sind Stellschrauben für Akzeptanz der Technologie

Gestaltung Mensch-Technik-Interaktion
Zentrale Erkenntnisse und offene Fragen

Zentrale Erkenntnisse

- Teleoperation ist möglich
- Wiederholter Umgang scheint Leistung zu verbessern
- Effektivität und Effizienz hängen primär von den verfügbaren Informationen und deren Qualität ab
  → Fokus auf technischer Optimierung des RTO-Systems

Offene HF-Fragen

- Welche ergänzenden Informationsquellen (z. B. Audiosignal aus Führerstand) steigern die Leistung?
- Welche Qualität müssen die Daten (z. B. Videoauflösung, Latenz) haben?
- Leistungssteigerung durch Training?

Nächste Schritte
aus Human-Factors-Sicht

- Verbesserung der menschlichen Leistung durch Optimierung der Informationsbereitstellung
- Mensch-zentrierte Ausgestaltung der Tätigkeiten
  - Arbeitsbelastung
  - Situationsbewusstsein
  - Arbeitszufriedenheit



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fragen, Anmerkungen, …?



Ansprechpartnerin:
Dr. Annika Dreßler
Annika.Dressler@dlr.de
Institut für Verkehrssystemtechnik, DLR e. V.

Quellen und weiterführende Informationen

(1) Brandenburger, N., Bier, I., Busse, M., Gärtner, J. & Melzer, T. (2023). Technische Demonstration von Remote Train Operation via 5G-Mobilfunk. | A technical demonstration of remote train operations using 5G mobile communications. SIGNAL + DRAHT, 6, 34-40. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/195802/ **(5G-Reallabor - Pilottest RTO)**

(2) Dreßler, A., Rappo, B., Wyss, B., Nguyen, D., Brandenburger, N. & Petersen, M. (2025). Mensch und Technik in der Zugfernsteuerung: ein Pilottest im Rangierbetrieb. | Human and technology in remote train operations: A pilot test in shunting operations. SIGNAL + DRAHT, 117, 40-48. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/217599/ **(Pilottest mit SBB zum Fernrangieren)**

(3) Dreßler, A., Brandenburger, N., Petersen, M. & König, A. (2025). HTO Analysis on Remote Shunting Operations. Final report within the framework of SBB Demonstrator Remote Driving. Verfügbar unter: https://doi.org/10.82505/RY47-2C11. **(Pilottest mit SBB zum Fernrangieren)**

(4) Bekehermes, T., Arslan, B. & Naumann, A. (2025). ARTE: Erprobung von ATO GoA 3/4 und RTO auf einer Strecke ohne ETCS. | ARTE: Testing ATO GoA 3/4 and RTO on a non-ETCS line. SIGNAL + DRAHT, 117, 49-56. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/219578/ **(ARTE - Test von tabletbasierter Fernsteuerung)**

(5) Brandenburger, N., Petersen, M. & Quante, L. (2025). Human Factors Contributions Along System Development Phases: The Remote Train Operator Workstation in Project ATO-CARGO. Oral presentation at the International Human Factors Rail Conference 2025, London, United Kingdom. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/217532/ **(ATO-Cargo)**

(6) Brandenburger, N., Naumann, A. & Jipp, M. (2019). Task-induced fatigue when implementing high grades of railway automation. Cognition, Technology & Work, 23(2), 273–283. https://doi.org/10.1007/s10111-019-00613-z **(NGRS)**

(7) Thomas-Friedrich, B., Mönsters, M., Schöne, S., Quante, L., Dreßler, A. & Leich, A. Teleoperation als Ergänzung für den automatisierten Bahnbetrieb (ATO). Rahmenbedingungen und menschzentrierte Gestaltung. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung, Bericht 92 (2026), Projektnummer 2022-21-D-1202. Verfügbar unter: https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Veroeffentlichungen/Forschungsberichte/2026/ForBe_92_2026_Teleoperation.html?nn=1693668 **(Teleoperation ATO, Projektbericht)**

(8) Thomas-Friedrich, B., Schöne, S., & Mühl, K. (2024). Tele-Tf: Ein neues Berufsbild entsteht. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, 11, 37-41. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/210122/ **(Teleoperation ATO)**

(9) Thomas-Friedrich, B., Bassin, N., Brosch, F., Huber, A., & Michaelsen, R. (2024). Vermeidung von Monotonie am Tele-Tf-Arbeitsplatz. EI - Der Eisenbahningenieur, 9, 134-137.Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/206872/ **(Teleoperation ATO)**

(10) Quante, L., Dreßler, A., Thomas-Friedrich, B., & Mühl, K. (2026). Tele-Tf: Ein attraktives Berufsfeld. ETR - Eisenbahntechnische Rundschau, 1+2, 10-15. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/222848/ **(Teleoperation ATO)**

(11) Schackmann, D., Dreßler, A., Onnasch, L., & Thomas-Friedrich, B. (2026). Situation Awareness in Remote Train Operation - Effects of a supplementary task and attention-guiding takeover requests. In: 9th Humanist Virtual Centre of Excellence Conference 2025. 9th HUMANIST Conference, 2025-08-27 - 2025-08-29, Chemnitz, Deutschland. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/218032/ **(Teleoperation ATO)**

(12) Schnücker, G., Quante, L. & Voss, C. (2025). Perceived risks and benefits of automation in heavy rail: A multistakeholder perspective. Poster at the 8th International Human Factors Rail Conference, 2025, London. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/218780/ **(Akzeptanz GoA3+)**

(13) Naumann, A., Petersen, M., Quante, L., Schnücker, G. N., & Brandenburger, N. (2026). Neue Arbeitsplätze im automatisierten Bahnverkehr: Vom Triebfahrzeugführer zum Remote Train Operator. EI - Der Eisenbahningenieur, 7/26, 31-34. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/225904/

Impressum

Thema:	**Human Factors in der Teleoperation im Schienenverkehr** Gestaltungsdimensionen & Erkenntnisse aus aktuellen Forschungsprojekten
Datum:	2026-10-29
Autor/in:	Annika Dreßler, Laura Quante, Kristin Mühl
Institut:	Institut für Verkehrssystemtechnik, DLR e. V.
Bildquellen:	Alle Bilder „DLR (CC BY-NC-ND 3.0)“, sofern nicht anders angegeben