Deutsches Zentrum für
Schienenverkehrsforschung beim
Eisenbahn-Bundesamt

Teleoperation als Ergänzung für den automatisierten Bahnbetrieb (ATO)

Rahmenbedingungen und menschzentrierte Gestaltung

Berichte
des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung

Bericht 92 (2026)



Berichte des Deutschen Zentrums
für Schienenverkehrsforschung, Bericht 92 (2026)
Projektnummer 2022-21-D-1202

Teleoperation als Ergänzung für den automatisierten Bahnbetrieb (ATO)

Rahmenbedingungen und menschzentrierte Gestaltung

von

Birte Thomas-Friedrich, Michael Mönsters, Stefanie Schöne, Laura Quante
Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Braunschweig

Annika Dreßler, Andreas Leich
Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V., Berlin

im Auftrag des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

Impressum

HERAUSGEBER
Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt

August-Bebel-Straße 10
01219 Dresden

www.dzsf.bund.de

DURCHFÜHRUNG DER STUDIE
Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

Lilienthalplatz 7
38108 Braunschweig

Rutherfordstraße 2
12489 Berlin

ABSCHLUSS DER STUDIE
Oktober 2025

REDAKTION
Dr. Kristin Mühl, Forschungsbereich Sicherheit und kritische Infrastruktur
Dr. Kai Hofmann, Fachbereich Digitalisierung und Technik
Dr. Birgit Jaekel, Fachbereich Sicherheit und kritische Infrastruktur

BILDNACHWEIS
Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.

PUBLIKATION ALS PDF
https://www.dzsf.bund.de/Forschungsergebnisse/Forschungsberichte

ISSN 2629-7973

doi: 10.48755/dzsf.260018.01

Dresden, September 2026



This work is openly licensed via CC BY 4.0.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Zusammenfassung

Das Projekt „Teleoperation als Ergänzung für den automatisierten Bahnbetrieb“ zielte auf die Entwicklung eines zukunftsfähigen und nutzergerechten Berufsbilds für teleoperierende Triebfahrzeugführer (Tele-Tf) im Schienenverkehr. Grundlage war die systematische Analyse der Anforderungen an den Tele-Tf-Arbeitsplatz aus den Perspektiven Mensch, Technik und Organisation unter Berücksichtigung betrieblicher sowie individueller und gesellschaftlicher Bedürfnisse, um die Arbeitswelt im Schienenverkehr auch zukünftig attraktiv zu gestalten.

Die **Grundlagen der Teleoperation** wurden mittels Literaturanalyse, Experteninterviews und adaptierter Aufgabenanalyse untersucht. Als zentrale Gestaltungsanforderungen wurden eine ausgewogene Arbeitsbelastung, die Vermeidung von Monotonie und Zeitdruck sowie ein hohes Situationsbewusstsein identifiziert. Besondere Relevanz haben Übergabeprozesse zwischen dem automatisierten Zug und dem Tele-Tf. Für ein sicheres und effektives Handeln müssen relevante Informationen einschließlich sensorischer Eindrücke aus dem Führerstand zuverlässig und plausibel bereitgestellt werden. Dabei sind insbesondere Latenz, Bildqualität und Sensordatenqualität entscheidend.

Auf dieser Grundlage wurden **betriebliche Szenarien** zum Einsatz für Teleoperation entwickelt und als Steckbriefe und Flussdiagramme beschrieben. Ein zentraler Einsatzbereich ist die Teleoperation als Rückfallebene eines automatisiert fahrenden Zuges. Auch der Einsatz im Regelbetrieb, beispielsweise bei der Zugbereitstellung, bietet Potenzial für Effizienzgewinne und Sicherheitsverbesserungen. Die allgemeinen und szenariospezifischen Erkenntnisse wurden bezugnehmend auf die Aufgabengestaltung, Arbeitsplatzgestaltung, erforderliche Fähigkeiten und Fertigkeiten sowie technische Systemgestaltung in **Anforderungen an Teleoperation** in einen Katalog überführt. Zur **Entwicklung des Berufsbildes Tele-Tf** wurden 25 Gestaltungsdimensionen mit verschiedenen Ausprägungen in einem morphologischen Kasten abgeleitet und strukturiert. Diese wurden in einem Workshop mit Bahnfachpersonal zu einem konkreten Berufsbild des Tele-Tf priorisiert.

Die Attraktivität des entwickelten Berufsbilds wurde anschließend in einer Onlinebefragung von Triebfahrzeugführern und Fahrdienstleitern (N = 100) evaluiert. Rund ein Drittel der Befragten würde sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Tele-Tf in der Rückfallebene für den automatisierten Zugbetrieb weiterbilden. Die Attraktivität könnte durch einen phasenweisen Einsatz, vielfältige Aufgaben und eine angemessene Arbeitsbelastung erhöht werden. Auch Zweifel an der technischen Machbarkeit beeinflussen die Akzeptanz.

Die Ergebnisse zeigen, dass die erfolgreiche Integration von Teleoperation nicht allein von der technischen Machbarkeit abhängt. Vielmehr erfordert die Entwicklung zukunftsfähiger Berufsbilder einen menschzentrierten Human-Factors-Ansatz, der Arbeitsorganisation, Aufgaben- und Arbeitsplatzgestaltung sowie die technische Systemgestaltung integriert betrachtet. Die gewonnenen Erkenntnisse schaffen damit eine Grundlage für die weitere Entwicklung und Erprobung von Teleoperation und tragen dazu bei, Sicherheit, Leistungsfähigkeit und Attraktivität der Arbeit im hochautomatisierten Schienenverkehr langfristig zu gewährleisten.

Abstract

The project “Teleoperation as a complement for automatic train operation“ aimed to develop a future-oriented and user-centred occupational profile for remotely operating train drivers in railway transport. The basis was a systematic analysis of the requirements for the remote workspace from the perspectives of humans, technology, and organisation, taking into account operational as well as individual and societal needs in order to maintain the attractiveness of working life in the railway sector in the future.

The **fundamentals of teleoperation** were investigated using a literature review, expert interviews, and an adapted task analysis. Key design requirements identified included balanced workload, the avoidance of monotony and time pressure, and a high level of situation awareness. Handover processes between the automated train and the remote operator are of particular relevance. For safe and effective operation, relevant information, including sensory impressions from the driver’s cab, must be provided reliably and plausibly. In particular, latency, image quality, and sensor data quality are decisive factors.

Based on these findings, **operational scenarios** for the use of teleoperation were developed and described using scenario profiles and flowcharts. A key area of application is teleoperation as a fallback level for automated train operation. Its use in regular operations, for example for train preparation, also offers potential for efficiency gains and safety improvements. The general and scenario-specific findings were translated into **requirements for teleoperation** and compiled in a catalogue covering task design, workspace design, required skills and competencies, and technical system design. For the **development of the remote train operator´s occupational profile**, 25 design dimensions with different characteristics were derived and structured in a morphological box. These were prioritised together with railway professionals in a workshop to develop a concrete occupational profile for the remote train operator.

The attractiveness of the developed occupational profile was subsequently evaluated in an online survey of train drivers and signallers (N = 100). Approximately one third of respondents would be highly likely to undertake further training to become a remote train operator for the fallback level in automated train operations. Attractiveness could be increased through alternating deployment, diverse tasks, and an appropriate workload. Doubts regarding the technical feasibility also influence acceptance.

The findings show that the successful integration of teleoperation does not depend solely on technical feasibility. Rather, the development of future-oriented occupational profiles requires a human-centred Human Factors approach that considers work organisation, task and workplace design, and technical system design in an integrated manner. The elaborated concepts and results therefore provide a basis for the further development and testing of teleoperation and contribute to ensuring the long-term safety, performance, and attractiveness of work in highly automated railway transport.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung ..... **V**

Abstract ..... **VI**

Inhaltsverzeichnis ..... **VII**

Abkürzungsverzeichnis ..... **IX**

Abbildungsverzeichnis ..... **X**

Tabellenverzeichnis ..... **XII**

1 Einleitung **14**

2 Grundlagen für Teleoperation im Schienenverkehr **16**

2.1 Methodik 16
2.1.1 Literaturrecherche 16
2.1.2 Experteninterviews 17
2.1.3 Aufgaben von Tf 17
2.2 Ergebnisse: Erkenntnisse mit Bezug zu Teleoperationsarbeitsplätzen und Tf-Aufgaben 18
2.2.1 Ergebnistabellen 18
2.2.2 Zentrale Themen der Literaturrecherche und der Interviews 19
2.2.3 Mensch: Was ist für optimale menschliche Leistung notwendig? 20
2.2.4 Technik: Was ist für Teleoperation technisch notwendig? 22
2.2.5 Organisation: In welchen betrieblichen Szenarien ist Teleoperation sinnvoll? 23
2.2.6 Einschränkungen 24

3 Betriebliche Szenarien für die Teleoperation **25**

3.1 Erarbeitung von betrieblichen Szenarien für die Teleoperation 25
3.1.1 Vorgehen bei der Auswahl und Beschreibung der Szenarien 25
3.1.2 Annahmen über das ATO-System 26
3.1.3 Ausgearbeitete Szenarien für den Tele-Tf-Betrieb 27
3.1.4 Erste Anforderungen an das Tele-Tf-Berufsbild 33
3.2 Vorgehen zur Erarbeitung von Tätigkeiten zur Vermeidung von Unterbeanspruchung im Regelbetrieb 34
3.2.1 Tätigkeit der Tele-Tf als Bereitschaftsarbeitsplatz 35
3.2.2 Arbeitsbezogene Nebenaufgaben für Tele-Tf 36

4 Analyse der Tele-Tf-Anforderungen **40**

4.1 Vorgehen zur Erarbeitung des Anforderungskatalogs 40
4.2 Ergebnisse: Anforderungskatalog 42
4.3 Vorgehen zur Bewertung des Sensorikkonzepts für Teleoperation 44
4.4 Sensortechnologien für ATO und Teleoperation 45

4.5 Diversitäre Redundanz als Anforderung an ATO-Sensorik und Implikationen für die Teleoperation ... 49
4.6 Abgleich der Anforderungen aus den Use Cases mit dem „ATO-Sensorik“-Konzept ... 50
4.7 Fazit ... 51

5 Konzept eines Tele-Tf-Berufsbildes ... 53

5.1 Definition attraktiver Arbeit ... 53
5.1.1 Weitere Faktoren attraktiver Tätigkeiten ... 54
5.2 Der morphologische Kasten als gestalterische Grundlage für das Tele-Tf-Berufsbild ... 56
5.2.1 Methode des morphologischen Kastens ... 56
5.2.2 Erstellungsprozess ... 56
5.2.3 Betrachtete Gestaltungsparameter und Ausprägungen ... 56
5.3 Expertenworkshop zur Ausarbeitung eines Tele-Tf-Arbeitsplatzkonzepts ... 63
5.3.1 Ziel ... 63
5.3.2 Methode ... 63
5.3.3 Ergebnisse ... 65
5.4 Evaluierung des Arbeitsplatzkonzepts ... 71
5.4.1 Ziel ... 71
5.4.2 Methode ... 72
5.4.3 Ergebnisse ... 83
5.4.4 Zusammenfassung und Diskussion ... 104
5.4.5 Abschließende Empfehlungen ... 106
5.5 Training und Ausbildung ... 107

6 Diskussion ... 111

6.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse ... 111
6.2 Anwendungsbereich der Ergebnisse und Bedarfe in der weiteren Forschung und Entwicklung zu Teleoperationssystemen ... 114

Quellenverzeichnis ... 117

Anhänge ... 126

Anlagen ... 185

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket
ATO	Automatic Train Operation
Betra	Betriebs- und Bauanweisung
BÜ	Bahnübergang
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DZSF	Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung
EBA	Eisenbahn-Bundesamt
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
Fdl	Fahrdienstleiter (männlich, weiblich, divers)
FOV	Field of view (Gesichtsfeld)
FUSI	Funktionale Sicherheit
GoA	Grade of Automation
MSS	Multisensorsystem
NIR	Nah-Infrarot-Bereich
RCS	Radar Cross Section
SfM	Structure from Motion („Struktur aus Bewegung“, ein Prinzip zur Identifikation von 3D-Strukturen in monokularen Bildern)
SOTIF	Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität (Safety Of The Intended Functionality)
Tele-Tf	teleoperierender Triebfahrzeugführer (männlich, weiblich, divers)
Tf	Triebfahrzeugführer (männlich, weiblich, divers)
TRL	Technology Readiness Level
UAV	unbemanntes Luftfahrzeug (Unmanned Aerial Vehicle)

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zentrale Forschungsthemen in der Teleoperation 20
Abbildung 2: Detailliert betrachtete Szenarien für Teleoperation in der Rückfallebene, für aktive Tätigkeiten in der Teleoperation im Regelbetrieb sowie bezüglich übergeordneter Handlungsabläufe der Tele-Tf 28
Abbildung 3: Bewertung der Attraktivität der im Workshop erarbeiteten Arbeitsplatzkonzepte im Vergleich zum eigenen aktuellen Arbeitsplatz („Wie gern arbeiten Sie [...] / würden Sie [...] arbeiten?“, 0 = sehr ungern, 5 = sehr gern; *n* = 10). Tf/Fdl = Aktueller eigener Arbeitsplatz; Rückfallebene = umfassender Tele-Tf-Arbeitsplatz; Bereitstellung = Bereitstellungs-Tele-Tf-Arbeitsplatz. 71
Abbildung 4: Mittelwerte und Standardfehler für die (potenzielle) Arbeitszufriedenheit (0 = sehr ungern bis 5 = sehr gern) in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) für den Job des Tf bzw. Fdl und Tele-Tf in der Rückfallebene und Bereit- und Abstellung. 84
Abbildung 5: Anzahl (x-Achse) und Anteil (Balkenbeschriftungen) der Befragten, die sich mit hoher, mittlerer bzw. geringer Wahrscheinlichkeit zur Tele-Tf weiterbilden würden 86
Abbildung 6: Mittelwerte und Standardfehler für die Jobmerkmale des JDS in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung 89
Abbildung 7: Mittelwerte und Standardfehler für die zusätzlichen Jobmerkmale in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung 90
Abbildung 8: Mittelwerte und Standardfehler für das Motivationspotenzial der Tätigkeiten in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung 91
Abbildung 9: Beurteilung verschiedener Merkmale der Arbeitssituation, die von beiden Berufsgruppen im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl vergleichbar eingeschätzt wurden. Je weiter außen sich ein Wert befindet, desto geringer wurde das Ausmaß des Merkmals eingeschätzt. 92
Abbildung 10. Beurteilung verschiedener Merkmale der Arbeitssituation, die von beiden Berufsgruppen im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl unterschiedlich eingeschätzt wurden. Je weiter außen sich ein Wert befindet, desto geringer wurde das Ausmaß des Merkmals eingeschätzt. 93
Abbildung 11: Mittelwerte und Standardfehler für die gewichtete Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau); unattraktiv = negativ, attraktiv = positiv 95
Abbildung 12: Mittelwerte und Standardfehler für die Bewertung der Nebentätigkeiten, getrennt nach Gruppe (0 = sehr ungern, 6 = sehr gern) 96
Abbildung 13.: Mittelwerte und Standardfehler der (potenziellen) Arbeitszufriedenheit getrennt nach den Tf-Subgruppen 99

Abbildung 14: Mittelwerte und Standardfehler für das Motivationspotenzial eines Berufs (JDS) in den drei Tf-Subgruppen getrennt nach Berufsbild 99
Abbildung 15: Mittelwerte und Standardfehler für die zusätzlich erhobenen Jobmerkmale in den drei Tf-Subgruppen getrennt nach Berufsbild 101
Abbildung 16: Mittelwerte und Standardfehler für die Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in den drei Subgruppen; unattraktiv = -50, attraktiv = 50 102
Abbildung 17: Mittelwerte und Standardfehler für die gewichtete Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in den drei Subgruppen; unattraktiv = negativ, attraktiv = positiv 103
Abbildung 18: Ego-Perspektive eines mit 4D-Radar ausgestatteten Fahrzeuges mit eingeblendeten Ergebnissen der Detektion (Gu, 2022) 130
Abbildung 19: Bilder von NIR-Kameras zur Verkehrsüberwachung mit erkannten Objekten im Overlay (DLR, 2024) 132
Abbildung 20: Links: Bild einer Wärmebildkamera für eine Verkehrsszene; Mitte: Bild einer Farbkamera; Rechts: Überblendung der beiden Bilder als Falschfarbenbild (Hwang et al., 2015) 132
Abbildung 21: 4D-Lidar: Reflektanzbild einer Verkehrsszene (Aeva, 2024) 135
Abbildung 22: 4D-Lidar: Δv-Bild (Aeva, 2024) 135
Abbildung 23: 4D Lidar: Δx Bild (Aeva, 2024) 136
Abbildung 24: Unten rechts: Kamerabild. Unten links: Tiefenkarte der Stereokamerastereokamera. Oben: Ergebnis der Fusion zwischen Stereokamerastereokamera (weiß) und Lidar (blau) mit Konfidenz-Markern (Grün: sicher, Rot: unsicher; Schimpf, 2018) 137
Abbildung 25: Mittelwerte und Standardfehler für die Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau, gestrichelt); unattraktiv = -50, attraktiv = 50 155
Abbildung 26: Mittelwerte und Standardfehler für den Einfluss verschiedener Arbeitsplatzmerkmale auf die Attraktivität der Tätigkeit in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau, gestrichelt); kein Einfluss = 0, sehr großer Einfluss = 100 156
Abbildung 27: Mittelwerte und Standardfehler für die erhobenen Jobmerkmale des JDS in den drei Tf-Subgruppen (geringe, mittlere und hohe Weiterbildungswahrscheinlichkeit) getrennt nach Berufsbild 184

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl der analysierten Literaturquellen nach Themenbereich und Domäne ... 17
Tabelle 2: Gesammelte Ideen für Aufgaben der Tele-Tf in Arbeitsperioden ohne Übernahmeaufforderung innerhalb des ATO-Betriebs ... 37
Tabelle 3: Definition der TRL nach Horizon 2020 ... 41
Tabelle 4: Übersicht über die zentralen Themen des Anforderungskatalogs ... 43
Tabelle 5: Sensortechnologien und ausgewählte Eigenschaften ... 47
Tabelle 6: Morphologischer Kasten für das Berufsbild des Tele-Tf: Gestaltungsparameter und Ausprägungen ... 58
Tabelle 7: Gewählte Arbeitsplatzprofile in den Gruppen der Tf und Fdl ... 67
Tabelle 8: Demographische Merkmale der beiden Gruppen der Onlinebefragung ... 73
Tabelle 9: Berufliche Merkmale der beiden Gruppen ... 74
Tabelle 10: Berufliche Merkmale der Gruppe Tf ... 74
Tabelle 11: Übersicht über die abhängigen und Kontrollvariablen und deren Operationalisierung ... 76
Tabelle 12: Aspekte der Tele-Tf-Arbeitsplätze, die hinsichtlich ihrer Attraktivität bewertet wurden, sowie die zugeordneten übergeordneten Kategorien (Tabelle 13) ... 79
Tabelle 13: Übergeordnete Kategorien der Arbeitsplatzaspekte (Tabelle 12), die hinsichtlich ihres Einflusses auf die Attraktivität eines Arbeitsplatzes bewertet wurden ... 80
Tabelle 14: Mögliche Nebentätigkeiten der Tele-Tf-Arbeitsplätze ... 81
Tabelle 15: Beschreibung der erhobenen Jobmerkmale ... 83
Tabelle 16: Demographische Merkmale der drei Subgruppen ... 97
Tabelle 17: Überblick über vorgeschlagene und zur weiteren Ausarbeitung ausgewählte Szenarien ... 126
Tabelle 18: Redundanzkonzept für die Sensoren in Abhängigkeit von der Objektentfernung ... 140
Tabelle 19: Zuordnung der Teilnehmenden zur Gruppe der Tf bzw. Fdl ... 141
Tabelle 20: Items zur Erfassung der Jobmerkmale sowie dem Entfaltungsbedürfnis ... 148
Tabelle 21: Deskriptive Statistik für die Variable **(Potenzielle) Arbeitszufriedenheit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 150
Tabelle 22: Deskriptive Statistik für die Variable **Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 150
Tabelle 23: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Anforderungsvielfalt** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 150
Tabelle 24: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Ganzheitlichkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 151
Tabelle 25: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Bedeutsamkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 151
Tabelle 26: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Autonomie** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 151
Tabelle 27: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Sachliche Rückmeldung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 152
Tabelle 28: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zusammenarbeit mit anderen** getrennt nach Gruppe und Berufsbild ... 152

Tabelle 29: Deskriptive Statistik für den **Motivationspotenzial** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 152
Tabelle 30: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Potenzial zur Überforderung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 153
Tabelle 31: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Potenzial zur Unterforderung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 153
Tabelle 32: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Erfolgserlebnisse** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 153
Tabelle 33: Deskriptive Statistik für Jobmerkmal **Vollständigkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 154
Tabelle 34: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zeitdruck** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 154
Tabelle 35: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zeitelastizität** getrennt nach Gruppe und Berufsbild 154
Tabelle 36: Deskriptive Statistik für die **Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Tf 157
Tabelle 37: Deskriptive Statistik für die **Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Fdl 158
Tabelle 38:Deskriptive Statistik für den **Einfluss auf die Attraktivität** für die Gruppe der Tf 160
Tabelle 39: Deskriptive Statistik für den **Einfluss auf die Attraktivität** für die Gruppe der Fdl 161
Tabelle 40:Deskriptive Statistik für die **gewichtete Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Tf 162
Tabelle 41: Deskriptive Statistik für die **gewichtete Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Fdl 164
Tabelle 42: Deskriptive Statistik für die **Bewertung der Nebentätigkeiten der Gruppe Tf** 167
Tabelle 43: Deskriptive Statistik für die **Bewertung der Nebentätigkeiten** der Gruppe **Fdl** 168
Tabelle 44: Jobmerkmale: Ergebnisse der ANOVA 169
Tabelle 45: Genannte **Vorteile** (und Anzahl der Nennungen) für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Rückfallebene getrennt nach den Antworten der Gruppe der Tf vs. Fdl 171
Tabelle 46: Genannte **Nachteile** (und Anzahl der Nennungen) für den Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Rückfallebene getrennt nach den Antworten der Gruppe der Tf vs. Fdl 173
Tabelle 47: Anzahl der Prozentwerte nach Gruppe und Berufsbild 175
Tabelle 48: Genannte Gründe **für** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene (W = Weiterbildungswahrscheinlichkeit) 176
Tabelle 49: Genannte Gründe **gegen** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene (W = Weiterbildungswahrscheinlichkeit) 179
Tabelle 50: Genannte Aspekte, die die Befragten mit einer geringen Weiterbildungswahrscheinlichkeit (W < 50) von einer Weiterbildung zu Tele-Tf überzeugen könnten 182
Tabelle 51: Zahl der Teilnehmenden unterteilt nach der Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung zu Tele-Tf (gering: < 40 %, hoch: > 60 %) 183

1 Einleitung

Die Automatisierung des Eisenbahnverkehrs ist ein zentraler Bestandteil der Strategie der Bundesregierung, um den Schienenverkehr in Deutschland künftig effizient und nachhaltig zu gestalten (Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2022). Dabei steht vor allem die hochautomatisierte Steuerung von Zügen (Automatic Train Operation: ATO) im Zentrum aktueller Forschung. Auch bei einem hochautomatisierten Bahnbetrieb werden Menschen als Mitarbeitende unverzichtbar bleiben (Brandenburger, 2021; Brandenburger, 2022). Die Arbeitstätigkeiten und Arbeitsplätze werden jedoch durch die zunehmende Automatisierung einen Wandel erleben.

Insbesondere der Beruf des Triebfahrzeugführers (Tf) wird sich in höheren Automatisierungsstufen stark verändern. Erste Konzepte für den Arbeitsplatz des Tf in zukünftigen ATO-Systemen wurden z. B. in den DLR-Projekten Next Generation Train (DLR, 2023a) und Next Generation Railway System (DLR, 2023b) entwickelt. In den Projekten wurde der Regelbetrieb ohne Tf betrachtet, wobei im Problemfall die Steuerung des Zugs aus der Ferne vorgenommen wird (Teleoperation). Diese Integration der Teleoperation führt zu einer Veränderung der Rolle des Tf hin zu fernsteuernden oder teleoperierenden Tf (Tele-Tf). Das Berufsbild der Tele-Tf, die lediglich im Problemfall die Steuerung des Zugs übernehmen, birgt jedoch das Risiko suboptimaler Arbeitsbedingungen, die durch Gleichförmigkeit und vorwiegend passive Beobachtungstätigkeiten geprägt sind. Derartige Arbeitsbedingungen können zu Leistungs- und damit auch zu Sicherheitseinbußen führen. Zudem können Unzufriedenheit mit der Arbeit und negative Auswirkungen auf geistige und körperliche Gesundheit Folgen sein (Ahlstrom, 2016; DIN, 2000). Um dies zu verhindern, ist es wichtig, bei der Entwicklung von ATO-Konzepten in offenen Bahnsystemen bereits frühzeitig den Faktor Mensch und dessen Arbeit zu berücksichtigen. Werden zukünftige Berufsbilder und Arbeitsplätze schon mit Beginn der Umsetzung der Hochautomatisierung nutzergerecht gestaltet, bietet sich die Chance, attraktive Arbeitsumgebungen für Tele-Tf zu entwickeln.

Ziel des Projekts Teleoperation ATO war daher, ein validiertes Konzept für das neue Berufsbild des Tele-Tf zu entwickeln, das in den zukünftigen automatisierten Bahnbetrieb integriert werden kann. Ausgehend von einer Ableitung der Anforderungen an einen Tele-Tf-Arbeitsplatz anhand vorhandener Forschungsergebnisse sollte das Berufsbild unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Fähigkeiten des Menschen beschrieben werden. Dies schließt erforderliche grundlegende Qualifizierungsmaßnahmen und die Gestaltung des physischen Arbeitsplatzes mit ein. Ergänzend wurde ein bestehendes Sensorik-Konzept für ATO dahingehend adaptiert, dass es die Integration von Teleoperation in ATO-Systeme erlaubt. Durch die Entwicklung eines nutzergerechten Tele-Tf-Berufsbilds soll das Projekt dazu beizutragen, die Arbeitswelt bei der Bahn auch zukünftig attraktiv und zufriedenstellend zu gestalten.

Die Arbeiten im Projekt erfolgten in den folgenden vier Arbeitspaketen (AP). In **AP 1** wurden die **Grundlagen für Teleoperation im Schienenverkehr** erarbeitet**.** Ziel dieses AP war die Erstellung einer Übersicht über den aktuellen Stand der Forschung zur Teleoperation sowohl im Schienenverkehr als auch in anderen Branchen. Dabei wurde vor allem eine Bestandsaufnahme bezüglich der Anforde-

rungen an den Arbeitsplatz der Tele-Tf bzw. anderer Teleoperateurinnen und Teleoperateure gemacht, die bereits in der Literatur identifiziert wurden. **Betriebliche Szenarien für die Teleoperation** waren der Kern des **AP 2**. Ziel dieses AP war es, zu untersuchen, in welchen bahnbetrieblichen Szenarien die Teleoperation mittelfristig technisch umsetzbar ist. Zu diesem Zweck wurden vielseitige betriebliche Szenarien für die Teleoperation beschrieben. Eine umfassende **Analyse der Tele-Tf-Anforderungen** wurde in **AP 3** durchgeführt. Dafür wurden die Ergebnisse der vorhergehenden Arbeiten zusammengeführt und als Basis für die Konzepterstellung in AP 4 Anforderungen in Form eines Anforderungskatalogs für den Beruf der Tele-Tf abgeleitet. Ziel des **AP 4** war die Entwicklung eines **Konzepts eines Tele-Tf-Berufsbildes**. Dafür wurde aufbauend auf den erarbeiteten Anforderungen ein attraktives Berufsbild für Tele-Tf entwickelt, das die betrieblichen Erfordernisse sowie individuelle und gesellschaftliche Bedürfnisse mit Blick auf eine moderne Arbeitstätigkeit einbezieht, und in einer Studie mit Tf und Fahrdienstleitern(Fdl) hinsichtlich dessen Attraktivität evaluiert. Dieser Abschlussbericht ist anhand der Aktivitäten in den vier AP gegliedert.

Das vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung beim Eisenbahn-Bundesamt (DZSF) beauftragte Projekt wurde durch das Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. durchgeführt.

2 Grundlagen für Teleoperation im Schienenverkehr

Als Basis wurde eine umfassende, branchenübergreifende Recherche zum aktuellen Stand der Forschung zur Teleoperation im Schienenverkehr durchgeführt. Verschiedene methodische Ansätze wurden gewählt, darunter eine wissenschaftliche Literaturrecherche, eine Normenanalyse und Experteninterviews, die im Einklang der Mensch-Technik-Organisation (MTO) zentrale Forschungsthemen zur bahnbezogenen Teleoperation aufzeigen. Außerdem wurde eine aggregierte Übersicht der Aufgaben von Tf als Grundlage für die Einschätzung von Automatisierbarkeit und Fernsteuerbarkeit erstellt.

2.1 Methodik

2.1.1 Literaturrecherche

Themen der Literaturrecherche waren die Teleoperation im Schienenverkehr, im Straßenverkehr, in der zivilen Luftfahrt sowie ergänzend auch in der Robotik. Der Fokus lag dabei aber auf dem Schienen- sowie dem Straßenverkehr. Die Literaturrecherche wurde online mithilfe von Google Scholar und Scopus in deutscher und englischer Sprache durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Suchbegriffe verwendet: *Teleoperation, Remote Train Operator, Remote Train Operation, Zugfernsteuerung, Remote Safety and Control, RSC, Fernüberwachung, remote supervision und GoA 4.* Diese wurden mit den Schlagworten *Anforderungen, requirements*, *Nutzeranforderungen* oder *user requirements* kombiniert. Quellen der Recherche waren wissenschaftliche Fachzeitschriften und frei verfügbare wissenschaftliche Berichte, Bücher sowie einschlägige Normen.

Die Ergebnisse der Literaturrecherche aus wissenschaftlichen Veröffentlichungen, Büchern und Berichten wurden in einer tabellarischen Übersicht (siehe Anlage *Literaturübersicht.xlsx*) zusammengestellt. Dabei wurden die Quellen nach drei thematischen Säulen aufgeteilt, und zwar *Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch*, *Sensorik und technische Infrastruktur* sowie *Betriebliche Szenarien*. Zudem wurde gekennzeichnet, welcher Domäne die jeweilige Quelle zuzuordnen ist. Die Ergebnisse der Analyse verschiedener DIN-Normen sind ebenfalls in Anlage *Literaturübersicht.xlsx* zusammengefasst. Dabei lag der Fokus auf der Identifikation von Anforderungen an die Gestaltung von Arbeitsplätzen von Tf heute. In Tabelle 1 ist dargestellt, wie viele Quellen für jeden Themenbereich aus welcher Domäne analysiert wurden.

Tabelle 1: Übersicht über die Anzahl der analysierten Literaturquellen nach Themenbereich und Domäne

Themenbereich	Anzahl gesamt	Anzahl nach Domäne	
nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch	75	Schienenverkehr	22
		Straßenverkehr	27
		zivile Luftfahrt	9
		Robotik	13
		allgemein	4
Sensorik und technische Infrastruktur	40	Schienenverkehr	6
		Straßenverkehr	21
		zivile Luftfahrt	3
		Robotik	10
betriebliche Szenarien	13	Schienenverkehr	6
		Straßenverkehr	4
		zivile Luftfahrt	3
DIN-Normen	4	Schienenverkehr	4

2.1.2 Experteninterviews

Im zweiten Schritt wurden semistrukturierte Interviews mit fünf Fachexpertinnen und -experten durchgeführt. Dabei wurden zum einen zwei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler befragt, die sich mit Teleoperation im Schienenverkehr beschäftigen. Zum anderen wurden im Rahmen eines Gruppeninterviews zwei Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler befragt, die sich mit der Teleoperation im Luftfahrtbereich befassen. Die genannten Interviewpartnerinnen und -partner wurden innerhalb des DLR rekrutiert. Zudem wurde ein Mitarbeiter des Projekts „Digitale S-Bahn Hamburg“ interviewt. In der Vorbereitung der Interviews wurden ausgehend von der Literaturrecherche Themen identifiziert, in deren Rahmen eine tiefergehende Diskussion mit den Fachexpertinnen und -experten besonders interessant war. Für diese Themenbereiche wurden Impulsfragen formuliert, die als Ausgangspunkte in den Interviews dienten. Durch den semistrukturierten Charakter der Interviews konnten weiterführende Fragen dann im Rahmen der Gespräche flexibel ergänzt werden. Alle Interviews erfolgten als Telefonkonferenzen und wurden als Audiodatei aufgezeichnet. Zur Dokumentation wurden die besprochenen Inhalte stichpunktartig in tabellarischen Übersichten festgehalten.

2.1.3 Aufgaben von Tf

In einem dritten Schritt wurden, basierend auf unterschiedlichen Quellen, die Aufgaben von Tf identifiziert und aggregiert. Dazu wurden die Ergebnisse zu Standardaufgaben von Tf aus den Projekten ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) und ATO-Risk (Braband et al., 2023) sowie die Ergebnisse zu Tf-Aufgaben aus dem Projekt ATO-Sense (Milius et al., 2025; Thomas-Friedrich et al., 2022) zusammengeführt. Es wurde eine tabellarische Übersicht aller Aufgaben und Teilaufgaben erstellt, die in den

analysierten Quellen Erwähnung finden (siehe Anlage *AufgabenlisteTf.xlsx*). Dabei wurde zudem festgehalten, welche Aufgaben in mehreren Quellen enthalten waren. Ergänzend wurde eine Einschätzung der Automatisierbarkeit und Fernsteuerbarkeit der einzelnen Aufgaben vorgenommen, teilweise basierend auf Hagemeyer et al. (2021) und Schöne und Meirich (2019). Die resultierende Aufgabenliste stellt einen Ausgangspunkt für die Gestaltung des Arbeitsplatzes und die Beschreibung der betrieblichen Szenarien dar.

2.2 Ergebnisse: Erkenntnisse mit Bezug zu Teleoperationsarbeitsplätzen und Tf-Aufgaben

2.2.1 Ergebnistabellen

Die erarbeiteten Ergebnisse sind dem Abschlussbericht in Form der Anlagen *Literaturübersicht.xlsx* und *AufgabenlisteTf.xlsx* beigefügt. In der Datei *Literaturübersicht.xlsx* sind die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche mit Bezug zu Teleoperationsarbeitsplätzen auf insgesamt vier Tabellenblättern zusammengefasst. Auf den ersten drei Blättern werden die Ergebnisse für je einen der drei übergeordneten Themenbereiche dargestellt, die in der Literaturrecherche abgedeckt wurden, nämlich *(1) Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch, (2) Sensorik & technische Infrastruktur sowie (3) Betriebliche Szenarien*.

Innerhalb jedes Tabellenblatts wird für jeden Eintrag (pro Zeile) jeweils die Literaturangabe (Spalte A) dargestellt, gefolgt von einer stichpunktartigen Übersicht über das Ziel der dargestellten Studie (Spalte B), die Methode (Spalte C) und die Ergebnisse (Spalte D). Wenn sich in der betrachteten Studie bereits Anforderungen an einen Teleoperationsarbeitsplatz identifizieren ließen, sind diese in Spalte E dargestellt. Spalte F enthält eine Bewertung der jeweiligen Befunde mit Blick auf deren Relevanz für die Anwendung von Teleoperation im Bahnbereich (1 – hoch, 2 – mittel, 3 – gering). Die Bewertung wurde durch Human-Factors-Expertinnen und -Experten aus dem Projektteam vorgenommen. Als hoch relevant wurden hierbei zum einen alle Befunde mit Bezug zur Vermeidung menschlicher Fehler (Sicherheitsrelevanz) angesehen, zum anderen Befunde, die direkt aus der Anwendungsdomäne Eisenbahn stammen. In Spalte G wird die Domäne angegeben, mit der sich die Veröffentlichung beschäftigt (z. B. Straßen- oder Schienenverkehr).

Ein viertes Tabellenblatt stellt eine Übersicht der Anforderungen an den Tf-Arbeitsplatz dar, die in den folgenden DIN-Normen identifiziert wurden:

- DIN EN 16186-1:2019-04: Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 1: Anthropometrische Daten und Sichtbedingungen; Deutsche Fassung EN 16186-1:2014+A1:2018
- DIN EN 16186-2:2017-12: Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 2: Integration von Displays, Bedien- und Anzeigeelementen; Deutsche Fassung EN 16186-2:2017
- DIN EN 16186-3:2022-05: Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 3: Displaygestaltung für Vollbahnfahrzeuge; Deutsche Fassung EN 16186-3:2022

- DIN EN 16186-4:2019-09: Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 4: Gestaltung und Zugang; Deutsche Fassung EN 16186-4:2019.

Dabei wird in Spalte A jeweils ein Themenbereich dargestellt, für den die betreffenden Anforderungen gelten (z. B. Gestaltung der Bedienelemente). In Spalte B sind die jeweiligen Anforderungen aufgeführt, in Spalte C die Quelle und in Spalte D wurde äquivalent zu den anderen Tabellenblättern eine Einschätzung der Relevanz der Anforderungen für die Teleoperation im Schienenverkehr vorgenommen.

Die Datei *Aufgabenliste*.xlsx stellt die Synthese der in Kapitel 2.1.3 benannten Arbeiten zur Ermittlung der Aufgaben von Tf dar. Die Aufgaben sind nach dem Zeitpunkt gruppiert, zu dem sie ausgeführt werden müssen (z. B. *vor der Fahrt* oder *während der Fahrt*; Spalte A). In den Spalten B und C werden übergeordnete Standardaufgaben dargestellt, die sich jeweils durch eine Aggregation verschiedener Einzelaufgaben von Tf bilden lassen. Der Grad der Aggregation ist dabei in Spalte B hoch und in Spalte C geringer. In den Spalten D bis F werden die Einzel- oder Teilaufgaben dargestellt, die in den Standardaufgaben enthalten sind. Spalte G und H stellen jeweils die Automatisierbarkeit der Aufgabe sowie die Möglichkeit zur Teleoperation für diese Aufgabe dar. Dabei wurde diese auf zwei dreistufigen Skalen eingeschätzt: *1 = leicht zu automatisieren (und Stand der Technik)*, *2 = aufwendig zu automatisieren*, *3 = nicht zu automatisieren* sowie *1 = von fern zu erledigen*, *2 = teilweise von fern zu erledigen, 3 = nur vor Ort zu erledigen*. War eine Einschätzung nicht möglich, wurde dies über ein „?“ markiert.

Abschließend folgt je eine Spalte für jede der Quellen (Projekte), auf denen die Aufgabenliste beruhen kann: ATO-Sensorik (Spalte I), ATO-Sense (Spalte J) und ATO-Risk (Spalte K). Ist eine dargestellte Standard- oder Einzelaufgabe in der jeweiligen Quelle enthalten, ist die entsprechende Spalte mit einem Kreuz markiert.

2.2.2 Zentrale Themen der Literaturrecherche und der Interviews

Insgesamt wurde das Thema Teleoperation in AP 1 in verschiedenen Kontexten betrachtet: selbstverständlich im Bereich des Schienenverkehrs (siehe z. B. Brandenburger & Naumann, 2019), aber auch im Bereich des Straßenverkehrs (siehe z. B. Georg & Diermeyer, 2019), der Robotik (hauptsächlich im Sinne einer Fernsteuerung großer Maschinen, siehe z. B. Nielsen et al., 2007) und auch aus Sicht der zivilen Luftfahrt (siehe z. B. Hobbs & Lyall, 2016). Im Schienenverkehr ist dabei die Erhöhung der Effizienz eines der Hauptziele der Teleoperation, d. h., ein Tele-Tf soll zukünftig für mehrere Züge zuständig sein (Brandenburger & Naumann, 2019). Aus diesem Grund wurde die militärische Luftfahrt nur am Rande mit in die Recherche einbezogen. Da die Zielsetzung bei der Fernsteuerung militärischer unbemannter Luftfahrzeuge (unmanned aerial vehicles – UAV) eine andere ist, wird in diesem Kontext häufig ein einziges Luftfahrzeug von mehreren Operateurinnen und Operateuren gesteuert und überwacht (Air Force, 2014). Im Gegensatz dazu ist die Zielsetzung in der zivilen Luftfahrt, ähnlich wie im Schienenverkehr, eine Steuerung oder Überwachung mehrerer UAV durch eine Operateurin bzw. einen Operateur zu erreichen. Ein möglicher Anwendungsfall sind hier die sogenannten Lufttaxis (Schuchardt, 2023).

Die wichtigsten Erkenntnisse der Literaturrecherche und der Interviews werden im Folgenden getrennt nach den drei übergeordneten Themen Mensch, Technik und Organisation dargestellt. Für jedes Thema wurde eine zentrale Fragestellung definiert (siehe Abbildung 1). In Abbildung 1 sind zudem die relevantesten Forschungsschwerpunkte für jeden Themenbereich stichpunktartig dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden die Rechercheergebnisse für diese Forschungsschwerpunkte kurz zusammengefasst.

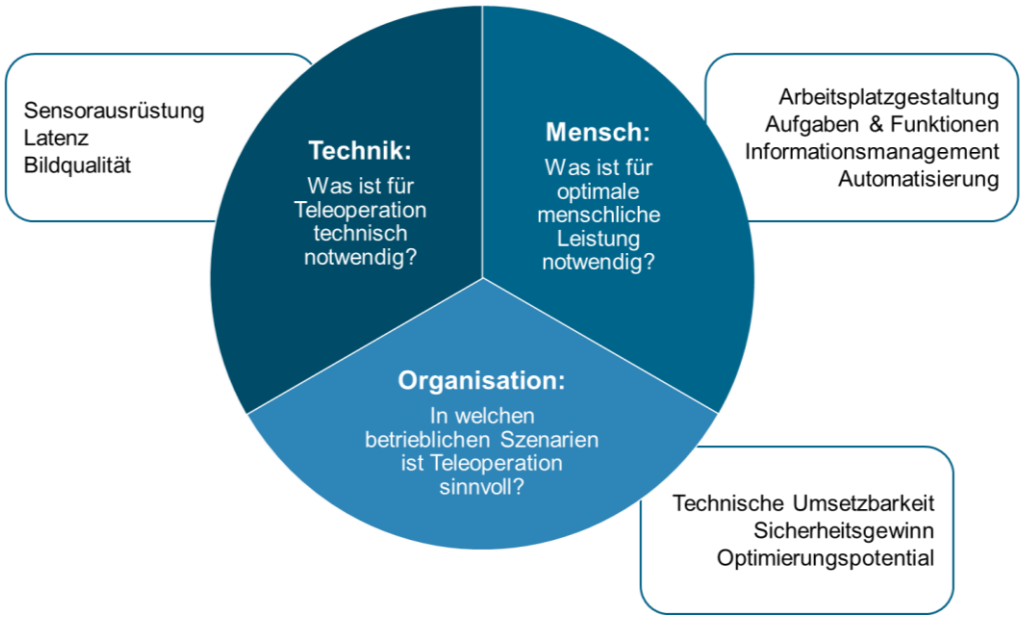


Abbildung 1: Zentrale Forschungsthemen in der Teleoperation

2.2.3 Mensch: Was ist für optimale menschliche Leistung notwendig?

Zentrale, bereits wissenschaftlich untersuchte Themen bezüglich der Frage, was für eine optimale menschliche Leistung bei Teleoperation notwendig wäre, sind Workload, Monotonie und Situationsbewusstsein und damit zusammenhängende zu gestaltende Aspekte, z. B. die Informationsübermittlung, die Zusammenarbeit von Mensch und System (inklusive Funktionsallokation, adaptiver Automation und Transparenz eines Systems), die Überwachungsaufgaben und Übergabeszenarien.

Zwei Themen, die bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen im Teleoperationskontext besonders berücksichtigt werden sollten und die einander bedingen, sind zum einen der Workload (mentale Beanspruchung) und zum anderen die Umsetzung von Überwachungsaufgaben. Die Arbeit als Tele-Tf kann je nach Umsetzung drastische Workloadschwankungen zwischen Phasen der Überwachung und Phasen der aktiven Arbeit beinhalten (Dobson, 2015; Hobbs & Lyall, 2016). Starke Workloadschwankungen können zu Leistungseinbußen führen (Dobson, 2015). Zudem können länger dauernde Phasen der Überwachung negative Folgen haben, so z. B. einen Verlust des Situationsbewusstseins, verringerte Vigilanz und Reaktionsbereitschaft oder Verlust der benötigten Fähigkeiten (Ahlstrom, 2016; Dobson, 2015; Hobbs & Lyall, 2016; Nisoli et al., 2018; Office of Rail and Road,

2017). Zudem sind Monotonie und eine zu geringe Arbeitsbelastung insgesamt schädlich für die Leistung sowie das Wohlbefinden der Mitarbeitenden (Ahlstrom, 2016; Dunn & Williamson, 2012).

Aus diesem Grund sollte angestrebt werden, dass der Workload der Tele-Tf die meiste Zeit im optimalen Bereich liegt. Starke Über- oder Unterlast sollte vermieden werden, genauso wie zu starker Zeitdruck oder eine hohe Monotonie (Brandenburger et al., 2021; Gadmer et al., 2022; Nisoli et al., 2018; Office of Rail and Road, 2017). Um die Schwankungen im Workload möglichst gering zu halten und das Problem der Monotonie bei Überwachungsaufgaben zu minimieren, sollten Überwachungsaufgaben bei der Teleoperation zeitlich eingegrenzt werden (Ahlstrom, 2016).

Um einem geringen Workload zu begegnen und dem Verlust von Fertigkeiten entgegenzuwirken, wurde die Umsetzung einer adaptiven Automatisierung thematisiert. Diese könnte z. B. so umgesetzt werden, dass Tele-Tf in Zeiten des geringen Workloads manuelle Aufgaben übernehmen, die eigentlich auch automatisiert ablaufen könnten. Das heißt, Tele-Tf würden im Normalbetrieb auch ohne vorliegende Störung einen Zug manuell steuern (Ahlstrom, 2016; Dobson, 2015; Nisoli et al., 2018). Insgesamt sollte die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Automatisierung in einem ATO-System menschgerecht erfolgen (Grippenkoven et al., 2020; Rieth & Hagemann, 2021). Dabei sind die sinnvolle Umsetzung einer Kooperation zwischen Mensch und Maschine sowie ein durchdachtes Wissensmanagement zentral (Ahlstrom, 2016; Brandenburger et al., 2016; Gadmer et al., 2021; Nisoli et al., 2018).

Über alle in der Literaturrecherche betrachteten Anwendungsdomänen hinweg wurde hervorgehoben, dass es wichtig ist, Operateurinnen und Operateure situationsbewusst („in-the-loop“) zu halten (Ahlstrom, 2016; Dobson, 2015; Gadmer et al., 2021; Hobbs & Lyall, 2016). In diesem Zusammenhang ist auch die Betrachtung von Übergabeszenarien äußerst relevant, sei es zwischen unterschiedlichen Tele-Tf (z. B. beim Schichtwechsel) oder – vor allem – zwischen Automatisierung und Operateurin bzw. Operateur (Gadmer et al., 2022). Insgesamt wird das Verstehen des automatisierten Systems an einem Teleoperationsarbeitsplatz zu einer der wichtigsten Aufgaben der menschlichen Operateurin bzw. des menschlichen Operateurs (Ahlstrom, 2016; Brandenburger et al., 2017; Nisoli et al., 2018). In diesem Zusammenhang hilft Transparenz im automatisierten System, Vertrauen in das System zu schaffen (Dobson, 2015).

Ein weiteres wichtiges Thema ist die Übermittlung von Informationen an die Tele-Tf (Brandenburger et al., 2017; Brandenburger & Naumann, 2019; Masson et al., 2019). Im klassischen Betrieb, in dem sich Menschen am selben Ort befinden wie die von ihnen kontrollierten Systeme, haben sie die Möglichkeit, über alle ihre Sinneswahrnehmungen Informationen über die Situation vor Ort zu sammeln. Diese Informationen müssen Tele-Tf auf anderem Wege zur Verfügung gestellt werden. In den meisten Anwendungsfällen geschieht dies über visuelle Informationen auf Displays und über Kamerabilder. Das scheint aber in einigen Anwendungsfällen, vor allem im Bahnbereich, nicht genug zu sein (z. B. für die Erkennung eines Haftungsverlusts; Gadmer et al., 2021). Auch im Straßenverkehrsbereich hat die Integration von multimodalem Feedback (z. B. Motorengeräuschen und Vibrationen) positive Effekte, vor allem auf das Situationsbewusstsein (Chen, 2014; Kallioniemi et al., 2021; Robb et al., 2018). Abschließend wurde festgestellt, dass prädiktive Anzeigen Teleoperateurinnen bzw. -

operateure sinnvoll unterstützen können (Ahlstrom, 2016; Chucholowski, 2015), genauso wie Elemente der augmented reality (erweiterte Realität) (Calhoun & Draper, 2006; Graf et al., 2020; Hosseini & Lienkamp, 2016; Trabelsi et al., 2023). Insgesamt scheint für die Steuerung der Einsatz von Joysticks sinnvoll (Calhoun & Draper, 2006; Selvaraj & Pillai, 2022; Young Kim et al., 2019). In Untersuchungen mit Tf wurde festgestellt, dass diese bei einer möglichen Fernsteuerung die Bedienung über einen klassischen Fahrbremshebel bevorzugen würden (Brandenburger et al., 2017).

2.2.4 Technik: Was ist für Teleoperation technisch notwendig?

In diesem Abschnitt werden insbesondere die Ergebnisse aus dem Literaturrecherchebereich Sensorik und technische Infrastruktur mit Fokus auf die Themen Latenz und Videoqualität zusammengefasst.

Bezüglich der notwendigen technischen Ausrüstung wurden zunächst Ergebnisse zur erforderlichen Sensorausrüstung für eine Teleoperation identifiziert. Im Bereich Schienenverkehr sind dabei insbesondere die Ergebnisse aus den Projekten ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) und TC-Rail (Masson et al., 2019) interessant. Zudem wurden umfassende Ergebnisse zur erforderlichen Sensorik für eine Teleoperation im Straßenverkehr identifiziert (siehe z. B. Bodell & Gulliksson, 2016), auf die in den nächsten AP Bezug genommen wird.

Ein wichtiges Thema für die Umsetzung einer Teleoperation ist die Latenz (Adebahr et al., 2023; Grippenkoven et al., 2020; Hobbs & Lyall, 2016; Masson et al., 2019), da diese die Leistung der Tele-Tf beeinflusst (Brandenburger et al., 2023; Pongrac, 2008). Auch kleine Latenzen führen zudem zu einer Erhöhung des Workloads der Operateurinnen und Operateure (Lu et al., 2019; Moya et al., 2017). Des Weiteren können sogar Latenzen von 10 bis 20 ms vom Menschen detektiert werden (Mania et al., 2004). Für den Luftfahrt- und Bahnbereich gibt es allerdings bisher wenig feststehende Werte, welche Latenzen bei einer Teleoperation noch akzeptabel sind (Adebahr et al., 2023). Im Luftfahrtbereich lassen sich lediglich Grenzwerte für die Latenz bei der fernmündlichen Kommunikation zwischen Operateurin bzw. Operateur und Luftverkehrskontrolle finden (Hobbs & Lyall, 2016). Im Schienenverkehr ist es essentiell, dass für die Teleoperation von Zügen kleine Latenzen sowie eine Videobildverbindung vorhanden sind (Masson et al., 2019). Erste Richtwerte könnten zudem der DIN EN 16186-3 entnommen werden. Darin wird festgelegt, dass bei der Darstellung von Daten auf dem Display eines Vollbahnfahrzeugs die Zeit zwischen dem Empfang neuer Daten und der Aktualisierung der angezeigten Daten nicht mehr als 200 ms betragen darf (DIN, 2022).

Im Bereich Straßenverkehr wurden in unterschiedlichen Arbeiten diverse Latenzgrenzen für die Teleoperation von Straßenverkehrsfahrzeugen berichtet, bei deren Überschreitung Schwierigkeiten beim Fahren auftreten. Diese reichen von 120 ms (Held & Durlach, 1991) oder 300 ms (Bodell & Gulliksson, 2016; Neumeier et al., 2019) bis hin zu 400 bis 500 ms (Diermeyer et al., 2011). Latenzen sollten am besten konstant und so klein wie möglich sein (Neumeier et al., 2019). In der Robotik wurden Einschränkungen in der Leistung bei der Teleoperation bei Latenzen von 225 ms gefunden (MacKenzie & Ware, 1993), für eine gute Leistung werden geringe Latenzen von maximal 200 ms gefordert (Pausch, 1991).

Ein weiteres wichtiges Thema im Bereich der erforderlichen Technik für die Teleoperation ist die Bildqualität von Kamerabildern (Masson et al., 2019). Dabei ist insbesondere die Frage wichtig, wie hoch aufgelöst die Kamerabilder für die Teleoperation sein müssen (Grippenkoven et al., 2020). Allerdings wurden diesbezüglich noch keine umfassenden Forschungsergebnisse berichtet. In einer der ersten explorativen Onlinestudien mit Novizen untersuchten Brandenburger et al. (2023) die Auswirkungen unterschiedlicher Übertragungsraten und Bildwiederholfrequenzen auf die Erkennungsleistung hinsichtlich Signalen und Tafeln im Bahnbereich und fanden einen größeren Einfluss der Übertragungsrate auf die Genauigkeit und teils auch auf Reaktionszeiten. Zu Anforderungen an die Videoqualität besteht jedoch insgesamt noch sehr viel Forschungsbedarf. Für den Anwendungsfall im Bahn- und auch im Straßenverkehr wurde hervorgehoben, dass zur Vermeidung einer Überlastung der zur Verfügung stehenden Bandbreite immer nur die Sensordaten und Kamerabilder übermittelt werden sollten, die aktuell von den Tele-Tf benötigt werden (Georg & Diermeyer, 2019; Masson et al., 2019).

2.2.5 Organisation: In welchen betrieblichen Szenarien ist Teleoperation sinnvoll?

In diesem Abschnitt werden insbesondere die Ergebnisse aus dem Literaturrecherchebereich Betriebliche Szenarien zusammengefasst und um Erkenntnisse aus den Experteninterviews ergänzt.

Relevante Anwendungsfälle für Teleoperation im Straßenverkehr (Kettwich & Dreßler, 2020; Kettwich et al., 2022) sowie Aufgaben von UAV-Pilotinnen und -Piloten (Hobbs & Lyall, 2016) wurden identifiziert. Auch für den Schienenverkehr wurden verschiedene betriebliche Szenarien identifiziert, in denen eine Teleoperation einsetzbar wäre: z. B. auf Strecken zwischen der Instandhaltung und Bahnhöfen, beim Rangieren oder als Rückfallebene bei Ausfall des ATO-Systems (Brandenburger et al., 2017; Goikoetxea, 2022; Hagemeyer et al., 2021; Masson et al., 2019). Eine wichtige Randbedingung ist dabei immer die technische Umsetzbarkeit. Im Rahmen der Experteninterviews wurde ermittelt, dass zunächst eine Umsetzung von ATO im Güterbereich erwartet wird, darauf aufbauend im regionalen Personenverkehr und erst dann im Bereich des Personenfernverkehrs.

Ein betriebliches Szenario, in dem eine Teleoperation im Bahnbereich von den interviewten Expertinnen bzw. Experten als sinnvoll betrachtet wurde, war das Rangieren und Kuppeln. Dort wurde ein starker Sicherheitsgewinn vermutet, da sich durch die Teleoperation am Rangierbahnhof weniger Personen zwischen den Wagen befinden. Zudem bestehe durch den Einsatz einer Teleoperation beim Rangieren und Kuppeln sowie bei Zustellfahrten (z. B. im Rahmen der Zugbereit- und -abstellung sowie zur Überwindung von nicht ATO-Strecken) das Potenzial der Zeit- und Kostenersparnis. In den Experteninterviews wurde zum anderen die Teleoperation als Rückfallebene eines ATO-Systems als zentral notwendig betrachtet.

Betrachtet man den Aspekt Organisation im Rahmen der Teleoperation, stellt sich zusätzlich zu den sinnvoll umzusetzenden Szenarien die Frage, in welcher Form Tele-Tf mit anderen Akteuren zusammenarbeiten müssen. Häufig wird im Rahmen der Teleoperation hauptsächlich die Kooperation zwischen Mensch und technischem System untersucht (siehe z. B. Gadmer et al., 2021). In der Teleoperation im Schienenverkehr wird aber auch eine Zusammenarbeit der Tele-Tf mit anderen Akteuren

stattfinden, z. B. mit Zugbegleitpersonal oder technischem Personal vor Ort (Adebahr et al., 2023). Zudem wird die Zusammenarbeit mit anderen Tele-Tf, Fdl, Dispositions- und Leitstellenmitarbeitenden erforderlich sein. Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, dass Tele-Tf in einer gemeinsamen Betriebszentrale mit anderen Akteuren arbeiten, um Wissensaustausch zu ermöglichen und geteiltes Situationsbewusstsein zu erlangen (Brandenburger et al., 2017).

2.2.6 Einschränkungen

Die Identifikation von wesentlichen Aspekten mit Blick auf menschliche Faktoren, Technik und Einsatzszenarien, die bei der Umsetzung von Teleoperation im Bahnbetrieb berücksichtigt werden müssen, erfolgte auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche. Die Ergebnisse bilden dementsprechend einen Auszug der Forschungslandschaft ab, und es ist denkbar, dass es Themen gibt, die sich hier nicht wiederfinden – etwa, weil es noch keine veröffentlichten Lösungsansätze gibt. Aus Sicht der Autorinnen und Autoren sind die Ergebnisse geeignet, um die relevanten Fragen aufzuzeigen, und Einschränkungen beziehen sich auf die Vollständigkeit und Übertragbarkeit der verfügbaren Antworten.

3 Betriebliche Szenarien für die Teleoperation

Ziel von AP 2 war zum einen die Beschreibung eines informativen Spektrums betrieblicher Szenarien für die Teleoperation. Dabei sollten Anwendungsfälle im Regel- und Störbetrieb ebenso betrachtet werden wie Szenarien aus den Transitionsphasen zwischen Regel- und Störbetrieb. Zum anderen wurde im Rahmen des AP 2 untersucht, womit sich Tele-Tf in den Phasen beschäftigen, in denen die ATO einwandfrei funktioniert und in denen demzufolge keine Fernsteuertätigkeiten auszuführen sind. Ergänzend wurde der Frage nachgegangen, wo Tele-Tf zwischen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) und Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) organisatorisch zugeordnet sein sollten. Im Folgenden wird das Vorgehen bei der Bearbeitung von AP 2 für beide Zielstellungen kurz dargestellt, jeweils gefolgt von einer kurzen Darstellung der erarbeiteten Ergebnisse.

3.1 Erarbeitung von betrieblichen Szenarien für die Teleoperation

3.1.1 Vorgehen bei der Auswahl und Beschreibung der Szenarien

Der Prozess zur Auswahl der zu beschreibenden Szenarien wurde wie folgt gestaltet: Ausgangspunkt waren die Ergebnisse aus AP 1 zur Frage: *In welchen Situationen lässt sich Teleoperation im Bahnbetrieb sinnvoll einsetzen?* In den Experteninterviews wurde der Einsatz von Teleoperation insbesondere als Rückfallebene für das ATO-System, aber auch innerhalb des Regelbetriebs, z. B. zum Überwinden von Streckenabschnitten zwischen ATO-Strecke und Start oder Ziel einer Zugfahrt, im Rahmen des Rangierens oder in der Zugbereit- und -abstellung als gewinnbringend eingeschätzt (siehe Kapitel 2.2.5). Im Rahmen dieser groben Anwendungsfälle wurde dann eine Vielzahl von Szenarien hergeleitet, die 1) die Rückfallebene in verschiedenen Störfällen, 2) den Regelbetrieb und 3) die Transitionsphase zwischen Regel- und Störbetrieb betreffen.

Eine weitere Grundlage der Ideenfindung war die in AP 1 erarbeitete Aufgabenliste für Tf (siehe Kapitel 2.1.3), aus der Handlungsfelder für Tele-Tf abgeleitet werden konnten. Zudem wurde eine Szenarienliste als Vergleich ausgewählt, die für die Teleoperation im Bahnbereich im EU-Projekt TAURO entwickelt wurde (Goikoetxea, 2022). Eine Übersicht über alle hergeleiteten Ideen für Szenarien ist in Anhang A1 Tabelle 17 zu finden. Da eine ausführliche Bearbeitung aller abgeleiteten Szenarien im Rahmen des Projekts nicht möglich gewesen wäre, wurde ein gemeinsamer Workshop mit dem DZSF als Auftraggeber zur Auswahl der weiter zu betrachtenden Szenarien durchgeführt. In der Übersicht in Anhang A1 Tabelle 17 ist aufgeführt, welche der Eingangsideen für die weitere Ausarbeitung ausgewählt wurden und in welche der finalen Szenarien (ID) die jeweilige Idee eingeflossen ist.

Die ausgewählten Szenarien wurden dann mithilfe von Steckbriefen und Visualisierungen in Form von Flussdiagrammen ausführlich beschrieben. Für jedes Szenario wurden mindestens zwei Steckbriefe und Flussdiagramme erstellt, die sich wie folgt unterscheiden:

Erstens wurde aufgrund der Ergebnisse der Experteninterviews aus AP 1 entschieden, sich bei der Ausarbeitung der Szenarien auf die Geschäftsbereiche Schienengüterverkehr und Schienenpersonennahverkehr zu konzentrieren (siehe Abschnitt 2.2.5). Aus diesem Grund wurden die Szenarien teilweise für den Schienengüterverkehr (hier bezeichnet als Cargo) und teilweise für den Schienenpersonennahverkehr (hier bezeichnet als Regio) ausgearbeitet. Bei manchen Szenarien war es sinnvoll, beide Geschäftsbereiche zu betrachten, hier wurden dann Steckbriefe und Flussdiagramme für beide Fälle ausgearbeitet.

Zweitens wurden für jedes Szenario eine sogenannte technische Minimal- und eine technische Best-Case-Lösung betrachtet und dementsprechend Steckbriefe und Flussdiagramme für beide Varianten erstellt. Auf diese Weise wurde auch die Wirkung der technischen Ausstattung des ATO-Systems auf das Berufsbild der Tele-Tf beleuchtet. Dazu wurden die Szenarienbeschreibungen für unterschiedliche Ausprägungen der technischen Ausstattung einander gegenübergestellt, um zu betrachten, wie sich Arbeitsabläufe und Aufgaben der Tele-Tf je nach technischer Ausstattung verändern können. Eine technische Minimallösung für jedes Szenario beinhaltet dabei die technischen Anforderungen, die zusätzlich zum technischen Stand des heutigen Bahnsystems mindestens umgesetzt werden müssten, um eine Teleoperation in dem jeweiligen Szenario zu ermöglichen. Demgegenüber wurde eine technische Best-Case-Lösung entworfen, in der zusätzlich technische Lösungen integriert wurden, die aus betrieblicher und arbeitspsychologischer Sicht die Bearbeitung des Szenarios verbessern würden.

3.1.2 Annahmen über das ATO-System

Bei der Bearbeitung von AP 2 wurde deutlich, dass es für die Beschreibung der Szenarien notwendig ist, technische und betriebliche Annahmen über das ATO-System inklusive der umgebenden Leit- und Sicherungstechnik zu treffen. Erst ein durch diese Annahmen gesteckter Rahmen ermöglicht es, Szenarien genauer festzulegen und zu beschreiben. Die folgenden Annahmen wurden über alle Szenarien hinweg getroffen:

- Aufgrund der Fragestellung einer möglichen Evakuierung von Passagieren wurde generell angenommen, dass im Personenverkehr mit GoA 3 gefahren wird (mit Zugbegleitpersonal an Bord des Zugs), wobei jedoch davon ausgegangen wurde, dass das Zugbegleitpersonal keine fernsteuernden Aufgaben übernimmt. Für den Güterverkehr wurde von einem Betrieb in GoA 4, also ohne Personal an Bord, ausgegangen.
- Ferner wurde angenommen, dass die notwendige streckenseitige technische Ausrüstung nicht auf dem gesamten Streckennetz sofort verfügbar sein wird. Das könnte z. B. heißen, dass kein ausreichendes Zugbeeinflussungssystem vorhanden ist oder die Mobilfunknetzabdeckung nicht ausreicht. Somit kann nicht auf dem gesamten Streckennetz hochautomatisiert gefahren werden. Aus diesem Grund wird begrifflich zwischen der sogenannten ATO-Strecke und dem restlichen Streckennetz unterschieden. Die ATO-Strecke ist definiert als der Bereich des Streckennetzes, auf dem die hochautomatisierte Fahrt durch das ATO-System möglich ist.
- Durch die Aufteilung in ATO-Strecke und das restliche Streckennetz wird davon ausgegangen, dass Zustell- und Abholfahrten zur oder von der ATO-Strecke notwendig sein werden.

Während dieser Fahrten steuern Tele-Tf den Zug. Dabei wird signalgeführt gefahren, mit einem Zugbeeinflussungssystem, das mindestens die Funktionalitäten der punktförmigen Zugbeeinflussung (z. B. des deutschen PZB-Systems) mitbringt.

- Der Zustand des Zugs wird konstant fahrzeugseitig sensorgestützt überwacht. Es werden akzeptierte Wertebereiche für die überwachten Parameter festgelegt. Im Falle einer Abweichung vom akzeptierten Wertebereich wird je nach Schweregrad der Abweichung eine Warnung an die Tele-Tf übermittelt oder eine Bremsung des Zugs ausgelöst (je nach Kritikalität entweder Betriebsbremsung oder Zwangsbremsung).
- Es gibt im Rahmen des ATO-Systems eine redundante, sensorgestützte Überwachung der Umgebung und des Fahrwegs mit verschiedenen Sensorarten (Ein Beispiel für eine Sensorausrüstung wurde im Projekt ATO-Sensorik entwickelt, siehe Leinhos, Flatt, & Witte, 2022.). Mithilfe der Sensorik kann der Zug also feststellen, wenn es zu einer Kollision mit einem Gegenstand gekommen ist.
- Tele-Tf haben Zugriff auf alle Daten der Sensorik und können jederzeit die Fernsteuerung des Zugs übernehmen, hier auch bezeichnet als manuelles Eingreifen.
- Die fahrzeugseitige Zugintegritätskontrolle sowie die Notbremsüberbrückung (NBÜ) erfolgen automatisch.
- Im System ist hinterlegt, was im Falle eines temporären Verlusts der Datenverbindung zwischen zentraler Zugüberwachung und dem ATO-System an Bord passiert. Ein temporärer Verlust der Datenverbindung muss nicht zwangsläufig automatisch zu einer Zwangsbremsung führen.

Über die hier beschriebenen allgemeinen Annahmen hinaus wurden für die einzelnen Szenarien zusätzliche betriebliche Annahmen getroffen, die in den jeweiligen Szenarienbeschreibungen zu finden sind.

3.1.3 Ausgearbeitete Szenarien für den Tele-Tf-Betrieb

Die im Rahmen der drei betrieblichen Anwendungskontexte – Rückfallebene, Regelbetrieb und übergreifende Aufgaben – betrachteten Szenarien sind in den Abbildung 2 im Überblick dargestellt.

Für jedes Szenario wurde ein Steckbrief erarbeitet, der alle wichtigen Informationen über das Szenario übersichtlich aufbereitet enthält. Die Steckbriefe sind dem Bericht in Anlage *Betriebliche_Szenarien_Teleoperation.pdf* angefügt. Sie spezifizieren für jedes der Szenarien die Rubriken:

- *Szenario-ID* – zur Zuordnung im Zusammenhang mit anderen Dokumenten
- *Use Case* – eine Kurzbezeichnung des Szenarios
- *Zuggattung* – Szenario im Bereich Schienenpersonennahverkehr (Regio) und/oder Schienengüterverkehr (Cargo)
- *GoA* – angenommene Automationsstufe (Grade of Automation) des Zugbetriebs auf der ATO-Strecke
- *Beteiligte Rollen* – alle am Szenario beteiligten technischen oder Personen-Rollen, z. B. Fdl, ATO, Tele-Tf

- *Betriebliche Randbedingungen* – alle Annahmen zum Betrieb und zu Randbedingungen, die für die Durchführung des Szenarios wichtig sind, zusätzlich zu den in Abschnitt 3.1.2 genannten allgemeinen Annahmen
- *Technische Voraussetzungen* – technische Voraussetzungen und Annahmen, die für die Durchführung des Szenarios nötig sind, einschließlich Anforderungen an die Technik, die sich aus der Bearbeitung des Szenarios durch Tele-Tf ergeben. Technik, die andere Rollen als Tele-Tf für die Durchführung des Szenarios benötigen, ist hier nicht aufgenommen.

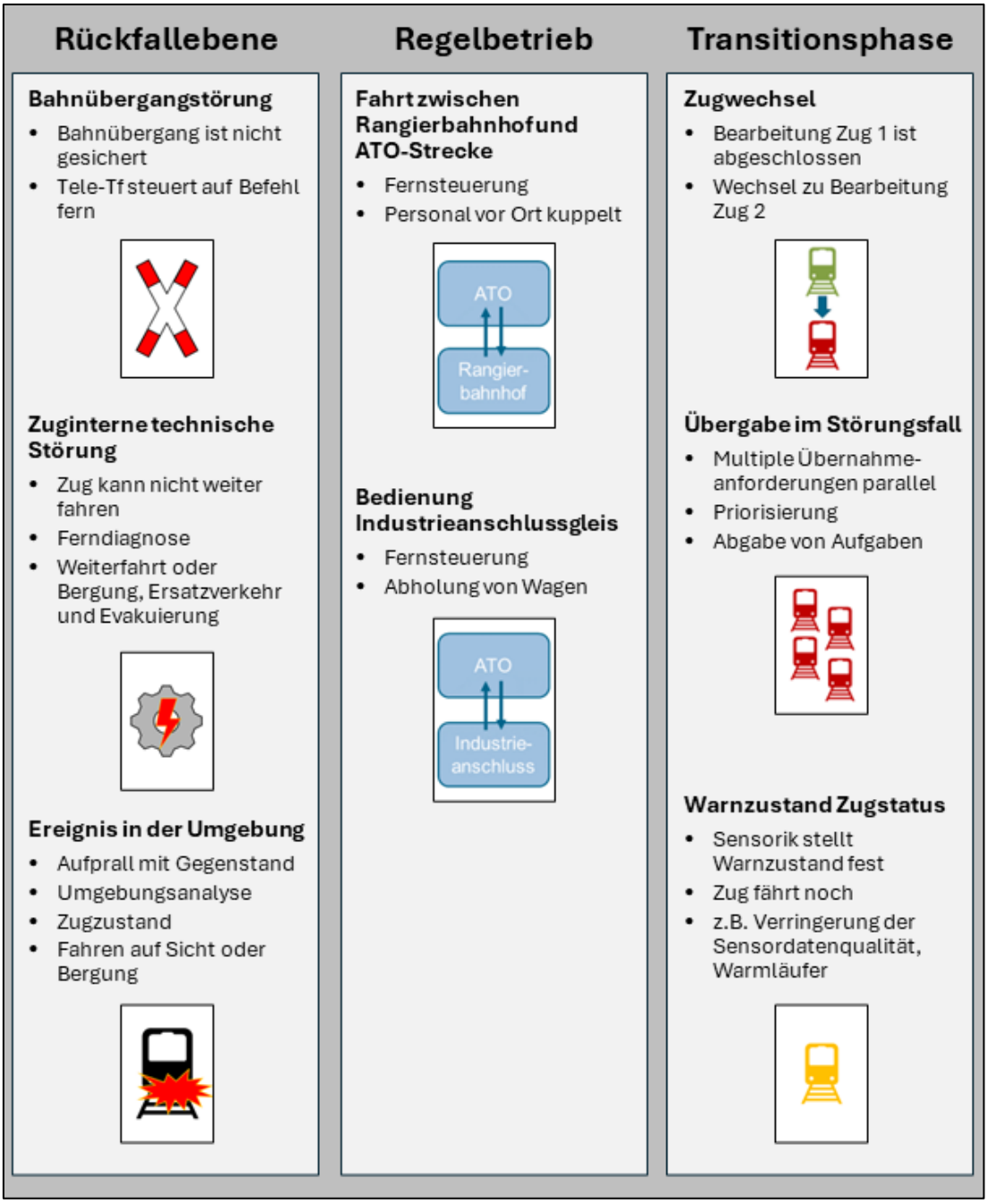


Abbildung 2: Detailliert betrachtete Szenarien für Teleoperation in der Rückfallebene, für aktive Tätigkeiten in der Teleoperation im Regelbetrieb sowie bezüglich übergeordneter Handlungsabläufe der Tele-Tf

Zusätzlich zu den Steckbriefen wurde für jedes Szenario ein Flussdiagramm erarbeitet, welches den zeitlichen Ablauf der Szenarien im Zusammenspiel aller beteiligten Akteure zeigt. Für jeden Akteur gibt es eine Spalte, in der die *Tätigkeiten* der Rolle als Rechteck dargestellt sind. Zusätzlich werden notwendige *Entscheidungen* als Raute und *Informationen, die ausgetauscht werden*, als Trapez dargestellt. Das Flussdiagramm für jedes betriebliche Szenario ist in Anlage *Betriebliche_Szenarien_Teleoperation.pdf* im Anschluss an den jeweiligen Steckbrief dargestellt. In den folgenden Abschnitten werden alle Szenarien kurz vorgestellt.

Bahnübergangsstörung (ID: 1, 2)

In diesem Szenario fährt der Zug auf einen Bahnübergang (BÜ) zu, der nicht automatisch gesichert wurde. Dies bedeutet z. B., dass sich die Schranken nicht geschlossen haben und das deckende Signal daher auf Halt statt auf Fahrt steht. Bei einer Sicherung des BÜ mit Überwachungssignal kann im Falle der technischen Minimallösung die Information über die BÜ-Störung den Zug nicht erreichen. Dieser wird deswegen am auf Halt stehenden BÜ-Signal durch das streckenseitige Zugsicherungssystem schnellgebremst. Dies ist für die Fahrgäste nicht angenehm und sollte vermieden werden. Im Best Case erhält der Zug die Information frühzeitig und kann selbstständig vor dem gestörten BÜ anhalten, ohne eine Schnellbremsung auszulösen. Da eine Hilfseinschaltung nicht möglich ist, stellt das ATO-System eine Übernahmeanforderung an die Tele-Tf.

Im Fall der technischen Minimallösung im Regionalverkehr GoA 3 (Szenario-ID: 1) steuern Tele-Tf den Zug in Schrittgeschwindigkeit auf Sicht über den BÜ und halten dabei ständige Funkverbindung mit dem Zugbegleitpersonal. Zugbegleitende müssen auf Schienen- und Straßenseite in alle relevanten Richtungen hin (querende Straßen und benachbarte Gleise) Ausschau halten, ob der Gefahrenbereich frei ist und bleibt. Im Gegensatz dazu werden die Tele-Tf im technischen Best Case (Szenario-ID: 2) durch Sensorik, Kameras und automatische Geschwindigkeitseinstellung bei der Fahrt auf Sicht über den BÜ unterstützt und sind nicht auf die Mithilfe des Zugbegleitpersonals angewiesen. So können Tele-Tf ohne Rücksprache mit dem Zugbegleitpersonal den Zug auf Sicht über den BÜ steuern und nach der Überquerung des Gefahrenbereichs die Kontrolle zurück an das ATO-System übergeben.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass in vielen Best-Case-Fällen parallel zur Fernsteuerung durch Tele-Tf ein passiver Betrieb der ATO vorgesehen ist. Dies gilt sowohl für das Szenario Bahnübergangsstörung als auch für einzelne nachfolgende Szenarien. Der Betriebsmodus „ATO passiv“ bedeutet, dass die Verantwortung für die Steuerung des Zuges beim Tele-Tf liegt und die ATO nicht aktiv eingreifen darf und kann. Allerdings besteht die Möglichkeit, dass das ATO-System dem Tele-Tf in seiner Tätigkeit assistiert, wenn einzelne Teilsysteme der ATO im Szenario nicht beeinträchtigt sind. Zum Beispiel könnte die Hinderniserkennung aktiv sein und dem Tele-Tf eine zusätzliche Sicherheitsebene bieten. Zusätzlich wird die Option bereitgestellt, die ATO mit der Geschwindigkeitsregelung zu beauftragen, also eine Sollgeschwindigkeit, z. B. Schrittgeschwindigkeit, vorzugeben.

In allen Szenarien, in denen Tele-Tf die Steuerung von der ATO übernehmen und umgekehrt die Steuerung zurück an die ATO geben, wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass im Fall der Mindestausrüstung aus Sicherheitsgründen die Übergabe im Stillstand zu erfolgen hat. Dies begründet

sich in der Annahme, dass im Falle der technischen Mindestausrüstung die Qualität der videobasierten Streckensicht nicht ausreicht, um sich ein sicheres Lagebild zu verschaffen. Im Best Case kann die jeweilige übernehmende Seite sich schon vor der Übernahme ein Lagebild verschaffen, was eine sichere Übernahme und Übergabe während der Fahrt ermöglichen kann und im Vergleich zu einer Übergabe im Stand den Betriebsablauf beschleunigt.

Zuginterne technische Störung (ID: 3, 4)

In diesem Szenario wird angenommen, dass es eine technische Störung am Zug gibt, der im Regionalverkehr in GoA 3 verkehrt. Der Zug ist daher stehen geblieben und der Tele-Tf erhält eine Fehlermeldung. Die Gestaltung dieser Fehlermeldung sollte dem Tele-Tf idealerweise ermöglichen, so schnell wie möglich ein Verständnis der Situation zu entwickeln. Die Aufgabe des Tele-Tf ist dann, die Situation zu bearbeiten und wenn möglich den Zug zu entstören. Arbeitsschritte beinhalten z. B. einen Neustart der Systeme, eine Ferndiagnose oder die Überprüfung von Sensordaten. Sollte sich der Zug aus der Ferne nicht entstören lassen, bestehen zwei Möglichkeiten des weiteren Vorgehens. Entweder wird lediglich ein Entstörungsteam ausgesendet, dass den Zug vor Ort reparieren kann, während die Fahrgäste im Zug verbleiben. Die zweite Möglichkeit ist zusätzlich zur Entsendung des Entstörungsteams die Organisation eines Ersatzverkehrs und Evakuierung der Passagiere. Es wird hier jedoch angenommen, dass die Entscheidung über das weitere Vorgehen sowie die Organisation der Entstörung und ggf. Evakuierung vom Notfallmanagement des EVU übernommen werden und nicht mehr in den Verantwortungsbereich des Tele-Tf fallen.

Im technischen Minimalfall dieses Szenarios (ID: 3) gibt es viele Systeme, die nur vor Ort diagnostiziert und entstört werden können. Dabei kann das Zugbegleitpersonal helfen. Im Best Case (ID: 4) gibt es eine Vielzahl unterstützender Diagnose -und Entstörungssysteme sowie eine Hotline für technische Spezialfälle, die den Tele-Tf bei der schnellen Behebung der Störung helfen.

Ereignis in der Umgebung (ID: 5a, 5b, 6)

In diesem Szenario wird angenommen, dass es einen Aufprall des Zugs auf ein Hindernis auf den Gleisen gab. Infolgedessen ist der Zug stehen geblieben. Die Tele-Tf bekommen eine Meldung und müssen die Situation zunächst nachvollziehen (z. B. Videodaten analysieren, Meldungen der Hinderniserkennung auslesen o. ä.). Dann müssen die Tele-Tf nachprüfen, ob der Zug noch weiterfahren kann. Dies hängt davon ab, mit welcher Art Gegenstand der Zug zusammengestoßen ist und wie stark der Zug beschädigt wurde. Kann der Zug weiterfahren, müssen die Tele-Tf prüfen, ob die Strecke unmittelbar vor ihrem Zug frei ist und den Zug entweder mit ATO weiterfahren lassen oder eine gewisse Strecke auf Sicht fahren, bevor der Zug wieder automatisch weiterfährt.

Tele-Tf haben nach einem Aufprall die Aufgabe, zu entscheiden, ob der Zug noch fahrfähig und die Strecke befahrbar ist. Dies muss anhand der ihnen verfügbaren Möglichkeiten entschieden werden und ist je nach technischer Ausrüstung und GoA-Level unterschiedlich gut umsetzbar. Im Fall der technischen Minimalausrüstung ist zur Durchführung der Diagnose entscheidend, ob es noch Personal im oder am Zug gibt, das die Tele-Tf in ihrer Aufgabe unterstützen kann. Ist wie im Fall von Regionalverkehr in GoA 3 (ID: 5a) noch Zugbegleitpersonal an Bord, kann dieses z. B. aussteigen und

den Zug von außen betrachten. Ist im Falle der technischen Minimalausrüstung in GoA 4 kein Personal an Bord (ID: 5b), wird die Zustandsdiagnose des Zugs und der Strecke nur in den seltensten Fällen sicher möglich sein. Im Best Case können den Tele-Tf auch in GoA 4 (ID: 6) verschiedene Sensorik- und Diagnosemöglichkeiten in dieser Aufgabe zur Seite stehen, z. B. historische Daten diverser Sensoren und Kameras. Denkbar wäre dort auch die Unterstützung bei der Situationsdiagnose durch Videoaufnahmen z. B. von Drohnen, die den Tele-Tf Videobilder entlang des Zugs zur Verfügung stellen könnten.

Fahrt zwischen Rangierbahnhof und ATO-Strecke (ID: 7, 8)

In diesem Szenario fahren Tele-Tf einen Güterzug vom Ende einer ATO-Strecke zu einem Rangierbahnhof. Dort übergeben sie den Zug an das Personal vor Ort, z. B. Rangierbegleitpersonal, das die transportierten Wagen abkuppelt, die Lok zu einem anderen Zug rangiert und diese vor Ort ankuppelt. Diese Rangiertätigkeiten selbst werden ohne Mitwirkung der Tele-Tf ausgeführt und daher in diesem Szenario nicht genauer betrachtet. Ist der Zug komplett zusammengestellt, übernehmen die Tele-Tf erneut die Steuerung und fahren den neuen Zug zur ATO-Strecke.

Im technischen Minimalfall (ID: 7) müssen die Tele-Tf nach aktuellen Regelwerken in diesem Szenario Gespräche mit dem Fdl und Wagenmeister sowie Rangierbegleitpersonal führen, in denen wichtige Informationen (z. B. über Gefahrgüter, Bremsverhalten des Zuges oder andere Besonderheiten) ausschließlich mündlich oder ggf. zukünftig auch digital übermittelt werden[1].

Außerdem müssen Tele-Tf in diesem und dem Szenario „Bedienung Industrieanschlussgleis“ den Zug in allen technischen Ausprägungen sowohl im Rangier- als auch signalgeführten Betrieb fernsteuernd fahren, was einerseits unterschiedliche Anforderungen an die Tele-Tf und andererseits auch unterschiedliche Anforderungen an die sie unterstützende Technik stellt. Im signalgeführten Betrieb bietet die zug- und streckenseitige Sicherungstechnik ein Sicherheitslevel, das eine höhere Geschwindigkeit mit weniger Sensordaten ermöglichen könnte. Im Unterschied dazu muss im Rangierbetrieb noch stärker auf die Umgebung geachtet werden, um Kollisionen zu vermeiden. Im Best Case (ID: 8) kann die Datenverwaltung (also z. B. Erzeugung und Übergabe von Wagenlisten, Informationsaustausch über Abweichungen) zwischen Rangierbetrieb, Tele-Tf und ATO elektronisch und automatisiert erfolgen, was generell einen schnelleren und sichereren Betrieb ermöglicht. Wie schnell Tele-Tf ferngesteuert einen Zug lenken können, ist noch Gegenstand der Forschung und bisher nicht final festgelegt worden.

Anders als bei der Bedienung eines Industrieanschlussgleises ist im Rangierbahnhof zum einen gerade im technischen Minimalausrüstungsfall mit unterschiedlichen Stellen und Personalen zu kommunizieren (z. B. Wagenmeister und ggf. mehrere Fdl). Zum anderen ist der Rangierbahnhof ein ab-

1 Mit Blick auf aktuelle Entwicklungsvorhaben, wie z. B. den digitalen Befehl, ist auch vorstellbar, dass die entsprechenden Informationen in einem zukünftigen System vollständig digital hinterlegt und die Regelwerke entsprechend angepasst sind und somit keine mündliche Abstimmung mehr erforderlich ist (s. a. Best-Case-Szenario ID: 8)

gegrenztes Gelände, auf dem definierter Bahnbetrieb stattfindet und ausschließlich mit eingewiesenem Betriebspersonal und Eisenbahnfahrzeugen zu rechnen ist, die nach klaren Richtlinien verkehren und mit technischen Sicherungseinrichtungen abgesichert sind.

Bedienung Industrieanschlussgleis (ID: 9, 10)

In diesem Szenario fahren Tele-Tf den Zug von der ATO-Strecke zu einem Industrieanschlussgleis. Nach dem Ankuppeln von Wagen durch das Personal vor Ort steuern die Tele-Tf den Zug wieder vom Betriebsgelände und signalgeführt bis zur ATO-Strecke. Um die Komplexität des Szenarios einzuschränken, wurde angenommen, dass

1. bei der Fahrt ins Anschlussgleis keine Wagen geschoben werden müssen, da sonst im technischen Minimalfall eine Rangierbegleiterin bzw. ein Rangierbegleiter erforderlich wäre,
2. das Gleis betrieblich eine Ausweichanschlussstelle darstellt sowie
3. keine Weichen vor Ort per Hand umgestellt werden müssen.

Gerade im technisch minimal ausgerüsteten Fall (ID: 9) zeigen sich verschiedene Herausforderungen in den Aufgaben der Tele-Tf. Zum einen müssen die Tele-Tf unter Anwendung verschiedener Regeln und Handlungsschritte sowohl signalgeführt als auch im Rangierbetrieb fernsteuern. Zudem steuern sie den Zug auf dem Betriebsgelände eines Unternehmens fern, wo weder eine hochautomatisierte noch eine signalgeführte Fahrt möglich ist, da keine Zugbeeinflussung vorhanden ist. Auch eine Sicherung gegen andere Verkehrsteilnehmende auf Schiene und Straße, wie sie durch das Einstellen von Rangier- und Zugfahrstraßen möglich wäre, ist hier nicht gegeben und die Markierung und Sicherung von Bahnübergängen kann stark vom Standard im sonstigen Eisenbahnsystem abweichen. Die Beobachtung und Einschätzung der Umgebungsbedingungen stellt dadurch hohe Anforderungen an die Tele-Tf. Zum anderen müssen die Tele-Tf Fahrterlaubnisse von unterschiedlichen Stellen einholen und verarbeiten (Eisenbahnbetriebsleitende des Anschlusses und Fdl der Strecke). Bei Letzteren unterstützt im Best Case (ID: 10) deswegen die ATO, die zwar nicht den Zug steuert, aber die zentrale Datenverwaltung im Hintergrund und das Einholen der Befehle, Erlaubnisse und Meldungen durchführen kann.

Szenario Zugwechsel (ID: 11)

Die folgenden drei Szenarien beziehen sich auf allgemeine Arbeitsabläufe der Tele-Tf, die im Rahmen ihrer Tätigkeit immer wieder auftauchen werden. Zugwechsel (ID: 11) wird hier wie folgt verstanden: Die Tele-Tf bearbeiten eine aktive Aufgabe bezüglich eines Zugs zu Ende (entweder im Rahmen der Rückfallebene oder im Rahmen von z. B. Rangierarbeiten). Daraufhin wechseln sie die Aufgabe und bearbeiten dann eine Tätigkeit im Zusammenhang mit einem anderen Zug.

Übergabe im Störungsfall (ID: 12, 13)

Aufbauend auf dem vorhergehenden Szenario wird die Frage deutlich, was Tele-Tf tun sollen, wenn in ihrem Verantwortungsbereich zur gleichen Zeit mehrere Störungen auftauchen. Dabei ist auch

insbesondere die Frage wichtig, wie die Verantwortlichkeiten der Tele-Tf für die einzelnen Zugfahrten aufgeteilt sind. Auf der einen Seite wäre es denkbar, dass das Streckennetz in Deutschland in Anlehnung an die Tätigkeit der Fdl in kleinere Sektoren eingeteilt ist, für die jeweils ein fester Tele-Tf verantwortlich ist. In diesem Fall (ID: 12) würde der Tele-Tf eine aktive Aufgabe bezüglich eines Zugs bearbeiten (entweder im Rahmen der Rückfallebene oder im Rahmen von z. B. Rangierarbeiten) und zeitgleich würden weitere zeitkritische Aufgaben bezüglich anderer Züge anfallen. Der Tele-Tf kann nicht alle Aufgaben gleichzeitig erfüllen, d. h. es ist notwendig, dass bestimmte Aufgaben an andere Tele-Tf abgegeben werden. Dies können andere Tele-Tf sein, die gerade weniger zu tun haben, oder es werden Tele-Tf als Springer in einer unterstützenden Rolle eingesetzt, die regulär keine eigenen Züge zu verantworten haben.

Auf der anderen Seite wäre es eine Möglichkeit, dass mehrere Tele-Tf gemeinsam für einen bestimmten Sektor oder für eine bestimmte Menge an Zügen zuständig sind (ID: 13). In diesem Fall wäre eine Übergabe von Zügen aus der Verantwortlichkeit eines Tele-Tf an einen anderen nicht notwendig. Stattdessen würde der Tele-Tf eine aktive Aufgabe bezüglich eines Zugs bearbeiten. Weitere, zeitgleich anfallende Aufgaben bezüglich anderer Züge würden dann von anderen Tele-Tf aus dem Verantwortungsbereich übernommen werden. Sobald der Tele-Tf die aktuelle Aufgabe abgeschlossen hat, kann er eine neue Aufgabe auswählen und bearbeiten. Die Frage der Verantwortlichkeitsbereiche der Tele-Tf wird in AP 4 weiter beleuchtet.

Warnzustand Zugstatus (ID: 14)

Betrachtet man den Betrieb in einem ATO-System, so ist es wünschenswert, dass die Züge so selten wie möglich aufgrund einer Störung stehen bleiben. Aus diesem Grund sollten sich Tele-Tf potenziell möglichst frühzeitig mit Abweichungen des Zugzustands vom Normalzustand beschäftigen können, um eventuell eine Lösung vor dem Stillstehen des Zugs herbeizuführen. Genauer beschrieben: Die Sensorik eines Zugs im Verantwortungsbereich der Tele-Tf stellt fest, dass sich ein Parameter des Zugzustands außerhalb des festgelegten Wertebereichs bewegt. Die Abweichung ist noch nicht so groß, dass eine Störung vorliegt, aber es besteht Handlungsbedarf (z. B. im Fall eines Warmläufers). Die Tele-Tf erhalten eine Warnung und können entsprechende Handlungen einleiten (ID: 14).

3.1.4 Erste Anforderungen an das Tele-Tf-Berufsbild

Im Rahmen der Beschreibung der Szenarien wurden bereits einige Anforderungen an den Arbeitsplatz der Tele-Tf deutlich, die in AP 3 weiter aufgegriffen werden sollen. Im Folgenden werden diese Anforderungen kurz dargestellt:

- Ist eine mündliche Kommunikation im Rahmen der Tele-Tf-Tätigkeiten notwendig, so muss berücksichtigt werden, dass diese potenziell zu einem erhöhten Risiko für menschliche Fehler führen könnte. Insbesondere die betriebliche mündliche Kommunikation ist sehr fehleranfällig (Shanahan et al., 2016). Betrachtet man festgelegte Wortlaute als Barriere gegen Fehler in der mündlichen Kommunikation, so wird deutlich, dass hier ein häufiges Nichteinhalten der festgelegten Wortlaute auftritt (Gibson et al., 2006) und diese Barriere somit unwirksam wird.

- Haben Tele-Tf die Aufgabe, sowohl signalgeführt als auch im Rangierbetrieb fernzusteuern, muss das Modusbewusstsein der Tele-Tf (z. B. Fahren auf Sicht, signalgeführt, Strecke vs. Rangieren) sichergestellt sein, da sich Tele-Tf für jeden Betriebsmodus an die entsprechenden Betriebsregeln halten müssen.
- Tele-Tf sollten jedes Mal, wenn eine Tätigkeit erforderlich ist, eine explizite Tätigkeitsaufforderung in Form von z. B. einem Melder erhalten. So kann gewährleistet werden, dass Tele-Tf nicht vergessen, bestimmte Züge zu bearbeiten, auch wenn sie gerade einer anderen Tätigkeit nachgegangen sind. Zudem sollte die Tätigkeitsaufforderung oder Übernahmeanforderung so früh wie möglich erfolgen, um den Tele-Tf ausreichend Zeit zur Vorbereitung auf die Aufgabe zu geben. Im Rahmen der Übernahmeanforderung sollten den Tele-Tf wichtige Informationen weitergegeben werden, wie z. B. Details zur vorliegenden Situation, voraussichtliche Dauer der Bearbeitungszeit, Kritikalität oder Priorität.
- In der Tätigkeitsbeschreibung der Tele-Tf muss festgelegt werden, wann zwischen zu bearbeitenden Zügen gewechselt werden kann. Eine Möglichkeit wäre, die Tele-Tf zu instruieren, eine erforderliche Tätigkeit für einen Zug zuerst zu Ende zu bearbeiten, bevor der nächste Zug übernommen wird, auch wenn Wartezeiten z. B. zur Anforderung von Fahrterlaubnissen anfallen. Dies würde Wechselkosten für die Einarbeitung in die jeweilige Situation eines Zugs reduzieren, da nicht konstant zwischen Zügen gewechselt würde. Zudem würde die Gefahr der Verwechselung von Zügen reduziert. Allerdings besteht die Gefahr, dass während eventueller Wartezeiten Langeweile entsteht und fachfremde Tätigkeiten aufgenommen werden. Eine Gegenmaßnahme wäre das Angebot von fachbezogenen Nebenaufgaben (siehe Abschnitt 3.2). Allerdings könnten auch diese gewisse kognitive Aufgabenwechselkosten beim Übergang von Nebentätigkeit zu Zugsteuerung zur Folge haben.

3.2 Vorgehen zur Erarbeitung von Tätigkeiten zur Vermeidung von Unterbeanspruchung im Regelbetrieb

Ein weiteres Ziel im Rahmen von AP 2 war zu untersuchen, welchen Tätigkeiten die Tele-Tf während des einwandfreien Funktionierens des ATO-Systems nachgehen könnten. Diese Frage wurde im Rahmen eines gemeinsamen Studierendenprojekts des DLR mit der FH Erfurt bearbeitet, an dem Studierende des Studiengangs Wirtschaftsingenieur/in Eisenbahnwesen teilnahmen. Die Studierenden erarbeiteten im Projekt Konzepte für den Umgang mit Phasen der Unterbeanspruchung am Tele-Tf-Arbeitsplatz. Über die gesamte Laufzeit wurden die Arbeiten engmaschig durch Projektmitarbeitende des DLR begleitet.

Am Projekt waren fünf dual Studierende beteiligt, die neben ihrem Studium zusätzlich in verschiedenen Unternehmen im Bahnbereich tätig waren. Dies bot zum einen den Vorteil, dass die studentischen Mitarbeitenden selbst Expertinnen und Experten für Themen im Bahnbereich sind und somit ihre Erfahrung und ihr Vorwissen gewinnbringend einsetzen konnten. Zum anderen konsultierten die

Studierenden im Zuge der Arbeiten weitere Expertinnen und Experten, um die ausgearbeiteten Ideen zu validieren.

Nach einer Phase der Einarbeitung in die Themen Teleoperation und mentale Beanspruchung wurden in einem vom DLR geleiteten Design-Thinking-Workshop gemeinsam mit den Studierenden Ideen und Konzepte entwickelt, wie der Arbeitsplatz und die Arbeitsabläufe der Tele-Tf so gestaltet werden können, dass eine Unterbeanspruchung minimiert werden kann. Nach einer genaueren Ausarbeitung der gesammelten Ideen wurden diese im Rahmen einer Fokusgruppe sechs teilnehmenden Expertinnen und Experten vorgestellt und deren Feedback eingeholt. In diesem Zusammenhang wurde auch beleuchtet, inwieweit eine Zuordnung der Tele-Tf zu EVU oder EIU sinnvoll wäre. Die Teilnehmenden brachten ihre Praxiserfahrungen aus den Bereichen Human Factors (n = 1), Bahnsystemtechnik (n = 2), Triebfahrzeugführung (n = 1), Zugbegleitung (n = 1) sowie aus der Arbeit mit der hochautomatisierten U-Bahn bei der VAG Nürnberg (n = 1) in die Diskussion ein. Aufbauend auf dem Feedback aus der Fokusgruppe wurden die entwickelten Konzepte finalisiert. Im Folgenden werden die erarbeiteten Ergebnisse vorgestellt.

3.2.1 Tätigkeit der Tele-Tf als Bereitschaftsarbeitsplatz

Grundsätzlich wurde die Tätigkeit des Tele-Tf im Rahmen des Projekts als Bereitschaftsarbeitsplatz definiert, ähnlich den Arbeitsplätzen bei der Berufsfeuerwehr. Das bedeutet, es sollte keine dauerhafte Überwachung der Züge über eine Beobachtung der Anzeigen durch die Tele-Tf stattfinden. Stattdessen wurde vorgeschlagen, dass die Tele-Tf andere, ergänzende Tätigkeiten an ihrem Arbeitsplatz ausführen können und dann über einen auditiven Alarm informiert werden, wenn eine Zugfahrt ihr Eingreifen erfordert. Eventuell wäre es sogar möglich, dass die Tele-Tf ihren Arbeitsplatz für andere Tätigkeiten verlassen dürfen und z. B. über einen Pieper informiert werden, wenn ein Zug ihrer Aufmerksamkeit bedarf. Ziel dieser Erweiterung der Aufgaben der Tele-Tf ist die Vermeidung längerer Überwachungstätigkeiten, da lange Zeiten der passiven Überwachung eines hochautomatisierten Systems zu negativen Konsequenzen für z. B. die Vigilanz, die Leistung sowie die Arbeitszufriedenheit führen können (Ahlstrom, 2016; Dobson, 2015; Dunn & Williamson, 2012; Hobbs & Lyall, 2016; Nisoli et al., 2018; Office of Rail and Road, 2017).

Erwägt man die Gestaltung des Arbeitsplatzes des Tele-Tf als Bereitschaftsarbeitsplatz, gilt es jedoch, dem Thema der Übernahmebereitschaft große Aufmerksamkeit zu widmen. Im Falle einer Übernahmeanforderung wären die Tele-Tf an einem Bereitschaftsarbeitsplatz in den meisten Fällen gerade mit einer anderen Aufgabe beschäftigt. Dies stellt hohe Anforderungen an die Gestaltung der Übernahmeanforderung. Diese muss so gestaltet sein, dass die Tele-Tf schnell und einfach einen Überblick über die Situation gewinnen können. Dennoch stellt sich die Frage, inwieweit eine Beschäftigung mit Nebenaufgaben die Übernahmegeschwindigkeit und -qualität der Tele-Tf beeinflusst. Aus dem Bahnbereich liegen dazu bisher kaum Erkenntnisse vor, es gibt jedoch einige Forschungsergebnisse aus dem Automobilbereich. Dort wurde festgestellt, dass nicht-fahrbezogene Nebenaufgaben zu längeren Übernahmezeiten führten (z. B. Choi et al., 2020) und eine geringere Übernahmequalität zur Folge hatten (z. B. Merat et al., 2012). Allerdings waren diese Nebenaufgaben auch hilfreich, um die Aufmerksamkeit bei monotonen Aufgaben zu erhalten (Köhn et al., 2019; Lu

et al., 2021). Demnach können Nebenaufgaben den negativen Effekten passiver Überwachungsaufgaben (zumindest im Automobilbereich) entgegenwirken, bringen aber Kosten bei der Übernahme mit sich.

Stellt man sich die Gestaltung des Arbeitsplatzes des Tele-Tf als Überwachungsarbeitsplatz vor, so ist durchaus denkbar, dass sich die Tele-Tf während der Phasen der passiven Überwachung mit nicht-arbeitsbezogenen Tätigkeiten beschäftigen würden. Dies bedeutet, dass die Übernahme auch bei der Gestaltung als Überwachungsarbeitsplatz nicht immer reibungslos funktionieren würde, sei es durch die Bearbeitung nicht-arbeitsbezogener Nebenaufgaben oder z. B. durch den Aufmerksamkeitsverlust durch die dauerhafte Überwachungsaufgabe. In einer ersten Studie mit Tf und Laien zum Anwendungskontext Teleoperation als Rückfallebene für ATO GoA 4 stellten Schackmann et al. (2025; Schackmann, 2025) ein ähnliches Muster wie in den oben beschriebenen Studien im Automobilkontext fest. Wenn die Teilnehmenden vor einer Übernahme eine Nebenaufgabe bearbeiteten, konnten sie den Grund für die Übernahmeanforderung in einer auf acht Sekunden begrenzten Szenariosequenz etwas weniger häufig erkennen als ohne Nebenaufgabe. Gleichzeitig erhöhte das Bearbeiten einer Nebenaufgabe die mentale Beanspruchung, was bei monotonen Aufgaben grundsätzlich ein erwünschter Effekt ist – wobei zu beachten ist, dass die mentale Beanspruchung in der konkreten Studie in allen Bedingungen höher war als optimal war. Das Bereitstellen von validen aufmerksamkeitslenkenden Hinweisen im Rahmen der Übernahmeaufforderung verbesserte in allen Bedingungen die Erkennung des Übergabegrundes. Ob die positiven Effekte von Nebenaufgaben am Ende die negativen überwiegen, ist vermutlich u. a. von der Frequenz von anfallenden aktiven Tätigkeiten und dem in Zwischenphasen entstehenden Beanspruchungsniveau abhängig. Es gibt zudem Hinweise, dass der Wechsel zwischen kognitiv ähnlichen Aufgaben leichter möglich ist als der zwischen unähnlichen (Arrington et al., 2003). Daher wird vermutet, dass sachbezogene Nebenaufgaben, wie z. B. Trainingsaufgaben, für den Wechsel zu aktiven Tele-Tf-Aufgaben grundsätzlich besser geeignet sind als sachfremde Tätigkeiten (z. B. Handyspiele). Dies sollte in zukünftigen Studien aber noch für den Kontext des Tele-Tf-Arbeitsplatzes untersucht werden.

3.2.2 Arbeitsbezogene Nebenaufgaben für Tele-Tf

Für potenzielle ergänzende Nebenaufgaben der Tele-Tf wurde im Projekt als wichtig erachtet, dass diese Tätigkeiten sinnstiftend sind und einen Bezug zur eigentlichen Tätigkeit der Tele-Tf haben (Übernahme der Zugsteuerung im Problemfall). Es wurden verschiedene Ideen entwickelt, welche Tätigkeiten die Aufgaben der Tele-Tf sinnvoll ergänzen könnten. Es wurde vorgesehen, dass diese Tätigkeiten klar Teil der Aufgabenbeschreibung der Tele-Tf sein sollten, die Mitarbeitenden also auch für diese Aufgaben ausgebildet sein sollten. In Tabelle 2 sind die gesammelten Ideen dargestellt.

Generell wurde die Übernahme von *Aufgaben im EIU* im Rahmen des Projekts nicht weiter betrachtet. In der durchgeführten Fokusgruppe wurde deutlich, dass eine Zuordnung der Tele-Tf zum EVU sinnvoller wäre. Grund dafür ist zum einen der Grundsatz des gleichberechtigten Netzzugangs für alle EVU. Würden die Tele-Tf zusätzlich zu den EVU-Aufgaben Aufgaben des EIU übernehmen, könnte es zu einem Interessenkonflikt zwischen den Anforderungen der unterschiedlichen Aufgaben

kommen. Des Weiteren wird die Umsetzung der Teleoperation ohnehin eine technische und organisationale Herausforderung. Es ist fraglich, ob es sinnvoll wäre, die Komplexität der Umsetzung der Teleoperation durch die Verknüpfung von Aufgaben aus zwei Organisationseinheiten zu erhöhen, die im jetzigen Bahnbetrieb getrennt operieren.

Eine alleinige Zuordnung der Tele-Tf zum EIU stände auch im Widerspruch mit dem aktuellen europäischen Marktsystem. Es ist vorgesehen, dass der Bahnbetrieb in einem freien Eisenbahnmarkt durch EIU und EVU durchgeführt wird, die gemäß dem Vierten Eisenbahnpaket der Europäischen Kommission organisatorisch getrennt sein sollen (Europäische Kommission, 2013). Das heißt, es soll Organisationen geben, die Züge fahren, und Organisationen, die das Netz betreuen. Eine Zuordnung der Tele-Tf zu den EIU würde diese Trennung aufheben. Dessen ungeachtet wird jedoch vermutlich eine enge Zusammenarbeit zwischen Tele-Tf und Mitarbeitenden des EIU (z. B. Fdl) notwendig sein. Es wäre also potenziell sinnvoll, wenn die Tele-Tf (aller EVU) gemeinsam mit den Mitarbeitenden des EIU in einer Zentrale arbeiten würden, um so kurze Wege für den Austausch zu ermöglichen.

Tabelle 2: Gesammelte Ideen für Aufgaben der Tele-Tf in Arbeitsperioden ohne Übernahmeaufforderung innerhalb des ATO-Betriebs

Aufgaben im EVU	Übernahme von Aufgaben in der Disposition des EVU Personalplanung, z. B. Erstellen von Einsatzplänen Übernahme von anderen Verwaltungsaufgaben oder Datenpflege Unterstützung des Störungsmanagements oder der Instandhaltung bei den Zügen Schulung anderer Mitarbeitender
aktive Tätigkeiten als Tele-Tf	gegenseitige Unterstützung in Situationen mit hoher Arbeitslast eigene fachliche Weiterbildung über Simulationsaufgaben, Fahrdynamiktraining oder Technikschulungen Rangier- und Zugvorbereitungsdienst routinemäßige Streckenbeobachtung zur Prüfung der Vegetation oder der Signalisierung
Aufgaben im EIU	Erstellung von Verspätungsbegründungen Erstellung von Betriebs- und Bauanweisungen (Betra) Unterstützung im Fahrplan- und Kapazitätsmanagement Übernahme von Serviceaufgaben im digitalen Kundenzentrum oder in der Kundeninformation

Da eine Durchmischung der Aufgaben des EVU und EIU aus den oben genannten Gründen im Projekt als nicht sinnvoll erachtet wurde, wurden vor allem Ideen aus den Kategorien *Aktive Tätigkeiten als Tele-Tf* sowie *Aufgaben im EVU* weiter ausgearbeitet. Aktive Tätigkeiten der Tele-Tf im Regelbetrieb sind auf der einen Seite z. B. Rangiertätigkeiten oder die Fernsteuerung bei Zustellfahrten zur ATO-Strecke. Diese aktiven Tele-Tf-Aufgaben im Regelbetrieb sind in den erarbeiteten Szenarien (siehe Abschnitt 3.1) dargestellt worden. Auf der anderen Seite könnte eine gegenseitige kollegiale Unterstützung in Zeiten hoher Arbeitsbelastung Teil der aktiven Tele-Tf-Aufgaben sein. Dies würde vo-

raussetzen, dass mehrere Tele-Tf gemeinsam in Betriebszentralen arbeiten. Die gegenseitige Unterstützung könnte z. B. in Form einer offiziellen Übergabe von Zügen an andere Tele-Tf umgesetzt werden (siehe Szenario ID 12 und 13). Zusätzlich wäre eine Form der informellen Unterstützung möglich, bei der z. B. Tele-Tf, die viel Erfahrung mit Störungen haben, unerfahreneren Kolleginnen und Kollegen mit Rat zur Seite stehen. Diese Form der Unterstützung würde zum einen niedrigschwelligen Wissenstransfer von erfahrenen zu weniger erfahrenen Tele-Tf ermöglichen und zum anderen einen Übungseffekt bei der Störungsbearbeitung für die unterstützenden Tele-Tf haben. Insgesamt lässt sich eine derartige Zusammenarbeit und gegenseitige Unterstützung aber nur umsetzen, wenn dies von den Vorgesetzten aktiv befürwortet und angeregt wird.

Über die Lerneffekte der gegenseitigen Unterstützung hinaus wäre es zudem sinnvoll, wenn Tele-Tf Zeiten der niedrigen Arbeitslast für die eigene fachliche Weiterbildung nutzen. Dies könnte im Rahmen von computerbasierten Simulationsaufgaben oder Technikschulungen, gegebenenfalls ergänzt durch Fahrdynamiktrainings, umgesetzt werden. Im Rahmen von computerbasierten Trainings oder Simulationsaufgaben könnten Tele-Tf seltene, neue oder fehleranfällige Handlungsabläufe üben und so ihre Handlungssicherheit erhöhen. Dabei muss allerdings darauf geachtet werden, dass diese Trainings mit den eigentlichen Aufgaben der Tele-Tf vereinbar sind. Es sollten daher kurze, unterbrechbare Trainingssequenzen geschaffen werden, aus denen der Wechsel in andere Aufgaben leichtfällt. Die Immersion in Simulationsaufgaben sollte also nicht zu umfassend sein. Zudem muss auf den Bedienoberflächen klar erkennbar sein, ob sich Tele-Tf aktuell in der Trainingssimulation oder im realen Betrieb befinden, oder die Simulation wird auf einem separaten Bildschirm umgesetzt.

Es stellt sich abschließend die Frage, ob die ergänzenden Trainingsaufgaben für Tele-Tf auf einer freiwilligen Basis angeboten werden sollten oder Teil der Arbeitsbeschreibung der Tele-Tf sind. Als Teil der Arbeitsbeschreibung könnte man mit simulationsbasierten Trainings die Handlungssicherheit der Tele-Tf sicherstellen und wichtige Inhalte weitergeben. Allerdings müsste dann auch die notwendige Arbeitszeit gesichert zur Verfügung stehen. Bei einer Freiwilligkeit wären die Trainings ein Angebot für Zeiten mit sehr niedriger Arbeitslast, welches potenziell von Tele-Tf anstatt fachfremder Tätigkeiten genutzt werden würde, um Langeweile und Monotonie zu vermeiden. Die Motivation zur Nutzung könnte bei einer Freiwilligkeit eventuell durch Methoden der Gamification, wie Quizfragen, das Sammeln von Punkten oder Highscores, gesteigert werden. Für die Umsetzung einer derartigen Gamification wäre es notwendig, Forschungsergebnisse für die Umsetzung aus anderen sicherheitskritischen Bereichen heranzuziehen, um zu vermeiden, dass die Bearbeitung der Trainingsaufgaben zum Sicherheitsrisiko wird.

Zusätzlich zu den aktiven Tätigkeiten als Tele-Tf könnten auch Dispositionsaufgaben des EVU Teil der Aufgaben der Tele-Tf sein. Innerhalb der möglichen Zusatzaufgaben im EVU lag hierauf der Fokus der Diskussion. Grundsätzlich wurde davon ausgegangen, dass weiterhin auch reine Disponentinnen und Disponenten für das EVU tätig sind. Da diese jedoch häufig eine sehr hohe Aufgabenlast zu bewältigen haben, könnte eine Übernahme von Dispositionsaufgaben durch die Tele-Tf sinnvoll sein. Aufgaben, die von den Disponentinnen und Disponenten abgegeben werden könnten, sollten jedoch zeitlich unterbrechbar sein (also z. B. nicht Telefonate beinhalten) und nicht zeitkritisch sein, um eine Vereinbarkeit mit den Tele-Tf-Aufgaben zu ermöglichen.

Bezüglich der Umsetzung wurde vorgeschlagen, dass Tele-Tf die Disponentenaufgaben über ein Ticketsystem erhalten. Tele-Tf greifen auf das Ticketsystem zu und können daraus Aufgaben auswählen, die sie bearbeiten möchten. Beispiele für derartige Aufgaben wären Trassenbestellungen, die Durchführung von Einzelgrenzlastberechnungen oder die Buchung von Hotels oder Taxifahrten für vor Ort operierende Tf. Ergänzend zu diesen Aufgaben wäre es zudem denkbar, dass Tele-Tf die Disponentinnen und Disponenten im Rahmen von organisatorischen Aufgaben bei Abweichungen vom Regelbetrieb unterstützen. Das wäre insbesondere dann sinnvoll, wenn die Disponentin bzw. der Disponent des EVU mit weiteren Beteiligten kommunizieren muss – z. B. Fdl oder Disponentinnen und Disponenten des EIU – um notwendige Maßnahmen bei Abweichungen abzustimmen oder Anschlüsse für Reisende zu organisieren. Insgesamt würde eine Unterstützung durch Tele-Tf Aufgaben beinhalten, welche für diese nicht absolut fachfremd und für den Betrieb offensichtlich wichtig und sinnvoll sind – Aufgaben also, die gut geeignet sein könnten, um die Aufgaben der Tele-Tf zu ergänzen. Gleichzeitig würde die Leistung des Gesamtsystems durch die Entlastung der Disponentinnen und Disponenten potenziell gesteigert.

4 Analyse der Tele-Tf-Anforderungen

Im AP 3 wurden die Ergebnisse von AP 1 und 2 zusammengeführt, indem konkrete Anforderungen an die Teleoperation unter ATO abgeleitet wurden. Es wurde ein Anforderungskatalog mit Anforderungen zu den Themenbereichen *Sensorik und technische Infrastruktur*, *Faktor Mensch & nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung* sowie *Betriebliche Szenarien* erstellt. Ergänzend wurden die Anforderungen an die für die Teleoperation notwendige Sensorik mit dem Sensorik-Konzept des DZSF-Projekts *ATO-Sensorik* (Leinhos et al., 2022) abgeglichen, um so einen validierten Überblick über die für Teleoperation erforderliche Sensorik zu erstellen.

4.1 Vorgehen zur Erarbeitung des Anforderungskatalogs

In einem ersten Schritt wurden die Ergebnisse der Interviews und Literaturrecherche aus AP 1 im Hinblick auf Anforderungen an das Berufsbild der Tele-Tf analysiert. Zudem wurden aus den erarbeiteten Szenarien aus AP 2 Anforderungen abgeleitet. Danach wurde die Priorität der Anforderungen von vier DLR-Beschäftigten mit hoher Bahnexpertise auf einer Skala von 1 bis 3 eingeschätzt. Die Priorität bezog sich auf die Wichtigkeit der jeweiligen Anforderung bei der Umsetzung eines ATO-Systems mit Teleoperation. Zudem wurde die Anwendbarkeit der Anforderungen für die Geschäftsbereiche Personenverkehr und Güterverkehr beurteilt. Bei den Anforderungen wurde, wo es möglich und sinnvoll war, zudem das Technology Readiness Level (TRL) eingeschätzt. Dazu wurde die Definition der TRL aus Annex G des Work Programme 2014–2015 des europäischen Förderprogramms Horizon 2020 genutzt (European Commission, 2015; siehe Tabelle 3). War es nicht sinnvoll, für eine bestimmte Anforderung ein TRL einzuschätzen (z. B., weil es inhaltlich keine rein technische Anforderung war), wurde in der Tabelle ein * mit der Bedeutung eingefügt: *TRL kann derzeit nicht sinnvoll bewertet werden.*

Die erarbeiteten Anforderungen liegen dem Bericht als Anlage *Anforderungskatalog.xlsx* bei. Der Aufbau der Tabelle (erster Reiter) ist dabei wie folgt:

Spalte A – Gruppe: Die Anforderungen wurden für eine einfachere Nutzbarkeit in vier thematischen Gruppen angeordnet. In dieser Spalte ist der jeweilige thematische Fokus dargestellt (*Aufgabengestaltung*, *Arbeitsplatzgestaltung*, *Fertigkeiten* und *technisches System*). Zur besseren Übersicht sind die unter einer thematischen Gruppe gruppierten Anforderungen in der Excel-Datei zusammengefasst und können durch Klicken des „+“ auf der linken Seite in der jeweils darunter liegenden Zeile eingeblendet bzw. durch Klicken des „-“ in der Zeile unterhalb des letzten jeweiligen Eintrags ausgeblendet werden.

Spalte B – Anforderungs-ID: In dieser Spalte ist eine Identifikationsnummer für die Anforderung aufgeführt. Die Benennung erfolgt dabei entsprechend der drei Themenschwerpunkte *HF* – Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch, *ST* – Sensorik & Technische Infrastruktur, *Bet* –

Betriebliche Szenarien. Es wird jeweils das Kürzel des Themenschwerpunkts genutzt, gefolgt von einem Unterstrich und einer aufsteigenden Nummerierung (z. B. HF_02).

Tabelle 3: Definition der TRL nach Horizon 2020

TRL 1	Grundprinzipien wurden beobachtet.
TRL 2	Technologiekonzept wurde formuliert.
TRL 3	Technologiekonzept wurde experimentell nachgewiesen.
TRL 4	Technologie wurde im Labor überprüft.
TRL 5	Technologie wurde in relevanter Umgebung validiert (bei Schlüsseltechnologien im industrieorientierten Umfeld).
TRL 6	Technologie wurde in relevanter Umgebung getestet (bei Schlüsseltechnologien im industrieorientierten Umfeld).
TRL 7	System-Prototyp wurde im realen Einsatz getestet.
TRL 8	System wurde vervollständigt und qualifiziert.
TRL 9	System funktioniert in operationeller Umgebung (bei Schlüsseltechnologien oder Raumfahrt wettbewerbsfähige Fertigung).

Spalte C – Themenschwerpunkt: In dieser Spalte ist der jeweilige Themenschwerpunkt der Anforderung mit einer numerischen Kennung benannt: 1 Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch, 2 Sensorik & Technische Infrastruktur, 3 Betriebliche Szenarien.

Spalte D – Beschreibung.: In dieser Spalte wird die Anforderung inhaltlich beschrieben.

Spalte E – *Im gegenwärtigen Bahnbetrieb nutzbare Grundlagen*: In dieser Spalte wird aufgeführt, was eine nutzbare Grundlage für die Umsetzung der Anforderung im gegenwärtigen Bahnbetrieb sein könnte (falls zutreffend).

Spalte F – Priorität: In dieser Spalte wird die Priorität der Anforderung (Wichtigkeit bei der Umsetzung eines ATO-Systems mit Teleoperation) auf einer Skala von 1 – hoch, 2 – mittel und 3 – gering gemäß der Einschätzung durch vier DLR-Bahnexpertinnen und -experten dargestellt.

Spalte G – TRL: Falls zutreffend, wird in dieser Spalte die Bewertung des TRL mit Blick auf die Umsetzbarkeit der Anforderung dargestellt.

Spalte H – Geschäftsbereich: In dieser Spalte wird dargestellt, für welchen Geschäftsbereich die Anforderung relevant ist: P – Personenverkehr, G – Güterverkehr, P&G – beide.

Spalte I – Quellen: In dieser Spalte sind die Quellen aufgeführt, die bei der Ableitung der Anforderungen genutzt wurden. Für bessere Übersicht sind die Quellen in Form von Indizes aufgeführt. Die Liste aller Quellen zu den Indizes ist auf dem Reiter *Quellen* in derselben Datei zu finden.

4.2 Ergebnisse: Anforderungskatalog

Im Folgenden werden die Anforderungen für jede der thematischen Gruppen (*Aufgabengestaltung*, *Arbeitsplatzgestaltung*, *Fertigkeiten* und *technisches System*) zusammengefasst (siehe Tabelle 4). Dabei kann nicht auf jede Anforderung einzeln eingegangen werden. Stattdessen werden die wichtigsten Fragestellungen vorgestellt, auf die sich die Anforderungen in den einzelnen Themengruppen beziehen. Die Zusammenfassung erfolgt nach den genannten Themengruppen und nicht nach den übergeordneten Schwerpunkten (*Nutzerzentrierte Arbeitsplatzgestaltung & Faktor Mensch*, *Sensorik & Technische Infrastruktur* und *Betriebliche Szenarien*), da die Themengruppen den Prozess der Entwicklung eines neuen Berufsbilds besser abbilden. In jede der Themengruppen fließen Anforderungen aus jedem der drei Themenschwerpunkte ein: Bei der Gestaltung eines Berufsbilds ist die Gestaltung der Aufgabe häufig der Ausgangspunkt. Daraus leiten sich die Gestaltung des Arbeitsplatzes sowie die erforderlichen Fertigkeiten der Tele-Tf ab. Das technische System begrenzt die Möglichkeiten bei der Aufgaben- und Arbeitsplatzgestaltung, doch die Anforderungen an das technische System werden durch diese auch beeinflusst.

Im Bereich der *Aufgabengestaltung* beziehen sich viele Anforderungen auf das Erreichen einer möglichst optimalen Arbeitsbeanspruchung, d. h. Monotonie, Unterbeanspruchung, aber auch eine zu hohe Arbeitsbeanspruchung oder starker Zeitdruck sollten vermieden werden. Zudem wird in den Anforderungen die Wichtigkeit des Situationsbewusstseins deutlich, insbesondere in Bezug auf Übernahmesituationen. Hier zeigt sich bei der Gestaltung der Übernahmeanforderungen und Bedienoberflächen eine Schnittstelle zwischen den Anforderungen an die Aufgabengestaltung und die Gestaltung des Arbeitsplatzes. Diese sollten so gestaltet sein, dass das Situationsbewusstsein schnell und einfach aufgebaut werden kann. Ein wichtiger Teil der Anforderungen zur Aufgabengestaltung ist zudem die Aufgabenaufteilung, -übergabe und -übernahme. Zum Beispiel müssen Rollen der einzelnen Akteure klar definiert werden oder Übergabeprozesse zwischen Tele-Tf und ATO-System, aber auch Tele-Tf und Tele-Tf definiert und festgelegt werden. Teil der Aufgabenaufteilung ist auch die Zuweisung des Zuständigkeitsbereichs der Tele-Tf. Dies bezieht sich vor allem auf die Frage, wie die Aufgaben zwischen den Tele-Tf aufgeteilt werden, d. h. ob ein Tele-Tf z. B. allein für alle Züge in einem Bereich zuständig ist oder ob sich mehrere Tele-Tf einen Zuständigkeitsbereich teilen. Weitere Anforderungen beziehen sich bei der Aufgabengestaltung auf Faktoren wie Handlungsspielraum, Ganzheitlichkeit und Sinnhaftigkeit der Aufgaben – Faktoren, die für die Arbeitszufriedenheit der Tele-Tf zentral sind.

Viele Anforderungen an die *Arbeitsplatzgestaltung* beziehen sich erwartungsgemäß auf die ergonomische und nutzerfreundliche Gestaltung des Arbeitsplatzes, insbesondere auf die Gestaltung der Übernahmeaufforderung des Systems an die Tele-Tf, um schnell Situationsbewusstsein herzustellen. Damit einher geht auch die Anforderung, das Modusbewusstsein der Tele-Tf sicherzustellen, z. B. zwischen Fahren auf Sicht oder signalgeführter Fahrt. Insgesamt widmen sich viele Anforderungen dem Informationsmanagement – wie werden Informationen dargeboten, welche Informationen werden dargeboten und wo fließen Informationen zusammen? Weitere Anforderungen beziehen sich auf die Notwendigkeit eines transparenten und verständlichen Systems, um das Vertrauen der

Tele-Tf in das System sicherzustellen, Systemverständnis zu fördern und Ausbildungszeiten zu reduzieren. Außerdem wird in den Anforderungen dargestellt, dass Tele-Tf in einem Kontrollzentrum gemeinsam arbeiten sollten, um Wissensaustausch und ein geteiltes Situationsbewusstsein zu fördern (siehe auch Abschnitt 2.2.5).

Tabelle 4: Übersicht über die zentralen Themen des Anforderungskatalogs

Themengruppe	**Anforderungen mit Fokus auf**
Aufgabengestaltung	Beanspruchung Situationsbewusstsein Handlungsspielraum/Ganzheitlichkeit/Sinnhaftigkeit Aufgabenaufteilung/-übergabe/-übernahme Zuständigkeitsbereich
Arbeitsplatzgestaltung	Transparenz/Verständlichkeit des Systems Modusbewusstsein Ergonomie/Usability der Bedienelemente/des Displays/der Schnittstellen Informationsmanagement Arbeitsort Gestaltung der Übernahmeanforderung
Fertigkeiten	Training/Weiterbildung Zugsteuerung Handlungsfähigkeit im (seltenen) Störfall Streckenkenntnis technisches Wissen/Systemverständnis Richtlinienkenntnis
Technisches System	Latenz Übertragungsausfall Kommunikationssysteme erforderliche Daten Funktionalitäten des Systems

Anforderungen an die *Fertigkeiten* der Tele-Tf betreffen zum einen auf die Zugsteuerung. Tele-Tf sollten in der Lage sein, die Fahrtätigkeit auszuüben (z. B. Geschwindigkeit regeln, Zugsicherungssysteme bedienen). Es besteht allerdings die Frage, ob jeder Tele-Tf jeden Zug steuern darf. Des Weiteren sollten Tele-Tf über ein generelles Systemverständnis und technisches Wissen, gepaart mit Streckenkenntnis für die Strecken im eigenen Verantwortungsbereich und Richtlinienkenntnis, verfügen. Durch Training und Weiterbildungen sollten das Tiefenwissen der Tele-Tf erhalten oder gesteigert werden sowie die Handlungsfähigkeit im (seltenen) Störfall erhalten bleiben.

Um Teleoperation zu ermöglichen, werden auch Anforderungen an die Funktionalitäten des technischen Systems (z. B. Diagnosesysteme, Sensorik, Aufzeichnung der Daten der Hinderniserkennung)

gestellt. Es wurde aufgezeigt, welche Daten und Informationen den Tele-Tf vorliegen sollen, beispielsweise die aktuell vorliegende Latenz. Anforderungen in Bezug auf die erforderlichen Kommunikationssysteme zeigen zunächst auf, mit wem Tele-Tf kommunizieren müssen. Über die Anforderung zuverlässiger Kommunikationssysteme hinaus wurde identifiziert, dass eine technische Unterstützung der Kommunikation notwendig sein könnte, um die Arbeitsbelastung der Tele-Tf durch Kommunikationsprozesse zu reduzieren. Abschließend müssen Prozesse festgelegt werden, wie mit einem Verlust der Datenverbindung zum Zug umgegangen wird, da ein sofortiges Stehenbleiben des Zugs bei Verbindungsverlust als einzig mögliche Reaktion betrieblich nicht sinnvoll sein könnte.

4.3 Vorgehen zur Bewertung des Sensorikkonzepts für Teleoperation

Ein zweiter Teil der Arbeit in AP 3 zielte darauf ab, zu beurteilen, ob die in AP 2 erarbeiteten Teleoperationsszenarien unter Anwendung des Sensorikkonzepts aus dem DZSF-Projekt *ATO-Sensorik* (Leinhos et al., 2022) bearbeitet werden könnten oder ob dazu andere oder ergänzende Sensorik notwendig wäre. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine Recherche zum Stand der Technik in Bezug auf Sensoren für die Umfelderfassung durchgeführt. Diese Recherche war zum einen notwendig, um das Themengebiet Umfeldsensorik speziell hinsichtlich der Eignung für die Tele-Tf zu beleuchten. Zum anderen entwickelt sich der Stand der Technik in Bezug auf die Umfeldsensorik sehr schnell weiter. Es ist zu erkennen, dass sich neuartige Sensoren wie z. B. 4D-Radar oder 4D-Lidar im Automobilbereich zunehmend am Markt durchsetzen (Cenkeramaddi et al., 2020; Fan et al., 2024). Zudem befinden sich neue Technologien in Entwicklung wie z. B. Nah-Infrarot-Bereich-(NIR-)Laserscheinwerfer. Um auch Entwicklungen zu berücksichtigen, die nach der Erarbeitung des Ergebnisses von ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) stattfanden, wurde der aktuelle Stand der Technik betrachtet (siehe Abschnitt 4.4 und Anhang A2). Auf dieser Basis wurde analysiert, inwiefern die für ATO in Frage kommenden Sensortechnologien auch die benötigten Umweltinformationen im Rahmen der Teleoperation liefern (Abschnitt 4.4). Zudem wurde ausgearbeitet, warum ein Sensorikkonzept für ATO für eine Zulassung voraussichtlich auf dem Prinzip der diversitären Redundanz aufgebaut sein muss und welche Konsequenzen dies für die Teleoperation hätte (Abschnitt 4.5).

Im Anschluss wurden die Anforderungen an die Sensorik analysiert, die sich aus den erarbeiteten Teleoperationsszenarien ergeben. Diese Anforderungen wurden dem Sensorikkonzept von ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) gegenübergestellt und verglichen, um so feststellen zu können, ob die Anforderungen bereits durch das Sensorikkonzept abgedeckt sind oder ob Lücken vorhanden sind (Abschnitt 4.6).

Wenn im Folgenden von einem Sensor gesprochen wird, so ist damit – sofern nicht weiter erläutert – jeweils der Sensor samt der zugehörigen Verarbeitungskette zur Objektdetektion gemeint. In der Verarbeitungskette werden im Allgemeinen aus den Rohdaten des Sensors Objekthypothesen generiert, welche meist die Sicherheit bzw. Unsicherheit der Detektion, eine Objektklasse (Fahrzeug, Mensch, Tier) sowie einen Parametervektor (Objektparameter, wie Position, Geschwindigkeit, Länge,

Breite, Höhe etc.) samt einer Kovarianzmatrix (Werte zur Beschreibung der Unsicherheiten der Schätzung) umfassen.

4.4 Sensortechnologien für ATO und Teleoperation

Die Ergebnisse der Recherche zum Stand der Technik mit Blick auf die Umfelderfassung durch Sensoren sind im Detail im Anhang A2 dargestellt. Tabelle 5 zeigt eine Zusammenfassung der physikalischen Messprinzipien und grundsätzlichen Eigenschaften relevanter Sensoren, die für eine Umfelderfassung im Rahmen von ATO in Frage kommen.

Die dargestellten Sensoren sind potenziell für automatisierte Wahrnehmungssysteme von Schienenfahrzeugen geeignet. Im Rahmen des vorliegenden Projekts steht die Frage im Fokus, inwiefern sich diese Sensoren auch für die Versorgung menschlicher Tele-Tf mit notwendigen Umgebungsinformationen im Rahmen der Teleoperation qualifizieren. In Bezug auf diese Fragestellung können zusammenfassend, basierend auf den Recherchen zum Stand der Technik in Anhang A2, die folgenden Aussagen getroffen werden:

- Für die Teleoperation hat das Vorhandensein von Kameras im Spektrum des sichtbaren Lichts sowie im NIR-Bereich Priorität, da deren Darstellung dem gewohnten visuellen Eindruck ähnelt und der menschliche Sehsinn es gewohnt ist, aus solchen Bildern sehr detaillierte Informationen über Typ und Bewegungszustand der erfassten Objekte abzuleiten. Der Mensch kann Kamerabilder leichter interpretieren als Lidar- oder Radarscans. Durch geeignete Techniken der Falschfarbendarstellung, Augmentierung und algorithmischer Unterstützung (z. B. Objekterkennung mittels Deep Learning) sowie durch geeignetes Training der Tele-Tf könnte die Leistungsfähigkeit jedoch auch für solche Systeme gesteigert werden.
- Statt einer Monokamera kann eine Stereokamera zum Einsatz kommen, und den Tele-Tf kann ein stereoskopisches oder 3D-Display angeboten werden. Studien haben ergeben, dass dies im Vergleich zur Monokamera Vorteile haben kann (Drascic & Grodski, 1993). Eine Studie zur Effektivität von stereoskopischen Systemen im Vergleich zu monokularen Systemen bei der Teleoperation von Bodenfahrzeugen hat signifikant bessere Erkennungsleistungen der Teleoperateurinnen und -operateure in Hinblick auf die Vermeidung von Kollisionen ergeben, wenn diese ein stereoskopisches 3D-Display zur Verfügung hatten (Luo et al., 2021). Dabei muss berücksichtigt werden, dass stereoskopische Bilder bei Menschen aber auch Übelkeit und Stress hervorrufen können (Scribner & Gombash, 1998). In der Literatur fehlen bisher Studien, die Mono- und Stereo-Visionssysteme speziell für die Teleoperation im Schienenverkehr unter Berücksichtigung von Erkennungsleistung und Ermüdung der Tele-Tf vergleichend untersuchen. Daher ist es derzeit schwierig, eine Aussage hinsichtlich der Frage zu treffen, in welche Richtung sich der Stand der Technik entwickeln wird. Möglicherweise sind die Vorteile des stereoskopischen Systems bei einem spurgeführten System weniger relevant und die möglichen Nachteile, wie Ermüdung und Übelkeit, überwiegen.

- Moderne Lidar-Systeme generieren auch sogenannte Reflektanzbilder (s. a. Abbildung 22 in Anhang A2). Ein Reflektanzbild ähnelt dem Bild einer Schwarz-Weiß-Stereokamera. Zudem kann ein Reflektanzbild den Tele-Tf ebenso über ein 3D-Display oder Stereo-Visionssystem angeboten werden. Aus Sicht der Teleoperation sind daher Lidar-Systeme als vorteilhaft anzusehen, die ein Reflektanzbild erzeugen. Herkömmliche Lidar-Systeme erzeugen keine Reflektanzbilder, sondern allein 3D-Punktwolken.
- Aus Sicht der Teleoperation ist der Einsatz von NIR-Hochleistungsscheinwerfern für die Nachtsicht wünschenswert, weil damit natürlich wirkende Bilder entstehen, die für das menschliche visuelle System gut verständlich sind und eine hohe Erkennungsleistung der Tele-Tf begünstigen.
- Eine größere Reichweite ist mit Thermalkameras zu erzielen. Da das Bild einer Thermalkamera menschlichen Tele-Tf nicht ohne weiteres verständlich ist, hat die Überblendung des Bildes der Thermalkamera mit einem natürlichen Kamerabild (vgl. Abbildung 20 in Anhang A2) und die Präsentation als Falschfarbenbild aus Sicht der Teleoperation einen hohen Stellenwert.
- Für Tele-Tf ist es wichtig, Sensordaten aus einem gewissen Zeitintervall aus der Vergangenheit abrufen zu können, da sie sich in der Regel erst auf den Zug aufschalten, nachdem dies aufgrund eines Ereignisses notwendig geworden ist. In dieser Situation muss es möglich sein, eine Wiederholung bzw. Rückschau der vorhergehenden Ereignisse durchzuführen, um eine angemessene Situationsanalyse durchführen zu können. In diesem Zusammenhang wird u. a. auf die Szenarien 14 Warnzustand Zugstatus sowie 5 a, 5 b und 6 Zugstörung extern verwiesen. In beiden Fällen können Tele-Tf historische Daten der Sensorik nutzen, um die mögliche Ursache der Störung, z. B. eine Kollision mit einem größeren Gegenstand oder Tier, zu identifizieren.

Tabelle 5: Sensortechnologien und ausgewählte Eigenschaften

Sensor (+ ggf. Algorithmus)	**Winkeltrennfähigkeit**	**Winkelauflösung**	**Parameter**	**Reichweite**	**Einfluss von**	**Einsetzbarkeit bei spezifischen Bedingungen**				**Marktsituation**
						Schneefall	Nebel	Regen	Dunkelheit	
4D-Radar	Typischerweise 1°	Typischerweise 0.1°	Azimuth Elevation Δx Δv	280 m	RCS	☒	☒	☒	☒	4D-Radarsysteme kostengünstig verfügbar (< 5 000 €)
Thermal	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Temperatur	10 km	Wärmeabstrahlung	☐	☒	☐	☒	Thermalkameras mit großer Reichweite im Kostenrahmen 5 000 €–10 000 € verfügbar
NIR	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Reflektivität	100 m	Reflektivität	☐	☐	☐	☒	NIR-Systeme mit geringer Reichweite sind marktüblich, Laserscheinwerfer mit größerer Reichweite in Entwicklung
Kamera: sichtbares Licht	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Reflektivität	10 km	Farbe/Kontrast zum Hintergrund	☐	☐	☐	☐	Kameras mit bis zu 40x Zoom marktüblich (< 5 000 €)
Kamera: stereoskopische Tiefenschätzung	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Δx Δv*	100 m	Farbe/Kontrast zum Hintergrund	☐	☐	☐	☐	Thermal, NIR, sichtbares Licht

Sensor (+ ggf. Algorithmus)	**Winkeltrennfähigkeit**	**Winkelauflösung**	**Parameter**	**Reichweite**	**Einfluss von**	**Einsetzbarkeit bei spezifischen Bedingungen**				**Marktsituation**
						Schneefall	Nebel	Regen	Dunkelheit	
Kamera: monokulare Tiefenschätzung	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Δx $\Delta v*$	1 000 m	Farbe/Kontrast zum Hintergrund	☐	☐	☐	☐	Thermal, NIR, sichtbares Licht
Kamera: SfM Tiefenschätzung	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Δx $\Delta v*$	10 m	Farbe/Kontrast zum Hintergrund	☐	☐	☒	☐	Thermal, NIR, sichtbares Licht
Kamera: Optischer Fluss	< 0,01°	< 0,01°	Azimuth Elevation Δv	100 m	Farbe/Kontrast zum Hintergrund	☐	☐	☐	☐	Thermal, NIR, sichtbares Licht
Lidar	typischerweise 0,05°	typischerweise 0,05°	Azimuth Elevation Δx Δv	Fahrzeuge: bis zu 500 m Personen: bis zu 350 m	Reflektivität	☐	☐	☐	☒	4D-Lidarsysteme kostengünstig verfügbar (< 5 000 €)

4.5 Diversitäre Redundanz als Anforderung an ATO-Sensorik und Implikationen für die Teleoperation

Derzeit gelten für Straßenfahrzeuge die Normen der Funktionalen Sicherheit (FUSI, z. B. ISO 26262) sowie der Sicherheit der beabsichtigten Funktionalität (SOTIF, z. B. ISO 21448). Diesen Normen müssen auch Systeme zum automatisierten Fahren auf der Straße genügen. Es ist zu erwarten, dass sich künftige Regelungen für ATO an diesen Normen orientieren und sie aufgreifen.

Die wenigen derzeit am Markt verfügbaren Lösungen für das hochautomatisierte Fahren im Straßenverkehr, die den gültigen FUSI- und SOTIF-Normen genügen, nutzen Multi-Sensor-Systeme (MSS) in diversitärer Redundanz. Diversitäre Redundanz impliziert, dass Sensoren zum Einsatz kommen, die unterschiedliche physikalische Messprinzipien nutzen. Beispielsweise kommen im System Drive Pilot von Mercedes Benz Lidar, Stereo- und weitere Kameras sowie mehrere Radarsensoren zum Einsatz (Drive Pilot, 2024).

Es ist davon auszugehen, dass auch ATO-Systeme MSS in diversitärer Redundanz aufweisen müssen, um die gültigen Normen für ATO zu erfüllen. Der Grund dafür ist, dass sich die aus den Normen erwachsenden Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Fehlertoleranz, Sicherheit und Verfügbarkeit des Systems zur Umgebungswahrnehmung in der Praxis so leichter bzw. überhaupt erst erfüllen lassen. Ein MSS beinhaltet Algorithmen zur Generierung eines Umgebungsmodells mittels Datenfusion sowie zur Plausibilisierung der Sensordaten (vgl. Anhang A2.6 Datenfusion und Plausibilisierung von Messungen).

Sobald die Plausibilisierung der Sensordaten eine Inkonsistenz im Umfeldmodell identifiziert hat, müssen Tele-Tf hinzugezogen werden, um zu prüfen, ob die Sensoren funktionieren, wie sie sollen, und um ggf. die Steuerung zu übernehmen, falls das aufgrund der Natur der Fehlfunktion notwendig ist. Dies stellt einen besonderen Anwendungsfall dar (vgl. dazu die Beispiele in Anhang A3). Zu diesem Fall sind die folgenden Anmerkungen zu machen:

- Das System muss mehrere (mindestens zwei) redundante Algorithmen zur Objektdetektion und Tiefenschätzung aufweisen, um die Sensordaten plausibilisieren zu können (vgl. Beispiel in Anhang A3.1 Diversitäre Redundanz mit einem 2-aus-3-System). Redundanz ist die Voraussetzung für eine Plausibilisierung, um bei unplausiblen Sensordaten Tele-Tf hinzuziehen zu können.
- Das System muss in der Lage sein, eine Multi-Sensor-Datenfusion durchzuführen und aus den Ergebnissen der verschiedenen Sensoren eine Optimalschätzung des Umgebungsmodells abzuleiten.
- Im Zuge dieser Optimalschätzung müssen alle Objekthypothesen miteinander assoziiert (einander zugeordnet) werden. Aufgrund der Assoziation kann neben der Optimalschätzung der Objektparameter auch eine Plausibilisierung des Sensorsystems erfolgen, z. B. im Sinne

eines n-minus-1-aus-n-Systems in diversitärer Redundanz (Fenner et al., 2003). Von einem solchen System spricht man, wenn das System aus Komponenten aufgebaut ist, die zwar denselben Zweck erfüllen, aber auf unterschiedliche Art und Weise. Im Fall der Erfassung von Hindernissen, Personen, Fahrzeugen oder Tieren im Umfeld des Gleises erhält man diversitäre Redundanz durch den Einsatz von Sensoren, die unterschiedliche physikalische Messprinzipien nutzen. Dennoch muss das Ergebnis der Umfeld-Erfassung gleich sein. Das heißt, n Sensoren bestätigen im Normalfall dasselbe Umfeldmodell. Weicht das Ergebnis eines der Sensoren vom Ergebnis der anderen ab, kann man diagnostizieren, dass ein Fehler und ggf. Instandsetzungsbedarf vorliegen. Dennoch kann das System mit den verbleibenden diversitär redundanten n-1 Sensoren sicher weiterbetrieben werden.

- Die Redundanz kann je nach Entfernung des Objektes variieren. Da die Sensoren unterschiedliche Reichweite haben, werden weiter entfernte Objekte naturgemäß von weniger Sensoren registriert. Je näher der Zug dem Objekt kommt, desto größer ist die Zahl der verfügbaren Sensoren, um es zu erfassen, und desto höher sind folglich die Sicherheit der Detektion und die Sicherheit der Plausibilisierung. Je weiter das Objekt entfernt ist, desto geringer ist die Sicherheit, jedoch bleibt dafür mehr Reaktionszeit (vgl. Beispiel in Anhang A2.1 Radartechnologie).

4.6 Abgleich der Anforderungen aus den Use Cases mit dem „ATO-Sensorik“-Konzept

Die aus den erarbeiteten Szenarien für die Teleoperation im Schienenverkehr (Kapitel 3) abgeleiteten Anforderungen an die Sensorik wurden mit dem Sensorikkonzept abgeglichen, das im DZSF-Projekt *ATO-Sensorik* (Leinhos et al., 2022) entwickelt wurde. Ziel war es zu beurteilen, ob die jeweiligen Szenarien mit der entsprechenden Sensorik bearbeitet werden könnten. Die Ergebnisse sind in der Anlage *Bewertung_Sensorikkonzept.xlsx* zusammengefasst und diesem Bericht beigefügt. Die Tabelle ist wie folgt aufgebaut:

- *Spalten A-C*: Szenario-ID, Name und angenommene technische Ausrüstung (Mindestausrüstung vs. Best Case) des in der jeweiligen Zeile betrachteten Szenarios aus AP 2
- *Spalte D*: die aus dem Szenario abgeleiteten, für die Teleoperation notwendigen Anforderungen an die zur Verfügung stehende Sensorik
- *Spalte E*: Darstellung der erforderlichen Sensorik aus dem Projekt ATO-Sensorik zur Erfüllung der abgeleiteten Anforderungen

Aus Sicht der Teleoperation sind alle im Sensorikkonzept des Projekts ATO-Sensorik aufgeführten Sensoren und Sensorkombinationen geeignet und sinnvoll. Da sich der Stand der Technik auf dem Gebiet der Sensorik stetig weiterentwickelt, wurden hier jedoch zusätzliche, potenziell geeignete Typen von Sensoren identifiziert, die bei ATO-Sensorik nicht berücksichtigt wurden. Diese Sensortechnologien könnten in zukünftigen ATO-Systemen potenziell Vorteile gegenüber herkömmlichen Sensoren bieten und sollen aus diesem Grund hier aufgeführt werden. Eine Durchführung der im Projekt erarbeiteten Teleoperationsszenarien ist aber auch mit dem im Projekt ATO-Sensorik erarbeiteten

Sensorikkonzept möglich. Bei den neu hinzugefügten Sensoren bzw. technischen Erweiterungen handelt es sich um die folgenden:

- 4D-Radar,
- 4D-LiDAR
- Ausleuchtung mit einem NIR-Laserscheinwerfer als Fernlicht als Ergänzung zu Kameras

4D-Radar entwickelt sich beim Einsatz in Fahrassistenzsystemen derzeit zur marktbeherrschenden Technologie, denn es ist sehr preiswert und ermöglicht ein hohes Maß an Unabhängigkeit von der Witterung und Helligkeit in der Umwelt. 4D-LiDAR verdrängt andere LiDAR-Technologien, da aufgrund des Doppler-Effekts mit 4D-LiDAR eine signifikant höhere Güte bei der Detektion bewegter Objekte vor unbewegtem Hintergrund möglich ist. NIR-Laserscheinwerfer sind derzeit noch die Ausnahme am Markt. In Kombination mit einer preiswerten Mono- bzw. Stereokamerastereokamera ist diese Technologie jedoch insbesondere für Tele-Tf interessant, da das Kamerabild im Vergleich zur 3D-Punktwolke von Radar bzw. LiDAR möglicherweise natürlicher erscheint. Sollte diese Technologie im Bereich der Fahrassistenzsysteme Marktanteile gewinnen und in größeren Stückzahlen kostengünstig hergestellt werden können, könnte sie künftig eine wachsende Bedeutung erlangen.

4.7 Fazit

Grundsätzlich ist festzustellen: Anforderungen und Prioritäten für ein Sensor-Setup eines ATO-Systems unterscheiden sich von denen für ein Teleoperationssystem im Schienenverkehr. Die beiden Anwendungsfälle sind in Anforderungsanalyse und Auslegung getrennt zu betrachten. Die von den Szenarien aus AP 2 abgeleiteten Anforderungen an die für die Teleoperation notwendige Sensorik können mit dem Sensorik-Konzept des DZSF-Projekts ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) grundsätzlich abgedeckt werden. Für eine sinnvolle Umsetzung der Teleoperation gibt es jedoch eine andere Priorisierung bei der Auswahl von Sensoren.

Sensoren, die natürliche bzw. der Natur des menschlichen Sehens nahe visuelle Eindrücke erzeugen, sind für die Teleoperation solchen vorzuziehen, die das nicht tun. Daher haben Stereo- und Monokameras im Bereich des sichtbaren Lichts sowie im NIR-Bereich, weitreichende NIR-Laserscheinwerfer und Lidar-Sensoren, die Reflektanzbilder zur Verfügung stellen, eine bessere Eignung als reine Thermalkameras oder Radarsensoren. Bei Verwendung von Thermalkameras ist darauf zu achten, dass das Sensormodul eine Überblendung (Augmentierung) mit einem Kamerabild im Spektrum des sichtbaren Lichts, z. B. als Falschfarbenbild, leistet. In Bezug auf die mögliche Verwendung von Stereoskopie und 3D-Displays muss die ggf. bessere Performanz der Tele-Tf gegen deren möglicherweise schnellere Ermüdung abgewogen werden. Hierzu liegen derzeit noch nicht ausreichend Studien vor.

Zusätzlich zu den Ergebnissen des DZSF-Projekts ATO-Sensorik (Leinhos et al., 2022) kann festgestellt werden, dass von dem ATO-Sensorik MSS eine Plausibilisierung der Sensordaten zu fordern ist ebenso wie die Verbreitung der Plausibilisierungsinformation über geeignete Kommunikationska-

näle, sodass die Aufmerksamkeit der Tele-Tf auf Triebfahrzeuge mit unplausiblen Sensordaten gelenkt werden kann. Entsprechende Diagnoseverfahren und -schnittstellen müssen definiert und implementiert werden.

5 Konzept eines Tele-Tf-Berufsbildes

Ziel von AP 4 war die Gestaltung eines attraktiven Berufsbilds für Tele-Tf, welches die betrieblichen Erfordernisse, aber auch die individuellen und gesellschaftlichen Bedürfnisse einer modernen Arbeit einbezieht. In einem ersten Schritt wurde in diesem AP definiert, was ein attraktives Berufsbild aus (arbeits-)wissenschaftlicher Sicht ausmacht. Aus den Erkenntnissen wurde ein Bewertungskonzept für das Tele-Tf-Berufsbild erarbeitet. Im nächsten Schritt wurden anhand der Methode des morphologischen Kastens aus den Ergebnissen der vorherigen AP Konzepte für das Berufsbild abgeleitet. Mit dem morphologischen Kasten wurden gemeinsam mit Fachexpertinnen und -experten (Tf und Fdl) für 25 Gestaltungsparameter die geeignetsten Ausprägungen aus den Bereichen *Aufgaben*, *technische Randbedingungen* und *betriebliche Randbedingungen* definiert, um ein abgestimmtes bestes Konzept für den Tele-Tf-Arbeitsplatz zu erarbeiten. Dieses Konzept wurde anschließend durch eine umfangreiche Stichprobe von Tf und Fdl in einer Befragung beurteilt und hinsichtlich seiner Attraktivität evaluiert. Abschließend wurden Maßnahmen beschrieben, mit denen heutige Tf und andere, zu identifizierende Personale zu Tele-Tf qualifiziert werden können.

5.1 Definition attraktiver Arbeit

Als erster Schritt in AP 4 wurde eine Literaturrecherche zu der Fragestellung durchgeführt, was ein attraktives Berufsbild aus (arbeits-)wissenschaftlicher Sicht ausmacht. Dazu wurden auch bestehende Verfahren zur Bewertung von Arbeitsplätzen betrachtet. Die Ergebnisse sind in Anlage *Merkmale_attraktiver_Arbeit.xlsx* zusammengefasst und dienten im weiteren Prozess zum einen als Inspiration bei der Sammlung von Gestaltungsparametern für den Tele-Tf-Arbeitsplatz (vgl. Abschnitt 5.2), zum anderen als Grundlage für das in der Validierungsstudie verwendete Konzept zur Bewertung des erarbeiteten Tele-Tf-Berufsbildes (vgl. Abschnitt 5.4).

Ausgehend von der Literaturrecherche wurden verschiedene Faktoren identifiziert, welche die Attraktivität von Arbeit beeinflussen. Im Anschluss wurden die Faktoren dahingehend bewertet, in welchem Ausmaß sie besonders von der Gestaltung des Berufsbilds (gegenüber organisatorischen Faktoren, der Gestaltung der Arbeitsumgebung oder Personenfaktoren) beeinflusst werden können (siehe Spalte B in *Merkmale_attraktiver_Arbeit.xlsx*). Die Faktoren, bei denen die Beeinflussungsmöglichkeit durch die Gestaltung des Berufsbilds als hoch eingeschätzt wurde, werden im Folgenden kurz beschrieben.

4. Wichtig ist die *Ganzheitlichkeit* bzw. *Vollständigkeit der Aufgaben* (Nerdinger et al., 2019; Hackman & Oldham, 1976). Dabei sind Aufgaben attraktiver, wenn sie sowohl planende, ausführende als auch kontrollierende Elemente aufweisen und die Ergebnisse der eigenen Tätigkeit selber auf Übereinstimmung mit den gestellten Anforderungen geprüft werden können. Das bedeutet, der gesamte Ablauf einer Aufgabe von Planung bis Überprüfung der Ergebnisse sollte möglichst durch einen Tele-Tf durchgeführt werden.
5. Auch mit Blick auf die *Anforderungsvielfalt* (Nerdinger et al., 2019) ergeben sich gute Möglichkeiten der Beeinflussung durch die Berufsbildgestaltung. Anforderungsvielfalt bezieht

sich darauf, dass innerhalb einer Tätigkeit möglichst Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen an die Körperfunktionen, Sinnesorgane und kognitive Verarbeitung enthalten sein sollten.

6. Zudem sind die *Möglichkeiten für soziale Interaktion* wichtig, die eine Tätigkeit bietet (Nerdinger et al., 2019). Attraktiver sind dabei Tätigkeiten, die auch Aufgaben enthalten, für deren Bewältigung Kooperation mit anderen sinnvoll, möglich oder notwendig ist.
7. Mitarbeitende möchten während ihrer Tätigkeit Möglichkeiten zur *Autonomie* erhalten und *Verantwortung* übertragen bekommen (Nerdinger et al., 2019; Hackman & Oldham, 1976; Herzberg et al., 1959). Es ist für eine attraktive Tätigkeit wichtig, dass sie Aufgaben mit Dispositions- und Entscheidungsmöglichkeiten beinhaltet.
8. In Bezug auf die Arbeitsbeanspruchung wurden drei untergeordnete Faktoren mit einbezogen, welche die Arbeitsbeanspruchung beeinflussen. Dabei sind diese nicht erschöpfend, da aber der Fokus auf der Attraktivität lag. *Zeitelastizität* und *stressfreie Regulierbarkeit* (Nerdinger et al., 2019) bezieht sich darauf, dass es für eine attraktive Tätigkeit notwendig ist, Zeitpuffer bei der Vorgabe von Zeiten zur Zielerreichung mit einzubeziehen, um so eine bessere Regulierbarkeit der Aufgaben ohne erhöhten Zeitdruck zu ermöglichen. In Bezug auf die Faktoren *Potenzial zur Unter- und Überforderung* ist es besonders wichtig, dass die Aufgaben möglichst zu einem optimalen Beanspruchungsniveau führen. Dies ist nicht nur für die Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden wichtig, sondern auch für die Attraktivität der Tätigkeit (Wiswede, 2021, S. 216).
9. Schlussendlich ist es für eine attraktive Tätigkeit wichtig, dass die Mitarbeitenden regelmäßig Leistungserlebnisse durch die Ausführung ihrer Tätigkeiten haben (Nerdinger et al., 2019; Herzberg et al., 1959).

5.1.1 Weitere Faktoren attraktiver Tätigkeiten

Für die im vorherigen Abschnitt genannten Faktoren wurde die Beeinflussungsmöglichkeit durch die Gestaltung des Berufsbilds hoch eingeschätzt. Darüber hinaus beeinflussen weitere Faktoren die Attraktivität der Arbeit, die sich jedoch nur bedingt als Teil des Berufsbilds gestalten lassen. Bei der Umsetzung des Berufsbilds in realen Unternehmen sollten diese aber ebenfalls berücksichtigt werden. Aus diesem Grund werden sie hier ebenfalls dargestellt. Sie können in organisationale Faktoren, Führung durch die Vorgesetzten sowie die Gestaltung des Arbeitsumfeldes gegliedert werden.

Die folgenden organisationalen Faktoren haben einen Einfluss auf die Attraktivität einer Tätigkeit in der betreffenden Organisation:

- Rahmenbedingungen wie das Gehalt oder das Vorliegen von Zeitarbeit beeinflussen die Attraktivität – die Tätigkeit als Tele-Tf sollte also angemessen entlohnt werden und nicht im Rahmen von Zeitarbeit erfolgen (Kauffeld, 2019; Wilkin, 2013; Herzberg et al., 1959; Nerdinger et al., 2019). Zudem sollten die Pausen geeignet und geregelt gestaltet sein (DIN EN ISO 6385:2016-12).
- Es sollte möglich sein, sich innerhalb seiner Tätigkeit weiterzuentwickeln, neues zu lernen und beruflich aufzusteigen (Nerdinger et al., 2019; Herzberg et al., 1959).

- Im Rahmen der Personalauswahl sollte darauf geachtet werden, dass die ausgewählten Mitarbeitenden über ausreichende Fähigkeiten zur Erfüllung der geforderten Aufgabe verfügen (Kauffeld, 2019).
- Empfundene Gerechtigkeit innerhalb der Organisation ist ein wichtiger Faktor der Unternehmenskultur, der die Attraktivität von Tätigkeiten beeinflusst. Dabei ist zum einen wichtig, dass die Vergütung als gerecht empfunden wird (Verteilungsgerechtigkeit; Judge et al., 2010; Greenberg, 2010; Nerdinger et al., 2019). Zum anderen sollte der Prozess zur Vorbereitung von Entscheidungen als gerecht empfunden werden (Verfahrensgerechtigkeit; Greenberg, 2010; Nerdinger et al., 2019). Sehr relevant in sicherheitskritischen Systemen ist die empfundene Gerechtigkeit in den Interaktionen zwischen Mitarbeitenden und Vorgesetzten (Interaktionale Gerechtigkeit; Greenberg, 2010; Nerdinger et al., 2019). Dies wird im Bahnbereich häufig als eine Just Culture bezeichnet, die zu einer besseren Sicherheitskultur sowie einer höheren Mitarbeiterzufriedenheit führt.
- Organisationsprozesse sollten für eine attraktive Tätigkeit so gestaltet sein, dass Mitarbeitende das Gefühl haben, auf alle wichtigen (strategischen) Informationen Zugriff zu haben (Wiswede, 2021).

Das Führungsverhalten der Vorgesetzten hat zudem einen großen Einfluss auf die Attraktivität einer Tätigkeit (Kauffeld, 2019; Judge & Piccolo, 2004; Herzberg et al., 1959). Insgesamt ist es wichtig, dass die Mitarbeitenden ihre Tätigkeit als sinnhaft (Nerdinger et al., 2019) und bedeutsam (Hackman & Oldham, 1976) empfinden und Anerkennung für ihre Leistung erhalten (Herzberg et al., 1959; Nerdinger et al., 2019). Dazu trägt das Führungsverhalten der Vorgesetzten entscheidend bei. Über die Anerkennung hinaus erwarten Mitarbeitende für eine attraktive Tätigkeit Feedback über die Qualität und die Resultate ihrer Arbeit (Hackman & Oldham, 1976). Mitarbeitende möchten die Möglichkeit zur Teilhabe an Entscheidungen haben (Nerdinger et al., 2019). Auch ein Vertrauensverhältnis zu Vorgesetzten, zu den Kolleginnen und Kollegen und auch zu der Organisation ist wichtig (Kauffeld, 2019). Hier ist jedoch nicht nur das Verhalten der Vorgesetzten relevant, auch eine empfundene gerechte Unternehmenskultur ist für das Vertrauen entscheidend.

Schlussendlich beeinflusst die Gestaltung des Arbeitsplatzes die Attraktivität der Tätigkeit. Erstens sollte der Arbeitsplatz sicher sein, also keine negativen Effekte auf die Gesundheit, die Sicherheit und das Wohlbefinden der Mitarbeitenden haben (DIN EN ISO 6385:2016-12; Herzberg et al., 1959; Nerdinger et al., 2019). Der Arbeitsplatz sollte mit geeigneten Werkzeugen, Materialien, und Arbeitsmethoden ausgestattet sein (Kauffeld, 2019). Er sollte zudem regulierbar sein, d. h. es wird gefordert, dass Mitarbeitende ihre direkten Umgebungsbedingungen selbst verändern können (Licht, Feuchtigkeit etc., DIN EN ISO 6385:2016-12).

5.2 Der morphologische Kasten als gestalterische Grundlage für das Tele-Tf-Berufsbild

5.2.1 Methode des morphologischen Kastens

Der morphologische Kasten ist eine Kreativitäts- und Problemlösungsmethode, deren Ziel es ist, komplexe Probleme systematisch zu analysieren und innovative Lösungsansätze zu generieren, indem alle möglichen Kombinationen relevanter Parameter betrachtet werden (Ritchey, 2006; Zwicky, 1947). Ein Gestaltungsproblem wird dabei in relevante Dimensionen oder Parameter unterteilt, die jeweils verschiedene Ausprägungen annehmen können. In einer Matrix – dem morphologischen Kasten – werden die Parameter und deren Ausprägungen als Zeilen und Spalten angeordnet. Durch das Kombinieren jeweils einer Ausprägung pro Parameter entstehen potenzielle Lösungsansätze, die nachrelevanten Kriterien bewertet und verglichen werden können.

5.2.2 Erstellungsprozess

Auf Grundlage der im Projekt erarbeiteten Anforderungen und Rahmenbedingungen für den Tele-Tf-Arbeitsplatz (Human-Factors-Anforderungen aus der Literatur, Sensorikkonzept, betriebliche Szenarien, mögliche Tätigkeiten, Kriterien für attraktive Arbeit) wurden im Projektteam potenziell relevante Gestaltungsdimensionen und deren mögliche Ausprägungen gesammelt. Die Sammlung wurde in zwei Iterationen mit Human-Factors- und Bahnexpertinnen und -experten ergänzt. Jede Gestaltungsdimension wurde einem der Bereiche *Aufgaben*, *technische Randbedingungen* bzw. *betriebliche Randbedingungen* zugeordnet.

5.2.3 Betrachtete Gestaltungsparameter und Ausprägungen

Der resultierende morphologische Kasten für das Berufsbild Tele-Tf ist in Tabelle 6 abgebildet. Insgesamt besteht er aus 25 Gestaltungsparametern: elf in der Gruppe *Aufgaben*, acht in der Gruppe *Technische Randbedingungen* und sieben in der Gruppe *Betriebliche Randbedingungen*. Bei den meisten Parametern (n = 17) werden zwei unterschiedliche Gestaltungsvarianten (Ausprägungen) einander gegenübergestellt, bei einigen Parametern stehen drei (n = 5) oder vier (n = 5) Gestaltungsvarianten zur Auswahl. Ein Beispiel für Parameter im Bereich *Aufgaben* ist die Aufgabenverteilung mit Blick auf die Überwachung von Zügen gegenüber der aktiven Steuerung – mit den zwei Varianten, dass es hierfür entweder jeweils einen separaten Arbeitsplatz gibt oder dass beide Funktionen im Rahmen derselben Berufsrolle an demselben Arbeitsplatz erfüllt werden. Weitere Beispiele für Parameter im Bereich *Aufgaben* sind die Art und der Umfang der bearbeiteten betrieblichen Szenarien, Fragen der Bemessung des Verantwortungsbereichs und des Multitasking und die Rechte der Tele-Tf in der Auswahl von Aufgaben und Übernahme von Zügen. Im Bereich der *technischen Randbedingungen* sind Gestaltungsparameter u. a. die Art und Weise der Kommunikation zwischen Tele-Tf und anderen bahnbetrieblich relevanten Berufsrollen inklusive der Art und Weise, wie Befehle übermittelt werden, die Verfügbarkeit von zusätzlichen (zur Basisausstattung mit Kamerabildern) Sensorinformationen mit Blick auf Umwelt, Fahrzeug und Infrastruktur und die Gestaltung der Bedienelemente. Unter

den *betrieblichen Randbedingungen* finden sich Gestaltungsfragen wie: Gibt es auf den Zügen Bahnpersonal (z. B. Zugbegleitpersonal), gibt es ein Zugsicherungssystem, in welcher Unternehmensstruktur sind die Tele-Tf angesiedelt, wo findet die Arbeit statt sowie Fragen der erforderlichen Kenntnisse und Ausbildung.

Tabelle 6: Morphologischer Kasten für das Berufsbild des Tele-Tf: Gestaltungsparameter und Ausprägungen

#	Parameter	Ausprägungen			
		1	**2**	**3**	**4**
Aufgaben					
1	Aufgabenverteilung Überwachung und Steuerung (Remote Supervision vs. Remote Control)	zwei getrennte Arbeitsplätze für Überwachung/Diagnose und Fahren	ein Tele-Tf übernimmt sowohl Überwachung/Diagnose als auch Fahren		
2	Verantwortungsbereich	ein Tele-Tf für alle Züge in einem Sektor / bestimmten Netzbereich (wie bei Fdl)	mehrere Tele-Tf für die Züge in einem Sektor/ bestimmten Netzbereich (jeder könnte theoretisch jeden Zug übernehmen)	ein Tele-Tf für bestimmte Strecken, egal, welche Züge dort fahren	ein Tele-Tf für bestimmte Züge, egal, welche Strecken diese fahren
3	Auswahl Züge	Tele-Tf können aus einer Taskliste selbst auswählen, welchen der zu bearbeitenden Züge sie übernehmen wollen	den Tele-Tf werden die zu bearbeitenden Züge durch das System zugeteilt	den Tele-Tf werden die zu bearbeitenden Züge durch einen Mitarbeitenden zugeteilt (z. B. Schichtleiter, Supervisor)	
4	(Remote Supervision:) Überwachung	Tele-Tf überwachen konstant die aktuelle Betriebssituation in ihrem Zuständigkeitsbereich (ohne Nebenaufgaben)	Tele-Tf arbeiten an einem Bereitschaftsarbeitsplatz – wenn alle Züge ordnungsgemäß fahren, können Tele-Tf andere Aufgaben ausführen		

#	Parameter	Ausprägungen			
		1	**2**	**3**	**4**
5	(Remote Control:) betriebliche Einsatzszenarien	Einsatz nur in der Rückfallebene (d. h. bei Störungen)	Einsatz in der Rückfallebene + beim Rangieren	Einsatz in der Rückfallebene + beim Rangieren + für die signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind	Einsatz in der Rückfallebene + beim Rangieren + für die signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind
6	Übernahme-/Übergaberechte	Tele-Tf können Zug jederzeit selbständig übernehmen bzw. an eine Tele-Tf übergeben	Tele-Tf müssen bei Fdl anfragen, um die Kontrolle zu erhalten	Tele-Tf müssen bei EVU anfragen, um die Kontrolle zu erhalten	
7	Modus der Kontrolle bei Fernsteuerung	manuelles Fahren	manöverbasiertes Fahren		
8	Multitasking	die anstehenden Aufgaben für einen Zug werden vom Tele-Tf vollständig abgearbeitet, bevor ein anderer Zug übernommen wird, auch wenn zwischendurch Wartezeiten entstehen	Tele-Tf arbeiten während Wartezeiten andere Aufgaben ab (z. B. wenn auf eine Fahrterlaubnis gewartet wird)		

#	Parameter	Ausprägungen			
		1	2	3	4
9	Anzahl der gesteuerten Züge	Tele-Tf können immer nur einen Zug gleichzeitig steuern	Tele-Tf können während Wartezeiten andere Züge übernehmen (z. B. wenn auf eine Fahrterlaubnis gewartet wird) => Tele-Tf können mehrere Züge parallel steuern		
10	Fahrzustand des Zugs bei Übergabe der Kontrolle zwischen ATO und Tele-Tf	im Stillstand	während der Fahrt		
11	Autonomie in der Aufgabenpriorisierung	Vorgabe der Aufgabenprioritäten durch das System	Vorschlag der Aufgabenprioritäten durch das System auf dieser Basis eigene Priorisierung	eigene Priorisierung anfallender Aufgaben	
technische Randbedingungen					
12	Befehle	mündlich	digital/schriftlich		
13	Kommunikation	komplett mündlich durch Tele-Tf über GSM-R o. ä.	Unterstützung durch technische Systeme, die automatisiert Nachrichten (z. B. Störungsmeldungen) weitergeben		
14	zusätzliche Sensorinformationen - Umwelt (z. B. Informationen der Hinderniserkennung / Infrarotkameras in der Nacht o. ä.)	verfügbar	nicht verfügbar		

#	Parameter	Ausprägungen			
		1	2	3	4
14a	zusätzliche Sensorinformationen - Umwelt: wenn "verfügbar" (z. B. Informationen der Hinderniserkennung / Infrarotkameras in der Nacht o. ä.)	a) Tele-Tf dürfen auch nur mit Kamerabild fahren b) Tele-Tf dürfen nicht ohne zusätzliche Sensorinformationen fahren			
15	zusätzliche Sensorinformationen - Fahrzeug (z. B. Temperaturmessung an einzelnen Achsen, Rädern, Bremsen)	verfügbar	nicht verfügbar		
16	zusätzliche Sensorinformationen - Infrastruktur (z. B. Temperaturmessung aus HOA)	verfügbar	nicht verfügbar		
17	Bedienelemente zur Geschwindigkeitssteuerung	Touchscreen	Maus	Tastatur	Fahrbremshebel
18	Bedienelemente – derzeitige Schalter	Touchdisplay mit Visualisierungen von Schaltern	Schalter		
betriebliche Randbedingungen					
19	Personal im Zug	vorhanden	nicht vorhanden		
20	Zugsicherung	vorhanden	nicht vorhanden		

#	Parameter	Ausprägungen			
		1	**2**	**3**	**4**
21	Zugehörigkeit des Tele-Tf	EVU	EIU	völlig anderes (neues) Geschäftsfeld	
22	Arbeitsort	Kontrollzentrale	Remote Office	dezentral an Bahnhöfen	
23	Ausbildung	Tf-Ausbildung	neue, andersartige Ausbildung		
24	erforderliche Kenntnisse – Strecke	Streckenkenntnis	keine Streckenkenntnis		
25	erforderliche Kenntnisse – Zugtypen	Training Zugtypen	Tele-Tf darf alle Züge steuern		

5.3 Expertenworkshop zur Ausarbeitung eines Tele-Tf-Arbeitsplatzkonzepts

5.3.1 Ziel

Ziel des Workshops war es, auf Basis des morphologischen Kastens gemeinsam mit Expertinnen und Experten aus dem praktischen Bahnbetrieb ein Konzept des Tele-Tf-Arbeitsplatzes zu entwickeln, mit dem eine möglichst hohe Attraktivität des Berufsbildes erreicht werden kann. Gemäß des definierten Forschungsvorhabens im Projekt *Teleoperation ATO* lag der Schwerpunkt dabei auf dem Anwendungsfall der Tele-Tf in der Rückfallebene in ATO GoA 3/4. Vor dem Hintergrund aktueller Tendenzen in der europäischen Forschung und Entwicklung im Bahnbereich wurde diesem Anwendungsfall ein zweiter hinzugefügt, der ebenfalls betrachtet werden sollte: die Arbeit von Tele-Tf, die im Regelbetrieb ausschließlich Aufgaben in der Bereit- und Abstellung übernehmen. Für beide Anwendungsbereiche war das Ziel, durch gemeinsame Anschauung und Diskussion mit Tf und Fdl aus allen möglichen Ausprägungen der verschiedenen Gestaltungsdimensionen des Arbeitsplatzes eine abgestimmte beste Kombination zu erarbeiten.

5.3.2 Methode

Der Workshop im Umfang von vier Stunden fand am 5. März 2025 am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik statt und wurde von zwei DLR-Mitarbeiterinnen aus dem Projektteam moderiert. Von den insgesamt zehn Teilnehmenden verfügten sieben über Berufserfahrung als Tf und vier über Berufserfahrung als Fdl, wobei eine Person in beiden Berufen gearbeitet hat. Die Teilnehmenden wurden über das Probandentool des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik (https://dlr-ts-studien.sona-systems.com) rekrutiert und erhielten für die Teilnahme eine Aufwandsentschädigung von 35 € pro Stunde sowie eine Erstattung der Fahrtkosten. Für die Gruppenarbeitsphasen im Workshop wurden die Teilnehmenden in eine Tf- (n = 6) und eine Fdl-Gruppe (n = 4) aufgeteilt. Die allesamt männlichen Teilnehmenden in der Tf-Gruppe waren im Alter von 31 bis 57 Jahren (M = 43.3, SD = 14.3, Md = 36.5) und verfügten über eine Berufserfahrung als Tf zwischen zwei und 43 Jahren (M = 19.8, SD = 16.8, Md = 12.0). Die Fdl-Gruppe bestand aus zwei männlichen und zwei weiblichen Teilnehmenden im Alter von 27 bis 52 Jahren (M = 35.5, SD = 11.3, Md = 31.5) mit einer Berufserfahrung als Fdl zwischen einem Jahr und 13 Jahren (M = 6.3, SD = 4.3, Md = 5.5). Ein Fdl verfügte zusätzlich über eine dreijährige Berufserfahrung als Tf.

Im Workshop folgten eine Einführung, eine moderierte Einzelarbeitsphase, zwei Gruppenarbeitsphasen und eine abschließende gemeinsame Diskussion aufeinander. In der Einführung erläuterten die Moderatorinnen die Ausgangssituation und die Ziele des Projekts *Teleoperation ATO* sowie das Ziel des Workshops – ein attraktives Berufsbild *Tele-Tf* zu entwickeln. Dabei ermutigten sie die Teilnehmenden, sich bei der Beurteilung und Auswahl der Gestaltungsvarianten ganz auf die Attraktivität der resultierenden Arbeit zu fokussieren (*Wie würden Sie gern arbeiten?*) und etwaige restriktive Überlegungen, z. B. auf Basis der Schwierigkeit der Umsetzung einer Lösung, außen vor zu lassen.

In der anschließenden moderierten Einzelarbeit stellten die Moderatorinnen schrittweise alle Gestaltungsdimensionen mit den jeweiligen Ausprägungen anhand einer illustrierten Präsentation vor und erläuterten diese. Die Aufgabe jedes einzelnen Teilnehmenden war es, jeweils nach der Vorstellung einer Gestaltungsdimension aus allen Varianten die subjektiv als am attraktivsten wahrgenommene auszuwählen, wobei die Teilnehmenden ihren Überlegungen den Anwendungsfall der Tele-Tf in der Rückfallebene in ATO GoA 3/4 zugrunde legen sollten. Zusätzlich sollte auch die subjektiv unattraktivste Variante bestimmt werden. Zu diesem Zweck standen jedem Teilnehmenden Kärtchen mit allen Ausprägungen zur Verfügung, von denen jeweils die beste und schlechteste in entsprechend gekennzeichneten Umschlägen zu sortieren waren.

Die Kärtchen mit den gewählten attraktivsten Ausprägungen wurden in der darauffolgenden Pause auf zwei Pinnwänden (getrennt nach Tf- und Fdl-Gruppe) gesammelt. Auf den Pinnwänden waren die Gestaltungsdimensionen wie im morphologischen Kasten in Zeilen angeordnet. Die Kärtchen wurden in die Zeilen einsortiert, wobei jeweils gleich lautende Auswahlen zusammen gruppiert wurden, sodass die Häufigkeit der einzelnen Auswahlen ersichtlich war.

Anschließend arbeiteten die Teilnehmenden in einer Tf- und einer Fdl-Gruppe an den Pinnwänden weiter, wobei jeweils eine Moderatorin durch den Prozess führte. In dieser Gruppenarbeit erläuterten die Teilnehmenden einander zunächst schrittweise für jede Gestaltungsdimension die jeweilige Auswahl der Varianten: Welche Überlegungen führten zur Auswahl bzw. zum Ausschluss bestimmter Lösungen? Auf diese Weise wurden Vor- und Nachteile erörtert und mögliche Unterschiede in den Auswahlen diskutiert. Die Nennung dieser Aspekte wurde durch die Moderation fortlaufend angeregt. Nach Diskussion jeder Dimension war es die Aufgabe der Gruppe, eine gemeinsame Auswahl für eine beste Gestaltungsvariante zu treffen. Dies sollte möglichst im Konsensverfahren, also auf Basis der erörterten Vor- und Nachteile einstimmig geschehen. In wenigen Fällen, in denen kein vollständiger Konsens erzielt wurde, wurde das Ergebnis durch Abstimmung nach dem Mehrheitsprinzip ermittelt. Im Ergebnis der Gruppenarbeit lagen zwei gemeinsam erarbeitete Gestaltungsprofile vor, eines aus der Tf- und eines aus der Fdl-Gruppe.

In einer zweiten Gruppenarbeitsphase ging es um die Frage, inwiefern die ausgewählten Gestaltungsprofile für den Anwendungsfall der Tele-Tf, die im Regelbetrieb ausschließlich Aufgaben in der Bereit- und Abstellung übernehmen, ebenfalls am besten geeignet wären oder angepasst werden sollten. Dazu führte die jeweilige Moderation die Tf- und die Fdl-Gruppe an der Pinnwand ein weiteres Mal durch alle Gestaltungsdimensionen, Vor- und Nachteile für den Anwendungsfall wurden diskutiert und erneut wurde in der Gruppe eine beste Gestaltungsvariante bestimmt. In beiden Gruppenarbeitsrunden wurden zusätzlich die Diskussionen audioaufgezeichnet, um die qualitativen Aspekte der Auswahl und weitere Anmerkungen zur Gestaltung zu erfassen.

Im Anschluss fanden sich die Teilnehmenden wieder im Plenum zusammen. Jeder erhielt einen Bogen mit einer Kurzbefragung mit drei Items zur Erfassung der wahrgenommenen Attraktivität der beiden erarbeiteten Arbeitsplatzprofile sowie des aktuellen eigenen Arbeitsplatzes. Die Fragen lauteten „Wie gern arbeiten Sie auf Ihrem aktuellen Arbeitsplatz?“ bzw. „Wie gern würden Sie als Tele-Tf auf dem gemeinsamen attraktivsten Tele-Tf-Arbeitsplatz [Bereitstellungs-Tele-Tf-Arbeitsplatz] arbeiten?“. Die Teilnehmenden beantworteten die Fragen jeweils auf einer sechsstufigen Likert-Skala

(*sehr ungern, ungern, eher ungern, eher gern, gern, sehr gern*). In einer abschließenden Runde diskutierten alle Teilnehmenden wahrgenommene Herausforderungen und Hürden mit Blick auf die Umsetzung des attraktivsten Tele-Tf-Arbeitsplatzes.

5.3.3 Ergebnisse

Gemeinschaftlich gewählte Arbeitsplatzprofile

In Tabelle 7 sind die gemeinschaftlich gewählten Tele-Tf-Arbeitsplatzprofile aus den beiden Arbeitsgruppen im Überblick dargestellt. Mit Blick auf die meisten der 25 Gestaltungsdimensionen (n = 19) ergab die Diskussion in der Tf- und in der Fdl-Gruppe dasselbe Ergebnis, in sechs Dimensionen gab es Variationen.

Übereinstimmend soll ein Tele-Tf in beiden Konzepten sowohl Überwachungs- als auch Steuerungsaufgaben übernehmen. Der Zuständigkeitsbereich ist in Form eines Sektors (Schienennetzbereichs) gestaltet, für den je nach Größe entweder ein Tele-Tf zuständig ist oder mehrere Tele-Tf zuständig sind, wobei theoretisch jeder jeden Zug übernehmen könnte. In der Rückfallebene erfolgt die Zuteilung der Züge zu den Tele-Tf durch das technische System. In beiden Profilen arbeiteten die Tele-Tf an einem Bereitschaftsarbeitsplatz, sodass sie in Zeiten, in denen alle Züge ordnungsgemäß fahren, andere Aufgaben ausführen können, anstatt das System kontinuierlich überwachen zu müssen. Ebenfalls übereinstimmend wurde in beiden Gruppen ausgewählt, dass Aufgaben in der ATO-Rückfallebene durch Aufgaben aus dem Regelbetrieb angereichert werden sollen. Hierfür schlagen beide die signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten vor, die nicht für ATO ausgerüstet sind. Die Gruppe der Fdl stellt sich zusätzlich die Anreicherung durch Aufgaben im Rangieren vor. Um die Kontrolle über einen Zug zu übernehmen, müssen Tele-Tf die Zustimmung eines Fdl anfragen. Im Falle der Übernahme erfolgt die Steuerung des Zuges manuell (1:1), nicht manöverbasiert (d. h. durch reine Freigabe von einzelnen Fahrmanövern). Wenn in der Bearbeitung der Aufgaben für einen Zug Wartezeiten entstehen (z. B. während des Wartens auf eine Freigabe), können Tele-Tf währenddessen andere Aufgaben bearbeiten, jedoch arbeiten Tele-Tf immer nur an einem Zug gleichzeitig, d. h., Tele-Tf können nur einen Zug gleichzeitig steuern. Die Übernahme eines Zuges von der ATO und die Übergabe an die ATO sollen im Stillstand erfolgen. Mit Blick auf die Autonomie in der Aufgabenpriorisierung (vor allem Nebenaufgaben) wünschen sich die Teilnehmenden einen Vorschlag durch das System, um auf dieser Basis selbst entscheiden zu können.

Hinsichtlich der technischen Randbedingungen erfolgt die Kommunikation nicht vollständig mündlich, sondern wird durch technische Systeme unterstützt, die Nachrichten (z. B. Störungsmeldungen) automatisiert weitergeben. Befehle werden im Bedarfsfall digital als schriftliche Meldungen übermittelt. Unterstützung durch zusätzliche Sensorinformationen wird gewünscht, sowohl mit Blick auf die Umwelt als auch auf das Fahrzeug und die Infrastruktur. Dennoch dürfen Tele-Tf auch allein auf Basis von Kamerabildern fahren. In der Fernsteuerung des Zuges wird die Geschwindigkeit durch einen Fahrbremshebel gesteuert. Für Bedienelemente, die derzeit als Schalter gestaltet sind, wünschen sich die Tf, dass häufig benutzte Schalter auch am Tele-Tf-Arbeitsplatz als physische Schalter ausgeführt sein sollen, weniger häufig benutzte können als Visualisierung auf einem Touchdisplay

umgesetzt werden. Die Gruppe der Fdl sieht die Umsetzung in ihrem Konzept ausschließlich in Form eines Touchdisplays vor.

Im Hinblick auf die Gestaltung der betrieblichen Rahmenbedingungen gab es in den Konzepten der Tf- und der Fdl-Gruppe die meisten Unterschiede (vier von sechs). Beide Konzepte sehen vor, dass die Teleoperation auf Basis eines Zugsicherungssystems stattfindet. Personenzüge werden nach wie vor durch Personal auf dem Zug begleitet. Tele-Tf benötigen ein spezifisches Training für unterschiedliche Baureihen von Fahrzeugen. Unterschiedliche Gestaltungsvorschläge finden sich hinsichtlich der Zugehörigkeit der Tele-Tf zu einer Unternehmensstruktur, des Arbeitsorts, der Ausbildung und der erforderlichen Streckenkenntnis. Die Fdl verorten die Tele-Tf auf Seiten des EVU; die Tf sehen hier ein vollständig neues Geschäftsfeld, bei dem Tele-Tf auch Fahrzeuge mehrerer EVU übernehmen können. Die Tf bevorzugen für den Arbeitsort eine dezentrale Gestaltung mit vielen kleineren Kontrollstellen (z. B. an Bahnhöfen). Bei den Fdl ist diese Variante eine unter drei möglichen Gestaltungen; daneben können sie sich die Arbeit der Tele-Tf auch von einer Kontrollzentrale aus oder aus dem Remote Office heraus vorstellen – idealerweise frei wählbar durch das Personal. Aus Sicht der Tf müssen Tele-Tf über spezifische Streckenkenntnisse verfügen, aus Sicht der Fdl ist dies nicht erforderlich. Beide Gruppen stimmen überein, dass eine neue, andersartige Ausbildung notwendig sein wird; die Fdl weisen darauf hin, dass darin auch Inhalte der jetzigen Tf-Ausbildung enthalten sein müssen.

Tabelle 7: Gewählte Arbeitsplatzprofile in den Gruppen der Tf und Fdl

#	Parameter	Tf	Fdl	nicht gewählte Ausprägung(-en)
1	Aufgabenverteilung Überwachung und Steuerung (Remote Supervision vs. Remote Control)	ein Arbeitsplatz: Tele-Tf übernimmt sowohl Überwachung als auch Steuerung		zwei getrennte Arbeitsplätze für Überwachung und Steuerung
2	Verantwortungsbereich	(eine oder) mehrere Tele-Tf für die Züge im Sektor (jeder könnte theoretisch jeden Zug übernehmen)		bestimmte Züge, egal welche Strecken diese fahren bestimmte Strecken, egal, welche Züge dort fahren
3	Auswahl Züge	den Tele-Tf werden die zu bearbeitenden Züge durch das System zugeteilt		die zu bearbeitenden Züge werden durch einen Mitarbeitenden zugeteilt Tele-Tf können aus einer Taskliste selber auswählen
4	(Remote Supervision:) Überwachung	Tele-Tf arbeiten an einem Bereitschaftsarbeitsplatz – wenn alle Züge ordnungsgemäß fahren, können Tele-Tf andere Aufgaben ausführen		Tele-Tf überwachen konstant die aktuelle Betriebssituation in ihrem Zuständigkeitsbereich (ohne Nebenaufgaben)
5	(Remote Control:) Betriebliche Einsatzszenarien	Einsatz in der Rückfallebene + für die signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind	Einsatz in der Rückfallebene + für die signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind + beim Rangieren	ausschließlich Einsatz in der Rückfallebene
6	Übernahme-/Übergaberechte	Tele-Tf müssen bei Fdl anfragen, um die Kontrolle zu erhalten		Tele-Tf können Zug jederzeit selbständig übernehmen bzw. übergeben

#	Parameter	Tf	Fdl	nicht gewählte Ausprägung(-en)
				Tele-Tf müssen bei EVU anfragen, um die Kontrolle zu erhalten
7	Modus der Kontrolle bei Fernsteuerung	manuelles Fahren		manöverbasiertes Fahren
8	Multitasking	Tele-Tf arbeiten während Wartezeiten andere Aufgaben ab (z. B. wenn auf eine Fahrterlaubnis gewartet wird)		die anstehenden Aufgaben für einen Zug werden vollständig abgearbeitet, bevor ein anderer Zug bzw. Aufgaben übernommen werden
9	Anzahl der gesteuerten Züge	die anstehenden Aufgaben für einen Zug werden von Tele-Tf vollständig abgearbeitet, bevor ein anderer Zug übernommen wird → Tele-Tf können immer nur einen Zug parallel steuern		Tele-Tf können während Wartezeiten andere Züge übernehmen → Tele-Tf können mehrere Züge parallel steuern
10	Fahrzustand des Zugs bei Übergabe der Kontrolle zwischen ATO und Tele-Tf	im Stillstand		während der Fahrt
11	Autonomie in der Aufgabenpriorisierung	Vorschlag der Aufgabenprioritäten durch das System		Vorgabe der Aufgabenprioritäten durch das System eigene Priorisierung anfallender Aufgaben
12	Befehle	digital oder schriftlich		mündlich
13	Kommunikation	Unterstützung durch technische Systeme, die automatisiert Nachrichten weitergeben (z. B. Störungsmeldungen)		komplett mündlich durch Tele-Tf über GSM-R o. ä.

#	Parameter	Tf	Fdl	nicht gewählte Ausprägung(-en)
14	zusätzliche Sensorinformationen – Umwelt	verfügbar (Tele-Tf dürfen auch nur mit Kamerabild fahren)		verfügbar (Tele-Tf dürfen nicht ohne zusätzliche Sensorinformationen fahren) nicht verfügbar
15	zusätzliche Sensorinformationen – Fahrzeug	verfügbar		nicht verfügbar
16	zusätzliche Sensorinformationen – Infrastruktur	verfügbar		nicht verfügbar
17	Bedienelemente zur Geschwindigkeitssteuerung	Fahrbremshebel		Touchscreen, Maus, Tastatur
18	Bedienelemente – derzeitige Schalter	Schalter (für häufig benutzte Schalter) + Touchdisplay mit Visualisierungen von Schaltern (für seltener benötigte Schalter)	Touchdisplay mit Visualisierungen von Schaltern	
19	Personal im Zug	vorhanden		nicht vorhanden
20	Zugsicherung	vorhanden		nicht vorhanden
21	Zugehörigkeit des Tele-Tf	komplett anderes (neues) Geschäftsfeld	EVU	EIU
22	Arbeitsort	dezentral an Bahnhöfen	dezentral an Bahnhöfen	-
			Kontrollzentrale	-
			Remote Office	-

#	Parameter	Tf	Fdl	nicht gewählte Ausprägung(-en)
23	Ausbildung	neue, andersartige Ausbildung	neue, andersartige Ausbildung	-
			Tf-Ausbildung	-
24	erforderliche Kenntnisse – Strecke	Streckenkenntnis	keine Streckenkenntnis	-
25	erforderliche Kenntnisse – Zugtypen	Training Zugtypen		Tele-Tf dürfen alle Züge steuern

Wahrgenommene Attraktivität der Arbeitsplätze

Zur Auswertung der Kurzbefragung der wahrgenommenen Attraktivität der zwei erarbeiteten Arbeitsplatzkonzepte sowie des eigenen aktuellen Arbeitsplatzes wurde die sechsstufige Skala von „sehr ungern“ bis „sehr gern“ mit den Werten von 0 bis 5 kodiert. Abbildung 3 zeigt die Verteilung der resultierenden Bewertungen (Boxplot).

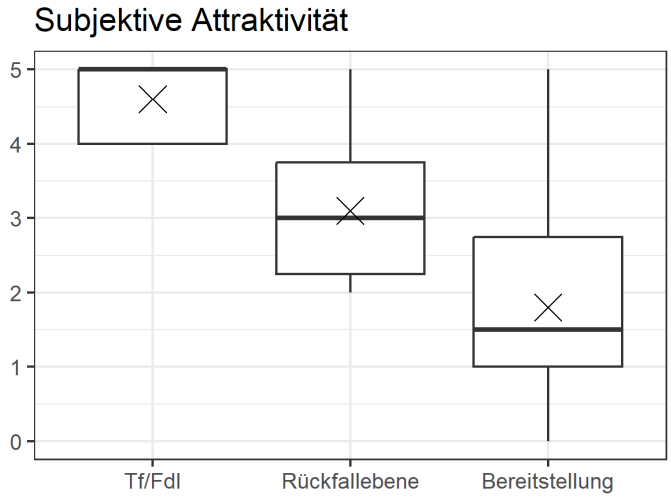


Abbildung 3: Bewertung der Attraktivität der im Workshop erarbeiteten Arbeitsplatzkonzepte im Vergleich zum eigenen aktuellen Arbeitsplatz („Wie gern arbeiten Sie [...] / würden Sie [...] arbeiten?“, 0 = sehr ungern, 5 = sehr gern; *n* = 10). Tf/Fdl = Aktueller eigener Arbeitsplatz; Rückfallebene = umfassender Tele-Tf-Arbeitsplatz; Bereitstellung = Bereitstellungs-Tele-Tf-Arbeitsplatz.

Alle Teilnehmenden bewerteten die Attraktivität des eigenen Arbeitsplatzes als hoch (*M* = 4.60, *SD* = 0.49; *Min* = 4 – „gern“, *Max* = 5 - „sehr gern“). Die Bewertung des gemeinsam erarbeiteten umfassenden Tele-Tf-Arbeitsplatzes lag mit *M* = 3.10 insgesamt im mittleren Bereich der Skala, was etwa der Wortmarke „eher gern“ entspricht (*SD* = 0.94; *Min* = 2 – „eher ungern“, *Max* = 5 - „sehr gern“). Die Attraktivität des reinen Bereitstellungsarbeitsplatzes wurde mit *M* = 1.80 (~ Wortmarke „eher ungern“) insgesamt deutlich geringer bewertet (*SD* = 1.47; *Min* = 0 – „sehr ungern“, *Max* = 5 - „sehr gern“). Bei den beiden neu vorgestellten Arbeitsplatzkonzepten weisen die Bewertungen außerdem eine größere Streuung als beim aus eigener Anschauung bekannten, aktuellen Arbeitsplatz auf. Aufgrund der kleinen Stichprobe sind diese Erkenntnisse nur eingeschränkt übertragbar und müssen durch die Befragung einer größeren Stichprobe gestützt werden (siehe 5.4).

5.4 Evaluierung des Arbeitsplatzkonzepts

5.4.1 Ziel

In Anbetracht der bisher im großen Umfang fehlenden realen Anwendungsfälle der Teleoperation im Schienenverkehr bietet die Bewertung eines detaillierten Konzeptes des Tele-Tf-Berufs durch Bahnexpertinnen und -experten eine aussagekräftige und belastbare Ausgangslage, an die künftige

Pilotprojekte gut anknüpfen können, um Teleoperation in die Realität umzusetzen. Das Ziel der vorliegenden Bewertung war es, die Attraktivität des Tele-Tf-Berufs für potenzielle Jobkandidatinnen und -kandidaten, hier Tf und Fdl, einzuschätzen und zu überprüfen, unter welchen Bedingungen und Voraussetzungen das erarbeitete Konzept eingesetzt werden kann.

Die konkreten Forschungsfragen sind die folgenden:

1. Wie gern würden Tf und Fdl als Tele-Tf arbeiten? (potenzielle Arbeitszufriedenheit)
2. Was sind die Vor- und Nachteile der Tele-Tf-Berufe aus Sicht der Tf und Fdl? (Vor- und Nachteile)
3. Mit welcher Wahrscheinlichkeit würden sich Tf und Fdl zu Tele-Tf weiterbilden? (Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung)
4. Was charakterisiert die Arbeit als Tele-Tf im Vergleich zur Arbeit als Tf bzw. Fdl? (Jobmerkmale)
5. Welche Aspekte des Tele-Tf-Arbeitsplatzes sind besonders attraktiv bzw. unattraktiv? (Attraktivität)
6. Welche Nebentätigkeiten würden Tf und Fdl gern während potenzieller Wartezeiten ausüben? (Nebentätigkeiten)

5.4.2 Methode

Das innerhalb des Expertenworkshops erarbeitete Konzept für das Berufsbild Tele-Tf wurde in zwei konkrete Berufsbeschreibungen (Tele-Tf in der Rückfallebene und Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung) übersetzt, die im Rahmen einer etwa 30-minütigen Onlinebefragung von Tf und Fdl bewertet wurden. In der Befragung wurden die Teilnehmenden gebeten, verschiedene Jobmerkmale für die Berufe Tf bzw. Fdl, Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Tele-Tf in der Rückfallebene zu bewerten. Sie sollten außerdem angeben, wie gern sie in den Berufen arbeiten (würden) und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie sich zu Tele-Tf weiterbilden würden. Darüber hinaus wurden sie nach der Attraktivität verschiedener konkreter Tätigkeiten gefragt. Über offene Fragen wurden zudem Vor- und Nachteile der Tele-Tf-Berufe und Gründe für und gegen eine Weiterbildung zu Tele-Tf erfasst. Jeder Teilnehmende bewertete nacheinander beide Berufsbeschreibungen, wobei die Reihenfolge über die Teilnehmenden variiert wurde. Weitere Details zur Durchführung finden sich in Anhang A4.1 Durchführung der Onlinebefragung.

Stichprobe

Die Befragung wurde von 100 Teilnehmenden vollständig ausgefüllt. Sechsunddreißig Teilnehmende wurden der Gruppe der Fdl zugeteilt, 64 Teilnehmende der Gruppe der Tf. Die demographischen Merkmale der beiden Gruppen sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Stichprobe ist vorrangig männlich (83 %) und technikinteressiert (90 %). Vor dieser Befragung hatten 72 % der Gruppe Tf und 97 % der Gruppe Fdl an keiner Studie zum Berufsbild Tele-Tf teilgenommen.

In der Gruppe Tf arbeiten 60 Teilnehmende (94 %) aktuell als Tf, wobei zehn dieser Tf einen weiteren Job ausüben. Der Großteil der Tf ist im Nah- und Regionalverkehr tätig, gefolgt vom Fernverkehr. Ein

Drittel hat die Ausbildung zum Eisenbahner im Betriebsdienst absolviert, die anderen zwei Drittel sind Quereinsteigende. In der Gruppe Fdl arbeiten aktuell 61 % als Fdl. Neunundsechzig Prozent der Gruppe haben die Ausbildung zum Eisenbahner im Betriebsdienst gemacht, 31 % sind Quereinsteigende. Weitere berufliche Merkmale zeigen Tabelle 9 und Tabelle 10. Die Befragung wurde über LinkedIn (DZSF und DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik) und Reddit, den Probandenpool des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik sowie Kontakte des Projektteams beworben. Alle Teilnehmenden wurden vor der Befragung über die Verarbeitung ihrer Daten gemäß DSGV informiert und mussten dieser zustimmen. Unter allen Teilnehmenden wurden, wenn gewünscht, 25 Amazon-Gutscheine in Höhe von je 20 € verlost, um die Teilnahmebereitschaft zu erhöhen.

Tabelle 8: Demographische Merkmale der beiden Gruppen der Onlinebefragung

	Tf (n = 64) **(davon 4 Fdl)**	**Fdl (n = 36)** **(davon 4 Tf)**
Alter in Jahren	*M* = 41,52; *SD* = 12,44 Min = 21; Max = 66	*M* = 36,83; *SD* = 9,54 Min = 21; Max = 60
Geschlecht	männlich: 55 weiblich: 8 divers: 1	männlich: 28 weiblich: 8 divers: 0
Sprachniveau	Muttersprache: 62 C1/C2: 2	Muttersprache: 36
Sorgfalt	sehr sorgfältig: 31 sorgfältig: 29 eher sorgfältig: 4	sehr sorgfältig: 10 sorgfältig: 21 eher sorgfältig: 5
Endgerät	PC/Laptop: 18 Tablet: 3 Smartphone: 43	PC/Laptop: 14 Tablet: 10 Smartphone: 12
Technikaffinität Ich beschäftige mich gern genauer mit technischen Systemen (umfasst Apps, Software und Geräte).	stimmt völlig: 23 stimmt weitgehend: 27 stimmt eher: 10 stimmt eher nicht: 2 stimmt weitgehend nicht: 1 stimmt gar nicht: 1	stimmt völlig: 10 stimmt weitgehend: 12 stimmt eher: 8 stimmt eher nicht: 2 stimmt weitgehend nicht: 3 stimmt gar nicht: 1
Entfaltungsbedürfnis (JDS)	*M* = 5,19; *SD* = 0,96 Min = 3,00; Max = 7,00	*M* = 5,31; *SD* = 0,87 Min = 3,67; Max = 6,83

Tabelle 9: Berufliche Merkmale der beiden Gruppen

	Tf (n = 64)	**Fdl (n = 36)**
aktueller Job (Mehrfachnennungen)	Tf: 60 Fdl: 0 Sonstiges: 14 Ruhestand: 0	Tf: 1 Fdl: 22 Sonstiges: 15 Ruhestand: 0
Ausbildung	Eisenbahner/in: 21 Quereinstieg: 43	Eisenbahner/in: 25 Quereinstieg: 11
Berufsjahre	*M* = 11,18; *SD* = 10,34 Min = 0; Max = 47	*M* = 6,89; *SD* = 7,22 Min = 1; Max = 31
Unternehmensgröße	1–49 Mitarbeitende: 2 50–249 Mitarbeitende: 7 250 oder mehr: 51 (n = 60)	1–49 Mitarbeitende: 0 50–249 Mitarbeitende: 1 250 oder mehr: 21 (n = 22)
Arbeitszeit in Stunden	*M* = 35,50; *SD* = 9,80 Min = 5; Max = 45; n = 60	*M* = 37,77; *SD* = 8,09 Min = 3; Max = 45; n = 22

Tabelle 10: Berufliche Merkmale der Gruppe Tf

	Tf
gültiger Führerschein	Ja: 63; Nein: 1
Führerscheinklassen (n = 63; Mehrfachnennungen)	Klasse A (nur Rangierfahrten): 28 Klasse B1 (nur Zugfahrten im Personenverkehr): 59 Klasse B2 (nur Zugfahrten im Güterverkehr): 19 Sonstiges: 4
Einsatzbereich in den letzten 12 Monaten (n = 60; Mehrfachnennungen)	Fernverkehr: 21 Nah-/Regionalverkehr: 39 S-Bahn-Verkehr: 5 Güterverkehr: 12 Sonstiges: 2
Wie viel Prozent der Zeit fahren Sie in Ihrer Tf-Tätigkeit... (n = 60)	…signalgeführt: *M* = 83,77 %; *SD* = 21,84; Min = 30; Max = 100 …anzeigegeführt: *M* = 12,83 %; *SD* = 19,36; Min = 0; Max = 70 …anderweitig: *M* = 3,40 %; *SD* = 8,71; Min = 0; Max = 45

Darstellung der Tele-Tf-Berufe

Um sich die Berufe Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Tele-Tf in der Rückfallebene vorstellen und diese bewerten zu können, wurden die beiden Berufsbilder über eine Beschreibung eines Arbeitstages veranschaulicht (siehe die Anhänge A4.2 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Zugbereitstellung“ und A4.3 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Rückfallebene“). Die Beschreibungen wurden um simulierte Bilder des Arbeitsplatzes ergänzt. Die Gestaltung der Berufsbilder basiert auf den Ergebnissen des Expertenworkshops (siehe Abschnitt 5.3). Die Teilnehmenden konnten die Beschreibung lesen und/oder anhören. Außerdem konnten sie die Beschreibungen als PDF herunterladen, falls sie diese im Verlauf der Befragung nochmals lesen wollten.

Abhängige Variablen und Kontrollvariablen

Zentrales Anliegen dieser Studie ist die Einschätzung der Attraktivität der Tele-Tf-Arbeitsplätze. Tabelle 11 bietet eine Übersicht über die Operationalisierung der erhobenen Variablen.

Tabelle 11: Übersicht über die abhängigen und Kontrollvariablen und deren Operationalisierung

Variablen	Befragungsitems	Antwortformat
	Teil 1: aktuelle Berufssituation und Bewertung Tf-/Fdl-Beruf	
Demographie und berufliche Angaben	siehe Anhang A4.1 Durchführung der Onlinebefragung	
Arbeitszufriedenheit Tf/Fdl	Wie gern arbeiten Sie als [Triebfahrzeugführer/in, Fahrdienstleiter/in]?	0 = sehr ungern 1 = ungern 2 = eher ungern 3 = eher gern 4 = gern 5 = sehr gern
Jobmerkmale Tf/Fdl	12 Merkmale (über 18 Items); siehe Tabelle 15 sowie Tabelle 20 in Anhang A4	1 = sehr unzutreffend 2 = größtenteils unzutreffend 3 = eher unzutreffend 4 = unsicher 5 = eher zutreffend 6 = größtenteils zutreffend 7 = sehr treffend
	Teil 2: Bewertung des Tele-Tf in der [Rückfallebene, Bereitstellung]	
Vorteile und Nachteile des Tele-Tf-Arbeitsplatzes	Welche [Vorteile, Nachteile] hat aus Ihrer Sicht der beschriebene Tele-Tf-Arbeitsplatz in der [Rückfallebene, Bereitstellung] gegenüber Ihrem aktuellen Arbeitsplatz als [Triebfahrzeugführer/in, Fahrdienstleiter/in]?	offene Antwort
Jobmerkmale Tele-Tf	12 Merkmale (über 18 Items); siehe Tabelle 15 sowie Tabelle 20 in Anhang A4	1 = sehr unzutreffend 2 = größtenteils unzutreffend 3 = eher unzutreffend 4 = unsicher 5 = eher zutreffend 6 = größtenteils zutreffend 7 = sehr treffend

Variablen	Befragungsitems	Antwortformat
potenzielle Arbeitszufriedenheit Tele-Tf	Wie gern würden Sie als Tele-Tf in der [Rückfallebene, Bereitstellung] arbeiten?	0 = sehr ungern 1 = ungern 2 = eher ungern 3 = eher gern 4 = gern 5 = sehr gern
Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung zu Tele-Tf	Wenn Sie von Ihrem Arbeitgeber die Möglichkeit zur Weiterbildung zum Tele-Tf in der [Rückfallebene, Bereitstellung] angeboten bekämen, mit welcher Wahrscheinlichkeit würden Sie sich weiterbilden?	% (Schieberegler)
Gründe für/gegen eine Weiterbildung zu Tele-Tf	Welche Gründe würden für Sie [für/gegen] eine Weiterbildung zum Tele-Tf in der [Rückfallebene, Bereitstellung] sprechen?	offene Antwort
Überzeugungsmöglichkeiten	Womit könnte man Sie für die Weiterbildung zum Tele-Tf in der [Rückfallebene, Bereitstellung] überzeugen? (Frage wurde nur gestellt, wenn der/die Teilnehmer/in sich mit einer Wahrscheinlichkeit < 50 % zum Tele-Tf weiterbilden würde)	offene Antwort
	Teil 3: Attraktivität einzelner Merkmale der Tele-Tf-Berufe	
Attraktivität der konkreten Merkmale der Tele-Tf-Arbeitsplätze	23 Merkmale, siehe Tabelle 12	-50 = unattraktiv 50 = attraktiv (Schieberegler)
Einfluss verschiedener Aspekte auf Arbeitsplatzattraktivität	22 Aspekte, siehe Tabelle 13	0 = kein Einfluss (ist mir egal) 100 = sehr großer Einfluss (Schieberegler)
	Teil 4: Nebentätigkeiten	
Attraktivität potenzieller Nebentätigkeiten	16 Tätigkeiten, siehe Tabelle 14	0 = sehr ungern 1 = ungern 2 = eher ungern 3 = neutral

Variablen	Befragungsitems	Antwortformat
		4 = eher gern 5 = gern 6 = sehr gern
weitere Nebentätigkeiten	Welche weiteren ergänzenden (berufsbezogenen) Nebentätigkeiten für einen Tele-Tf können Sie sich vorstellen?	offene Antwort
	Teil 5: Kontrollvariablen	
Entwicklungsbedürfnis, Sorgfalt, Endgerät, Technikinteresse, Teilnahme an Studien zum Tele-Tf	siehe Anhang A4.1 Durchführung der Onlinebefragung	

Attraktivität

Als unmittelbare Indikatoren für die Attraktivität der beiden vorgestellten Tele-Tf-Berufe wurde jeweils danach gefragt, wie gern die Teilnehmenden als Tele-Tf arbeiten würden (potenzielle Arbeitszufriedenheit) und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie sich zu Tele-Tf weiterbilden würden (Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung). Zudem wurde nach Vor- und Nachteilen sowie Gründen für und gegen eine Weiterbildung und Überzeugungsmöglichkeiten gefragt. Um herauszufinden, welche konkreten Aspekte der Tele-Tf-Arbeitsplätze für Tf und Fdl attraktiv sind, wurden die verschiedenen Aspekte der Arbeitsplätze hinsichtlich ihrer Attraktivität bewertet (Aspekte siehe Tabelle 12). Da vorstellbar ist, dass ein Aspekt für sich zwar äußerst attraktiv oder unattraktiv ist, aber wenig Einfluss auf die Attraktivität des gesamten Jobs hat, wurde darüber hinaus bewertet, welchen Einfluss die den Aspekten übergeordneten Kategorien (z. B. Arbeitszeiten, Größe des Unternehmens; Kategorien sieheTabelle 13) auf die Attraktivität eines Jobs haben. Die Attraktivitätsbewertung eines jeden Aspekts wurde dann mit dem Einfluss der zugeordneten übergeordneten Kategorie multipliziert und somit gewichtet.

Tabelle 12: Aspekte der Tele-Tf-Arbeitsplätze, die hinsichtlich ihrer Attraktivität bewertet wurden, sowie die zugeordneten übergeordneten Kategorien (Tabelle 13)

Indikatoren für attraktive Arbeitsplätze	Nr. übergeordneter Kategorien
Die Arbeit kann vollständig vom Arbeitsplatz in der Kontrollstelle aus durchgeführt werden.	1
Züge werden mit einem Fahrbremshebel ferngesteuert (nicht: per Maus, Tastatur, Touchscreen oder Joystick).	17
Die wichtigsten Schalter sind physisch vorhanden; weniger wichtige Schalter werden auf einem Touchdisplay visualisiert.	17
Die Fernsteuerung der Züge findet mithilfe von Kamerabildern und weiteren Sensoren statt.	16
Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	3
Der Arbeitsplatz befindet sich in Wohnortnähe.	2
Das System teilt die zu bearbeitenden Züge zu.	9
Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	19
Während Wartezeiten dürfen andere berufsbezogene Aufgaben bearbeitet werden.	10
Für Wartezeiten schlägt das System Aufgaben und deren Priorisierung vor.	9
Es besteht die Möglichkeit, sich im Rahmen der Nebenaufgaben während der Arbeitszeit weiterzubilden.	15

Indikatoren für attraktive Arbeitsplätze	Nr. übergeordneter Kategorien
Die Arbeit umfasst vielfältige Aufgaben, z. B. Fahren, Dokumentieren, Überwachen, Überprüfen, Organisieren.	8
Einem Netzbereich sind zu jeder Zeit mehrere Tele-Tf zugeordnet.	14
Für die Betreuung eines spezifischen Zuges ist ein einzelner Tele-Tf verantwortlich.	14
Züge können nicht ohne vorherige Genehmigung übernommen werden.	9
Es handelt sich um einen Schreibtischjob.	1
Der Arbeitsplatz befindet sich in einem Einzelbüro.	21
Tele-Tf Rückfallebene: Das System informiert im Störungsfall, sodass Züge nicht dauerhaft überwacht werden müssen.	13
Tele-Tf Rückfallebene: Die Bearbeitung von Nebenaufgaben muss unter Umständen unterbrochen werden.	11
Tele-Tf Rückfallebene: Es ist am Anfang eines Arbeitstages teils nicht klar, welche Aufgaben anfallen werden.	12
Tele-Tf Bereitstellung: Am Anfang eines Arbeitstages steht größtenteils fest, welche Aufgaben bearbeitet werden müssen.	12
Tele-Tf Rückfallebene: Züge werden vorrangig anzeigegeführt gesteuert.	18
Tele-Tf Bereitstellung: Züge werden vorrangig signalgeführt gesteuert.	18

Tabelle 13: Übergeordnete Kategorien der Arbeitsplatzaspekte (Tabelle 12), die hinsichtlich ihres Einflusses auf die Attraktivität eines Arbeitsplatzes bewertet wurden

Nr.	**Übergeordnete Kategorie**
1	Arbeitsumgebung (z. B. Büro, Home Office, Triebfahrzeug)
2	Wohnortnähe des Arbeitsplatzes
3	Arbeitszeiten (z. B. Gleitzeit, Schichtarbeit)
4	Planbarkeit der Arbeitszeit (z. B. Urlaub, Feierabend)
5	Art des Unternehmens (z. B. EVU, EIU)
6	Größe des Unternehmens
7	Bedeutsamkeit/Sinnhaftigkeit der Arbeit
8	Vielfältigkeit der Aufgaben
9	Autonomie in der Aufgabenauswahl und -priorisierung
10	Möglichkeit zur Bearbeitung von berufsbezogenen Nebenaufgaben
11	Auftreten von Unterbrechungen (während der Bearbeitung von Nebenaufgaben)
12	Planbarkeit/Vorhersagbarkeit des Arbeitstages

Nr.	Übergeordnete Kategorie
13	Notwendigkeit ein System dauerhaft zu überwachen
14	Verantwortungsbereich (z. B. Region, Größe)
15	Weiterbildungsmöglichkeiten
16	technische Ausstattung (z. B. Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Modernität)
17	Benutzerfreundlichkeit der technischen Ausstattung
18	Unterstützung bei der Zugsteuerung durch technische Systeme (z. B. anzeige- vs. signalgeführte Steuerung)
19	Art der Kommunikation (z. B. mündlich, schriftlich)
20	direkte Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen
21	räumliche Isolation (z. B. Großraumbüro vs. Home Office)
22	Umgebungsbedingungen am Arbeitsplatz (z. B. Lärmpegel, Temperatur)

Nebentätigkeiten

Da die beschriebenen Tele-Tf-Arbeitsplätze mit Wartezeiten einhergehen können, könnte diese Zeit für berufsbezogene Nebentätigkeiten genutzt werden. Um besser einschätzen zu können, welche Nebentätigkeiten angeboten werden sollten, bewerteten die Teilnehmenden, wie gern sie eine Tätigkeit bearbeiten würden. Die Nebentätigkeiten sind in Tabelle 14 aufgelistet. Es bestand zudem die Möglichkeit, weitere Nebentätigkeiten zu nennen.

Tabelle 14: Mögliche Nebentätigkeiten der Tele-Tf-Arbeitsplätze

Verfassen von Berichten über Störfälle
Übernahme von Aufgaben in der Disposition des EVU
Personalplanung, z. B. Erstellen von Einsatzplänen
Übernahme von anderen Verwaltungsaufgaben oder Datenpflege
Unterstützung des Störungsmanagements oder der Instandhaltung bei den Zügen
Unterstützung von (z. B. unerfahreneren) Kolleginnen und Kollegen bei konkreten Fragestellungen
Schulung anderer Mitarbeitenden
eigene fachliche Weiterbildung über Simulationsaufgaben, Fahrdynamiktraining oder Technikschulungen
Rangierdienst
Zugvorbereitungsdienst
signalgeführte Fahrten im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind
routinemäßige Streckenbeobachtung zur Prüfung der Vegetation oder der Signalisierung

Erstellung von Verspätungsbegründungen
Erstellung von Betra
Unterstützung im Fahrplan- und Kapazitätsmanagement
Übernahme von Serviceaufgaben im digitalen Kundenzentrum oder in der Kundeninformation

Jobmerkmale

Im Rahmen der Literaturrecherche wurden allgemeine Jobmerkmale identifiziert, die einen Einfluss auf die Attraktivität eines Arbeitsplatzes haben (siehe Abschnitt 5.1). Um die Ausprägung dieser Merkmale für die Arbeitsplätze Tf, Fdl, Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Tele-Tf in der Rückfallebene zu erfassen, wurde auf den Job Diagnostic Survey (JDS; Hackman & Oldham, 1974) zurückgegriffen. Konkret wurden die jeweils zwei Aussagen des Abschnitts 2 des JDS zu den Merkmalen *Anforderungsvielfalt*, *Ganzheitlichkeit der Aufgabe*, *Bedeutsamkeit der Aufgabe*, *Autonomie*, *Sachliche Rückmeldung* und *Zusammenarbeit mit anderen* ins Deutsche übersetzt und an die Arbeitsplätze angepasst. Für die Datenauswertung wurden die Bewertungen der jeweils zwei Aussagen eines Merkmals gemittelt (nachdem die jeweils negativ formulierte Aussage umkodiert wurde). Außerdem wurde das *Motivationspotenzial* einer Tätigkeit (Motivating Potential Score; MPS) berechnet (Hackman & Oldman, 1974).

$$MPS = \left[\frac{Anforderungsvielfalt + Ganzheitlichkeit + Bedeutsamkeit}{3}\right] \times Autonomie \times Rückmeldung$$

Als Kontrollvariable wurden die sechs Aussagen zum *Entfaltungsbedürfnis* (Individual Growth Need Strength) aus dem Abschnitt 6 des JDS in die Befragung integriert. Dieser Aspekt spiegelt das Bedürfnis nach persönlicher Leistung und Entwicklung wider. Die Aussagen wurden über eine siebenstufige Skala von „nur mäßig stark (oder weniger)“ bis „außerordentlich stark“ bewertet. Für die Datenauswertung wurden die Bewertungen der sechs Aussagen gemittelt.

Die genannten Jobmerkmale des JDS wurden um die im Rahmen der Literaturrecherche (siehe Kapitel 5.1) identifizierten Merkmale *Überforderung*, *Unterforderung*, *Vollständigkeit*, *Erfolgserlebnisse*, *Zeitdruck* und *Zeitelastizität* ergänzt. Jedes Merkmal wurde über eine Aussage erfasst und anhand derselben siebenstufigen Skala von „sehr unzutreffend“ bis „sehr zutreffend“ bewertet. Tabelle 20 in Anhang A4.4 Items zur Erfassung der Jobmerkmale zeigt die dazugehörigen Items der Befragung.

Tabelle 15: Beschreibung der erhobenen Jobmerkmale

Jobmerkmal	Beschreibung
Anforderungsvielfalt (Skill Variety)	Ausmaß, in dem eine Tätigkeit den Einsatz unterschiedlicher Fähigkeiten erfordert
Ganzheitlichkeit der Aufgabe (Task Identity)	Ausmaß, in dem ein Arbeitsstück innerhalb der Tätigkeit von Anfang bis Ende, d. h. vollständig mit sichtbarem Ergebnis erarbeitet wird
Bedeutsamkeit der Aufgabe (Task Significance)	Ausmaß, in dem eine Tätigkeit wesentliche Auswirkungen auf das Leben oder die Arbeit anderer Menschen hat
Autonomie (Autonomy)	Ausmaß der Autonomie, das bei der Planung der Arbeit und der Festlegung der dabei anzuwendenden Verfahren gegeben ist
sachliche Rückmeldung (Feedback from the Job)	Ausmaß, in dem der Mitarbeitende über die Ausführung der Tätigkeit Rückmeldung zu seiner Arbeitsleistung erhält
Zusammenarbeit mit anderen (Dealing with others)	Ausmaß, in dem der Job eine enge Zusammenarbeit mit anderen Personen (innerhalb und außerhalb des eigenen Unternehmens) erfordert
Überforderung	Potenzial zur Überforderung.
Unterforderung	Potenzial zur Unterforderung.
Vollständigkeit	Ausmaß, in dem die Tätigkeit planende, ausführende und kontrollierende Elemente aufweist und die Ergebnisse der eigenen Tätigkeit selbst auf Übereinstimmung mit den gestellten Anforderungen geprüft werden können
Erfolgserlebnisse	Ausmaß der Leistungserlebnisse durch die Ausführung der Tätigkeit
Zeitdruck	Ausmaß, in dem Zeitpuffer für die Bearbeitung der Aufgaben vorliegen
Zeitelastizität	Ausmaß, in dem die/der Mitarbeitende die Arbeitszeit frei einteilen und selbst entscheiden kann, wie viel Zeit für welche Aufgabe veranschlagt wird

5.4.3 Ergebnisse

Potenzielle Arbeitszufriedenheit

Die Teilnehmenden wurden gefragt, wie gern sie als Tf bzw. Fdl arbeiten und wie gern sie als Tele-Tf in der Rückfallebene bzw. Bereit- und Abstellung arbeiten würden (0 = sehr ungern, 5 = sehr gern). Mittelwerte und Standardfehler sind in Abbildung 4 visualisiert (für weitere statistische Kennwerte

siehe Tabelle 21 im Anhang). Sowohl die Teilnehmenden der Gruppe Tf als auch der Gruppe Fdl arbeiten im Mittel gern als Tf oder Fdl bzw. haben gern als Tf oder Fdl gearbeitet. Die Gruppe der Tf würde im Mittel eher ungern als Tele-Tf arbeiten; die Gruppe der Fdl weder gern noch ungern.

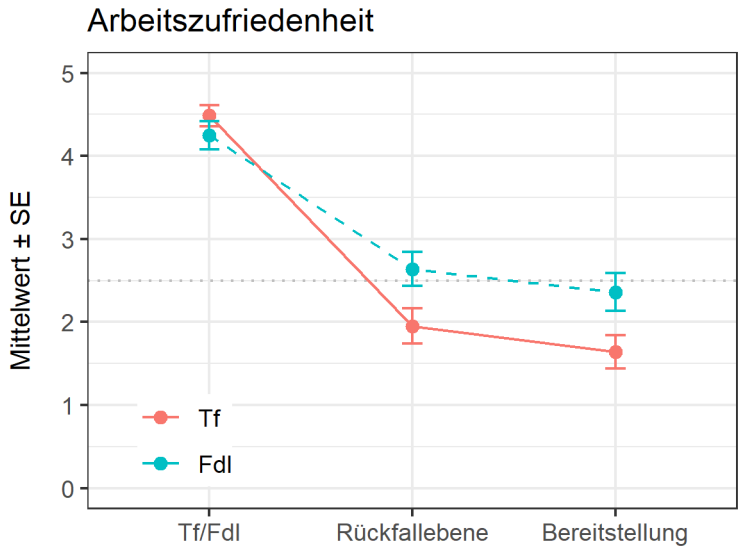


Abbildung 4: Mittelwerte und Standardfehler für die (potenzielle) Arbeitszufriedenheit (0 = sehr ungern bis 5 = sehr gern) in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) für den Job des Tf bzw. Fdl und Tele-Tf in der Rückfallebene und Bereit- und Abstellung.

Vor- und Nachteile des Tele-Tf

Direkt nach der Einführung in das jeweilige Tele-Tf-Berufsbild wurden die Teilnehmenden nach den Vor- und Nachteilen des jeweiligen Berufs gefragt. Die genannten Vorteile (sowie die Anzahl der Nennungen) sind im Anhang in A.4.11 Vor- und Nachteile der Tele-Tf-Berufe

Tabelle 45 Tabelle 45dargestellt, die genannten Nachteile in Tabelle 46.

Für die **Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung** sehen die Teilnehmenden der **Gruppe Tf** vor allem den Wegfall der Fußwege und Gastfahrten und die daraus resultierende Zeitersparnis als Vorteil (Aspekt wurde von 45 % der Teilnehmenden in der Gruppe Tf genannt). Auch die Witterungsunabhängigkeit des Arbeitsplatzes (25 %) sowie verbesserte Arbeitszeiten (16 %), z. B. ein pünktlicher Feierabend, wurden oft als Vorteil genannt. Der am häufigsten genannte Nachteil in der Gruppe der Tf ist, dass Störungen nicht unmittelbar behoben werden können (25 %). Häufig wurden außerdem das fehlende Fahrgefühl (19 %), der Bildschirmarbeitsplatz (insbesondere keine Bewegung und frische Luft, 13 %) und weniger Austausch bzw. Isolation (13 %) als Nachteil aufgeführt.

Für die **Tele-Tf in der Rückfallebene** nannte die **Gruppe der Tf** insbesondere die verbesserten Arbeitszeiten (23 %) sowie den effizienteren Einsatz des Personals (20 %) als Vorteile. Auch die Vielfalt der Aufgaben (11 %) und die Witterungsunabhängigkeit (11 %) wurden häufig als Vorteil aufgeführt. Dass Störungen nicht unmittelbar behoben werden können, ist der von den Tf am häufigsten ge-

nannte Nachteil der Tele-Tf in der Rückfallebene (34 %). Die Tf nannten außerdem häufig die eingeschränkte Sicht bzw. den eingeschränkten Überblick (17 %) und das fehlende Fahrgefühl (16 %) als Nachteil.

In der **Gruppe der Fdl** wurden insbesondere die Zeitersparnis (17 %), die Einsicht in das Geschehen vor Ort (14 %), weniger Abstimmung zwischen Tf und Fdl (14 %) sowie die ruhige Arbeitsumgebung durch ein Einzelbüro (11 %) als Vorteile der **Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung** genannt. Als Nachteil wurde insbesondere das „nicht vor Ort"-Sein aufgeführt (36 %), gefolgt von einer höheren Arbeitsbelastung oder Verantwortung (11 %).

Für die **Tele-Tf in der Rückfallebene** sehen die Teilnehmenden der **Gruppe der Fdl** insbesondere die Wohnortnähe (22 %), die Vielfalt der Aufgaben (19 %) sowie die Einsicht in das Geschehen vor Ort (17 %) als Vorteil. Nachteile sind für die Fdl vor allem, dass Störungen nicht unmittelbar behoben werden können (19 %) sowie mögliche Probleme durch digitale Schnittstellen (17 %).

Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung

Hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, sich zu Tele-Tf weiterzubilden, zeigt sich kein einheitliches Bild. Im Mittel liegt die Wahrscheinlichkeit bei ca. 50 % bzw. knapp darunter, wobei sie für die Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung niedriger ausfällt als für die Tele-Tf in der Rückfallebene (Bereit- und Abstellung: M_{Tf} = 41,75 % (SD_{Tf} = 38,01), M_{Fdl} = 44,44 % (SD_{Fdl} = 34,53); Rückfallebene: M_{Tf} = 48,27 % (SD_{Tf} = 38,54), M_{Fdl} = 51,92 % (SD_{Fdl} = 32,00), siehe Tabelle 22 im Anhang für weitere statistische Kennwerte). Betrachtet man die Verteilung der Prozentwerte zur Wahrscheinlichkeit der Weiterbildung (Abbildung 5 und Tabelle 47 im Anhang), wird eine hohe Varianz ersichtlich. Auf der einen Seite würden sich rund 39 % (34 %) der Gruppe Tf und 31 % (17 %) der Gruppe Fdl nicht bzw. mit einer Wahrscheinlichkeit von unter 20 % zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung (Tele-Tf in der Rückfallebene) weiterbilden. Auf der anderen Seite finden sich in der Gruppe Tf etwa 28 % (33 %) und in der Gruppe der Fdl 22 % (28 %), die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit $\geq$ 80 % zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung (Tele-Tf in der Rückfallebene) weiterbilden würden.

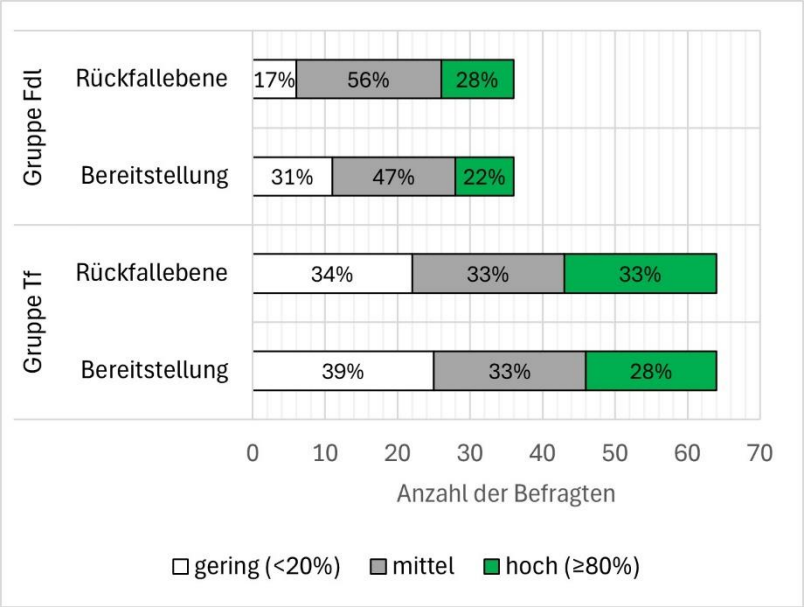


Abbildung 5: Anzahl (x-Achse) und Anteil (Balkenbeschriftungen) der Befragten, die sich mit hoher, mittlerer bzw. geringer Wahrscheinlichkeit zur Tele-Tf weiterbilden würden

Um besser zu verstehen, worin sich diejenigen, die sich eine Weiterbildung vorstellen könnten (Wahrscheinlichkeit ≥ 50 %), von denjenigen, die sich diese nicht vorstellen könnten (Wahrscheinlichkeit < 50 %), unterscheiden, wurden die Antworten zu den Gründen für und gegen eine Weiterbildung getrennt analysiert. Die Gründe für eine Weiterbildung zu Tele-Tf sind im Anhang in Tabelle 48 aufgeführt, in Tabelle 49 die Gründe gegen eine Weiterbildung.

Tabelle 50 im Anhang listet die Aspekte auf, welche die Befragten mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit von einer Weiterbildung überzeugen könnten. Im Folgenden werden die am häufigsten genannte Aspekte vorgestellt.

Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung

In der **Gruppe der Tf** mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit wurden als **Gründe für** eine Weiterbildung insbesondere das generelle Interesse an Weiterbildungen bzw. an neuen Herausforderungen sowie die Bürotätigkeit genannt. In der Gruppe der Tf mit geringer Weiterbildungswahrscheinlichkeit wurden insbesondere die festen und regelmäßigen Arbeitszeiten, der saubere und trockene Arbeitsplatz sowie das Interesse an Weiterentwicklung und der neuen Technik als Gründe für eine Weiterbildung genannt.

Gründe gegen eine Weiterbildung waren in der Gruppe der Tf mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit vor allem, dass Züge nicht mehr selbst vor Ort gefahren werden sowie Monotonie. In der Gruppe der Tf mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit wurden deutlich mehr Gründe gegen eine Weiterbildung genannt. Häufigster Grund war, dass es sich um einen Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplatz handelt. Auch Monotonie und das fehlende Fahrgefühl wurden häufig genannt.

Diejenigen, die sich mit geringer Wahrscheinlichkeit (< 50 %) zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung weiterbilden würden, wurden zusätzlich gefragt, womit man sie für die Weiterbildung **überzeugen** könnte. Hier wurden in der Gruppe der Tf insbesondere eine spürbare Gehaltserhöhung sowie eine zeitliche Begrenzung des Einsatzes als Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung genannt.

Die **Gruppe der Fdl** mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit nannte insbesondere das Interesse an Weiterbildung sowie den modernen bzw. interessanten Arbeitsplatz als **Gründe für** eine Weiterbildung. Diejenigen mit geringer Weiterbildungswahrscheinlichkeit nannten deutlich weniger Gründe für eine Weiterbildung. Am häufigsten wurde der Büroarbeitsplatz als Grund genannt.

Als **Gründe gegen** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung wurden von der Gruppe der Fdl mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit insbesondere der Aufwand durch die Weiterbildung, Monotonie und ein ggf. geringeres Gehalt genannt. Diejenigen mit geringer Weiterbildungswahrscheinlichkeiten nannten ebenfalls Monotonie und den fehlenden Bezug zur realen Eisenbahn sowie Unterforderung und das Gehalt als Gründe gegen eine Weiterbildung.

Die Gruppe der Fdl mit geringer Weiterbildungswahrscheinlichkeit könnte man insbesondere mit einem höheren Gehalt und besseren Arbeitszeiten für eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung **überzeugen**.

Weiterbildung zu Tele-Tf in der Rückfallebene

Gründe für eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Rückfallebene waren in der **Gruppe der Tf** mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit insbesondere das Interesse an Weiterbildungen, die abwechslungsreiche und interessante Tätigkeit sowie der Arbeitsplatzerhalt. Dieselben Gründe wurden auch in der Gruppe der Tf mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit am häufigsten genannt.

Die häufigsten **Gründe gegen** eine Weiterbildung waren in der Gruppe der Tf mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit Monotonie, unzureichende Technik und Züge nicht mehr selbst vor Ort fahren zu können. In der Gruppe der Tf mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit wurden insbesondere der Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplatz, der Spaß am Beruf des Tf und der mit dem Beruf Tele-Tf einhergehende fehlende Fahrspaß sowie das unzureichende Störungsmanagement aus der Ferne als Gründe gegen eine Weiterbildung genannt.

Die Tf mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit könnte man am ehesten mit einer spürbaren Gehaltserhöhung **überzeugen**. Auch eine zuverlässige Technik wurde häufig genannt.

In der **Gruppe der Fdl** wurden von den Fdl mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit vor allem die Aufgabenvielfalt sowie der moderne bzw. interessante Arbeitsplatz und eine neue Herausforderung als **Gründe für** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Rückfallebene genannt. Fdl mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit nannten insbesondere die Arbeitsplatzsicherheit und eine neue Herausforderung.

Ein **Grund gegen** eine Weiterbildung war für die Fdl mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit die hohe Arbeitsbelastung. Diese wurde auch von den Fdl mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit am häufigsten genannt.

Die Fdl mit niedriger Weiterbildungswahrscheinlichkeit könnte man, genauso wie die Tf, vor allem mit einem höheren Gehalt davon **überzeugen**, die Weiterbildung zu Tele-Tf in der Rückfallebene zu absolvieren.

Jobmerkmale

Im Folgenden werden die Bewertungen der zwölf allgemeinen Jobmerkmale, die einen Einfluss auf die Attraktivität einer Tätigkeit haben, für die Berufsbilder Tf, Fdl, Tele-Tf in der Bereitstellung und Tele-Tf in der Rückfallebene zusammenfassend dargestellt. Um signifikante Unterschiede zwischen den Bewertungen der Berufsbilder in Abhängigkeit von der Gruppenzugehörigkeit zu identifizieren, wurde pro Merkmal eine gemischte ANOVA mit entsprechenden Post-hoc-Tests (Bonferroni-Korrektur der p-Werte) gerechnet (bei Verletzung der Sphärizität wurde eine Greenhouse-Geisser-Korrektur der Freiheitsgrade vorgenommen). Mittelwerte und Standardfehler für jedes Jobmerkmal, getrennt nach Gruppe und Berufsbild, sowie signifikante Unterschiede zwischen den Berufsbildern und Gruppen sind in Abbildung 6 (für die Merkmale des JDS) und in Abbildung 7 (für die zusätzlichen sechs Merkmale) dargestellt. Weitere deskriptive Kennwerte sowie detaillierte Ergebnisse der ANOVA finden sich in Anhang A4.

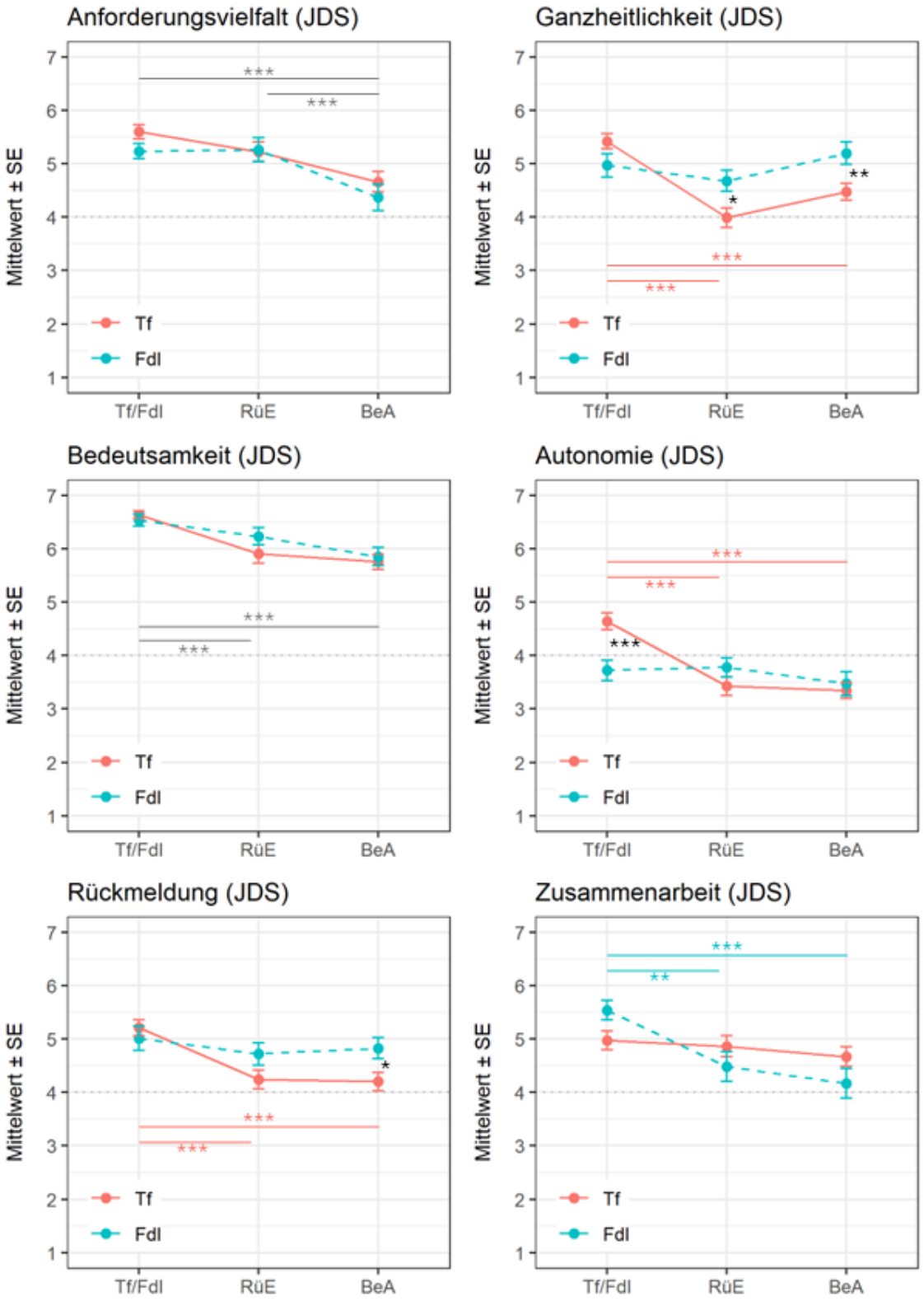


Abbildung 6: Mittelwerte und Standardfehler für die Jobmerkmale des JDS in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung

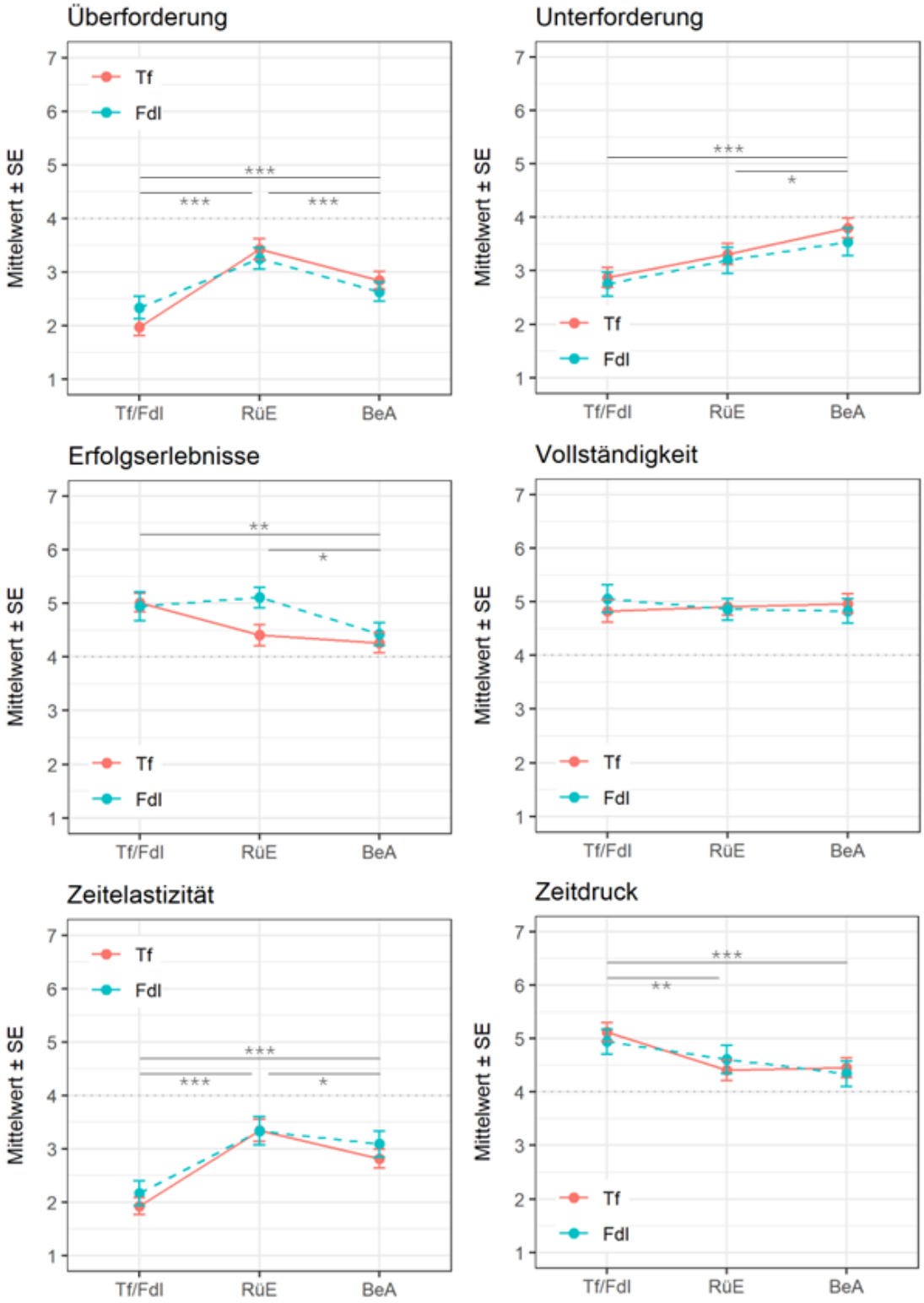


Abbildung 7: Mittelwerte und Standardfehler für die zusätzlichen Jobmerkmale in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung

Die Merkmale Anforderungsvielfalt, Ganzheitlichkeit der Aufgabe, Bedeutsamkeit der Aufgabe, Autonomie und sachliche Rückmeldung (des JDS) lassen sich zum Motivationspotenzial einer Tätigkeit (MPS) zusammenfassen. Das Motivationspotenzial ist in der Gruppe Fdl zwischen dem Beruf Fdl und den Tele-Tf-Berufen vergleichbar hoch. In der Gruppe Tf hingegen ist das Motivationspotenzial des Tf-Berufs signifikant höher als das der Tele-Tf-Berufe. Das Motivationspotenzial des Tf-Berufs wurde im Vergleich zum Fdl-Beruf außerdem signifikant höher bewertet (Abbildung 8 und Anhang A4.7 Deskriptive Statistik für Jobmerkmale).

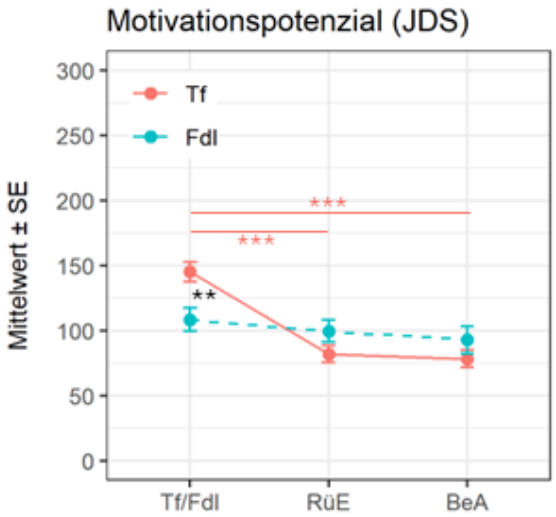


Abbildung 8: Mittelwerte und Standardfehler für das Motivationspotenzial der Tätigkeiten in der Gruppe Tf (rot; n = 64) vs. Fdl (blau, gestrichelt; n = 36) sowie signifikante Unterschiede (grau = nur sig. Haupteffekt Berufsbild; blau/rot = sig. Interaktionseffekt; *** p < .001, ** p < .01, * p > 0.05). RüE = Tele-Tf in der Rückfallebene; BeA = Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung

Die Analysen zeigen, dass die Mehrzahl der Merkmale für die Tele-Tf-Berufe negativer eingeschätzt wurde als für die Berufe Tf und Fdl. Die beiden Merkmale, die im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl positiver beurteilt wurden, sind Zeitdruck (geringer für Tele-Tf) und Zeitelastizität (höher für Tele-Tf, insbesondere in der Rückfallebene). Hingegen wurde für beide Tele-Tf-Berufe die Bedeutsamkeit der Tätigkeit geringer und das Potenzial zur Überforderung (insbesondere für die Rückfallebene) im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl höher eingeschätzt. Die Gruppe der Tf bewertete darüber hinaus die Ganzheitlichkeit der Tätigkeit, das Ausmaß der Rückmeldung durch die Tätigkeit sowie die Autonomie in der Arbeitsplanung für die Tele-Tf-Berufe geringer als für den Beruf der Tf. Die Gruppe der Fdl bewertete hingegen das Ausmaß der Zusammenarbeit mit anderen Personen für die Tele-Tf-Berufe geringer als für den Beruf der Fdl. Für den Beruf der Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung wurden überdies von beiden Berufsgruppen die Anforderungsvielfalt und das Ausmaß von Erfolgserlebnissen niedriger und das Potenzial zur Unterforderung höher eingeschätzt. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen einen Überblick dieser Ergebnisse. Das Motivationspotenzial der Berufe Fdl, Tele-Tf in der Rückfallebene und Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung wurde vergleichbar hoch bewertet, das Motivationspotenzial des Tf-Berufs signifikant höher.

Attraktivität

Die Teilnehmenden bewerteten die einzelnen Aspekte der Tele-Tf-Arbeitsplätze hinsichtlich ihrer Attraktivität (von -50 = unattraktiv bis 50 = attraktiv) sowie den Einfluss der entsprechenden übergeordneten Arbeitsplatzmerkmale auf die Attraktivität der Tätigkeit (von 0 = kein Einfluss bis 100 = sehr großer Einfluss). Beide Werte wurden jeweils multipliziert, um die anhand des Einflusses gewichtete Attraktivität zu berechnen (für die Darstellung der Mittelwerte und Standardfehler in Abbildung 11 wurden die Werte durch 1 000 dividiert). Die Bewertungen der Gruppe Fdl fallen tendenziell positiver aus als die Bewertungen der Gruppe Tf. Sowohl für die Gruppe der Tf als auch für die Gruppe der Fdl ist insbesondere die Wohnortnähe attraktiv, gefolgt von der Gestaltung der Bedienoberflächen und den festen Arbeitszeiten. Besonders unattraktiv ist für die Gruppe der Tf die Tatsache, dass es sich um einen Schreibtischjob handelt. Für die Gruppe der Fdl ist kein Aspekt wirklich unattraktiv, wobei die Unvorhersagbarkeit der Aufgaben sowie die Unterbrechung von Aufgaben am wenigsten attraktiv bewertet wurden. In Anhang A4.8 Deskriptive Statistik für Attraktivität und Einfluss finden sich weitere statistische Kennzahlen sowie die isolierten Bewertungen der Attraktivität und des Einflusses.

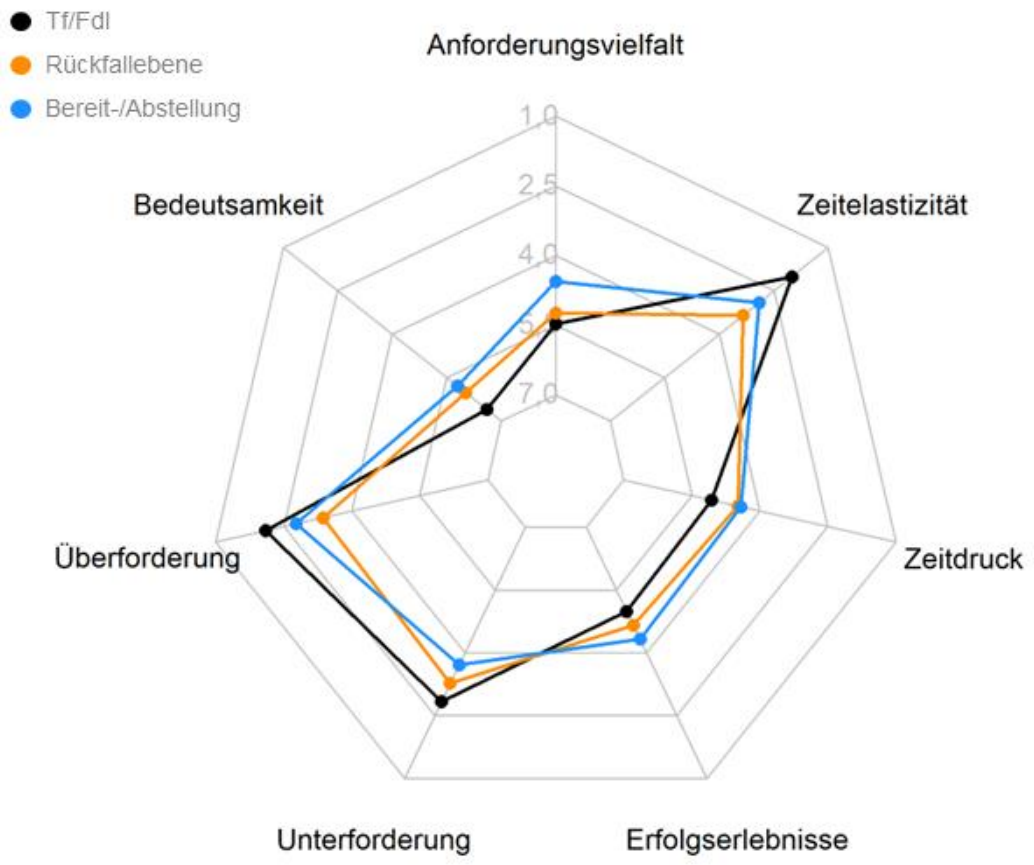


Abbildung 9: Beurteilung verschiedener Merkmale der Arbeitssituation, die von beiden Berufsgruppen im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl vergleichbar eingeschätzt wurden. Je weiter außen sich ein Wert befindet, desto geringer wurde das Ausmaß des Merkmals eingeschätzt.

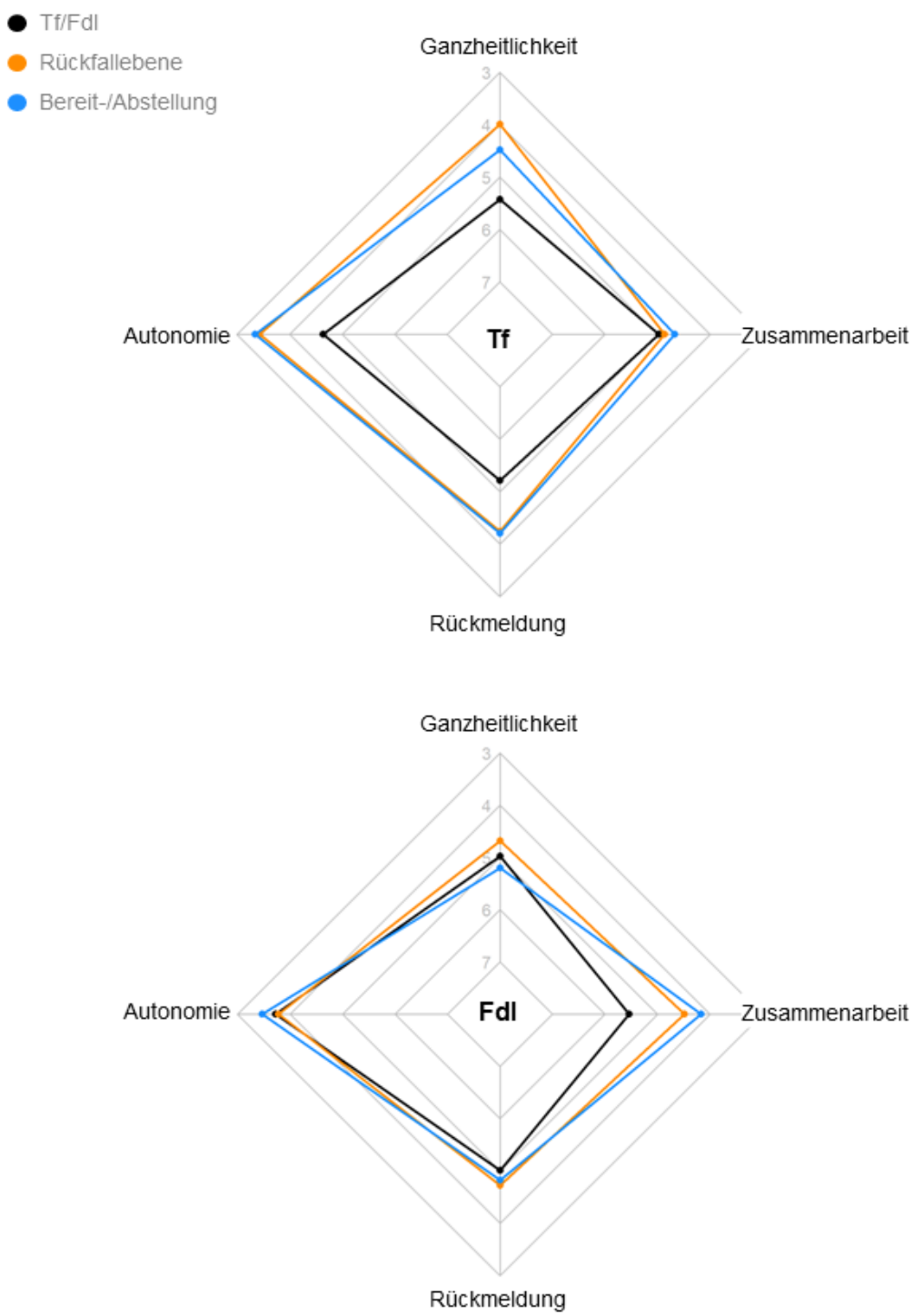


Abbildung 10. Beurteilung verschiedener Merkmale der Arbeitssituation, die von beiden Berufsgruppen im Vergleich zu den Berufen Tf und Fdl unterschiedlich eingeschätzt wurden. Je weiter außen sich ein Wert befindet, desto geringer wurde das Ausmaß des Merkmals eingeschätzt.

Nebentätigkeiten

Die Teilnehmenden wurden gefragt, wie gern sie verschiedene Nebentätigkeiten bearbeiten würden. Sowohl die Teilnehmenden der Gruppe Tf als auch der Gruppe Fdl bewerteten die Unterstützung von Kolleginnen und Kollegen bei konkreten Fragestellungen und die Schulung anderer Mitarbeitender, die eigene fachliche Weiterbildung sowie signalgeführte Fahrten im Regelbetrieb im Mittel am positivsten. Am negativsten wurde von beiden Gruppen die Übernahme von Serviceaufgaben, gefolgt von der Erstellung von Betriebs- und Bauanweisungen und der Personalplanung, bewertet. Abbildung 12 zeigt die Mittelwerte und Standardfehler für jede Nebentätigkeit getrennt nach Gruppe. Anhang A4.9 Deskriptive Statistik für Attraktivität der Nebentätigkeiten zeigt weitere statistische Kennzahlen.

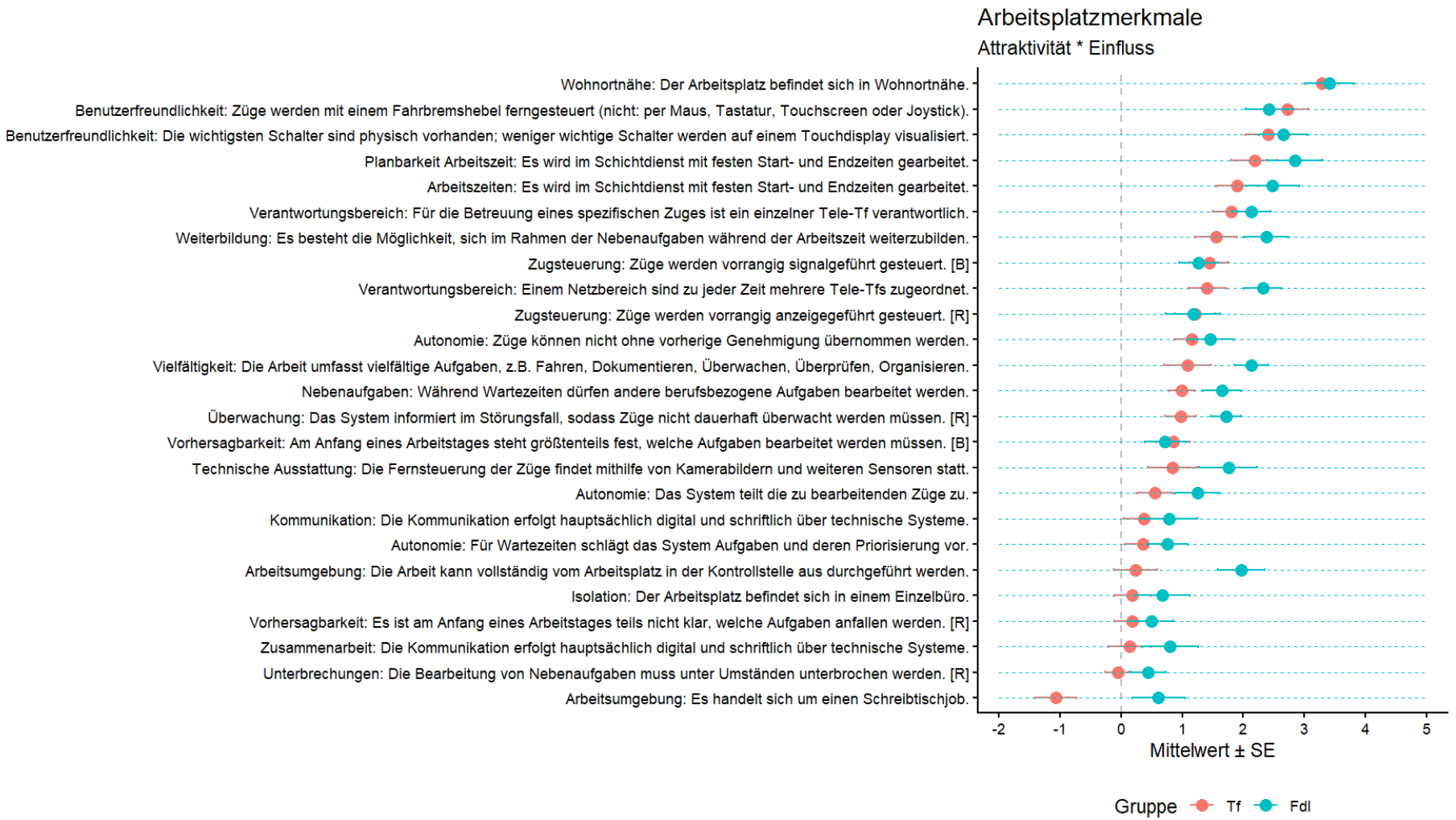


Abbildung 11: Mittelwerte und Standardfehler für die gewichtete Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau); unattraktiv = negativ, attraktiv = positiv

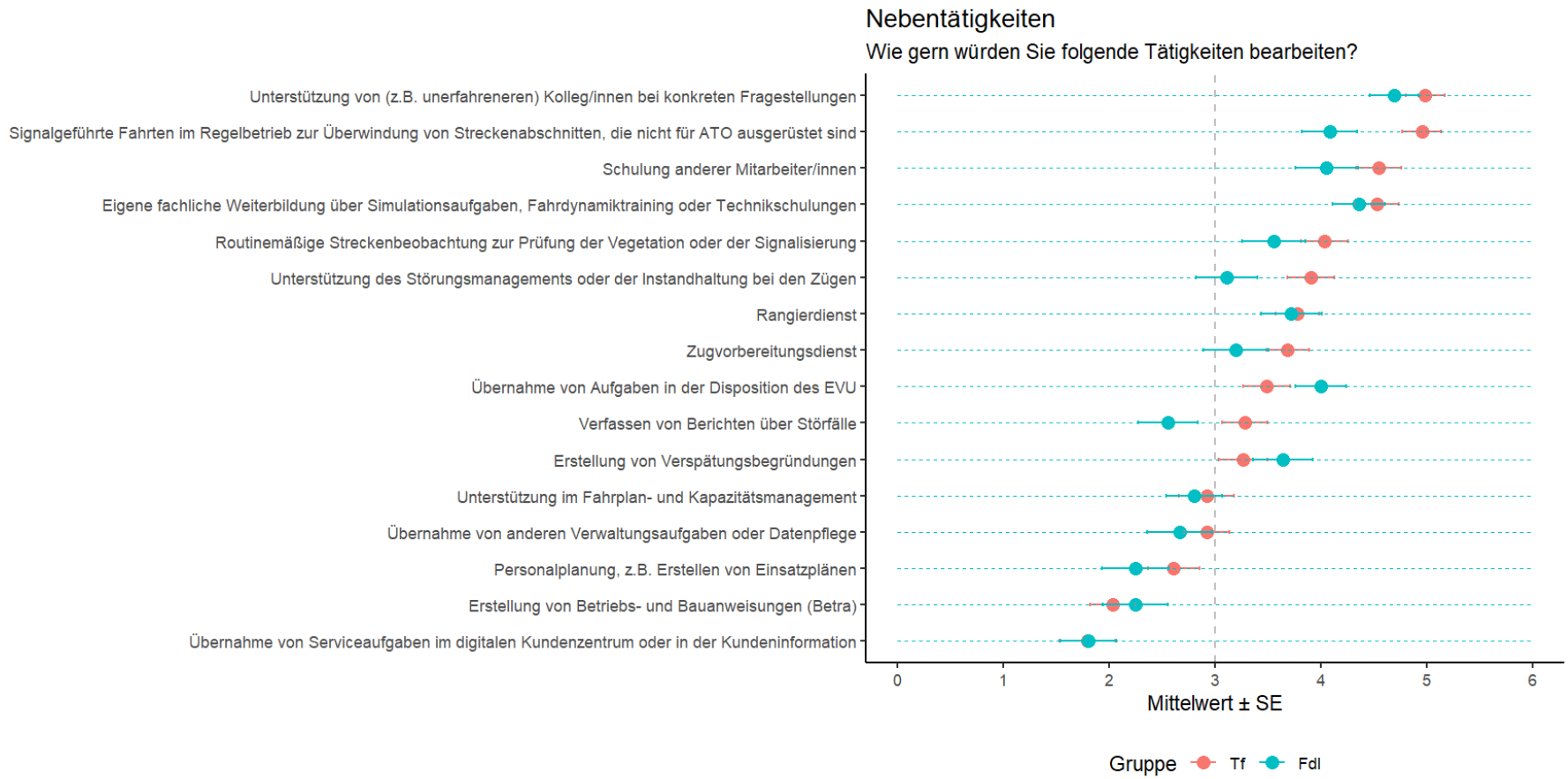


Abbildung 12: Mittelwerte und Standardfehler für die Bewertung der Nebentätigkeiten, getrennt nach Gruppe (0 = sehr ungern, 6 = sehr gern)

Unterschiede in Abhängigkeit von der Weiterbildungswahrscheinlichkeit (Gruppe Tf)

Um besser zu verstehen, was die Tf, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Tele-Tf weiterbilden würden, von den anderen Tf unterscheidet, wurde die Gruppe der Tf in Abhängigkeit von der Wahrscheinlichkeit in drei Subgruppen aufgeteilt. Der Subgruppe „hoch" wurden diejenigen zugeteilt, die sich mit einer Wahrscheinlichkeit von über 60 % weiterbilden würden (n = 21) sowohl zu Tele-Tf in der Bereit/-Abstellung als auch zu Tele-Tf in der Rückfallebene. Die Subgruppe „gering" bilden diejenigen, die sich mit einer Wahrscheinlichkeit von weniger als 40 % sowohl zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung als auch zu Tele-Tf in der Rückfallebene weiterbilden würden (n = 28). Alle anderen Teilnehmenden der Gruppe Tf bilden die Subgruppe „mittel" (n = 15). Tabelle 51 im Anhang zeigt die Zahl der Teilnehmenden pro Wahrscheinlichkeitsbereich für die beiden Tele-Tf-Berufsbilder. Diese Analyse wurde nur für die Gruppe der Tf durchgeführt, da die Anzahl der Fdl für diesen Vergleich nicht ausreichend groß ist.

Die demographischen Merkmale der drei Subgruppen sind in Tabelle 16 dargestellt. Hier fällt insbesondere auf, dass die Teilnehmenden der Subgruppe „gering" im Mittel jünger sind als die Teilnehmenden der Subgruppe „hoch". Der Altersunterschied zwischen diesen beiden Subgruppen ist marginal signifikant (p = .066).

Tabelle 16: Demographische Merkmale der drei Subgruppen

	Gering (n = 28)	**Mittel (n = 15)**	**Hoch (n = 21)**
Alter in Jahren	*M* = 38,32 *SD* = 12,97 Min = 21 Max = 60	*M* = 40,47 *SD* = 12,77 Min = 24 Max = 59	*M* = 46,52 *SD* = 10,25 Min = 30 Max = 66
Geschlecht			
männlich	25 (89,29 %)	13 (86,68 %)	17 (80,95 %)
weiblich	2 (7,14 %)	2 (13,33 %)	4 (19,05 %)
divers	1 (3,57 %)	0	0
Ausbildung			
Eisenbahner	11 (39,29 %)	4 (26,67 %)	6 (28,57 %)
Quereinsteigende	17 (60,71 %)	11 (73,33 %)	15 (71,43 %)
Berufsjahre	*M* = 9,41 *SD* = 8,69 Min = 0 Max = 37	*M* = 13,03 *SD* = 12,15 Min = 2,5 Max = 36	*M* = 12,21 *SD* = 11,11 Min = 1 Max = 47
aktueller Beruf			
Tf	26 (92,86 %)	13 (86,67 %)	21 (100,00 %)
sonstiges	5 (17,86 %)	7 (46,67 %)	2 (9,52 %)

	Gering (n = 28)	**Mittel (n = 15)**	**Hoch (n = 21)**
Einsatzbereich			
Fernverkehr	11 (42,31 %)	4 (30,77 %)	6 (28,57 %)
Nah-/Regionalverkehr	17 (65,39 %)	9 (69,23 %)	13 (61,91 %)
S-Bahn-Verkehr	0 (0 %)	2 (15,39 %)	3 (14,29 %)
Güterverkehr	5 (19,23 %)	3 (23,08 %)	4 (19,05 %)
sonstiges	1 (3,85 %)	0 (0 %)	1 (4,76 %)
Leittechnik			
signalgeführt	*M* = 79,23 *SD* = 24,57 Min = 30 Max = 100	*M* = 88,69 *SD* = 15,05 Min = 59 Max = 100	*M* = 86,33 *SD* = 21,62 Min = 37 Max = 100
anzeigegeführt	*M* = 16,38 *SD* = 22,49 Min = 0 Max = 70	*M* = 8,00 *SD* = 13,47 Min = 0 Max = 41	*M* = 11,43 *SD* = 18,21 Min = 0 Max = 50
sonstiges	*M* = 4,38 *SD* = 11,23 Min = 0 Max = 45	*M* = 3,31 *SD* = 7,99 Min = 0 Max = 28	*M* = 2,24 *SD* = 5,03 Min = 0 Max = 20
Technikaffinität	*M* = 5,07 *SD* = 1,25 Min = 1 Max = 6	*M* = 4,87 SD = 0,99 Min = 3 Max = 6	*M* = 5,10 *SD* = 0,70 Min = 4 Max = 6
Entfaltungsbedürfnis (JDS)	*M* = 5,01 *SD* = 1,13 Min = 3 Max = 7	*M* = 5,42 *SD* = 0,79 Min = 4,33 Max = 6,67	*M* = 5,27 *SD* = 0,82 Min = 4 Max = 7

Potenzielle Arbeitszufriedenheit

Wie gern die Teilnehmenden als Tele-Tf in der Rückfallebene und Bereit- und Abstellung arbeiten würden, unterscheidet sich in Abhängigkeit von den Subgruppen. Die Subgruppe „gering“ (also diejenigen, die sich mit geringer Wahrscheinlichkeit weiterbilden würden) würde am wenigsten gern als Tele-Tf arbeiten, gefolgt von der Subgruppe „mittel“. Die Subgruppe „hoch“ würde im Mittel eher gern als Tele-Tf arbeiten. Als Tf arbeiten alle drei Subgruppen im Mittel gern. Die Mittelwerte und Standardfehler für die Berufsbilder sind in Abbildung 13 getrennt nach Subgruppe dargestellt.

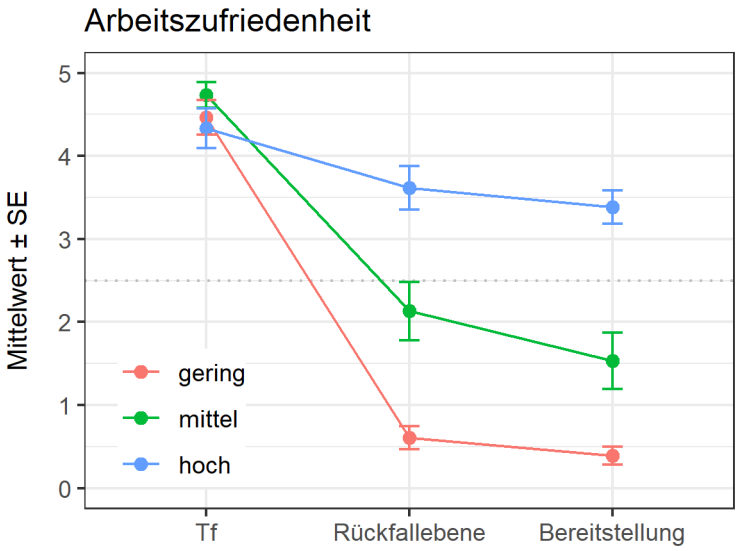


Abbildung 13.: Mittelwerte und Standardfehler der (potenziellen) Arbeitszufriedenheit getrennt nach den Tf-Subgruppen

Jobmerkmale

Die Ausprägung der Jobmerkmale Anforderungsvielfalt, Ganzheitlichkeit, Bedeutsamkeit, sachliche Rückmeldung und Zusammenarbeit mit anderen (des JDS) wurden für die Tele-Tf-Berufsbilder von der Subgruppe „hoch“ höher bewertet als von der Subgruppe „gering“. Der Tf-Beruf wurde von den drei Subgruppen im Mittel gleich bewertet. Abbildung 27 im Anhang zeigt die entsprechenden Mittelwerte und Standardfehler. Die Bewertungen der Jobmerkmale lassen sich als Motivationspotenzial eines Berufs zusammenfassen. Hier zeigt sich dasselbe Muster (Abbildung 14).

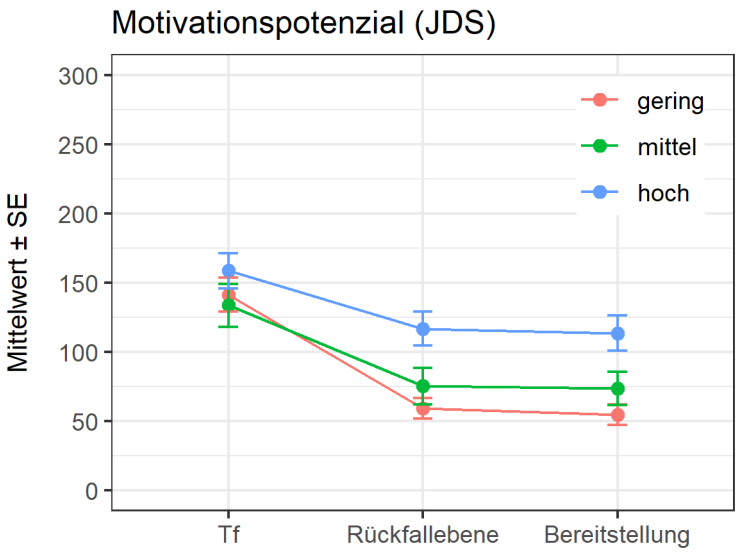


Abbildung 14: Mittelwerte und Standardfehler für das Motivationspotenzial eines Berufs (JDS) in den drei Tf-Subgruppen getrennt nach Berufsbild.

Für die zusätzlich erhobenen Jobmerkmale Erfolgserlebnisse, Vollständigkeit, Zeitelastizität, Überforderung und Unterforderung zeigt sich ein vergleichbares Bild: Die Subgruppe „hoch“ bewertete diese Merkmale für die Tele-Tf-Berufsbilder besser (d. h. höher für Erfolgserlebnisse, Vollständigkeit und Zeitelastizität bzw. niedriger für Über- und Unterforderung) als die Subgruppe „gering“. Nur das Merkmal Zeitdruck wurde von den drei Subgruppen gleich bewertet. In Abbildung 15 sind die entsprechenden Mittelwerte der Subgruppen und Berufsbilder dargestellt.

Attraktivität

Jeder Einzelaspekt der Tele-Tf-Berufsbilder wurde von der Subgruppe „gering“ unattraktiver bewertet als von der Subgruppe „hoch“ (siehe Abbildung 16). Dies gilt auch für die gewichtete Attraktivität (siehe Abbildung 17).

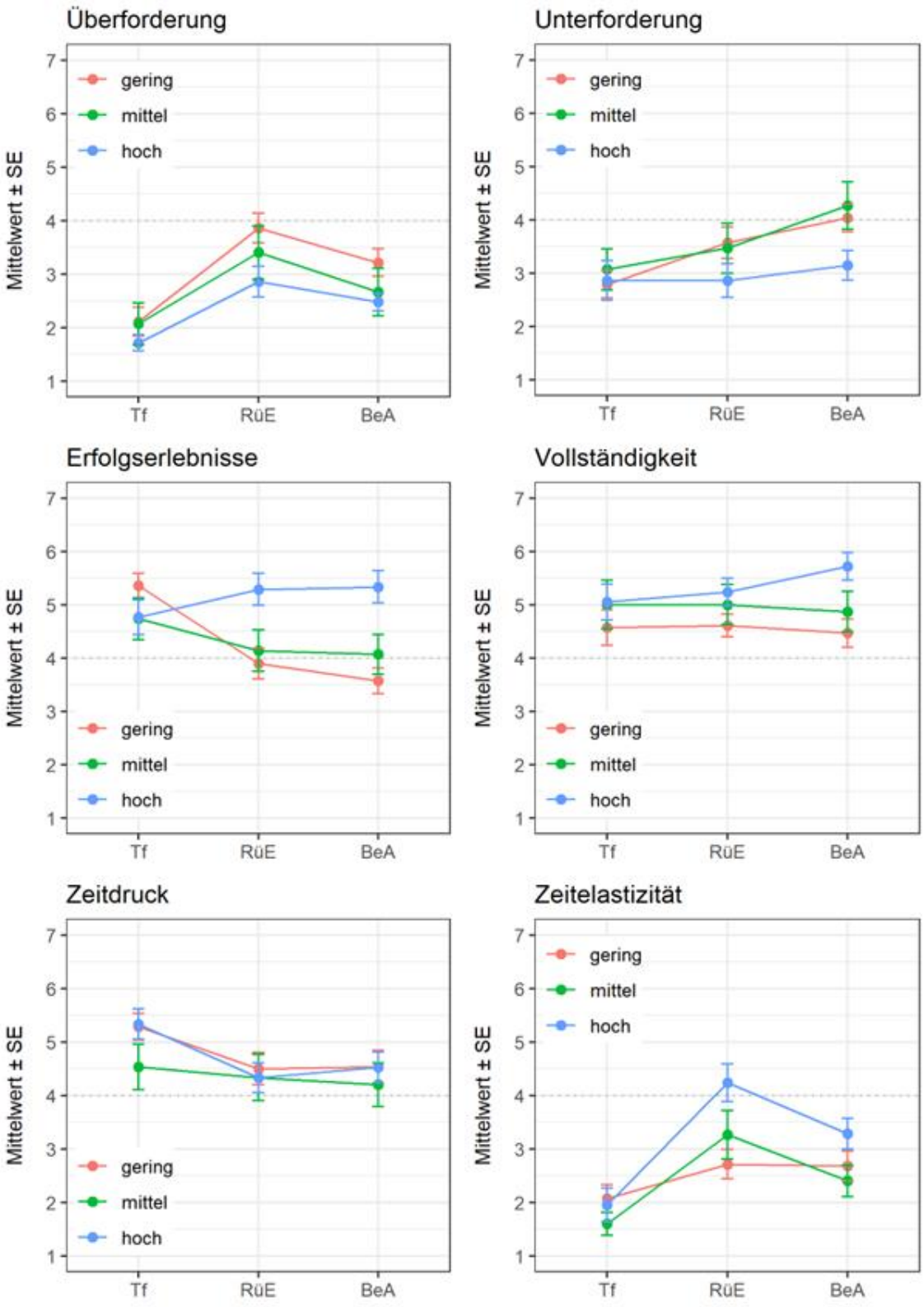


Abbildung 15: Mittelwerte und Standardfehler für die zusätzlich erhobenen Jobmerkmale in den drei Tf-Subgruppen getrennt nach Berufsbild



Abbildung 16: Mittelwerte und Standardfehler für die Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in den drei Subgruppen; unattraktiv = -50, attraktiv = 50



Abbildung 17: Mittelwerte und Standardfehler für die gewichtete Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in den drei Subgruppen; unattraktiv = negativ, attraktiv = positiv

5.4.4 Zusammenfassung und Diskussion

In einer Onlinebefragung bewerteten 64 Tf und 36 Fdl die Berufsbilder Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Tele-Tf in der Rückfallebene hinsichtlich ihrer Attraktivität. Diese wurde über die potenzielle Arbeitszufriedenheit, Vor- und Nachteile, die Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung, der Ausprägung verschiedener Jobmerkmale im Vergleich zum Tf bzw. Fdl sowie der Bewertung einzelner Arbeitsplatzmerkmale inklusive berufsbezogener Nebentätigkeiten erfasst.

Wie gern würden Tf und Fdl als Tele-Tf arbeiten?

Die Befragten arbeiten gern als Tf bzw. Fdl. Als Tele-Tf würden die Tf im Mittel eher ungern arbeiten, die Fdl weder gern noch ungern. Unter den Tf gibt es jedoch rund ein Drittel, das (eher) gern als Tele-Tf arbeiten würde. Bei den Fdl sind es sogar zwei Drittel beim Tele-Tf in der Rückfallebene und knapp 50 % beim Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung.

Was sind die Vor- und Nachteile der Tele-Tf-Berufe aus Sicht der Tf und Fdl?

Vorteile der Tele-Tf-Berufe sind für die Tf insbesondere die verbesserten Arbeitszeiten, der effizientere Einsatz des Personals, die Vielfalt der Aufgaben und die Witterungsunabhängigkeit sowie für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung die Zeitersparnis durch den Wegfall von Fußwegen und Gastfahrten. Die Fdl sehen insbesondere die Wohnortnähe, die Vielfalt der Aufgaben, die Einsicht in das Geschehen vor Ort, weniger Abstimmung zwischen Tf und Fdl sowie die ruhige Arbeitsumgebung durch ein Einzelbüro als Vorteil.

Nachteile der Tele-Tf-Berufe sind für die Tf, dass Störungen nicht unmittelbar behoben werden können, die eingeschränkte Sicht bzw. der eingeschränkte Überblick, das fehlende Fahrgefühl, der Bildschirmarbeitsplatz ohne Bewegung und frische Luft und die soziale Isolation. Das „nicht vor Ort"-Sein sowie mögliche Probleme durch digitale Schnittstellen wurden von den Fdl als Nachteil benannt.

Die Bewertung der konkreten Merkmale der Tele-Tf-Berufe spiegelt die obigen Ergebnisse teilweise wider: Für die Befragten ist insbesondere die Wohnortnähe attraktiv, gefolgt von der Gestaltung der Bedienoberflächen und den festen Arbeitszeiten. Besonders unattraktiv bewerten die Tf die Tatsache, dass es sich um einen Schreibtischjob handelt. Für die Fdl war im Mittel kein Aspekt unattraktiv.

Mit welcher Wahrscheinlichkeit würden sich Tf und Fdl zu Tele-Tf weiterbilden?

Etwa 30 % der Befragten würden sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zu Tele-Tf weiterbilden, etwa 30 % würden dies mit geringer Wahrscheinlichkeit tun.

Als Gründe für eine Weiterbildung zu Tele-Tf wurden insbesondere das generelle Interesse an Weiterbildungen und neuen Herausforderungen, die Aufgabenvielfalt, die moderne Technik, die Bürotätigkeit mit einem trockenen und sauberen Arbeitsplatz, feste und regelmäßige Arbeitszeiten sowie der Arbeitsplatzerhalt genannt. Gründe gegen eine Weiterbildung zu Tele-Tf sind für die Befragten

vor allem der Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplatz (beinhaltet, dass Züge nicht mehr selbst vor Ort gefahren werden und dass das Fahrgefühl fehlt), der Spaß am Tf-Beruf, unzureichende Technik sowie Monotonie und Unterforderung. Diejenigen, die sich eher nicht weiterbilden würden, könnte man unter Umständen mit einer spürbaren Gehaltserhöhung, einer zuverlässigen Technik, verbesserten Arbeitszeiten und einer zeitlichen Begrenzung des Einsatzes als Tele-Tf überzeugen.

Was charakterisiert die Arbeit als Tele-Tf im Vergleich zur Arbeit als Tf bzw. Fdl?

Im Vergleich zum Tf wurden das Ausmaß der Autonomie, der Ganzheitlichkeit der Aufgabe sowie der Rückmeldung durch die Arbeit für die Tele-Tf niedriger bewertet. Das Ausmaß der Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen wurde im Vergleich zur Fdl niedriger bewertet. Sowohl im Vergleich zum Tf als auch im Vergleich zur Fdl wurden das Ausmaß der Anforderungsvielfalt niedriger (Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung) und das Potenzial zur Überforderung (Tele-Tf in der Rückfallebene) sowie das Potenzial zur Unterforderung (Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung) höher eingeschätzt. Der einzige positive Unterschied zwischen Tf bzw. Fdl und Tele-Tf fand sich für die Zeitelastizität. Diese wurde für den Tele-Tf höher eingeschätzt. Das Motivationspotenzial der Tele-Tf-Berufe ist aus Sicht der Tf deutlich geringer als das des Tf. Aus Sicht der Fdl ergibt sich ein vergleichbares Motivationspotenzial der Berufe Fdl und Tele-Tf.

Alle Jobmerkmale (bis auf Zeitdruck) wurden von den Tf, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Tele-Tf weiterbilden würden, für die Tele-Tf-Berufsbilder positiver eingeschätzt als von den Tf, die sich mit geringer Wahrscheinlichkeit zum Tele-Tf weiterbilden würden. Auch alle präsentierten Einzelaspekte der Tele-Tf-Berufsbilder wurden von Tf mit hoher Weiterbildungswahrscheinlichkeit attraktiver bewertet als von den Tf mit geringer Weiterbildungswahrscheinlichkeit.

Welche Nebentätigkeiten würden Tf und Fdl gern während potenzieller Wartezeiten ausüben?

Zu den am positivsten bewerteten Nebentätigkeiten zählen die Unterstützung von Kolleginnen und Kollegen bei konkreten Fragestellungen und die Schulung anderer Mitarbeitender, die eigene fachliche Weiterbildung sowie signalgeführte Fahrten im Regelbetrieb. Am negativsten wurde die Übernahme von Serviceaufgaben, die Erstellung von Betriebs- und Bauanweisungen und die Personalplanung bewertet.

Diskussion

Die Ergebnisse der Befragung erlauben eine erste Einschätzung der Attraktivität möglicher Tele-Tf-Berufe und bieten zahlreiche Ansatzpunkte für die weitere Ausgestaltung der entsprechenden Berufsbilder und Arbeitsplätze. Konkret zeigen die Ergebnisse ein heterogenes Bild: Ein Teil der Befragten sieht den Tele-Tf-Berufen positiv entgegen, ein Teil lehnt diese ab, wobei die präsentierten Berufsbilder von den Fdl im Mittel positiver bewerten wurden als von den Tf. Hier sollte beachtet werden, dass die Tele-Tf-Berufe anhand eines exemplarischen Arbeitstags sowie Visualisierungen des Arbeitsplatzes beschrieben wurden. Der Einblick in diese Berufe war also begrenzt und ließ entsprechend Spielraum für Interpretation, welcher sich in den unterschiedlichen Bewertungen widerspiegeln könnte. In weiteren Studien sollten die Berufe also umfassender vorgestellt werden und idealerweise erlebbar sein, z. B. über eine Arbeitsplatzsimulation.

Unterschiede in den Bewertungen von Fdl und Tf könnten u. a. darin begründet sein, dass Fdl bereits an einem Bildschirmarbeitsplatz arbeiten und entsprechend nicht auf das „Unterwegs sein“ verzichten müssten. Außerdem sind Tf mit den Kernaufgaben der Tele-Tf deutlich vertrauter und zweifeln deshalb möglicherweise stärker an der technischen Realisierbarkeit der Teleoperation im Bahnbetrieb. Auch könnten Tf, stärker als Fdl, durch die Einführung von Tele-Tf einen Arbeitsplatzverlust befürchten und diesen neuen Berufsbildern daher skeptischer entgegentreten.

Abschließend sollte berücksichtigt werden, dass die Stichprobe ausschließlich Tf und Fdl umfasst, welche überdies mehrheitlich gern als Tf bzw. Fdl arbeiten. Denkbar ist, dass andere Personengruppen, z. B. Personen, die mit ihrer Tätigkeit als Tf bzw. Fdl unzufrieden sind, die Attraktivität der Tele-Tf-Arbeitsplätze anders bewerten würden.

5.4.5 Abschließende Empfehlungen

Die Befragung von Tf und Fdl hat gezeigt, dass etwa 30 % der befragten Tf und etwa 50 % der befragten Fdl gern als Tele-Tf arbeiten würden. Ebenfalls rund ein Drittel der Befragten würde sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zu den skizzierten Tele-Tf-Berufen weiterbilden. Die Tätigkeit als Tele-Tf in den beschriebenen Ausgestaltungen stellt also für eine signifikante Gruppe einen attraktiven und vorstellbaren Beruf dar.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen außerdem, an welchen Stellen angesetzt werden könnte, um den Arbeitsplatz der Tele-Tf noch attraktiver zu gestalten und damit idealerweise eine Weiterbildung zu Tele-Tf für noch mehr Menschen vorstellbar zu machen.

Größe des Verantwortungsbereichs. Die Befragung zeigt, dass die Tele-Tf-Berufe mit Unterforderung (insbesondere für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung) und Überforderung (insbesondere für Tele-Tf in der Rückfallebene) einhergehen könnten. Einer suboptimalen Beanspruchung kann über die Zahl der zu bearbeitenden Störungen bzw. die Zahl der Bereit- und Abstellung entgegengewirkt werden. Diese lässt sich über die Größe des Verantwortungsbereichs und die Zahl der Tele-Tf pro Verantwortungsbereich beeinflussen. Eine optimale Zahl von Einsätzen pro Schicht (auch in Abhängigkeit von der Komplexität und Dauer eines Einsatzes) muss in weiteren Studien ermittelt werden.

Gestaltung der Nebentätigkeiten. Auch berufsbezogene Nebentätigkeiten könnten gezielt eingesetzt werden, um unattraktive Aspekte des Arbeitsplatzes auszugleichen. Für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung könnten Nebentätigkeiten beispielsweise die Aufgabenvielfalt erhöhen und somit Monotonie und Unterforderung entgegenwirken. Für Tele-Tf in der Rückfallebene könnten hingegen feste Zeiten für Nebentätigkeiten reserviert werden (neben den unvorhersehbaren Wartezeiten), um den Arbeitstag vorhersehbarer zu machen und Unterbrechungen der Nebentätigkeiten zeitweise zu verhindern. So könnten Nebentätigkeiten auch mehr Ruhe in den Arbeitsalltag bringen und einer potenziellen Überforderung entgegenwirken. Auch Pflichtpausen nach der Bearbeitung einer Störung könnten ausgleichend wirken.

Phasenweiser Einsatz. Die befragten Tf schätzen an ihrem Beruf das „Unterwegs sein“ und den Fahrspaß. Um den Arbeitsplatz der Tele-Tf insbesondere für Tf attraktiver zu gestalten, sollte deshalb

über einen phasenweisen Einsatz als Tele-Tf nachgedacht werden, damit ein großer Teil der Arbeitszeit weiterhin auf der Lok verbracht werden kann. Die regelmäßige Fahrpraxis könnte auch notwendig sein, um Züge sicher aus der Ferne steuern zu können. Der Einfluss von Fahrerfahrung auf die Leistung als Tele-Tf wurde jedoch noch nicht untersucht, sodass zum jetzigen Zeitpunkt unklar ist, ob Fahrpraxis eine Voraussetzung für den Tele-Tf-Beruf sein muss.

Technische Machbarkeit. Die Ergebnisse der Befragung (und des Expertenworkshops) deuten darauf hin, dass die Tele-Tf-Berufe negativer bewertet werden, weil an der technischen Machbarkeit gezweifelt wird. Insbesondere sehen die befragten Tf nicht, wie die Vor- und Nachbereitung von Zugfahrten sowie die Störungsprävention und -beseitigung ohne Personal vor Ort realisiert werden kann. Hier sollte also Überzeugungsarbeit geleistet werden, um die Offenheit für die Tele-Tf-Beruf zu erhöhen. Ein erfolgreicher Testbetrieb der Teleoperation unter realen Bedingungen (mit weitreichender Kommunikation der Resultate) könnte hier ein erster Schritt sein, um Zweifeln entgegenzuwirken.

Öffnung für weitere Personengruppen. Bei der Evaluierung des Tele-Tf-Berufsbilds wurde auf Tf und Fdl fokussiert, da diese durch ihre Ausbildung und Berufserfahrung Expertinnen und Experten für das System Bahn sind und ihre Tätigkeiten denen der Tele-Tf am nächsten kommen. Es ist jedoch auch denkbar, die Aus- bzw. Weiterbildung zu Tele-Tf für weitere Personengruppen zu öffnen. Beispielsweise könnten sich Personen mit großem Interesse an Videospielen für den Tele-Tf-Beruf interessieren. In der Befragung wurde auch angemerkt, dass Personen, die aufgrund gesundheitlicher oder körperlicher Einschränkungen nicht (mehr) als Tf arbeiten können, für eine Tätigkeit als Tele-Tf in Frage kommen könnten.

Für die konkrete Ausgestaltung eines möglichst attraktiven Tele-Tf-Arbeitsplatzes braucht es nun weiterführende Studien. Unter anderem sollte zunächst an einem simulierten Arbeitsplatz erprobt werden, unter welchen Rahmenbedingungen (z. B. mit Blick auf die Größe des Verantwortungsbereichs, Schichtlänge oder Gestaltung der Nebentätigkeiten) eine optimale Arbeitslast und -zufriedenheit erreicht werden kann. Entsprechende Ergebnisse würden dann auch eine erste Abschätzung der erforderlichen Anzahl an Tele-Tf erlauben. Parallel sollte die technische Machbarkeit der Fernüberwachung und Fernsteuerung – insbesondere mit Blick auf die Zugvorbereitung und die Störungsbeseitigung – nachgewiesen werden.

Zum Schluss sollte nochmals hervorgehoben werden, dass es Tf und Fdl gibt, die sich zu Tele-Tf weiterbilden würden. Auf diese Gruppe sollte für einen ersten Testbetrieb zurückgegriffen werden, um die technische Machbarkeit zu prüfen und die Berufsbilder weiterzuentwickeln. Idealerweise lassen sich danach auch skeptischere Tf und Fdl für die Tätigkeit als Tele-Tf gewinnen.

5.5 Training und Ausbildung

Der Tele-Tf-Beruf könnte für verschiedene Personengruppen von Interesse sein. Da insbesondere Tf und Fdl bereits mit dem System Bahn vertraut sind und vor allem Tf vergleichbare Tätigkeiten wie die Tele-Tf ausführen, bieten sich zunächst diese beiden Berufsgruppen für die Weiterbildung zu

Tele-Tf an. Aufgrund der größeren Überschneidung der Berufe Tf und Tele-Tf, wird hier auf die Weiterbildung heutiger Tf fokussiert.

Es wird also davon ausgegangen, dass die Qualifizierung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene zunächst über eine Weiterbildung erworben wird, die von ausgebildeten Tf absolviert werden darf. Diese verfügen über die entsprechenden, im Rahmenlehrplan bzw. Ausbildungsrahmenplan für Eisenbahner im Betriebsdienst Lokführer und Transport aufgeführten Kenntnisse und Fähigkeiten.[2]

Die Grundlage für die Identifikation zusätzlicher Ausbildungsinhalte bildet der Ausbildungsrahmenplan zum Eisenbahner im Betriebsdienst Lokführer und Transport (Stand 23.11.2021). Die dort aufgeführten Ausbildungsinhalte, die in 165 Berufsbildpositionen dargestellt sind, wurden zunächst von zwei Projektmitarbeitenden hinsichtlich ihrer Relevanz für die Berufe Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene bewertet (siehe Anlage *Ausbildungsrahmenplan.xlsx*). Diese erste, nicht validierte Einschätzung hat gezeigt, dass nur wenige Inhalte keine Relevanz für die Tele-Tf-Berufe haben, sondern die meisten, teilweise in an Tele-Tf angepasster Form, relevant bleiben. Der Fokus lag deshalb darauf, über einen Abgleich der Ausbildungsinhalte mit den Tele-Tf-Tätigkeiten und -Berufsbildmerkmalen fehlende Inhalte zu identifizieren. Mögliche Ausbildungsinhalte werden im Folgenden dargestellt.

Die Rolle der Tele-Tf im Eisenbahnbetrieb. Es braucht eine theoretische Einführung in die Rolle der Tele-Tf im Eisenbahnbetrieb. Hier sollten die Funktionsweise und die Einsatzbereiche von ATO-Zügen erklärt und der Zusammenhang mit den Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. in der Rückfallebene erläutert werden. Insbesondere die Rolle des Tele-Tf in der Rückfallebene sollte als Teil des Störungsmanagements eingeführt, veränderte Sicherheitsrichtlinien sollten dargestellt werden.

Kommunikationsketten und digitale Kommunikation. Mit der Einführung des Tele-Tf könnte die Kommunikation stärker digitalisiert werden und entsprechend mit der Nutzung neuer Kommunikationssysteme einhergehen. Auch Kommunikationspartner könnten sich verändern (z. B. könnten Tele-Tf direkt mit technischem Personal vor Ort kommunizieren). Die veränderten Kommunikationswege müssen theoretisch vermittelt und die Nutzung neuer Systeme praktisch geübt werden.

Störungs- und Notfallmanagement unter GoA 3 bzw. GoA 4. Durch fehlendes oder reduziertes Personal an Bord muss der Umgang mit Störungen und Notfällen in ATO-Zügen neu definiert werden. Für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung gilt es, darzulegen, wie Störungen aus der Ferne verhindert oder beseitigt werden können und wie mit Störungen umzugehen ist, die sich nicht aus der Ferne beheben lassen. Für Tele-Tf in der Rückfallebene muss zwischen dem Störungsmanagement „im Regelfall“ (d. h., die Tele-Tf können einen gestörten ATO-Zug übernehmen und sichern) und dem Störungsmanagement im Störungsfall (d. h., bei der Übernahme ergeben sich Probleme, z. B. ausgefallene Sensoren) unterschieden und die entsprechenden Maßnahmen und Sicherungsmechanismen

2 Es wurde davon ausgegeangen, dass auch Quereinsteigende die zentralen Inhalte des Rahmenlehrplans bzw. Ausbildungsrahmenplans beherrschen.

erläutert werden. Auch die Verantwortlichkeiten seitens der Tele-Tf im Falle von Notfällen (z. B. einem Brand im ATO-Zug) muss vermittelt werden.

Bedienung des Tele-Tf-Arbeitsplatzes. Der Tele-Tf-Arbeitsplatz wird voraussichtlich aus mehreren Monitoren sowie physischen Schaltern und digitalen Bedienoberflächen bestehen. Auf den Monitoren werden vielseitige Informationen bereitgestellt (z. B. Kamerabilder, Sensorwerte, Aufträge) und es gibt verschiedene, z. B. visuell oder auditiv dargebotene Warnhinweise. Der Aufbau und die Funktionsweise des Arbeitsplatzes müssen theoretisch verstanden und der Umgang damit praktisch gelernt werden (z. B. zunächst über simulierte Fahrten). Hierzu sollte auch ein Training des Situationsbewusstseins (inklusive des Modusbewusstseins) gehören.

Fahrzeugprüfung. Die Fahrzeugprüfung inklusive der Prüfung der Bremsen wird sich in Abhängigkeit der technischen Möglichkeiten für die Tele-Tf anders gestalten als für den Tf. Wie eine Fahrzeugprüfung aus der Ferne durchzuführen ist, muss entsprechend im Rahmen der Weiterbildung behandelt und praktisch durchgeführt werden.

Berufsbezogene Nebentätigkeiten. Es ist vorgesehen, dass Tele-Tf während der Wartezeiten berufsbezogene Nebentätigkeiten ausführen. Die Rahmenbedingungen (z. B. wann welche Nebentätigkeiten bearbeitet werden dürfen oder müssen) müssen erläutert werden. Um bestimmte Nebentätigkeiten ausführen zu können, kann eine separate Schulung notwendig sein (z. B. bei der Übernahme von Aufgaben aus der Disposition). Durch die Schulung sogenannter nicht-technischer Fähigkeiten kann der bewusste Umgang mit Nebentätigkeiten gestärkt werden.

Umgang mit neuen Datenarten und informationstechnischen Systemen. Den Tele-Tf stehen verschiedene Daten zur Verfügung (z. B. Video- oder Audiomaterial). Der datenschutzkonforme Umgang mit den neuen Datenarten muss dargelegt werden. Außerdem ergeben sich durch die Möglichkeit der Fernsteuerung von Zügen neue Sicherheitsrisiken, für die die Tele-Tf sensibilisiert werden sollten.

Neben der Identifikation neuer Ausbildungsinhalte stellt sich zudem die Frage, ob für Tele-Tf dieselben medizinischen und psychologischen Anforderungen gelten müssen wie für Tf, und ob es derselben Fähigkeiten und Fertigkeiten bedarf.

Die medizinischen und psychologischen Anforderungen an Tf sind in Anlage 4 der Triebfahrzeugführerscheinverordnung[3] aufgeführt. Die bisherigen Anforderungen sehen vor, dass Tf nicht unter gesundheitlichen Störungen leiden oder Arzneimittel oder Stoffe nehmen, die plötzliche Bewusstlosigkeit, Verminderung der Aufmerksamkeit oder der Konzentration, plötzliche Handlungsunfähigkeit, Verlust des Gleichgewichts oder der Koordination oder erhebliche Einschränkung der Mobilität auslösen können. Für den Tele-Tf-Beruf könnten Personen mit gewissen Einschränkungen der Mobilität und Koordinationsfähigkeit zugelassen werden, wenn diese nicht die Mobilität und Koordination der

3 abgerufen unter https://www.gesetze-im-internet.de/tfv/BJNR070510011.html (19.12.2025)

Arme, Hände und Finger sowie der Halswirbelsäule betreffen.[4] Die Anforderungen an das Seh- und Hörvermögen bleiben bestehen. Die Anforderungen an das Sprachvermögen könnten gelockert werden, sollte die Notwendigkeit, Mitteilungen laut und deutlich auszutauschen, aufgrund veränderter Kommunikationssysteme entfallen. Bezüglich der psychologischen Anforderungen ergeben sich zunächst keine veränderten Anforderungen.

Goerke et al. (2025) konnten zeigen, dass die Berufsbilder Tf und Tele-Tf die gleichen Anforderungen an Fähigkeiten und Fertigkeiten stellen. Dazu zählen insbesondere Verlässlichkeit, die Überwachung des Betriebs und Vigilanz. Weitere wichtige Fähigkeiten sind emotionale Kontrolle, Beharrlichkeit, Zeiteinteilung, Reaktionszeit, Wahrnehmungsgeschwindigkeit, selektive Aufmerksamkeit und räumliche Orientierung. Im Vordergrund stehen also Sinnes- bzw. Wahrnehmungsfähigkeiten, gefolgt von sozialen und kognitiven Fähigkeiten. Zur Identifikation der Arbeitsanforderungen wurden die Berufe Tf und Tele-Tf mithilfe der 75 Fähigkeiten des Fleishman Job Analysis Survey (F-JAS; Kleinmann et al., 2010) von Tf bewertet (Tf: N = 28, Tele-Tf: N = 36). Die Ergebnisse der Onlinebefragung zeigen, dass sich auch Fdl zu Tele-Tf weiterbilden würden.

Ob die oben skizzierte Weiterbildung auch für Fdl ausreichend wäre, hängt primär davon ab, wie zentral die seitens der Tf vorhandene Fahrpraxis für die Fernsteuerung von Zügen ist. Dies kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht beantwortet werden, sondern bedarf in Abhängigkeit von den dann bestehenden Rahmenbedingungen einer systematischen Untersuchung. Wenn sich herausstellt, dass es Fahrpraxis braucht, um einen Zug sicher aus der Ferne zu steuern, sind zunächst nur Tf für die Weiterbildung zu Tele-Tf geeignet. Reicht auch die im Fahrsimulator erworbene Fahrpraxis, ist denkbar, dass sich auch Fdl zu Tele-Tf weiterbilden können, wenn sie in Ergänzung zu den oben beschriebenen Inhalten ausreichend Fahrpraxis im Fahrsimulator erwerben.

Die hier skizzierten Ausbildungsinhalte für die Weiterbildung zu Tele-Tf sowie medizinische und psychologische Anforderungen und erforderliche Fähigkeiten und Fertigkeiten stellen eine erste Einschätzung für den Tele-Tf-Beruf dar (basierend auf den in diesem Projekt erarbeiteten Berufsbildern). In Abhängigkeit von der konkreten Ausgestaltung der Tele-Tf-Berufe können sich veränderte und neue Voraussetzungen, Anforderungen und Inhalte ergeben. Die vorliegende Einschätzung sollte entsprechend als Ausgangsbasis für weitere Diskussionen und Betrachtungen verstanden werden.

4 In Abhängigkeit davon, ob Tele-Tf über Fahrpraxis verfügen müssen, könnten entweder Tf zugelassen werden, die aufgrund von Mobilitätseinschränkungen nicht mehr als Tf arbeiten dürfen, oder zusätzlich auch Personen, die aufgrund von Mobilitätseinschränkungen keine Ausbildung zum Tf absolvieren konnten.

6 Diskussion

6.1 Zusammenfassung der Projektergebnisse

Ziel des Projekts Teleoperation ATO war die Entwicklung eines validierten Konzepts für ein neues, attraktives Berufsbild des Tele-Tf, das in den zukünftigen automatisierten Bahnbetrieb integriert werden kann. Ausgehend von einer Ableitung der Anforderungen an einen Tele-Tf-Arbeitsplatz anhand vorhandener Forschungsergebnisse wurde das Berufsbild unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Fähigkeiten des Menschen beschrieben, um ein nutzergerechtes Berufsbild zu entwickeln und die Arbeitswelt bei der Bahn auch zukünftig attraktiv und zufriedenstellend zu gestalten. Ergänzend wurde ein bestehendes Sensorik-Konzept für ATO dahingehend adaptiert, dass es die Integration von Teleoperation in ATO-Systeme erlaubt.

In AP 1 wurden die **Grundlagen für Teleoperation im Schienenverkehr** erarbeitet und in diesem Zuge eine umfassende Literaturübersicht erstellt. Darauf aufbauend konnten Anforderungen an den Tele-Tf-Arbeitsplatz abgeleitet werden, die sich aus den Bereichen Mensch, Technik und Organisation ergeben.

Für eine optimale menschliche Leistung sollten eine starke Über- oder Unterlast und starke Schwankungen im Workload sowie zu starker Zeitdruck oder eine hohe Monotonie vermieden werden. Daraus resultiert konkret, dass reine Überwachungsaufgaben zeitlich eingegrenzt werden müssen. Neben der Schaffung eines optimalen Workload ist es wichtig, den Tele-Tf situationsbewusst zu halten. Insbesondere Übergaben von Automation zu Tele-Tf stellen hierbei eine Herausforderung dar. Es muss außerdem sichergestellt werden, dass dem Tele-Tf alle relevanten Informationen in geeigneter Form zur Verfügung gestellt werden, d. h., auch alle relevanten Sinneswahrnehmungen aus dem Führerstand.

Für die technische Umsetzung stellt die Latenz ein mögliches Problem dar, da diese die Leistung des Tele-Tf beeinflusst. Auch die Bildqualität der Kamerabilder kann zu Leistungseinbußen führen. Außerdem sollten für die Teleoperation Sensoren genutzt werden, die natürliche bzw. der Natur des menschlichen Sehens nahe visuelle Eindrücke erzeugen, damit Tele-Tf diese intuitiv verarbeiten können. Wichtig ist auch, dass die Plausibilität der Sensordaten über geeignete Kommunikationskanäle verlässlich an die Tele-Tf übermittelt wird.

Organisatorische Anforderungen dienen u. a. dem Ziel, die Effizienz zu erhöhen. Tele-Tf sollten deshalb möglichst für mehrere Züge zuständig sein. Als mögliches Betriebsszenario- neben dem Tele-Tf als notwendige Rückfallebene eines ATO-Systems - bietet sich das Rangieren und Kuppeln an, da hier Potenzial zur Zeit- und Kostenersparnis besteht und ein starker Sicherheitsgewinn vermutet wird. Auch Bereitstellungen, Fahrten zur Instandhaltung und das Überwinden der letzten Meile zwischen Hub und Kunden könnten mithilfe von Teleoperation optimiert werden. Eine Betriebszentrale, in der Tele-Tf mit anderen Akteuren arbeiten, kann einen Wissensaustausch ermöglichen und ein geteiltes Situationsbewusstsein fördern.

In AP 2 wurden vielseitige **betriebliche Szenarien für die Teleoperation** identifiziert, in denen Teleoperation mittelfristig technisch umsetzbar ist. Für die Beschreibung der Szenarien war es notwendig, technische und betriebliche Annahmen über das ATO-System inklusive der umgebenden Leit- und Sicherungstechnik zu treffen. Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden Szenarien detailliert in Steckbriefen und Diagrammen mit beteiligten Akteuren beschrieben: Bahnübergangsstörung, Zuginterne technische Störung, Ereignis in der Umgebung, Fahrt zwischen Rangierbahnhof und ATO-Strecke, Bedienung Industrieanschlussgleis, Szenario Zugwechsel, Übergabe im Störungsfall sowie Warnzustand Zugstatus. Ergänzend wurden berufsbezogene Nebentätigkeiten identifiziert, die Tele-Tf während Wartezeiten ausführen könnten.

Für die Analyse der **Tele-Tf-Anforderungen** wurden die bis dato im Projekt gewonnenen Erkenntnisse in AP 3 zusammengeführt und gemeinsam analysiert. Als Ergebnis ist ein Anforderungskatalog für den Tele-Tf-Beruf entstanden, der 160 Anforderungen an die Aufgabengestaltung, die Arbeitsplatzgestaltung, die Fertigkeiten und an das technische System vorweist.

Anforderungen an die *Aufgabengestaltung* beziehen sich unter anderem auf die Optimierung der Arbeitsbeanspruchung – Monotonie, Unterbeanspruchung sowie übermäßiger Stress und Zeitdruck sind zu vermeiden – und die Erleichterung des Aufbaus von Situationsbewusstsein, insbesondere bei Übernahme- und Übergabeprozessen. Aufgabenseitig tragen hierzu u. a. klare Rollendefinitionen und strukturierte Übergabe- bzw. Übernahmeprozesse zwischen ATO-System, Tele-Tf und weiteren Beteiligten bei. Der Verantwortungsbereich im Sinne des Operationsgebiets des Tele-Tf sollte so auf die Frequenz anfallender Aufgaben (in der Rückfallebene oder im Regelbetrieb) angepasst sein, dass das Auftreten von hohem Zeitdruck bei der Bearbeitung von Aufgaben bzw. das Eintreten von zwei oder mehr gleichzeitigen dringenden Handlungsanforderungen vermieden wird. Wenn entschieden wird, dass Tele-Tf in der Rückfallebene für ATO zur Vermeidung von Unterbeanspruchung Nebenaufgaben bearbeiten sollen, ist bei der Gestaltung der Nebenaufgaben darauf zu achten, dass diese jederzeit unterbrechbar sein müssen. Weitere Anforderungen an die Aufgabengestaltung umfassen die Gewährleistung von Handlungsspielraum, Ganzheitlichkeit und Sinnhaftigkeit der Aufgaben, da diese wichtige Einflussfaktoren für die Motivation und Arbeitszufriedenheit sind.

Anforderungen an die *Arbeitsplatzgestaltung* beziehen sich u. a. auf die Ergonomie und Benutzerfreundlichkeit der Mensch-Technik-Schnittstellen. Dazu gehören u. a. die nutzer- und kontextgerechte Darstellung aller für eine Aufgabe erforderlichen Informationen, die Durchschaubarkeit und Verständlichkeit der Systemfunktion und des Systemverhaltens (z. B. Information zur aktuellen Übertragungslatenz) für Tele-Tf als Voraussetzung für wirkungsvolles Handeln, schnelle Erlernbarkeit und angemessenes Vertrauen. Dazu gehört auch die Anforderung, das korrekte Modusbewusstsein der Tele-Tf z. B. zwischen Fahren auf Sicht oder signalgeführter Fahrt oder - bei der Verwendung von Trainingsaufgaben als Nebenaufgaben - zwischen simulierten Fahrten und realen Übernahmen sicherzustellen. Übernahmeaufforderungen müssen so gestaltet sein, dass das Modus- und Situationsbewusstsein rasch aufgebaut werden kann. Auf die Arbeitsorganisation bezogene Voraussetzungen, von denen eine erhöhte Akzeptanz der Tätigkeit als Tele-Tf erwartet wird, sind zudem die Zusammenarbeit in einem Kontrollzentrum mit anderen Operateurinnen und Operateuren, die wohnortnahe Verfügbarkeit solcher Kontrollzentren und die klare Planbarkeit von Arbeitszeiten.

Anforderungen an Tele-Tf-*Fertigkeiten* umfassen die Beherrschung der Zugsteuerung, grundlegendes Systemverständnis, Streckenkenntnis und Richtlinienkenntnis. Durch gezielte Trainings und Weiterbildungen sollen das Tiefenwissen erhalten und die Handlungsfähigkeit bei seltenen Störfällen gestärkt werden.

Anforderungen an das *technische System* betreffen die Verfügbarkeit von Funktionalitäten zur Ermöglichung von Teleoperation (z. B. Sensorik, Diagnosesysteme, Datenaufzeichnung zur Ermöglichung von Rückschau nach Übernahme, geringe Latenz). Hinzu kommen die Verfügbarkeit bestimmter Daten und Informationen (z. B. aktuell vorliegende Übertragungslatenz) und die Definition von Prozessen zum Umgang mit einem Verlust der Datenverbindung zum Zug. Außerdem bedarf es der Möglichkeit, mit den im Anforderungskatalog definierten Prozessbeteiligten im Bahnbetrieb (Personal vor Ort, Fdl, Zugbegleitpersonal, Notfallmanagerin oder -manager etc.) zu kommunizieren sowie die Kommunikationswege so zu gestalten, dass die Arbeitsbelastung durch Kommunikationsprozesse und die Fehleranfälligkeit der Kommunikation minimiert werden. Anforderungen an ein für Teleoperation geeignetes Sensorikkonzept weisen bestimmte Besonderheiten gegenüber einem für ATO geeigneten Sensorikkonzept auf. Insbesondere sind Sensoren, welche dem menschlichen Sehen ähnliche visuelle Eindrücke erzeugen (z. B. Mono- oder Stereokameras, Lidar-Sensoren, die Reflektanzbilder erzeugen), gegenüber solchen Sensoren zu bevorzugen, die das nicht tun. Zudem erscheinen die Möglichkeit zur Plausibilisierung von Sensordaten im ATO-Betrieb und die Verwertung der Ergebnisse solcher kontinuierlicher Plausibilitätsprüfungen zur Benachrichtigung von Tele-Tf im Falle von Abweichungen als notwendige Voraussetzungen für Teleoperation in der Rückfallebene von ATO.

In AP 4 wurde ein **Konzept eines Tele-Tf-Berufsbildes** entwickelt, das die betrieblichen Erfordernisse, aber auch die individuellen und gesellschaftlichen Bedürfnisse mit Blick auf eine moderne Arbeitstätigkeit einbezieht, um für potenzielle Tele-Tf – hier Tf und Fdl – möglichst attraktiv zu sein.

Auf Grundlage der im Projekt erarbeiteten Anforderungen und Rahmenbedingungen für den Tele-Tf-Arbeitsplatz wurden in Abstimmung mit Human-Factors- und Bahnexpertinnen und -experten 25 Gestaltungsdimensionen und deren mögliche Ausprägungen in Form eines morphologischen Kastens erarbeitet. Diese berücksichtigen potenzielle Aufgaben der Tele-Tf sowie technische und betriebliche Randbedingungen. Mit Tf und Fdl (n = 10) wurden im Rahmen eines Workshops die attraktivsten Ausprägungen der verschiedenen Gestaltungsdimensionen ausgewählt und in ein attraktives Tele-Tf-Berufsbild (sowohl für die ATO-Rückfallebene als auch für die Bereit- und Abstellung) überführt. Die beiden konkreten Berufsbilder wurde abschließend durch eine umfangreiche Stichprobe von Tf und Fdl (n = 100) im Rahmen einer Onlinebefragung hinsichtlich deren Attraktivität beurteilt. Hierbei wurden verschiedene Aspekte bewertet, die aus (arbeits-)wissenschaftlicher Sicht ein attraktives Berufsbild ausmachen.

Die beiden skizzierten Tele-Tf-Berufsbilder sehen vor, dass ein Tele-Tf sowohl die Überwachung als auch Fernsteuerung von Zügen übernimmt. Es erfolgt keine kontinuierliche Überwachung der Betriebssituation, sondern diese wird nur in Reaktion auf Warnmeldungen überwacht. Während potenzieller Wartezeiten können Tele-Tf andere Aufgaben ausführen. Für Tele-Tf in der ATO-Rückfallebene ist außerdem vorgesehen, dass der Einsatz nicht auf die Rückfallebene beschränkt ist,

sondern auch Fahrten im Regelbetrieb oder Rangierfahrten umfasst. Die Fernsteuerung der Züge erfolgt manuell, wobei der Arbeitsplatz über einen Fahrbremshebel verfügt. Zentrale Schalter sind physisch vorhanden, weniger zentrale sind über ein Touchdisplay bedienbar. Die Kommunikation findet vorrangig digital und schriftlich statt. Der Arbeitsort befindet sich dezentral an Bahnhöfen, wobei sich mehrere Tele-Tf einen Netzbereich teilen.

Die Ergebnisse der Befragung erlauben eine erste Einschätzung der Attraktivität möglicher Tele-Tf-Berufe und bieten zahlreiche Ansatzpunkte für die weitere Ausgestaltung der entsprechenden Berufsbilder und Arbeitsplätze. Konkret zeigen die Ergebnisse, dass etwa 30 % der befragten Tf und etwa 50 % der befragten Fdl gern als Tele-Tf arbeiten würden. Ebenfalls rund ein Drittel der Befragten würde sich mit hoher Wahrscheinlichkeit zu den skizzierten Tele-Tf-Berufen weiterbilden. Die Tätigkeit als Tele-Tf stellt also in den beschriebenen Ausgestaltungen für eine signifikante Gruppe einen attraktiven und vorstellbaren Beruf dar.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen außerdem, an welchen Stellen angesetzt werden könnte, um den Arbeitsplatz der Tele-Tf noch attraktiver zu gestalten und damit idealerweise eine Weiterbildung zu Tele-Tf für noch mehr Menschen vorstellbar zu machen. Insbesondere die Arbeitslast sollte über die Größe des Verantwortungsbereichs und die Gestaltung der Nebentätigkeiten optimiert werden. Der gezielte Einsatz von Nebentätigkeiten könnte darüber hinaus weitere unattraktive Aspekte ausgleichen, z. B. die Aufgabenvielfalt erhöhen oder den Arbeitstag vorhersagbarer machen. Da die befragten Tf das „Unterwegs sein“ an ihrem Beruf schätzen, könnte ein phasenweiser Einsatz als Tele-Tf neben der Tf-Tätigkeit für diese Gruppe die Attraktivität des Tele-Tf-Berufs erhöhen. Ein weiterer Punkt, der die Attraktivität des Tele-Tf-Berufs negativ zu beeinflussen scheint, sind Zweifel an der technischen Machbarkeit der Teleoperation. Hier könnte eine erfolgreiche Demonstration der Teleoperation unter realen Bedingungen helfen, Zweifel auszuräumen.

Abschließend wurde eine erste Einschätzung zu möglichen Ausbildungsinhalten einer Weiterbildung gegeben, mit der sich ausgebildete Tf zu Tele-Tf qualifizieren könnten. Eine Öffnung der Weiterbildung für Fdl und andere Personengruppen ist davon abhängig, wie zentral die seitens der Tf vorhandene Fahrpraxis für die Fernsteuerung von Zügen ist.

6.2 Anwendungsbereich der Ergebnisse und Bedarfe in der weiteren Forschung und Entwicklung zu Teleoperationssystemen

Im Projekt Teleoperation ATO wurden Anforderungen und Gestaltungsvorschläge für die Arbeitsprozesse und Arbeitsplätze von Personal in der Teleoperation im Schienenverkehr erarbeitet. Dazu wurden allgemeine Anforderungen an Teleoperation aus der Literatur zusammengetragen, mit Expertinnen und Experten betriebliche Szenarien für die Teleoperation ausgearbeitet und die Anforderungen anhand der definierten Szenarien spezifiziert. Auf dieser Basis wurde gemeinsam ein Konzept für den Tele-Tf-Arbeitsplatz erarbeitet und in einer umfangreichen Befragungsstudie hinsichtlich dessen Attraktivität evaluiert.

Durch den ganzheitlichen Blick auf die Arbeitsgestaltung, welcher organisatorische und Prozessfaktoren und deren Wirkung auf die langfristige Beanspruchung und Leistungsfähigkeit der Tele-Tf mit einbezieht, gehen die Ergebnisse über die Erkenntnisse bisheriger Forschung und Entwicklung hinaus, welche vor allem auf die Gestaltung des technischen Systems und der Mensch-Technik-Schnittstelle zur Gewährleistung der grundlegenden Bearbeitbarkeit der anstehenden Aufgaben fokussierte. Die Ergebnisse lenken den Blick darauf, dass es zur Gewährleistung eines sicheren und effizienten Bahnbetriebs mit Teleoperation nicht ausreicht, neue Technologien zu entwickeln, sondern dass auch betriebliche Prozesse und Rollen, Aufgabenverteilung sowie Kommunikation und Kooperation zwischen Akteuren neu und auf eine menschzentrierte Weise zu definieren sind.

Das erarbeitete Konzept für das Berufsbild der Tele-Tf zeigt einen Umriss für die weitere Systementwicklung auf, dessen Bestandteile es im Rahmen eines iterativen Designprozesses vom Konzept zum umgesetzten System weiter auszudifferenzieren gilt. Ein geeigneter Ansatz hierzu ist die systematische Einbeziehung von arbeits- und ingenieurspsychologischen Betrachtungen bei der Entwicklung von ATO- und Teleoperationssystemen innerhalb standardisierter ingenieurstechnischer Vorgehensweisen zur Spezifikation und zum Nachweis von Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit, Instandhaltbarkeit und Sicherheit von Bahnanwendungen (Entwicklung nach dem V-Modell; EN 50126-1, CENELEC, 2018). Dies umfasst die Einbeziehung von psychologischer und Human-Factors-Expertise in allen Stadien des Entwicklungsprozesses von der frühen Konzeption des Systems, der Definition des betrieblichen Zusammenhangs, der Risikoanalyse und -bewertung, über die Spezifikation von Anforderungen an das Gesamt- und die Teilsysteme, die Implementierung, Herstellung und Integration von prototypischen Systemen bis zur Validierung. Auch nach der Einführung eines neuen Systems setzt sich der Prozess im Rahmen einer Leistungsüberwachung fort. Ein Beispiel für die Einbeziehung von Human-Factors-Expertise in den Entwicklungsprozess geben Brandenburger et al. (2025).

Die Berücksichtigung psychologischer Erkenntnisse im Entwicklungsprozess setzt die Verfügbarkeit solcher Erkenntnisse voraus. Wie in AP 1und AP 3 dieses Projekts offenbart wurde, liegen Anhaltspunkte aus vorhandenen Forschungsergebnissen für den Bereich Bahn und weitere Teleoperationsdomänen, insbesondere Luftfahrt und Straßenverkehr, vor. Deren Übertragbarkeit auf den konkreten Anwendungsfall gilt es jedoch meist noch zu überprüfen. Im Rahmen des oben geschilderten Vorgehens bieten sich Gelegenheiten zur Gewinnung neuer Erkenntnisse über die psychologische Wirkung konkreter Systemauslegungen vor allem in der Validierungsphase. In höheren Technologiereifegraden können jedoch in der Regel nicht beliebige denkbare Systemauslegungen getestet werden. Daher ist insbesondere in den früheren Phasen der Human-Factors-Begleitung solcher Entwicklungsprozesse die Ergänzung der Wissensbasis durch anwendungsorientiert Grundlagenforschung erforderlich. Hierfür eignen sich u. a. Klickprototypen- und Simulationsstudien. Studien zur Konkretisierung von Nutzeranforderungen für spezifische Aufgaben und Anwendungsfälle bieten sich insbesondere für drei Bereiche an: Erstens können Anforderungen an die Verfügbarkeit visueller Informationen untersucht werden, beispielsweise hinsichtlich der Frage, welche Bildbereiche permanent oder bedarfsabhängig verfügbar sein müssen und in welcher Qualität. Zweitens können Anforderungen an Informationen aus anderen Modalitäten analysiert werden, etwa das Geräusch beim Ankuppeln oder die Wahrnehmung von Beschleunigung und Haftreibung über das „Popometer“. Darauf

aufbauend können Konzepte entwickelt und erprobt werden, mit denen diese Informationen übertragen oder bei eingeschränkter Verfügbarkeit substituiert werden können. Drittens kann untersucht werden, welche Übertragungslatenzen für Tele-Tf handhabbar sind und durch welche Konzepte der Umgang mit unvermeidbaren Latenzen unterstützt und erleichtert werden kann.

Mit Blick auf den Wissenserwerb und Wissenserhalt für die Tätigkeit in der Teleoperation hat das Projekt Teleoperation ATO einen konzeptuellen Rahmen erarbeitet, indem es relevante Ausbildungsinhalte für Tele-Tf identifiziert hat. Auch in diesem Rahmen gilt es, die Erkenntnisse durch zukünftige Forschung zu vertiefen. Ein Beispiel hierfür ist die Frage, wieviel und welche Art von Training auf einem (ggf. simulierten) Teleoperationssystem umzuschulende Tf oder potenzielles Personal ohne Tf-Vorausbildung benötigen, um effizient und sicher damit umgehen zu können. Mit Blick auf die betrieblichen und organisatorischen Randbedingungen wurde im Projekt erarbeitet, welche Konstellationen aus Sicht der Beteiligten am attraktivsten sind. Auch hier sollten die Wirkung unterschiedlicher Betriebskonzepte auf die Systemleistung und das Erleben der Tele-Tf in weiterführender Forschung empirisch überprüft werden. Dies betrifft u. a. die mögliche Neuaufteilung von Aufgaben zwischen Tele-Tf, Fdl und weiteren Prozessbeteiligten, die Gestaltung von Kommunikation und Kooperation und die optimale Bemessung der räumlichen bzw. betrieblichen Verantwortungsbereiche von Tele-Tf.

Die Integration von Teleoperationssystemen in den Bahnbetrieb erfordert einen ganzheitlichen Ansatz, bei dem Mensch, Technik und Organisation im Zusammenspiel betrachtet werden. Das im Projekt erarbeitete Konzept für einen attraktiven Tele-Tf-Beruf zeigt den Rahmen für die nächsten iterativen Designschritte auf, um sowohl die technische Zuverlässigkeit als auch die langfristige Leistungsfähigkeit, Sicherheit und Zufriedenheit der Operateurinnen und Operateure zu gewährleisten.

Quellenverzeichnis

Adebahr, F. A., Milius, B., & Naumann, A. (2023). Flexible Arbeitsumgebungen für die ATO-Rückfallebene. *EI-Der Eisenbahningenieur, 1*, 39-41.

Aeva (2024). Aeries™ II The World's First 4D LiDAR With Camera-Level Resolution [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.aeva.com/aeries-ii/

Ahlstrom, V. (2016). *Human Factors Design Standard (DOT/FAA/HF-STD-001B).* Atlantic City International Airport, NJ: Federal Aviation Administration William J. Hughes Technical Center.

Air Force (2014). *RQ-4 Global Hawk* [Online]. [Zugriff am: 30. Januar 2024]. Verfügbar unter: https://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104516/rq-4-global-hawk/

Arbe (2021). 4D IMAGING RADAR The World's First 2K Ultra-High Resolution Radar Platform [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://arberobotics.com/wp-content/uploads/2021/04/4D_Imaging_Radar_Product_Overview.pdf

Arrington, C. M., Altmann, E. M., & Carr, T. H. (2003). Tasks of a feather flock together: Similarity effects in task switching. *Memory & Cognition*, *31*(5), 781–789. https://doi.org/10.3758/BF03196116

Baker, S., & Matthews, I. (2004). Lucas-Kanade 20 Years On: A Unifying Framework. *International Journal of Computer Vision,* 56, 221–255. https://doi.org/10.1023/B:VISI.0000011205.11775.fd

Bar-Shalom, Y., Willett, P. K., & Tian, X. (2011). Tracking and data fusion (Vol. 11). Storrs, CT, USA: YBS publishing.

Bodell, O., & Gulliksson, E. (2016). *Teleoperation of autonomous vehicle with 360° camera feedback*. Department of Signals and Systems, Chalmers University of Technology.

Bosch (2017). IP IR Illuminator 5000 MRP [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.uberwachungskamera-shop.de/wp-content/uploads/videor/datasheets/216466_de_sup.pdf

Braband, J., Evers, B., Kinas, M., Lindner, L., Mihailescu-Stoica, D., Rexin, F., Adebahr, F., Milius, B., & Schäbe, H. (2023). *Risikoakzeptanzkriterien für das automatisierte Fahren auf der Schiene. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung. Bericht 40.* Dresden: Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung.

Brandenburger, N. (2021). *Remote Control of Automation: Workload, Fatigue, and Performance in Unattended Railway Operation*. Braunschweig: Dissertation, Technische Universität Braunschweig.

Brandenburger, N. (2022). The Changing Role of Staff in Automated Railway Operation and why Human Cognition is Here to Stay. *AUTOMATION MYTH BUSTING SERIES*. Valenciennes: European Union Agency for Railways.

Brandenburger, N., & Naumann, A. (2019). Der Arbeitsplatz des Train Operator im Fokus. *EI-Der Eisenbahningenieur, (11)*, 13–17.

Brandenburger, N., Hörmann, H.-J., Stelling, D., & Naumann A. (2016). Tasks, skills, and competencies of future high-speed train drivers. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers,*

Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. 231(10), 1115–1122. https://doi.org/10.1177/0954409716676509

Brandenburger, N., Naumann, A., & Jipp, M. (2021). Task-induced fatigue when implementing high grades of railway automation. *Cognition, Technology & Work*, 23, 273–283. https://doi.org/10.1007/s10111-019-00613-z

Brandenburger, N., Naumann, A., Grippenkoven, J., & Jipp, M. (2017). Der Train Operator-Situative Fernsteuerung von automatisierten Zügen. *EI-Der Eisenbahningenieur*, 13–15.

Brandenburger, N., Petersen, M. & Quante, L. (2025). Human Factors Contributions Along System Development Phases: The Remote Train Operator Workstation in Project ATO-CARGO. Vortrag auf der International Human Factors Rail Conference 2025, 2025-09-18, London, Vereinigtes Königreich. Präsentation verfügbar unter: https://elib.dlr.de/217532/

Brandenburger, N., Strauss, F.M., & Naumann, A. (2023). Effects of Video Quality on Perception and Reaction Time in Video-based Remote Train Control. In D. de Waard, V. Hagemann, L. Onnasch, A. Toffetti, D. Coelho, A. Botzer et al. (Hrsg.), *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2023 Annual Conference.* ISSN 2333-4959 (online). Präsentation verfügbar unter https://elib.dlr.de/194929/

Bundesministerium für Digitales und Verkehr (2022). *Bundesforschungsprogramm Schiene.* Berlin: Bundesministerium für Digitales und Verkehr [Online]. [Zugriff am: 2. Februar 2026]. Verfügbar unter: https://www.dzsf.bund.de/SharedDocs/Downloads/DZSF/Forschungsprogramm/forschungsprogramm_Schiene.pdf

Calhoun, G.L., Draper, M.H. (2006). 11. Multi-Sensory Interfaces for Remotely Operated Vehicles. In: Cooke, N.J., Pringle, H.L., Pedersen, H.K., Connor, O. (Ed.) *Human Factors of Remotely Operated Vehicles (Advances in Human Performance and Cognitive Engineering Research, Vol. 7)*, Emerald Group Publishing Limited, Bingley, 149–163. https://doi.org/10.1016/S1479-3601(05)07011-6.

CENELEC. (2018). EN 50126-1: Railway applications – Specification and demonstration of reliability, availability, maintainability, safety and security – Part 1: General (Standard No. EN 50126-1). Brussels, Belgium: CENELEC.

Cenkeramaddi, L. R., Bhatia, J., Jha, A., Vishkarma, S. K., & Soumya, J. (2020). A survey on sensors for autonomous systems. In 2020 15th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA) (pp. 1182–1187). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIEA48937.2020.9248282

Chen, T.L.T. (2014). *Methods for Improving the Control of Teleoperated Vehicles*. Dissertation; Technische Universität, München.

Choi, D., Sato, T., Ando, T., Abe, T., Akamatsu, M., & Kitazaki, S. (2020). Effects of cognitive and visual loads on driving performance after take-over request (TOR) in automated driving. *Applied Ergonomics,* 85. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103074

Christodoulou, L. (2013). Overview: 3D stereo vision camera-sensors-systems, advancements, and technologies. 3D Stereo Vision Camera-sensors, Advancements, and Technologies, 73.

Chucholowski, F. E. (2015). *Eine vorausschauende Anzeige zur Teleoperation von Straßenfahrzeugen: Beseitigung von Zeitverzögerungseffekten im Fahrer-Fahrzeug-Regelkreis*. Technische Universität München, München.

Diermeyer, F., Gnatzig, S., Chucholowski, F., Tang, T., & Lienkamp, M. (2011). *Der Mensch als Sensor-Der Weg zum teleoperierten Fahren*. Paper presented at the AAET-Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2000). *DIN EN ISO 10075-2 Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung-Teil 2: Gestaltungsgrundsätze (ISO 10075-2:1996); Deutsche Fassung EN ISO 10075-2:2000*.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2022). *DIN EN 16186-3:2022-05 Bahnanwendungen - Führerraum - Teil 3: Displaygestaltung für Vollbahnfahrzeuge; Deutsche Fassung EN 16186-3:2022*.

DIN Deutsches Institut für Normung e. V. (2022). *DIN EN ISO 6385:2016-12 - Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen (ISO 6385:2016)*; Deutsche Fassung EN ISO 6385:2016

DLR (2023a). Projektwebseite Next Generation Train (NGT) [Online]. [Zugriff am: 23. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://verkehrsforschung.dlr.de/en/projects/ngt-hst

DLR (2023b). Projektwebseite Next Generation Railway System (NGRS) [Online]. [Zugriff am: 23. Januar 2023]. Verfügbar unter: https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/next-generation-railway-system

DLR (2024). Testfeld Niedersachsen – Zukunft des Verkehrs [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.dlr.de/de/forschung-und-transfer/themen/verkehrs-und-mobilitaetswende-zukunft-des-verkehrs

Dobson, K. (2015). Human Factors and Ergonomics in transportation control systems. *Procedia Manufacturing, 3*, 2913-2920. https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.815

Drascic, D., & Grodski, J. J. (1993, September). Using stereoscopic video for defense teleoperation. In Stereoscopic Displays and Applications IV (Vol. 1915, pp. 58–69). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.157043

Drive Pilot (2024). Drive Pilot von Mercedes Benz [Online]. [Zugriff am: 3. September 2024]. Verfügbar unter: https://www.mercedes-benz.de/passengercars/technology/drive-pilot.html

Dunn, N., & Williamson, A. (2012). Driving monotonous routes in a train simulator: the effect of task demand on driving performance and subjective experience. *Ergonomics, 55(9),* 997–1008. https://doi.org/10.1080/00140139.2012.691994

Europäische Kommission (2013). *Neue Weichenstellung für die europäischen Eisenbahnen: Kommission unterbreitet Vorschläge für ein viertes Eisenbahnpaket* [Online]. [Zugriff am: 28. Februar 2024]. Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/de/ip_13_65

European Commission (2015). HORIZON 2020 Work Programme 2014–2015: Science with and for Society. European Commission Decision C.

Fan, L., Wang, J., Chang, Y., Li, Y., Wang, Y., & Cao, D. (2024). 4D mmWave Radar for Autonomous Driving Perception: A Comprehensive Survey. In: *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, *9*, no. 4. pp. 4606–4620. https://doi.org/10.1109/TIV.2024.3380244

Franke, T., Attig, C., & Wessel, D. (2019). A Personal Resource for Technology Interaction: Development and Validation of the Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale. International Journal of Human–Computer Interaction, 35(6), 456–467. https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1456150

Fenner, W., Naumann, P., & Trinckauf, J. (2003). Bahnsicherungstechnik: Steuern, Sichern und Überwachen von Fahrwegen und Fahrgeschwindigkeiten im Schienenverkehr. John Wiley & Sons. ISBN: 3895781770

FLIR (2020). Can Thermal Imaging See Through Fog and Rain? [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.flir.com/discover/rd-science/can-thermal-imaging-see-through-fog-and-rain/?srsltid=AfmBOopKwtm6qWUwzcqmCycDH0ao7EVCtylsRTluv6UYOi-INxqKFvKbA

Gadmer, Q., Pacaux-Lemoine, M. P., & Richard, P. (2021). Human-Automation-Railway remote control: how to define shared information and functions? *IFAC-PapersOnLine, 54(2),* 173–178. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.06.022

Gadmer, Q., Richard, P., Popieul, J. C., & Sentouh, C. (2022). Railway Automation: A framework for authority transfers in a remote environment. *IFAC-PapersOnLine, 55(29),* 85–90. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.10.236

Geiger, A., Lenz, P., Stiller, C., & Urtasun, R. (2013). Vision meets robotics: The KITTI dataset. The International Journal of Robotics Research, 32(11), 1231–1237. https://doi.org/10.1177/0278364913491297

Gal, Y., & Ghahramani, Z. (2016, June). Dropout as a bayesian approximation: Representing model uncertainty in deep learning. In international conference on machine learning (pp. 1050–1059). PMLR.

Georg, J. -M., & Diermeyer, F. (2019). An Adaptable and Immersive Real Time Interface for Resolving System Limitations of Automated Vehicles with Teleoperation. In *2019 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC).* IEEE Press, 2659–2664. https://doi.org/10.1109/SMC.2019.8914306

Gibson, W. H., Megaw, E. D., Young, M. S., & Lowe, E. (2006). A taxonomy of human communication errors and application to railway track maintenance. *Cognition, Technology & Work, 8*, 57–66. https://doi.org/10.1007/s10111-005-0020-x

Goerke, P., Zierke, O., Maier, J., Marggraf-Micheel, C., Naumann, A., & Brandenburger, N. (2025). What requirements do future train drivers need to fulfill? A comparison of job profiles. 6th German Conference on Rail Human Factors, Berlin, 18.–19. Februar, 2025

Goikoetxea, J., 2022. *TECHNOLOGIES FOR THE AUTONOMOUS RAIL OPERATION -Specification of the Remote Driving and Command* (TAURO Project).

Graf, G., Abdelrahman, Y., Xu, H., Abdrabou, Y., Schitz, D., Hußmann, H., & Alt, F. (2020). The Predictive Corridor: A Virtual Augmented Driving Assistance System for Teleoperated Autonomous Vehicles. In *International Conference on Artificial Reality and Telexistence and Eurographics Symposium on Virtual Environments*. https://doi.org/10.2312/egve.20201260

Greenberg, J. (2010). Organizational justice: The dynamics of fairness in the workplace. In S. Zedeck (Ed.), Handbook of industrial and organizational psychology: 271–327. Washington, DC: American Psychological Association. https://doi.org/10.1037/12171-008

Grippenkoven, J. D., Meirich, C., Roth, M. H., Caspar, M., & Hungar, H. (2020). Teleoperierte Triebfahrzeugführung als Rückfallebene der Hochautomation/Teleoperation as a fallback solution for highly automated rail traffic. *Signal + Draht, (6),* 6–13.

Gu, H. (2022). The Importance of Imaging Radar [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.nxp.com/company/blog/the-importance-of-imaging-radar:BL-THE-IMPORTANCE-OF-IMAGING-RADAR

Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1974). The job diagnostic survey: An instrument for the diagnosis of jobs and the evaluation of job redesign projects. https://doi.org/10.1037/t02285-000

Hackman, J. R., & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the design of work: Test of a theory. In: *Organizational behavior & human performance, 16(2)*, 250–279. https://doi.org/10.1016/0030-5073(76)90016-7

Hagemeyer, F., Preuss, M., Meyer zu Hörste, M., Meirich, C., & Flamm, L. (2021). *Automatisiertes Fahren auf der Schiene. Technische und rechtliche Aspekte für die Praxis. Rechtlicher und betriebliche Randbedingungen für den vollautomatischen Bahnbetrieb.* 1. Aufl. Wiesbaden: Springer Fachmedien (essentials) ISBN: 978-3-658-32327-1. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32328-8

Hartley, R., & Zisserman, A. (2003). Multiple view geometry in computer vision. Cambridge university press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511811685

Held, R., & Durlach, N. (1991). Telepresence, time delay and adaptation. *Pictorial communication in virtual and real environments*, 232–246.

Herzberg, F., Mausner, B., & Snyderman, B. (1959). *The motivation to work* (2nd ed.). John Wiley.

Hobbs, A., & Lyall, B. (2016). *Human factors guidelines for remotely piloted aircraft system (RPAS) remote pilot stations (RPS).* Contractor Report. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12562.45768

Hosseini, A., & Lienkamp, M. (2016). *Enhancing Telepresence during the Teleoperation of Road Vehicles using HMD-based Mixed Reality*. https://doi.org/10.1109/IVS.2016.7535568

Hwang, S., Park, J., Kim, N., Choi, Y., & So Kweon, I. (2015). Multispectral pedestrian detection: Benchmark dataset and baseline. In: Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1037–1045). https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298706

Intel Real Sense D 415 (2024). Depth Camera D415 [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.intelrealsense.com/depth-camera-d415/

Judge, T. A., & Piccolo, R. F. (2004). Transformational and transactional leadership: a meta-analytic test of their relative validity. Journal of Applied Psychology, 89(5), 755. https://doi.org/10.1037/0021-9010.89.5.755

Judge, T. A., Piccolo, R. F., Podsakoff, N. P., Shaw, J. C., & Rich, B. L. (2010). The relationship between pay and job satisfaction: A meta-analysis of the literature. Journal of Vocational Behavior, 77(2), 157–167. https://doi.org/10.1016/j.jvb.2010.04.002

Kallioniemi, P., Burova, A., Mäkelä, J., Keskinen, T., Ronkainen, K., Mäkelä, V., Hakulinen, J., & Turunen, M. (2021). Multimodal Warnings in Remote Operation: The Case Study on Remote Driving. *Multimodal Technol. Interact., 5(8):*44. https://doi.org/10.3390/mti5080044

Kauffeld, S. (2019). Arbeits-, Organisations- und Personalpsychologie für Bachelor. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56013-6

Kettwich, C., & Dreßler, A. (2020). Requirements of Future Control Centers in Public Transport. In *12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications (AutomotiveUI '20)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 69–73. https://doi.org/10.1145/3409251.3411726

Kettwich, C., Schrank, A., Avsar, H., & Oehl, M. (2022). A Helping Human Hand: Relevant Scenarios for the Remote Operation of Highly Automated Vehicles in Public Transport. *Applied Sciences, 12(9),* 4350. MDPI AG. https://doi.org/10.3390/app12094350

Klein, L. A. (2004). Sensor and data fusion: a tool for information assessment and decision making (Vol. 138). SPIE press. ISBN 978-0-8194-5435-5. https://doi.org/10.1117/3.563340

Kleinmann M., Manzey D., Schumacher S. & Fleishmann, E. A. (2010). Fleishman Job Analyse System für eigenschaftsbezogene Anforderungsanalysen (F-JAS). German Version of Fleishman Job Analysis Survey by Edwin A. Fleishman. Göttingen: Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG.

Knott, E. F., Schaeffer, J. F., & Tulley, M. T. (2004). Radar cross section. SciTech Publishing. https://doi.org/10.1049/SBRA026E

Köhn, T., Gottlieb, M., Schermann, M., & Krcmar, H. (2019). Improving take-over quality in automated driving by interrupting non-driving tasks. *International Conference on Intelligent User Interfaces, Proceedings IUI, Part F147615*. https://doi.org/10.1145/3301275.3302323

Leinhos, D., Flatt, H., & Witte, S. (2022). *Sensorik als technische Voraussetzung für ATO-Funktionen. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung. Bericht 31*. Dresden: Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung.

Lu, G., Zhai, J., Li, P., Chen, F., & Liang, L. (2021). Measuring drivers' takeover performance in varying levels of automation: Considering the influence of cognitive secondary task. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 82*, 96–110. https://doi.org/10.1016/j.trf.2021.08.005

Lu, S., Zhang, M. Y., Ersal, T., & Yang, X. J. (2019). Workload management in teleoperation of unmanned ground vehicles: Effects of a delay compensation aid on human operators' workload and teleoperation performance. *International Journal of Human–Computer Interaction, 35(19),* 1820–1830. https://doi.org/10.1080/10447318.2019.1574059

Luo, Y., Wang, J., Liang, H. N., Luo, S., & Lim, E. G. (2021, August). Monoscopic vs. stereoscopic views and display types in the teleoperation of unmanned ground vehicles for object avoidance. In 2021 30th IEEE international conference on robot & human interactive communication (RO-MAN) (pp. 418–425). IEEE. https://doi.org/10.1109/RO-MAN50785.2021.9515455

MacKenzie, I. S., & Ware, C. (1993, May). Lag as a determinant of human performance in interactive systems. In *Proceedings of the INTERACT'93 and CHI'93 conference on Human factors in computing systems* (pp. 488–493). https://doi.org/10.1145/169059.169431

Mania, K., Adelstein, B. D., Ellis, S. R., & Hill, M. I. (2004). Perceptual sensitivity to head tracking latency in virtual environments with varying degrees of scene complexity. In *Proceedings of the 1st Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization* (pp. 39–47). https://doi.org/10.1145/1012551.1012559

Marchand, E., Uchiyama, H., & Spindler, F. (2015). Pose estimation for augmented reality: a hands-on survey. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 22(12), 2633–2651. https://doi.org/10.1109/TVCG.2015.2513408

Masson, É., Richard, P., Garcia-Guillen, S., & Adell, G. M. (2019). TC-Rail: Railways remote driving. In *Proceedings of the 12th World Congress on Railway Research*, Tokyo, Japan (Vol. 28).

Merat, N., Jamson, A. H., Lai, F. C. H., & Carsten, O. (2012). Highly automated driving, secondary task performance, and driver state. *HUMAN FACTORS, 54*(5), 762–771. https://doi.org/10.1177/0018720812442087

Mercedes Benz (2024): Unter der Lupe: Die neuen Sensoren – Intelligente Vernetzung von Augen und Ohren [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://je-smb.de/news/news/w222id.pdf

Milius, B., Cogan, B., Thomas-Friedrich, B., Bosch, E., Last, H., Metzger, U. & Leinhos, D. (2025). Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit. Berichte des Deutschen Zentrums für Schienenverkehrsforschung. Bericht 66. Dresden: Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung.

Moya, V., Slawiñski, E., Mut, V., & Couto, E. H. (2017, September). Workload detection based on EEG device for teleoperation of a mobile robot. In *2017 XVII Workshop on Information Processing and Control (RPIC)* (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.23919/RPIC.2017.8211636

Nerdinger, F. W., Blickle, G., & Schaper, N. (2019). Arbeits- und Organisationspsychologie (Vol. 429). Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56666-4

Neumeier, S., Wintersberger, P., Frison, A.-K., Becher, A., Facchi, C., & Riener, A. (2019). Teleoperation: The holy grail to solve problems of automated driving? Sure, but latency matters. Paper presented at the *Proceedings of the 11th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications*. https://doi.org/10.1145/3342197.3344534

Nielsen, C. W., Goodrich, M. A., & Ricks, R.W. (2007). Ecological Interfaces for Improving Mobile Robot Teleoperation. in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 23, no. 5, 927–941. https://doi.org/10.1109/TRO.2007.907479

Nisoli, G., Fischer, K., Brüngger, J., & Hostettler, K. (2018). *Train operation in the future: Development of a psychological instrument for an optimal design of future human-machine systems in railway operation* [ITS mobility]. 3rd German Workshop on Rail Human Factors, Braunschweig. https://doi.org/10.26041/fhnw-1587

Office of Rail and Road (2017). *Goal-setting Principles for Railway Health and Safety* [Online]. [Zugriff am: 13. Juli 2020]. Verfügbar unter: https://orr.gov.uk/__data/assets/pdf_file/0011/22160/human-factors-integration-orr-evidence-principles.pdf

Özyeşil, O., Voroninski, V., Basri, R., & Singer, A. (2017). A survey of structure from motion. Acta Numerica, 26, 305–364. https://doi.org/10.1017/S096249291700006X

Pausch, R. (1991, March). Virtual reality on five dollars a day. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 265–270). https://doi.org/10.1145/108844.108913

Pongrac, H. (2008). *Gestaltung und Evaluation von virtuellen und Telepräsenzsystemen an Hand von Aufgabenleistung und Präsenzempfinden* (Doctoral dissertation, München, Univ. der Bundeswehr).

Prawitz, S. (2022). Laserfernlicht mit integrierten Nahinfrarot-Lichtdioden. Automobil-Industrie, Vogel Verlag [Online]. [Zugriff am: 24. Mai 2024]. Verfügbar unter: https://www.automobil-industrie.vogel.de/auto-laser-kyocera-a-dd2299dd4368e2adcf332f2aea902c63/

Raheem, A. F. A., Raheem, A. A., & Fuliful, F. K. (2022, January). Investigation of thermal imaging under bad weather conditions. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2386, No. 1). AIP Publishing. https://doi.org/10.1063/5.0067096

Rieth, M., & Hagemann, V. (2021). Veränderte Kompetenzanforderungen an Mitarbeitende infolge zunehmender Automatisierung – Eine Arbeitsfeldbetrachtung. Gruppe. Interaktion. Organisation. *Zeitschrift Für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), 52(1),* 37–49. https://doi.org/10.1007/s11612-021-00561-1

Rivera Velázquez, J. M., Khoudour, L., Saint Pierre, G., Duthon, P., Liandrat, S., Bernardin, F., ... & Peleg, R. (2022). Analysis of thermal imaging performance under extreme foggy conditions: applications to autonomous driving. Journal of imaging, 8(11), 306. https://doi.org/10.3390/jimaging8110306

Ritchey, T. (2006). Problem structuring using computer-aided morphological analysis. In: *Journal of the Operational Research Society, 57*(7), 792–801.

Robb, D.A., Chiyah-Garcia, F.J., Laskov, A., Liu, X., Patrón, P., & Hastie, H. (2018). Keep Me in the Loop: Increasing Operator Situation Awareness through a Conversational Multimodal Interface. *Proceedings of the 20th ACM International Conference on Multimodal Interaction*. https://doi.org/10.1145/3242969.3242974

Rovira-Más, F., Wang, Q., & Zhang, Q. (2010). Design parameters for adjusting the visual field of binocular stereo cameras. Biosystems Engineering, 105(1), 59–70. https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.09.013

Schackmann, D. (2025). Remote Operation in Teleoperated Railways: Impact of a Supplementary Task, Attention-Guiding Take-Over Requests and Work Experience on Situational Awareness and Workload. Masterarbeit. Technische Universität Berlin Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/215781/

Schackmann, D., Dreßler, A., Onnasch, L., & Thomas-Friedrich, B. (2025). Situation Awareness in Remote Train Operation - Effects of a supplementary task and attention-guiding takeover requests. Proceedings of the HUMANIST Conference, Chemnitz, 27.–29.08.2025.

Schimpf, F. (2018). Fusion of Lidar and Stereo Point Clouds using Bayesian Networks (Doctoral dissertation, Georg-August-Universität Göttingen).

Schöne, S., & Meirich, C. (2019). *Kann Automatisierungstechnik den Betriebseisenbahner ersetzen?* IZBE/VDE Symposium "Sicherheit und Zulassung elektrischer Bahnausrüstungen" 2019, 5.-6. Dez. 2019, Dresden, Deutschland [Online]. Verfügbar unter: https://elib.dlr.de/132671/

Schuchardt, B. I. (2023). *Urban Air Mobility - Über Visionen und Hürden der Umsetzung.* VDI/VDE-GMA Fachausschusssitzung Mechatronik, 10. Mai 2023, Paderborn / online.

Scribner, D. R., & Gombash, J. W. (1998). The effect of stereoscopic and wide field of view conditions on teleoperator performance. Army Research, Aberdeen Proving Grounds, MD.

Selvaraj, G., & Pillai, J. J. (2022). Remote Assistance for Autonomous Vehicles. In *IEEE 19th India Council International Conference (INDICON),* Kochi, India, 1–6. https://doi.org/10.1109/INDICON56171.2022.10039961

Shanahan, P., Gregory, D., Shannon, M., & Gibson, H. (2016). The role of communication errors in railway incident causation. In: J. R. Wilson, B. Norris and A. Mills (Eds.) *People and Rail Systems* (pp. 451–460). CRC Press.

Steinvall, O., & Chevalier, T. (2005, October). Range accuracy and resolution for laser radars. In Electro-Optical Remote Sensing (Vol. 5988, pp. 73-88). SPIE. https://doi.org/10.1117/12.630622

Thomas-Friedrich, B., Cogan, B., Naumann, A., Milius, B., Leinhos, D., & Klasek, P. (2022). Wie schnell können Triebfahrzeugführer Informationen wahrnehmen? *EI - Der Eisenbahningenieur (12)*. 45–48.

Trabelsi, Y., Shabat, O., Lanir, J., Maksimov, O., & Kraus, S. (2023). Advice Provision in Teleoperation of Autonomous Vehicles. In *Proceedings of the 28th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI '23)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 750–761. https://doi.org/10.1145/3581641.3584068

Wang, C. Y., Bochkovskiy, A., & Liao, H. Y. M. (2023). YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors. In Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition (pp. 7464–7475). https://doi.org/10.1109/CVPR52729.2023.00721

Welp, B. (2019). Systemkonzept und Schaltungen für breitbandige MIMO-FMCW-Radarsysteme bis 60 GHz in modernen SiGe-Bipolartechnologien. Fraunhofer Verlag.

Wilkin, C. L. (2013). I can't get no job satisfaction: Meta-analysis comparing permanent and contingent workers. Journal of organizational behavior, 34(1), 47–64. https://doi.org/10.1002/job.1790

Wiswede, G. (2021). *Einführung in die Wirtschaftspsychologie* (UTB, Bd. 8090, 6. unveränderte Auflage). München: Ernst Reinhardt Verlag. https://doi.org/10.36198/9783838588001

Young Kim, S., Subrahmaniyan, N., & Brooks, J. D. (2019). Evaluation of Interface Modality Effectiveness for Remotely-Controlled Locomotives. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 63, No. 1, pp. 2211-2215). Sage CA: Los Angeles, CA: SAGE Publications. https://doi.org/10.1177/1071181319631150

Yue, M., Xuyang, M., Chunxiao, F., Hui, Y., Deep learning for monocular depth estimation: A review. Neurocomputing, Volume 438, 2021, Pages 14-33, ISSN 0925-2312, https://doi.org/10.1016/j.neucom.2020.12.089

Zwicky, F. (1947). Morphology and Nomenclature of Jet Engines. In: *Aeronautical Engineering Review 6*(6):49–50.

Anhänge

A1. Szenarien für Teleoperation (AP 2): Überblick über vorgeschlagene und zur weiteren Ausarbeitung ausgewählte Szenarien

Tabelle 17: Überblick über vorgeschlagene und zur weiteren Ausarbeitung ausgewählte Szenarien

übergeordnetes Anwendungsfeld	**#**	**vorgeschlagene Idee für Szenario**	**Beschreibung**	**eingeflossen in Szenario-ID**
Teleoperation als Rückfallebene bei Störung	1	Bahnübergangsstörung	Der Zug fährt auf einen BÜ zu, der nicht automatisch gesichert wurde. D. h., die Schranken haben sich nicht geschlossen und das deckende Signal steht nicht auf Fahrt. Das ATO-System stellt eine Übernahmeanforderung an den Tele-Tf. Achtung: Aus arbeitspsychologischer Sicht Sonderfall, wenn der Tele-Tf für einen gewissen Zeitraum alle Züge über den BÜ leiten muss.	1, 2
	2	Fahren auf Sicht mit Befehl	Die Fdl erteilt dem Tele-Tf einen Befehl, einen Bereich auf Sicht zu befahren. (Gründe können sein: Personen oder Tiere im Gleis, Böschungsbrände, Störung Gleisfreimeldeanlage). Achtung: Aus arbeitspsychologischer Sicht Sonderfall, wenn der Tele-Tf für einen gewissen Zeitraum alle Züge über den BÜ leiten muss.	5a, 5b, 6
	3	eingeschränkte Sichtbedingungen	Das ATO-System detektiert eingeschränkte Sichtbedingungen durch z. B. Nebel. Die schränkt die Funktion des Videosensors ein. Der Tele-Tf muss übernehmen. Ziel des Szenarios: Tele-Tf muss andere Sensordaten in seine Interpretation der Situation mit einbeziehen (nicht nur Video) – mögliche Idee wäre auch Nacht/Dunkelheit, Starkregen.	--

übergeordnetes Anwendungsfeld	#	vorgeschlagene Idee für Szenario	Beschreibung	eingeflossen in Szenario-ID
	4	Verlust der Datenverbindung (Lost-Link-Procedure)	Der Zug verliert die Datenverbindung (uplink und downlink). Der Tele-Tf muss der Lost-Link-Procedure folgen (d. h. evtl. zunächst abwarten, ob der Zug aus einem Funkloch wieder herausfährt und dann die Bergung einleiten). Evtl. ergänzen mit Szenario "Geplantes Funkloch". Hier sind eventuell auch zu hohe Latenzen schon relevant. Interessanter Inhalt des Szenarios: Welche Informationen braucht der Tele-Tf mindestens, um den Zug zu bearbeiten?	--
	5	Zugstörung A	Der Zug ist gestört und kann nicht weiterfahren. Der Tele-Tf muss versuchen, den Zug zu entstören. Dies gelingt durch Neustart der Systeme.	3, 4
	6	Zugstörung B	Der Zug ist gestört und kann nicht weiterfahren. Der Tele-Tf muss versuchen, den Zug zu entstören. Dies gelingt durch Neustart der Systeme nicht. Der Tele-Tf muss dann versuchen, den Zug auf anderem Wege zu entstören (Ferndiagnose, Zugbegleiter oder Technikerteam hinschicken).	(3, 4)
	7	Evakuierung	Es liegt eine Situation vor, die es erforderlich macht, dass die Passagiere evakuiert werden. Dieses Szenario kann die Benachrichtigung von Notfallorganisationen beinhalten.	(3, 4, 5a, 5b, 6)
	8	Notbremsung A	Es wird eine Notbremsung durch einen Passagier ausgelöst. Der Tele-Tf stellt fest, dass diese Notbremsung notwendig war und handelt entsprechend. Wichtige Fragestellung ist hier die Notbremsüberbrückung.	--
	9	Notbremsung B	Es wird eine Notbremsung durch einen Passagier ausgelöst. Der Tele-Tf stellt fest, dass diese Notbremsung nicht notwendig war und handelt entsprechend. Wichtige Fragestellung ist hier die Notbremsüberbrückung.	--

übergeordnetes Anwendungsfeld	#	vorgeschlagene Idee für Szenario	Beschreibung	eingeflossen in Szenario-ID
Teleoperation im Regelbetrieb: Rangieren/Bereitstellen	10	Bereitstellung	Der Tele-Tf stellt den Zug zu einer Strecke bereit, auf der hochautomatisiert gefahren werden kann.	7, 8, 9, 10
	11	Wartung	Der Tele-Tf fährt den Zug zur Waschanlage oder zur Werkstatt.	--
	12	Zugvorbereitung	Der Tele-Tf bereitet den Zug auf dem Betriebsgelände für die Fahrt vor (Zugzusammenstellung etc.). Dabei unterstützt er Personal vor Ort, z. B. den Wagenmeister.	7, 8
	13	Bedienung Industrieanschlussgleis	Der Tele-Tf rangiert den Zug per Teleoperation auf dem oder das Betriebsgelände eines Unternehmens, wo keine hochautomatisierte Fahrt möglich ist.	9, 10
Arbeitsabläufe	14	Zugwechsel	In seinem Arbeitsablauf hat der Tele-Tf gerade eine Zugübernahme abgearbeitet und wechselt direkt zum nächsten Zug, den er bearbeiten muss.	11
	15	Übergabe im Störungsfall	Im Verantwortungsbereich des Tele-Tf treten zu viele Störungen parallel auf, der Tele-Tf kann diese Menge an Aufgaben nicht mehr erfüllen. Er muss aus diesem Grund priorisieren und Aufgaben abgeben.	12, 13
	16	Warnzustand Zugstatus	Ein Zug im Verantwortungsbereich des Tele-Tf bewegt sich bezüglich eines Zugparameters im kritischen Bereich. Es gibt noch keine Störung, aber es besteht eventuell Handlungsbedarf (z. B. ein Warmläufer). Der Tele-Tf muss die Situation bearbeiten.	14

A2. Stand der Technik: Sensorik zur Umfelderfassung

Ergänzend zu der tabellarischen Übersicht im Bericht (siehe Tabelle 5, Abschnitt 4.4) dient dieser Anhang dazu, derzeit am Markt verfügbare Sensortechnologien mit Blick auf die Messprinzipien und die damit verbundenen Möglichkeiten und Einschränkungen hinsichtlich der Umfelderfassung genauer zu beschreiben.

A2.1 Radartechnologie

Radio detection and ranging (Radar) nutzt Funkwellen zur Ortung, Abstandsmessung und Messung der Relativgeschwindigkeit von Objekten. Neben dem Einsatz in Schiffen und Flugzeugen haben sich Radarsensoren in der Automobilindustrie durchgesetzt. In Pkw wurden sie zur bevorzugten Lösung in Abstandsregeltempomaten (ACC). Dort werden Funkwellen in den Frequenzbereichen von 24 GHz für kurze (< 90 m) und mittlere Entfernungen (< 160 m) sowie 76 bis 81 GHz für den Fernbereich (< 280 m) eingesetzt (Welp, 2019).

Die Erfassung eines Objektes mittels eines Radardetektors wird maßgeblich vom Radarrückstreuquerschnitt (Radar Cross Section; RCS) beeinflusst. Dieser wird von Größe, Material, Form und Oberflächenbeschaffenheit des zu erkennenden Objekts beeinflusst. Je nach RCS verändert sich die Reichweite des Sensors (Beispiele für RCS: Mensch: 1 m^2, Vogel: 0,01 m^2, d. h. ein Mensch kann in einer größeren Entfernung erkannt werden; Knott et al., 2004).

Derzeit sind Radarsensoren in der Umfelderfassung im Automobilbereich Stand der Technik. Die Datenaufnahme erfolgt bei Radarsensoren durch eine Rotation des Radarstrahls während des Scans innerhalb eines bestimmten Winkelintervalls. Bei einem herkömmlichen 3D-Radar erfolgt dies allein in horizontaler Richtung. Die drei Dimensionen sind dabei:

- der Horizontalwinkel (Azimuth)
- die Entfernung
- die Relativgeschwindigkeit des detektierten Objektes

Der Trend geht jedoch hin zum Einsatz von bildgebenden 4D-Radarsensoren (Gu, 2022). Bei einem 4D-Radar kommt die Höhe (Elevation) als weitere Dimension hinzu (vgl. Abbildung 18). Die Umgebung wird durch einen Radarstrahl gescannt, der in einem horizontalen Winkelintervall (Azimuth field of view; FOV) von z. B. 60° und einem vertikalen Winkelintervall (Elevation FOV) von z. B. 12° rotieren kann und eine gewisse Winkelauflösung (z. B. 0,1°) und eine Winkeltrennfähigkeit (z. B. 1°) aufweist. Die Winkeltrennfähigkeit ist geringer als die Auflösung, weil Radarwellen im Vergleich zu sichtbarem Licht (Wellenlänge < 1 um) über größere Wellenlängen von 1 bis 10 mm verfügen. Die im Vergleich zu Lidar geringere Winkeltrennfähigkeit von Radarsensoren setzt der Auflösung von 4D-Radarsensoren Grenzen. Das Auflösungsvermögen von modernen 4D-Radarsensoren wird in Pixeln relativ zum Erfassungsbereich angegeben. Eine typische Auflösung für 4D-Radarsensoren ist derzeit z. B. 80 x 20 Pixel bei Azimuth FOV = [-50°;50°] und Elevation FOV = [-15°;15°] (Arbe, 2021). Die

Rückstreuung ist maßgebend für die Reichweite eines Radarsensors. Mit steigender Entfernung zum detektierten Objekt nimmt die Energie zu, die benötigt wird, um noch eine messbare Reflexion zu erhalten (Knott et al., 2004). Unter der Annahme eines isotropen Strahlers im freien Raum wäre diese notwendige Energie proportional zur Kugeloberfläche, auf die sich die Energie verteilt, d. h., die Sendeleistung müsste im Quadrat der Detektionsentfernung steigen. In der Praxis ist die Abstrahlcharakteristik nicht isotrop, weil ein Radarstrahl in gewissem Maße gebündelt werden kann. Zudem begünstigen bei einem Bodenfahrzeug Effekte der Mehrwegeausbreitung die Energiebilanz bei der Rückstreuung. Daher wird für eine Erhöhung der Reichweite weniger Sendeleistung benötigt, als ein quadratischer Zuwachs erwarten lassen würde.

Winkeltrennfähigkeit, erforderliche Mindestgröße der Objekte und Objektentfernung stehen miteinander in Zusammenhang, wenn es um die Frage geht, ob Objekte mittels Radars noch differenziert wahrgenommen können. Mit größer werdendem Abstand verschmelzen kleine, eng beieinanderstehende Objekte im Radarscan zu einem einzigen Objekt.



Abbildung 18: Ego-Perspektive eines mit 4D-Radar ausgestatteten Fahrzeuges mit eingeblendeten Ergebnissen der Detektion (Gu, 2022)

A2.2 Infrarotkamera-Technologie

Zwei Kameratechnologien stehen zur Verfügung, um bei schlechten Sichtverhältnissen und Dunkelheit Bilder zu erzeugen: Wärmebild- bzw. Thermalkamera (Wellenlänge des Lichts: $\lambda > 15\ \mu m$) und aktive Infrarotkamera (vgl. Abbildung 19). Aktive Infrarotsysteme registrieren Licht im sogenannten Nah-Infrarot-Bereich (NIR; Wellenlänge des Lichts: $880\ nm < \lambda < 1{,}5\ \mu m$). Beide Technologien registrieren Licht im nicht sichtbaren Bereich. Sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Kosten und Leistungsfähigkeit.

Fast alle digitalen Bildsensoren (d. h., fast alle digitalen Kameras) sind im NIR–Bereich empfindlich. Daher sind Bildsensoren für NIR-Nachtsichtsysteme sehr preisgünstig, benötigen allerdings einen zusätzlichen NIR-Scheinwerfer, um das Sichtfeld auszuleuchten. Maßgeblich für die Reichweite eines NIR-Systems sind folgende Parameter:

- Die Eigenschaften des NIR-Scheinwerfers: Dies betrifft die zur Verfügung stehende Leistung und Güte der Lichtbündelung. Mit auf Leuchtdioden basierenden NIR-Scheinwerfern können beispielsweise Reichweiten von bis zu 200 m erzielt werden (Bosch, 2017). Derzeit sind infrarotlaserbasierte Systeme in Erprobung, sodass zu erwarten ist, dass künftig kostengünstige NIR-Laserscheinwerfer mit einer deutlich gesteigerten Reichweite auf den Markt kommen (Prawitz, 2022).
- Die Reflektivität des Objektes: Bei schwarzen Objekten weist ein NIR-System keine hohe Reichweite auf, während stark reflektierende bis retroreflektierende Oberflächen auch auf vergleichsweise große Entfernungen registriert werden können.
- Die Bildauflösung von Sensor und Objektiv: Diese richten sich in der Regel nach den Fähigkeiten des NIR-Scheinwerfers. Bei Verwendung eines Teleobjektivs in Kombination mit einem stark fokussierenden NIR-Laserscheinwerfer sind hohe Reichweiten von mehreren hundert Metern technisch realisierbar (Prawitz, 2022). Weitwinklige Objektive in Kombination mit einem NIR-LED-Scheinwerfer mit breitem Lichtkegel erfassen nur die nähere Umgebung wie z. B. in einem Radius von 35 m (Bosch, 2017).

Wärmebildkameras sind in der Anschaffung teuer und weisen grundsätzlich eine geringere Auflösung auf. Sie haben aber gegenüber NIR-Systemen den Vorteil, dass keine zusätzliche Lichtquelle benötigt wird. Zudem spielt es keine unmittelbare Rolle, welche Farbe das registrierte Objekt hat, sondern stattdessen, wie stark die Wärmeabstrahlung des Objekts ist. Die geringere Auflösung kann durch Verwendung eines Thermal-Teleobjektivs kompensiert werden, sodass auch sehr große Erfassungsreichweiten realisierbar werden können. Aufgrund der größeren Wellenlänge durchdringt Infrarotlicht Nebel und Dunst besser als sichtbares Licht (Raheem et al., 2022). Folglich sind für ein NIR-Nachtsichtsystem bei Nebel bessere Resultate zu erwarten als für eine Kamera im Spektrum des sichtbaren Lichts. Für eine Wärmebildkamera wiederum ist bei Nebel nochmals ein besseres Bild zu erwarten als für ein NIR-Nachtsichtsystem. Quantitative Untersuchungen belegen dies (Rivera Velázquez et al., 2022).

Gemäß der häufig verwendeten Klassifizierung der Internationalen Luftfahrtorganisation ICAO werden vier Nebeldichten unterschieden:

- Nebel Kategorie I: Sichtweite 1 220 m
- Nebel Kategorie II: Sichtweite 610 m
- Nebel Kategorie IIIa: Sichtweite 305 m
- Nebel Kategorie IIIc: Sichtweite 92 m

Wärmebildkameras können bei Nebel der Kategorie I achtmal weiter schauen als Kameras im Spektrum des sichtbaren Lichts, bei Nebel der Kategorie II ist die Reichweite einer Wärmebildkamera noch viermal so hoch (FLIR, 2020). Bei dichtem Nebel der Kategorie III bringt die Verwendung einer Wärmebildkamera keine Vorteile (FLIR, 2020).



Abbildung 19: Bilder von NIR-Kameras zur Verkehrsüberwachung mit erkannten Objekten im Overlay (DLR, 2024)



Abbildung 20: Links: Bild einer Wärmebildkamera für eine Verkehrsszene; Mitte: Bild einer Farbkamera; Rechts: Überblendung der beiden Bilder als Falschfarbenbild (Hwang et al., 2015)

A2.3 Stereokamera

Eine Stereokamera kann man sowohl mit sichtbarem als auch mit Infrarotlicht betreiben. In Bezug auf Reichweite und Abhängigkeit von der Witterung ergeben sich dabei Unterschiede. Da die Ermittlung der Entfernung von Objekten zur Kamera anhand der sogenannten Stereo-Disparität erfolgt, also der Verschiebung der Position des Merkmals in den verschiedenen Bildern des Kamerapaares, ergeben sich folgende Zusammenhänge (Hartley & Zisserman, 2003):

- Je weiter das Objekt vom Bildsensor entfernt ist, umso geringer die Disparität und umso größer damit die Unsicherheit bei der Entfernungsmessung.
- Je geringer die Kontraste zwischen Objekt und Hintergrund, desto weniger gut wird das Objekt überhaupt wahrgenommen – unabhängig von der Entfernung zur Kamera.

Vor diesem Hintergrund spricht man bei Stereokameras von empfohlenen Reichweiten, denn theoretisch kann eine Stereokamera eine sehr große Reichweite haben, in der Praxis nimmt die Genauigkeit der Tiefenschätzung mit zunehmender Entfernung jedoch stark ab, sodass große Ungenauigkeiten entstehen und eine sinnvolle Messung je nach Einsatzzweck nicht mehr möglich ist (Schimpf, 2018). Beispiele für eine empfohlene Reichweite sind:

- 3 m Reichweite bei 10 cm-Stereo-Basis[5] (Intel Real Sense D 415, 2024),
- 50 m Reichweite bei 25 cm-Stereo-Basis (Mercedes-Benz, 2024),
- 19 m Reichweite bei 19,4 cm-Stereo-Basis (Rovira-Mas et al. 2010).

Empfohlene Reichweiten und die dafür jeweils notwendige Stereo-Basis unterscheiden sich je nach Einsatzzweck und Konstruktionsparametern, wie z. B. Konstruktion des Stereokamera-Gehäuses, Brennweite des Objektivs und Auflösung des Kamera-Chips. Derzeit sind Stereokameras mit einer Stereo-Basis von bis zu 25 cm am Markt verfügbar und in Fahrzeugen im Einsatz (Christodoulou, 2013). Unter der Annahme, dass man am Triebfahrzeug eine möglichst große Reichweite erzielen möchte, ist die Verwendung einer Stereokamera mit einer möglichst großen Stereo-Basis naheliegend. Mit zunehmendem Abstand der Stereokameras zueinander wird es jedoch rein praktisch immer schwieriger, die notwendigen Toleranzen einzuhalten. Aufgrund des Einflusses der Umgebungstemperatur und von Spannungen und Torsion in der Karosserie des Triebfahrzeugs und anderen Einflüssen kann es konstruktiv eine Herausforderung sein, eine Stereokamera mit einer großen Stereo-Basis herzustellen. Aus der Literatur ist bekannt, dass Aufbauten mit einer Stereo-Basis von bis zu 54 cm im Straßenverkehr an Prototypen von Fahrzeugen erfolgreich betrieben werden können (Geiger et al., 2013). Unter der Annahme, dass bei einem Schienenfahrzeug aufgrund des fortschreitenden Standes der Technik künftig die Stereo-Basis bis zu 1 m betragen kann, ist zu erwarten, dass bei künftigen Stereovisionssystemen für ATO empfohlene Reichweiten von bis zu 200 m realisiert werden können.

A2.4 Bildverarbeitung für Monokameras

Es besteht die Möglichkeit, Objekte direkt im Kamerabild zu erkennen und zu klassifizieren. Seitdem bei der Objekterkennung mittels Deep Learning große Fortschritte gemacht worden sind, stehen dafür sehr effektive und effiziente Methoden zur Verfügung (Wang et al., 2023). Ist die Objektklasse bekannt, kann aufgrund der reinen Abmessungen des Objekts bereits eine Abschätzung der Objektentfernung erfolgen. Erscheint z. B. eine Detektion eines Objektes, welches als Mensch klassifiziert wurde, im Bild sehr klein, so ist es wahrscheinlicher, dass sich der Mensch weit weg von der Kamera befindet. Hinzu kommt, dass bei einer kalibrierten Kamera eine sogenannte Ebene-Welt-Annahme (Marchand et al., 2015) genutzt werden kann, um Messungen einzuordnen. Ist beispielsweise eine als Mensch klassifizierte Detektion im unteren Teil des Bildes vorhanden, müsste sich der Mensch in unmittelbarer Nähe vor der Kamera aufhalten und daher größer sein als ein Mensch am Horizont.

5 Die Stereo-Basis ist dabei der Abstand der beiden Kameras zueinander, vergleichbar mit dem Abstand der Augen beim Menschen.

Die skizzierten Zusammenhänge machen deutlich, dass durch ein gewisses Verständnis der Szene ein Umgebungsmodell generiert werden kann, so wie es auch in der menschlichen Wahrnehmung möglich ist. Entsprechende Algorithmen werden als monokulare Tiefenschätzer bezeichnet und nach Stand der Technik als Deep-Learning-Systeme umgesetzt (Yue et al., 2021). Das heißt, die Ebene-Welt-Annahme, Detektion und Klassifikation werden gar nicht explizit umgesetzt, sondern das System lernt die relevanten Zusammenhänge implizit aus einer ausreichend großen Menge aus Trainingsdaten. Monokulare Tiefenschätzer können sowohl für Kameras im sichtbaren Lichtspektrum als auch für Kameras im unsichtbaren Lichtspektrum eingesetzt werden.

Eine weitere Möglichkeit für die Identifikation von 3D-Strukturen in monokularen Bildern ist das Prinzip „Struktur aus Bewegung“ (SfM; Özyeşil et al., 2017). Dieses Messprinzip erscheint zunächst im Rahmen von Teleoperation weniger interessant, kann aber prinzipiell als weitere, weitgehend unabhängige Datenquelle für Tiefeninformation genutzt verwendet werden.

Algorithmen zur Tiefenschätzung in Mono-Bildern können im Kontext der Teleoperation für Plausibilitätschecks genutzt werden. Wenn das Umgebungsmodell nicht mehr plausibel erscheint, ist eine Fehlfunktion der Umfeldsensoren wahrscheinlich und Tele-Tf sollten eingeschaltet werden.

So wie z. B. Radar- oder 4D Lidar-Sensoren gleichzeitig Entfernung und aufgrund des Doppler-Effekts die Relativgeschwindigkeit zum Objekt ermitteln können, ist eine Ermittlung der Relativgeschwindigkeit auch mit Mono- sowie Stereo-Tiefenschätzern aus Kamerabildern möglich. So können z. B. Kalmanfilter zur Zustandsschätzung aus der Zeitreihe der Detektionen zum Einsatz kommen. Die Ermittlung der Relativgeschwindigkeit ist in Kamerabildern auch direkt möglich, z. B. mithilfe von etablierten regressionsbasierten Schätzern für den optischen Fluss (Baker et al., 2004) im Zusammenspiel einem Objektdetektor. Somit stehen auch für die Ermittlung der Relativgeschwindigkeit unabhängige Methoden zur Verfügung, nämlich

- mittels monokularer Tiefenschätzer,
- mittels stereobasierter Tiefenschätzer und
- basierend auf einer Objektdetektion und dem optischen Fluss.

Der grundsätzliche Vorteil einer Tiefenschätzung aus Mono-Bildern ist die geringere Abhängigkeit von der Stereo-Basis und den mit einer notwendigen Erweiterung der Stereo-Basis verbundenen Kosten. Für den Einsatz in der Praxis ist eine Fusion der Ergebnisse von Stereo-, Mono-Tiefenschätzer, Mono-SfM sowie optischem Fluss sinnvoll, bisher in der Literatur jedoch noch nicht umfassend untersucht – weder in der Robotik allgemein noch spezifisch für Anwendungen im Bahnbereich.

Zusätzlich zu den aus der Tiefenschätzung resultierenden Plausibilitätschecks können Algorithmen zur Objektdetektion in Kamerabildern mittels Deep Learning direkt ermitteln, wie unsicher die Erkennung eines Objektes ist. Hierfür werden Methoden der „Uncertainty Quantification“ verwendet, beispielsweise Monte-Carlo-Dropout (Gal & Ghahramani, 2016).

A2.5 Lidar

„Light detection and ranging“ (Lidar) bezeichnet das Messprinzip, mit Laserimpulsen die Umgebung abzutasten. Lidar ist ein rein optisches, bildgebendes Verfahren und damit in seinen Eigenschaften ähnlich zur Verwendung eines NIR-Scheinwerfers und einer NIR-Kamera. Im Unterschied dazu kann jedoch direkt mittels Lidar die Entfernung zum Objekt sehr genau ermittelt werden (Steinvall & Chevalier, 2005; vgl. Abbildung 23).

Ein Lidar-Sensor ist vom Prinzip her ein 3D-Sensor, der Azimuth, Elevation und die Entfernung zum Objekt ermittelt. Eine aktuelle Entwicklung ist die 4D-Lidar-Technologie, die aufgrund des Dopplereffekts ebenso wie Radar gleichzeitig die Relativgeschwindigkeit zum Objekt ermitteln kann (Cenkeramaddi et al., 2020; vgl. Abbildung 22). Dies erleichtert die Zuordnung der Messpunkte zu den Objekthypothesen und sorgt für eine verbesserte Sicherheit und Reichweite bei der Objekterkennung. Lidar und Radar sind physikalisch verwandt: Lidar arbeitet wie Radar mit elektromagnetischen Wellen, deren Wellenlänge jedoch im Vergleich mit Radar um den Faktor 1/1000 geringer ist.



Abbildung 21: 4D-Lidar: Reflektanzbild einer Verkehrsszene (Aeva, 2024)

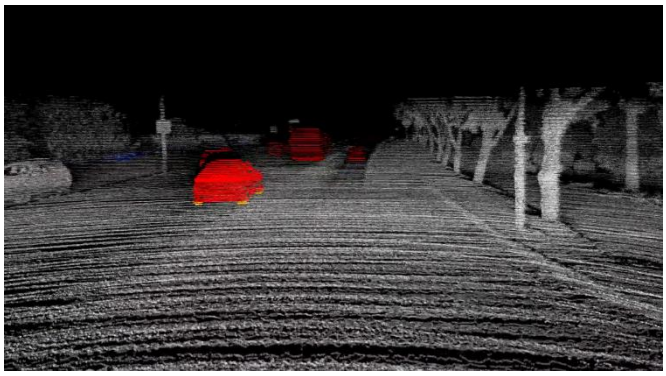


Abbildung 22: 4D-Lidar: Δv-Bild (Aeva, 2024)

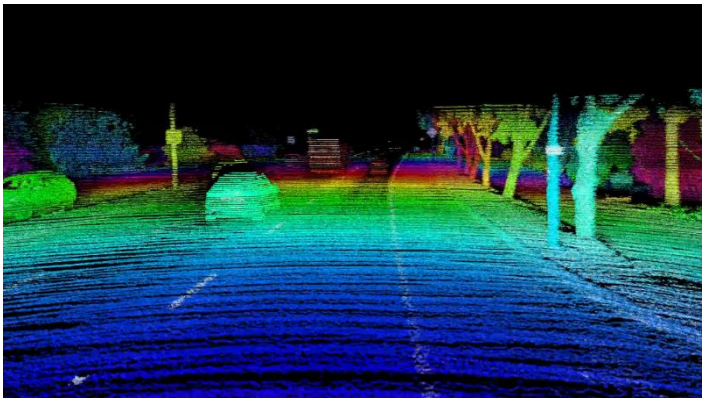


Abbildung 23: 4D Lidar: Δx Bild (Aeva, 2024)

A2.6 Datenfusion und Plausibilisierung von Messungen

In einem ATO-System werden hohe Verfügbarkeit, Ausfallsicherheit und Sicherheit durch den gleichzeitigen Einsatz unterschiedlicher Sensortechnologien erreicht, deren Messergebnisse zu einem konsistenten und plausibilisierten Umgebungsmodell zusammengeführt werden. Der Prozess des Zusammenführens der Daten der unterschiedlichen Sensoren wird als Datenfusion bezeichnet (Klein, 2004). Der Prozess der Datenfusion beinhaltet neben der Verbesserung der Genauigkeit der gemessenen Objektparameter mittels Kalman-Filterung (Bar-Shalom et al., 2011) auch die Assoziation von Messungen und Objekthypothesen. Im Ergebnis kann festgestellt werden, welche Objekte von welchen Sensoren registriert werden und, im Fall von Inkonsistenzen, welchen Sensoren unter welchen Bedingungen vertraut werden kann und welchen nicht (Schimpf, 2018).

Abbildung 24 zeigt ein solches Beispiel in einer Straßenverkehrsszene. In diesem Beispiel werden die Tiefenkarten einer Stereokamera und eines Lidarsensors fusioniert. Vor dem Fahrzeug zeigt die Tiefenkarte der Stereokamera ein Hindernis. Dieses „Hindernis“ ist jedoch eine Illusion, die durch eine Blendung der Stereokamera durch starke Sonneneinstrahlung zustande kommt. Ein Plausibilisierungs-Algorithmus identifiziert aber erfolgreich, dass dem Stereokamerasensor in diesem Fall nicht vertraut werden darf, da der betroffene Bereich im Kamerabild hell erscheint. Ein heller Bildbereich weist auf ein Objekt mit einer gut reflektierenden Oberfläche hin, sodass zu erwarten ist, dass der Laser-Strahl eines Lidar-Sensors gut reflektiert wird. Wenn der Lidar-Sensor also kein Hindernis erkennt, so ist diesem in dieser Situation zu vertrauen und die Messung der Stereokamera als fehlerhaft anzusehen. Das Fahrzeug sollte also kein Bremsmanöver einleiten.

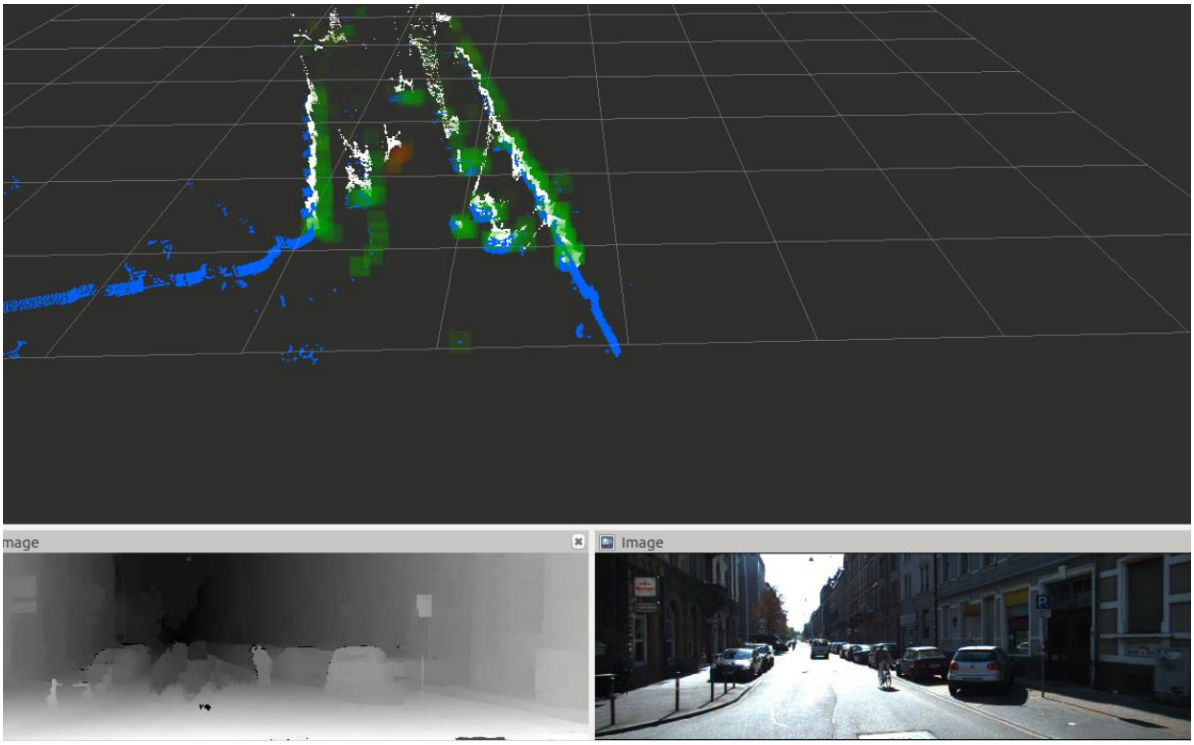


Abbildung 24: Unten rechts: Kamerabild. Unten links: Tiefenkarte der Stereokamerastereokamera. Oben: Ergebnis der Fusion zwischen Stereokamerastereokamera (weiß) und Lidar (blau) mit Konfidenz-Markern (Grün: sicher, Rot: unsicher; Schimpf, 2018)

A3. Beispiele für diversitäre Redundanz

Wie in Abschnitt 4.5 ausgeführt wurde, ist zu erwarten, dass ATO-Systeme mit redundanten Sensoren ausgestattet sein müssen (MSS), um innerhalb ihrer Operational Design Domain sicher und effizient zu funktionieren und eine Zulassung zu erhalten. Das Vorhandensein von Redundanz hat Relevanz für die Teleoperation, weil in einem redundanten System die Möglichkeit zur Plausibilisierung und somit zur Diagnose einer möglichen Fehlfunktion von Sensoren besteht. In diesem Sinne werden in den folgenden Abschnitten beispielhaft zwei redundante Systeme betrachtet.

Wenn dabei von Sensoren gesprochen wird, dann ist synonym der Sensor samt der zugehörigen Verarbeitungskette zur Objektdetektion gemeint. Eine solche Verarbeitungskette generiert im Allgemeinen aus den Rohdaten des Sensors Objekthypothesen, welche meist die Sicherheit oder Unsicherheit der Detektion, eine Objektklasse (Fahrzeug, Mensch, Tier) sowie einen Parametervektor samt einer Kovarianzmatrix umfasst. Ersterer enthält die einzelnen Objektparameter wie Position, Geschwindigkeit, Länge, Breite oder Höhe, letzterer Angaben zu den Unsicherheiten der Schätzung.

Für Multi-Sensor-Systeme wird eine Zusammenführung der Daten benötigt – die Datenfusion. Dabei werden die Objekthypothesen der unterschiedlichen Sensoren i. d. R. zuerst assoziiert – also Objekthypothesen zugeordnet, die sich auf Daten unterschiedlicher Sensordaten abstützen. Die eigentliche Datenfusion ist die Ableitung verbesserter Schätzungen assoziierter Objekthypothesen aus den Objekthypothesen der einzelnen Sensoren (vgl. Anhang A2.6 Datenfusion und Plausibilisierung von Messungen). Dies wird im Folgenden in zwei Beispielen verdeutlicht.

A3.1 Diversitäre Redundanz mit einem 2-aus-3-System

In diesem Beispiel wird ein ATO-Sensorsystem aus Thermalkamera, Radar und Lidar als 2-aus-3-System betrieben. Im Erfassungsbereich der Sensoren taucht ein Objekt vor dem Triebfahrzeug auf. Folgende Fälle können auftreten:

1. Alle drei Sensoren nehmen vor dem Triebfahrzeug dasselbe Objekt wahr und die Objektparameter sind plausibel. Das ist die normale Situation und alle Sensordaten werden vom ATO-System als plausibel eingeordnet. Das ATO-System ist uneingeschränkt funktionstüchtig und steuert den Zug ohne Unterstützung durch Teleoperation.
2. Radar und Thermalkamera registrieren das Objekt, Lidar zunächst aber nicht. Da es sich um ein 2-aus-3-System handelt, geht das ATO-System davon aus, dass tatsächlich ein Objekt vor dem Triebfahrzeug vorhanden ist. Es wechselt in einen Notlaufmodus mit reduzierter Geschwindigkeit. Die Einschätzung eines Tele-Tf wird angefordert. Der Tele-Tf stellt fest, dass eine schwarze Kuh neben der Schiene im Gleisbett grast, ggf. ist der Lidar-Sensor stark verschmutzt. Der Teleoperateur verständigt die Instandsetzung des Betreibers, sodass zum nächstmöglichen Zeitpunkt eine Reinigung erfolgen kann.
3. Radar registriert ein Objekt, Thermalkamera und Lidar aber nicht. Das ATO-System leitet eine Notbremsung ein. Die Anforderung für einen Tele-Tf wird herausgegeben. Der Tele-Tf übernimmt die Steuerung des Zuges und erkennt, dass es sich um einen großen schwarzen

Findling neben der Strecke handelt. Er meldet Instandsetzungsbedarf inklusive einer Inspektion der Sensorik an.

A3.2 Redundanz gestaffelt nach Reichweite

In diesem Beispiel wird betrachtet, wie sich die Redundanz der Sensoren eines ATO-Sensorsystems je nach Reichweite darstellt. Naturgemäß gilt, dass Objekte in größerer Entfernung, abhängig von ihren physikalischen Eigenschaften, nicht von allen Sensoren des MSS gleichermaßen registriert werden können. Für ein Objekt in unmittelbarer Nähe vor dem Triebfahrzeug ist dagegen zu erwarten, dass es von allen Sensoren gleichermaßen wahrgenommen wird.

Es wird angenommen, dass das System mit Sensoren mit den folgenden Eigenschaften betrieben wird:

- 4D-Radar; Reichweite: 280 m
- 4D Lidar; Reichweite: 500 m
- Stereo NIR – Kamera mit NIR-Scheinwerfer
    - Objekterkennung mit Quantifizierung der Unsicherheit (z. B. Monte-Carlo-Dropout)
    - Stereo-Tiefenschätzung in einer Reichweite bis 100 m
    - Mono-Tiefenschätzung im Fernbereich; Reichweite tagsüber: 800 m, Reichweite nachts: 200 m
    - SfM-Tiefenschätzung; Reichweite: 10 m

- Stereo-Thermal-Kamera
    - Objekterkennung mit Quantifizierung der Unsicherheit (z. B. Monte-Carlo-Dropout)
    - Stereo-Tiefenschätzung; Reichweite: 100 m
    - Mono-Tiefenschätzung; Reichweite: 800 m
    - SfM-Tiefenschätzung; Reichweite: 10 m

Die Sensoren werden als acht unabhängige Datenquellen betrachtet. Die Daten dieser Sensoren werden mittels eines Algorithmus zur Datenfusion zusammengeführt und als redundantes System mit Plausibilisierung betrieben. Je nach Entfernung zum detektierten Objekt ergeben sich Konfigurationen gemäß Tabelle 18 im Redundanzkonzept. In der Spalte „x aus y“ wird dabei die Konfiguration des redundanten Sensorsystems aufgeführt. So ist es beispielsweise möglich, im Erfassungsbereich 250 bis 500 m (Fernbereich) tagsüber mit den drei Sensoren 4D-Lidar, Thermalkamera sowie NIR Messdaten vom selben Objekt zu erhalten. Daher werden im Normalfall drei aus drei Sensoren dieses Objekt wahrnehmen und ein uneingeschränkter Betrieb des ATO-Systems ist möglich. Solange zwei aus drei Sensoren übereinstimmende Ergebnisse liefern, ist ein eingeschränkter Betrieb möglich. Nachts dagegen kann die NIR-Kamera nicht mehr genutzt werden, da der NIR-Scheinwerfer nur bis 250 m Entfernung reicht. Thermalkamera sowie Lidar sollten jedoch übereinstimmende Ergebnisse liefern (2-aus-2-System). Fällt einer der beiden Sensoren aus, so kann bei sich widersprechenden Messungen (z. B. Thermalkamera: Objekt vorhanden, Lidar: kein Objekt vorhanden) nicht mehr mit ausreichender Sicherheit gesagt werden, dass die Strecke frei ist. Es muss ggf. eine Geschwindigkeit

gewählt werden, die es erlaubt, innerhalb von 250 m zum Stillstand zu kommen. Ein Tele-Tf sollte aufgeschaltet werden, um zu entscheiden, wie weiter zu verfahren ist.

In der Designphase des ATO-Systems muss daher entschieden werden, wie im Einzelfall zu verfahren ist: Immer dann, wenn innerhalb der Plausibilisierung Inkonsistenzen auftreten, kann der ATO-Betrieb zwar weiterhin in n-minus-1-aus-n-Konfiguration erfolgen. Die Einbeziehung eines Tele-Tf ist aber in Betracht zu ziehen – nämlich zur Überprüfung, welcher Sensor möglicherweise inkonsistente Daten sendet und zur Entscheidung, mit welcher Geschwindigkeit das Schienenfahrzeug ggf. auf Sicht weiterfahren soll.

Tabelle 18: Redundanzkonzept für die Sensoren in Abhängigkeit von der Objektentfernung

Entfernungsbereich		**Beleuchtung**	**x aus y**	**Sensoren**
0 bis 10 m	Nahbereich	Tag + Nacht	7 aus 8	alle
10 bis 100 m	erweiterter Nahbereich	Tag + Nacht	5 aus 6	alle ohne SfM
100 bis 250 m	mittlerer Fernbereich	Tag + Nacht	3 aus 4	alle ohne SfM, ohne Stereo
250 bis 500 m	Fernbereich	Tag	2 aus 3	4D-Lidar, Thermalkamera, NIR
250 bis 500 m	Fernbereich	Nacht	2 aus 2	4D-Lidar, Thermalkamera
500 bis 1 000 m	erweiterter Fernbereich	Tag	2 aus 2	Thermalkamera, NIR
500 bis 1 000 m	erweiterter Fernbereich	Nacht	1	Thermalkamera

Anmerkung: Dieses Beispiel stellt vereinfachend Zusammenhänge bei der Detektion von Objekten in einem MSS dar. Ziel der Darstellung ist zu verdeutlichen, welche Mechanismen in einem MSS wirken und wie sich die Situation in Bezug auf die Plausibilisierung, Fehlerdiagnose und das Einbeziehen von Teleoperateurinnen und -operateuren darstellt. In der Praxis ist die Situation komplexer als hier dargestellt, da die physikalischen Eigenschaften der detektierten Objekte eine Rolle spielen. Eine Joggerin oder ein Jogger (hohe Körpertemperatur) im weißen T-Shirt (hohe Reflektanz) und ggf. hohem RCS wird in größerer Reichweite besser wahrgenommen als ein schwarzes Schaf mit geringem RCS und geringer Körpertemperatur. Die Diagnosemechanismen sind aber grundsätzlich ähnlich.

A4. Ergänzungen zur Onlinebefragung (AP 4)

A4.1 Durchführung der Onlinebefragung

Vom 25.06.2025 bis zum 16.09.2025 wurde eine etwa 30-minütige, schriftliche Onlinebefragung mit Tf und Fdl durchgeführt (mittels SoSci Survey). Der gesamte Fragebogen ist in Anlage *Fragebogen_Onlinebefragung.pdf* dargestellt. Die Teilnehmenden wurden zunächst über die Inhalte und die Dauer der Befragung sowie über erhobene Daten und den Schutz personenbezogener Daten informiert. Der erste Teil der Befragung diente der Erfassung demographischer Angaben und der Zuordnung zur Gruppe der Tf bzw. Fdl. Zur Gruppenzuordnung wurde erfasst, ob die Teilnehmenden als Tf und Fdl arbeiten bzw. gearbeitet haben (Zuordnung siehe Tabelle 19). Da weniger Fdl als Tf an der Befragung teilgenommen haben, wurden Personen, die in der Vergangenheit als Tf und Fdl gearbeitet haben, und Personen, die aktuell als Tf und Fdl arbeiten, der Gruppe Fdl zugeordnet. Personen, die weder als Tf noch als Fdl gearbeitet haben, wurden von der Befragung ausgeschlossen.

Tabelle 19: Zuordnung der Teilnehmenden zur Gruppe der Tf bzw. Fdl

Tf	**Fdl**	**Gruppe**
aktuell	aktuell	Fdl
aktuell	früher	Tf
aktuell	nein	Tf
früher	aktuell	Fdl
früher	früher	Fdl
nein	aktuell	Fdl
nein	früher	Fdl
nein	nein	Ausschluss

Neben dem Beruf wurden Alter, Geschlecht, Deutschkenntnisse, die Art der Ausbildung (Eisenbahner vs. Quereinstieg) und die Berufsjahre sowie für Tf der Besitz eines gültigen Triebfahrzeugführerscheins inklusive ausgestellter Klassen erfasst. Die Teilnehmenden, die aktuell als Tf oder Fdl arbeiten, wurden darüber hinaus nach ihrer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit und der Unternehmensgröße gefragt, die Tf zusätzlich nach den Einsatzbereichen in den letzten zwölf Monaten (Fernverkehr, Nah- oder Regionalverkehr etc.) sowie, wie viel Prozent sie in ihrer Tf-Tätigkeit signal- bzw. anzeigegeführt fahren. Alle Teilnehmenden wurden außerdem in Abhängigkeit von ihrer Profession gefragt, wie gern sie als Tf bzw. Fdl arbeiten.

Im zweiten Teil der Befragung wurden die Teilnehmenden gebeten, anhand verschiedener Aussagen die Arbeit als Tf bzw. Fdl (je nach Gruppenzuordnung) möglichst objektiv zu beschreiben.

Im dritten Teil folgten dann die Vorstellung und Bewertung der beiden Tele-Tf-Berufsbilder. Den Teilnehmenden wurde zunächst ein Berufsbild präsentiert (siehe Anhang A4.2 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Zugbereitstellung“ und A4.3 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Rückfallebene“). Darauf folgten zwei offene Fragen zu den Vor- und Nachteilen des beschriebenen Arbeitsplatzes gegenüber dem Tf- bzw. Fdl-Arbeitsplatz. Danach wurden die Teilnehmenden gebeten, anhand verschiedener Aussagen die Arbeit des Tele-Tf zu beschreiben (analog zur Beschreibung der Arbeit als Tf oder Fdl). Sie wurden dann gefragt, wie gern sie als Tele-Tf arbeiten würden und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie sich zum Tele-Tf weiterbilden lassen würden. Abschließend konnten die Teilnehmenden Gründe für und gegen eine Weiterbildung nennen und, wenn die Wahrscheinlichkeit zur Weiterbildung < 50 % war, angeben, womit man sie von der Weiterbildung überzeugen könnte. Danach wurde das andere Tele-Tf-Berufsbild mit denselben Fragen präsentiert. Die Reihenfolge der Tele-Tf-Berufsfelder wurde randomisiert.

Im fünften Teil wurden die individuellen Merkmale der Tele-Tf-Arbeitsplätze aufgelistet und hinsichtlich ihrer Attraktivität bewertet. Außerdem wurde von den Teilnehmenden eingeschätzt, welchen Einfluss verschiedene Aspekte eines Arbeitsplatzes (z. B. Arbeitszeiten, Wohnortnähe) aus ihrer persönlichen Sicht auf die Attraktivität eines Arbeitsplatzes haben. Die Teilnehmenden gaben außerdem an, wie sehr sie sich in ihrem eigenen Job bestimmte Merkmale wünschen (z. B. eine herausfordernde Arbeit).

Im sechsten Teil schätzten die Teilnehmenden ein, wie gern sie mögliche Nebentätigkeiten, die während der Wartezeiten im Rahmen einer Tele-Tf-Tätigkeit bearbeitet werden könnten, bearbeiten würden. Sie hatten außerdem die Möglichkeit, weitere Nebentätigkeiten zu nennen.

Im letzten Teil wurden die Teilnehmenden gefragt, wie gern sie sich mit technischen Systemen beschäftigen (anhand eines Items der Affinity for Technology Interaction (ATI) Scale; Franke, Attig, & Wessel, 2019), wie sorgfältig sie die Befragung bearbeitet haben, welches elektronische Gerät sie genutzt haben und ob sie bereits an anderen Studien zum Berufsbild Tele-Tf teilgenommen haben. Abschließend konnten die Teilnehmenden Anmerkungen notieren.

A4.2 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Zugbereitstellung“

*Im Folgenden wird ein Arbeitstag eines Tele-Tf beschrieben, der auf **Bereit- und Abstellung** spezialisiert ist. Bitte lesen Sie sich den Text aufmerksam durch und stellen Sie sich vor, Sie wären dieser Tele-Tf. Sie können sich die einzelnen Abschnitte auch anhören.*

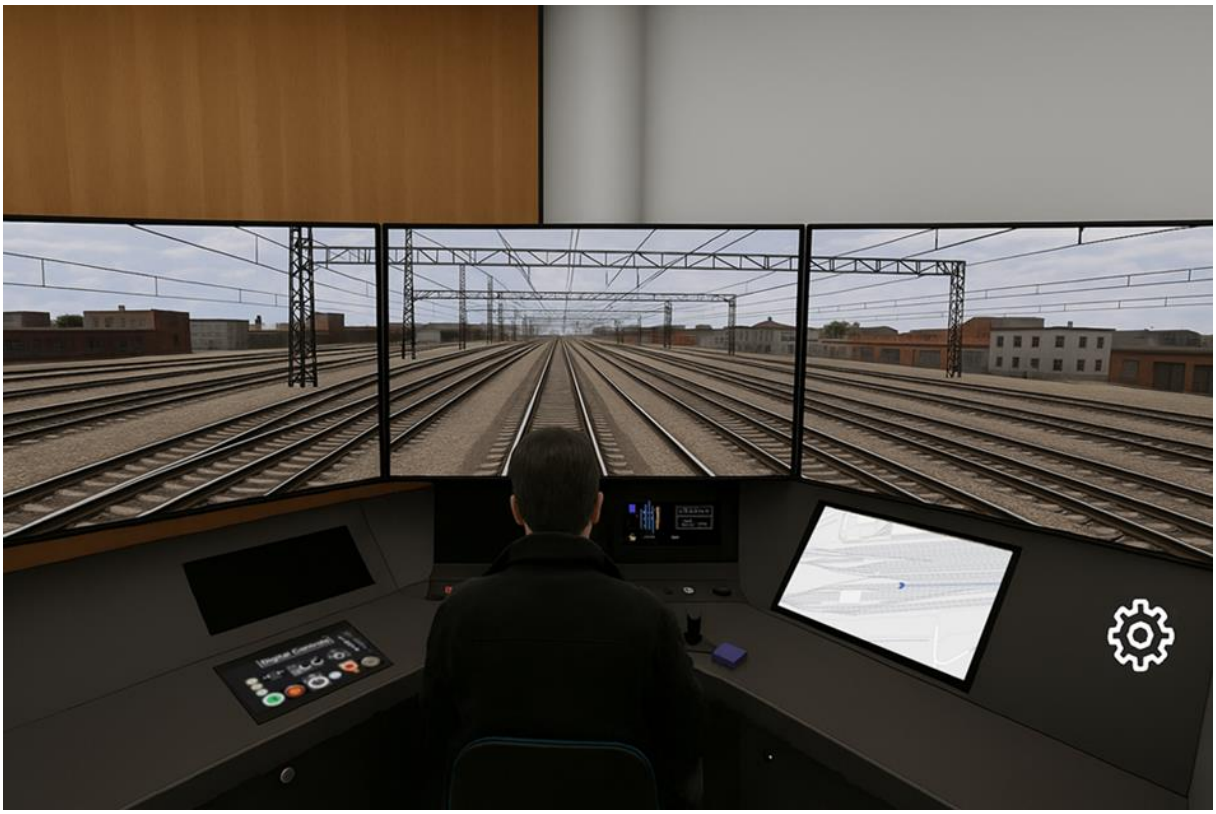
Sie haben sich zum „Tele-Tf in der Bereitstellung“ weiterbilden lassen. Ihre Aufgabe ist es, **Züge per Fernsteuerung bereit- und abzustellen**. Während Ihrer Wartezeiten können Sie an Ihrem Arbeitsplatz **anderen berufsbezogenen Aufgaben** (z. B. Verfassen von Berichten, Weiterbildung) nachgehen. Zusammen mit weiteren Tele-Tf sind Sie für einen **bestimmten Netzbereich** verantwortlich.

Ihr Arbeitsplatz befindet sich in einem **Einzelbüro** in einer der vielen an Bahnhöfen gelegenen Kontrollstellen für Tele-Tf, welche **Ihrem Wohnort am nächsten** liegt. In dieser Woche arbeiten Sie in der Frühschicht und Ihr Arbeitstag hat um 5 Uhr begonnen. Sie sitzen an Ihrem Schreibtisch und sehen auf einem Ihrer Monitore eine Liste mit den Ihnen zugeteilten Bereit- und Abstellungen für den heutigen Tag. Ihre erste Bereitstellungsfahrt kann direkt stattfinden. **Sie wählen den entsprechenden Zug aus und erbitten über das System die Übernahmerechte von Ihrem EVU.** Sobald Ihnen die Übernahmerechte erteilt wurden, verbinden Sie sich mit dem Zug und fahren das Fahrzeug hoch.



Ihre Monitore zeigen nun **Kamerabilder**, die es Ihnen ermöglichen, die Strecke vor, neben und hinter dem Zug zu überprüfen. Außerdem haben Sie die Möglichkeit, sich **weitere Sensorinformationen über das Fahrzeug, die Umwelt und die Infrastruktur** anzeigen zu lassen. Sie prüfen zuerst die Sicherheitssysteme und führen dann eine Bremsprobe durch. Die Sichtprüfung des Fahrzeugs wurde bereits von einem Mitarbeiter vor Ort durchgeführt. Es liegen keine Störungen vor und Sie stellen die Fahrbereitschaft her. **Wichtige Schalter sind physisch an Ihrem Arbeitsplatz vorhanden; weniger**

wichtige werden auf einem Touchdisplay visualisiert. Mit dem **physischen Fahrbremshebel** steuern Sie den Zug **signalgeführt** vom Abstellgleis zum Zielgleis an den Bahnsteig. In den meisten Fällen steuern Sie Züge signalgeführt fern, das Fahren auf Sicht oder die anzeigegeführte Steuerung kommen jedoch auch vor. Abschließend bestätigen Sie über das System die erfolgreiche Bereitstellung des Zuges und trennen die Verbindung mit dem Zug.



Ihrer Liste entnehmen Sie dann Ihre nächste Aufgabe – eine Abstellung. Sie wählen den entsprechenden Zug aus und erbitten über das System die Übernahmerechte. Sobald Ihnen die Übernahmerechte erteilt wurden, verbinden Sie sich mit dem Zug und informieren sich anhand des Übergabeprotokolls des Streckenlokführers über aufgetretene Störungen. Dann steuern Sie den Zug in den Abstellbahnhof. Dort fahren Sie den Zug durch die Waschstraße und lassen Toiletten leeren sowie Frischwasser auffüllen. Sie steuern den Zug dann zum Abstellgleis und prüfen abschließend die Technik des Zuges. Sie identifizieren eine Störung, die Sie aus der Ferne nicht beheben können. **Diese Störung melden Sie über das System an einen Techniker im Abstellbahnhof.** Sie melden außerdem die Abstellung des Zuges an das System und trennen dann die Verbindung mit dem Zug.

Vor der nächsten Bereitstellung haben Sie eine Wartezeit von 25 Minuten. Sie lassen sich deshalb **vom System Nebenaufgaben vorschlagen** und entscheiden sich dazu, ein 15-minütiges **Fahrdynamiktraining** an Ihrem Arbeitsplatz zu absolvieren. Im weiteren Verlauf Ihres Arbeitstages führen Sie fünf weitere Bereitstellungen durch. Um 13.00 Uhr machen Sie, **wie geplant, Feierabend**.

A4.3 Beschreibung des Berufsbilds „Tele-Tf in der Rückfallebene“

*Im Folgenden wird ein Arbeitstag eines Tele-Tf beschrieben, der für die **Rückfallebene** im hochautomatisierten Zugbetrieb (Automatic Train Operation, ATO) ausgebildet wurde. Bitte lesen Sie sich den Text aufmerksam durch und stellen Sie sich vor, Sie wären dieser Tele-Tf. Sie können sich die einzelnen Abschnitte auch anhören.*

Sie haben sich zum „Tele-Tf in der Rückfallebene“ weiterbilden lassen. Ihre Aufgabe ist es, den **Betrieb von ATO-Zügen (d. h. fahrerlosen Zügen) zu überwachen und im Falle von Störungen aktiv zu werden**. Dazu müssen Sie sich von Ihrem Tele-Tf-Arbeitsplatz aus ein Bild von der Störung verschaffen und passende Maßnahmen einleiten, zum Beispiel selbst die **zeitweilige Fernsteuerung** von Zügen übernehmen. Ihr Arbeitsplatz ist ein **Bereitschaftsarbeitsplatz** – das heißt, Sie werden von einem Überwachungssystem informiert, wenn Warnhinweise und Störungen vorliegen. Wenn keine Meldungen vorliegen, können Sie an Ihrem Arbeitsplatz **anderen berufsbezogenen Aufgaben** (z. B. Verfassen von Berichten, Weiterbildung) nachgehen. Zusammen mit weiteren Tele-Tf sind Sie für einen **bestimmten Netzbereich** verantwortlich.

Ihr Arbeitsplatz befindet sich in einem **Einzelbüro** in einer der vielen an Bahnhöfen gelegenen Kontrollstellen für Tele-Tf, welche **Ihrem Wohnort am nächsten** liegt. In dieser Woche arbeiten Sie in der Frühschicht und Ihr Arbeitstag hat um 5 Uhr begonnen. Sie überprüfen gerade routinemäßig, ob Meldungen zu den hochautomatisiert fahrenden Zügen in Ihrem Netzbereich vorliegen, als Sie über einen Warnton und eine blinkende Meldung auf Ihrem Hauptmonitor auf ein Problem eines Zuges hingewiesen werden. Die Meldung sagt Ihnen, dass der ATO-Zug X254 vom System zum Stillstand gebracht wurde, weil ein Hindernis auf den Gleisen detektiert wurde. **Sie bestätigen per Tastendruck an das System, dass Sie die Bearbeitung übernehmen, und verbinden sich mit dem Zug.** Dies wird automatisiert an den Fahrdienstleiter gemeldet. Der Fahrdienstleiter erteilt Ihnen **schriftlich über das System** die Berechtigung zur Übernahme des Zugs.



Ihre Monitore zeigen nun **Kamerabilder**, die es Ihnen ermöglichen, die Strecke vor, neben und hinter dem Zug zu überprüfen. Außerdem haben Sie die Möglichkeit, sich **weitere Sensorinformationen über die Umwelt, das Fahrzeug und die Infrastruktur** anzeigen zu lassen. Auf einem Kamerabild sehen Sie drei Rehe neben den Gleisen. Über einen **Schalter an Ihrem Arbeitsplatz** betätigen Sie das Horn, um die Rehe zu verscheuchen. **Weniger wichtige Schalter sind auf einem Touchdisplay visualisiert**. Ihr Arbeitsplatz verfügt außerdem über einen **physischen Fahrbremshebel**. Mit diesem steuern Sie den Zug an den Rehen vorbei und bringen ihn dann zum Stillstand. In diesem Fall fahren Sie auf Sicht. In den meisten Fällen können Sie die ATO-Züge jedoch **anzeigegeführt** steuern. Sie überprüfen mithilfe der Kamerabilder und Sensoren, ob eine hochautomatisierte Weiterfahrt wieder möglich ist. Dies ist der Fall. Sie informieren den Fahrdienstleiter per Tastendruck über das System und bitten darum, die Steuerung zurück an den ATO-Zug zu übergeben. Der Fahrdienstleiter erteilt Ihnen die Übergaberechte und Sie übergeben die Steuerung wieder an das ATO-System.



Als nächstes überprüfen Sie, ob Meldungen zu anderen hochautomatisierten Zügen in Ihrem Verantwortungsbereich vorliegen. Dies ist nicht der Fall. Darum entscheiden Sie sich, eine andere Aufgabe zu übernehmen. Dafür lassen Sie sich **vom System Aufgaben vorschlagen**. Die Aufgabenliste zeigt eine Rangieranfrage, welche jedoch soeben von einem anderen Tele-Tf übernommen wurde. Sie entscheiden sich deshalb dafür, ein 15-minütiges Fahrdynamiktraining an Ihrem Arbeitsplatz zu absolvieren. **Kurz vor Ende des Trainings werden Sie über eine blinkende Meldung darüber informiert, dass es einen Warmläufer in Ihrem Zuständigkeitsbereich gibt.** Sie bestätigen an das System, dass Sie die Überwachung des Zuges übernehmen. Sie überprüfen die Werte der relevanten Sensoren und entscheiden, dass eine Weiterfahrt des Güterzugs zu gefährlich ist. In Absprache mit dem Fahrdienstleiter übernehmen Sie die Kontrolle über den ATO-Zug und stellen diesen auf einem Nebengleis ab. Sie beauftragen ein Vor-Ort-Team zur Überprüfung und melden sich vom Zug ab.

Im weiteren Verlauf Ihres Arbeitstages übernehmen Sie die Steuerung drei weiterer ATO-Züge in Ihrem Netzbereich, bei denen verschiedene Probleme vorlagen. Zwischen den Übernahmen haben Sie Zeit, die **Berichte über die heutigen Störfälle** zu verfassen sowie eine **signalgeführte Fahrt im Regelbetrieb** zur Überwindung eines Streckenabschnitts, der nicht für ATO ausgerüstet ist, durchzuführen. Um 13.00 Uhr machen Sie, **wie geplant, Feierabend**.

A4.4 Items zur Erfassung der Jobmerkmale

Tabelle 20: Items zur Erfassung der Jobmerkmale sowie dem Entfaltungsbedürfnis

Ursprung	Dimension	Item
JDS Teil 2	Autonomie	Der Job verwehrt mir jede Möglichkeit, bei der Ausführung meiner Arbeit meine eigenen Vorstellungen einzubringen oder mein Urteilsvermögen einzusetzen. (neg)
JDS Teil 2	Autonomie	Die Arbeit bietet mir ein hohes Maß an Unabhängigkeit und Freiheit bei der Ausführung der Arbeit.
JDS Teil 2	sachliche Rückmeldung	Die Arbeit bietet viele Gelegenheiten, herauszufinden, wie gut ich arbeite.
JDS Teil 2	sachliche Rückmeldung	Die Arbeit selbst bietet nur wenige Anhaltspunkte darauf, ob ich gut arbeite oder nicht. (neg)
JDS Teil 2	Anforderungsvielfalt	Die Arbeit verlangt von mir eine Reihe komplexer oder anspruchsvoller Fähigkeiten.
JDS Teil 2	Anforderungsvielfalt	Die Arbeit ist recht einfach und repetitiv. (neg)
JDS Teil 2	Ganzheitlichkeit der Aufgabe	Die Arbeit ist so angelegt, dass ich nicht die Möglichkeit habe, einen ganzen Arbeitsvorgang von Anfang bis Ende zu erledigen. (neg)
JDS Teil 2	Ganzheitlichkeit der Aufgabe	Die Arbeit gibt mir die Möglichkeit, die von mir begonnenen Aufgaben vollständig zu erledigen.
JDS Teil 2	Bedeutsamkeit der Aufgabe	Wie gut die Arbeit erledigt wird, kann einen Einfluss auf viele andere Menschen haben.
JDS Teil 2	Bedeutsamkeit der Aufgabe	Die Arbeit selbst ist im Großen und Ganzen nicht sehr bedeutend oder wichtig. (neg)
JDS Teil 2	Zusammenarbeit mit anderen	Die Arbeit erfordert viel Zusammenarbeit mit anderen Menschen.
JDS Teil 2	Zusammenarbeit mit anderen	Die Arbeit kann von einer Person gut alleine erledigt werden – ohne Gespräche oder Absprachen mit anderen Personen. (neg)
Eigene Formulierung[1]	Überforderung	Meine Arbeit ist überfordernd, d. h., ich stehe regelmäßig vor Aufgaben, die ich nicht bewältigen kann.
Eigene Formulierung[1]	Unterforderung	Meine Arbeit ist unterfordernd, d. h., es gibt nur selten herausfordernde und schwierige Aufgaben.
Eigene Formulierung[1]	Leistungserlebnisse	Ich habe regelmäßig Erfolgserlebnisse bei der Arbeit.

Ursprung	Dimension	Item
Eigene Formulierung[1]	Vollständigkeit	Meine Arbeit umfasst Aufgaben mit planenden, ausführenden und kontrollierenden Anteilen und der Möglichkeit, Ergebnisse meiner Tätigkeit auf Übereinstimmung mit gestellten Anforderungen zu prüfen.
Eigene Formulierung[1]	Zeitdruck	Meine Arbeit ist durch Zeitdruck gekennzeichnet; Zeitpuffer gibt es nicht.
Eigene Formulierung[1]	Zeitelastizität	Innerhalb meiner Arbeitszeit kann ich mir die Zeit frei einteilen und selbst entscheiden, wie viel Zeit ich für welche Aufgabe veranschlage.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Eine anregende und herausfordernde Arbeit.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Die Möglichkeit, in meinem Job unabhängig zu denken und zu handeln.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Gelegenheiten, bei meiner Arbeit neue Dinge zu lernen.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Gelegenheiten, bei meiner Arbeit kreativ und phantasievoll zu sein.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Möglichkeiten für persönliches Wachstum und Entwicklung in meinem Job.
JDS Teil 6	Entfaltungsbedürfnis	Das Gefühl, bei meiner Arbeit etwas erreicht zu haben.

[1] Basierend auf der Literaturrecherche (siehe 5.1) wurden eigene Items in Anlehnung an die Items des JDS formuliert.

A4.5 Deskriptive Statistik für Arbeitszufriedenheit

Tabelle 21: Deskriptive Statistik für die Variable **(Potenzielle) Arbeitszufriedenheit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	4,48	1,01	5,00	0,00	5,00	0,13
Fdl	Fdl	36	4,25	1,02	5,00	1,00	5,00	0,17
Tf	Rückfallebene	64	1,95	1,68	2,00	0,00	5,00	0,21
Fdl	Rückfallebene	36	2,64	1,22	3,00	0,00	5,00	0,20
Tf	Bereitstellung	64	1,64	1,58	1,00	0,00	5,00	0,20
Fdl	Bereitstellung	36	2,36	1,36	2,00	0,00	5,00	0,23

A4.6 Deskriptive Statistik für Weiterbildungswahrscheinlichkeit

Tabelle 22: Deskriptive Statistik für die Variable **Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Rückfallebene	64	48,27	38,54	46,00	0,00	100,00	4,82
Fdl	Rückfallebene	36	51,92	32,00	49,50	0,00	100,00	5,33
Tf	Bereitstellung	64	41,75	38,01	30,00	0,00	100,00	4,75
Fdl	Bereitstellung	36	44,44	34,53	44,50	0,00	100,00	5,75

A4.7 Deskriptive Statistik für Jobmerkmale

Tabelle 23: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Anforderungsvielfalt** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	5,60	1,06	5,50	2,00	7,00	0,13
Fdl	Fdl	36	5,24	0,87	5,00	4,00	7,00	0,15
Tf	Rückfallebene	64	5,23	1,46	5,50	1,00	7,00	0,18
Fdl	Rückfallebene	36	5,26	1,38	5,50	1,00	7,00	0,23
Tf	Bereitstellung	64	4,66	1,49	4,50	1,00	7,00	0,19
Fdl	Bereitstellung	35	4,37	1,44	4,00	1,00	7,00	0,24

Tabelle 24: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Ganzheitlichkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	5,42	1,17	5,50	2,00	7,00	0,15
Fdl	Fdl	36	4,97	1,31	5,00	2,00	7,00	0,22
Tf	Rückfallebene	64	3,99	1,45	4,00	1,00	6,50	0,18
Fdl	Rückfallebene	36	4,68	1,20	4,50	2,50	7,00	0,20
Tf	Bereitstellung	64	4,48	1,26	4,50	1,00	7,00	0,16
Fdl	Bereitstellung	35	5,20	1,23	5,50	2,50	7,00	0,21

Tabelle 25: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Bedeutsamkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	6,64	0,61	7,00	4,00	7,00	0,08
Fdl	Fdl	36	6,54	0,67	7,00	4,00	7,00	0,11
Tf	Rückfallebene	64	5,91	1,36	6,50	1,00	7,00	0,17
Fdl	Rückfallebene	36	6,24	0,98	6,50	4,00	7,00	0,16
Tf	Bereitstellung	64	5,76	1,16	6,00	2,50	7,00	0,15
Fdl	Bereitstellung	35	5,86	1,02	6,00	4,00	7,00	0,17

Tabelle 26: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Autonomie** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	4,64	1,29	4,75	2,00	7,00	0,16
Fdl	Fdl	36	3,72	1,12	3,75	1,00	5,50	0,19
Tf	Rückfallebene	64	3,43	1,38	3,50	1,00	6,00	0,17
Fdl	Rückfallebene	36	3,78	1,07	4,00	1,00	5,50	0,18
Tf	Bereitstellung	64	3,34	1,18	3,50	1,00	6,00	0,15
Fdl	Bereitstellung	35	3,47	1,33	3,50	1,00	7,00	0,23

Tabelle 27: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Sachliche Rückmeldung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	5,21	1,23	5,25	2,00	7,00	0,15
Fdl	Fdl	36	5,01	1,35	5,50	2,50	7,00	0,23
Tf	Rückfallebene	64	4,24	1,41	4,00	1,00	7,00	0,18
Fdl	Rückfallebene	36	4,72	1,26	5,00	2,00	7,00	0,21
Tf	Bereitstellung	64	4,20	1,39	4,00	1,00	7,00	0,17
Fdl	Bereitstellung	35	4,83	1,18	4,50	2,00	7,00	0,20

Tabelle 28: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zusammenarbeit mit anderen** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	4,98	1,42	5,00	2,00	7,00	0,18
Fdl	Fdl	36	5,54	1,06	5,50	2,50	7,00	0,18
Tf	Rückfallebene	64	4,87	1,61	5,25	1,00	7,00	0,20
Fdl	Rückfallebene	36	4,49	1,65	4,50	1,00	7,00	0,28
Tf	Bereitstellung	64	4,67	1,43	4,75	1,00	7,00	0,18
Fdl	Bereitstellung	35	4,17	1,64	4,50	1,00	7,00	0,28

Tabelle 29: Deskriptive Statistik für den **Motivationspotenzial** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	145,10	61,96	138,75	27,50	287,00	7,75
Fdl	Fdl	36	108,26	54,26	104,17	21,75	245,00	9,04
Tf	Rückfallebene	64	81,79	53,60	72,33	2,50	221,00	6,70
Fdl	Rückfallebene	36	99,56	51,60	93,00	12,00	263,08	8,60
Tf	Bereitstellung	64	78,17	53,65	66,38	2,17	259,00	6,71
Fdl	Bereitstellung	35	92,75	60,70	77,92	8,75	334,83	10,26

Tabelle 30: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Potenzial zur Überforderung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	1,97	1,26	2,00	1,00	7,00	0,16
Fdl	Fdl	36	2,33	1,24	2,00	1,00	5,00	0,21
Tf	Rückfallebene	64	3,42	1,57	3,00	1,00	7,00	0,20
Fdl	Rückfallebene	36	3,25	1,20	3,00	1,00	5,00	0,20
Tf	Bereitstellung	64	2,84	1,31	3,00	1,00	7,00	0,16
Fdl	Bereitstellung	35	2,63	1,06	3,00	1,00	5,00	0,18

Tabelle 31: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Potenzial zur Unterforderung** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	2,88	1,49	3,00	1,00	7,00	0,19
Fdl	Fdl	36	2,75	1,38	2,50	1,00	6,00	0,23
Tf	Rückfallebene	64	3,31	1,60	3,00	1,00	7,00	0,20
Fdl	Rückfallebene	36	3,19	1,45	3,00	1,00	7,00	0,24
Tf	Bereitstellung	64	3,80	1,48	4,00	1,00	7,00	0,19
Fdl	Bereitstellung	35	3,54	1,54	4,00	1,00	7,00	0,26

Tabelle 32: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Erfolgserlebnisse** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	5,02	1,40	5,00	2,00	7,00	0,17
Fdl	Fdl	36	4,94	1,60	5,00	1,00	7,00	0,27
Tf	Rückfallebene	64	4,41	1,58	4,50	1,00	7,00	0,20
Fdl	Rückfallebene	36	5,11	1,14	5,00	3,00	7,00	0,19
Tf	Bereitstellung	64	4,27	1,55	4,00	1,00	7,00	0,19
Fdl	Bereitstellung	35	4,43	1,27	5,00	1,00	7,00	0,21

Tabelle 33: Deskriptive Statistik für Jobmerkmal **Vollständigkeit der Tätigkeit** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	4,83	1,68	5,00	1,00	7,00	0,21
Fdl	Fdl	36	5,06	1,55	5,00	1,00	7,00	0,26
Tf	Rückfallebene	64	4,91	1,24	5,00	2,00	7,00	0,16
Fdl	Rückfallebene	36	4,86	1,20	5,00	2,00	7,00	0,20
Tf	Bereitstellung	64	4,97	1,43	5,00	1,00	7,00	0,18
Fdl	Bereitstellung	35	4,83	1,34	5,00	2,00	7,00	0,23

Tabelle 34: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zeitdruck** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	5,13	1,41	5,00	2,00	7,00	0,18
Fdl	Fdl	36	4,94	1,41	5,00	2,00	7,00	0,24
Tf	Rückfallebene	64	4,41	1,49	4,00	1,00	7,00	0,19
Fdl	Rückfallebene	36	4,61	1,57	5,00	1,00	7,00	0,26
Tf	Bereitstellung	64	4,45	1,49	5,00	1,00	7,00	0,19
Fdl	Bereitstellung	35	4,34	1,39	4,00	1,00	7,00	0,24

Tabelle 35: Deskriptive Statistik für das Jobmerkmal **Zeitelastizität** getrennt nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	n	mean	sd	median	min	max	se
Tf	Tf	64	1,92	1,28	2,00	1,00	7,00	0,16
Fdl	Fdl	36	2,17	1,38	2,00	1,00	5,00	0,23
Tf	Rückfallebene	64	3,34	1,68	3,00	1,00	7,00	0,21
Fdl	Rückfallebene	36	3,33	1,57	3,00	1,00	7,00	0,26
Tf	Bereitstellung	64	2,81	1,38	2,00	1,00	7,00	0,17
Fdl	Bereitstellung	35	3,09	1,46	3,00	1,00	6,00	0,25

A4.8 Deskriptive Statistik für Attraktivität und Einfluss



Abbildung 25: Mittelwerte und Standardfehler für die Attraktivität einzelner Arbeitsplatzaspekte in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau, gestrichelt); unattraktiv = -50, attraktiv = 50

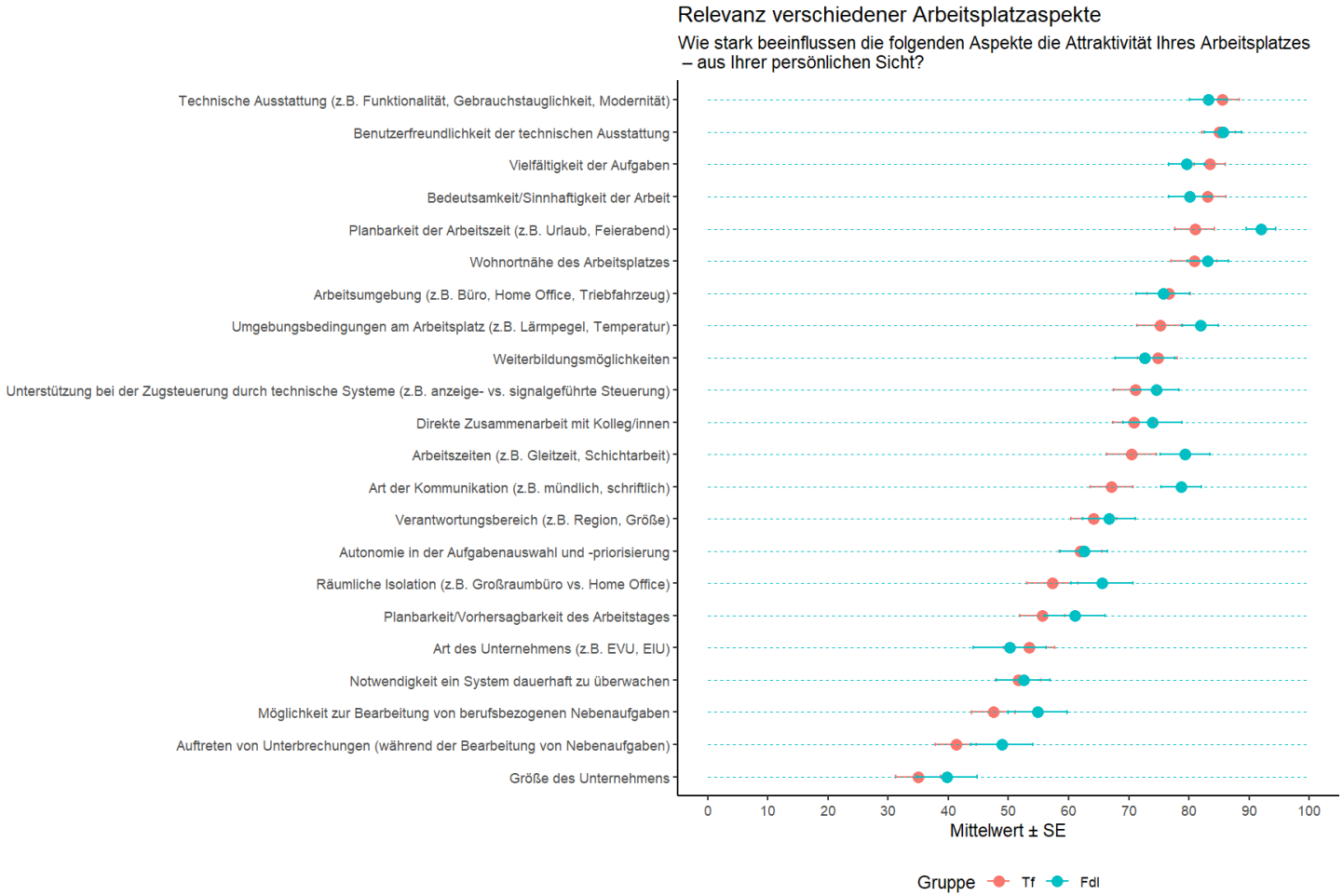


Abbildung 26: Mittelwerte und Standardfehler für den Einfluss verschiedener Arbeitsplatzmerkmale auf die Attraktivität der Tätigkeit in der Gruppe Tf (rot) vs. Fdl (blau, gestrichelt); kein Einfluss = 0, sehr großer Einfluss = 100

Tabelle 36: Deskriptive Statistik für die **Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Tf

Gruppe Tf – Attraktivität	mean	sd	median	se
Der Arbeitsplatz befindet sich in Wohnortnähe.	36,30	25,46	50,00	3,18
Züge werden mit einem Fahrbremshebel ferngesteuert (nicht: per Maus, Tastatur, Touchscreen oder Joystick).	27,75	31,88	45,00	3,98
Für die Betreuung eines spezifischen Zuges ist ein einzelner Tele-Tf verantwortlich.	25,52	31,32	38,50	3,92
Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	25,39	34,10	45,50	4,26
Die wichtigsten Schalter sind physisch vorhanden; weniger wichtige Schalter werden auf einem Touchdisplay visualisiert.	23,80	33,96	34,00	4,24
Einem Netzbereich sind zu jeder Zeit mehrere Tele-Tf zugeordnet.	21,56	33,10	33,00	4,14
Züge können nicht ohne vorherige Genehmigung übernommen werden.	20,05	32,35	32,00	4,04
Es besteht die Möglichkeit, sich im Rahmen der Nebenaufgaben während der Arbeitszeit weiterzubilden.	16,77	33,91	27,50	4,24
Tele-Tf Bereitstellung: Züge werden vorrangig signalgeführt gesteuert.	15,95	32,36	22,00	4,08
Tele-Tf Rückfallebene: Das System informiert im Störungsfall, sodass Züge nicht dauerhaft überwacht werden müssen.	15,45	34,30	28,50	4,29
Tele-Tf Rückfallebene: Züge werden vorrangig anzeigegeführt gesteuert.	13,70	33,15	19,00	4,18
Während Wartezeiten dürfen andere berufsbezogene Aufgaben bearbeitet werden.	11,77	31,39	9,00	3,92
Die Arbeit umfasst vielfältige Aufgaben, z. B. Fahren, Dokumentieren, Überwachen, Überprüfen, Organisieren.	10,98	34,22	14,00	4,28
Tele-Tf Bereitstellung: Am Anfang eines Arbeitstages steht größtenteils fest, welche Aufgaben bearbeitet werden müssen.	7,97	32,39	7,00	4,08
Tele-Tf Rückfallebene: Es ist am Anfang eines Arbeitstages teils nicht klar, welche Aufgaben anfallen werden.	6,84	36,03	14,00	4,54

Gruppe Tf – Attraktivität	mean	sd	median	se
Die Fernsteuerung der Züge findet mithilfe von Kamerabildern und weiteren Sensoren statt.	6,55	37,66	10,00	4,71
Das System teilt die zu bearbeitenden Züge zu.	5,50	34,02	2,00	4,25
Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	3,50	34,51	0,00	4,31
Die Arbeit kann vollständig vom Arbeitsplatz in der Kontrollstelle aus durchgeführt werden.	3,11	37,66	4,00	4,71
Für Wartezeiten schlägt das System Aufgaben und deren Priorisierung vor.	1,36	36,14	2,00	4,52
Tele-Tf Rückfallebene: Die Bearbeitung von Nebenaufgaben muss unter Umständen unterbrochen werden.	0,33	30,90	1,00	3,86
Der Arbeitsplatz befindet sich in einem Einzelbüro.	-0,06	37,66	-3,00	4,75
Es handelt sich um einen Schreibtischjob.	-12,59	34,21	-18,50	4,28

Tabelle 37: Deskriptive Statistik für die **Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Fdl

Gruppe Fdl – Attraktivität	mean	sd	median	se
Der Arbeitsplatz befindet sich in Wohnortnähe.	37,83	25,85	49,00	4,37
Einem Netzbereich sind zu jeder Zeit mehrere Tele-Tf zugeordnet.	33,77	19,43	37,00	3,28
Tele-Tf Rückfallebene: Das System informiert im Störungsfall, sodass Züge nicht dauerhaft überwacht werden müssen.	31,33	22,34	37,00	3,72
Die wichtigsten Schalter sind physisch vorhanden; weniger wichtige Schalter werden auf einem Touchdisplay visualisiert.	30,64	25,23	38,50	4,21
Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	30,64	27,66	46,50	4,61
Für die Betreuung eines spezifischen Zuges ist ein einzelner Tele-Tf verantwortlich.	29,56	23,20	36,00	3,87

Gruppe Fdl – Attraktivität	mean	sd	median	se
Züge werden mit einem Fahrbremshebel ferngesteuert (nicht: per Maus, Tastatur, Touchscreen oder Joystick).	28,69	24,69	37,00	4,12
Die Arbeit kann vollständig vom Arbeitsplatz in der Kontrollstelle aus durchgeführt werden.	27,67	25,86	36,00	4,31
Es besteht die Möglichkeit, sich im Rahmen der Nebenaufgaben während der Arbeitszeit weiterzubilden.	27,50	25,09	29,00	4,18
Während Wartezeiten dürfen andere berufsbezogene Aufgaben bearbeitet werden.	26,50	27,56	35,00	4,59
Die Arbeit umfasst vielfältige Aufgaben, z. B. Fahren, Dokumentieren, Überwachen, Überprüfen, Organisieren.	24,42	18,66	28,50	3,11
Züge können nicht ohne vorherige Genehmigung übernommen werden.	23,25	31,00	35,00	5,17
Die Fernsteuerung der Züge findet mithilfe von Kamerabildern und weiteren Sensoren statt.	20,42	32,29	33,00	5,38
Tele-Tf Rückfallebene: Züge werden vorrangig anzeigegeführt gesteuert.	16,92	31,46	19,50	5,24
Das System teilt die zu bearbeitenden Züge zu.	16,89	31,22	21,50	5,20
Tele-Tf Bereitstellung: Züge werden vorrangig signalgeführt gesteuert.	16,11	21,54	16,00	3,59
Tele-Tf Rückfallebene: Es ist am Anfang eines Arbeitstages teils nicht klar, welche Aufgaben anfallen werden.	14,22	31,91	22,50	5,32
Tele-Tf Rückfallebene: Die Bearbeitung von Nebenaufgaben muss unter Umständen unterbrochen werden.	12,58	26,06	12,00	4,34
Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	11,19	33,62	17,50	5,60
Der Arbeitsplatz befindet sich in einem Einzelbüro.	11,06	33,50	12,50	5,58
Für Wartezeiten schlägt das System Aufgaben und deren Priorisierung vor.	9,66	30,91	15,00	5,23

Gruppe Fdl – Attraktivität	mean	sd	median	se
Tele-Tf Bereitstellung: Am Anfang eines Arbeitstages steht größtenteils fest, welche Aufgaben bearbeitet werden müssen.	6,86	29,27	4,50	4,88
Es handelt sich um einen Schreibtischjob.	6,67	31,70	2,00	5,28

Tabelle 38:Deskriptive Statistik für den **Einfluss auf die Attraktivität** für die Gruppe der Tf

Gruppe Tf – Einfluss	mean	sd	median	se
technische Ausstattung (z. B. Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Modernität)	85,50	23,32	97,00	2,92
Benutzerfreundlichkeit der technischen Ausstattung	84,98	22,05	94,00	2,76
Vielfältigkeit der Aufgaben	83,47	20,44	92,00	2,55
Bedeutsamkeit bzw. Sinnhaftigkeit der Arbeit	83,05	24,48	92,50	3,06
Planbarkeit der Arbeitszeit (z. B. Urlaub, Feierabend)	80,95	26,53	89,50	3,32
Wohnortnähe des Arbeitsplatzes	80,83	30,45	99,00	3,81
Arbeitsumgebung (z. B. Büro, Home Office, Triebfahrzeug)	76,62	28,82	86,00	3,60
Umgebungsbedingungen am Arbeitsplatz (z. B. Lärmpegel, Temperatur)	75,17	30,24	87,00	3,81
Weiterbildungsmöglichkeiten	74,78	26,40	84,00	3,30
Unterstützung bei der Zugsteuerung durch technische Systeme (z. B. anzeige- vs. signalgeführte Steuerung)	71,11	29,54	78,50	3,69
direkte Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen	70,81	28,09	79,00	3,51
Arbeitszeiten (z. B. Gleitzeit, Schichtarbeit)	70,45	32,75	81,00	4,09
Art der Kommunikation (z. B. mündlich, schriftlich)	67,14	28,06	72,00	3,51
Verantwortungsbereich (z. B. Region, Größe)	64,16	30,35	70,50	3,79
Autonomie in der Aufgabenauswahl und -priorisierung	61,97	28,40	58,50	3,55

Gruppe Tf – Einfluss	mean	sd	median	se
räumliche Isolation (z. B. Großraumbüro vs. Home Office)	57,27	34,02	55,00	4,25
Planbarkeit bzw. Vorhersagbarkeit des Arbeitstages	55,58	29,86	54,50	3,73
Art des Unternehmens (z. B. EVU, EIU)	53,41	33,88	52,50	4,24
Notwendigkeit ein System dauerhaft zu überwachen	51,62	30,33	52,50	3,79
Möglichkeit zur Bearbeitung von berufsbezogenen Nebenaufgaben	47,47	29,06	52,00	3,63
Auftreten von Unterbrechungen (während der Bearbeitung von Nebenaufgaben)	41,27	27,41	47,50	3,43
Größe des Unternehmens	34,95	30,19	32,50	3,77

Tabelle 39: Deskriptive Statistik für den **Einfluss auf die Attraktivität** für die Gruppe der Fdl

Gruppe Fdl – Relevanz	mean	sd	median	se
Planbarkeit der Arbeitszeit (z. B. Urlaub, Feierabend)	91,92	14,77	100,00	2,46
Benutzerfreundlichkeit der technischen Ausstattung	85,67	18,31	92,00	3,05
technische Ausstattung (z. B. Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit, Modernität)	83,25	18,58	87,50	3,10
Wohnortnähe des Arbeitsplatzes	83,11	20,71	90,50	3,45
Umgebungsbedingungen am Arbeitsplatz (z. B. Lärmpegel, Temperatur)	81,86	18,32	84,50	3,05
Bedeutsamkeit bzw. Sinnhaftigkeit der Arbeit	80,17	21,60	84,50	3,60
Vielfältigkeit der Aufgaben	79,58	18,02	81,50	3,00
Arbeitszeiten (z. B. Gleitzeit, Schichtarbeit)	79,36	24,76	82,50	4,13
Art der Kommunikation (z. B. mündlich, schriftlich)	78,67	20,20	82,00	3,37
Arbeitsumgebung (z. B. Büro, Home Office, Triebfahrzeug)	75,67	26,55	81,00	4,43

Gruppe Fdl – Relevanz	mean	sd	median	se
Unterstützung bei der Zugsteuerung durch technische Systeme (z. B. anzeige- vs. signalgeführte Steuerung)	74,53	22,70	80,00	3,78
direkte Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen	73,92	29,53	83,50	4,92
Weiterbildungsmöglichkeiten	72,67	29,85	79,00	4,98
Verantwortungsbereich (z. B. Region, Größe)	66,69	26,47	69,50	4,41
räumliche Isolation (z. B. Großraumbüro vs. Home Office)	65,53	30,90	63,00	5,15
Autonomie in der Aufgabenauswahl und -priorisierung	62,53	23,56	65,50	3,93
Planbarkeit bzw. Vorhersagbarkeit des Arbeitstages	61,06	30,24	63,00	5,04
Möglichkeit zur Bearbeitung von berufsbezogenen Nebenaufgaben	54,81	29,42	54,50	4,90
Notwendigkeit ein System dauerhaft zu überwachen	52,47	26,91	50,00	4,49
Art des Unternehmens (z. B. EVU, EIU)	50,14	36,35	52,50	6,06
Auftreten von Unterbrechungen (während der Bearbeitung von Nebenaufgaben)	48,92	30,77	53,50	5,13
Größe des Unternehmens	39,75	29,96	45,00	4,99

Tabelle 40:Deskriptive Statistik für die **gewichtete Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Tf

Gruppe Tf – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Wohnortnähe: Der Arbeitsplatz befindet sich in Wohnortnähe.	3 286,66	2 213,52	4 500,00	276,69
Benutzerfreundlichkeit: Züge werden mit einem Fahrbremshebel ferngesteuert (nicht: per Maus, Tastatur, Touchscreen oder Joystick).	2 726,59	2 693,67	3 551,00	336,71
Benutzerfreundlichkeit: Die wichtigsten Schalter sind physisch vorhanden; weniger wichtige Schalter werden auf einem Touchdisplay visualisiert.	2 402,98	2 884,54	3 099,00	360,57

Gruppe Tf – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Planbarkeit Arbeitszeit: Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	2 183,75	3 009,31	3 017,00	376,16
Arbeitszeiten: Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	1 900,27	2 746,80	2 450,00	343,35
Verantwortungsbereich: Für die Betreuung eines spezifischen Zuges ist ein einzelner Tele-Tf verantwortlich.	1 802,14	2 385,83	2 049,00	298,23
Weiterbildung: Es besteht die Möglichkeit, sich im Rahmen der Nebenaufgaben während der Arbeitszeit weiterzubilden.	1 556,50	2 773,38	1 868,00	346,67
Zugsteuerung: Züge werden vorrangig signalgeführt gesteuert. [B]	1 445,30	2 528,36	462,00	318,54
Verantwortungsbereich: Einem Netzbereich sind zu jeder Zeit mehrere Tele-Tf zugeordnet.	1 410,38	2 440,58	1 653,00	305,07
Zugsteuerung: Züge werden vorrangig anzeigegeführt gesteuert. [R]	1 210,57	2 647,13	1 001,00	333,51
Autonomie: Züge können nicht ohne vorherige Genehmigung übernommen werden.	1 157,02	2 288,23	1 152,00	286,03
Vielfältigkeit: Die Arbeit umfasst vielfältige Aufgaben, z. B. Fahren, Dokumentieren, Überwachen, Überprüfen, Organisieren.	1 089,05	3 052,65	1 190,50	381,58
Nebenaufgaben: Während Wartezeiten dürfen andere berufsbezogene Aufgaben bearbeitet werden.	995,34	1 654,15	488,00	206,77
Überwachung: Das System informiert im Störungsfall, sodass Züge nicht dauerhaft überwacht werden müssen. [R]	972,67	2 052,07	952,00	256,51
Vorhersagbarkeit: Am Anfang eines Arbeitstages steht größtenteils fest, welche Aufgaben bearbeitet werden müssen. [B]	855,22	2 192,41	224,00	276,22
Technische Ausstattung: Die Fernsteuerung der Züge findet mithilfe von Kamerabildern und weiteren Sensoren statt.	843,59	3 238,43	1 000,00	404,80
Autonomie: Das System teilt die zu bearbeitenden Züge zu.	550,16	2 290,08	24,00	286,26
Kommunikation: Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	375,36	2 646,17	0,00	330,77

Gruppe Tf – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Autonomie: Für Wartezeiten schlägt das System Aufgaben und deren Priorisierung vor.	353,77	2 398,00	101,00	299,75
Arbeitsumgebung: Die Arbeit kann vollständig vom Arbeitsplatz in der Kontrollstelle aus durchgeführt werden.	232,67	2 884,20	190,00	360,52
Isolation: Der Arbeitsplatz befindet sich in einem Einzelbüro.	179,86	2 419,09	0,00	304,78
Vorhersagbarkeit: Es ist am Anfang eines Arbeitstages teils nicht klar, welche Aufgaben anfallen werden. [R]	174,19	2 287,55	384,00	288,20
Zusammenarbeit: Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	138,69	2 704,67	0,00	338,08
Unterbrechungen: Die Bearbeitung von Nebenaufgaben muss unter Umständen unterbrochen werden. [R]	-56,50	1 571,57	0,00	196,45
Arbeitsumgebung: Es handelt sich um einen Schreibtischjob.	-1 066,42	2 736,94	-950,00	342,12

Tabelle 41: Deskriptive Statistik für die **gewichtete Attraktivität der einzelnen Arbeitsplatzaspekte** für die Gruppe der Fdl

Gruppe Fdl – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Wohnortnähe: Der Arbeitsplatz befindet sich in Wohnortnähe.	3 413,83	2 325,54	4 263,00	393,09
Planbarkeit Arbeitszeit: Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	2 846,61	2 707,78	4 135,50	451,30
Benutzerfreundlichkeit: Die wichtigsten Schalter sind physisch vorhanden; weniger wichtige Schalter werden auf einem Touchdisplay visualisiert.	2 654,94	2 419,85	3 068,00	403,31
Arbeitszeiten: Es wird im Schichtdienst mit festen Start- und Endzeiten gearbeitet.	2 478,56	2 599,80	3 450,00	433,30
Benutzerfreundlichkeit: Züge werden mit einem Fahrbremshebel ferngesteuert (nicht: per Maus, Tastatur, Touchscreen oder Joystick).	2 424,42	2 337,65	2 840,00	389,61
Weiterbildung: Es besteht die Möglichkeit, sich im Rahmen der Nebenaufgaben während der Arbeitszeit weiterzubilden.	2 373,69	2 153,24	2 194,50	358,87

Gruppe Fdl – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Verantwortungsbereich: Einem Netzbereich sind zu jeder Zeit mehrere Tele-Tf zugeordnet.	2 318,00	1 837,96	2 511,00	310,67
Vielfältigkeit: Die Arbeit umfasst vielfältige Aufgaben, z. B. Fahren, Dokumentieren, Überwachen, Überprüfen, Organisieren.	2 132,94	1 624,61	2 424,00	270,77
Verantwortungsbereich: Für die Betreuung eines spezifischen Zuges ist ein einzelner Tele-Tf verantwortlich.	2 127,03	1 898,61	2 262,50	316,44
Arbeitsumgebung: Die Arbeit kann vollständig vom Arbeitsplatz in der Kontrollstelle aus durchgeführt werden.	1 971,11	2 324,49	2 498,50	387,42
Technische Ausstattung: Die Fernsteuerung der Züge findet mithilfe von Kamerabildern und weiteren Sensoren statt.	1 755,19	2 878,80	2 850,00	479,80
Überwachung: Das System informiert im Störungsfall, sodass Züge nicht dauerhaft überwacht werden müssen. [R]	1 718,42	1 515,11	1 422,00	252,52
Nebenaufgaben: Während Wartezeiten dürfen andere berufsbezogene Aufgaben bearbeitet werden.	1 650,36	1 871,75	1 580,50	311,96
Autonomie: Züge können nicht ohne vorherige Genehmigung übernommen werden.	1 465,14	2 245,36	1 880,50	374,23
Zugsteuerung: Züge werden vorrangig signalgeführt gesteuert. [B]	1 261,08	1 903,59	848,00	317,26
Autonomie: Das System teilt die zu bearbeitenden Züge zu.	1 252,22	2 187,41	1 142,00	364,57
Zugsteuerung: Züge werden vorrangig anzeigegeführt gesteuert. [R]	1 177,50	2 659,54	1 436,00	443,26
Zusammenarbeit: Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	800,83	2 764,04	1 106,00	460,67
Kommunikation: Die Kommunikation erfolgt hauptsächlich digital und schriftlich über technische Systeme.	783,22	2 819,66	1 234,50	469,94
Autonomie: Für Wartezeiten schlägt das System Aufgaben und deren Priorisierung vor.	757,54	1 920,31	621,00	324,59
Vorhersagbarkeit: Am Anfang eines Arbeitstages steht größtenteils fest, welche Aufgaben bearbeitet werden müssen. [B]	723,31	2 018,82	224,00	336,47

Gruppe Fdl – Attraktivität*Einfluss	mean	sd	median	se
Isolation: Der Arbeitsplatz befindet sich in einem Einzelbüro.	677,81	2 691,47	604,50	448,58
Arbeitsumgebung: Es handelt sich um einen Schreibtischjob.	609,75	2 582,40	160,00	430,40
Vorhersagbarkeit: Es ist am Anfang eines Arbeitstages teils nicht klar, welche Aufgaben anfallen werden. [R]	495,31	2 135,41	724,50	355,90
Unterbrechungen: Die Bearbeitung von Nebenaufgaben muss unter Umständen unterbrochen werden. [R]	443,97	1 710,55	168,00	285,09

A4.9 Deskriptive Statistik für Attraktivität der Nebentätigkeiten

Tabelle 42: Deskriptive Statistik für die **Bewertung der Nebentätigkeiten der Gruppe Tf**

Gruppe Tf (n = 64)	mean	sd	median	min	max	se
Unterstützung von (z. B. unerfahreneren) Kolleginnen und Kollegen bei konkreten Fragestellungen	4,98	1,47	5,00	0,00	6,00	0,18
signalgeführte Fahrten im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind	4,95	1,47	5,00	0,00	6,00	0,18
Schulung anderer Mitarbeitenden	4,55	1,68	5,00	0,00	6,00	0,21
eigene fachliche Weiterbildung über Simulationsaufgaben, Fahrdynamiktraining oder Technikschulungen	4,53	1,62	5,00	0,00	6,00	0,20
Routinemäßige Streckenbeobachtung zur Prüfung der Vegetation oder der Signalisierung	4,03	1,78	4,00	0,00	6,00	0,22
Unterstützung des Störungsmanagements oder der Instandhaltung bei den Zügen	3,91	1,75	4,00	0,00	6,00	0,22
Rangierdienst	3,78	1,65	4,00	0,00	6,00	0,21
Zugvorbereitungsdienst	3,69	1,60	4,00	0,00	6,00	0,20
Übernahme von Aufgaben in der Disposition des EVU	3,48	1,77	4,00	0,00	6,00	0,22
Verfassen von Berichten über Störfälle	3,28	1,69	4,00	0,00	6,00	0,21
Erstellung von Verspätungsbegründungen	3,27	1,86	3,00	0,00	6,00	0,23
Übernahme von anderen Verwaltungsaufgaben oder Datenpflege	2,92	1,73	3,00	0,00	6,00	0,22
Unterstützung im Fahrplan- und Kapazitätsmanagement	2,92	2,10	3,00	0,00	6,00	0,26
Personalplanung, z. B. Erstellen von Einsatzplänen	2,61	1,93	2,50	0,00	6,00	0,24
Erstellung von Betra	2,03	1,71	2,00	0,00	6,00	0,21
Übernahme von Serviceaufgaben im digitalen Kundenzentrum oder in der Kundeninformation	1,80	2,13	1,00	0,00	6,00	0,27

Tabelle 43: Deskriptive Statistik für die **Bewertung der Nebentätigkeiten** der Gruppe **Fdl**

Gruppe Fdl (n = 36)	mean	sd	median	min	max	se
Unterstützung von (z. B. unerfahreneren) Kolleginnen und Kollegen bei konkreten Fragestellungen	4,69	1,39	5,00	1,00	6,00	0,23
eigene fachliche Weiterbildung über Simulationsaufgaben, Fahrdynamiktraining oder Technikschulungen	4,36	1,50	5,00	0,00	6,00	0,25
signalgeführte Fahrten im Regelbetrieb zur Überwindung von Streckenabschnitten, die nicht für ATO ausgerüstet sind	4,08	1,57	4,50	0,00	6,00	0,26
Schulung anderer Mitarbeitenden	4,06	1,76	5,00	0,00	6,00	0,29
Übernahme von Aufgaben in der Disposition des EVU	4,00	1,43	4,00	1,00	6,00	0,24
Rangierdienst	3,72	1,70	4,00	0,00	6,00	0,28
Erstellung von Verspätungsbegründungen	3,64	1,69	4,00	0,00	6,00	0,28
Routinemäßige Streckenbeobachtung zur Prüfung der Vegetation oder der Signalisierung	3,56	1,80	3,50	0,00	6,00	0,30
Zugvorbereitungsdienst	3,19	1,85	3,00	0,00	6,00	0,31
Unterstützung des Störungsmanagements oder der Instandhaltung bei den Zügen	3,11	1,74	3,00	0,00	6,00	0,29
Unterstützung im Fahrplan- und Kapazitätsmanagement	2,81	1,60	3,00	0,00	6,00	0,27
Übernahme von anderen Verwaltungsaufgaben oder Datenpflege	2,67	1,84	2,50	0,00	6,00	0,31
Verfassen von Berichten über Störfälle	2,56	1,68	2,00	0,00	5,00	0,28
Erstellung von Betra	2,25	1,86	2,00	0,00	6,00	0,31
Personalplanung, z. B. Erstellen von Einsatzplänen	2,25	1,89	1,50	0,00	6,00	0,31
Übernahme von Serviceaufgaben im digitalen Kundenzentrum oder in der Kundeninformation	1,81	1,60	2,00	0,00	5,00	0,27

A4.10 Jobmerkmale: Ergebnisse der ANOVA

Tabelle 44: Jobmerkmale: Ergebnisse der ANOVA

Jobmerkmal	Effekt	DFn	DFd	F	p	p < .05	pes
Anforderungsvielfalt	Gruppe	1	97	0,68	0,412		0,01
	Berufsbild	2	194	21,45	0,000	***	0,18
	Gruppe: Berufsbild	2	194	1,34	0,264		0,01
Ganzheitlichkeit	Gruppe	1	97	3,11	0,081		0,03
	Berufsbild	1,75	169,62	13,48	0,000	***	0,12
	Gruppe: Berufsbild	1,75	169,62	7,29	0,002	**	0,07
Bedeutsamkeit	Gruppe	1	97	0,56	0,457		0,01
	Berufsbild	1,88	182,08	21,12	0,000	***	0,18
	Gruppe: Berufsbild	1,88	182,08	1,81	0,170		0,02
Autonomie	Gruppe	1	97	0,64	0,427		0,01
	Berufsbild	1,8	174,65	12,41	0,000	***	0,11
	Gruppe: Berufsbild	1,8	174,65	8,52	0,000	***	0,08
Rückmeldung	Gruppe	1	97	2,10	0,151		0,02
	Berufsbild	1,79	173,25	10,52	0,000	***	0,10
	Gruppe: Berufsbild	1,79	173,25	3,74	0,030	*	0,04
Zusammenarbeit	Gruppe	1	97	0,16	0,691		0,00
	Berufsbild	1,84	178,88	11,97	0,000	***	0,11
	Gruppe: Berufsbild	1,84	178,88	5,46	0,006	**	0,05
Motivationspotenzial	Gruppe	1	97	0,02	0,901		0,00
	Berufsbild	1,71	165,7	21,14	0,000	***	0,18
	Gruppe: Berufsbild	1,71	165,7	9,45	0,000	***	0,09
Überforderung	Gruppe	1	97	0,00	0,993		0,00
	Berufsbild	1,75	169,41	27,77	0,000	***	0,22
	Gruppe: Berufsbild	1,75	169,41	2,11	0,130		0,02
Unterforderung	Gruppe	1	97	0,89	0,347		0,01
	Berufsbild	2	194	9,28	0,000	***	0,09
	Gruppe: Berufsbild	2	194	0,04	0,963		0,00
Erfolgserlebnisse	Gruppe	1	97	1,59	0,210		0,02
	Berufsbild	1,67	161,58	5,98	0,005	**	0,06
	Gruppe: Berufsbild	1,67	161,58	2,49	0,096		0,03
Vollständigkeit	Gruppe	1	97	0,00	0,987		0,00

Jobmerkmal	Effekt	DFn	DFd	F	p	p < .05	pes
	Berufsbild	1,68	162,99	0,04	0,944		0,00
	Gruppe: Berufsbild	1,68	162,99	0,51	0,569		0,01
Zeitdruck	Gruppe	1	97	0,00	0,955		0,00
	Berufsbild	1,86	180,82	8,82	0,000	***	0,08
	Gruppe: Berufsbild	1,86	180,82	0,78	0,452		0,01
Zeitelastizität	Gruppe	1	97	0,37	0,544		0,00
	Berufsbild	1,88	182,29	30,83	0,000	***	0,24
	Gruppe: Berufsbild	1,88	182,29	0,56	0,561		0,01

A.4.11 Vor- und Nachteile der Tele-Tf-Berufe

Tabelle 45: Genannte **Vorteile** (und Anzahl der Nennungen) für Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Rückfallebene getrennt nach den Antworten der Gruppe der Tf vs. Fdl

Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		**Tele-Tf in der Rückfallebene**	
Tf	Fdl	Tf	Fdl
Zeitersparnis durch Wegfall der Fußwege und Gastfahrten (29) Witterungsunabhängigkeit (16) verbesserte Arbeitszeiten (10) erhöhte Sicherheit für den Tf (4) Vielfalt der Aufgaben (4) frühzeitige (parallelisierte) Inbetriebnahme, sodass mehr Zeit für die Behebung von Störungen bleibt (4) fixer Arbeitsort (3) Wohnortnähe (3) keine körperliche Anstrengung (3) Toilette in der Nähe (2) Zeit für Fortbildung (2) besserer Überblick (2) weniger Verantwortung (2) höherer Automatisierungsgrad (1) vereinfachte Betriebsbedingungen (1)	Zeitersparnis (6) Einsicht in Geschehen vor Ort (5) weniger Abstimmung zwischen Tf und Fdl (dadurch auch weniger Missverständnisse) (5) ruhige Arbeitsumgebung durch Einzelbüro (4) Fortbildung nebenbei möglich (3) Personaleinsparung (3) Wohnortnähe (3) klare Aufgabenstellung (2) moderne Technik (2) Ortsunabhängigkeit (2) Pausen (2) Planbarkeit der Aufgaben (2) reduzierte Zuständigkeit bzw. Fokus auf einen Zug (2) Bedeutsamkeit (1)	feste Arbeitszeiten, d. h. pünktlicher Feierabend (15) effizienter Einsatz des Personals (13) Vielfalt der Aufgaben (7) Witterungsunabhängig (7) erhöhte Sicherheit für Tf (6) fixer Arbeitsort (6) Wohnortnähe (6) anspruchsvolle Tätigkeit (4) keine Konflikte mit Fahrgästen (4) weniger Stress (4) flexibles Arbeiten (3) Fortbildung nebenbei möglich (3) verbesserte Arbeitsumgebung (leiser, klimatisiert) (3) gesteigerte Effizienz bzw. Fahrplansicherheit (2) kein Vor-Ort-sein notwendig (2) keine körperliche Anstrengung (2)	Wohnortnähe (8) Vielfalt der Aufgaben (7) Einsicht in Geschehen vor Ort (6) Effizienter Einsatz des Personals (5) moderne Technik (4) weniger Abstimmung zwischen Tf und Fdl (dadurch auch weniger Missverständnisse) (4) Störungsmanagement (3) Fortbildung nebenbei möglich (2) klare Aufgabenstellung (2) mehrere Tele-Tf für einen Bereich (2) Pausen (2) verbesserte Arbeitszeiten (2) anspruchsvolle Tätigkeit (1) Bedeutsamkeit (1) erhöhte Sicherheit (1) flexibles Arbeiten (1) freie Zeiteinteilung (1)

Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung	Tele-Tf in der Rückfallebene		
keine Konflikte mit Fahrgästen (1) direkte Kommunikation mit Technikerin oder Techniker (1) mehr Sauberkeit (1) Nebentätigkeiten (1) flexibles Arbeiten (1) effizienter Einsatz des Personals (1) Weiterarbeit eingeschränkter Mitarbeitenden (1)	direkte Absprachen zwischen Fdl und Tele-Tf (wenn Arbeitsort = Stellwerk) (1) Eigenverantwortung (1) erhöhte Sicherheit (1) freie Zeiteinteilung (1) mehr Personal durch Ortsunabhängigkeit (1) mehrere Tele-Tf für einen Bereich (1) Nebentätigkeiten (1) selber fahren (1) Tele-Tf ist auch bei Verzögerungen im Betriebsablauf verfügbar (1) verbesserte Arbeitsplatzergonomie (1) Witterungsunabhängig (1)	Nebentätigkeiten (2) Reduzierung der psychischen Belastung (bei Personenunfällen) (2) Austausch mit Kolleg/innen (1) besserer Überblick (1) erweitertes Arbeitsgebiet (1) frühzeitige (parallelisierte) Inbetriebnahme (1) keine Fußwege, d. h. Zeitersparnis (1) mehr Pausen möglich (1) Toilette in der Nähe (1) weniger Verantwortung (1) Zeitersparnis durch Wegfall der Fußwege und Gastfahrten (1)	Nebentätigkeiten (1) Ortsunabhängigkeit (1) reduzierte Zuständigkeit bzw. Fokus auf einen Zug (1) ruhige Arbeitsumgebung durch Einzelbüro (1) verbesserte Arbeitsplatzergonomie (1) weniger Stress (1)

Tabelle 46: Genannte **Nachteile** (und Anzahl der Nennungen) für den Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung und Rückfallebene getrennt nach den Antworten der Gruppe der Tf vs. Fdl

Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		**Tele-Tf in der Rückfallebene**	
Tf	Fdl	Tf	Fdl
Störungen können nicht unmittelbar behoben werden (16)	nicht vor Ort (13)	Störungen können nicht unmittelbar behoben werden (22)	Störungen können nicht unmittelbar behoben werden (7)
fehlendes Fahrgefühl (12)	höhere Arbeitsbelastung bzw. Verantwortung (4)	eingeschränkte Sicht/weniger Überblick (11)	Probleme durch digitale Schnittstellen (6)
Bildschirmarbeitsplatz (wenig Bewegung, drinnen, dunkel) (8)	Probleme durch digitale Schnittstellen (3)	fehlendes Fahrgefühl (10)	nicht vor Ort (5)
weniger Austausch/Isolation (8)	Monotonie (2)	verringerte Sicherheit (8)	eingeschränkte Sicht bzw. weniger Überblick (4)
eingeschränkte Sicht/weniger Überblick (6)	Ablenkung wahrscheinlicher (1)	Monotonie (7)	höhere Arbeitsbelastung bzw. Verantwortung (3)
es braucht trotzdem Personal vor Ort (6)	begrenzter Entscheidungsspielraum (1)	reduzierter bzw. kein Fahrspaß (7)	komplexes, umfangreiches Wissen notwendig (3)
Wegfall von Arbeitsplätzen (5)	Bildschirmarbeit (und daraus ggf. resultierende gesundheitliche Aspekte) (1)	Interaktion mit Personen vor Ort eingeschränkt (Reisende, Kolleginnen und Kollegen) (6)	eingeschränkte Planbarkeit der Arbeit (2)
reduzierter bzw. kein Fahrspaß (4)	Einzelbüro (1)	mögliche Störungsanfälligkeit (4)	fehlender direkter Austausch im Team (2)
Risiko von Verbindungsstörungen zum Zug (4)	es braucht Tf-Expertise (1)	Risiko von Verbindungsstörungen (4)	es braucht trotzdem Personal vor Ort (1)
Verlass auf andere Mitarbeitende (4)	fehlender direkter Austausch im Team (1)	Verlass auf Technik (nicht vor Ort) (4)	kein Bezug zur Situation vor Ort (1)
kein Bezug zur Situation vor Ort (3)	keine Übernahme durch Kolleginnen und Kollegen während der Fahrt möglich (1)	Wegfall von Arbeitsplätzen (4)	längere Kommunikationsketten (1)
mögliche Störungsanfälligkeit der neuen Technik (3)	Konflikte ohne Kommunikation mit Fdl (1)	hohe Kosten (3)	Monotonie (1)
Monotonie (3)	Redundanzsysteme notwendig (1)	höhere Arbeitsbelastung (3)	reduzierter bzw. kein Fahrspaß (1)
nicht vor Ort auf der Lok (3)	totale Überwachung (1)	nicht vor Ort auf der Lok (3)	Wegfall von Arbeitsplätzen (1)
Ablenkung möglich (2)		Bildschirmarbeitsplatz (2)	weniger Tageslicht (1)
Gefahr von Hacking (2)		es braucht trotzdem Personal vor Ort (2)	
		umständlich (2)	
		weniger Austausch/Isolation (2)	

Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		Tele-Tf in der Rückfallebene	
mentales Abschalten schwierig (2) umständlich (2) weniger Kompetenzen (2) Wissensverlust (2) Entfremdung von der Eisenbahn (1) es braucht sehr gute Kenntnisse der Infrastruktur (1) höhere Arbeitsbelastung (1) kein Homeoffice, d. h. trotzdem pendeln (1) keine Störungsprävention (1)	Überschneidungen von Zugbereitstellungen durch Verzögerungen im Betriebsablauf (1) vermindertes Sicherheitsgefühl der Fahrgäste durch weniger Personal vor Ort (1) wenig Tageslicht (1) weniger Vernetzung mit Personen vor Ort (1)	Wissensverlust (2) Ablenkung möglich (1) Eingreifen nur bei Problemen (1) fragmentierte Aufgaben (1) Gefahr von Hacking (1) hoher Bedarf an Bürokratie (Berichte schreiben) (1) kein Bezug zur Situation vor Ort (1) kein Homeoffice, trotzdem pendeln (1) kein persönlicher Arbeitsplatz (1) keine selbstständige Reparatur (1) keine Störungsprävention (1) Latenzzeiten (1) Nebentätigkeiten (1) redundante Sensorik notwendig (1) schwindendes Verantwortungsgefühl (1) verminderte Bedeutsamkeit (1) wenig Bewegung (1) weniger Gehalt (1) weniger Kompetenzen (1) weniger Kontrollmöglichkeiten über das Fahrzeug (1) zusätzliches Personal nötig (1)	weniger Vernetzung mit Personen vor Ort (1)

A4.12 Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung: Anzahl der Prozentwerte

Tabelle 47: Anzahl der Prozentwerte nach Gruppe und Berufsbild

Gruppe	Berufsbild	0–9	10–19	20–29	30–39	40–49	50–59	60–69	70–79	80–89	90–100	Σ
Tf	Bereitstellung	18	7	6	5	1	5	2	2	5	13	64
Fdl	Bereitstellung	7	4	5	1	2	2	3	4	3	5	36
Tf	Rückfallebene	14	8	6	2	2	5	3	3	4	17	64
Fdl	Rückfallebene	3	3	5	2	5	2	3	3	2	8	36

A4.13 Gründe für und gegen eine Weiterbildung sowie Überzeugungsmöglichkeiten

Tabelle 48: Genannte Gründe **für** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene (W = Weiterbildungswahrscheinlichkeit)

	Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		**Tele-Tf in der Rückfall-ebene**	
W	Tf	Fdl	Tf	Fdl
≥50	Weiterbildung (6) Bürotätigkeit (4) neue Herausforderung (4) Abwechslung (unter der Voraussetzung, weiterhin Tf zu sein) (2) Aufgabenvielfalt (2) gesundheitliche Gründe (2) regelmäßiger Schichtdienst (2) Arbeitsplatzerhalt (1) Aufstieg innerhalb des Unternehmens (1) direkter Austausch bei Problemen (1) enger Kontakt mit Kolleginnen und Kollegen (1) fester Standort (1) höherer Eigenschutz (1) mehr Flexibilität (1) moderner Arbeitsplatz (1)	Weiterbildung (5) moderner bzw. interessanter Arbeitsplatz (4) bessere Arbeitszeiten (2) neue Herausforderung (2) technische Verbesserungen (2) verbesserte Zusammenarbeit von Tf und Fdl (2) Wohnortnähe (2) Aufbau Streckenkenntnis (1) Aufgabenvielfalt (1) Disposition und Steuerung der MA wird erleichtert (1) eigene Arbeitseinteilung (1) faire Vergütung (1) fester Arbeitsort (1) keine Anfahrtswege (1) klare Aufgabenstellung (1) strukturierte Arbeit (1) Technikinteresse (1)	Weiterbildung (9) abwechslungsreiche bzw. interessante Tätigkeit (7) Arbeitsplatzerhalt (5) moderner Arbeitsplatz (4) sauberer bzw. trockener Arbeitsplatz (4) Aufgabenvielfalt (3) fester Standort (3) neue Herausforderung (3) Verbesserung Eisenbahnbetrieb (3) Zeitersparnis (3) enger Kontakt mit Kolleginnen und Kollegen (2) Abwechslung (unter der Voraussetzung, weiterhin Tf zu sein) (1) Aufstieg innerhalb des Unternehmens (1) Gestaltung eines neuen Berufsbilds (1)	Aufgabenvielfalt (10) moderner bzw. interessanter Arbeitsplatz (4) neue Herausforderung (4) herausfordernde Tätigkeit (2) Perspektivenwechsel (2) Wohnortnähe (2) Arbeitsplatzerhalt (1) bessere Arbeitszeiten (1) Distanz zu Personenunfällen (1) eigene Arbeitseinteilung (1) Technikinteresse (1) Weiterbildung (1)

	Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		Tele-Tf in der Rückfallebene
	Personalmangel (1) Realisierung am einfachsten (1) Übersichtlichkeit (1) Verbesserung Eisenbahnbetrieb (1) weniger körperlich anstrengende Arbeit (1) Wohnortnähe (1) Zeitersparnis (1)	Weiterbildung während Wartezeiten (1) weniger Stress (1) weniger Wegezeiten (1)	gesundheitliche Gründe (1) höherer Eigenschutz (1) keine Fahrgäste (1) körperliche bzw. gesundheitliche Beeinträchtigung (1) mehr Flexibilität (1) Personalmangel (1) regelmäßiger Schichtdienst (1) verringerte Arbeitsbelastung (1) Wohnortnähe (1)

	Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		Tele-Tf in der Rückfallebene	
<50	feste, regelmäßige Arbeitszeiten bzw. pünktlicher Feierabend (6) sauberer bzw. trockener Arbeitsplatz (5) Weiterentwicklung bzw. neue Technik (5) Arbeitsplatzerhalt (4) keine körperliche Anstrengung (3) körperliche bzw. gesundheitliche Beeinträchtigung (3) einfachere bzw. stressfreiere Arbeit (2) Wohnortnähe (2) besserer Verdienst (1) Homeoffice (1)	Büroarbeitsplatz (3) bessere Arbeitszeiten (2) neue Herausforderung (2) Wohnortnähe (2) Arbeitsplatzsicherheit (1) Gehalt (1) planbarer Arbeitsweg (1) weniger Stress (1) wenn Tätigkeit als Fdl nicht mehr möglich (1)	abwechslungsreiche bzw. interessante Tätigkeit (5) Weiterentwicklung bzw. neue Technik (5) Arbeitsplatzerhalt (4) Wohnortnähe (4) feste, regelmäßige Arbeitszeiten/pünktlicher Feierabend (3) besserer Verdienst (2) höherer Eigenschutz (2) körperliche bzw. gesundheitliche Beeinträchtigung (1) sauberer bzw. trockener Arbeitsplatz (1)	Arbeitsplatzsicherheit (5) neue Herausforderung (4) bessere Arbeitszeiten (3) fester Arbeitsplatz (2) Wohnortnähe (2) entspanntes Arbeiten (1) freie Zeiteinteilung (1) Gehalt (1) kürzere Anfahrt (1) Unterstützung Zugbetrieb (1) wenig telefonieren (1) Zeitersparnis (1)

Tabelle 49: Genannte Gründe **gegen** eine Weiterbildung zu Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung bzw. Rückfallebene (W = Weiterbildungswahrscheinlichkeit)

	Tele-Tf in der Bereitstellung		**Tele-Tf in der Rückfallebene**	
W	Tf	Fdl	Tf	Fdl
≥50	Monotonie (4) unzureichende Technik (2) Büroarbeitsplatz (1) geringere Kompetenz (1) Schulungen (1) Verlust des Bezuges zur Technik vor Ort (1) Wegfall von Arbeitsplätzen (1) weite Entfernung zur Ausbildungsstätte (1) Weiterbildung muss selbst bezahlt werden (1)	Aufwand durch Weiterbildung (2) Gehalt (2) Monotonie (2) Doppelbelastung als Fdl (1) eingeschränkter Entscheidungsspielraum (1) Entfernung zum Wohnort (1) Entrückung vom Betrieb (1) kein direkter Kontakt mit Fahrzeugen (1) kein Kundenkontakt (1) technisches Wissen (1) Unklarheiten bzgl. Technik (1) Vorbehalte bzgl. Sicherheit (1) weniger direkter Austausch (1)	Monotonie (6) Züge nicht mehr selbst vor Ort zu fahren (5) Unzureichende Technik (4) Büroarbeitsplatz (2) Isolation (2) ortsgebundener Arbeitsplatz (2) Unterforderung (2) Wegfall von Arbeitsplätzen (2) weniger Gehalt (2) Schulungen (1) Sicherheitsrisiko (1) weite Entfernung zur Ausbildungsstätte (1) Weiterbildung muss selbst bezahlt werden (1)	hohe Arbeitsbelastung (4) Aufwand durch Weiterbildung (2) technisches Wissen (2) weniger direkter Austausch (2) Doppelbelastung als Fdl (1) eingeschränkte Handlungsmöglichkeiten (1) Entfernung zum Wohnort (1) Gehalt (1) keine permanente Zugsteuerung (1) Monotonie (1) Unklarheiten bzgl. Technik (1) Vorbehalte bzgl. Sicherheit (1)

	Tele-Tf in der Bereitstellung		Tele-Tf in der Rückfallebene	
<50	Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplatz (20) Monotonie bzw. keine Abwechslung (11) fehlendes Fahrgefühl (5) anspruchsloser (4) schlechtes Störungsmanagement (4) fehlender Kontakt zu Menschen (3) unzuverlässige Technik (3) fehlender Fahrspaß (2) Arbeitsplatzverlust (1) bevorstehendes Renteneintrittsalter (1) Distanz zur tatsächlichen Situation (1) Einzelbüro (1) fehlende Attraktivität (1) fehlende Bewegung (1) Frustration durch schlechtes Störungsmanagement (1) geringere Sicherheit (1) höheres Arbeitspensum (1) längerer Arbeitsweg (1)	Monotonie (6) kein Bezug zur realen Eisenbahn (4) Unterforderung (3) Gehalt (2) Abwertung des Berufs Eisenbahner (1) Arbeitszeiten (1) Bildschirmarbeit (1) fehlender Kontakt zu Kolleginnen und Kollegen (1) Isolation (1) Sicherheitsrisiken (1) Unklarheiten bzgl. Technik (1)	Büro- bzw. Bildschirmarbeitsplatz (8) Spaß am Beruf des Tf (6) fehlender Fahrspaß (4) schlechtes Störungsmanagement aus der Ferne (4) keine erfüllende Tätigkeit (3) Monotonie bzw. keine Abwechslung (3) anspruchsloser (2) fehlende Bewegung (2) fehlender Kontakt zu Menschen (2) geringere Sicherheit (2) Distanz zur tatsächlichen Situation (1) fehlendes Fahrgefühl (1) hhöheres Arbeitspensum (1) kein persönlicher Arbeitsplatz (1) kein Bezug zur Technik vor Ort (1)	hohe Arbeitsbelastung („Störmodus“) (5) anderes Berufsbild als Fdl (4) kein Vertrauen in Technik (3) Arbeit als Fdl weiterhin möglich (2) Aufwand durch Weiterbildung (2) Gehalt (2) kein Bezug zur realen Eisenbahn (2) Arbeitszeiten (1) hohe Verantwortung (1) Isolation (1) Monotonie (1) Sicherheitsrisiken (1)

	Tele-Tf in der Bereitstellung	Tele-Tf in der Rückfallebene
	Spaß am Beruf des Tf (1) unzuverlässige Kolleginnen und Kollegen (1) weniger Flexibilität (1)	

Tabelle 50: Genannte Aspekte, die die Befragten mit einer geringen Weiterbildungswahrscheinlichkeit (W < 50) von einer Weiterbildung zu Tele-Tf überzeugen könnten

Tele-Tf in der Bereit- und Abstellung		**Tele-Tf in der Rückfallebene**	
Tf	Fdl	Tf	Fdl
spürbare Gehaltserhöhung (9)	höheres Gehalt (9)	spürbare Gehaltserhöhung (14)	höheres Gehalt (10)
zeitliche Begrenzung (5)	bessere Arbeitszeiten (4)	zuverlässige Technik (4)	bessere Arbeitszeiten (4)
regelmäßige Arbeitszeiten (3)	innovative Technik (1)	Einsatzbereich (3)	Wohnortnähe (2)
sauberer, wettergeschützter Arbeitsplatz ohne körperliche Arbeit (3)	sozialer Austausch mit Kolleginnen und Kollegen (1)	Arbeitsplatzsicherheit (2)	Einsatz zeitlich begrenzt (1)
zuverlässige Technik (3)	Zukunftsängste (1)	regelmäßige Arbeitszeiten (2)	Rückversicherung bei Kolleg/innen (1)
Arbeitsplatzsicherheit (2)		zeitliche Begrenzung (2)	
Homeoffice (2)		gute Ausbildung (1)	
explizite Benennung der Tätigkeiten währenddessen (1)		Homeoffice (1)	
mehr Freizeit (1)		klare Weiterbildungsstrategie (1)	
sehr kurzer Arbeitsweg (1)		mehr Freizeit (1)	
wenn kein anderer Arbeitsplatz verfügbar ist (1)		sauberer, wettergeschützter Arbeitsplatz ohne körperliche Arbeit (1)	
		sehr kurzer Arbeitsweg (1)	
		verbessertes Arbeitsklima (1)	

A4.14 Tf-Unterschiede

Tabelle 51: Zahl der Teilnehmenden unterteilt nach der Wahrscheinlichkeit einer Weiterbildung zu Tele-Tf (gering: < 40 %, hoch: > 60 %)

		Tele-Tf Rückfallebene			
		gering	**mittel**	**hoch**	Σ
Tele-Tf Bereitstellung	**gering**	28	3	5	36
	mittel	1	4	1	6
	hoch	1	0	21	22
	Σ	30	7	27	64

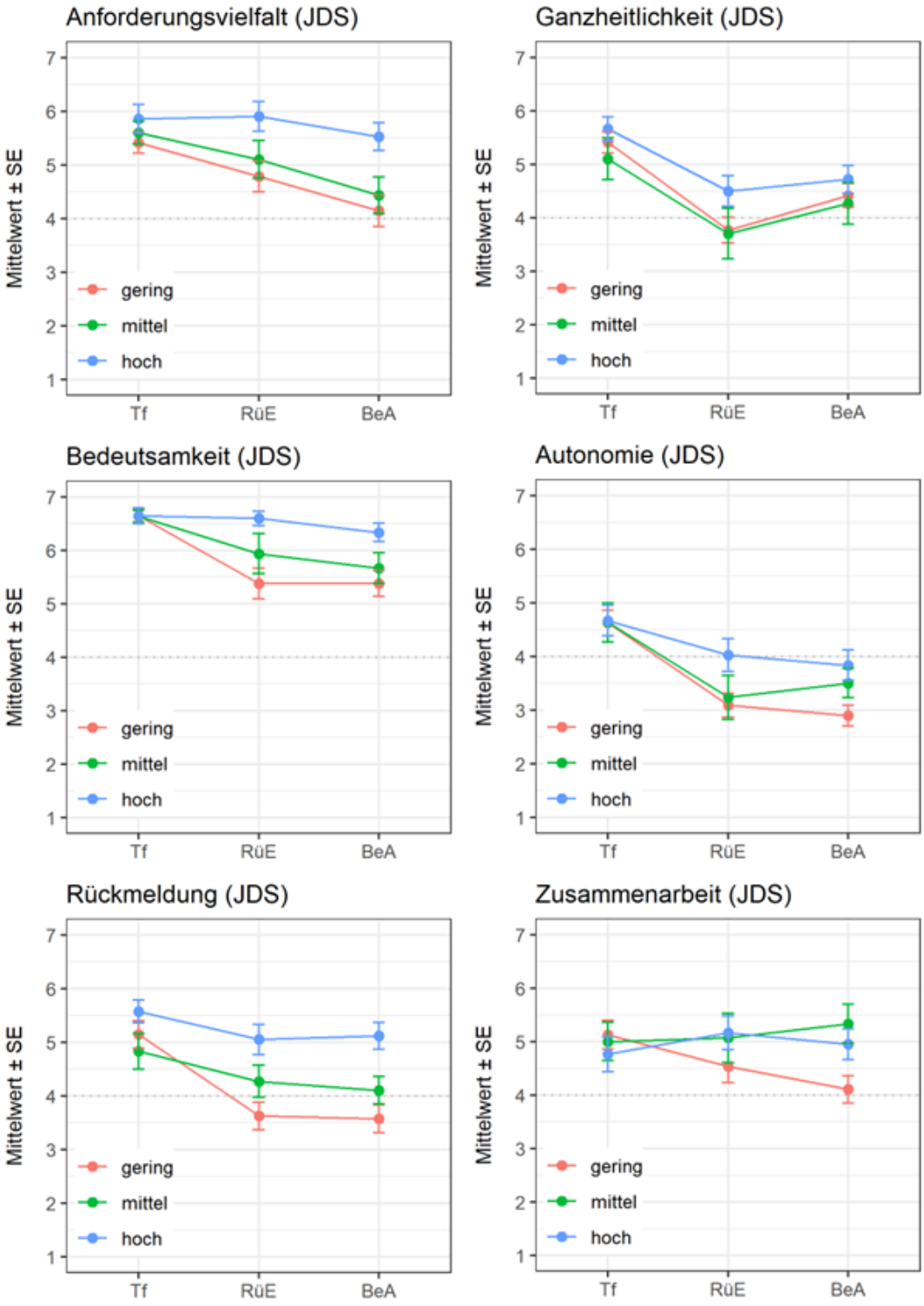


Abbildung 27: Mittelwerte und Standardfehler für die erhobenen Jobmerkmale des JDS in den drei Tf-Subgruppen (geringe, mittlere und hohe Weiterbildungswahrscheinlichkeit) getrennt nach Berufsbild

Anlagen

[1] Literaturübersicht.xlsx

[2] AufgabenlisteTf.xlsx

[3] Betriebliche_Szenarien_Teleoperation.pdf

[4] Anforderungskatalog.xlsx

[5] Bewertung_Sensorikkonzept.xlsx

[6] Merkmale_attraktiver_Arbeit.xlsx

[7] Ausbildungsrahmenplan.xlsx

[8] Fragebogen_Onlinebefragung.pdf