

Der Train Operator

Situative Fernsteuerung von automatisierten Zügen

**NIELS BRANDENBURGER | ANJA NAUMANN |
JAN GRIPPENKOVEN | MEIKE JIPP**

Die Abteilung Human Factors des Instituts für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR) erforscht u. a. die Rolle des Menschen vor dem Hintergrund fortschreitender Automatisierung im Bahnbetrieb. Ziel der Human Factors Arbeiten im Projekt Next Generation Train 3 ist es, eine optimale Verteilung der Aufgaben zwischen Mensch und Triebfahrzeug zu erwirken, die als Voraussetzung einen sicheren und effizienten Bahnbetrieb ermöglicht und die die menschliche Leistungsfähigkeit optimiert. Damit kann einerseits mit zunehmender Automatisierung im Regelbetrieb die Effizienz des Bahnsystems erhöht und andererseits stark ausgeprägte Fähigkeiten des Menschen in der Situationsbeurteilung und Entscheidungsfindung genutzt werden, um den Betrieb in Störfällen aufrechtzuerhalten.

Menschliche Überwachung und Steuerung automatisierter Züge

Ein Ansatz für die Steuerung von Schienenfahrzeugen im automatisierten Bahnverkehr der Zukunft besteht in der Konzeptionierung eines Fernsteuerungsplatzes für einen sogenannten Train Operator (TO) außerhalb des Führerstandes. Während die Digitalisierung eine entscheidende technologische Voraussetzung für die Automatisierung des Schienenverkehrs darstellt, ist die Verlagerung des Arbeitsplatzes außerhalb des Führerstandes ein nutzerzentrierter Ansatz, um auf die veränderten Anforderungen an den Menschen im automatisierten Schienenverkehr einzugehen. Durch die Abnahme manueller Tätigkeiten und Zunahme von Überwachungstätigkeiten des Triebfahrzeugführers (Tf) [1] sinkt auch die Notwendigkeit der Verortung eines Tf im Fahrzeug. Dennoch sollte Automatisierung im Bahnverkehr nicht als Abschaffung des Menschen missverstanden werden. Die im Rahmen dieses Artikels beschriebenen Überlegungen zum TO stellen ein Beispiel für eine denkbare Neuinterpretation eines Arbeitsplatzes in einer hochautomatisierten Zukunft des Bahnverkehrs dar. Dem TO in seiner Rolle als Fernüberwacher (im Regelfall) und Fernsteuerer (in der Rückfallebene) von Schienenfahrzeugen stehen durch die Digitalisierung Informationen ortsunabhängig zur Verfügung, auf Basis derer er seine Aufgaben im automatisierten Bahnbetrieb wahrnehmen kann.

Potenzial der Digitalisierung für den automatisierten Bahnverkehr

Die zunehmende Digitalisierung und wachsende Bandbreiten der drahtlosen Kommunikation liefern dem schienenengebundenen Verkehr ein zentrales Werkzeug zur Erhöhung der Effizienz des Betriebs [2]. Dieses Werkzeug wird bereits in der Instandhaltung [3] und im Fahrgastkontext [4] intensiv diskutiert und genutzt, doch auch für den Betrieb ergeben sich Potenziale, die über Global System for Mobile Communications – Rail (GSM-R) und den Rahmen des European Rail Traffic Management System (ERTMS) hinausgehen und die Konkurrenzfähigkeit des Schienenverkehrs gegenüber anderen Verkehrssystemen festigen können. So weist Münch [4] auf das große Potenzial von Videoüberwachungssystemen aufgrund von zunehmender Auflösung, stetiger Datenübertragung zwischen Infrastruktur und Betriebszentrale sowie Fortschritten bei der algorithmischen Auswertung der anfallenden Videodaten hin. Münch [4] führt dieses Potenzial im Zuge der Fahrgastinformationssysteme auf, doch zuverlässiges Videomaterial in Echtzeit könnte auch betriebliche Türen öffnen und für Fernüberwachung und situative Fernsteuerung von Schienenfahrzeugen verwendet werden. Im Bereich der Ferndiagnose von Störungen an Fahrzeugen und Infrastruktur, einem wichtigen Bereich der zukünftigen Rolle des Menschen im Bahnsystem, wird das Potenzial bereits erkannt [3].

Nutzerzentrierte Perspektive auf die Automatisierung des Bahnverkehrs

Auf Basis der Digitalisierung findet technologische Entwicklung mit großem Potenzial im Hinblick auf die Automatisierung des Bahnverkehrs statt. Der heutige Stand von Automatisierungsprojekten im Bahnbereich wurde von Nießen, Schindler und Vallée [5] für verschiedene Geschäftsfelder des Schienenverkehrs dargestellt. Neben dem urbanen Nahverkehrssektor sind auch sogenannte People-Mover-Systeme „Stand der Technik“ [5, Seite 34] und zeigen eine Entwicklung in Richtung zunehmender technischer Autonomie auf. Den identifizierten Potenzialen stehen zumeist technische und juristische Schwierigkeiten entgegen und hemmen die Verbreitung automatisierter Systeme im Vollbahnbereich. Nießen, Schindler und Vallée [5] zählen beispielsweise für den Hochgeschwindigkeitsverkehr Haltestellen, niveaugleiche Bahnübergänge auf der freien Strecke und Durchgangsbahnhöfe zu den kritischen Betriebsituationen, die der menschlichen Überwachung bedürfen. Eine situative Fernüberwachung und -steuerung bietet die Möglichkeit, in diesen Betriebsituationen die Sicherheit zu gewährleisten. Nur in

diesen zeitlich begrenzten Übernahme-situationen sollte der TO die Verantwortung tragen. Das zeitlich beschränkte Eingreifen des TO in den Betrieb stellt dabei sicher, dass der TO nicht dauerhaft die Verantwortung für den Betrieb hat, obwohl er gar nicht aktiv eingreift. Gravierende, negative Folgen der dauerhaften menschlichen Überwachung automatisierter Systeme sind bereits in der Forschung verkehrsträgerübergreifend bekannt und mehrfach dargelegt worden. So führt die kontinuierliche Überwachung von automatisierten Systemen durch den Menschen beispielsweise zu erhöhter Ermüdung [6], vermindertem Situationsbewusstsein [7] und einer schlechteren Leistung im unerwarteten Eingriffsfall [8]. Nießen, Schindler und Vallée [5, Seite 33] werfen daher die zentrale Frage auf „...bis zu welchem Stadium die Letztverantwortung beim Menschen/Bediener/Operator bleibt“.

Diese Frage adressiert die aktuelle Human-Factors-Forschung am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik. Die Ergebnisse einer Untersuchung im Fahr Simulator, in der die Aufmerksamkeit des Triebfahrzeugführers im manuellen Bahnbetrieb und im hochautomatisierten Bahnbetrieb verglichen wird, zeigt, dass Tf während der kontinuierlichen Überwachung eines automatisierten Hochgeschwindigkeitszuges langsamer auf unerwartete kritische Ereignisse reagierten, als in der manuellen Betriebsart [9]. Diese Befunde unterstreichen die Problematik einer Automatisierungsstufe, in der die Handlungsausführung der Maschine übergeben wird, während die Verantwortung für die Zugfahrt durch eine kontinuierliche Überwachungsanforderung beim Tf verbleibt. Untersuchungen zu den benötigten Fähigkeiten des Tf im automatisierten Hochgeschwindigkeitsverkehr zeigen stark ausgeprägte mentale Ausdauer und Daueraufmerksamkeit als unabdingbar in solchen Überwachungsszenarien [1]. Es wurde schon an dieser Stelle geschlussfolgert, dass der Tf durch das Zusammenführen von Informationen zum Fahrzeug und Betriebskontext sowie Entscheidungsfindung stärker in das Gesamtgeschehen involviert werden sollte. Die Schlussfolgerung aus den wissenschaftlichen Ergebnissen, die den technischen Fortschritt als Prämisse begleiten sollte, lautet deshalb, dass Verantwortung und Handlungsausführung nicht getrennt werden sollten, um ein höchstmögliches Maß an Sicherheit zu gewährleisten. Wenn folglich automatisierte Systeme die Geschwindigkeit des Zuges regeln, sollte auch die Verantwortung für die Sicherheit der Geschwindigkeitswahl bei diesen Systemen liegen. Wenn im Nicht-Routinefall (z. B. extremes Wetter, Türstörungen, Verbindungsverlust RBC) die Sicherheit der Zugfahrt durch das automatische System nicht gewährleistet werden kann, ist

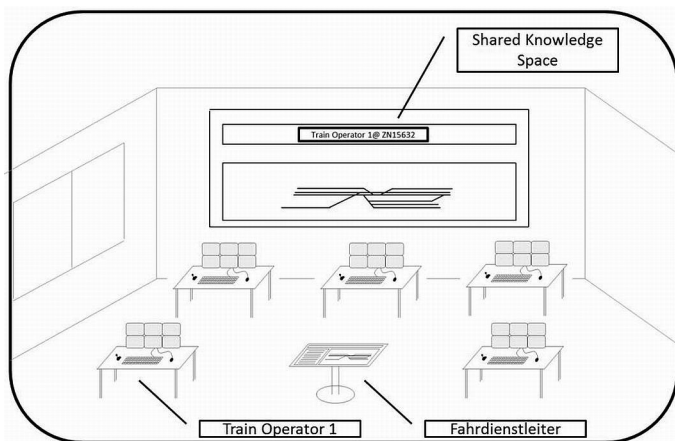


Abb. 1: Initialer Entwurf zur Verortung von TO-Arbeitsplätzen in eine Betriebszentrale. Die Abbildung zeigt mehrere TO-Arbeitsplätze, einen Fdl-Arbeitsplatz sowie einen „Shared Knowledge Space“, auf dem an der Wand der komplette Betrieb im Bereich abgebildet ist.

es denkbar, sowohl die Verantwortung als auch die manuelle Wahl der Geschwindigkeit einem TO, der den Zug zeitweise und situativ fernüberwacht und -steuert, zu überlassen. Auch Bahnhofseinfahrten oder Durchfahrten [5] könnten zu einer Anfrage an einen TO führen und eine manuelle Zielbremsung bzw. Bahnhofsdurchfahrt nach sich ziehen, wenn der Betreiber dies vorsieht.

Ziel ist es also, zu erforschen, wie den sich wandelnden Anforderungen an den Menschen in der Umsetzung eines TO-Arbeitsplatzes Rechnung getragen werden kann. Experteninterviews mit erfahrenen Tf und Ausbildern wurden durchgeführt, um die Aufgabenverteilung zwischen TO und automatisierten Systemen sowie die Auslegung des dazu nötigen Arbeitsplatzes zu erforschen [10]. Die Ergebnisse zeigen, dass die Integration von Informationen in eine mentale Repräsentation des gesamten Betriebsgeschehens eine zentrale Aufgabe des TO werden sollte, um auf kritische Nicht-Routinesituationen adäquat reagieren zu können [10]. Es wurde allerdings durch die Befragten der Experteninterviews betont, dass die Identifikation von Störungen im automatisierten Betrieb und eine erste Diagnose durch die Technik erfolgen sollten. Aufgrund dieser Befragungsergebnisse erhärtet sich die Einschätzung, dass die Übernahme der Fahrfunktion durch die Maschine auch mit der Übernahme der Überwachung der Fahrt einhergehen sollte. Die technische Überwachung des Betriebs wird im schienengebundenen Verkehr bereits heute teilweise von der Leit- und Sicherungstechnik übernommen, was einen klaren Vorteil gegenüber z.B. dem Straßenverkehr darstellt. Das Konzept der Fernüberwachung und -steuerung durch den TO baut auf diesem Vorsprung des schienengebundenen Verkehrs bei der technischen Überwachung auf, sodass der TO sich auf die Betriebssituationen konzentrieren kann, in denen die technischen Systeme an ihre Grenzen kommen.

Auslegung und Verortung des Train-Operator-Arbeitsplatzes

Die Gestaltung eines Arbeitsplatzes für hohe Stufen der Automatisierung bietet die Chance,

den Arbeitsplatz an die Aufgaben des TO anzupassen, die in den Bereichen der Informationsintegration, Störungsdiagnose und Entstörung liegen. Der mehrstufige Gestaltungsprozess des Arbeitsplatzes innerhalb des Forschungsvorhabens am DLR-Institut für Verkehrssystemtechnik besteht methodisch aus einem initialen Entwurf, der auf Basis der vorgestellten Studien entwickelt wurde, zwei Expertenworkshops zur Bewertung des ersten Entwurfs, eines Re-Designs sowie einer wissenschaftlichen Untersuchung des entstehenden Prototyps unter Beteiligung von Tf. Aus der wissenschaftlichen Untersuchung werden objektive Daten zu menschlicher Leistungsfähigkeit und relevanten, psychologischen Konstrukten wie mentaler Beanspruchung, Situationsbewusstsein und Ermüdung und subjektives Feedback der Teilnehmer hervorgehen, um eine Bewertung des gestalteten Arbeitsplatzes für den TO im hochautomatisierten Bahnbetrieb vorzunehmen.

Der Fokus wird im Folgenden auf dem initialen Entwurf des Arbeitsplatzes liegen. Zunächst ist festzuhalten, dass durch die technische Überwachung des Routinebetriebs bei automatisiertem Betrieb der TO grundsätzlich nicht auf die Bearbeitung eines bestimmten Zuges beschränkt sein muss, sondern Nicht-Routinesituationen an unterschiedlichen Zügen bearbeiten kann. Diese zugunabhängige und zeitweise Zuordnung des TO zwischen verschiedenen Zügen zeigt sich auch darin, dass situative Überwachungs- oder Steuerungsanfragen von Seiten des Zuges initiiert und automatisch an einen freien TO gerichtet werden. Hier zeigt sich wieder die zentrale Prämisse, dass die Automatisierung die Verantwortung für das automatisierte Handeln trägt und somit ihre funktionalen Grenzen selbstständig erkennen und melden muss. Vor dem Hintergrund dieser flexiblen Zuordnung von Zügen und TO wird die zentrale Stationierung der TO in einer Betriebszentrale ins Auge gefasst. Es erscheint sinnvoll, die flexible Zuordnung zwischen TO und Zug durch die Verortung des Arbeitsplatzes in einer Betriebszentrale zu verdeutlichen, da der TO dort eine Systemperspektive einnehmen kann, d.h. eine Übersicht über den Betrieb in einem bestimmten Bereich hat. Diese Perspektive

könnte bei der Störungsdiagnose und Entstörung von Nicht-Routinesituationen hilfreich sein. Abb. 1 zeigt eine Skizze des initialen Entwurfs der Verortung des TO-Arbeitsplatzes in einer Betriebszentrale. Organisatorisch ist angedacht, den Arbeitsplatz des TO an die Stellbereiche der Fahrdienstleiter (Fdl) anzulehnen, sodass jedem Fdl in seinem Zuständigkeitsbereich eine Anzahl von TO zugeordnet wird, die Nicht-Routinesituationen in diesem Bereich bearbeiten können. Das optimale Verhältnis zwischen der Größe des Zuständigkeitsbereichs, der Anzahl der zu überwachenden Züge und der dafür einzusetzenden Anzahl der TO ist ein aktueller Forschungsgegenstand des DLR-Instituts für Verkehrssystemtechnik. Die Arbeit des Fdl ändert sich angesichts dieses konzeptuellen Szenarios nicht, da die bereits heute vorhandene Automatisierung der Leit- und Sicherungstechnik durch z.B. die automatische Zuglenkung eine Basis für hohe Stufen der Fahrzeugautomatisierung darstellen kann. Zusätzlich zu den Einzelarbeitsplätzen sieht das Konzept des TO-Arbeitsplatzes einen großflächigen „Shared Knowledge Space“ (SKS – gemeinsame Wissensbasis) in Form einer Panoramawand vor, um dem gesamten Betriebspersonal ein einheitliches Lagebild der aktuellen Betriebssituation im Netz zu vermitteln. Auf diesem SKS werden auch die Überwachungs- oder Steuerungsanfragen der automatisierten Züge dargestellt. Jeder TO ist mit einem identischen Einzelarbeitsplatz ausgestattet, an welchem er mit der Bearbeitung der an ihn gerichteten Anfrage beginnt, sobald ihm ein Zug zugewiesen wird. Während der Bearbeitungszeit ist das manuell gesteuerte Fahrzeug auf dem SKS mit der Kennung des aktuell zuständigen TO gekennzeichnet, um die Zuweisung zu verdeutlichen. In Zeiten ohne aktuelle Anfrage stehen das gemeinschaftliche Beobachten des Betriebs und die damit verbundene Erhaltung einer Systemperspektive im Mittelpunkt. Diese gemeinschaftliche Beobachtung des Betriebs bietet neben dem Potenzial der Früherkennung möglicher zukünftiger Engpässe auch einen zusätzlichen Sicherheitszuwachs, da auch potentielle kritische Situationen frühzeitig vom ganzen Team erkannt werden können. Zusätzlich kann über eine „Springerrolle“ einzelner TO nachgedacht werden, die ggf. Überlastspitzen in anderen Bereich auffangen könnten, wenn die Betriebssituation im eigenen Bereich dies zulässt.

Der individuelle Arbeitsplatz des Train Operators

Der Aufbau des individuellen Arbeitsplatzes und die dargestellten Informationen orientieren sich an den zwei Systemzuständen automatisierter Betrieb oder manuelle Bearbeitung. Es ist elementar, diese beiden Systemzustände klar mithilfe einer unterschiedlichen Darstellung zu differenzieren, sodass es nicht zu Verwechslungen der Systemzustände kommen kann. Im automatisierten Betrieb stehen am individuellen Arbeitsplatz systemische Informationen zum betrieblichen Geschehen wie Lupenansicht, Fahrplan, Richtlinien sowie Kommunikationsmöglichkei-

Ansichtsexemplar bereitgestellt über 

ten mit betrieblichem Personal bzw. Reisenden im Mittelpunkt. Dennoch soll es möglich sein, auch individuelle Informationen zu aktuellen Fahrzeugzuständen und -historien einzusehen. Wird einem TO eine Anfrage eines Zuges zugewiesen, so ändert sich die Darstellung von einer Perspektive auf das gesamte Betriebsgeschehen in dem Bereich hin zu einer fahrzeugspezifischen Perspektive. Zu den relevanten Informationen im Rahmen dieser manuellen Bearbeitung gehören neben den heutigen Führerraumanzeigen und dem Fahrplan auch Echtzeitkamerabilder, Informationen über den Grund der Anfrage sowie Informationen zur Störungshistorie des Fahrzeugs. Dieser Systemzustand sollte in der Darstellung der üblichen räumlichen Anordnung der Informationen im Führerstand ähneln und auch ausgewählte physische Elemente (z.B. einen Fahrbremshebel) erhalten, um Steuerungseingriffe des TO zu ermöglichen. Frühere Untersuchungen haben gezeigt, dass durch die Größe der Darstellung einzelner Informationen eine Priorisierung der Aufmerksamkeitsverteilung im Führerstand erreicht werden kann [11]. Diese Möglichkeit wird bei der weiteren Gestaltung des Arbeitsplatzes aufgegriffen, indem wichtige Informationen vergrößert dargestellt werden. Für die Transitionsphasen zwischen automatisiertem Betrieb und manueller Bearbeitung wurde eine Annahme- und Beendigungsprozedur entworfen, die sowohl eine Annahmestätigung des TO als auch eine Dokumentation der Bearbeitung beinhalten sollen. Neben Nicht-Routinesituationen, die die Automatisierung an ihre Funktionsgrenzen bringen und manuell bearbeitet werden müssen, können auch kritische Routinesituationen vom Betreiber festgelegt werden, die manuell bearbeitet werden sollen. Dies können z.B. Bahnhofseinfahrten oder Durchfahrten [5] sein. Dann würde jede Bahnhofseinfahrt oder Bahnhofsdurchfahrt zu einer Anfrage an einen TO führen und eine manuelle Zielbremsung bzw. Bahnhofsdurchfahrt nach sich ziehen.

Ausblick

Die Ergebnisse der Experten- Workshops zur Bewertung des initialen Entwurfs werden zurzeit ausgewertet und ein detaillierteres Re-Design des initialen Entwurfs sowie der prototypische Aufbau des Arbeitsplatzes vorangetrieben. Nach Abschluss dieser Arbeiten wird die wissenschaftliche Untersuchung des TO-Arbeitsplatzes hinsichtlich seiner kognitiven Ergonomie durchgeführt. Parallel werden Arbeiten zur Übertragung des Konzepts auf den Rangierbetrieb angestoßen.

QUELLEN

- [1] Brandenburger, N., Hörmann, H. J., Stelling, D., & Naumann, A.: 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. doi: 10.1177/0954409716676509, 2016
- [2] Wolbert, M.; Weiß, G.: Train Communication Network: Neue Standards für die Zugvernetzung, ETR – EISENBAHNTHECHNISCHE RUNDSCHAU 10/2016, S. 49–51
- [3] Brückmann, A.: Fernüberwachung von Bahntechnischen Systemen, EI – DER EISENBAHNINGENIEUR 4/2017, S. 26-27

[4] Münch, A.: Bahnkommunikationssysteme, ETR – EISENBAHNTHECHNISCHE RUNDSCHAU 9/2016, S. 66–69

[5] NieBen, N.; Schindler, C.; Vallée, D.: Assistierter, automatischer oder autonomer Betrieb – potenziale für den Schienenverkehr, ETR – EISENBAHNTHECHNISCHE RUNDSCHAU 4/2017, S. 32–37

[6] Cummings, M. L.; Gao, F.; Thornburg, K. M.: Boredom in the Workplace: A New Look at an Old Problem, Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 58(2), 2016, pp. 279–300 doi:10.1177/0018720815609503

[7] Endsley, M.; Kaber, D.: Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task, Ergonomics, 42(3), 1999, pp. 462–492

[8] Spring, P.; McIntosh, A.; Baysari, M.: Counteracting the Negative Effects of High Levels of Train Automation on Driver Vigilance, HFESA Conference Proceedings, 45, 2009, pp. 93–101

[9] Brandenburger, N.; Jipp, M.: Effects of Expertise for Automatic Train Operations. Cognition, Technology & Work: Modelling and Analysis of Human-Machine Systems in Transportation, submitted 30.05.2017

[10] Brandenburger, N.; Naumann, A.; Jipp, M.: Die Entwicklung der Aufgaben des Triebfahrzeugführers in der Zukunft, SIGNAL + DRAHT, 3/2016, S. 37–43

[11] Brandenburger, N.; Stamer, M.; Naumann, A.: Comparing different types of the track side view in high speed train driving. In de Waard et al. (Eds.), Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Europe Chapter 2016 Annual Conference, ISSN 2333-4959 (online), 2016



Niels Brandenburger

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
niels.brandenburger@dlr.de



Dr. Anja Naumann

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
anja.naumann@dlr.de



Jan Grippenkoven

Gruppenleiter Tätigkeitsanalyse
und -bewertung
jan.grippenkoven@dlr.de



Dr. Meike Jipp

Abteilungsleiterin Human Factors
meike.jipp@dlr.de

alle Autoren: Institut für Verkehrssystemtechnik, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig und Berlin



InnoTrans 2018

18.–21. SEPTEMBER · BERLIN

Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik
Innovative Komponenten · Fahrzeuge · Systeme





CAREER & EDUCATION

IHR UNTERNEHMEN SUCHT NACHWUCHSKRÄFTE AUS DER SCHIENENVERKEHRSBRANCHE?

Nutzen Sie das Karrierekonzept der InnoTrans 2018!
Mehr unter: www.innotrans.de/career

Kontakt
Messe Berlin GmbH · Lisa Simon
Messedamm 22 · 14055 Berlin
T +49 30 3038 2124
F +49 30 3038 2190
l.simon@messe-berlin.de

f Find us on Facebook: InnoTrans Career

Messe Berlin