



## AUTOMATISIERUNGSMYTHOS #2

Automatisierung kann den Betrieb von Vollbahnen ohne menschliche Mitwirkung abwickeln

# Der Rollenwandel des Personals im automatisierten Bahnbetrieb und warum die menschliche Kognition zentraler Bestandteil bleibt

## ZUSAMMENFASSUNG

Der automatisierte Bahnbetrieb stellt die traditionelle Rolle des Personals bei der Aufrechterhaltung eines sicheren und pünktlichen Betriebs in Frage. Dennoch gibt es triftige betriebliche, wirtschaftliche, regulatorische und gesellschaftliche Gründe, menschliches Personal auch im zukünftigen automatisierten Betrieb einzusetzen. Anstelle einer linearen Übertragung von Aufgaben vom Menschen auf die Automatisierung zeichnet sich eine Mensch-Maschine-Kollaboration ab. Diese ermöglicht sowohl automatisierungsbedingte Vorteile in Bezug auf Kapazität oder Energieverbrauch als auch Vorteile in Bezug auf ein effizientes menschliches Eingreifen bei betrieblichen Unsicherheiten, bei denen menschliche Entscheidungs- und Kommunikationsfähigkeiten die entscheidende Komponente für die Sicherheit im Schienenverkehr ist.

## AUTOR

Dr. Niels Brandenburger

ist Human Factors Experte beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR e.V.) am Institut für Verkehrssystemtechnik. Er arbeitet an der empirischen Untersuchung, betrieblichen Definition und praktischen Umsetzung des menschlichen Beitrags zum automatisierten Bahnbetrieb.  
niels.brandenburger@dlr.de

## EINFÜHRUNG

Denken Sie an das letzte Mal, als Sie versucht haben, etwas zu 100 Prozent richtig zu machen. Ich nehme an, die ersten 70 bis 80 Prozent der Arbeit liefen gut, und dann fingen die Probleme an. Sie mussten immer mehr Aufwand betreiben, konnten jedoch nicht im gleichen Maße Fortschritte erzielen. Haben Sie am Ende die 100 Prozent erreicht? Oder haben Sie bei 95 Prozent aufgehört, weil Sie a) die letzten fünf Prozent aus eigener Kraft nicht geschafft haben oder b) der Aufwand zu groß war, als dass es sich gelohnt hätte? Unterm Strich gibt es gute Gründe, warum wir mit anderen zusammenarbeiten, um unsere Ziele zu erreichen. Es ist so viel effizienter und intelligenter, als zu versuchen, ein klassischer "Alleswisser" zu sein. Die gleiche Logik gilt für die Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine im Arbeitskontext, bei der Fachpersonal und automatisierte Systeme zusammenarbeiten. Unter Einsatz einer angemessenen Menge an Ressourcen soll gemeinsam ein bestimmtes Ziel erreicht werden.

## WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

Die meisten Taxonomien der Automatisierung vermitteln implizit die Vorstellung, dass die Einführung von automatisierten Technologien eine Einbahnstraße ist. Sogenannte Levels der Automatisierung (levels of automation), die eine gängige und grundlegende Taxonomie darstellen, werden als "ein Kontinuum von Level definiert, das vom niedrigsten Level der vollständig manuellen Ausführung bis zum höchsten Level der vollständigen Automatisierung reicht" (übersetzt: Parasuraman et al., 2000, S. 287). Mit anderen Worten: Das Level der Automatisierung beschreibt, inwieweit ein System eine Funktion selbständig ausführt. Stufen der Automatisierung beziehen sich auf die Art der Informationsverarbeitung, die den automatisierten Funktionen zugeordnet werden können (Parasuraman et al., 2000). Die Stufen basieren auf einem einfachen vierstufigen Modell der menschlichen Informationsverarbeitung, das die sensorische

Verarbeitung, die Wahrnehmung, die Entscheidungsfindung und die Handlungsauswahl umfasst und sich direkt auf die vier Stufen der Automatisierung übertragen lässt: Informationsbeschaffung, Informationsanalyse, Entscheidungsauswahl und Handlungsausführung (Parasuraman et al., 2000). Somit kann eine automatisierte Funktionalität nach ihrem Automatisierungslevel und der Informationsverarbeitungsstufe, die sie ausführt, klassifiziert werden. Das Konzept der Automatisierungsgrade schließlich integriert diese beiden Konzepte - Levels und Stufen - in ein Kontinuum in dem Sinne, dass "höhere Automatisierungsgrade sowohl durch höhere Level innerhalb einer Stufe als auch durch die Einbeziehung fortgeschrittener Informationsverarbeitungsstufen erreicht werden können" (übersetzt: Wickens et al., 2010, S. 389). Der Begriff des Automatisierungsgrads (siehe Onnasch et al., 2014) stellt die jüngste etablierte Position zur Klassifizierung von Automatisierung dar. Diese Taxonomien scheinen einen tendenziellen Pfad zu zeichnen, auf dem das menschliche Wirken sukzessive durch die Automatisierung ersetzt wird.

## AKTUELLE ENTWICKLUNGEN IM BEREICH DES SCHIENENVERKEHRS

Die gleiche Logik gilt für die bahnspezifischen Automatisierungsgrade (GoA) (VDE, 2015). Die Taxonomie umfasst eine Zusammenfassung von Aufgaben in vier Funktionskategorien - sichere Bewegung, Geschwindigkeitskontrolle, Türbetrieb und Störungsminderung -, die für einen sicheren Betrieb ausgeführt werden müssen (VDE, 2015). Mit jeder weiteren GoA werden mehr Funktionskategorien und Autonomie vom Personal - in den meisten Fällen dem Triebfahrzeugführer - auf technische Systeme übertragen. Brandenburger und Naumann (2019b) fassen das betriebliche Aufgabenumfeld über vier GoA hinweg grob zusammen: "Bei GoA1 ist der Triebfahrzeugführer im Führerstand für die Zugfahrt einschließlich der Geschwindigkeitsanpassung verantwortlich, (...) [während] ein automatisches Zugsicherungssystem (ATP) im Hintergrund die Einhaltung der Geschwindigkeitsbegrenzung überwacht. Bei GoA2 wird die ATP durch die Funktionalität des automatischen Zugbetriebs (ATO) ergänzt, die für die automatische Geschwindigkeitsanpassung zuständig ist, (...). Der Triebfahrzeugführer im Führerstand ist weiterhin für die Überwachung der Instrumente und der Gleisintegrität zuständig und gewährleistet so die Sicherheit der Fahrt. Bei GoA3 befindet sich der Triebfahrzeugführer nicht mehr in der Kabine (...). Lediglich das Schließen der Türen wird von einem Zugbegleiter kontrolliert, der sich im fahrenden Zug befindet. GoA4 ist durch die völlige Abwesenheit von Personal an Bord gekennzeichnet und die Zugfahrt wird vollständig durch Automatisierungstechnik durchgeführt, daher die Bezeichnung unbegleiteter Zugbetrieb (...)" (übersetzt: Brandenburger & Naumann, 2019b, S. 289). Diese generelle lineare Logik der Umverteilung von Aufgaben vom Menschen zur Automatisierung mag für bestimmte Anwendungen gelten, aber kann diese wirklich so im öffentlichen Verkehr Anwendung finden? Insbesondere im Schienenverkehr gibt es ein breites gesellschaftliches Publikum und wichtige Diskussionen zu Themen wie Vertrauen, Haftung usw.

Schon sehr früh wurde mit den MABA-MABA-Listen ("Men are better at, Machines are better at", Fitts, 1951) eine andere Denkrichtung für die Mensch-Maschine-Zusammenarbeit eingeschlagen. Es wurde versucht herauszufinden, welcher Akteur für welche Aufgabe besser geeignet ist. Meiner Meinung nach bietet diese Denkrichtung, die sich auf eine auf Fähigkeiten basierende Aufgabenzuweisung konzentriert, einen vielversprechenderen Ansatz. So kann das richtige Gleichgewicht der Mensch-Maschine-Kollaboration in unserem soziotechnischen Eisenbahnsystem gefunden werden, das einen sicheren, effizienten und geschützten zukünftigen Eisenbahnbetrieb ermöglicht. In diesem Rahmen sind Forschungsarbeiten initiiert worden (siehe Literaturübersicht in Brandenburger, 2021), in denen aus einer nutzerzentrierten Perspektive untersucht wird, welche Rolle das menschliche Personal einnehmen kann. Unter Beachtung bestimmter betrieblicher, wirtschaftlicher, regulatorischer und gesellschaftlicher Voraussetzungen soll so zu einem sicheren und zuverlässigen automatisierten Bahnbetrieb unter GoA3 oder GoA4 beigetragen werden. Aus betrieblicher Sicht scheint die menschliche Entscheidungsfindung aufgrund der dynamischen realen Bedingungen im Eisenbahnbetrieb, die eine ständige Situationsbewertung und Neuplanung erfordern, unerlässlich. Aus wirtschaftlicher Sicht erscheint die Automatisierung des Betriebs in allen möglichen Systemzuständen übermäßig kostspielig und, wie im einleitenden Beispiel dargelegt, deshalb nicht zielführend. Aus regulatorischer Sicht fordert die Rechtsprechung derzeit eine menschliche Aufsicht über den Bahnbetrieb, um hohe Sicherheitsstandards aufrechtzuerhalten, die wertvoll und wahrscheinlich nur verhandelbar sind, wenn eine Mensch-Maschine-Kollaboration die Einhaltung dieser Standards sicher nachweisen kann. Erste empirische Ergebnisse deuten

u.a. auf eine ausgeglichene Arbeitsbelastung des Fahrpersonals, geringere Ermüdung und vermeintlich schnellere nachfolgende Reaktionszeiten auf kritische Stimuli [z. B. auf Bremsanzeigen auf dem European Train Control System (ETCS) Driver Machine Interface (DMI)] in GoA3/4-Einstellung im Vergleich zu GoA2 hin (Brandenburger, 2021, siehe Abbildung 1). Darüber hinaus fand eine Studie positive erwartete Effekte von GoA3 auf die Arbeitszufriedenheit im Vergleich zu GoA2 (Brandenburger & Naumann, 2018). Nicht zuletzt fordert die Gesellschaft als Ganzes hohe Sicherheitsstandards (CE Delft, 2018), die hauptsächlich mit wirtschaftlichen Zielen konkurrieren - die Automatisierung bedarf eines gewissen tolerierten Unsicherheitsbudgets, um wirtschaftlich sinnvoll zu sein. Dieses Unsicherheitsbudget muss zeitweise durch menschliches Personal überwacht werden. Vor dem Hintergrund dieser Prämissen wurde die Idee eines situationsbezogenen menschlichen Eingriffs in einen ansonsten automatisierten GoA3/4-Betrieb entwickelt (Brandenburger & Naumann, 2018) und empirisch evaluiert (Brandenburger, 2021). Kern dieser Idee ist die Vorstellung, dass die Automatisierung selbst ihre eigenen Systemgrenzen erkennen muss und grundsätzlich um Hilfe durch das entfernt sitzende menschliche Personal bittet, sobald eine Betriebsituation eintritt, die die Automatisierungsfähigkeit und damit das tolerierbare Unsicherheitsbudget überschreitet.

Ich persönlich bin der Meinung, dass im Entwicklungsprozess der Bahnautomatisierung ATO in Kombination mit ETCS, also GoA2, und bis zu einem gewissen Grad auch GoA4, zu den ersten 70 bis 80 Prozent gehört, die im einleitenden Beispiel genannt wurden. Zulieferer haben großartige Ingenieure, die an ausgeklügelten ATO-Regelungssystemen arbeiten. Es ist anzunehmen, dass man das menschliche Personal beim Führen eines Zuges in Routinesituationen mit einer Zugsicherung (ATP) wie ETCS als Sicherheitsebene mit ATO übertreffen kann. Sobald wir jedoch über Situationen nachdenken, in denen ein vollständiger ATP-Schutz wie ETCS FS (Full Supervision) nicht zur Verfügung steht, nähern wir uns dem herausfordernden Teil der Automatisierung im Schienenverkehr. Die berüchtigten letzten 20 bis 30 Prozent sind gekennzeichnet durch z. B. nicht verfügbaren ATP-Schutz, unzureichende Lokalisierung oder Objekterkennung, schwer zu diagnostizierende technische Störungen sowohl auf der Gleis- als auch auf der Fahrzeugseite oder anormale Zustände der physischen und sozialen Umgebung, in der die Bahn betrieben wird, wie z. B. Wetter oder soziale Phänomene wie übermütige Sportfans (z. B. Laufen/Drängen am Bahnsteig oder gewaltsames Öffnen von Türen). Um diese verbleibenden 20 bis 30 Prozent zu bewältigen, werden menschliche Problemlösestrategien, Entscheidungen und Kommunikation im automatisierten Bahnbetrieb unerlässlich bleiben. Forschung und Entwicklung müssen herausfinden, welche organisatorische, physische und kognitive Arbeitsumgebung am besten geeignet ist, um diesen menschlichen Beitrag zur Sicherheit und Effizienz des automatisierten Bahnbetriebs zu ermöglichen. Aktuelle Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass eine GoA3/4-Arbeitsumgebung für menschliches Personal gegenüber einer GoA2-Arbeitsumgebung und in einigen Aspekten sogar der derzeitigen GoA1-Arbeitsumgebung in Bezug auf die Arbeitsbelastung, die daraus resultierende Ermüdung und in Teilen in Bezug auf die Leistung überlegen sein kann (Brandenburger, 2021, siehe Abbildung 1). In jüngster Zeit haben verschiedene Forschungs- (z.B. Gripenkoven et al., 2020) und Entwicklungsprojekte, u.a. TC-Rail (Pacaux-Lemoine, Gadmer & Richard, 2020), 5GReallabor<sup>1</sup> oder ATO-Cargo<sup>2</sup> in Europa, damit begonnen, die verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Arbeitsbelastung des Fahrpersonals, die Ermüdung und die Systemleistung zu nutzen, um von der Theorie zur praktischen Testimplementierung dieses Konzepts für den GoA4 Vollbahnbetrieb mit menschlicher Fernsteuerung als Rückfallebene überzugehen.

## SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Tatsache, dass in verschiedenen aktuellen Projekten im Schienenverkehr Automatisierung als technische Komponente unter Beachtung des menschlichen Aufgabenspektrums eingesetzt wird, unterstreicht, dass dem menschlichen Personal aus betrieblichen, wirtschaftlichen, regulatorischen und gesellschaftlichen Gründen eine zentrale Rolle im zukünftigen automatisierten Bahnbetrieb bei Vollbahnen zukommt. Diese Rolle umfasst insbesondere die Entscheidungsfindung, die Kommunikation und die Störungsminderung im Störbetrieb (Brandenburger & Naumann, 2018). Für die Sicherheit und auch für die Akzeptanz dieser neuen menschlichen Rolle in der Kollaboration zwischen Mensch und Automatisierung scheint es jedoch entscheidend zu sein, eine Diskrepanz zwischen der technischen Aufgabenerfüllung

<sup>1</sup> 5GReallabor: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/5g-reallabor/mobilitaet>

<sup>2</sup> ATO Cargo: <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/projekt-ato-cargo-erprobung-automatisierter-gueterzuege>

einerseits und der rechtlichen Verantwortung des Menschen andererseits zu vermeiden. Wo immer möglich, sollten Handlungen und die Verantwortung für diese Handlungen in Einklang gebracht werden. In diesem Sinne haben Forschung und Entwicklung, die sich mit der Gestaltung dieser neuen Rolle des Menschen im Schienenverkehr befassen, ein großes Potenzial, um die Vorteile beider Bereiche zu nutzen und gleichzeitig hohe Sicherheitsstandards aufrechtzuerhalten: Automatisierung kann Vorteile in Bezug auf Kapazität und Energieverbrauch bringen. Die Integration menschlicher und organisatorischer Faktoren kann die Risiken aufgrund betrieblicher Ungewissheit mindern und gleichzeitig die Arbeitszufriedenheit aufgrund einer kohärenten und zielgerichteten Definition der menschlichen Rolle verbessern (Brandenburger, 2021).

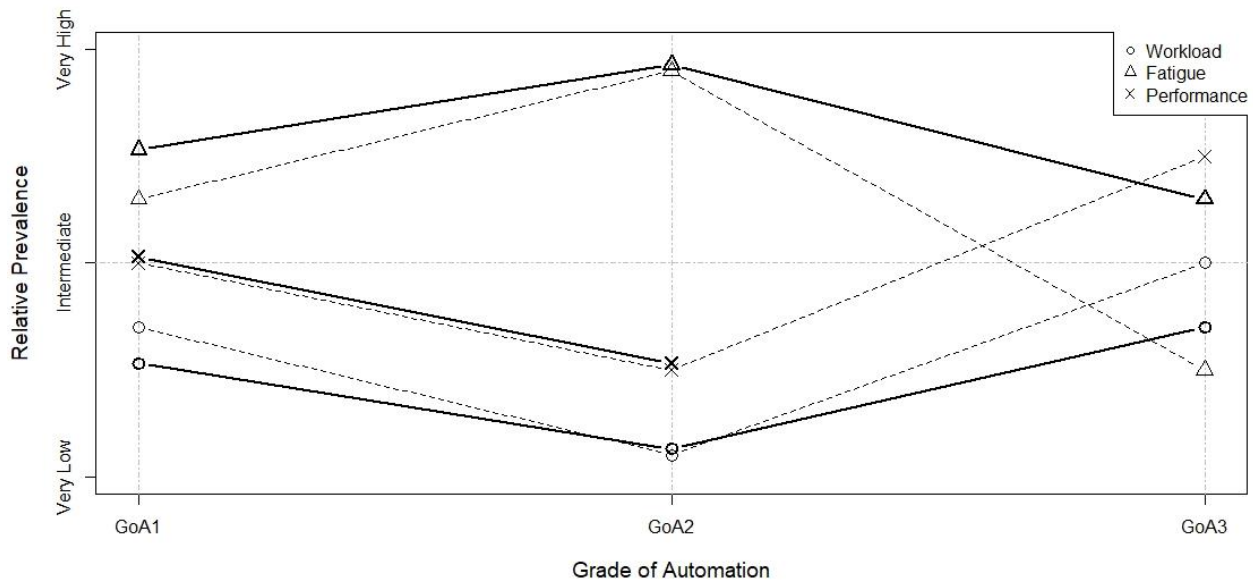


Abb. 1: Auswirkungen von Automatisierungsgraden auf Arbeitsbelastung, Ermüdung und Leistung. Hinweis: Schematische Darstellung der angenommenen (gepunktete Linien) und beobachteten (durchgezogene Linien) Auswirkungen des Automatisierungsgrads (GoA) auf Arbeitsbelastung, Ermüdung und menschliche Fehlerleistung. Die relative Prävalenz gibt keine absoluten Werte an, sondern stellt einen Hinweis auf Richtung und Stärke der Auswirkungen dar. Eine vergleichbare Leistungskennzahl (Performance) für GoA3 fehlte zum Zeitpunkt der Datenerhebung, daher ist die Leistung von GoA3 in der obigen Grafik nicht berücksichtigt. Quelle: Brandenburger, 2021.

## LITERATUR

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Brandenburger, N. (2021). *Remote Control of Automation: Workload, Fatigue, and Performance in Unattended Railway Operation* (Dissertation). Technische Universität Braunschweig, Brunswick, Germany.
- Brandenburger, N., & Naumann, A. (2018). Towards remote supervision and recovery of automated railway systems: The staff's changing contribution to system resilience. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation* (pp. 1–5). <https://doi.org/10.1109/ICIRT.2018.8641576>.
- CE Delft (2018). *Modal choice criteria in rail transport*. Retrieved from: [https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE\\_Delft\\_4S52\\_Modal\\_choice\\_criteria\\_in\\_rail-transport\\_Def.pdf](https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/CE_Delft_4S52_Modal_choice_criteria_in_rail-transport_Def.pdf), 02.04.22, 11:02.
- Fitts P.M. (1951). *Human engineering for an effective air navigation and traffic control system*. National Research Council, Washington, DC.
- Grippenkoven, J., Meirich, C., Roth, M., Caspar, M., & Hungar, H. (2020). Teleoperation as a fallback solution for highly automated rail traffic. *SIGNAL + DRAHT* (6), 6-13.
- Onnasch, L., Wickens, C. D., Li, H., & Manzey, D. (2014). Human Performance Consequences of Stages and Levels of Automation: An Integrated Meta-Analysis. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 56(3), 476–488. <https://doi.org/10.1177/0018720813501549>
- Pacaux-Lemoine, M., Gadmer, Q., & Richard, P. (2020). Train remote driving: A Human-Machine Cooperation point of view, 2020 IEEE International Conference on Human-Machine Systems (ICHMS), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICHMS49158.2020.9209333.
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286–297.
- VDE (2015). *Railway applications - Urban guided transport management and command/control systems - Part 1: System principles and fundamental concepts*, IEC 62290-1:2014.
- Wickens, C. D., Li, H., Santamaria, A., Sebok, A., & Sarter, N. B. (2010). Stages and Levels of Automation: An Integrated Meta-analysis. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(4), 389–393. <https://doi.org/10.1177/154193121005400425>