

# Wie schnell können Triebfahrzeugführer Informationen wahrnehmen?

## Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit

BIRTE THOMAS-FRIEDRICH | BARIS COGAN | ANJA NAUMANN | BIRGIT MILIUS | DIRK LEINHOS | PAVEL KLASEK

**Die Einführung des automatisierten Fahrens eines Zuges (Automatic Train Operation – ATO) wird den Bahnbetrieb signifikant verändern. Aufgaben von Triebfahrzeugführern (Tf) werden durch technische Systeme übernommen. Für die Gestaltung dieser technischen ATO-Systeme ist das Verständnis der menschlichen Leistungsfähigkeit einschließlich ihrer Grenzen von großer Bedeutung, insbesondere für die Festlegung der Anforderungen an die Leistungsfähigkeit eines ATO-Systems. Tf nutzen im Rahmen der Zugsteuerung ihre Sinne zur Wahrnehmung der Außenwelt. Diese Wahrnehmung der Außenwelt soll zukünftig durch Sensoren erfolgen. Ziel des Projekts ATO-Sense ist demnach die Ermittlung eines Ansatzes zur Erfassung der menschlichen Leistungsfähigkeit als Definitionsgrundlage der Anforderungen an ein technisches ATO-System.**

### Fragestellung

Im Rahmen der Einführung des automatisierten Fahrens im Bahnbereich wird es notwendig sein, Anforderungen an das technische ATO-System zu definieren. Sensoren treten zukünftig teilweise an die Stelle der Sinne der Tf, es muss jedoch mindestens die gleiche Sicherheit für den Bahnbetrieb erreicht werden. Somit ist

es besonders wichtig, die Leistungsfähigkeit der Wahrnehmung der Tf einzuschätzen, um darauf aufbauend Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der technischen Sensoren definieren zu können. Ziel des Projektes Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit (ATO-Sense) ist daher, einen Ansatz zur Bemessung der Leistungsfähigkeit der Sinne des Tf zu entwickeln. Die Ergebnisse des Projekts sollen dann als erster Schritt dienen, eine Definitionsgrundlage für die Anforderungen an ein technisches ATO-System zu entwickeln. Das Projekt ATO-Sense ist eingebettet in eine vom Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) beauftragte Projektfamilie zum Thema ATO. Die Projekte zielen darauf ab, den Themenkomplex ATO auf der Schiene aus verschiedenen Perspektiven zu beschreiben. Weitere Projekte bearbeiten die Themen Risikoakzeptanzkriterien für das automatisierte Fahren auf der Schiene, Sensorik als technische Voraussetzung für ATO-Funktionen sowie Aufbereitung und Validierung von Trainingsdaten für den Einsatz Künstlicher Intelligenz (KI). Das Projekt ATO-Sense wird bearbeitet vom Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur der TU Berlin (BBI), dem Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), Siemens Mobility GmbH und DB Systemtechnik GmbH.

### Vorgehensweise

Die Bearbeitung der Fragestellung des Projekts erfolgt in vier aufeinander aufbauenden Arbeitsschritten (Abb. 1). Ziel des ersten Arbeitsschrittes ist die Identifikation der Aufgaben

des Tf. Diese Übersicht über die Tf-Aufgaben ist notwendig, um feststellen zu können, wann und wie die menschlichen Sinne für eine erfolgreiche Ausführung der Tätigkeit eines Tf eingesetzt werden. Aufbauend auf die Aufgabenbeschreibung erfolgt der zweite Arbeitsschritt: Die Identifikation der Sinne, die Tf für die Erfüllung der beschriebenen Aufgaben einsetzen. Die identifizierten Sinne werden auf Basis einer umfangreichen Literaturrecherche beschrieben, und es werden interne sowie externe Faktoren erfasst, die die menschliche Leistungsfähigkeit der Sinne beeinflussen. Im dritten Arbeitsschritt liegt der Fokus dann auf der konkreten Bemessung der Leistungsfähigkeit eines Sinns des Tf im Rahmen einer Experimentalstudie, bei der festgestellt werden soll, wie schnell ein Tf auf einen wahrzunehmenden Reiz reagiert. In einem vierten Arbeitsschritt wird aufbauend auf den Ergebnissen der Simulatorexperimente ein Modell abgeleitet, welches die Leistungsfähigkeit des untersuchten Sinns des Tf beschreibt und in der Folge zur Anforderungsdefinition an technische Funktionen des automatisierten Fahrens herangezogen werden kann. In den nächsten Abschnitten werden Ergebnisse für die Beschreibung der Aufgaben und Sinne des Tf dargestellt. Nachfolgend werden erste Projektergebnisse und der methodische Planungsstand der Simulatorexperimente beschrieben.

### Beschreibung der Aufgaben von Tf

Im Rahmen des ersten Arbeitsschrittes wurden die in der Fahrdienstvorschrift angegebenen Verantwortungsbereiche der Tf extrahiert [1]. Basierend auf der detaillierten Aufgabenbeschreibung wurden Standardaufgaben des Tf definiert (Tab. 1). Eine Standardaufgabe fasst dabei Teilaufgaben mit ähnlichen Anforderungen an den Tf sinnvoll zusammen. Im Rahmen der in Arbeitsschritt 3 geplanten Simulatorexperimente soll dann die Leistungsfähigkeit eines Sinns der Tf bei der Ausübung einer Standardaufgabe untersucht werden. Da die menschliche Wahrnehmung vor allem die Ausführung von Aufgaben im Zusammenhang mit der Überwachung der Infrastruktur beeinflusst, wurde die Standardaufgabe Monitoring der Infrastruktur für die weitere Untersuchung ausgewählt.

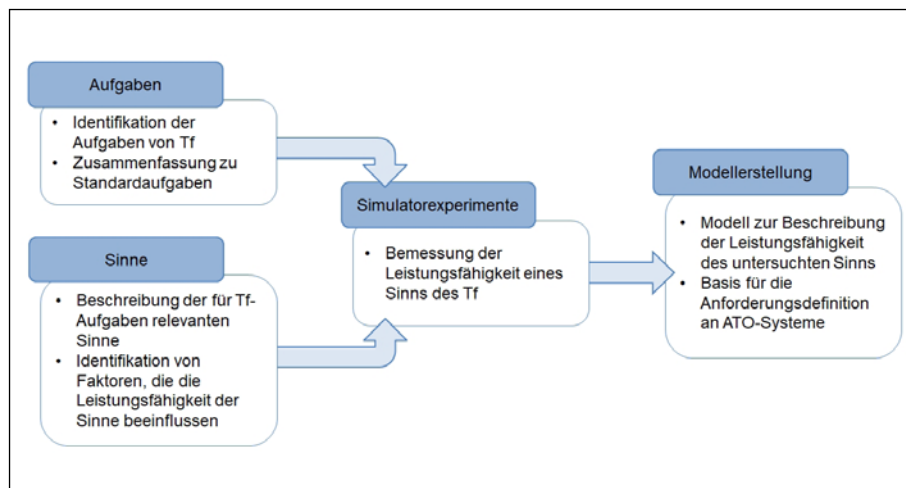


Abb. 1: Vorgehensweise im Projekt ATO-Sense

<sup>a</sup> Der Begriff „Triebfahrzeugführer (Tf)“ bezieht sich auf das Zugpersonal des EVU, für das die DB-Richtlinie 408.21-27 vor allem gilt, und schließt explizit Tf jeden Geschlechts ein.

Standardaufgabe	Beschreibung
Fahren / Geschwindigkeit regeln	Tf ist dafür verantwortlich, den Zug unter Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeiten zu fahren.
Diagnose	Tf muss Auffälligkeiten und Störungen am Zug feststellen und versuchen, die Ursachen zu diagnostizieren.
Kommunikation Reisende	Tf hat gemeinsam mit dem Zugbegleitpersonal die Aufgabe, den Reisenden wichtige Informationen mitzuteilen, z. B. eine gezogene Notbremse, welche überbrückt wurde.
Kommunikation betrieblich	Tf muss Aufgaben der betrieblichen Kommunikation wahrnehmen, z. B. mit Fahrdienstleitern oder den Disponenten des EVU.
Kuppeln	Tf übernimmt Aufgaben im Rahmen der Zugzusammenstellung, z.B. Beidrücken, Aufdrücken.
Instandsetzung	Tf hat die Aufgabe, im Rahmen eigener Möglichkeiten Unregelmäßigkeiten und Störungen am Zug zu beseitigen.
Evakuierung	Tf führt im Notfall gemeinsam mit dem Zugbegleitpersonal die Evakuierung des Zugs durch.
Türschluss	Tf ist dafür verantwortlich, bei Halt des Zugs die Türen freizugeben und zu schließen.
Monitoring Fahrzeug	Tf überwacht die Funktionsweise des Zugs sowie die vom Zug angezeigten Informationen.
Monitoring Infrastruktur	Tf überwacht während der Fahrt die Außenwelt und die Infrastruktur außerhalb des Zugs.

Tab. 1: Übersicht über die im Projekt definierten Standardaufgaben der Tf

### Beschreibung der Sinne von Tf

Im zweiten Arbeitsschritt wurden die Sinne identifiziert und beschrieben, die Tf im Rahmen ihrer Aufgaben einsetzen. Für die Aufgaben der Tf wurden die folgenden Sinne als relevant eingestuft: Sehen (die visuelle Wahrnehmung); Hören (die auditive Wahrnehmung); der aktive Tastsinn und die passive Berührungswahrnehmung (bzw. die haptische und die taktile Wahrnehmung) sowie der Gleichgewichtssinn. Für diese Sinne wurden interne sowie externe Faktoren identifiziert, die die menschliche Leistungsfähigkeit bei der Wahrnehmung beeinflussen. Diese leistungsbeeinflussenden Faktoren werden in der Fachliteratur auch als Performance Shaping Factors (PSF) bezeichnet. Die PSF wurden auf der Basis einer für das Projekt angepassten Taxonomie in drei Kategorien eingeteilt [2]: Eigenschaften des Tf, die auf die visuelle Wahrnehmung wirken; physikalische Eigenschaften eines wahrzunehmenden Reizes sowie betriebliche Randbedingungen, die Auswirkungen auf die menschliche Leistungsfähigkeit der Sinne haben.

### Simulatorexperimente zur Bemessung der Leistungsfähigkeit eines Sinns

Im dritten Arbeitsschritt werden Simulatorexperimente zur Bemessung der Leistungsfähigkeit eines Sinns der Tf geplant und umgesetzt. Um eine möglichst unverfälschte Bemessung

der Leistungsfähigkeit zu ermöglichen, wird zunächst nur ein Sinn der Tf untersucht. Für die ausgewählte Standardaufgabe Monitoring der Infrastruktur ist der am häufigsten benötigte Sinn die visuelle Wahrnehmung. Daher fokussiert sich die Bemessung der menschlichen Leistungsfähigkeit in den Simulatorexperimenten auf das Sehen. Aufgabe der an den Simulatorexperimenten teilnehmenden Tf wird sein, einen Zug im Führerraumsimulator unter bestimmten Betriebsbedingungen zu fahren. Dabei werden den Tf in der Infrastrukturmgebung in unregelmäßigen Abständen visuelle Reize präsentiert. Auf die Wahrnehmung dieser visuellen Reize soll möglichst schnell per Knopfdruck reagiert werden. Die Leistungsfähigkeit des Sehens wird also operationalisiert durch die Reaktionsgeschwindigkeit auf die auftretenden visuellen Reize.

Die Leistungsfähigkeit der menschlichen Wahrnehmung wird zudem situationsabhängig von PSF als Variablen beeinflusst. Im Rahmen der Simulatorexperimente wird demnach auch die Wirkung verschiedener PSF untersucht. Es werden diejenigen PSF herangezogen, die einen starken Einfluss auf die visuelle Wahrnehmung haben und im Rahmen einer Expertenschätzung als für den Bahnbetrieb besonders relevant eingestuft wurden (Tab. 2). Als Eigenschaften des Tf, die auf die visuelle Wahrnehmung wirken, werden das Alter, die

Müdigkeit sowie die Arbeitserfahrung der Tf mit einbezogen. Insbesondere aus einer erhöhten Müdigkeit resultieren Beeinträchtigungen der visuellen Wahrnehmung, zum Beispiel eine Einengung des Gesichtsfelds oder eine Abnahme der Akkomodationsfähigkeit (Fähigkeit des Auges, die Sehschärfe aktiv auf verschiedene Entfernungen anzupassen) [3]. Auch mit zunehmendem Alter nimmt die visuelle Leistungsfähigkeit signifikant ab, einhergehend zum Beispiel mit einer Abnahme der Tagessehschärfe und Einschränkung des räumlichen Sehens bei Blendung, reduziertem Licht oder geringen Kontrasten [4]. Die Arbeitserfahrung beeinflusst vor allem die Blickmuster der Tf. Erfahrene Tf zeigen im Gegensatz zu unerfahrenen Tf effizientere Blickverteilungsmuster und können so besser Informationen in der Umgebung wahrnehmen [5]. Zusätzlich werden zwei betriebliche Randbedingungen, die die visuelle Wahrnehmung beeinflussen, in den Simulatorexperimenten berücksichtigt. In verschiedenen Studien wurde festgestellt, dass die Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Führerraumkabine und Außensicht das Risiko beeinflusst, streckenseitige Informationen zu übersehen, die nicht vom Signalsystem selbst überwacht oder gesteuert werden [6, 7]. Da das Zugbeeinflussungssystem maßgeblich die Aufmerksamkeitsverteilung zwischen Führerraum und Außensicht bestimmt, werden in den

Kategorie	PSF
Eigenschaften des Tf, die auf die visuelle Wahrnehmung wirken	Alter
	Müdigkeit
	Arbeitserfahrung
Betriebliche Randbedingungen, die auf die visuelle Wahrnehmung wirken	Geschwindigkeit
	Zugbeeinflussungssystem
Physikalische Eigenschaften des wahrzunehmenden Reizes	Größe
	Kontrast

Tab. 2: Übersicht über die in den Simulatorexperimenten berücksichtigten PSF

Simulatorexperimenten zwei unterschiedliche Zugbeeinflussungssysteme eingesetzt, deren Bedienung eine unterschiedliche Aufmerksamkeitsverteilung zur Folge hat. Diese Systeme sind die punktförmige Zugbeeinflussung (PZB), bei der die Aufmerksamkeit der Tf hauptsächlich auf der Außensicht liegt und das European Train Control System (ETCS) Level 2 ohne Signale, bei dem die Tf eine Vielzahl von Informationen innerhalb der Führer- raumanzeige wahrnehmen müssen. Auch die gefahrene Geschwindigkeit spielt eine wichtige Rolle bei der visuellen Wahrnehmung. Je höher die eigene Geschwindigkeit ist, desto ferner ist die visuelle Orientierung und desto enger ist das Blickfeld [8, 9]. So werden Informationen, die im näheren Bereich liegen, potenziell schlechter wahrgenommen. Um den Einfluss der Fahrgeschwindigkeit genauer zu untersuchen, werden in den Simulatorexperimenten drei unterschiedliche Fahrgeschwindigkeitsstufen eingesetzt.

Abschließend werden physikalische Eigenschaften des wahrzunehmenden Reizes als PSF in die Simulatorstudie mit einbezogen. Zum einen beeinflusst die Größe eines Reizes die Wahrnehmungsleistung, wobei größere Reize leichter wahrgenommen werden. Daher

werden im Rahmen der Simulatorexperimente Reize mit unterschiedlichen Größen verwendet. Zum anderen beeinflusst der Kontrast die visuelle Wahrnehmung. Kontraste beschreiben den Unterschied zwischen Bereichen hinsichtlich ihrer Helligkeit oder Farbe. Die Größe des Kontrasts zwischen einem Reiz und dem Hintergrund spielt eine wesentliche Rolle bei der Frage, ob und wie gut der Reiz vom Menschen wahrgenommen werden kann [10]. Der Kontrast wird anhand der Sicht- und Wetterbedingungen im Fahrsimulator variiert.

#### Fazit und Ausblick

Dieser Beitrag beschreibt das geplante Vorgehen des Projektes ATO-Sense sowie erste Arbeitsergebnisse. Es wurde zunächst eine funktionale Beschreibung der Aufgaben eines Tf durchgeführt und Standardaufgaben des Tf definiert. Es wurde analysiert, welche Sinne Tf bei diesen Aufgaben einsetzen und welche PSF für die Sinnesleistung des Menschen in der Literatur bekannt sind. Aufbauend auf diesen vorbereitenden Arbeiten wurden Simulatorexperimente geplant, die eine genauere Bemessung der Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf erlauben sollen. In der nächsten Phase des

Projekts werden die geplanten Simulatorexperimente durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulatorexperimente werden Aussagen über die Reaktionsfähigkeit von Tf auf visuelle Reize erlauben, insbesondere auch unter unterschiedlichen leistungsbeeinflussenden Randbedingungen. So wird es möglich sein, die Bandbreite der Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf darzustellen – und damit auch die Frage zu beantworten, wie schnell Tf visuelle Informationen wahrnehmen können. Die erarbeiteten Ergebnisse werden im finalen Arbeitsschritt des Projekts abschließend in einem Modell eingesetzt, welches die Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung der Tf beschreibt und das anschließend für die Anforderungsdefinition an technische Funktionen des automatisierten Fahrens herangezogen werden kann.

Um einen breiten Einsatz von ATO zu ermöglichen, sind jedoch über die Ergebnisse des Projekts ATO-Sense hinaus noch einige Entwicklungen erforderlich, besonders in Bezug auf Fragestellungen rund um die technische Entwicklung der Systeme, den Sicherheitsnachweis und die Zulassung, die gesellschaftliche Akzeptanz und die europäische Harmonisierung.



**Unsere  
Klebebänder gehen  
für Sie durchs Feuer**

Flammhemmende und halogenfreie Klebebänder für die Schienenfahrzeugindustrie

**tesa®**



z. B. Versteifungselemente



z. B. Spiegelverklebung



z. B. Deckenverkleidungen

- Großes doppelseitiges Klebeband-Sortiment für unterschiedlichste Brandschutzanwendungen in der Schienenfahrzeugindustrie
- Getestet und zertifiziert: Alle Produkte erfüllen die gängigen flammenhemmenden Normen (UL94 & FMVSS 302)
- Halogenfrei für weniger Rauchentwicklung
- Hervorragende Klebeigenschaften auf unterschiedlichen Oberflächen
- tesa® flameXtinct 45001 als weltweit einzigartiges Produkt

Erhalten Sie kostenlose Muster und mehr Informationen.



QR-Code  
scannen  
für mehr Infos



tesa.de

## QUELLEN

- [1] DB Netz AG Richtlinie 408.21-27. Neuherausgabe Richtlinie 408 – Fahrdienstvorschrift
- [2] Swain, A.; Guttman, HE.: Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Final report. doi:10.2172/5752058, NUREG/CR-1278: US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, 1983
- [3] Schlag, B.; Petermann, I.; Schulze, C. et al. (eds): Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit?: Zur Wirkung verbesserter Licht- und Sichtbedingungen auf das Fahrerverhalten. 1. Aufl. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, 2009
- [4] Haegerstrom-Portnoy, G.; Schneck, M.; Brabyn, J.: Seeing into old age: vision function beyond acuity. *Optom Vis Sci* 1999; 76: 141–158
- [5] Horiguchi, Y.; Sawaragi, T.; Nakanishi, H. et al.: Comparison of Train Drivers' Eye-Gaze Movement Patterns Using Sequence Alignment. *SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration* 2015; 8: pp. 114–121
- [6] Brandenburger, N.; Naumann, A.; Jipp, M.: Task-induced fatigue when implementing high grades of railway automation. *Cogn Tech Work* 2019
- [7] Naghiyev, A.; Sharples, S.; Carey, M. et al.: ERTMS train driving-incab vs. outside. In: Sharples, S.; Shorrock, S. (eds) *Contemporary Ergonomics and Human Factors 2014*: Taylor & Francis, 2014, pp. 343–350
- [8] OECD / ECMT. *Speed Management*, 2006
- [9] Weller, G.; Schlag, B.; Gatti, G. et al.: *Human Factors in Road Design: State of the art and empirical evidence Report RITUD-WP8-R1-V5-Human-Factors*, 2006
- [10] Becker-Carus, C.; Wendt, M.: *Allgemeine Psychologie: Eine Einführung*. Berlin: Springer, 2016



**M.Sc. Birte Thomas-Friedrich**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Deutsches Zentrum für Luft- und  
Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig  
birte.thomas@dlr.de



**Dipl.-Ing. Baris Cogan**  
Wissenschaftlicher Mitarbeiter  
Fachgebiet Bahnbetrieb  
und Infrastruktur  
Technische Universität Berlin, Berlin  
baris.cogan@tu-berlin.de



**Dr. Anja Naumann**  
Wissenschaftliche Mitarbeiterin  
Institut für Verkehrssystemtechnik  
Deutsches Zentrum für Luft-  
und Raumfahrt e.V. (DLR), Berlin  
anja.naumann@dlr.de



**Prof. Dr. Birgit Milius**  
Fachgebietsleiterin  
Bahnbetrieb und Infrastruktur  
Institut für Land- und Seeverkehr  
Technischen Universität Berlin, Berlin  
birgit.milius@tu-berlin.de



**Dr. Dirk Leinhos**  
Leiter Perzeptionslabor  
DB Systemtechnik, Minden  
dirk.leinhos@deutschebahn.com



**Dipl.-Ing. Pavel Klasek**  
Referent Automatisierung  
Deutsches Zentrum für Schienen-  
verkehrsforschung beim Eisenbahn-  
Bundesamt, Bonn  
klasekp@dzsf.bund.de

**27. Juni 2023**  
**Hamburg**

**SAVE  
THE  
DATE!**

**6. EURAILPRESS-FORUM**

**ALTERNATIVE  
ANTRIEBE** im SPNV

Weitere Informationen demnächst unter:  
**[www.eurailpress.de/veranstaltungen](http://www.eurailpress.de/veranstaltungen)**

In Kooperation mit:



Veranstalter:



Medienpartner:

