

Menschliche Wahrnehmung als Maßstab für zukünftige ATO-Systeme

Erste Ergebnisse der Studien im Projekt ATO-Sense zur Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Triebfahrzeugführern

**BIRTE THOMAS-FRIEDRICH |
ESTHER BOSCH | BARIS COGAN |
HELENA WASLE | ANJA NAUMANN**

Ziel des Projekts ATO-Sense ist die Entwicklung eines Ansatzes für die Definition von Anforderungen an ein technisches ATO-System auf Grundlage der Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Triebfahrzeugführern (Tf). In zwei Simulator- und einer Onlinestudie wurde diese Leistungsfähigkeit untersucht. Verschiedene leistungsbeeinflussende Faktoren für die visuelle Wahrnehmung wurden variiert. Einen besonders großen Einfluss hatten dabei die Größe und der Kontrast eines wahrzunehmenden Reizes sowie die Fahrgeschwindigkeit. In allen drei Studien zeigten sich weitestgehend ähnliche Effekte, was für die Übertragbarkeit der Ergebnisse spricht. Insgesamt bieten die Studien eine Grundlage für eine weiterführende Diskussion.

Eine der Herausforderungen bei der Einführung des automatisierten Fahrens im Bahnbereich (Automatic Train Operation, ATO) ist die Definition von Anforderungen an die

Leistungsfähigkeit des technischen Systems. Dies trifft insbesondere für Funktionen zu, die klassischerweise von Triebfahrzeugführern¹ (Tf) ausgeführt und zukünftig vom ATO-System übernommen werden sollen. Ein Ansatz für die Definition von Anforderungen an das technische System ist die Bewertung der Leistungsfähigkeit der Tf bei der Ausführung dieser Aufgaben. Die Leistungsfähigkeit der Tf kann dann als Maßstab herangezogen werden. Im Rahmen des Projektes „Funktionale Anforderungen an Sensorik und Logik einer ATO-Einheit (ATO-Sense)“ wird dieser Ansatz verfolgt. Aufbauend auf einer Definition von Standardaufgaben von Tf wurden die Sinne abgeleitet, die Tf bei der Ausführung ihrer Aufgaben einsetzen. Als zentral notwendigen Sinn lag der weitere Fokus des Projekts dann auf der visuellen Wahrnehmung (für eine genauere Beschreibung der ersten Arbeitsschritte siehe [1]). Im Rahmen von drei am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.(DLR) und der Technischen Uni-

¹ Der Begriff „Triebfahrzeugführer (Tf)“ bezieht sich auf das Zuggesamte des Eisenbahnverkehrsunternehmens, für das die DB-Richtlinie 408.21-27 vor allem gilt, und schließt explizit Tf jeden Geschlechts ein.

versität (TU) Berlin durchgeführten Studien wurden jetzt ausgewählte Aspekte der Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf untersucht. Dieser Fachbeitrag gibt einen Überblick über die ersten Ergebnisse der Studien. Für eine detaillierte Darstellung der gesamten Projektergebnisse wird auf den demnächst beim Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) erscheinenden Abschlussbericht verwiesen.

Das Projekt ATO-Sense ist in eine vom DZSF beauftragte Projektfamilie zum Thema ATO eingebettet, die den Themenkomplex ATO aus verschiedenen Perspektiven untersucht. ATO-Sense wird vom Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur der TU Berlin (BBI), dem Institut für Verkehrssystemtechnik des DLR, Siemens Mobility GmbH und DB Systemtechnik GmbH bearbeitet.

Einflussfaktoren auf die visuelle Wahrnehmung von Tf

Um ein möglichst umfassendes Bild der Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf zu erhalten, wurden in einer Literaturrecherche Einflussfaktoren auf die Leistungsfähigkeit identifiziert [1]. Die als besonders relevant eingeschätzten Einflussfaktoren wurden in den Studien variiert. Dabei können die



Abb. 1: Simulationsumgebung der TU Berlin (Sim1)

Einflussfaktoren die visuelle Wahrnehmung begünstigen oder diese erschweren, was es erlaubt, die Bandbreite der Leistungsfähigkeit abzuschätzen. Wichtige Einflussfaktoren sind die Größe und der Kontrast wahrzunehmender Objekte. Größere Gegenstände und solche mit einem stärkeren Kontrast zum Hintergrund werden schneller wahrgenommen [2]. Zudem beeinflusst die Fahrgeschwindigkeit die visuelle Wahrnehmung, da sie das Blickverhalten verändert. Bei höheren Geschwindigkeiten wird der Blick stärker in Fahrtrichtung und in die Ferne fixiert, und es treten mehr vertikale Blickbewegungen auf [3, 4]. Durch die stärkere Konzentration des Blicks geradeaus wird erwartet, dass Gegenstände im näheren Gleisbereich bei höheren Geschwindigkeiten schneller wahrgenommen werden.

Auch das Zugbeeinflussungssystem beeinflusst die visuelle Wahrnehmung. Studien zeigen, dass Tf, die ein punktförmiges Zugbeeinflussungssystem (PZB) verwenden, weniger Aufmerksamkeit auf die Beobachtung der Gleise und mehr Aufmerksamkeit auf den Führerraum richten als Tf, die ohne Zugbeeinflussungssystem fahren [5, 6]. Ähnliche Ergebnisse wurden im Vergleich zwischen der Fahrt mit dem European Train Control System (ETCS) und der Fahrt ohne Zugbeeinflussungssystem gefunden [7, 8]. Durch die verringerte Aufmerksamkeit auf den Gleisbereich beim Einsatz von PZB oder ETCS wird erwartet, dass die Wahrnehmung von Gegenständen im Gleis später erfolgt als beim Fahren ohne Zugbeeinflussung. Vergleicht man die Aufmerksamkeitsverteilung bei PZB und ETCS mit Führerraumsignalisierung, lässt sich vermuten, dass Gegenstände bei der Fahrt mit PZB schneller wahrgenommen werden als bei ETCS, da bei ETCS die Aufmerksamkeit des Tf noch stärker auf den Bedienelementen liegt als bei der Fahrt mit PZB [9, 10]. Betrachtet man abschließend das Fahren auf Sicht (FaS), so lässt sich vermuten, dass dabei durch den starken Aufmerksamkeitsfokus auf die Gleisbeobachtung die visuelle Wahrnehmung von Gegenständen im Gleis am schnellsten möglich ist.

Aufbau der Studien

Es wurden zwei Studien in unterschiedlichen Triebfahrzeugsimulatoren mit ausgebildeten Tf als Teilnehmende durchgeführt (Simulatorstudie 1: Sim1 = Simulator der TU Berlin; Simulatorstudie 2: Sim2 = Simulator



Abb. 2: Simulationsumgebung des DLR (RailSet; Sim2)

des DLR). Es wurden zwei Simulatoren eingesetzt, um die Validität der Ergebnisse zu erhöhen. Werden bei unterschiedlichen Simulationsbedingungen in zwei Simulatoren ähnliche Ergebnisse erzielt, deutet dies auf eine höhere Belastbarkeit der Ergebnisse hin. Zudem wurde eine Onlinestudie unter Teilnahme von Laien ohne Tf-Ausbildung durchgeführt, um die Stichprobengröße zu erhöhen und die Ergebnisse der Simulatorstudien weiter zu bestätigen.

Die Aufgabe der Tf in den Simulatorstudien war es, einen Zug zu fahren und dabei in unregelmäßigen Abständen mit einem Druck auf das Makrofon auf stationäre visuelle Stimuli in Form von Würfeln zu reagieren. In Sim1 wurden diese Würfel mit einem maximalen Abstand von 3 m rechts oder links von den Gleisen im zentralen Sichtfeld der Tf platziert. Die Würfel in Sim2 waren in der Mitte der Gleise platziert und bewegten sich kurz vor dem Passieren des Würfels neben die Gleise, um zu vermeiden, dass Tf durch den Würfel hindurchfahren mussten. In beiden Studien erschienen die Würfel, wenn sich der Zug in einer Entfernung von 800 m vor der vorgesehenen Position eines Würfels befand. In der Onlinestudie sahen die Teilnehmenden Videos, die im Simulator des DLR aus der Perspektive des Tf während der Annäherung an die Würfel aufgezeichnet wurden. Die Teilnehmenden sollten mit einem Druck auf die Entertaste reagieren, sobald sie den Würfel wahrnahmen.

Simulationsumgebung Sim1

Sim1 wurde in einem Fahrsimulator der TU Berlin durchgeführt (Abb. 1). Das Führerpult des Simulators entspricht den Anforderungen des European Driver's Desk (EUDD). Der Führerstand enthält Bestandteile wie z.B. den Fahrshalter Bauart Gessmann TBC 01, welcher z.B. bei den Triebfahrzeugen (Tfz) der Siemens Vectron Plattform verwendet wird. Alle relevanten technischen sowie betrieblich notwendigen Anzeigen wurden über mehrere Touchdisplays dargestellt. Der Fahrsimulator wurde mit der Software „Zusi 3 Professional“ (Zusi Bahnsimulatoren, Braunschweig, Deutschland) betrieben. Die Software bietet verschiedene Streckenmodule und realistische Betriebsregeln sowie Fahrphysik. Die Darstellung erfolgte auf einem modernen UHD-Bildschirm der Größe 32-Zoll.

Simulationsumgebung Sim2

Sim2 wurde im Triebfahrzeugsimulator RailSET (Railway Simulation Environment for Train Drivers and Operators [11]) des Instituts für Verkehrssystemtechnik des DLR durchgeführt. Der Simulator wurde mithilfe eines Original-Führerpults eines Tfz bedient (Abb. 2). Die Simulationsumgebung basierte auf der Software VIRES (VIRES Simulationstechnologie GmbH, Bad Aibling, Deutschland). Ein Videoprojektor zeigte die Sicht nach vorne, während die seitliche Sicht auf Bildschirmen angezeigt wurde. Ein Audiosystem in der Kabine lieferte Umgebungsgeräusche, die dem Innenraum eines echten Tfz nachempfunden sind.



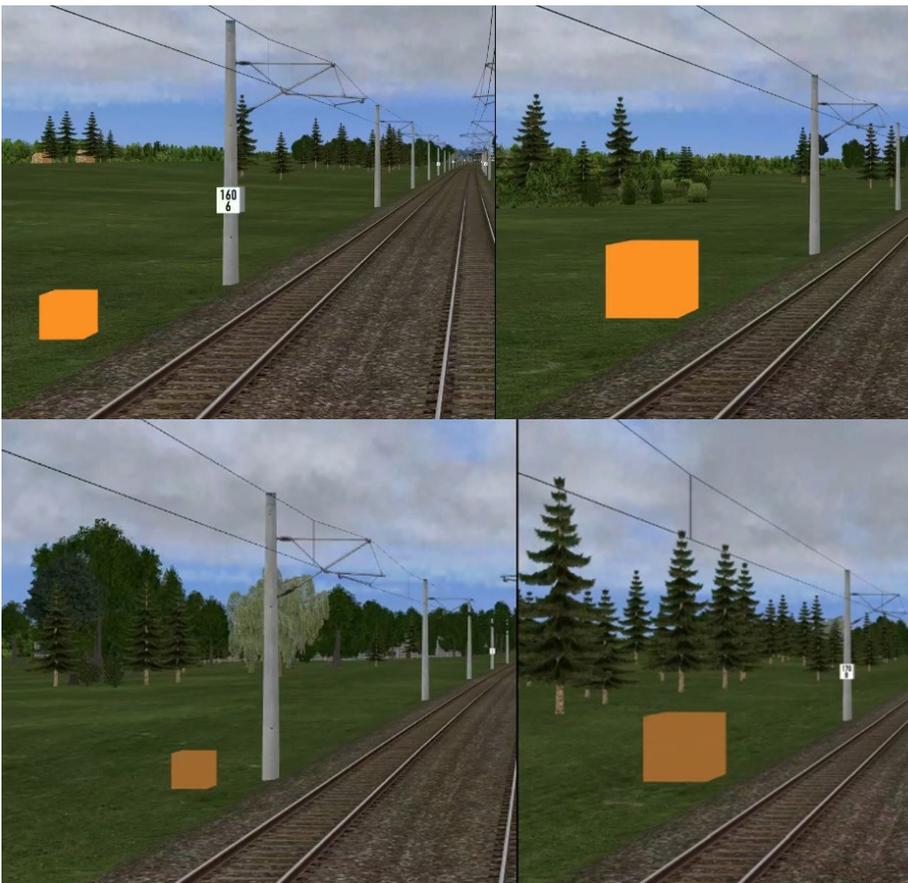


Abb. 3: Beispielhafte Screenshots der präsentierten Würfel

Umsetzung der Einflussfaktoren auf die visuelle Wahrnehmung in den Studien

Als Einflussfaktoren auf die visuelle Wahrnehmung wurden die folgenden Faktoren variiert:

- die Größe der Würfel (Klein: Kantenlänge 90 cm; Groß: Kantenlänge 180 cm) (Abb. 3)

- über die Farbgebung des Würfels der Kontrast zum Hintergrund (Kontrastarm: Orange-braun, HEX-Code #9d6830; Kontrastreich: Hellorange, HEX-Code #f18e2a)
- die gefahrene Geschwindigkeit (40 km/h; 100 km/h; 160 km/h) sowie

- das Zugbeeinflussungssystem (ohne Zugbeeinflussung (FaS); PZB; ETCS Level 2 ohne Signale).

Es wurden in den Studien jedoch nicht alle möglichen Kombinationen der Ausprägungen der Einflussfaktoren umgesetzt, da diese nicht alle plausibel wären (z.B. 100 km/h bei FaS). Durch die sinnvolle Kombination der Einflussfaktoren ergaben sich die Experimentalbedingungen wie dargestellt in Tab. 1. Die Unterschiede der Bedingungen zwischen den Simulatorstudien sind durch die Randbedingungen des Simulatoreaufbaus entstanden. Im Rahmen der Onlinestudie wurde FaS nicht umgesetzt. Die Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung wurde in allen Studien durch die Reaktionszeit bis zum Tastendruck nach Erscheinen des Würfels erfasst.

Stichproben

An Sim1 nahmen 18 Tf mit im Schnitt 7,3 Jahren Berufserfahrung teil. Die Teilnehmenden waren im Schnitt 33,4 Jahre alt. An Sim2 nahmen 25 Tf mit im Schnitt 9,9 Jahren Berufserfahrung teil. Die Teilnehmenden waren im Schnitt 33,7 Jahre alt. An der Onlinestudie nahmen 70 Nicht-Tf teil, die im Schnitt 32 Jahre alt waren.

Ergebnisse

Die geometrischen Mittelwerte der Reaktionszeiten sind für jede der Studien in Tab. 2 getrennt nach Bedingungen aufgeführt. In Bezug auf die Extreme ließen sich die folgenden Reaktionszeiten feststellen (die entsprechenden Bedingungen sind in Klammern dargestellt):

- Längste Reaktionszeiten:
 - Sim1: 13,44 Sekunden (FaS, 40 km/h, kleiner, kontrastarmer Würfel)
 - Sim2: 15,73 Sekunden (PZB, 40 km/h, kleiner, kontrastarmer Würfel)

	40 km/h		100 km/h		160 km/h	
FaS (ohne Zugbeeinflussung) (Sim1)	Kontrastreich	Groß				
		Klein				
	Kontrastarm	Groß				
		Klein				
FaS (ohne Zugbeeinflussung) (Sim2)	Kontrastreich	Groß				
	Kontrastarm	Groß				
PZB (beide Sim + Online)	Kontrastreich	Groß	Kontrastreich	Groß		
		Klein		Klein		
	Kontrastarm	Groß	Kontrastarm	Groß		
		Klein		Klein		
ETCS (Sim1)			Kontrastreich	Klein	Kontrastreich	Klein
				Groß		
			Kontrastreich	Groß	Kontrastreich	Groß
				Klein		
ETCS (Sim2 + Online)			Kontrastreich	Groß	Kontrastreich	Groß
				Klein		
			Kontrastarm	Groß	Kontrastarm	Groß
				Klein		

Tab. 1: Experimentalbedingungen der drei Studien

	40 km/h			100 km/h			160 km/h		
FaS (ohne Zugbeeinflussung) (Sim1)	Kontrastreich	Groß	6,35						
		Klein	9,92						
	Kontrastarm	Groß	7,25						
		Klein	13,44						
FaS (ohne Zugbeeinflussung) (Sim2)	Kontrastreich	Groß	1,42						
	Kontrastarm	Groß	1,51						
PZB (Sim1; Sim2; Online)	Kontrastreich	Groß	7,02; 2,90; 1,73	Kontrastreich	Groß	5,99; 1,33; 1,43			
		Klein	10,80; 12,68; 3,89		Klein	5,79; 3,18; 4,12			
	Kontrastarm	Groß	8,51; 6,42; 4,73	Kontrastarm	Groß	6,80; 1,56; 3,57			
		Klein	11,05; 15,73; 7,70		Klein	8,07; 4,95; 4,81			
ETCS (Sim1)				Kontrastreich	Klein	5,17	Kontrastreich	Klein	4,60
				Kontrastreich	Groß	3,41	Kontrastarm	Klein	4,78
ETCS (Sim2; Online)				Kontrastreich	Groß	1,45; 1,67	Kontrastreich	Groß	1,18; 1,28
					Klein	4,81; 7,18		Klein	2,31; 4,53
ETCS (Sim2; Online)				Kontrastarm	Groß	1,50; 1,81	Kontrastarm	Groß	1,53; 1,27
					Klein	5,94; 1,48		Klein	2,32; 2,21

Tab. 2: Geometrische Mittelwerte der Reaktionszeiten in Sekunden für jede der Bedingungen der drei Studien

- Online: 7,7 Sekunden (PZB, 40 km/h, kleiner, kontrastarmer Würfel)
- Kürzeste Reaktionszeiten:
 - Sim1: 3,41 Sekunden (ETCS, 160 km/h, großer, kontrastarmer Würfel)
 - Sim2: 1,18 Sekunden (ETCS, 160 km/h, großer, kontrastreicher Würfel)
 - Online: 1,27 Sekunden (ETCS, 160 km/h, großer, kontrastarmer Würfel).

Es wird deutlich, dass die kürzesten Reaktionszeiten bei der Präsentation von großen Würfeln erreicht wurden, die längsten Zeiten bei der Präsentation von kleinen Würfeln. Ebenso waren die Würfel bei den längsten Reaktionszeiten alle kontrastarm, obwohl sich in Bezug auf den Kontrast bei den kürzesten Reaktionszeiten ein gemischtes Bild zeigt. Alle kürzesten erreichten Reaktionszeiten traten bei Bedingungen auf, in denen unter ETCS mit der Geschwindigkeit 160 km/h gefahren wurde, alle längsten Zeiten bei der Geschwindigkeit 40 km/h und FaS oder PZB.

Die erhobenen Daten wurden mit einem linearen Regressionsmodell analysiert. Mittels einer Regression kann untersucht werden, wie sich die Werte einer Variablen durch die Ausprägungen verschiedener Faktoren vorhersagen lassen. Mit anderen Worten wurde überprüft, wie gut man die Reaktionszeit anhand der Einflussfaktoren auf die

visuelle Wahrnehmung statistisch vorhersagen kann. Dabei wurde in allen drei Studien festgestellt, dass die untersuchten Faktoren Größe und Kontrast einen signifikanten

Einfluss auf die Reaktionszeit hatten. Große und kontrastreiche Würfel wurden schneller wahrgenommen als kleine, kontrastarme. In Sim2 sowie der Onlinestudie beeinflusste

InnoTrans 2024
24. – 27. SEPTEMBER · BERLIN
Internationale Fachmesse für Verkehrstechnik

YOUR. FUTURE.

Registrieren Sie sich jetzt für einen Stand im RecruitingLAB
Anmeldeschluss: 16. Februar 2024

Mehr Informationen auf innotrans.de/campus

Messe Berlin

auch die Fahrgeschwindigkeit die Reaktionszeit wie erwartet: Bei schnelleren Geschwindigkeiten wurden die Würfel schneller wahrgenommen. Auch in Sim1 ließ sich dieser Unterschied zwischen der Fahrt bei 40 km/h und 100 km/h zeigen, die Reaktionszeiten zwischen 100 km/h und 160 km/h unterschieden sich jedoch nicht signifikant. Ein möglicher Grund dafür könnte das Experimentaldesign in Sim1 sein, da in der Bedingung bei 160 km/h keine großen Würfel gezeigt werden konnten. Dies erhöht die Reaktionszeiten im Durchschnitt. Der Einfluss des Zugbeeinflussungssystems war zwischen den drei Studien unterschiedlich. In Sim2 waren die Reaktionszeiten signifikant länger, wenn mit Zugbeeinflussungssystem gefahren wurde. Dieser Unterschied zwischen FaS und Fahren mit Zugbeeinflussungssystem konnte in Sim1 nicht gezeigt werden, was wahrscheinlich der hohen Streuung der Daten in der Bedingung FaS geschuldet war. Ein signifikanter Unterschied zwischen PZB und ETCS im Hinblick auf die Reaktionszeit ließ sich in Sim1 und der Onlinestudie zeigen. Detaillierte Analysen zeigten jedoch, dass der Unterschied in der Reaktionszeit zwischen PZB und ETCS in Sim1 bei einem direkten Vergleich bei 100 km/h nicht signifikant wurde. Dies deutet darauf hin, dass der Unterschied zwischen ETCS und PZB in Sim1 auf die unterschiedlichen Geschwindigkeiten zurückzuführen ist und nicht auf das Zugbeeinflussungssystem.

Diskussion und Ausblick

Zusammenfassend wurde in drei Studien untersucht, in welchem Bereich sich die Leistungsfähigkeit der menschlichen visuellen Wahrnehmung bewegt, gemessen über die Reaktionszeit auf einen visuellen Reiz. Die erhobenen Daten zeigten ein breites Spektrum der Reaktionszeiten mit Mittelwerten zwischen 15,73 und 1,18 Sekunden, je nach Ausprägung der Einflussfaktoren auf die visuelle Wahrnehmung. Besonderen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung haben wie erwartet die Größe und der Kontrast des wahrzunehmenden Reizes sowie die Fahrgeschwindigkeit. Anders als erwartet, ließ sich in den Simulatorstudien jedoch kein Unterschied in den Reaktionszeiten zwischen PZB und ETCS zeigen. Eine Erklärung bietet das Experimentaldesign: Die Tf wussten, dass sie auf einen Würfel in der Umgebung reagieren sollten. Dies kann die Blickverteilung zugunsten der Umgebung beeinflusst haben. Obwohl in der Onlinestudie die Beobachtungsaufgabe unabhängig von PZB und ETCS gleich war, ließ sich dort ein Unterschied in den Reaktionszeiten finden. Dieser ist vermutlich durch die visuell interessantere PZB-Strecke verursacht, die zu mehr visueller Exploration einlud.

Vergleicht man die Ergebnisse der drei Studien miteinander, so sind die Effekte in der Re-

gressionsanalyse in den drei Studien für die meisten variierten Einflussfaktoren gleich. Unterschiedliche Effekte lassen sich lediglich beim Faktor Zugbeeinflussungssystem feststellen. Dabei sind die Reaktionszeiten beim FaS in Sim2 deutlich kürzer als bei Sim1. Es sollte folglich in der Zukunft analysiert werden, inwiefern sich die Bedingungen beim FaS in den beiden Simulatoren unterscheiden. Insgesamt sind die Reaktionszeiten in Sim1 tendenziell länger als in Sim2. Dies kann durch die etwas kleinere Darstellung der Simulation auf einem Monitor (Sim1) im Vergleich zu der Darstellung mit einem Videoprojektor (Sim2) hervorgerufen worden sein. Die variierten Einflussfaktoren (außer FaS) beeinflussten die Reaktionszeiten aber in beiden Simulatorstudien auf die gleiche Weise. Die noch kürzeren Reaktionszeiten bei der Onlinestudie lassen sich durch die fehlende Aufgabe des Zugfahrens erklären – in der Onlinestudie mussten die Teilnehmenden nur das Video anschauen, ohne weitere Nebenaufgaben.

Wichtig bei der Interpretation der Ergebnisse ist die Einschränkung, dass die Studien zwar in hochentwickelten Simulationsumgebungen durchgeführt wurden, diese aber die reale Erfahrung beim Fahren eines Zugs nicht vollständig nachbilden. Die Arbeit von Tf ist hochkomplex, und die visuelle Überwachung des Bereichs entlang der Gleise wird durch ein kompliziertes Zusammenspiel von Faktoren beeinflusst, die in den Studien nicht alle berücksichtigt werden konnten. Dennoch erlauben die Ergebnisse der Studien erste Aussagen über die Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf. Es wurde durch den Einbezug verschiedener leistungsbeeinflussender Faktoren ein Bereich aufgespannt, in dem sich die menschliche Leistungsfähigkeit bewegen könnte. Im finalen Arbeitsschritt des Projekts wird auf Basis der erhobenen Daten ein Modell entwickelt, welches die Leistungsfähigkeit der visuellen Wahrnehmung von Tf beschreibt und vorhersagen kann. Dieses Modell ist ein erster Schritt in der Anforderungsdefinition an technische Funktionen des automatisierten Fahrens. ■

QUELLEN

- [1] Thomas-Friedrich, B.; Cogan, B.; Naumann, A.; Milius, B.; Leinhos, D.; Klasek, P.: Wie schnell können Triebfahrzeugführer Informationen wahrnehmen? *EI - DER EISENBAHNINGENIEUR* 12/2022 S. 45-48
- [2] Becker-Carus, C.; Wendt, M.: *Allgemeine Psychologie: Eine Einführung*. Berlin: Springer, 2016
- [3] Suzuki, D.; Yamauchi, K.; Matsuura, S. (2019): Effective Visual Behavior of Railway Drivers for Recognition of Extraordinary Events. *Quarterly Report of RTRI* (60) 4/2019, S. 286-291
- [4] Weller, G.; Schlag, B.; Gatti, G.; Jorna, R.; van de Leur, M. (2006): Human Factors in Road Design: State of the art and empirical evidence. Report RITUD-WPB-R1-V5-Human-Factors, RIPCORDER-ISEREST (Contract no. 50 6184)
- [5] Giesemann, S.; Naumann, A.: *Zugsicherungssysteme - Assistenz für Triebfahrzeugführer? Kognitive Systeme*, 2015/1
- [6] Naumann, A.; Wörle, J.; Dietsch, S.: The effect of train protection systems on train drivers' visual attention. Poster at the HFES Europe chapter annual meeting, 2016

[7] Naghiyev, A.; Sharples, S.; Carey, M.; Coplestone, A.; Ryan, B.: ERTMS Train Driving - In cab vs. Outside: An Explorative Eye-Tracking Field Study. *Proceedings of the International Conference on Ergonomics & Human Factors* 2014, S. 343

[8] Hely, M.; Shardlow, T.; Butt, B.; Friswell, R.; McIntosh, A.; Williamson, A.: Effects of automatic train protection on human factors and driving behaviour. *Proceedings of the 19th Triennial Congress of the IEA* (Vol. 9), 14/2015

[9] Brandenburger, N.; Stamer, M.; Naumann, A.: Comparing different types of the track side view in high speed train driving. *Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings* 2016, Prag

[10] Van der Weide, R.; De Bruijn, D.; Zeilstra, M. (2017): ERTMS pilot in the Netherlands – impact on the train driver. *Proceedings of the International Human Factors Rail Conference*, London, UK

[11] Johne, M.; Busse, M. (2016): RailSiTe (Rail Simulation and Testing). *Journal of large-scale research facilities JLSRF*, 2, A88-A88



Birte Thomas-Friedrich, M.Sc.

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



Esther Bosch, M.Sc.

Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Institut für Verkehrssystemtechnik
Deutsches Zentrum für Luft- und
Raumfahrt e.V. (DLR), Braunschweig
esther.bosch@dlr.de



Baris Cogan, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur
Technische Universität Berlin
baris.cogan@tu-berlin.de



Helena Wasle, M.Sc.

Absolventin des Studiengangs
Master of Science Human Factors
Technische Universität Berlin
helena@wasle.org



Dr. Anja Naumann

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