

Auswirkungen der Digitalisierung des Bahnbetriebs aus der Perspektive des Triebfahrzeugführers

Stoll, Fabian¹, Nelles, Jochen², Nießen, Nils¹ und Brandl, Christopher²

¹Verkehrswissenschaftliches Institut (VIA), RWTH Aachen

²Institut für Arbeitswissenschaft (IAW), RWTH Aachen

Zusammenfassung

Ziel eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) ist es, den Stand der Forschung und Entwicklung digitaler Bahntechnologien mit dem Triebfahrzeugführer (Tf) als Hauptanwender aufzuzeigen sowie die digitalen Arbeitsmittel im derzeitigen Berufsalltag von Tf zu beschreiben. Die Recherchen bilden die Ausgangslage für die arbeitswissenschaftliche Beurteilung der ergonomischen Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen, von Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung und Aspekten der Gebrauchstauglichkeit mobiler Arbeitsmittel. Die Forschungsergebnisse lassen im Fall stationärer Führerraumanzeigen eine eingeschränkte Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit erkennen, während Tablet- und Smartphone-Anzeigen häufig nicht in ergonomischer Weise auf die Seh- und Greifräume des Bedienpersonals abgestimmt wurden. Auf Grundlage dieser Erkenntnisse wird eine Erweiterung des europäischen Einheitsführerpults sowie eine ergonomisch optimierte Einbindung mobiler Endgeräte in den Führerraum empfohlen.

Keywords: Eisenbahnbetrieb; Digitalisierung; Triebfahrzeugführer; Führerraum; Ergonomische Gestaltung; Tablet-Anwendung; Fahrerassistenzsystem

1 Einleitung

Im Eisenbahnwesen zeichnet sich, übergreifend über die Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU), ein Trend zur Digitalisierung von Betriebsprozessen ab. Ziel eines Forschungsvorhabens im Auftrag des Eisenbahn-Bundesamtes (EBA) ist es, den Stand der Forschung und Entwicklung digitaler Bahntechnologien mit dem Triebfahrzeugführer (Tf) als

Hauptanwender aufzuzeigen. Ein weiteres Ziel ist die Beschreibung digitaler Arbeitsmittel im derzeitigen Berufsalltag von Tf. Die Recherchen bilden die Ausgangslage für eine arbeitswissenschaftliche Beurteilung. Diese umfasst u. a. die Aspekte ergonomische Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen, Auswirkungen digitaler Arbeitsmittel auf die Fahrleistung und Aspekte der Gebrauchstauglichkeit mobiler Arbeitsmittel. Im Fokus der Betrachtungen steht dabei die Integration von Tablet-Anwendungen im Führerraum.

2 Potenziale digitaler Technologien für den Triebfahrzeugführer

Zur Erfassung digitaler Führerraum-Anwendungen und von Potenzialen zukünftiger digitaler Anwendungen des Tf wurden literaturbasierte Recherchen sowie Expertengespräche durchgeführt. Darüber hinaus dienen Triebfahrzeug-Mitfahrten im Personen- und Güterverkehr der Analyse des Standes der Technik.

2.1 Einführung mobiler Endgeräte

Zur Gewährleistung eines sicheren, pünktlichen und wirtschaftlichen Bahnbetriebs sind vom Tf neben Fahrplänen, Geschwindigkeitsvorgaben und dem tagesaktuellen Verzeichnis der Langsamfahrstellen (Tages-La) umfangreiche bahnbetriebliche Regelwerke zu beachten. Abweichungen vom Regelbetrieb werden durch das Ausfüllen und Quittieren von Vordrucken abgesichert, z. B. mithilfe von Befehlsvordrucken oder Fahrplanmitteilungen. Die Digitalisierung einzelner Papierdokumente hat dazu geführt, dass EVU dazu übergegangen sind, Personal mit Tablet-Geräten und Smartphones auszustatten. Europäische Pioniere auf diesem Gebiet waren im Jahr 2013 die Schweizerischen Bundesbahnen (SBB), die für das Betriebspersonal Tablets sowie die darauf installierte Applikation „Lokpersonal Electronic Assistant“ (LEA) ausrollten [1].

In Deutschland betreibt das Unternehmen DB Fernverkehr AG seit 2015 die Einführung mobiler Endgeräte für die Tf-Anwendung [2]. Im Fokus steht dabei insbesondere die Vorkhaltung der Tages-La und weiterer relevanter Informationen außerhalb des Elektronischen Buchfahrplans und Langsamfahrstellen (EBuLa), z. B. Regelwerke, Weisungen und Fahrplanunterlagen. Das Rollout der digitalen La wurde durch eine im selben Zeitraum vorgenommene Software-Entwicklung „Rail in Motion“ (RiM) der DB-Tochtergesellschaft Systel begünstigt. Die DB-intern erzielten Positiverfahrungen einer digitalen La führten dazu, dass die DB Netz AG die Verteilung der gedruckten La zum Fahrplanwechsel Dezember 2017 einstellt hat. Infolgedessen gingen nichtbundeseigene EVU (NE-Bahnen) ebenfalls dazu über, Tf mit Tablets auszustatten. Inzwischen verfügen Tf EVU-übergreifend über Tablet-Geräte für dienstliche Zwecke (Abbildung 23).



*Abbildung 23: Tablet-Anwendung „Rail in Motion“ der Deutschen Bahn AG
(Deutsche Bahn AG / Gert Wagner)*

Die digitale Anzeige der Tages-La war der erste Meilenstein für weitere Tablet-Funktionen und eine vielgestaltige Erneuerung von Datenbanksystemen im Hintergrund, so genannten Back-End-Systemen. So wurde RiM in Kooperation mit den einzelnen EVU des DB-Konzerns um zusätzliche Funktionen erweitert. Per Eingabeformular wird es dem Tf ermöglicht, neben sicherheitsrelevanten Dokumenten auch personen- und fahrtspezifische Informationen auf dem Tablet abzurufen.

Eine weitere exemplarische Software-Entwicklung, die sich ebenfalls für die Tablet-Anwendung im Führerraum eignet, gehört zu der Produktplattform „DiLoc®“ des deutschen Unternehmens CN-Consult. Das Softwaremodul „DiLoc|Sync“ wurde entwickelt, um Dokumente über einen Dokumentenserver synchron an mobile Endgeräte der Tf zu verteilen und dort lokal abzulegen. DiLoc|Sync kommt seit der Produkteinführung im Jahr 2010 nach Angaben des Herstellers (Bezugsjahr 2018) europaweit bei mindestens 18.000 Tf zum Einsatz [3].

Ein drittes Beispiel für eine auf Tf zugeschnittene Tablet-Anwendung, die in den letzten Jahren eine Anwendungsreife erlangt hat, ist das „IVU.pad“ des Unternehmens IVU Traffic Technologies AG. Das Schweizer EVU Wynental- und Suhrentalbahn AG (SWB) nutzt diese Tablet-Lösung seit September 2016 als Pilotkunde [4]. Im Fokus der Tablet-Anwendung IVU.pad steht der digitale Informationsaustausch zwischen dem Fahrpersonal und der Disposition.

2.2 Wachsende Bedeutung von Fahrerassistenzsystemen (FAS)

Eine ähnliche Entwicklung wie bei den mobilen Endgeräten zeigt sich auch im Bereich der Fahrerassistenzsysteme (FAS). Diese ermöglichen in erster Linie eine Unterstützung des Tf bei Beschleunigungs- und Bremsvorgängen mit dem Ziel, den Energieverbrauch und Verschleiß zu verringern.

Mit der Einführung des EBU-La-Systems Anfang der 2000er Jahre entstand bei der Deutschen Bahn AG ein erstes serienmäßig eingesetztes FAS „Energiesparende Fahrweise“ (ESF). Auf der Basis eines hinterlegten Fahrplans, einer kontinuierlichen Zugortung sowie fahrdynamischer Berechnungen empfiehlt das in EBU-La integrierte Modul den optimalen Zeitpunkt zur Leistungsrücknahme mit dem Ziel, ein Ausrollen des Zuges bis zum nächsten Bahnhof zu ermöglichen. Dem Tf steht es frei, die Empfehlungen zu befolgen [5]. Auf einzelnen ICE-Linien konnte infolge des Einsatzes von ESF ein Energieeinsparpotenzial von 5 % nachgewiesen werden [6].

Der deutsche Schienenpersonennahverkehr (SPNV) wird – wie auch der Schienengüterverkehr (SGV) – durch eine wachsende Zahl privater EVU abgewickelt, die teilweise auf das EBU-La-System und damit auch das ESF-Modul verzichten. Stattdessen kommen nach wie vor gedruckte Buchfahrpläne zum Einsatz. Vor diesem Hintergrund wurden bislang mindestens 13 EBU-La-externe FAS zur energieeffizienten Zugsteuerung entwickelt [7]. Ein Beispiel ist das von den Firmen ETC und Inavet hervorgebrachte System „smarttrains.das“, welches bei den privaten EVU cantus, nordbahn und agilis im Jahr 2017 prototypisch erprobt und anschließend ausgerollt wurde. Das System eignet sich für die Anwendung auf mobilen Endgeräten (Tablets, Smartphones) und benötigt keine Schnittstellen zur Fahrzeugtechnik, sondern greift auf ein Rechnergestütztes Betriebsleitsystem (RBL) zu. Eine Zulassung durch das EBA entfällt. Zur Berechnung eines möglichst energieeffizienten Fahrtverlaufs werden Streckenparameter sowie Fahrzeugdaten berücksichtigt. Die entscheidende Anzeige für den Tf, „Leistung abschalten!“, wird als Pop-Up-Anzeige auf dem mobilen Endgerät eingeblendet und signalisiert dem Tf den optimalen Umschaltzeitpunkt zwischen Antrieb und Ausrollenlassen des Tfz. Mithilfe des FAS smarttrains.das sind je nach Einsatz- und Rahmenbedingungen Energieeinsparungen von 5 bis 15 % möglich [8].

In Deutschland stattet die DB Cargo seit Herbst 2016 Tfz mit dem durch Knorr-Bremse vertriebenen FAS „Locomotive Engineer Assist Display and Event Recorder“ (LEADER) aus (Abbildung 24). Das FAS stellt dem Tf über eine zusätzliche Anzeige im Führerraum Informationen zur Verfügung, um ein energiesparendes und verschleißoptimiertes Fahren zu unterstützen. Zur Berechnung von Fahrempfehlungen werden streckenbezogene und fahrzeugseitige Daten ausgewertet. Ein GPS-Empfänger, der im LEADER-

Bordgerät verbaut ist, dient der Lokalisierung des Tfz [9]. Das FAS LEADER ermöglichte in Testläufen Energieeinsparungen von bis zu 12 % [10].



*Abbildung 24: FAS „Leader“ der Deutschen Bahn AG
(Deutsche Bahn AG / Kiên Hoàng Lê)*

Auch die SBB testeten ein FAS, das Tf mithilfe der so genannten Adaptiven Lenkung (ADL) GPS-basiert Fahrempfehlungen ausgibt. Im Rahmen einer Testphase konnten Energieeinsparungen von bis zu 13 % und eine hohe Akzeptanz des Personals ermittelt werden. Ziel ist es, das tablet-basierte System im Zuge des Innovationsprojekts „smartrail“ ab Ende 2019 netzweit auszurollen und anschließend zum automatisierten Fahrtrieb (Automated Train Operation, ATO) weiterzuentwickeln [11].

Trotz der relativ großen Zahl unterschiedlicher Entwicklungsansätze bei energieeffizienten FAS erreichen diese bislang einen Marktanteil von 15 % gemessen an den in Deutschland eingesetzten Schienenfahrzeugen [12]. Verschiedene Hürden erschweren bislang eine umfänglichere Einführung, etwa der fehlende kostenfreie Zugriff auf aktuelle Infrastrukturdaten durch Netzbetreiber oder uneinheitliche Schnittstellen und Datenformate zwischen unterschiedlichen Herstellern bzw. generelle Inkompatibilität.

3 Arbeitswissenschaftliche Bewertung aufgezeigter Technologien

Eine Zielsetzung des Forschungsvorhabens war es, Auswirkungen und Herausforderungen hinsichtlich der menschenzentrierten Gestaltung von Display-Anwendungen im Triebfahrzeug-Führerraum herauszuarbeiten. Die Analysen fokussierten dabei u. a. auf potenzielle Ablenkungs- und Ermüdungsfaktoren digitaler Anwendungen für den Tf sowie die

ergonomische Anordnung und Konfiguration stationär im Führertisch verbauter sowie mobiler Display-Anwendungen.

3.1 Ablenkungs- und Ermüdungspotenzial aufgezeigter digitaler Technologien

Eine Risikoevaluierung der Anwendung von Tablets und Smartphones im Tzf-Führerraum lässt ein sicherheitsrelevantes Ablenkungs- und Ausfallpotenzial durch die Einführung dieser Technologien erkennen, wenn Geräte nicht bestimmungsgemäß verwendet werden oder aufgrund möglicher Fehlbedienungen die Funktionsfähigkeit verlieren. Mit dem Verweis auf die Zugkollision im Februar 2016 in Bad Aibling ist potenziell davon auszugehen, dass neben Fahrdienstleitern (Fdl) auch Tf durch die Verwendung mobiler Endgeräte abgelenkt werden könnten. Aus dem Ablenkungspotenzial mobiler Endgeräte lassen sich Sicherheitsanforderungen ableiten, die auch eine Reglementierung der Tablet-Nutzung während der Arbeitszeit nahelegen. Empfohlen wird es, Tf hinsichtlich der Gefahren, die von einer unsachgemäßen Nutzung des Tablets ausgehen, zu schulen und schriftliche Anweisungen zum bestimmungsgemäßen Umgang mit Tablets zu erlassen. Es ist davon auszugehen, dass potenzielle Fehlbedienungen der Tablets und das damit verbundene Risiko durch Mitarbeiterschulungen und technischen Support gesenkt werden können.

Während der Zugfahrt stellen u. a. das Ablesen von Informationen unterschiedlicher Führerraum-Displays als auch manuelle Eingaben per Hard- oder Softkeyastaten Tätigkeiten des Tf dar. Tzf, die dem European Driver's Desk (EUDD)-Standard entsprechen, verfügen über vier stationäre Displays im Führertisch, hinzu kommen eine wachsende Anzahl optionaler Zusatzgeräte und -anwendungen sowie nach wie vor obligatorisch mitzuführende Schriftdokumente (Abbildung 25). Die Folge ist eine visuelle Doppel- oder Mehrfachbelastung bei der Fahrzeugführung. Diese ist kritisch zu bewerten, da parallele visuelle Sinnesreize nur begrenzt kognitiv verarbeitet werden können (so genannte Engpasswirkung des visuellen Systems). Wie Simulator-Studien im Kraftfahrzeugwesen (z. B. nach [13]) zeigen, führt eine Kombination verschiedener Informationsquellen in Verknüpfung mit der Fahrtätigkeit zu einer verminderten Reaktionszeit des Kraftfahrzeugführers. Dieser Effekt ist auch im Fall einer Fahrzeugführung durch den Tf zu erwarten.



*Abbildung 25: Kombination unterschiedlicher Informationsquellen im Führerraum
(eigene Darstellung)*

Eine visuelle Mehrfachbelastung von Tf sollte bei der Gestaltung des Führerraumes berücksichtigt und möglichst geringgehalten werden. Im Fall ergänzender Tablet-Anzeigen bietet sich eine multimodale Mensch-Maschine-Schnittstelle mit auditiver Komponente an, sodass die Aufmerksamkeit nur situativ auf das Display gerichtet ist [14]. Ein Beispiel für den auditiven Informationskanal ist die akustische Warnung bei der Sicherheitsfahrerschaltung (Sifa).

Der Wandel der Triebfahrzeugtechnik in Richtung Automatisierung hat angesichts des zunehmenden Einsatzes digitaler Möglichkeiten der Geschwindigkeitsüberwachung und -führung (z. B. mithilfe der Technologien LZB, Automatische Fahr- und Bremssteuerung (AFB) oder ETCS im Modus „Full Supervision“) und hochentwickelter Diagnose-Tools bereits stattgefunden. Eine Automatisierung der Fahraufgabe des Tf, aber auch ein fahrerloser Bahnbetrieb, ist in ausgewählten Anwendungsbereichen technisch möglich. Im Fall eines hohen Automatisierungsgrades sollte allerdings berücksichtigt werden, dass eine rein passive Überwachungstätigkeit des Tf das Situationsbewusstsein verschlechtert [15] und die Ermüdung erhöht [16], sodass das Bewusstsein des Tf für die Systemzustände eingeschränkt ist. Treten etwa Fehlfunktionen oder Ausfälle auf, kann dies ein ernsthaftes Problem darstellen, da ein Tf langsamer auf solche Ereignisse reagiert, als wenn er das System aktiv steuern würde. Dieses Phänomen wird als „Operator-out-of-the-loop“ beschrieben [17]. Basierend auf einer Studie von Brandenburger & Jipp ist ergänzend festzustellen, dass erfahrene Tf eine Störung der automatisierten Fahrzeugfüh-

rung schneller erkennen und rascher die Kontrolle über das Tfz wiedererlangen, als unerfahrene Kollegen [18]. Im Hinblick auf das „Operator-out-of-the-loop“-Phänomen sollte eine Automatisierung der Fahrtätigkeiten nur erfolgen, wenn Tf weiterhin Bedienhandlungen ausführen und somit Monotonie und Ermüdung verringert werden.

3.2 Optimierte Gestaltung von Triebfahrzeug-Führerräumen und Displays

Ein Tfz-Führerraum sollte den Grundsätzen der Dialoggestaltung nach DIN EN ISO 9241-110 und allgemeinen Anforderungen hinsichtlich Steuerbarkeit, Fehlerrobustheit und Erwartungskonformität genügen. Hilfreich ist eine Konsistenz im Design der Bediensysteme verschiedener Fahrzeuge. Darüber hinaus sollten weitere ergonomische Gestaltungsprinzipien wie Anthropometrie berücksichtigt werden und sich in menschengerechten Seh- und Greifräumen widerspiegeln [19]. Ein derart optimiertes, harmonisiertes Führerraumkonzept ist anschließend nicht nur in modernen Drehstromlokomotiven, sondern auch in Diesel- und Rangierlokomotiven umzusetzen. Neben ergonomischen Aspekten würde dieser Schritt auch zu Verbesserungen der Arbeitssicherheit, Effektivität und Effizienz führen sowie eine einheitliche Aus- und Fortbildung ermöglichen.

Im Bahnsektor werden ergonomische Aspekte bei nachträglichen Hard- und Software-Anpassungen i. d. R. nur dann geprüft, wenn von diesen Systemen eine Sicherheitsrelevanz ausgeht, bspw. im Fall des zusätzlichen Driver Machine Interfaces (DMI) für ETCS. Bei optionalen Nachrüstungen (Tablets, FAS) werden ergonomische Aspekte hingegen regelmäßig vernachlässigt und ein notwendiger menschenzentrierter Gestaltungsansatz bleibt häufig aus. DMI sollten z. B. hinsichtlich der Visualisierungseigenschaften Schriftgröße, Farbwiedergabe und Helligkeit einheitlich gestaltet werden. Ein größerer Optimierungsbedarf besteht auch hinsichtlich der Positionierung mobiler Endgeräte im Führerraum. So hat die Halteposition einen großen Einfluss auf den ergonomischen Nutzen des Geräts [20]. Eine bloße Ablage auf dem Führertisch führt etwa zu einer hohen Aktivität der Schulter- und Nackenmuskulatur bzw. allgemein ungünstigen Beanspruchung. Zudem ergibt sich eine Verschiebung des Sichtbereichs im Vergleich zur Streckenbeobachtung. Bei Führerraum-Mitfahrten bestätigte sich, dass im Fall mancher Führerräume weder die Fixierung des mobilen Endgerätes gegen Verrutschen noch eine hinreichend große Ablagefläche auf dem Führertisch gegeben ist. Stattdessen musste das mobile Endgerät für Eingaben in den Händen gehalten werden. Hier bietet sich die Anbringung in Kopfhöhe an.

Die Integration von Tablet-basierten und weiteren Nachrüstsystemen in Führerräumen zeigt, dass die Funktionalität des EUDD-Führertischs nicht länger den Wünschen von EVU entspricht, sodass eine grundlegende Weiterentwicklung empfohlen wird. Die vier

etablierten Basisanzeigen im Führertisch sollten in ergonomisch sinnvoller Weise um ein flexibel nutzbares, auf EVU-spezifische Bedürfnisse zugeschnittenes Display ergänzt werden. Zur Erhöhung der Datenverfügbarkeit und optimalen Nutzbarkeit eines solchen Displays sind standardisierte Schnittstellen und die Anbindung an Back-End-Systeme des EVU erforderlich. Generell besteht das Potenzial, die bisherigen Anzeigetechnologien im Führerraum durch großformatigere Touchscreens und reaktionsschnellere, leuchtstärkere Anzeigen zu ersetzen. Ergänzend bietet sich die Anwendung eines Head-up-Displays im unmittelbaren Sichtbereich des Tf sowie der vermehrte Einsatz akustischer Signale an, um Informationen priorisiert hervorzuheben (Abbildung 26).



Abbildung 26: Weiterentwicklung des EUDD-Führertischs in Anlehnung an das Fahrpultkonzept „IntelliDesk 2.0“ des Herstellers Schaltbau GmbH (Ergänzte Darstellung nach Schaltbau GmbH)

Einschränkend ist zu erwähnen, dass eine Erneuerung bestehender Führertisch-Konfigurationen aus wirtschaftlichen Gründen zumeist nicht sinnvoll erscheint, sodass in der Kurz- und Mittelfristperspektive Übergangslösungen für die optimierte Anwendung mobiler Endgeräte angestrebt werden sollten (Abbildung 27).

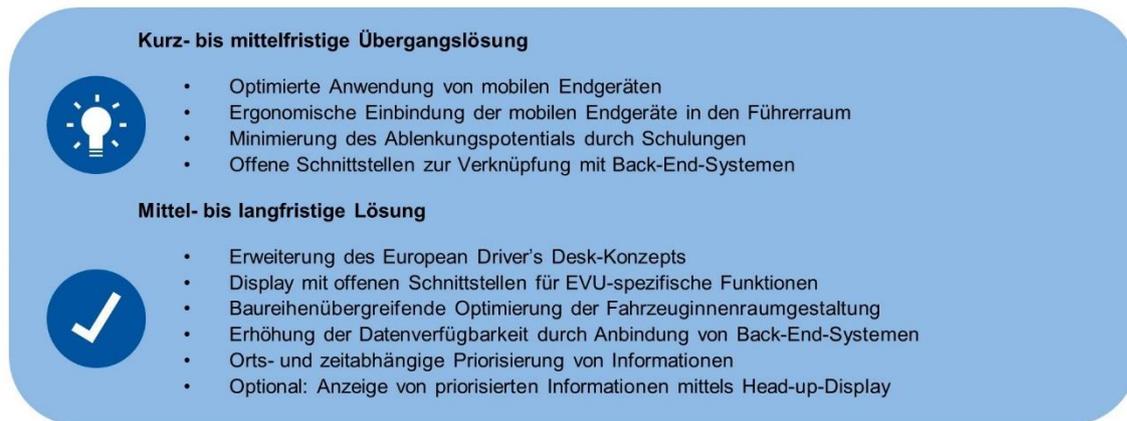


Abbildung 27: Lösungsansätze zur optimierten Gestaltung von Tfz-Führerräumen und Displays (eigene Darstellung)

4 Fazit

Zwar erleichtern digitale Technologien vielfältige Bedienhandlungen des Tf und allgemein bahnbetriebliche Prozesse, doch besteht aus Sicht der Verkehrs- und Arbeitswissenschaft ein Optimierungspotenzial hinsichtlich der Ausgestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen. Dies betrifft zum einen die Funktionalität und Gebrauchstauglichkeit stationär verbauter Führerraumanzeigen, aber auch die hinsichtlich der Seh- und Greifräume des Tf ergonomisch verbesserungswürdige Positionierung mobiler Anzeige- und Eingabegeräte. Darüber hinaus ergeben sich durch die Parallelnutzung stationär verbauter Anzeigen, mobiler Anzeigen und von Papierdokumenten Medienbrüche mit den aus arbeitswissenschaftlicher Sicht potenziellen Auswirkungen einer visuellen Mehrfachbelastung bis hin zu Konzentrations- und Fahrleistungseinbußen des Personals. Dieser Effekt könnte sich durch den Einsatz weiterer digitaler Technologien im Führerraum verschärfen.

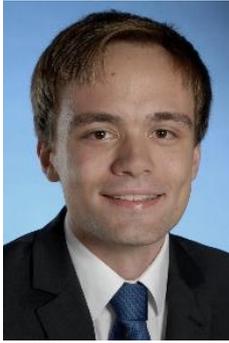
Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wird konstatiert, dass mittel- bis langfristig eine Erweiterung des europäischen Einheitsführerpults um ein flexibel nutzbares, auf Bedürfnisse der EVU zugeschnittenes fünftes Display mit standardisierten Schnittstellen zu empfehlen ist. Ein solches, durch die EVU flexibel nutzbares Display bietet die Funktionalität, spezifische Back-End-Systeme und deren Inhalte in den Betriebsablauf zu integrieren. Als kurz- bis mittelfristige Übergangslösung wird empfohlen, dass mobile Endgeräte ergonomisch optimiert in den Führerraum eingebunden werden und dabei die Aktualität sowie zielgruppengerechte Anzeige von betriebsrelevanten Informationen gewährleisten.

5 Literaturangaben

- [1] Wipfli, A.: LEA: Der elektronische Lokführer-Assistent der SBB. *Deine Bahn* (2018) 10, S. 50–51
- [2] Zöll, D.: Tablets für Triebfahrzeugführer im Fernverkehr. *Digitalisierung. Deine Bahn* (2015) 7, S. 6–11
- [3] Bihn, F.: InnoTrans 2018 bietet zahlreiche Weltpremierer und Neuheiten. *Der Nahverkehr* (2018) 9, S. 18
- [4] Krüger, C. u. Schaffert, M.: Mit dem Tablet zum digitalen Bahnunternehmen - von der Planung bis zum Fahrer. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2017) Nr. 7+8, S. 28–31
- [5] Sanftleben, D., Sonntag, H. u. Weber, K.: Verfahren "Energiesparende Fahrweise" - ESF. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2001) Nr. 9, S. 510–517
- [6] Netz, M. Dr.: Technische Assistenzsysteme der Deutschen Bahn unterstützen Energie sparendes Fahren. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2005) Nr. 10, S. 595–598
- [7] Marktüberblick Fahrerassistenzsysteme. Projekt Fahr umweltbewusst! Energieverbrauch im Schienenverkehr durch den Einsatz von Fahrerassistenzsystemen reduzieren. Zwischenbericht der MRK Management Consultants GmbH im Auftrag der Allianz pro Schiene e. V., MRK Management Consultants GmbH [Hrsg.], Dresden 2017
- [8] Krimmling, J., Steinbrink, G., Reiher, P. u. Kerwien, D.: Innovative und energieoptimale Zugsteuerung mit DatNet und smarttrains. *EI-Eisenbahningenieur* (2017) 11, S. 49–52
- [9] Walter, M. Dr., Schmidt, S., Heine, C. Dr.-Ing. u. Nock, M. Dr.-Ing.: Innovative Brems- und Assistenzsysteme im Schienengüterverkehr. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2008) Nr. 5, S. 268–272
- [10] Bobsien, S., Schmidt, H. Dr. u. Koch to Krax, G.: Mit intelligenten Güterwagen in die Verkehrswende starten. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2018) 9, S. 128–135
- [11] Graffagnino, T., Schäfer, R., Tuschmid, M. u. Weibel, M.: Energy Savings with Enhanced Static Timetable Information for Train Drivers. *Linköping Electronic Conference Proceedings (RailNorrköping)* (2019)
- [12] Hunscha, U.: Projekt "Fahr umweltbewusst!" bringt Licht in den Markt der Fahrerassistenzsysteme. *Eisenbahntechnische Rundschau* (2018) Nr. 3, S. 44–46
- [13] Göbel, M. u. Treugut, F.: Leistungsbeeinträchtigung durch visuelle Doppelbelastung bei der Fahrzeugführung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 66 (2012) 2, S. 183–193

- [14] Pfromm, M., Cieler, S. u. Bruder, R.: Auslegung und Evaluation einer Mensch-Maschine-Schnittstelle für ein umfassendes Fahrerassistenzkonzept. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft* 69 (2015) 2, S. 71–80
- [15] Endsley, M. R. u. Kiris, E. O.: The Out-of-the-Loop Performance Problem and Level of Control in Automation. *Human factors* 37 (1995) 2, S. 381–394
- [16] Dorrian, J., Roach, G. D., Fletcher, A. u. Dawson, D.: Simulated train driving. Fatigue, self-awareness and cognitive disengagement. *Applied Ergonomics* 38 (2007) 2, S. 155–166
- [17] Kaber, D. B. u. Endsley, M. R.: Out-of-the-loop performance problems and the use of intermediate levels of automation for improved control system functioning and safety. *Process Safety Progress* (1997) 16(3), S. 126–131
- [18] Brandenburger, N. u. Jipp, M.: Effects of expertise for automatic train operations. *Cognition, Technology & Work* 19 (2017) 4, S. 699–709
- [19] Schlick, C., Luczak, H. u. Bruder, R.: *Arbeitswissenschaft*. Heidelberg: Springer 2018
- [20] Bröhl, C. u. Mertens, A.: Task Dependent Analysis of Handheld Positions on Touchscreen Devices. *Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft* 63 (2017)

Autoren



Stoll, Fabian

Fabian Stoll, M. Sc., ist seit 2017 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Verkehrswissenschaftlichen Institut (VIA) der RWTH Aachen. Er besetzt bei Projekten gleichermaßen verkehrsökonomische, -technische und –politische Themenfelder mit einem besonderen Augenmerk auf das System Eisenbahn.



Nelles, Jochen

Jochen Nelles, M. Sc., ist seit 2013 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft (IAW) der RWTH Aachen. In unterschiedlichen Projekten beschäftigt er sich mit der Gestaltung und Evaluierung der Mensch-Maschine-Interaktion.



Nießen, Nils

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Nils Nießen leitet seit 2013 das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen. Nach dem Studium des Bauingenieurwesens und der Wirtschaftsgeographie an der RWTH Aachen promovierte er dort 2008. Anschließend war er Projektingenieur bei HaCon in Hannover und Geschäftsführer der VIA Consulting & Development GmbH.



Brandl, Christopher

Dr.-Ing. Christopher Brandl, ist seit 2016 Oberingenieur der Abteilung Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen. Seine Forschungsinteressen liegen in der physiologischen Messung von Belastung und Beanspruchung, der ergonomischen Analyse und Gestaltung von Arbeitssystemen sowie Sicherheit und Gesundheit am Arbeitsplatz.