

Bedienerorientierte Maßnahmen im Stellwerk

Unterstützungsmöglichkeiten für Fahrdienstleiter zur sicheren Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen

FELIX HEIZLER | ANTON LICHTENBERG |
BIRGIT MILIUS | KRISTIN MÜHL

Im Jahr 2020 beauftragte das Deutsche Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF) das Forschungsprojekt „Unterstützungsmaßnahmen bei der Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen“. Ziel des Projektes war die Analyse von sicherheitskritischen Ereignissen, zu denen Hilfshandlungen von Fahrdienstleitern beigetragen haben, und das Ableiten von Maßnahmen daraus, um die Sicherheit im Bahnbetrieb zu erhöhen. Ein besonderer Fokus lag auf der Betrachtung von Unterstützungsmöglichkeiten für Fahrdienstleiter (Fdl), um im Störfall deren Handlungssicherheit zu erhöhen. Dieser Beitrag beschreibt das grundlegende Vorgehen zur Ableitung und Bewertung bedienerorientierter Maßnahmen unter gezielter Beachtung leistungsbeeinflussender menschlicher und organisatorischer Faktoren.

Einleitung

Die Eisenbahn ist das sicherste Landverkehrsmittel in Europa [1]. In hohem Maße liegt dies in der Wirkung der hoch zuverlässigen Leit- und Sicherungstechnik (LST) begründet, die im Regelbetrieb das Entstehen von gefährlichen Situationen weitgehend ausschließt. Hier haben die Fdl fast nur noch überwachende

und lokale, dispositive Aufgaben. Bei Störungen an der LST oder bei anderen betrieblichen Unregelmäßigkeiten müssen Fdl einschreiten und sicherheitskritische (Hilfs-)Handlungen¹ ausführen, damit der Zugverkehr fortgeführt werden kann. Dabei sind die Beherrschung der betrieblichen Regelwerke und die zuverlässige Anwendung in der spezifischen Situation für den sicheren Betrieb entscheidend. Diese Handlungen haben das Potenzial, bei Fehlern in der Ausführung direkt zu gefährlichen Situationen zu führen.

Ein Beispiel hierfür ist der tragische Zusammenstoß zweier Nahverkehrszüge auf eingleisiger Strecke bei Bad Aibling im Jahr 2016, der laut Unfallbericht [2] auf ablenkungsbedingte Fehleinschätzungen und betriebliche Fehlhandlungen des Fdl zurückzuführen ist. Aus den Sicherheitsempfehlungen des Unfallberichtes geht unter anderem hervor, dass das menschliche Handeln in den Fokus der Betriebsbetrachtung gerückt werden soll, um die Betriebssicherheit zu erhöhen [3]. Weitere Unfälle, bei denen Fehler bei der Ausführung von Hilfshandlungen zum Ereignis beigetragen haben, sind beispielsweise die unzulässige Bedienung der Achszählgrundstellung in Gruitzen (1. Februar 2017) [4] oder die fehlerhafte Fahrwegprüfung durch den Fdl in Birkenwerden

¹ Unter dem Begriff Hilfshandlungen werden Handlungen verstanden, durch die der Betrieb bei Störungen und bei Abweichungen vom Regelbetrieb in Personalverantwortung weitergeführt werden kann.

(2. April 2019) [5], nachdem eine Fahrwegweiche keine Endlage erreichte.

Um zukünftig das Stellwerkpersonal bei der Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen sicherheitsfördernd zu unterstützen, initiierte das DZSF das Forschungsprojekt „Unterstützungsmaßnahmen bei der Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen“ (UnDHilf). Das Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur der TU Berlin in Zusammenarbeit mit Prof. Jörn Pahl vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung der TU Braunschweig wurde beauftragt, sicherheitskritische Hilfshandlungen zu analysieren und zu bewerten sowie Empfehlungen für Maßnahmen zur Steigerung der Sicherheit in Störfallsituationen abzuleiten.

Die Untersuchung verfolgte zwei Ansätze. Es wurde zum einen untersucht, inwieweit durch technische Maßnahmen Fehler bei der Durchführung von Hilfshandlungen aufgedeckt bzw. deren Auswirkungen minimiert werden können. Zum anderen wurden bedienerorientierte Maßnahmen (boM) abgeleitet und evaluiert, die die Wahrscheinlichkeit für das Entstehen von Fehlern reduzieren können. In [6] wurde bereits ein grundsätzlicher Überblick über das Forschungsprojekt gegeben. Dieser Beitrag hingegen betrachtet ausschließlich die Ableitung und Einschätzung der Wirksamkeit von boM. Grundsätzlich können zwei Arten von Hilfshandlungen unterschieden werden: „Eingriff in die Sicherungstechnik“ und „Umgehung der Sicherungstechnik“. Basierend darauf wurde

Eingriff in die Sicherungsebene

1. Fdl nimmt eine Fahrstraße (oder Teile davon) zurück und ein Zug, der sich bereits nah oder hinter dem Vorsignal befindet, rutscht am Hauptsignal (und D-Weg-Ende) vorbei.
2. Fdl nimmt eine Fahrstraße (oder Teile davon) zurück und stellt ein Element unmittelbar vor oder während der Befahrung um.
3. Fdl bedient die Achszählgrundstellungstaste bei Rotausleuchtung in einem Abschnitt, obwohl sich dort ein Zug befindet.

Umgehung der Sicherungsebene

4. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, allerdings ist der folgende Abschnitt nicht frei von Fahrzeugen.
5. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, verwechselt bei der Bedienung aber das Signal und schickt einen falschen Zug los.
6. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, prüft allerdings nicht die ordnungsgemäße Lage der Elemente im Fahrweg.
7. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, ohne die Fahrwegelemente zu sichern.
8. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, obwohl noch eine gefährdende Fahrt zugelassen ist.
9. Fdl lässt eine Zugfahrt mit besonderem Auftrag zu, ohne den Ausschluss gefährdender Fahrten sicherzustellen.

Abb. 1: Abgeleitete Ereigniskategorien von Hilfshandlungen

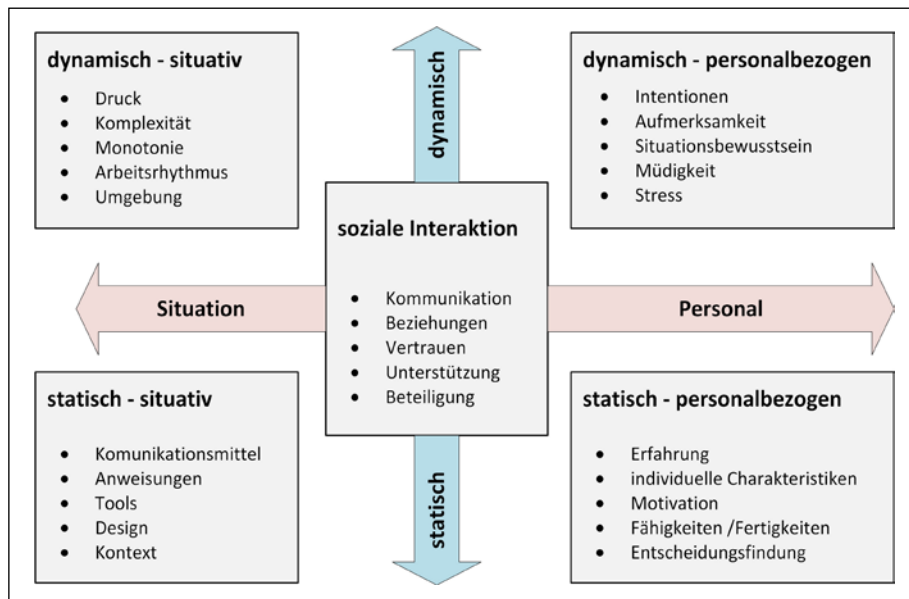


Abb. 2: 5x5-MOF-Taxonomie (nach [11])

die Ereignisdatenbank der Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (BEU) ausgewertet. Die gefundenen Ereignisse konnten in neun verschiedenen Ereigniskategorien zusammengefasst werden (Abb. 1).

Leistungsbeeinflussende Faktoren

Im Schienenverkehr findet der Einfluss externer und interner Faktoren auf die Leistungsfähigkeit des Personals und somit auch auf die Performanz des Gesamtsystems Bahn zunehmend Beachtung. Hierbei geht es darum, ein Verständnis für die Wechselwirkungen zwischen Menschen und anderen Elementen eines Systems zur Verbesserung von Sicherheit, Effizienz und Wohlergehen der darin tätigen Menschen zu schaffen, indem Bedürfnisse, Fähigkeiten und Einschränkungen der Menschen in Einklang mit dem System gebracht werden [7, 8]. Unternehmen im Schienenverkehr sind dazu verpflichtet, dieses Verständnis bezüglich der menschlichen und organisatorischen Faktoren (MOF) im Sicherheitsmanagement zu integrieren und in die Risikoanalyse einfließen zu lassen [9]. Auch im Rahmen von Unfall- und Ereignisanalysen gilt es, MOF zu berücksichtigen [10]. Einen guten Überblick über konkrete Faktoren, die zukünftig entsprechend der noch zu beschließenden EU-Verordnung CSM ASLP² rechtsbindend zu beachten sind und auch im Rahmen eines sich in der Entwicklung befindenden ERA-MOF-Leitfadens Anwendung finden, bietet die 5x5-MOF-Taxonomie [11], die auf den Forschungsergebnissen der letzten Jahre beruht. Diese Taxonomie differenziert zwischen dynamischen und statischen sowie personalbezogenen und situativen Faktoren.

² CSM ALSP: Common Safety Methods for Assessing the safety Level and the Safety Performance of railway operators at national and Union level

(Abb. 2). Hinzu kommt die Ebene der zwischenmenschlichen Beziehungen, die durch alle Faktoren beeinflusst wird und diese auch verändern kann. Diese sozio-interaktionelle Kategorie ist mit dem Konzept der Sicherheitskultur stark verknüpft, welches ebenfalls im Schienenverkehr zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Neben der vorgestellten Struktur gibt es eine Vielzahl weiterer Ansätze, um die Einflussfaktoren auf die menschliche Leistungsfähigkeit zu beschreiben. Im Rahmen des Projektes wurde der menschliche Einfluss auf die Zuverlässigkeit der Durchführung von Hilfshandlungen bzw. auf die Wirksamkeit von boM mittels sogenannter Performance Shaping Factors (PSF, [12]) analysiert. Diese PSF fin-

den sich überwiegend und zum Teil in einer anderen Zuordnung auch direkt in der 5x5-MOF-Taxonomie wieder (Abb. 2 u. 3). Interne Faktoren werden dabei als personalbezogene und externe Faktoren eher den situativen Kategorien zugeordnet.

Wirksamkeit von PSF auf Hilfshandlungen

Um abzuschätzen, welche identifizierten PSF bei den betrieblichen Handlungen von Fdl besonders relevant sind, wurde eine Befragung mit bahnbetrieblich erfahrenen Personen durchgeführt. Hierfür wurden generische, betriebliche Szenarien entsprechend der Ereigniskategorien (Abb. 1) entworfen. Jedem betrieblichen Szenario wurden fünf PSF zugeordnet und für die Situation passend operationalisiert. Für jedes Szenario war einzuschätzen, wie stark der Einfluss der jeweiligen PSF ist. Einen beispielhaften Ausschnitt eines Fragebogens für das Szenario 7 (Ereigniskategorie 2: Fdl nimmt eine Fahrstraße (oder Teile davon) zurück und stellt ein Element unmittelbar vor oder während der Befahrung um.) zeigt Abb. 4.

Insgesamt bewerteten die 25 Teilnehmenden insbesondere Müdigkeit und Stress, aber auch Situationsbewusstsein und Ablenkung als besonders kritische PSF. BoM sind dann als besonders sinnvoll zu betrachten, wenn sie einen positiven Effekt auf diese PSF haben. Wenn also Müdigkeit als negativ hervorgehoben wird, sind z. B. entsprechende Anpassungen der Arbeitsplangestaltung oder der Pausenmöglichkeiten zielführend. Führung, Motivation, Erfahrung und Training wurden als weniger wichtig eingeschätzt. Die detaillierten Ausführungen hierzu sind dem Projektbericht zu entnehmen (siehe Kapitel „Performance Shaping Factors“ in [13]).



Abb. 3: Übersicht der identifizierten Performance Shaping Factors (nach [12])

*** Szenario 7**

Aufgrund von Bauarbeiten in C-Stadt enden Züge aus Richtung A-Dorf in einem vom Regelbetrieb abweichenden Gleis und werden daraufhin in das Regelgleis rangiert. Der Fahrdienstleiter lässt die Einfahrt eines Zuges, abweichend von der Betra, an einem Sperrsignal enden, kommuniziert dies mit dem Tf, nimmt das Einfahrsignal zurück, führt eine Hilfsauflösung durch und stellt eine Rangierstraße vom Sperrsignal in das Regelgleis.

	Gar kein Einfluss	Wenig Einfluss	Gemäßigter Einfluss	Großer Einfluss
Der Fahrdienstleiter findet nicht alle benötigten Informationen im jeweiligen Handbuch für das aktuelle Situationsgeschehen	○	○	○	○
Der Fahrdienstleiter ist grade Vater geworden, das Baby schläft schlecht und er kommt bereits müde zur Schicht.	○	○	○	○

Abb. 4: Ausschnitt aus Fragebogen für Szenario 7 mit der Operationalisierung der PSF „Anweisung / Vorschriften“ und „Müdigkeit“

Ableitung bedienerorientierter Maßnahmen

Die Ableitung der Maßnahmen erfolgte durch Literaturrecherche, Experteninterviews, Vergleich mit anderen sicherheitskritischen Branchen sowie Brainstorming. Insgesamt wurden aus der Gesamtheit von Ideen vier Optionen zur näheren Untersuchung ausgewählt³:

- Checklisten
- Eye-Tracking
- Vier-Augen-Prinzip
- Assistierte Selbsteinschätzung.

Die Nutzung von Checklisten kann vor allem dabei helfen, den Übergang vom Regel- in den Störungsbetrieb, die Fortführung des Betriebes im Störfall oder die Störungsbeseitigung sicherer zu gestalten. [14]. Die Anwendung von Checklisten ist beispielsweise ein übliches Arbeitsmittel in der Luftfahrt oder auch in der Intensivmedizin.

Im Projekt wurden drei verschiedene Ausführungen betrachtet. Papier ist ein übliches Medium im Eisenbahnbetrieb, und daher lassen sich papiergebundene Checklisten wie der schriftliche Befehl in die betrieblichen Prozesse integrieren. Die digitale Darstellung auf einem Tablet ermöglicht es, spezifischer auf die örtlichen Besonderheiten einzugehen. Hierbei ist jedoch mit dem Tablet ein betrieblich bisher wenig verbreitetes Medium einzuführen. Die dritte Variante sieht die Integration der Checklisten in die elektronischen bzw. digitalen Stellwerksbedienoberflächen vor. Hierdurch können ebenfalls örtliche Besonderheiten im Checklistendesign berücksichtigt werden. Zudem

wird ein zweites Ausgabemedium wie beim Tablet oder der Papiercheckliste vermieden, wodurch ggf. das Risiko einer Ablenkung reduziert wird und eine technische Abhängigkeit zur Sicherungstechnik hergestellt werden kann.

Zwei Anwendungsfälle wurden für die Eye-Tracking-Technik gesehen. Einerseits könnte im Praxistraining, z.B. an der Simulation eines elektronischen Stellwerks (ESTW), die Auswertung von Eye-Tracking-Daten (z.B. Verweildauern, Blickpfade) Hinweise geben, in welchen Bereichen individuelle Schwächen bei der Regelwerkumsetzung existieren. Im operativen Betrieb kann Eye-Tracking genutzt werden, um die Handlungssicherheit der Fdl im realen Umfeld zu evaluieren und so gezielt, z.B. im Rahmen von Schulungen, intervenieren zu können. Das Vier-Augen-Prinzip greift auf ein bewährtes betriebliches Prinzip zurück, wie z.B. bei der operativen Eingabe von Langsamfahrstellen bei der Linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB). In Bezug auf sicherheitskritische Handlungen sollen bestimmte sicherheitskritische Handlungen durch die Fdl vorbereitet, aber vor der finalen Ausführung durch eine zweite Person überprüft werden.

Die assistierte Selbsteinschätzung soll die Fdl befähigen, den eigenen physiologischen und psychologischen Zustand besser zu reflektieren und sich insbesondere vor kritischen Handlungen ggf. Unterstützung durch Kollegen oder Führungskräfte zu holen. Hierfür könnten entweder Apps, welche die Fdl durch gezielte Hinweise und Informationen unterstützen können, oder physiologische Messgeräte (Pulsuhr, Stressdetektoren) genutzt werden.

Bewertung der Maßnahmen

Für die abschließende Bewertung wurden die boM einer Vorauswahl unterzogen. Es wurde

abgeschätzt, welche Wirkung die jeweiligen Maßnahmen auf die identifizierten PSF haben. Maßnahmen, die hinsichtlich der PSF eine große Übereinstimmung mit den als relevant identifizierten PSF zeigen, wurden im Detail weiter analysiert⁴. Diese sind:

- Papierchecklisten,
- Checklisten auf einem Tablet,
- Bedienplatzintegrierte Checklisten und
- Eye-Tracking im Praxistraining.

Eine Herausforderung im Projekt war es, dass boM und sicherungstechnische Maßnahmen (vorbereitende Achszählgrundstellung und Hilfsauflösezeitverschluss) sowohl getrennt als auch zusammen zu bewerten waren. Zunächst wurde die Wirksamkeit der sicherungstechnischen Maßnahmen (stM) der Vornorm VDE V 0831 103 [15] ermittelt. Es konnte gezeigt werden, dass bei unzulässigen Fahrstraßenauflösungen der Hilfsauflösezeitverschluss und bei unzulässigen Achszählgrundstellungen die vorbereitende Achszählgrundstellung signifikante Sicherheitsgewinne herstellen können [6]. Diese Maßnahmen können entsprechend der MOF-Taxonomie als statisch situative Faktoren oder entsprechend der PSF als organisatorische Vorbedingungen des Systemdesigns einen positiven Einfluss nehmen und zur menschlichen Zuverlässigkeit beitragen. Für die abschließende Bewertung wurden die vier vorausgewählten boM einbezogen. Das grundsätzliche Vorgehen wird in Abb. 5 dargestellt. In den Ereigniskategorien 1, 2 und 3 (Abb. 1) wirken auch die betrachteten stM und dienen als Bewertungsreferenz. 25 Fachexperten wurden in Interviews befragt, inwiefern die vier ausgewählten boM neben den stM eine zusätzliche Sicherheit herstellen können und inwiefern die boM eine vergleichbare Sicherheit herstellen können, wenn die stM nicht umgesetzt würden.

Über alle Checklisten hinweg wird positiv bewertet, dass Fdl durch die Abarbeitung der Checklistenpunkte in die betrieblichen Prozesse für die Fahrstraßenhilfsauflösung (Abb. 1, Ereigniskategorie 1 und 2) aktiv eingebunden werden. Sie werden in die Lage versetzt, bei Störungen oder Unregelmäßigkeiten unmittelbar eingreifen zu können, ohne dass sie sich zunächst in den aktuellen und gegebenenfalls unübersichtlichen Betriebsprozess einarbeiten müssen. Generell können sie bei guter Gestaltung einen positiven Beitrag leisten. Im spezifischen Vergleich der Checklisten wird die Checkliste auf einem Tablet der Papiercheckliste vorgezogen, da es individueller für konkrete Anwendungsfälle (je Fahrstraße und Stellwerk (Stw)) realisiert werden kann. Bei der bedienplatzintegrierten Checkliste liegt ein wesentlicher Vorteil darin, dass die Checklistenpunkte mit der

³ Im Folgenden werden einzelne Aspekte der bedienerorientierten Maßnahmen hervorgehoben. Umfangreichere Erläuterungen werden im Projektbericht [13] dargelegt.

⁴ Eine detaillierte Dokumentation hierzu findet sich im Projektbericht [13].

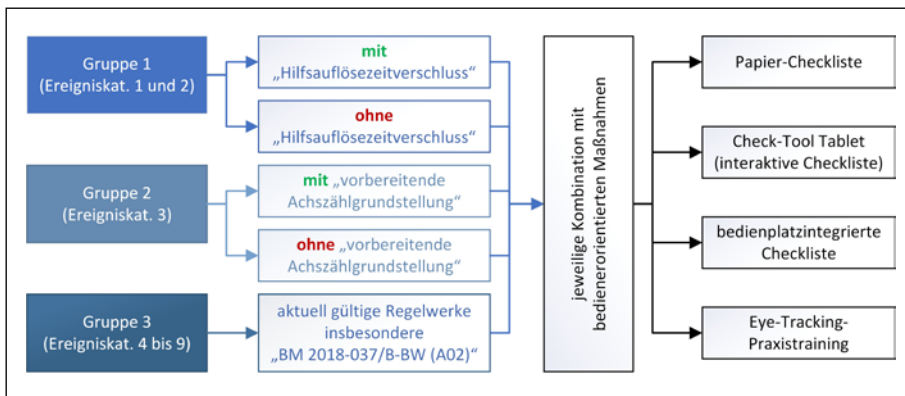


Abb. 5: Bewertungsschema der bedienerorientierten Maßnahmen

Sicherungstechnik des Stw in Abhängigkeit gebracht werden können.

Anders als bei den Checklisten wird angenommen, dass der Sicherheitsgewinn beim Eye-Tracking-Praxistraining erst nach wiederholtem Training einsetzt bzw. die systematischen Rückschlüsse erst bei Vorliegen einer breiten Datengrundlage gezogen werden und erst danach Lösungen konzipiert und umgesetzt werden können. Hierbei kann Einfluss spezifisch auf personalbezogene statische Faktoren genommen werden, wie z. B. Erfahrung. Aber auch personalbezogene dynamische Faktoren können in Simulationen trainiert werden. Es birgt somit das Potenzial, bei entsprechender Gestaltung gezielt verschiedene MOF bzw. PSF zu adressieren.

Aus den Bewertungen und Expertengesprächen lassen sich folgende abschließende Feststellungen über die boM zusammenfassen (eine vollständige Übersicht zu den Aussagen zu den stM findet sich im Projektbericht [13]):

- Die boM haben bezogen auf die konkreten Gefährdungen das Potenzial, das Sicherheitsniveau weiter anzuheben und die stM zu ergänzen.
- Im Falle, dass stM nicht realisiert werden, können die boM das Risiko deutlich reduzieren, auch wenn der Effekt nicht vergleichbar stark wie bei stM ausfällt.
- Die boM können bei allen drei Gruppen (Abb. 5) bzw. über alle neun Ereigniskategorien wirken, wohingegen die stM für spezifische Gefährdungen wirksam sind.
- Mithilfe von boM können verschiedene MOF bzw. PSF unter Einsatz gezielter Ressourcen adressiert werden.

Schlussfolgerungen

Im Projekt wurden systematisch bedienerorientierte Maßnahmen abgeleitet und empfohlen. Das verbindende Element war dabei die Betrachtung von leistungsbeeinflussenden menschlichen und organisatorischen Faktoren. Maßnahmen, die gezielt auf als besonders relevant eingeschätzte Faktoren wirken, wurden analysiert und hinsichtlich ihres Effekts auf die Sicherheit der Hilfshandlungsdurchführung bewertet. Der große Vorteil von boM ist,

dass diese weniger spezifisch wirken als sicherungstechnische Maßnahmen und so ein breiter Sicherheitsgewinn erreicht werden kann. Die Projektergebnisse stellen einen Zwischenstand der Forschung dar. Da der Mensch auch künftig Teil des Systems Bahn sein wird, muss dieser Faktor in der Sicherheitsbetrachtung und in der dahingehenden Forschung stärker berücksichtigt werden. In einem nächsten Schritt sollten die als sinnvoll abgeleiteten Maßnahmen im Praxiseinsatz erprobt werden. Darüber hinaus wird empfohlen, die Tätigkeiten von Fdl zunehmend ganzheitlich zu betrachten und weitere sicherheitsrelevante Aspekte, wie z. B. die Kommunikation zwischen Fdl untereinander oder Fdl und Triebfahrzeugführern oder Bautrupps, zu untersuchen. ■

QUELLEN

- [1] European Union Agency for Railways (ERA) (2022): Report on Railway Safety and Interoperability in the EU 2022. Online verfügbar unter: <https://www.era.europa.eu/system/files/2022-10/Report%20on%20Railway%20Safety%20and%20Interoperability%20in%20the%20EU%202022.pdf>
- [2] Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (2018): Untersuchungsbericht Bad Aibling – Kolbermoor. Online verfügbar unter: https://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/SharedDocs/Downloads/EUB/Untersuchungsberichte/2016/114_Bad_Aibling_-_Kolbermoor.pdf
- [3] Pacht, J. (2019): Sicherheitsempfehlungen der BEU nach dem Unfall von Bad Aibling. In: Deine Bahn, 03/2019, S. 7-13. Online verfügbar unter: <https://www.system-bahn.net/aktuell/sicherheitsempfehlungen-der-beu-nach-dem-unfall-von-bad-aibling/>
- [4] Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (2017): Untersuchungsbericht Gruiten. Online verfügbar unter: https://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/SharedDocs/Downloads/EUB/Untersuchungsberichte/2017/096_Gruiten.pdf
- [5] Bundesstelle für Eisenbahnunfalluntersuchung (2019): Untersuchungsbericht Bahnhof Birkenwerder (b. Berlin). Online verfügbar unter: https://www.eisenbahn-unfalluntersuchung.de/SharedDocs/Downloads/EUB/Untersuchungsberichte/2019/192_Birkenwerder.pdf
- [6] Milius, B.; Lichtenberg, A.; Heizler, F. (2022): Maßnahmen für mehr Sicherheit bei betrieblichen Hilfshandlungen. In: Deine Bahn, 05/2022, S. 24-28. Online verfügbar: <https://www.system-bahn.net/aktuell/massnahmen-fuer-mehr-sicherheit-bei-betrieblichen-hilfshandlungen/>
- [7] Human Factors & Ergonomics Society (o.J.): What is Human Factors and Ergonomics? Online unter: <https://www.hfes.org/About-HFES/What-is-Human-Factors-and-Ergonomics/> [Zugriff am 01.02.2022, 11:00]
- [8] Badke-Schaub, P.; Hofinger, G.; Lauche, K. (2008): Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobereichen (S. 3-18). Springer, Berlin, Heidelberg. doi.org/10.1007/978-3-540-72321-9_1
- [9] Europäische Kommission (2018): EU-Verordnung 2018/762 über gemeinsame Sicherheitsmethoden bezüglich der Anforderungen an Sicherheitsmanagementsysteme. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32018R0762>
- [10] Europäische Kommission (2020): EU-Verordnung 2020/572 über die zu befolgende Berichterstattungsstruktur für Berichte über die Untersuchung von Eisenbahnunfällen und -störungen. Online verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX%3A32020R0572>

- [11] Accou, B.; Carpinelli, F. (2022): Systematically investigating human and organisational factors in complex socio-technical systems by using the "Safety Fractal Analysis" method. In: Applied Ergonomics, Volume 100, 103662. doi:10.1016/j.apergo.2021.103662
- [12] Hammer, M.; Vanderhaegen, F. (2009): Human factors in the railway system safety analysis process. In: J. R. Wilson; A. Mills; T. Clarke; J. Rajan; N. Dadashi (Hrsg.): Rail Human Factors around the World. Impacts on and of people for successful rail operations [Konferenzbeitrag: 3rd International Conference on Rail Human Factors, Lille, 2009], CRC Press, S. 73-84. Online verfügbar unter: https://elib.dlr.de/58404/1/hammer_vanderhaegen_UVHC_echrhf_conference.pdf.
- [13] DZSF (Hrsg.) (2023): DZSF-Forschungsbericht: Unterstützungsmaßnahmen bei der Durchführung von betrieblichen Hilfshandlungen. Online verfügbar unter: <https://www.dzsf.bund.de/>.
- [14] Degani, A.; Wiener, E. (1990): Human Factors of Flight-Deck Checklists: The Normal Checklist. Ames Research Center (Hrsg.), National Aeronautics and Space Administration. Moffett Field, California. Online verfügbar unter: https://ti.arc.nasa.gov/m/profile/adevani/Flight-Deck_Checklists.pdf
- [15] Vornorm VDE V 0831-103 (28.07.2014): Elektrische Bahn-Signalanlagen – Teil 103: Ermittlung von Sicherheitsanforderungen an technische Funktionen in der Eisenbahnsignaltechnik. Online verfügbar unter: <https://www.vde-verlag.de/normen/0800686/din-vde-v-0831-103-vde-v-0831-103-2020-09.html>



Felix Heizler

Wissenschaftlicher Referent für Betriebliche Sicherheit Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Dresden
heizlerf@dzsf.bund.de



Anton Lichtenberg

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Fachgebiet Bahnbetrieb und Infrastruktur Technische Universität Berlin, Berlin
a.lichtenberg@tu-berlin.de



Prof. Dr. Birgit Milius

Leiterin des Fachgebiets Bahnbetrieb und Infrastruktur Technische Universität Berlin, Berlin
birgit.milius@tu-berlin.de



Dr. Kristin Mühl

Wissenschaftliche Referentin Human Factors Deutsches Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF), Dresden
muehlk@dzsf.bund.de