

Betrachtungen zur Zuverlässigkeit des Triebfahrzeugführers

Erfassung sicherheitsbeeinflussender Faktoren und ihrer Bedeutung auf Basis von Ereignisdaten

Tobias Lindner
Birgit Milius
Marcus Arenius
Daniel Schwencke
Jan Grippenkoven
Oliver Sträter

Die sicherheitstechnische Systemgestaltung ist von einer durch Bewertung der technischen Systeme dominierten Vorgehensweise geprägt, wobei der Einfluss des Menschen in der Folge technischer Sicherheitsfunktionen gestaltet wird. Das Zusammenspiel von Mensch und Technik bleibt dabei oft ungenügend berücksichtigt. Die Folge davon können Unfälle und Ereignisse sein, deren Ursachen dem ersten Anschein nach dem mit dem System interagierenden Menschen zugeschrieben werden, obwohl detaillierte Analysen zeigen können, dass die Ursachen im Zusammenspiel des Gesamtsystems einschließlich seiner organisatorischen Aspekte begründet liegen.

Das Projekt SMSmod „System Mensch – Sicherheit modellieren“, bearbeitet vom Institut für Eisenbahnwesen und Verkehrssicherung (IfEV) der TU Braunschweig, dem Fachgebiet Arbeits- und Organisationspsychologie (A&O) der Uni Kassel sowie dem Institut für Verkehrssystemtechnik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) hat sich zum Ziel gesetzt, die Sicherheitsbewertung am Beispiel des Eisenbahnbetriebes weiterzuentwickeln. Das Vorgehen soll es ermöglichen, das menschliche Handeln im Zusammenspiel mit der Technik detailliert abzubilden. Wesentliches Projektziel war die Entwicklung einer Methode zur Untersuchung des menschlichen Fehlverhaltens auf Basis von Ereignisdaten. Dabei lag ein Schwerpunkt der Analyse auf der Identifikation wesentlicher Einflussfaktoren, die durch ihr Wirken einen Fehler beim Menschen begünstigen. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse kann nicht nur als Basis einer Systementwicklung dienen, sondern kann auch dazu genutzt werden, ein bestehendes System auf Gefährdungen hin zu analysieren.

Die Methode basiert auf verschiedenen Ansätzen aus der Arbeitswissenschaft, die kombiniert wurden. Das so entwickelte Vorgehen wurde am Beispiel des Eisenbahnbetriebes

validiert. Es wurden gefährliche Situationen, deren Entstehung auf Fehlhandlungen des Triebfahrzeugführers (Tf) zurückzuführen sind, analysiert. Der Arbeitsplatz des Tf bietet ein geeignetes Beispiel, da sich hier der Zusammenhang von Mensch und Technik in den vergangenen Jahrzehnten signifikant gewandelt hat. Gerade im Zuge zunehmender Automatisierung muss die Einbindung des Menschen in das System überprüft und ggf. korrigiert werden.

Der vorliegende Beitrag orientiert sich im Aufbau an der Projektstruktur und beschreibt ausgewählte Schritte der Projektbearbeitung mit ihren Ergebnissen auf Basis des Abschlussberichts [1].

Ausgangspunkt der Projektbearbeitung war eine detaillierte Aufgabenanalyse. Dazu wurde die Methodik der Hierarchical Task Analysis (HTA) nach [2] herangezogen und im Projektverlauf den Bedürfnissen der Analyse angepasst. Basierend auf der Aufgabenanalyse wurde eine sogenannte Wirkmechanismen-tabelle erstellt, mit der untersucht wurde, welche Fehler mit ihren jeweiligen Eigenschaften den einzelnen Aufgaben zugeordnet werden können. Diese Tabelle war Grundlage für die Analyse der Ereignisdaten. Diese Daten, welche von der Deutschen Bahn AG (DB) zur Verfügung gestellt wurden, wurden hinsichtlich verschiedener Faktoren gefiltert, bis ein belastbares Set zur Verfügung stand. Die eigentliche Datenanalyse fand mit dem Connectionism Assessment of Human Reliability (CAHR)-Verfahren statt.

Wesentliches Ergebnis der Analyse war eine fundierte, ereignisbasierte Aussage zu denjenigen Faktoren, welche im Arbeitskontext des Tf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Ereignisses beeinflussen. Um diese Ergebnisse effektiv zu nutzen, fand parallel eine Literaturrecherche statt. Durch Vergleich der Ergebnisse und Aufbereitung der Daten konnten neue Ansätze für eine hierarchische Struktur der Performance Shaping Factors (PSF) abgeleitet werden, mit denen den Problemen derselben beispielsweise hinsichtlich Definition und Überlappung begegnet werden kann.

Erweiterte Aufgabenanalyse

Als Grundlage für das weitere Vorgehen wurde zunächst eine Analyse der Aufgaben

des Tf vorgenommen. Da eine Abbildung aller möglichen Aufgaben im Rahmen des Projektes zu umfangreich gewesen wäre, erfolgte eine Beschränkung auf den Regelbetrieb sowie auf Strecken mit einer zulässigen Geschwindigkeit bis 160 km/h mit Zugbeeinflussung (PZB-Ausrüstung). Es wurden sämtliche Aufgaben des Tf im Normalbetrieb herausgearbeitet, wie beispielsweise das Abbremsen eines Zuges auf eine bestimmte Zielgeschwindigkeit, die Zufahrt auf Haupt- und Vorsignale mit den von der Signalstellung abhängigen Folgehandlungen, das Durchführen von Verkehrshalten, Besonderheiten beim Passieren von Bahnübergängen oder die kontinuierlich auszuführende Streckenbeobachtung.

Als Methodik wurde die HTA nach [2] gewählt. Dabei wird bei der Modellierung eine Aufgabe immer weiter in Teilaufgaben aufgeschlüsselt. Da dieses Vorgehen in seiner Detailtiefe beliebig fortgesetzt werden kann, wurde als Abschlusskriterium gewählt, dass die Aufgaben auf unterster Ebene hinsichtlich der an sie geknüpften Anforderungen eindeutig beschreibbar sein müssen. Das Ergebnis der HTA ist eine detaillierte Aufschlüsselung aller Aufgaben des Tf.

Die HTA bietet als rein hierarchische Darstellung nicht die Möglichkeit, kausale und zeitliche Abhängigkeiten zwischen einzelnen Aufgaben abzubilden. Um dieses Problem zu kompensieren, wurde die HTA um eine Beschreibung der sogenannten kognitiven Kopplungen ergänzt. Der Ansatz wird als „erweiterte HTA“ bezeichnet. Mit Hilfe der kognitiven Kopplungen kann bewertet werden, welche Anforderungen eine Aufgabe an einen Nutzer stellt. Dabei werden nicht die funktionalen Anforderungen erfasst, sondern diejenigen Anforderungen, die sich aus der Art der Aufgabe an das mentale System des Menschen richten.

Die Herleitung der einzelnen kognitiven Kopplungen sowie eine nähere Beschreibung der Bedeutung der Kopplungen kann in [3, 4, 5] nachgelesen werden. Die Beschreibung der Kopplungen zur speziellen Anwendung für die Aufgabenmodellierung des Tf im Projekt SMSmod wurde bereits in [6] beschrieben und wird daher hier nicht näher erläutert.

Ein vereinfachter Teilausschnitt der um kognitive Kopplungen erweiterten HTA

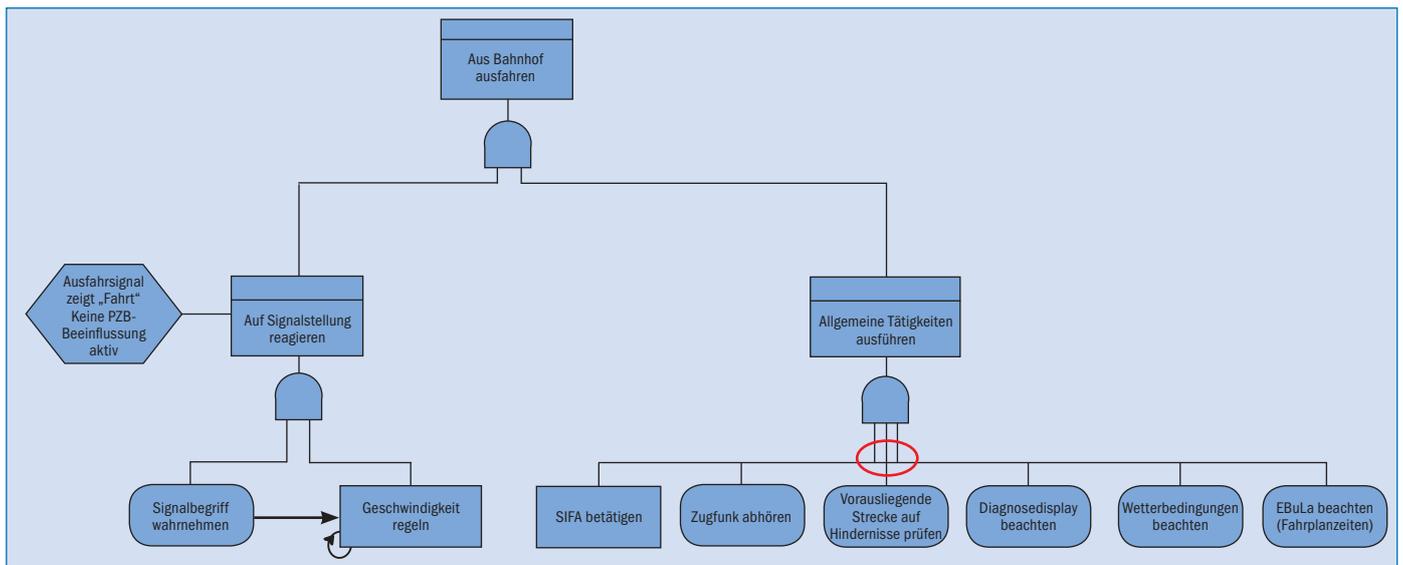


Abb. 1: Erweiterte HTA Tf, vereinfachter Teilausschnitt „Aus Bahnhof ausfahren (bei fahrzeigendem Ausfahrtsignal ohne aktive PZB-Beeinflussung)“

für die Aufgabe des Tf „Bei fahrzeigendem Ausfahrtsignal ohne aktive PZB-Beeinflussung aus Bahnhof ausfahren“ unter Berücksichtigung der Kopplungssymbole nach [6] ist in Abb. 1 dargestellt. Durch die Symbolik der kognitiven Kopplungen ist hier beispielsweise zu erkennen, dass es sich bei der Unteraufgabe „Geschwindigkeit regeln“ um eine aktiv auszuführende Aufgabe handelt, die in der Folge der Unteraufgabe „Signalbegriff wahrnehmen“ auszuführen ist und dynamisch abläuft, was bedeutet, dass veränderliche Vorgabegrößen (Vergleich Soll- zu Ist-Geschwindigkeit im Beschleunigungsvorgang) kontinuierlich zu beachten sind. Die allgemeinen Tätigkeiten, wie „SIFA betätigen“ oder „Zugfunk abhören“, stehen in ihren Ausführungen in keinen gegenseitigen, zeitlichen Abhängigkeiten und sind daher nicht als sequenziell modelliert. Es handelt sich um Aufgaben unabhängig von einer Zeitkomponente, da während der Erfüllung der Aufgaben keine veränderlichen Parameter zu beachten sind.

Das Ergebnis der erweiterten HTA für den Tf ist eine detaillierte Zusammenstellung aller im Regelbetrieb typischerweise anfallenden Aufgaben und deren Klassifikation mit den wirkenden mentalen Anforderungen.

Wirkmechanismen-tabelle

Die erweiterte HTA bildete die Basis für die Erstellung einer Wirkmechanismen-tabelle, welche die möglichen Versagen bei der Aufgabenausführung beschreibt und als Versagensarten klassifiziert. In der Wirkmechanismen-tabelle wurden zu jeder einzelnen Aufgabe sämtliche resultierende Versagensarten mit den daraus resultierenden möglichen Folgen (Unfall ja / nein) zusammengetragen.

Ergänzt wurde diese Zusammenstellung durch die Zuordnung der sogenannten kog-

nitiven Tendenzen. Mit Hilfe kognitiver Tendenzen lässt sich die Art einer menschlichen Fehlhandlung klassifizieren [4]. Während die kognitiven Kopplungen beschreiben, welche Anforderungen aus einer Aufgabe auf den Menschen wirken, beschreiben die kognitiven Tendenzen, wie der Mensch versucht, diesen Anforderungen zu genügen bzw. durch die Anwendung von Strategien den damit verbundenen Druck zu verringern. Eine typische Strategie ist z. B. „Fixation“. Am Beispiel des Tf kann die Anwendung dieser Strategie z. B. bedeuten, dass dieser bei einer Aufgabe, bei der unterschiedliche Anforderungen zusammentreffen, sich nur auf eine, in seinen Augen wichtigste Aufgabe fixiert und die anderen Aufgaben unbeachtet lässt (Beispiel: Bei der Ausfahrt aus dem Bahnhof ist der Tf auf die Streckenbeobachtung fixiert und vernachlässigt die Beobachtung der Reisenden am Bahnsteig). Eine weitere mögliche Strategie ist „Goal reduction“, bei der unterschiedliche Zielvorstellungen (z. B. pünktliches Fahren/sicheres Fahren) miteinander in Konflikt stehen und der Tf (aufgrund seiner Erfahrung) ein Ziel zugunsten des anderen vernachlässigt. Der durch die kognitiven Tendenzen beschriebene Effekt wird als Verhaltensvariabilität bezeichnet.

Eine kognitive Tendenz, d.h. eine Handlungsstrategie, ist in vielen Fällen erfolgreich und führt zu einem reibungslosen Betrieb. Trifft eine solche Strategie allerdings zufällig mit anderen Einflüssen zusammen, kann sie einen Fehler begünstigen. Es kommt allerdings häufig vor, dass bei einem Ereignis mehrere Tendenzen eine Rolle gespielt haben. Im Allgemeinen ist es jedoch möglich, jedem Versagen eine maßgebliche, d.h. das Ergebnis wesentlich beeinflussende Tendenz zuzuordnen.

Tab. 1 zeigt beispielhaft für die Aufgabe „Signalbegriff wahrnehmen“ die mit dieser

Aufgabe verknüpften kognitiven Anforderungen (kodiert in der Spalte „Aufgabe“) und die möglichen Versagensarten bei der Aufgabe. Ebenfalls enthalten ist die Zuordnung einer kognitiven Tendenz zu jeder Versagensart. Diese Klassifikation wurde, basierend auf Erfahrungswerten aus anderen Bereichen, vorgenommen und beschreibt, welche kognitive Tendenz, d.h. welche Handlungsstrategie tendenziell bei der Versagensart vorgelegen haben kann. In diesem Beispiel wird zwischen Fixation (F), Fehler in der Zielvorstellung (Goal reduction, GR) oder Entscheidungen auf Basis fehlender Informationen (Information reduction, IR) unterschieden.

Die vollständig ausgefüllte Wirkmechanismen-tabelle als Zusammenstellung von Aufgaben, Versagen und Versagensfolgen sowie Berücksichtigung der kognitiven Kopplungen und Angaben der kognitiven Tendenzen dient im Weiteren als Basis für die Auswertung der Ereignisdaten.

Weitere Details zur Wirkmechanismen-tabelle, insbesondere zur Versagensidentifikation innerhalb der Wirkmechanismen-tabelle, sind in [7] nachzulesen.

Auswertung von Ereignisdaten mit dem CAHR-Verfahren

Ziel des Projektes war es, zu analysieren, wie Handlungen des Menschen mit dem technischen und organisatorischen Kontext in Verbindung stehen. Um ein realistisches Bild zu bekommen, besteht ein Ansatz darin, Ereignisdaten zu analysieren, d.h. Daten von den Fällen, in denen es zu Problemen und Fehlern beim Zusammenspiel Mensch, Technik und Organisation gekommen ist, auszuwerten.

Als Methode zur Untersuchung der Ereignisse wurde das CAHR-Verfahren angewandt. Die Methode zerlegt ein Ereignis in Unterere-

Übergeordnete Aufgabe	Aufgabe	Mögliche Versagen der Aufgaben	Versagen kann zu gefährlicher Situation führen	Erläuterung	Kognitive Tendenzen	Annahmen zu kognitiven Tendenzen
Aus Bahnhof ausfahren <small>(Asig zeigt „Fahrt“, keine PZB-Beeinfl. aktiv)</small>		-	-	-	-	-
		Signal wird zu spät wahrgenommen	Nein	Zug fährt trotz Fahrerlaubnis nicht los	F	Aufmerksamkeit des Tf ist anderweitig gebunden, Signal wird nicht wahrgenommen
		Signal wird nicht wahrgenommen	Nein	Zug fährt trotz Fahrerlaubnis nicht los	F	Aufmerksamkeit des Tf ist anderweitig gebunden, Signal wird nicht wahrgenommen
		Signalausgabe wird verwechselt	Nein	Zug fährt je nach Verwechslung entweder los oder nicht los. Beim Losfahren: Technische Sicherung (Zwangsbremung) vermeidet Unfall	GR	Top-Down; erwartungsgeleitete Wahrnehmung des Signals: Wenn der Tf davon ausgeht, dass das Signal nicht beachtet werden muss.

Tab. 1: Vereinfachte Wirkmechanismen-tabelle für die Teilaufgabe „Signalbegriff wahrnehmen“ des Tf zur Abb. 1

ereignisse, welche unter Berücksichtigung der in den Ereignisbeschreibungen hinterlegten Angaben, z.B. zu Randbedingungen und Einflussfaktoren sowie in der Wirkmechanismen-tabelle zusammengestellten charakterisierenden Aussagen, analysiert werden. Das Verfahren ermöglicht eine kontextbezogene Bewertung der menschlichen Zuverlässigkeit unter Berücksichtigung der kognitiven Belastung und Beanspruchung in der Ereignisentstehung [4, 8, 9].

Selektion der analysierten Ereignisse

Insgesamt standen dem Projekt mehr als 7500 Ereignisse zur Verfügung. Diese Daten wurden dem Projekt durch die DB bereitgestellt. Der Detaillierungsgrad in der Ereignisbeschreibung variiert zwischen den Ereignissen, so dass eine Selektion vorgenommen werden musste.

Die Erfassung kognitiver Anforderungen aus Ereignissen erfordert einen entsprechend

hohen Detaillierungsgrad der Ereignisbeschreibung, bezogen auf die Aufgabe, das Verhalten sowie auf die Erfassung der leistungsbeeinflussenden Faktoren [9, 10, 11]. Dies ist bei allen Ereignissen der Fall, die an das Eisenbahn-Bundesamt (EBA) weitergeleitet wurden. Daher wurde die Auswahl der Ereignisse auf solche Untersuchungsberichte eingeschränkt. Als ein weiteres Kriterium wurden daraus die Berichte ausgewählt, welche zu den beschriebenen Aufgaben der Wirkmechanismen-tabelle passen. Es wurden beispielsweise keine Ereignisse bei Rangierfahrten analysiert, da sich zuvor auf die Tätigkeiten zur Durchführung von Zugfahrten konzentriert worden ist.

Insgesamt wurden 142 Ereignisse mittels der beschriebenen Struktur in CAHR erfasst und über ihre jeweiligen Einflussfaktoren und Fehlerarten ausgewertet. Im Folgenden werden die Schwerpunkte der Auswertung hinsichtlich der menschlichen Zuverlässigkeit erläutert und die Ergebnisse dargestellt.

Analyse des Kontextes – Gesamtheit der Performance Shaping Factors

In einem ersten Schritt wurden die Einflussfaktoren, d.h. diejenigen Einflüsse, die aus den Ereignisbeschreibungen extrahiert werden konnten, ausgewertet. Sie beschreiben den Kontext, in dem Ereignisse stattfinden, und werden als Performance Shaping Factors (PSF) bezeichnet. Eine Häufung bestimmter PSF deutet darauf hin, dass dieser Einfluss eine wesentliche Rolle in der Entstehung von Fehlern in der Mensch-Maschine-Interaktion am Arbeitsplatz des Tf spielt.

Die PSF sind anhand der einzelnen Ereignisbeschreibungen identifiziert worden. Negative PSF beschreiben dabei Einflüsse, die einen negativen, d.h. verschlechternden Einfluss auf den Ereignisablauf ausgeübt haben. Positive PSF hingegen beschreiben Einflussfaktoren, welche sich abmildernd bzw. korrigierend auf den Ereignisverlauf ausgewirkt haben. Daher stellen die positiven

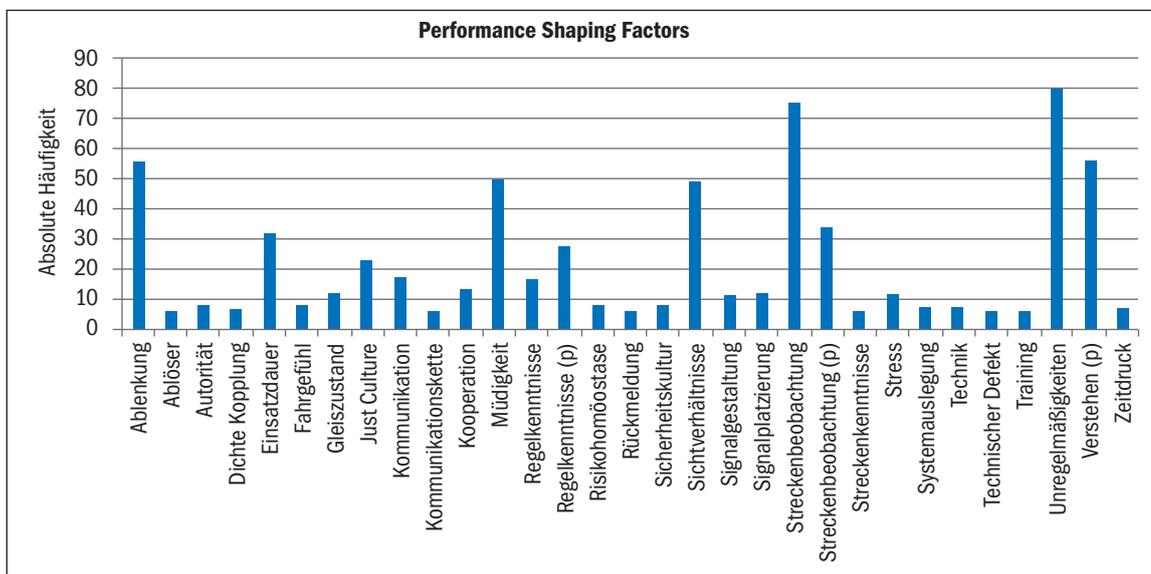


Abb. 2: Häufigkeiten der PSF mit mehr als fünf Nennungen über alle Ereignisse

Bezeichnung des Performance Shaping Factors	Kurzbeschreibung	Absolute Häufigkeit der Nennung (h)	Relative Häufigkeit bezogen auf Gesamtanzahl der Nennungen (hr)	Bedeutung (h · hr)
Ablenkung	Tf ist abgelenkt	45	0,8	36
Zeitdruck	Tf steht unter Zeitdruck	5	0,71	3,55
Streckenbeobachtung	Tf führt Streckenbeobachtung nicht korrekt durch	54	0,71	38,34
Kooperation	Zusammenarbeit von Tf mit anderen Personen wirkt ereignisbeitragend	9	0,69	6,21
Einsatzdauer	Tf hat noch keine ausgeprägte Praxiserfahrung	22	0,69	15,18
Stress	Tf steht unter Stress	7	0,64	4,48
Autorität	Tf folgt fehlerhaften Anweisungen	5	0,63	3,15
Unregelmäßigkeiten	Auftreten von betrieblichen Unregelmäßigkeiten	44	0,57	25,08

Tab. 2: Häufigste negativ wirkende PSF bei Fehlhandlungen zur Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“

Einflussfaktoren wesentliche Stützen dar, die sicherstellen, dass das System auch in Störungsfällen robust funktionieren kann. Für die gesamte Ereigniserfassung ergibt sich die in Abb. 2 dargestellte Verteilung von PSF. Mit „p“ gekennzeichnete Einflussfaktoren wirken dabei positiv.

Es ist deutlich, dass von der Vielzahl analysierter Einflussfaktoren einige wenige PSF, wie Ablenkung, Müdigkeit, Streckenbeobachtung oder Unregelmäßigkeiten, besonders häufig eine beitragende Rolle zu gefährlichen Situationen gespielt haben.

Ausfahrt aus dem Bahnhof als Hauptzenario

Insgesamt zeigte sich ein hoher Anteil an Ereignissen bei der Bewältigung der Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“ (82 von 142 Ereignissen). Hierbei handelte es sich im Wesentlichen um Ereignisse, in denen ein Überfahren haltzeitiger Hauptsignale nach der Abfahrt des Zuges durch den Tf stattfand. Daher wurde der Schwerpunkt der weiteren Auswertung auf dieses Szenario gelegt.

Quantitative Bestimmung der Einflussfaktoren

Tab. 2 zeigt die mit dem CAHR-Verfahren ermittelten PSF und deren Bedeutung für die Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“. Die absolute Häufigkeit gibt an, wie oft ein PSF für dieses Szenario klassifiziert wurde, die relative Häufigkeit gibt den prozentualen Anteil der absoluten Nennungen an der Gesamtanzahl aller Nennungen in allen 142 Ereignissen wieder.

Der Tab. 2 ist zu entnehmen, dass der PSF „Streckenbeobachtung“ mit 54 Fällen am

häufigsten eine beitragende Rolle zu menschlichen Fehlern im Szenario „Ausfahrt aus dem Bahnhof“ gespielt hat, gefolgt von Ablenkung (45) und Unregelmäßigkeiten (44). Die relative Häufigkeit des PSF „Ablenkung“ ist höher als bei den anderen PSF und besagt, dass 80 % aller Ereignisse unter Einfluss dieses PSF dem genannten Szenario entsprechen, d. h., ein Abgelenktsein des Tf ist überdurchschnittlich relevant für das analysierte Szenario und spielte in anderen Ereignisszenarien eine untergeordnete Rolle. Tab. 2 zeigt die resultierende Bedeutung der PSF als Produkt aus absoluter und relativer Häufigkeit und damit die Gesamtbedeutung eines PSF für die spezifische Situation. Dieser Berechnung ist zu entnehmen, dass die Faktoren „Streckenbeobachtung“ und „Ablenkung“ von mit Abstand größter Bedeutung sind.

Um den Gedanken der Verhaltensvariabilität zu berücksichtigen, d. h. die Tatsache, dass die kognitiven Tendenzen auch positive Auswirkungen haben können, sollten nicht nur ausschließlich negative Einflussgrößen des Systems erfasst werden. In der Ereignisauswertung wurden daher neben der klassischen Sichtweise, negative PSF zu identifizieren, auch positiv wirkende PSF identifiziert. Tab. 3 zeigt die positiven PSF, die für das Szenario „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“ identifiziert und klassifiziert wurden.

Positive PSF beschreiben Einflussfaktoren, die sich im Ereignisverlauf abmildernd ausgewirkt haben, d. h. gravierendere Folgen für das Ereignis unterbunden haben. Im Sinne der Verhaltensvariabilität sind positive PSF als wesentliche Faktoren für den adaptiven Umgang mit unerwarteten Stö-

rungen zu sehen und sollten daher im Sinne der resilienten Systemgestaltung gefördert werden [12].

Analyse der kognitiven Tendenzen und Verhaltensvariabilität

Für jedes Ereignis wurde analysiert, welche Versagensart aus der Wirkmechanismen-tabelle diesem zuzuordnen war und welche kognitive Tendenz zu dem Ereignis beigetragen hat.

Für die Bewältigung der Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“ ergeben sich aus den Ereignisanalysen die in Tab. 4 dargestellten, fehlerhaft ausgeführten kognitiven Tendenzen mit den damit einhergehenden begünstigenden PSF. Die beiden Tendenzen, welche eine Zieldominanz repräsentieren (Fixation, Goal Reduction), weisen identische PSF auf. Die Ermittlung der Bedeutsamkeit zugehöriger PSF wurde dabei durch Bildung des Quotienten aus Häufigkeit des PSF auf Basis aller Ereignisse zur Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“ und Häufigkeit der kognitiven Tendenz ermittelt.

Die Tab. 4 zeigt, dass kognitive Tendenzen nicht nur mit einem einzelnen Einflussfaktor, sondern mit mehreren, verschiedenen PSF im Zusammenhang stehen. Es stehen beispielsweise 71 % der Ereignisse unter Einfluss des PSF „Streckenbeobachtung“ in direktem Zusammenhang mit dem Vorhandensein eines Fixationsfehlers. Dies verdeutlicht einerseits die hohe Bedeutung von Untersuchungen zur Verhaltensvariabilität und kennzeichnet andererseits auch den hohen Einfluss beitragender PSF zur Ausführung von Fehlern im Zusammenhang der verschiedenen kognitiven Tendenzen.

Bezeichnung des Performance Shaping Factors	Kurzbeschreibung	Absolute Häufigkeit der Nennung (h)	Relative Häufigkeit bezogen auf Gesamtanzahl der Nennungen (hr)	Bedeutung (h · hr)
Streckenbeobachtung	Tf erkennt anhand der Streckenbeobachtung Gefahrenpotential	19	0,55	10,45
Regelkenntnisse	Tf leitet korrekte Handlungen nach Erkennen der Gefahrensituation ein	15	0,55	8,25
Verstehen	Tf erkennt, dass eine falsche Zielstellung verfolgt wurde	27	0,48	12,96

Tab. 3: Häufigste positiv wirkende PSF bei Fehlhandlungen zur Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“

Kognitive Tendenz	Absolute Häufigkeit	Ausrichtung der Performance Shaping Factors	Ermittlung der Bedeutsamkeit zugehöriger Performance Shaping Factors (Häufigkeit des PSF / Häufigkeit der kognitiven Tendenz)
Fixation	59	positiv	Verstehen (0,33), Streckenbeobachtung (0,22), Regelkenntnisse (0,16)
		negativ	Streckenbeobachtung (0,71), Ablenkung (0,62), Unregelmäßigkeiten (0,47), Sichtverhältnisse (0,28), Einsatzdauer (0,27), Müdigkeit (0,22), Stress (0,10), Regelkenntnisse (0,08)
Goal Reduction	69	positiv	Verstehen (0,28), Streckenbeobachtung (0,18), Regelkenntnisse (0,14)
		negativ	Streckenbeobachtung (0,60), Ablenkung (0,53), Unregelmäßigkeiten (0,40), Sichtverhältnisse (0,24), Einsatzdauer (0,23), Müdigkeit (0,18), Stress (0,08), Regelkenntnisse (0,07)
Information Reduction	18	positiv	Verstehen (0,38), Regelkenntnisse (0,27), Streckenbeobachtung (0,27)
		negativ	Streckenbeobachtung (0,72), Unregelmäßigkeiten (0,66), Sichtverhältnisse (0,44), Just Culture (0,38), Ablenkung (0,33)

Tab. 4: Häufigste kognitive Tendenzen bei Fehlhandlungen zur Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“

Insgesamt stehen Fehler in der Streckenbeobachtung also häufiger im Zusammenhang mit Fixationsfehlern (71%) als zu Fehlern in der Zielgröße (60%), obwohl Fehler der Zielgröße absolut gesehen häufiger vorkommen als Fixationsfehler.

Unter Berücksichtigung der Ereignisbeschreibungen wird folgendes deutlich: Die kognitiven Tendenzen der Fixation sowie der Zielgröße sind in vielen Fällen unmittelbar miteinander verknüpft, indem der Etablierung von falschen Zielvorstellungen eine Fixation folgt und fehlerhafte Tätigkeiten nach sich ziehen kann. Beispiele:

- Bei Erreichen der planmäßigen Abfahrtszeit wird im Standardfall die Ausfahrt für die Zugfahrt durch den Fahrdienstleiter eingestellt. Aus dem Standardfall kann sich ein spezielles Verhalten bilden, welches darin besteht, dass der Tf automatisch davon ausgeht, dass die Signalisierung einen Fahrtbegriff aufweist, wenn die planmäßige Abfahrtszeit erreicht ist (Handlungsstrategie „Goal reduction“). Als Konsequenz fixiert der Tf seine Aufmerksamkeitsressourcen auf die für das Ziel erforderlichen Aufgaben. Dies kann beispielsweise die Beobachtung des Bahnsteigs bei der Abfahrt sein, um die Interaktion der Reisenden mit dem abfahrenden Zug zu überwachen.

Auch für den Fall von Fehlern, die aus der Tendenz Information reduction resultierte, konnten Beispiele gefunden werden:

- In einigen Ereignissen hat der Tf bei Erreichen der planmäßigen Abfahrtszeit den Wechsel der Fahrtbegriffs von „Halt“ auf „Fahrt“ einer anderen Zugfahrt auf einem anderen Gleis auf sich bezogen. Dem Tf fehlt damit die korrekte Information zur Abfahrt des Zuges (Handlungsstrategie „Information reduction“ [13]). Die flüchtige Prüfung der Außenansicht spart Auf-

merksamkeitsressourcen ein, welche für anderweitige Aufgaben genutzt werden können, die zeitgleich erfüllt werden müssen (z.B. Überwachung der Reisenden oder des Gleisbereichs bei der Abfahrt).

Ergebnisse der Analyse

Die Untersuchung mit dem CAHR-Verfahren hat gezeigt, dass es sich bei der Aufgabe „Ausfahrt aus dem Bahnhof durchführen“ um das Szenario handelt, welchem in den untersuchten Ereignissen die meisten Fehlerereignisse zuzuordnen sind. Dabei tragen vor allem die Ablenkung des Tf, eine inkorrekte Ausführung der Streckenbeobachtung sowie betriebliche Unregelmäßigkeiten, d.h. Abweichungen, vom routinemäßigen Betriebsablauf zur Entstehung von Fehlern bei. Es entstehen Fehler in der Fixation sowie bei Annahmen in der zu betrachtenden Zielgröße. Auch eine Verknüpfung beider Fehlerarten ist in vielen Fällen gegeben.

Performance Shaping Factors

Die Identifikation aller bei einem Ereignis wirkenden Einflussgrößen auf Basis der Ereignisdaten hat den Nachteil, dass die Faktoren nicht notwendigerweise in ihrer Gesamtheit in den Ereignisbeschreibungen dokumentiert sind. Zudem sind die direkt aus den Daten identifizierten Einflussfaktoren eher eisenbahnspezifisch (z.B. „Ablöser/Schichtwechsel“, „Gleiszustand“), was mit den in der Literatur üblichen, abstrakteren Faktoren (z.B. „Situationsbewusstsein“) nicht kompatibel ist.

Um einen Abgleich zwischen den tatsächlich festgestellten sowie den eisenbahnbetrieblich und ergonomisch erwarteten PSF vorzunehmen, wurde zunächst eine detaillierte Literaturrecherche durchgeführt, welche die Vielzahl an vermuteten PSF zusammengetragen und systematisiert hat [14, 15].

Es wurde eine Struktur aus übergeordneten PSF-Gruppen entwickelt, die an die Wirkmechanismen-tabelle angeschlossen wurde. Für jedes Versagen in der Wirkmechanismen-tabelle wurde abgeschätzt, welche PSF-Gruppen dort eine Rolle gespielt haben könnten. Damit wurde eine Basis geschaffen für einen zukünftigen systematischen Umgang im Zusammenhang von Aufgaben des Tf und ihn beeinflussenden Faktoren. Damit diese Systematik belastbar ist, fanden Abgleiche statt.

(1) Abgleich identifizierter Einflussfaktoren mit den PSF, die aus der Ereignisanalyse stammen: Den PSF aus der Ereignisanalyse wurden Literatur-PSF [16, 17, 18] gegenübergestellt. So konnte die Relevanz vieler Literatur-PSF – insbesondere von personenbezogenen, aber auch betrieblichen und anderen Faktoren – bestätigt werden, da sie auch bei der Aufbereitung der Ereignisdaten gefunden wurden. Ergonomische Faktoren (z.B. Anordnung interaktiver Systeme im Führerstand) und Einflüsse aus dem Umfeld der Strecke (z.B. Vegetation) konnten aus den Ereignissen nur selten identifiziert werden, da sie im Normalfall nicht in den zugehörigen Beschreibungen dokumentiert sind. Andererseits konnten über die Analyse von konkreten Ereignisdaten organisatorische Einflussfaktoren wie z.B. „Autorität“ aufgrund der Ereignisberichte identifiziert werden, welche bzgl. der Beeinflussung des Tf bei seinen Tätigkeiten in der eisenbahnspezifischen Literatur kaum diskutiert werden. Insgesamt hat sich gezeigt, dass sich Ereignis- und Literaturanalyse sinnvoll ergänzen.

(2) Why-Because-Analysen zur Identifikation und Kompensation fehlender Informationen: Im Projektverlauf wurden Why-Because-Analysen (WBA) von einigen Ereignissen aus der Praxis erstellt. WBA identifizieren formal die notwendigen und hinreichenden Ursachen für ein Ereignis. Durch Erweiterung der Methodik dahingehend, dass diese Ursachen durch sie beeinflussende PSF ergänzt wurden, wurden belastbare Zusammenhänge erfasst. Der Mehrwert der Erstellung von WBA liegt auch darin, dass sie aufzeigen, wo noch Informationen fehlen. Daraus konnten weitere Einflussfaktoren abgeleitet werden, die sich nicht mittels Literatur- oder reiner Ereignisdatenanalyse hätten identifizieren lassen. Eine Darstellung der wichtigsten mit dieser Methodik als relevant nachgewiesenen PSF ist in [19] erfolgt.

Insgesamt hat sich aus den unterschiedlichen Herangehensweisen herausgestellt, dass die PSF aus der Literatur und die aus den Ereignissen einen unterschiedlichen Detaillierungsgrad aufweisen. PSF in Ereignis-

nisdaten sind dabei spezifischer und bieten eine realitätsnähere Beschreibung der Ursachen. Die Gesamtheit der identifizierten PSF dient als Basis, um in weitergehender Forschung eine belastbare Struktur für PSF abzuleiten, die es erlaubt, PSF systematisch sowohl bei der reaktiven wie auch proaktiven Systemanalyse einzusetzen [19].

Ausblick

Im Projekt „SMSmod“ konnte eine Methode zur Untersuchung des menschlichen Fehlverhaltens auf Basis von Ereignisdaten entwickelt werden. Diese Methode wurde für Fehlhandlungen des Tf im Netz der DB beispielhaft angewendet. Als Basis für die Analyse standen Ereignisdaten der DB zur Verfügung. Für das Anwendungsbeispiel konnte zunächst aufgezeigt werden, dass es sich bei der Aufgabe „Ausfahrt aus Bahnhof durchführen“ um die Aufgabe handelt, die am häufigsten mit Fehlhandlungen durch den Tf verbunden ist. Es konnte quantitativ untersucht werden, wie Einflussfaktoren eine beitragende Rolle zum Entstehen der gefährlichen Situationen spielen. Hier ergeben sich für die Zukunft verschiedene Ansätze für die weitere Forschungsarbeit. Wenn der Einfluss der PSF auf den Menschen besser verstanden wird, so wird es möglich, im Rahmen der Systemstruktur die entsprechenden Aspekte so zu gestalten, dass die Sicherheit des Gesamtsystems erhöht wird.

Für die untersuchten Ereignisse wurden die wirksamen kognitiven Tendenzen analysiert und daraus Rückschlüsse auf die Verhaltensvariabilität des Tf gezogen. Die analysierten Beispiele haben gezeigt, dass das gleiche Verhalten unter anderen kontextuellen Bedingungen wesentlich für die Erfüllung von Arbeitszielen, wie Effizienz oder Sicherheit, wirken kann. Dies verdeutlicht das Problem, wenn der Mensch durch eine automatisierte Funktion ersetzt wird: Zwar werden diejenigen Fälle vermieden, in denen es aufgrund der Verhaltensvariabilität des Tf zu gefährlichen Situationen gekommen ist. Gleichzeitig werden dadurch diejenigen Situationen für die Sicherheit relevant, in denen der Tf bisher durch sein angepasstes Verhalten die Sicherheit nicht nur gewährleistet, sondern gegebenenfalls auch erhöht hat.

Für Sicherheitsmaßnahmen folgt daraus, dass diese so gestaltet sein müssen, dass die Verhaltensvariabilität im positiven Sinn wirksam werden kann, ohne dass die Systemsicherheit gefährdet wird. Hierfür müssen die Fähigkeiten des Menschen als Ausgangspunkt für die Systemgestaltung genutzt werden.

Auch wenn sich Gebrauchstauglichkeitsaspekte und systemergonomische Mängel in der Analyse von Einflussfaktoren nicht als unmittelbar ursächliche Faktoren für Ereignis-

nisse im Eisenbahnverkehr herausgestellt haben, ist zu vermuten, dass die Überarbeitung und Ausgestaltung von Anzeige- und Bedienelementen im Führerstand des Tf eine Möglichkeit bieten könnte, die negative Auswirkung identifizierter PSF zu minimieren. Dies kann beispielsweise im Rahmen von Simulatorstudien weiter untersucht werden.

LITERATUR

[1] Arenius, M.; Milius, B.; Schwencke, D.; Lindner, T.; Grippenkov, J.; Sträter, O.: Abschlussbericht DFG, PAK 541: System Mensch-Sicherheit modellieren – Sichere und robuste Systemgestaltung durch Modellierung ergonomischer Bedingungen für eine hohe menschliche Zuverlässigkeit, 2013
 [2] Annett, J.: Hierarchical Task Analysis, in: Hollnagel, E. (Ed.): Handbook of Cognitive Task Design. Erlbaum Hillsdale, 2003
 [3] Sträter, O.: Beurteilung der menschlichen Zuverlässigkeit auf der Basis von Betriebserfahrung, Dissertation, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS-138), 1997
 [4] Sträter, O.: Cognition and safety: An integrated Approach to Systems Design and Assessment. Aldershot: Ashgate Publishing, Ltd., 2005
 [5] Sträter, O.; Bubb, H.: Design of systems in settings with remote access to cognitive performance, in: E. Hollnagel (Ed.), Handbook of Cognitive Task Design (S. 333–356). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2003
 [6] Arenius, M.; Lindner, T.; Milius, B.: Analyse von Arbeitsaufgaben im Eisenbahnwesen, EI 08/2012, S. 57–62
 [7] Lindner, T.; Milius, B.: Modellierung von Arbeitsaufgaben zur Untersuchung des menschlichen Fehlverhaltens am Beispiel des Fahrdienstleiters, in: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme, Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften, Verlag GfA-Press, S. 597–600, Dortmund, 2012
 [8] Hollnagel, E.: Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM, New York, Amsterdam: Elsevier, 1998
 [9] VDI: Menschliche Zuverlässigkeit – Blatt 3: Methoden zur Ereignisanalyse (Gründruck), Beuth-Verlag, Berlin, 2002
 [10] VDI: Menschliche Zuverlässigkeit – Blatt 1: Ergonomische Forderungen und Methoden der Bewertung, Beuth-Verlag, Berlin, 2003
 [11] VDI: Menschliche Zuverlässigkeit – Blatt 2: Methoden zur quantitativen Bewertung menschlicher Zuverlässigkeit, Beuth-Verlag, Berlin, 2010
 [12] Hollnagel, E.; Woods, D. D.: Joint cognitive systems: foundations of cognitive systems engineering. Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005
 [13] Arenius, M.; Sträter, O.: Cognition on track – A new model for Human Reliability Assessment (HRA) in the railway domain, in: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme, Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften, Verlag GfA-Press, S. 607–610, Dortmund, 2012
 [14] Schwencke, D.; Lindner, T.; Milius, B.; Arenius, M.; Sträter, O.; Lemmer, K.: A New Method for Human Reliability Assessment in Railway Transport, in: Proc. of PSAM11 and The Annual European Safety and Reliability Conference ESREL 2012, Helsinki, Finnland, Volume 8, S. 6139–6147
 [15] Schwencke, D.; Talg, M.; Lemmer, K.: Bewertung des Einflusses von Performance Shaping Factors auf menschliche Handlungen im Bahnbetrieb, in: Gestaltung nachhaltiger Arbeitssysteme, Bericht zum 58. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaften, Verlag GfA-Press, S. 601–605, Dortmund 2012
 [16] Gilroy J.; Grimes, E.: The development and application of a rail human reliability assessment tool. People and rail systems – Human factors at the heart of the railway, S. 455–463, 2007
 [17] DIN 5566-1:2006-09 Schienenfahrzeuge – Führerräume – Teil 1
 [18] DIN EN ISO 9241-1:2002-02 Ergonomische Anforderungen für Bürotätigkeiten mit Bildschirmgeräten – Teil 1: Allgemeine Einführung (ISO 9241-1:1997) (enthält Änderung AMD 1:2001); Deutsche Fassung EN ISO 9241-1:1997 + A1:2001.
 [19] Lindner, T.; Milius, B.; Schwencke, D.; Lemmer, K.: Influential Factors on Human Performance in Railways and their Interrelations. Angenommen für: The Annual European Safety and Reliability Conference (ESREL), Amsterdam; 2013



Dipl.-Ing. Tobias Lindner

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Institut für Eisenbahnwesen
 und Verkehrssicherung,
 TU Braunschweig
 tobias.lindner@tu-bs.de



Dipl.-Inform. Daniel Schwencke

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Institut für Verkehrssystem-
 technik, DLR
 daniel.schwencke@dlr.de



Dr.-Ing. Birgit Milius

Akademischer Rat
 Institut für Eisenbahnwesen
 und Verkehrssicherung,
 TU Braunschweig
 b.milius@tu-bs.de



Jan Grippenkov, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Institut für Verkehrssystem-
 technik, DLR
 jan.grippenkov@dlr.de



Marcus Arenius, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
 Bereich Systemische Gestaltung,
 Universität Kassel
 arenius@ifa.uni-kassel.de



Prof. Dr. habil. Oliver Sträter

Leiter des Fachgebiets
 Arbeits- und Organisations-
 psychologie, Universität Kassel
 straeter@uni-kassel.de

Summary

Considerations about the reliability of engine drivers

The project SMSmod “System Mensch – Sicherheit modellieren” (modelling the system human factor – safety) aims at further development of safety assessment methods by the example of railway operations, facilitating a detailed mapping of human action in combination with technology. The project’s prime objective was the development of a method to investigate inappropriate human behaviour on the basis of event data, with a focus on the identification of significant influential factors favouring human errors. Abstraction of the results will not only serve as the basis for a system development, but may also be used for hazard analysis of existing systems.