

„Human-in-the-Loop-Simulator“ – Ein neuer Ansatz zur Gefährdungs- und Risikoanalyse

The human in the loop simulator – a new approach to hazard and risk analysis

Jürg Suter | Eckehard Schnieder

Fahrdienstleiter arbeiten heute meist in Leitzentralen, während Fahrzeugführer ihre Aufgaben zeitgleich auf den Fahrzeugen erfüllen. Die Spielräume derartig komplexer Mensch-Maschine-Interaktionen können durch quantitative und qualitative Methoden mittels integrierter Simulatoren analysiert werden. Testfahrten auf einem Fahrsimulator dienen zur Messung des Situationsbewusstseins von Fahrzeugführern und von Auswirkungen von Stressoren wie z. B. Zeitdruck. Die Testergebnisse offenbaren den Nutzen integrierter Fahr- und Stellwerkssimulatoren für neue Einblicke in die Auswirkungen menschlicher Faktoren auf den Eisenbahnbetrieb und ihren Beitrag zur Eisenbahnsicherheit.

1 Einführung und Motivation

Die Automatisierung hat in den vergangenen Jahrzehnten zu grundlegenden Veränderungen im Eisenbahnsystem geführt. Sicherungsanlagen und Stellwerke wurden automatisiert, sodass die Fahrdienstleiter nicht mehr vor Ort, sondern in Betriebszentralen arbeiten. Ihre Aufgaben verlagerten sich von der Bedienung der Anlagen hin zur Überwachung derselben. Die Automatisierung der Fahrzeugführung verläuft jedoch langsamer.

Diese Entwicklungen haben zu erheblichen Änderungen bei den Aufgaben von Fahrzeugführern und Fahrdienstleitern geführt. In ihrer Zusammenarbeit haben beide in der Regel keinen unmittelbaren persönlichen Kontakt mehr. Stattdessen kommunizieren sie indirekt mittels Signalen der Zugsteuerungs- und -sicherungstechnik. Nur in Ausnahmen oder Notfällen arbeiten Fahrzeugführer und Fahrdienstleiter in persönlichem telefonischem Kontakt. Dies führt in gewissem Maße zu einem Verlust des Systemwissens. Dies wirkt sich dann aus, wenn die Anforderungen an die menschlichen Tätigkeiten steigen, wie z. B. bei einem Ausfall technischer Komponenten oder bei der Behandlung von Störungen oder Vorfällen. Da die Berufsausübung im Eisenbahnsystem ein hohes Maß an Multitasking beinhaltet, ist es schwierig, menschliches Verhalten mit quantitativen oder linearen Methoden zu messen. Auch die Auswirkungen angeeigneter Arbeitsroutinen und eintrainierter Prozesse für das Bewältigen sicherheitsrelevanter Situationen im Falle neuer Betriebsformen, wie das automatisierte Fahren, lassen sich auf linearem Weg nicht oder nicht genügend tief untersuchen.

Eine Analyse von Vorfällen in der Schweiz zeigte, dass die Interaktion zwischen Fahrdienstleitern und Triebfahrzeugführern kausale Auswirkungen auf den Verlauf der Ereignisse hat [1]. Wo sicherheitskritische Komponenten ausfallen, sind Klarheit und Eindeutigkeit bei der Kommunikation von Anweisungen entscheidend.

Train dispatchers mostly work in control centres, while train drivers perform their tasks simultaneously in locomotives. The scope of this kind of complex human-machine interaction can be analysed using qualitative and quantitative methods in integrated simulators. Test drives on a driving simulator provide measurements of situational awareness of train drivers and of the effects of stress factors such as time pressure. The test outcomes clearly show how the use of integrated driving and signalling simulators can reveal new insights into the impact of human factors on rail operations and their contributions to railway safety.

1 Implementation and motivation

Automation has led to fundamental changes in recent decades. Security devices and signal boxes have been automated, so that train dispatchers no longer operate them locally, but from operation centres. The dispatcher's task has shifted from the operation of the equipment to monitoring it. However, developments in rail vehicle automation have proceeded more slowly.

These developments have resulted in considerable changes in the duties of train drivers and train dispatchers. Nowadays, both groups no longer generally come into personal contact during their cooperation. Instead, they communicate indirectly via the signals in the train management and control systems. Train drivers and train dispatchers only come into personal contact by telephone in exceptional cases or in emergencies. This has resulted in a loss of system knowledge to a certain extent. Such losses will especially have an impact, whenever the demands on human activity increase, such as in the event of a failure of technical components or when dealing with incidents.

Given that professional experience in the railway system involves a high level of multitasking, it is difficult to measure human behaviour using quantitative or linear methods. The effects of appropriate work routines and trained procedures for dealing with safety-related situations in the case of new operational modes, such as automated driving, also cannot be investigated linearly.

An analysis of incidents in Switzerland has shown that the interaction between train dispatchers and train drivers has a causal effect on the course of events [1]. Clarity and unambiguity in communication are crucial whenever safety-critical components fail.

These results have revealed the important influence of the human factor and the causes of disruptions, which could not all

Diese Erkenntnisse offenbaren den maßgeblichen Einfluss menschlicher Faktoren und Ursachen für Störungen, die nicht alle vorhersehbar waren. All dies verlangt eine zusätzlichen Berücksichtigung bei der Risikoanalyse.

2 Risikoanalyse und -beherrschung durch Human-in-the-Loop-Simulator

Da die Eisenbahnen komplexe Mensch-Maschine-Systeme sind, resultiert ihr Betrieb aus dem emergenten Verhalten ihrer interagierenden technischen und menschlichen Bestandteile, welche beide Ausfälle verursachen können. Die menschlichen Ausfälle beeinflussen das System in drei Bereichen:

- i. während der menschlichen durchgeführten Systementwicklung
- ii. infolge der von Menschen entworfenen und ausgeführten Organisation und
- iii. während der unmittelbaren menschlich veranlassten Durchführung, mehr oder weniger in Übereinstimmung mit den betrieblichen Regeln und organisatorischen Prozessen.

Der sichere Eisenbahnverkehr wird durch qualifizierte Entwicklung und Betrieb unter Beachtung des gesamten normativen Rahmens gewährleistet. Während der Entwicklung ist die Risikobewertung eine wichtige Aufgabe. Zu diesem Zweck können nach dem Anhang der europäischen CSM-Verordnung 402/2013 verschiedene Ansätze wie a) Code der Praxis, b) Verweis auf ähnliche Referenzsysteme und c) explizite Risikoabschätzung verwendet werden. Seine Ziffer 2.5.7 besagt explizit: „Die für die explizite Risikoabschätzung eingesetzten Methoden geben das System, das der Bewertung unterzogen wird, und seine Parameter (einschließlich aller Betriebsmodi) korrekt wieder.“ Für die ZS-Entwicklung inklusive Risiko- und Gefährdungsanalyse finden sich weitere Details in den EU-Normen 5012X. Speziell in Bezug auf Software wird in DIN EN 50128 mehrfach eine modellbasierte Analyse empfohlen, z. B. umfasst insbesondere die Tabelle A.17 Modellierung zehn verschiedene highly recommended Modellierungstechniken.

Modelle werden auf unterschiedliche Weise interpretiert. Zum einen sind es analytische Modelle mit mathematischen Formeln oder in Form von Programmiersprachen, zum anderen sind es physikalische Modelle, entweder verkleinert oder Simulatoren mit mehr oder weniger realistischem Verhalten. Beide Modelltypen – die analytischen oder die physikalischen – können mit Teilen eines bereits in Software implementierten Systems oder zusätzlich mit Hardware gekoppelt werden, um Hardware- oder Software-in-the-Loop (HIL/SIL)-Tests oder -Simulationen durchzuführen. Beide Ansätze weisen Nachteile auf: Die ersten resultieren aus der Abstraktion analytischer Modelle, den zweiten fehlt die Vollständigkeit aller möglichen physikalischen Verhaltensweisen.

Das menschliche Verhalten mit seinen sogenannten Human Factors wirkt sich insbesondere infolge von und bei Ausfällen von Systemkomponenten aus. Menschliches Versagen wird in vielen Fällen durch die technische Zugsicherung und Stellwerkslogik erkannt, blockiert und hat so keinen Einfluss auf die Sicherheit. Da jedoch menschliche Entscheidungen oft komplexen Prozessen unterworfen sind, treten einige seltene Störungen in Koinzidenz mit seltenen Betriebs- oder Umgebungsumständen auf, die während der System-, Organisations- oder Regularienentwicklung nicht vorausgesehen oder erkannt wurden, sodass eine gefährliche Situation eintritt, die zu einem Unfall führen kann.

Um menschliche Einflussfaktoren bereits im Systemdesign zu bewältigen, könnte – ähnlich wie der Hardware/Software-in-the-Loop-Ansatz – ein Human-in-the-Loop-Ansatz diese Lücke

have been foreseen. This must also be taken into account during the risk analysis.

2 Risk analysis and control using a human in the loop simulator

As railways are very complex human-machine systems, their operations result from the emergent behaviour of its interacting components, i.e. its technical and human constituents, which can both lead to failures. Human failures influence the system in three areas:

- i) during the system development which is undertaken by people.
- ii) as a result of the organisation which has been designed and performed by people
- iii) during operations which are directly undertaken by people more or less in agreement with the operational rules and organisational processes.

The goal of safe railway transportation will be achieved by means of qualified development and operations while taking the overall legal framework into account. Risk assessment is an important task during the development phase. To this end, different approaches such as i) codes of practice, ii) references to similar reference systems and iii) explicit risk estimates can be implemented in accordance with the Annex to the European 402/2013 CSM regulation. Paragraph 2.5.7 explicitly states that: “the methods used for explicit risk estimation will correctly reflect the system under assessment and its parameters (including all its operational modes)”. More details can be found on the CCS-constituent development, including the risk and hazard analysis, in the EU 5012X standards. A model based analysis is repeatedly recommended in DIN EN 50128, especially with regard to software; for example, Table A.17 Modelling includes ten different highly recommended modelling techniques.

Models can be interpreted in different ways. On the one hand, there are analytical models with mathematical formulae or in the form of programming languages, while, on the other hand, there are physical models, either scaled down or simulators with more or less realistic behaviour. Both model types (the analytical and the physical) can be coupled with parts of a system, which has already been implemented in software, or additionally with hardware in order to perform hardware or software in the loop (HIL/SIL) tests or simulations. These approaches contain two drawbacks: the first such drawback results from the abstract nature of the analytical models, while the second involves the lack of completeness with regard to all possible physical behaviours. Human behaviour with its so-called human factors particularly comes into play during the failure of any system components. In many cases, human error will be detected and blocked in these cases by the train safety and track protection systems and it therefore will not influence safety. However, as human behaviour is highly complex, some rare malfunctions coinciding with rare operational or environmental circumstances may occur in ways which were not foreseen during the development of the system, the organisation and the regulations, meaning that a hazardous situation may arise which can lead to an accident.

In order to tackle these human factors in the system design, a human in the loop approach could close this gap in order to ensure safe system development (similarly to the hardware/software in the loop approach). A first approach would be to try to model human behaviour using analytical or executable simulation models as is done in aviation [2]. Another approach would be to model the technical railway environment very realistically.

für eine sichere Systementwicklung schließen. Eine erste Variante dieses Ansatzes wäre, menschliches Verhalten durch analytische oder ausführbare Simulationsmodelle wie in der Luftfahrt zu modellieren [2]. Eine komplementäre Variante ist, die technische Bahnumgebung durch Simulatoren sehr realistisch nachzubilden, in die menschliche Bediener quasi unter realen Arbeitsbedingungen eingebettet werden. Da so kein unvollständiges menschliches „Modell“ zu betrachten ist, ist dies ein sehr vielversprechender Ansatz.

Mit Simulator-Experimenten können reproduzierbare Vorgänge und extreme Betriebs- und Umgebungsbedingungen nachgebildet werden, sodass die menschliche Leistungsfähigkeit und Stressresistenz bis zu gewissen Grenzen untersucht werden können. Darüber hinaus kann auch das Verhalten in seltenen Betriebssituationen getestet werden. Im Eisenbahnsektor gab es bisher nur wenige Studien zu Mensch-Maschine-Interaktionen oder mentaler Informationsverarbeitung und deren Auswirkungen [3, 4].

3 Integrierter Bahnsimulator – Anforderungen und Simulationsumgebung

Um komplexe Probleme bei der Mensch-Maschine-Interaktion innerhalb des Eisenbahnsystems zu verstehen und zu untersuchen, wäre eine integrierte Fahr- und Stellwerksumgebung in Form eines Simulators am besten geeignet, welche dem (Versuchs-)Personal eine realistische Arbeitsumgebung gewährt. Diese würde eine flexibel konfigurierbare Experimentalplattform zur Auswir-

ly using simulators, where embedded human operators could act as they would under real working conditions. This is a very promising approach, as no incomplete human “model” needs to be considered.

Simulator experiments can be carried out with regard to reproducible extreme operating and environmental conditions, so that the human performance and stress resistance can be investigated up to specific limits. Furthermore, the behaviour can be tested in operational situations. Only a few studies on human-machine interactions or mental information processing and their effects have been carried out in the railway sector [3, 4].

3 The integrated railway simulator – the requirements and the simulator environment

In order to study the complex issues arising from the human-machine interactions within the railway system, the best suited integrated driving and signalling simulator environment would be one which provided a realistic working environment for the (test) staff. This would offer a flexible configurable experimental platform to help detect vulnerability issues in the system level, such as ambiguous passages in the rules and regulations or the lack of fall-back levels in the technology and any other problems arising from human factors. This could support the operational risk analyses and complete or validate them. In addition, accidents which have already occurred could be simulated in order

Lesen Sie SIGNAL + DRAHT digital!

Jetzt in Ihrem Abonnement freischalten –
ohne zusätzliche Kosten

FÜR ABONNENTEN BEREITS IM PREIS
ENTHALTEN! DAS **KOMPLETTE MEDIENPAKET**
ONLINE & APP – **ALLES INKLUSIVE!**

WWW.EURAILPRESS.DE/SD-DIGITAL



E-Paper

Das E-Paper erhalten Sie per E-Mail.
Sie können es dann sofort lesen, herunterladen,
drucken oder dauerhaft speichern.



SD-Online mit Archivzugang

Online jederzeit Zugriff auf die
aktuellsten Nachrichten und komfortable
Stichwort-Suche sowie den Archivzugang.



App für Tablet und Smartphone

Per Eurailpress Kiosk-App alle Ausgaben
von SIGNAL + DRAHT griffbereit: Mobil und
unabhängig von Ihrem Aufenthaltsort.

Als Abonnent haben Sie die Möglichkeit unsere Fachinformationen auch in digitaler Form zu nutzen – ohne zusätzliche Kosten. Sie nutzen bereits alle digitalen Bestandteile Ihres Abonnements und möchten, dass weitere Kollegen SIGNAL + DRAHT digital lesen können?

Dann schreiben Sie uns: lizenzen@dvvmedia.com und Sie erhalten Ihr individuelles Angebot.



Bild 1: Stellwerkbedienung, Führerstandssimulator und Video-Bildschirm

Fig. 1: Impression of the signal box interface with loco driver cab simulator and video screen



kungsanalyse von Unregelmäßigkeiten auf Systemebene bieten, wie z. B. mehrdeutige Passagen in Vorschriften und Regelwerken oder das Fehlen von Rückfallebenen in der Technik und andere Probleme, die sich aus dem Einfluss von menschlichen Faktoren ergeben. Diese könnte die Risikoanalyse unterstützen und vervollständigen oder validieren. Darüber hinaus könnten auch bereits eingetretene Unfälle nachträglich simuliert werden, um die Ursachen oder Konfliktketten zu untersuchen.

Die Simulatorarbeitsplätze sowohl der Fahrzeugführer in den Führerständen als auch der Fahrdienstleiter / Disponenten in den Stellwerken oder Leitzentralen müssen mit einem hohen Detaillierungsgrad und vertrauenswürdiger Arbeitsumgebung gestaltet sein, damit die Probanden in ihrer Arbeit hinreichend aufgehen, um ein natürliches Verhalten in Bezug auf ihre Gewohnheiten und Routinen zu zeigen. Dabei haben Fahrsimulatoren, welche die Bewegung der Fahrdynamik simulieren, eine größere Akzeptanz gefunden.

Auf der Grundlage dieser Anforderungen und der Analyse bestehender Fahrsimulatoren wurde eine integrierte Simulations- und Simulatorumgebung sowohl für Fahrzeugführer als auch für Fahrdienstleiter entwickelt [5]. Sie besteht aus mehreren Führerständen von Lokomotiven, einer realistischen Fahr- und Gleisumgebungsanimation durch in Echtzeit betriebene Bildschirme und Signalierungs- und Stellwerkelemente, entweder als Software-Simulation oder echte Hardware (Bild 1). Diese Umgebung ermöglicht die realistische Modellierung eines kompletten Fahrplan-Szenarios auf jeder Zugstrecke oder in jedem Überwachungsbereich, für den ein Fahrdienstleiter oder Disponent in einer Betriebszentrale zuständig ist.

Für die Modellierung der Stellwerkslogik wurde eine Standardmodellierung angestrebt, die universell und unabhängig von der Stellwerksbauform ist. Da die Funktionen der Stellwerkslogik grundsätzlich in zyklischen und ereignisdiskreten Prozessen arbeiten, wurden zweckmäßigerweise Petrinetze zu deren Modellierung und Simulation genutzt [6].

Für die effiziente und wirtschaftliche Strecken- und Gleismodellierung mehrerer Strecken wurden die dafür benötigten Daten

to investigate the causes or the conflict chain which could have led to them.

The simulator workplaces for train drivers and train dispatchers must be designed with a high level of detail and as faithful representations of the test subjects' familiar working environments. These issues are vital for ensuring that the test staff can become sufficiently absorbed in their work to display natural behaviour in terms of their habits and routines. As such, driving simulators which are equipped with a motion base to simulate the vehicle dynamics have met with greater acceptance.

An integrated simulation toolkit has been developed for both train drivers and train dispatchers [5] based on these requirements and the analysis of the existing driving simulators. It consists of several locomotive cabs, realistic driving and track environment animation using real-time operated projection screens and signalling and interlocking equipment, either as a software simulation or using real hardware devices (fig. 1). This environment enables the realistic modelling of a complete schedule scenario on each route or area of supervision, which a dispatcher in an operations center is responsible for.

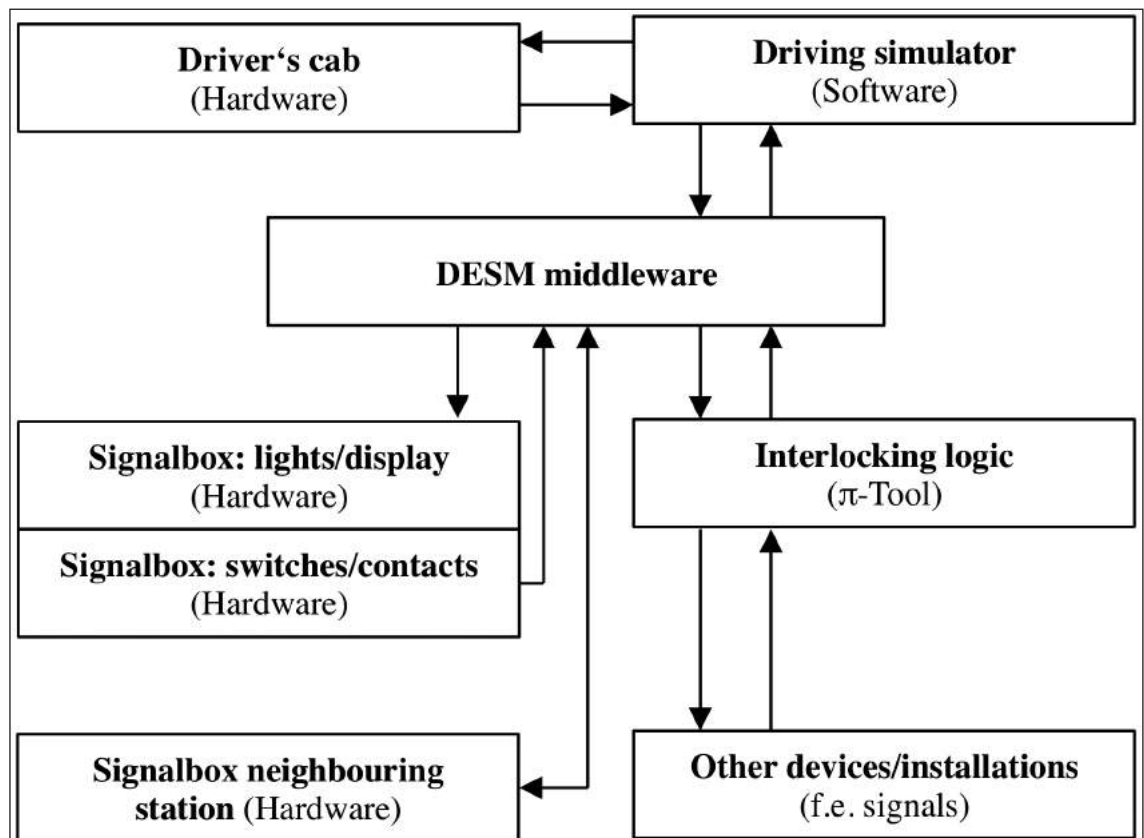
A standard modelling concept, which is universal and independent of the technical type, has been achieved for modelling the interlocking functions. Given that the functions of the interlocking logic principally operate in cyclic and event discrete processes, Petri net descriptions have been expediently applied to the modelling and simulation [6].

In order to enable the efficient and cost-effective modelling of multiple tracks and platforms, the necessary data has been compiled in the video-based QRailScan tool [11] and converted into the improved RailML data format with its specific geographic and geometric layout and stored in a database [7].

All the components of the integrated simulator and simulation toolkit are tightly coupled via the TCP/IP or DLL interfaces. Fig. 2 shows the connection principle between the driving and interlocking simulators via DESM middleware, including the data flows.

Bild 2: Architektur der integrierten Simulationsumgebung

Fig. 2: Principle of the integrated simulation toolkit



mit dem videobasierten Tool QRailScan erfasst [11] und mit ihrem spezifischen geografischen und geometrischen Layout in ein verbessertes RailML-Datenformat konvertiert und von einer Datenbank gespeichert [7].

Alle Komponenten der Experimentalplattform sind über TCP/IP- oder DLL-Schnittstellen in fester Kopplung über die DESM Middleware verbunden (Bild 2).

Die Simulatorumgebung kann für unterschiedliche Streckenbedingungen und Signalisierungen, für unterschiedliche Betriebs- und Umgebungsbedingungen, für unterschiedliche Stellwerksbauformen, Zugbeeinflussungssysteme usw. konfiguriert und parametrisiert werden. Durch den Echtzeitbetrieb wird das Zugverhalten durch Bewegung, Akustik und Vision sehr realistisch simuliert, sodass sich die Fahrzeugführer nach wenigen Momenten fast genauso verhalten, als wenn sie in einer echten Lok sitzen oder echte Stellwerke bedienen würden. Professionelle Freiwillige mit großer Erfahrung im Eisenbahnbetrieb validierten das Prüflabor.

4 Methodik und experimentelle Ergebnisse

Um komplexe Zusammenhänge wie im Eisenbahnbetrieb zu verstehen und zu analysieren, sind sowohl qualitative, quantitative als auch formale Methoden erforderlich. Für die Untersuchung und Bewertung der Leistungsfähigkeit des Fahrzeugführers durch den entwickelten Human-in-the-Loop-Simulator-Ansatz wird das Situationsbewusstseins-Modell (engl. Situation Awareness SA) von Endsley [8] bevorzugt. Teile dieser Methodik, die vor allem in der Luftfahrt angewendet wurde, basierten auf dem Forschungsprojekt Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in Training, wo die SA-bezogenen Fähigkeiten von Piloten untersucht wurden.

The simulator environment can be configured and parameterized for different track conditions and signalling, operating and environmental conditions, signalling units, train control systems, etc. The train behaviour is simulated very realistically in real time operations by means of movement, acoustics and vision, so that the drivers behave as if they were sitting in a real locomotive or using a real interlocking system. Professional volunteers with extensive experience in railway operations have validated the simulator laboratory.

4 The methodology and experimental results

Quantitative and qualitative methods, as well as formal methods are needed in order to understand complex issues such as railway operations. The situation awareness (SA) model by Endsley [8] is preferred when investigating and assessing a human driver's performance using the developed human in the loop simulator approach. Parts of this methodology, which has particularly been applied in aviation, are based on the Enhanced Safety through Situation Awareness Integration in Training research project where pilots' SA-related skills were investigated.

Credits were awarded on the basis of the previously specified criteria for the observed behaviour and so-called SA performance scores were calculated (see tab. 1).

In addition, the Situation Awareness Rating Technique (SART) was also used and this permitted the subjects to rate their own situational awareness [9]. A questionnaire which has been validated for this purpose consists of ten items concerning the Understanding of the Situation (U), the Supply of Mental Attention Resources (S) and the Demand for Attentional Resources (D). The total score was obtained using the formula: SART total score = U + S - D.

Dilemmata in test drive B		Criteria	Mean SA performance Without time pressure	Mean SA performance With time pressure
1	Only upper light of shunting signal working	Has dispatcher been advised?	1.60	1.60
2	Traction loss	Start breaking before advance signal?	1.70	1.40
3	Speed restriction section 80 km/h	VIST 80 km/h entry signal?	1.25	1.20
4	Neutral section	Correct process for neutral section?	1.90	1.70
5	Exit signal closed (neighbouring signal open)	Correct process?	1.95	1.85
6	Advance signal 60 km/h	Main signal 60 km/h?	1.70	1.55
7	Extra stop at Zurich-Altstetten	Has train stopped at Zurich-Altstetten?	1.75	1.95
8	Incoming emergency call/distorted sound	Line-of-sight driving (V max 40 km/h)?	1.60	1.55
9	Has dispatcher been advised?	Has dispatcher been advised?	1.40	1.10
10	Only one lower light of shunting signal working	Has train been stopped?	1.70	1.30
11	Has dispatcher been advised?	Has dispatcher been advised?	1.70	1.10
SA performance score			18.25	16.30

Tab. 1: Dilemmata und Kriterien in der Testfahrt B. Die SA-Leistungsbewertung wird berechnet, indem die Punkte für die Handhabung der elf Dilemmata hinzugefügt werden. Die Gesamtpunktzahl reicht von 0 bis 22 [1].

Tab. 1: Dilemmata and criteria in test drive B. The SA performance score is calculated by adding the points obtained for handling of the eleven dilemmata. The total score ranges from 0 to 22 [1].

Basierend auf zuvor festgelegte Kriterien wurden für das beobachtete Verhalten Punkte vergeben und sogenannte SA-Performance-Scores berechnet (siehe Tab. 1).

Darüber hinaus wurde die Situation Awareness Rating Technique (SART) verwendet, die es den Probanden erlaubte, ihr eigenes Situationsbewusstsein zu bewerten [9]. Ein dafür validierter Fragebogen enthält elf Positionen, betreffend das Verständnis für die Situation (U), die Bereitstellung von mentalen Aufmerksamkeitsressourcen (S) und die Anforderung von Aufmerksamkeitsressourcen (D). Die Gesamtpunktzahl (Score) wird mit der Formel berechnet: $SART\text{-Gesamtpunktzahl} = U + S - D$.

Je höher die Gesamtpunktzahl ist, desto besser ist das individuelle Situationsbewusstsein. Für bekannte kritische Situationen auf Bahnstrecken wurde das Verhalten der Fahrzeugführer in mehreren Simulatorexperimenten untersucht. Dabei mussten die Probanden zwei Personenzüge auf zwei verschiedenen Simulator-Strecken in der Schweiz fahren, eine von Olten nach Brugg, die andere von Baden nach Zürich. Jede Testfahrt enthielt die in Tab. 1 aufgelisteten elf SA-relevanten Situationen oder Dilemmata. Die Beobachtungen konzentrierten sich auf spezifische Aktionen der Versuchspersonen nach jedem Dilemma.

Während die SA-Performance und die SA-Selbstbewertung die abhängigen Variablen darstellten, wurde der Zeitdruck als Stressfaktor hinzugefügt, welcher die unabhängige Variable darstellt. Jeder der 20 Fahrzeugführer musste eine Testfahrt unter Zeitdruck und eine ohne Zeitdruck durchführen. Dies führte zu den Testscenarien und Parametern in Tab. 2. Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Testfahrten. Für jedes SA-Dilemma wird dort der Mittelwert der SA-Leistung mit und ohne Zeitdruck angegeben [1].

Der Einfluss des Zeitdrucks auf die SA-Performance und die SA-Selbstbewertung wurde durch die Varianzanalyse mit wiederholten Messungen berechnet. Eine Übersicht über die Ergebnisse der Testläufe zeigt Bild 3, wobei alle Testläufe mit Zeitdruck mit allen ohne Zeitdruck verglichen werden. Insgesamt hatte der Zeitdruck in den beiden Gruppen einen bedeutenden Einfluss. Die gleichzeitige signifikante Wechselwirkung zwischen Zeitdruck und Gruppe dürfte jedoch zeigen, dass die verschiedenen Leistungsdurchschnitte nicht nur aus Zeitdruck resultieren, sondern auch von der Gruppenzugehörigkeit abhängen. Allerdings

The higher the overall score, the better the individual's awareness of the situation. The behaviour of train drivers has been examined in several simulator experiments based on the known critical situations on railway lines. The subjects had to drive two passenger trains on two different simulator routes in Switzerland, one from Olten to Brugg and the other from Baden to Zurich. Each test drive included the eleven so-called SA-relevant situations or dilemmas listed in tab. 1. The observations focused on the specific actions taken by the test subjects after each dilemma.

Whereas the SA performance and the SA self-rating represented the dependent variables, time pressure was added as a stress factor which represented an independent variable. Each of the 20 train drivers had to complete one test run under time pressure and one without time pressure. This resulted in the test scenario parameters set out in tab. 2. Fig. 3 shows the results of the test drives. The mean value of the SA performance with and without time pressure is given for each SA dilemma [1].

The influence of the time pressure on the SA performance and the SA self-rating was calculated by means of an analysis of the variance in the repeated measurements. An overview of the results of the test drives is shown in fig. 3, whereby all the test runs with time pressure have been compared with all the test drives without time pressure. In general, the time pressure had a significant influence in both groups. However, the simultaneous significant correlation between the time pressure and the group could indicate that the different performance averages did not only result from the time pressure, but that they also depended on the group membership. However, a significant negative effect on SA performance was found in the final section of the test run, where the drivers were presented with more difficult dilemmas. In this case, there was no significant correlation between the time pressure and the group. This result indicates that time pressure in combination with the increased workload made it more difficult for the drivers to give a good SA performance. Time pressure only showed a numeric effect, but no other significant effect on the SA self-rating, which was only undertaken for the overall run [1].

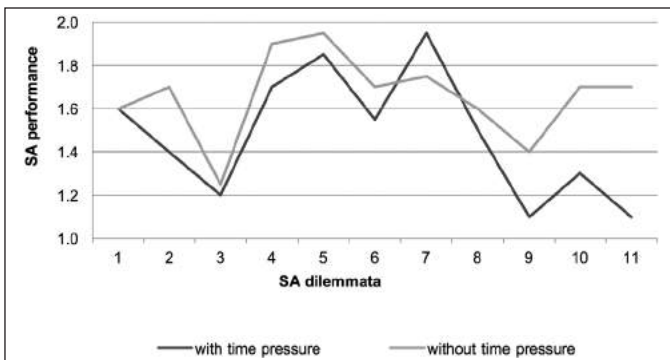


Bild 3: Die Übersicht über die Ergebnisse der Fallstudien zeigt die Mittelwerte der SA-Performance pro SA-Dilemma für Lokführer mit und ohne Zeitdruck [1].

Fig. 3: Overview of the results of the test drives, showing overall mean of SA performance for each SA dilemma, divided into lines with and without time pressure [1]

wurde im letzten Abschnitt der Testfahrt ein signifikanter negativer Effekt auf die SA-Performance festgestellt, wo den Probanden schwierigere Dilemmata präsentiert wurden. Hier gab es keine signifikante Wechselwirkung zwischen Zeitdruck und Gruppe. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass in Verbindung mit einer erhöhten Arbeitsbelastung es der Zeitdruck für die Fahrzeugführer schwieriger macht, eine gute SA-Leistung zu zeigen. Der Zeitdruck zeigte nur eine numerische, aber keine signifikanten Aus-

	Test drive A (Olten – Brugg)	Test drive B (Baden – Zürich)
Group 1: ten test subjects	No time pressure	Time pressure
Group 2: ten test subjects	Time pressure	No time pressure

Tab. 2: Probanden unterteilt in Gruppen 1 und 2 zur Messung der SA-Leistung und zur Verwendung der Situation-Awareness-Rating-Technik (SART) [1]

Tab. 2: Test subjects divided into Groups 1 and 2 to measure SA performance and for use of the Situation Awareness Rating Technique (SART) [1]

5 The conclusion and the impact on railway engineering

When technical equipment and human operators interact in complex automated systems, the usual procedures are generally predictable and structured. However, errors due to human factors must be taken into account in very rare situations, which are particularly stressful for the staff. Such situations can be investigated using a novel approach, i. e. the Human in the Loop Simulator. The test results from the studies carried out using this instrument as well as the relevant literature [3, 4, 11] show that increasing stress factors such as a higher workload, a lack of system knowledge, monotony and poorly identifiable signalling make it more difficult to develop an appropriate situational awareness. In railway systems, however, such a level of situational awareness is one of the central prerequisites for safe operations.

SAVE THE DATE



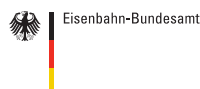
20. Jahrestagung der Eisenbahnsachverständigen 20. – 21. Februar 2018 in Fulda, Maritim Hotel

Weitere Informationen finden Sie ab Dezember 2017 im Internet unter www.eurailpress.de/events

Veranstalter:



In Zusammenarbeit mit:



wirkungen auf die SA-Selbstbewertung, die nur für die gesamte Fahrt durchgeführt wurde [1].

5 Schlussfolgerung und Auswirkungen auf den Eisenbahnbetrieb

Wenn in komplexen automatisierten Systemen technische Einrichtungen und menschliche Bediener interagieren, sind die üblichen Abläufe in der Regel vorhersehbar und strukturiert. Bei sehr seltenen Situationen, die das Personal besonders beanspruchen, müssen jedoch Fehlhandlungen aufgrund der sogenannten Human Factors berücksichtigt werden. Derartige Situationen können mit einem neuartigen Ansatz, dem Human-in-the-Loop-Simulator untersucht werden. Die Testergebnisse der mit diesem Instrumentarium durchgeführten Studien sowie die relevante Literatur [3, 4, 11] zeigen, dass zunehmende Stressfaktoren wie eine höhere Arbeitsbelastung, ein Mangel an Systemwissen, Monotonie und schlecht identifizierbare Signalisierung es schwieriger machen, ein angemessenes Situationsbewusstsein zu entwickeln. In Eisenbahnsystemen ist jedoch ein solches Situationsbewusstsein eine der zentralen Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb.

Der Human-in-the-Loop-Simulator-Ansatz birgt somit ein erhebliches Potenzial für die Risikoanalyse und erlaubt im Einzelnen

- Ursachen oder Konfliktketten von bestehenden und möglichen Situationen, die nicht alle vorausgesehen werden können, zu analysieren;
- die menschliche Zuverlässigkeit und ihre Faktoren zu qualifizieren und zu quantifizieren;
- die nachträgliche Untersuchung sicherheitskritischer Vorfälle;
- Sicherheitsrisiken im Sinne von Safety und Security in Managementsystemen zu entdecken;
- demografische Herausforderungen menschlicher Leistungsfähigkeit der Belegschaft zu identifizieren;
- Schulung, Vorbereitung und Training der Reaktion für seltene und ungewöhnlichen Vorfälle.

Insgesamt offenbaren die Ergebnisse den Nutzen integrierter Fahr- und Stellwerksimulatoren für die betriebliche Risikoanalyse und für neue Einblicke in die Auswirkungen menschlicher Faktoren auf den Eisenbahnbetrieb und ihren Beitrag zur Eisenbahnsicherheit. ■

AUTOREN | AUTHORS

Dr.-Ing Jürg Suter

Abteilungsleiter Sicherheitsprüfung BÄR Bahnsicherung
 Department manager safety inspection BÄR Bahnsicherung
 Präsident Verein DESM.ch / President association DESM.ch
 Anschrift/Address: Trüelmat 24, CH-3624 Goldwil (Thun)
 E-Mail: j-suter@bluewin.ch

Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Eckehard Schnieder

Institutsleiter im Ruhestand / Institute Director retired
 Berater und Gutachter / Assessor and Consultant
 Anschrift/Address: Friedrich-Knoll-Str. 3, D-38104 Braunschweig
 E-Mail: eckehardschnieder@hotmail.de

The Human in the Loop Simulator approach therefore offers considerable potential for risk analysis and it enables the user

- to analyse the causes or conflict chains of existing and possible situations, which cannot all be foreseen;
- to quantify and qualify the human reliability and its factors;
- to carry out subsequent investigations into safety-critical incidents;
- to discover any safety risks pertaining to safety and security in the management systems;
- to identify any demographic challenges pertaining to the human performance in the workforce
- to train and prepare the reactions to rare and unusual incidents

In general, the results have revealed the benefits of integrated travel and signalling simulators for operational risk analysis and new insights into the impact of human factors on railway operations and their contributions to rail safety. ■

LITERATUR | LITERATURE

- [1] Stoller, N.: Situation Awareness von Lokführern während sicherheitskritischer Ereignisse im Bahnverkehr, Bachelorarbeit in Angewandter Psychologie, Fachhochschule Nordwestschweiz, Olten, 2013
- [2] Möhlenbrink, C.: Modellierung und Analyse von menschlichen Entscheidungsheuristiken mit farbigen Petri-Netzen, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, DLR-Bericht, Köln, 2011
- [3] Hintzen, A.: Der Einfluss des menschlichen Fehlers auf die Sicherheit der Eisenbahn, Dissertation, RWTH Aachen, 1993
- [4] Hammerl, M.: Analyse der menschlichen Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit im Eisenbahnverkehr, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2011
- [5] Suter, J.: Gestaltung eines Eisenbahn-Systemmodells für die Untersuchung von komplexen soziotechnischen Problemstellungen, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, 2017, http://www.desm.ch/userfiles/file/141026_Diss_Suter_4_4.pdf
- [6] IQST, 2013: Π-Tool. Institute for Quality, Safety and Transportation. Braunschweig. Retrieved August 04, 2014 from http://www.iqst.de/?page_id=24
- [7] Lehmann, M.; Albrecht, T.: Bericht über die Erarbeitung eines XML-basierten Schemas zur Darstellung der sicherungstechnischen Streckenausrüstung in einem Fahr Simulator, Institut für Verkehrstelematik, Technische Universität Dresden, 2008
- [8] Endsley, M. R.: Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems, Human Factors, 37(1), 32-64, 1995
- [9] Jones, D.; Endsley, M. R.: Sources of Situation Awareness Errors in Aviation, Aviation, Space and Environmental Medicine, 67(6), 597-512, 1996
- [10] Salzgeber, R.: Detektion von Eisenbahnsignalen in Videos, Bachelorarbeit, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, 2013
- [11] Wegele, S.: Manual of the Program QRailScan. Bedienungsanleitung des Programms QRailScan, Braunschweig, 2011



Rail
BUSINESS

Der Wirtschaftstitel
für den Bahnmarkt



Mit hochaktuellen
Nachrichten, Hintergründen
und Kommentaren zu:

- POLITIK & RECHT
- UNTERNEHMEN & PERSONALIEN
- GÜTER- & PERSONENVERKEHR
- INFRASTRUKTUR & FAHRZEUGTECHNIK

Das **MEDIEN** **Rail**
PAKET **BUSINESS** beinhaltet:

E-Paper: Das E-Paper erhalten Sie jeden Freitag zum Download und in der App

Rail Business Daily: Einmal täglich die wichtigsten Bahn-Nachrichten per E-Mail

App für Smartphone & Tablet: Alle Ausgaben sind auf Ihren mobilen Geräten verfügbar

Online-Archiv: Zugriff auf alle Rail Business Ausgaben im Archiv auf der Website

Jetzt 3 Wochen Rail Business testen!

www.eurailpress.de/rbsprobe