

# Untersuchung komplexer sozio-technischer Problemstellungen im Eisenbahnbetrieb

Die technische Entwicklung vor dem Hintergrund der Automatisierung im Bahnverkehr bringt neue Herausforderungen mit sich. Umgestaltungen an den Schnittstellen Mensch-Maschine stellen situativ hohe Anforderungen an das Personal mit sicherheitsrelevanten Tätigkeiten. Die Einführung von neuen Technologien verändert die Arbeit der Lokführer und Fahrdienstleiter grundlegend. Mit dem Übergang von der Bediener- zur Überwacherfunktion stellt sich die Frage, wie sich die Automatisierung auf ihre Arbeit auswirkt.

## 1. EINFÜHRUNG: VOM BEDIENER ZUM ÜBERWACHER

Die fortschreitende Automatisierung bei der Bahn führt insbesondere für Fahrdienstleiter und Lokführer zu signifikanten Änderungen bei ihren Arbeitsroutinen: Während noch vor zwei Jahrzehnten die Bedienung der Stellwerke viel Personal vor Ort erforderte, wird die Betriebsführung heute in Betriebszentralen unter Einsatz moderner Leittechnik durchgeführt. Künftig gibt es keine Bahnhöfe mehr, an welchen die Tätigkeit von Fahrdienstleitern im klassischen Sinne notwendig sein wird. Auch in der Fahrzeugtechnik sind wichtige technische Entwicklungen zu verzeichnen. Heute besteht eine der Aufgaben von Lokführern darin, während des Betriebs das korrekte Funktionieren der technischen Einrichtungen zu überwachen. Obwohl die Züge bisher auf

nicht unabhängiger Fahrbahn von Personal geführt werden, verändert sich die Arbeit der Lokführer laufend. Schon heute bringt die zunehmende Automatisierung bei der Bahn auch einen gewissen Verlust an Fertigkeiten und Systemkenntnissen mit sich, was sich bei besonderen Ereignissen durch Einschränkungen bei den Handlungskompetenzen von Lokführern und Fahrdienstleitern bemerkbar machen kann. Zum Beispiel geht durch den Einsatz moderner Leit- und Kommunikationstechnik die Routine mündlicher Übermittlung verloren, obwohl diesbezügliche Sprechregeln in den Fahrdienstvorschriften nach wie vor gültig sind. Im Ausnahmefall können Missverständnisse bei der Übermittlung von Nachrichten sicherheitsrelevante Auswirkungen haben.

Heute werden Züge üblicherweise manuell durch Lokführer gesteuert und mittels Zugbeeinflussungssystemen überwacht,

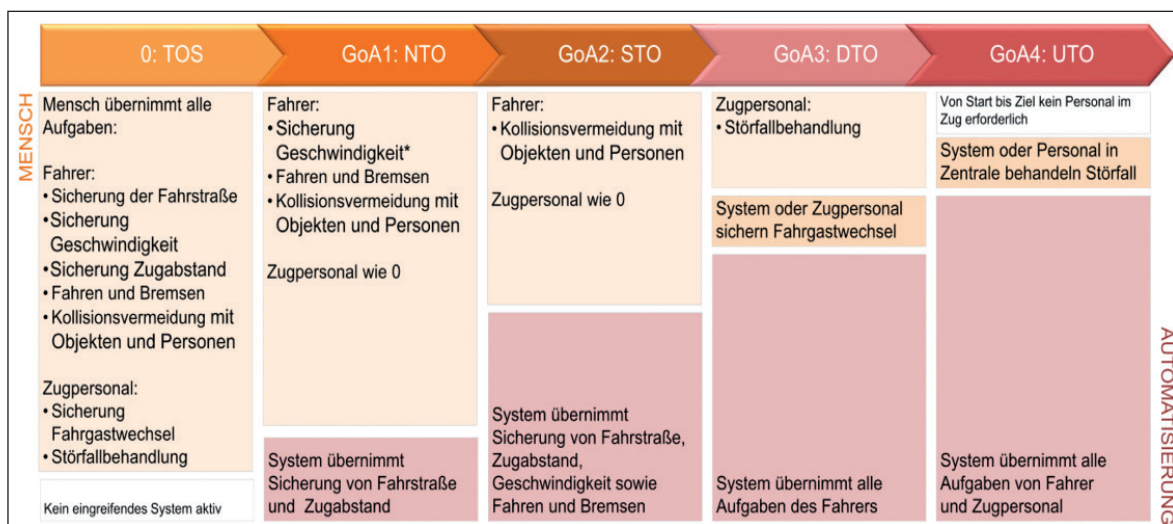


**Jürg Suter, Dr.-Ing.**  
Leiter Sicherheitsprüfung BÄR Bahnsicherung AG, Präsident Forschungslabor DESM  
<http://www.desm.ch>



**Martin Grolimund**  
Produktentwicklung BÄR Bahnsicherung AG, Mitglied Forschungslabor DESM  
<http://www.baer-ing.ch>

was dem Grade of Automation 1 (GoA1) entspricht (vgl. Bild 1). In der Schweiz werden zur Zeit Versuche mit automatisierten Zügen auf bestehenden Strecken vorbereitet, bei denen der GoA2-Betrieb eingeführt werden soll, indem der Lokführer den Zug »



**BILD 1:** Die Stufen vom manuellen zum vollautomatischen Betrieb der Bahn (Grade of Automation) GoA1 bis GoA4  
(Quelle: LEMMER 2016)



**BILD 2:**  
Der Fahr Simulator  
vom Typ Re 460 im  
DESM-Labor

nicht mehr selbst führt, jedoch nach wie vor sicherheitsrelevante Aufgaben bei der Fahrwegbeobachtung wahrnimmt, um im Bedarfsfall reagieren zu können. Der Stand der Technik, insbesondere im Bereich der Sensorik und Telekommunikation, lässt heute das automatisierte Verkehren von Zügen auch auf nicht unabhängiger Fahrbahn bereits vorstellbar erscheinen. Für den vollautomatischen Zugbetrieb auf regulären Bahnstrecken gibt es jedoch Fragestellungen, die komplexer sind als bei heute in Betrieb stehenden Systemen. (MEYER ZU HÖRSTE 2017: 30) Ferner ist zu beachten, dass mit dem Einsatz von selbstfahrenden Zügen das Potential menschlicher Fehler nicht vollständig eliminiert wird.

**BILD 3:** Untersuchung von betrieblichen Problemstellungen mit einem realen Zug



## 2. BEDEUTUNG DER HUMAN FACTORS IM EISENBAHNSYSTEM: ANWENDUNG VON SIMULATOREN ZU FORSCHUNGSZWECKEN

Aufgrund der vielen Wechselwirkungen und der hohen Komplexität können menschliche Fehler im Eisenbahnsystem nicht auf linearem Weg untersucht werden.

Mit Simulatoren hingegen lassen sich Problemstellungen mit bestimmten Szenarien modellieren und realitätsnah analysieren. Dabei können neue Erkenntnisse über Einwirkungen von Veränderungen bestimmter Systemelemente in Bezug auf das gesamte Systemverhalten gewonnen werden.

Bis anhin wurden Simulatoren bei der Bahn ausschliesslich zu Ausbildungszwecken eingesetzt. Auch im Bereich der Einflüsse menschlicher Faktoren gibt es bei der Bahn erst wenige Studien und Forschungsergebnisse. (HAMMERL 2011: 15) Vor dem Hintergrund der einleitend beschriebenen Umstände, hervorgerufen durch die Automatisierung, ist in Zukunft mit vermehrter Forschungstätigkeit in diesem Bereich zu rechnen.

Unter Anwendung von Simulatoren können komplexe Problemstellungen, wie Unfallhergänge, genau reproduziert werden. Die Auswertung der Daten mittels statistischer Methoden lassen den Test von Hypothesen zu. Auf diese Weise können Nachweise über die Relevanz bestimmter Gefährdungsszenarien erbracht und das Treffen von Massnahmen zur Reduzierung von Risiken begründet oder zumindest gestützt werden. (SUTER, 2014: 145)

Für den Einsatz von Simulatoren zur Untersuchung sicherheitsrelevanter Szenarien in der Eisenbahnbetriebsführung wurde das DESM-Forschungslabor in Deisswil bei Bern

geschaffen. In diesem Labor werden bestimmte Problemstellungen – meistens im Kontext zu den menschlichen Faktoren im Eisenbahnsystem – mittels Fallstudien untersucht und ausgewertet. Zum Beispiel ist es gelungen, die Relevanz einer Verwechslungsgefahr von Vorschriften in bestimmten Situationen nachzuweisen.

Auch für zukünftige Betriebsformen, wie das automatisierte Fahren, ist der Einsatz von Simulatoren von grosser Bedeutung. Bereits im frühen Entwicklungsstadium können Erkenntnisse gesammelt werden, welche in die weitere Entwicklung einfließen.

## 3. MODELLIERUNG VON BETRIEBLICHEN SZENARIEN

Vor der eigentlichen Simulation müssen die aus der Ereignisanalyse hervorgehenden Szenarien so aufbereitet werden, dass sie sich für die Untersuchung im Simulator eignen. Diese Methode erfordert das Erstellen eines dementsprechenden Modells. Für jede Modellierung sind Beschreibungsmittel, Werkzeuge und Instrumente notwendig. (SCHNIEDER 1999: 18) Zum Aufbau eines grundsätzlichen

**Beim Einsatz von selbstfahrenden Zügen muss sichergestellt sein, dass das verbleibende Personal seine Verantwortung unter allen Umständen wahrnehmen kann.**

Verständnisses sicherheitsrelevanter Szenarien in der erforderlichen Tiefe hat sich die Rekonstruktion in der Realität bewährt. Dabei werden die

zu untersuchenden Ereignisse unter Einsatz realer Züge auf Versuchsfahrten Schritt für Schritt dargestellt und festgehalten.

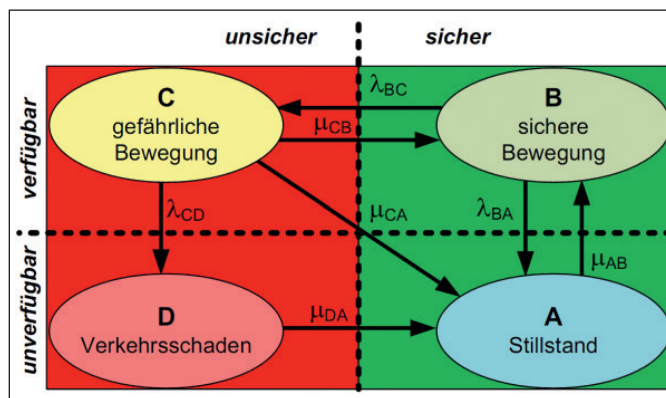
Als Beschreibungsmittel eignen sich unter anderem Petrinetze, welche im Bereich der Informatik entwickelt wurden. Die auf diese Weise entstandenen Modellbeschreibungen werden schliesslich mittels vorbereiteter Drehbücher und Checklisten instrumentalisiert, so dass sie für Fallstudien auf den Simulatoren im Labor angewendet werden können. Als Beispiel eines Petrinetzes ist in Bild 4 das Modell der Zustandsübergänge von SCHNIEDER (2013) dargestellt. Wird der zulässige, sichere Zustandsraum verlassen, zum Beispiel durch Überschreiten der zulässigen Geschwindigkeit, tritt eine Gefährdung ein. Ohne Veränderung der Systemdynamik oder der Umgebung tritt nach der Gefährdungssituation der Schaden ein. (SCHNIEDER/DREWES 2008: 117-123)

## 4. FALLSTUDIEN MIT PROBANDEN

Für die aktuelle Fallstudie wurde der bestehende Fahr Simulator (Re 460) nachgerüs-



tet, sodass man zwischen dem GoA1- und GoA2-Betrieb wechseln kann. Mit diesem Simulator ist es möglich, erstmals Mensch-Maschine Interaktionen im GoA2-Betrieb auf einer realen, offenen Schweizer Strecke zu untersuchen. Mit dieser neu entwickelten Methode ist es möglich, beispielsweise Reaktionszeiten oder das Situationsbewusstsein von Lokführern im überwachenden Zustand (GoA2) zu messen. Um die Fallstudien durchzuführen, wurden Probanden eingeladen, welche beruflich als Lokführer arbeiten. Diese erhielten im Simulator den Auftrag, einen Personenzug zwischen Cossonay und Châtillens via Lausanne zu führen. Auf zwei Dritteln der Strecke waren sie im GoA2-Betrieb unterwegs. Vor der Fahrt wurden den Probanden die notwendigen Dokumente und zusätzlich eine Verfahrensweisung über den GoA2-Probebetrieb abgegeben. Während der Fahrt wurden ausgewählte Szenarien simuliert, von erfahrenen Experten beobachtet und anhand einer Checkliste bewertet. Auf diese Weise konnten neue Erkenntnisse über die Arbeitsbedingungen im automatisierten Fahrbetrieb gewonnen werden. Es zeigt sich, dass sich das Situationsbewusstsein und die Reaktionsfähigkeit der Lokführer im GoA2-Betrieb vom manuellen Fahren (GoA1) unterscheiden. So besteht die Tendenz, dass sich die Reaktionszeit im



**BILD 4:** Generischer Sicherheitszyklus mit stochastischen Globalzuständen und Zustandsübergängen

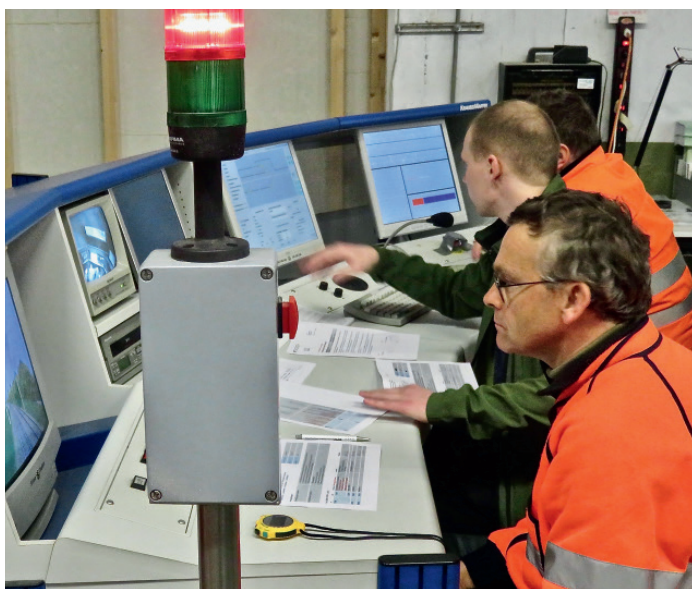
(Quelle: SCHNIEDER/DREWES 2008: 117-123)

überwachenden GoA2-Betrieb verlängert. Eine abschliessende Aussage zum menschlichen Handeln und dessen Auswirkungen im automatisierten Zugverkehr kann voraussichtlich bis Ende 2017 gemacht werden, da bis dahin die Fallstudien beendet sein werden.

Aber auch zum klassischen GoA1 Betrieb werden Fallstudien durchgeführt. Dabei können neue Erkenntnisse beispielsweise über die Entstehung von Signalfällen (Situationen, bei denen ein Zug ohne Erlaubnis bei einem Halt zeigenden Signal vorbeifährt), über die situative Wahrnehmung von Vorschriften über die Wirkung von Arbeitsroutinen und über die Reaktionsfähigkeit bei

neuen Betriebsformen gewonnen werden. Mit der Durchführung von Fallstudien hat sich das Forschungslabor Erfahrungen bezüglich komplexer und sicherheitsrelevanter Situationen im Eisenbahnbetrieb angeeignet. Auf dieser Basis wurde eine neue Forschungsmethode entwickelt, welche sich für den Einsatz von Probanden auf Simulatoren bereits mehrfach bewährt hat.

In Bild 7 ist das Verhalten von 17 Probanden bei der Vorbeifahrt an einem gestörten Vorsignal dargestellt. Mit Hilfe von Simulatoren ist es möglich, den Einfluss bestimmter Stressoren auf die Arbeit von Lokführern und Fahrdienstleiter zu untersuchen und mittels statistischer Methoden nachzuwei- »



**BILD 5:** Experten bei der Steuerung des Simulators, der Datenerhebung und der Bewertung der Situationen

**BILD 6:** Proband an der Arbeit im Fahr Simulator vom Typ Re 460



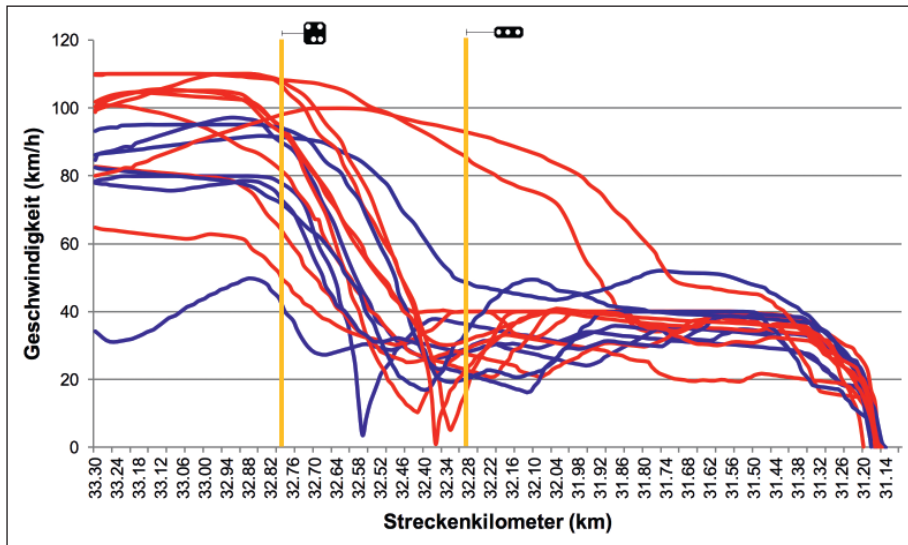
**BÄR** BAHNSICHERUNG  
WIR PLANEN, BAUEN UND PRÜFEN  
EISENBAHN-SICHERUNGSANLAGEN

CH-8320 Fehraltorf, CH-4600 Olten und CH-1003 Lausanne, info@baer-ing.ch



www.baer-ing.ch

«KLUGE LÖSUNGEN FÜR  
SICHEREN BAHNVERKEHR»



**BILD 7:** Weg-Zeit-Diagramm für die Untersuchung der Reaktionen bei einem gestörten Vorsignal (dunkel, Halt erwarten). Die rot markierten Grafen repräsentieren die Probanden, welche unter erhöhtem Zeitdruck stehen, die blau markierten stellen die Fahrt der Lokführer ohne Zeitdruck dar. Ungefähr 300 Meter nach Vorbeifahrt am Vorsignal ist das Hauptsignal erkennbar, welches „Fahrt mit 40 km/h“ zeigt

sen. So zum Beispiel wurden die Auswirkungen von Zeitdruck auf das Verhalten von Lokführern in bestimmten Situationen getestet. Das Weg-Geschwindigkeit-Diagramm in diesem Beispiel zeigt unter anderem, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit der Lokführer unter Zeitdruck bei der Annäherung an das Vorsignal höher ist, als jene der Probanden ohne Zeitdruck. Die grafische Auswertung der Daten aus dem Simulator erlaubt lediglich eine erste Interpretation der Ergebnisse. Abschliessende Aussagen zu bestimmten Problemstellungen oder Tests von Hypothesen können – dank dieser Datenerhebung

**Es zeigt sich, dass sich das Situationsbewusstsein und die Reaktionsfähigkeit der Lokführer im semi-automatischen Betrieb (GoA2) vom manuellen Fahren (GoA1) unterscheiden.**

– unter Anwendung entsprechender statistischer Methoden generiert werden. Im vorliegenden Beispiel gemäss Bild 7 kann der scheinbare Zusammenhang zwischen dem unterschiedlichen Verhalten der Lokführer unter Zeitdruck mittels Korrelationsanalyse untersucht werden.

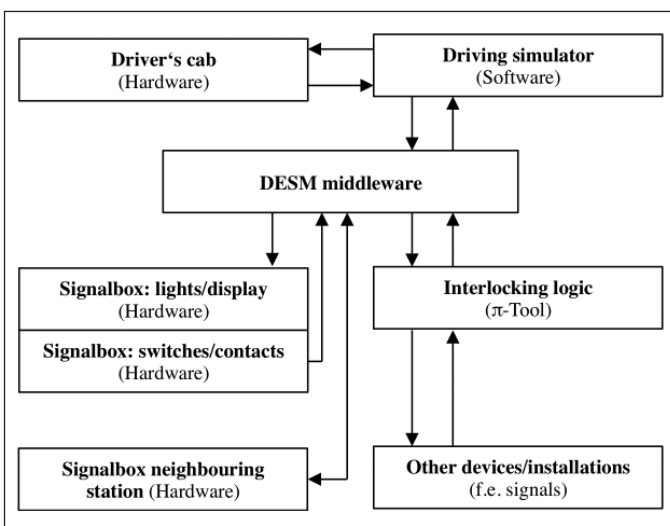
**5. ANFORDERUNGEN AN DIE SIMULATOREN FÜR DIE DATENERHEBUNG**

An die Simulatoren zur Untersuchung komplexer Problemstellungen im Eisenbahnbetrieb werden besondere Anforderungen ge-

stellt. Untersuchungen zeigten, dass sich die Probanden dann am besten auf ihre Arbeit konzentrieren können, wenn ihr Arbeitsplatz holistisch, also möglichst wirklichkeitsgetreu gestaltet ist. Zudem muss der Simulator gegen die Umwelt vollständig abgeschlossen sein. Unter diesen Voraussetzungen ist authentisches Verhalten der Probanden am besten zu erreichen. Während der Simulation müssen die für die Analyse und Untersuchungen am besten geeigneten Daten erhoben werden können. Dies geschieht sowohl mittels quantitativer als auch unter Anwendung qualitativer Methoden. Quantitative Daten werden in erster Linie durch das Simulationsinstrument selbst erhoben, indem die momentanen Zustände aller relevanten Elemente der Infrastruktur (Eisenbahnstrecke) und der Fahrzeuge (Züge) mit einer genügend hohen Abtastrate erhoben werden. Dabei hat sich eine Rate von einem Datensample pro Sekunde als geeignet erwiesen. Die Simulationen werden von Experten begleitet, welche anhand detaillierter Drehbücher einzelne Gegebenheiten bewerten. Zum Beispiel können wichtige Informationen über das Einhalten von Vorschriften und damit über deren Wahrnehmung generiert werden. Demnach ist der Qualität der angewandten Datenerhebungsmethoden für den Erfolg von Fallstudien zentrale Bedeutung beizumessen.

**6. NOTWENDIGKEIT EINER INTEGRIERTEN SIMULATION**

Der Hergang von Unfällen und Ereignissen im Eisenbahnbetrieb weist in der Regel eine hohe Zahl von Wechselwirkungen mit menschlichen Faktoren und damit eine gewisse Komplexität auf. Dabei spielen die Wahrnehmungen, Entscheidungen und Handlungen sowohl von Fahrdienstleitern als auch von Lokführern eine Rolle. Heute gibt es keine Instrumente, welche die gesamtheitliche Untersuchung in genügender Tiefe erlauben. Aus diesem Grund wird im Forschungslabor ein integriertes Simulationsinstrumentarium entwickelt, mit welchem sowohl Lokführer als auch Fahrdienstleiter während der gleichen Simulation eingesetzt werden können. In Bild 8 ist das Prinzip des Simulationsinstrumentariums im DESM-Labor dargestellt. Dabei werden Lokführerstände und Bedienungseinrichtungen von Stellwerken (Hardware) mit den zugehörigen Programmen für Fahr- und Stellwerksimulationen in Verbindung gebracht. Ziel ist es, mehrere Lokführer und Fahrdienstleiter gleichzeitig in die Simulation bestimmter Szenarien einbeziehen zu können. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, werden



**BILD 8:** Prinzip des integrierten Simulationsinstrumentariums (Quelle: SUTER/STOLLER 2014: 93)

im Labor Schnittstellen für die gegenseitige Kommunikation der einzelnen Elemente entwickelt (in Bild 8 mit Pfeilen dargestellt).

## 7. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Automatisierung wird in den nächsten Jahren deutlich zunehmen, sodass bald mit ersten Versuchen auf konventionellen Strecken gerechnet werden kann. Die Gesetze, Reglemente und Vorschriften, die dem gegenwärtigen Bahnbetrieb zu Grunde liegen, sind jedoch noch nicht auf automatisierte Betriebsformen, sondern auf menschliche Prozesse ausgelegt. (MEYER ZU HÖRSTE 2017: 32-33). Die Entwicklung der Berufstätigkeiten von Lokführern und Fahrdienstleitern, ausgehend von der Bedienung und Beherrschung technischer Instrumente hin zu reinen Überwachungsfunktionen, stellt heute Fragen, die vermehrt unter Einsatz von Simulatoren geklärt werden müssen. Da die Sicherheitsverantwortung auch bei vollautomatischem, unbegleitetem Zugbetrieb weiterhin beim diensttuenden Personal liegt, sind für die neuen Technologien und Arbeitsbedingungen entsprechende Nachweise zu erbringen. Auf diese Weise

kann sichergestellt werden, dass das verantwortliche Personal in der Lage ist, seine Verantwortung in allen Situationen wahrzunehmen. ◀

### Literatur

- HAMMERL, M., 2011: Analyse der menschlichen Einflussfaktoren und Zuverlässigkeit im Eisenbahnverkehr. Dissertation. Fakultät für Maschinenbau der TU Braunschweig.
- LEMMER, C., 2016: Der Weg zum Automatisierten Fahren im Strassenverkehr. S+D Tagung Fulda, 10.11.2016. DRL-Institut für Verkehrssystemtechnik. Braunschweig.
- MEYER ZU HÖRSTE, M., 2017: Aspekte der Migration zur Voll-Automatisierung des Bahnbetriebs. In: Signal+Draht 7+8/2017. DVV Media Group GmbH/Eurailpress. Hamburg.
- SCHNIEDER, E., 1999: Methoden der Automatisierung. Beschreibungsmittel, Modellkonzepte und Werkzeuge

für Automatisierungssysteme. Springer Vieweg. Ohne Ortsangabe.

- SCHNIEDER, E.; DREWES, J., 2008: Merkmale und Kenngrößen zur Bemessung der Verkehrssicherheit. Zeitschrift für Verkehrssicherheit. 54(3), S. 177-123.
- SCHNIEDER, E.; SCHNIEDER, L., 2013: Verkehrssicherheit. Masse und Modelle, Methoden und Massnahmen für den Strassen- und Schienenverkehr. Springer Vieweg. Ohne Ortsangabe.
- SUTER, J.; STOLLER, N., 2014: Verwendung von Simulatoren für die Untersuchung von komplexen Problemstellungen im Bereich der Human Factors. In: FORMS/FORMAT. 10th Symposium on Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems. Braunschweig.
- SUTER, J., 2014: Gestaltung eines Eisenbahn-Systemmodells für die Untersuchung von komplexen soziotechnischen Problemstellungen. Dissertation. Fakultät für Maschinenbau der TU Braunschweig. [http://www.iqst.de/?page\\_id=24,23.08.2017](http://www.iqst.de/?page_id=24,23.08.2017)

## ► SUMMARY

### Study of complex socio-technical problems in railway operations

In view of changed labor conditions relating to man-machine interface in the operational management, more and more questions have been occurred which cannot be answered in an analytical-mathematical way. Socio-technical problems occurring due to the automatization process are often very complex. Usually, applying simulators is the only possibility to examine such specific questions at a deeper level. The results of this type of research are required to evaluate the safety issues of certain scenarios and to derive some risk reducing measurements from the facts.

## Wussten Sie schon, dass ...

- ... Sie bei einer **¼ Seite Anzeige zwei Firmeneinträge** und bei einer **½ Seite Anzeige einen Firmeneintrag kostenlos** erhalten?
- ... Sie Ihrem Unternehmen mit dem **Business Profil** ein »Gesicht« geben können?
- ... Sie mit **Ihrem Firmeneintrag** im Partner der Bahn unter der **passenden Rubrik** sofort gefunden werden?



Buchen Sie am besten jetzt schon Ihren Werbeplatz für das nächste EIK. Anzeigenschluss ist am 12. Oktober 2017!

Für Fragen stehe ich Ihnen gerne zur Seite!

**EIK**  
EISENBahn INGENIEUR  
KOMPENDIUM



Silvia.Sander@dvvmedia.com ■ Telefon +49 40 237 14 171

**Eurail  
press**