

## **Zugverkehrsleitung der Zukunft: Entwicklung eines arbeitspsychologischen Instrumentes zur optimalen Gestaltung künftiger Mensch-Maschine-Systeme im Bahnbetrieb**

Karin HOSTETTLER<sup>1</sup>, Jonas BRÜNGGER<sup>1</sup>,  
Giulio NISOLI<sup>1</sup>, Jasmin ZIMMERMANN<sup>2</sup>, Katrin FISCHER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institut Mensch in komplexen Systemen, Hochschule für Angewandte Psychologie,  
Fachhochschule Nordwestschweiz,  
Riggenbachstrasse 16, CH-4600 Olten*

<sup>2</sup>*Institut de Psychologie du Travail et des Organisations, Université de Neuchâtel,  
Rue Emile-Argand 11, CH-2000 Neuchâtel*

**Kurzfassung:** Die Zentralisierung des operativen Betriebs bei den Schweizerischen Bundesbahnen bringt, nicht zuletzt aufgrund des erhöhten Automatisierungsgrades in der Zugverkehrsleitung, wesentliche Änderungen der technischen Infrastruktur, der Arbeitsabläufe und Ausbildungserfordernisse mit sich. Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines arbeitspsychologisch begründeten Anforderungskataloges, der es Entwicklern gestattet, automatisierte Systeme so zu gestalten, dass sie weder zu Verlusten von Situationsbewusstsein noch zu Kompetenz- und Fertigkeitseinbussen führen. Mittels Beobachtungen, Interviews, Arbeitsanalysen und Experten-Workshops wurden verschiedene Mensch-Maschine-Systeme analysiert. Ergebnis ist ein elektronisches, arbeitspsychologisches Instrument für die Gestaltung soziotechnischer Systeme auf den Ebenen Mensch, Technik und Organisation.

**Schlüsselwörter:** Automatisierung, Mensch-Maschine-Interaktion, arbeitspsychologisches Instrument

### **1. Einleitung**

Bei der Gestaltung von modernen Arbeitssystemen, meist komplexe Mensch-Maschine-Systeme, ist ein wichtiger Aspekt die Verteilung von Aufgaben zwischen Mensch und Maschine, die Funktionsallokation. Dieser Aspekt gewinnt angesichts der zunehmenden Automatisierung in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung, da automatisierte Systeme zu Problemen führen können, die sich auf die Gesamtzuverlässigkeit des Mensch-Maschine-Systems auswirken können (Manzey, 2012).

Die vier Betriebszentralen der Schweizerischen Bundesbahnen SBB, dem grössten Bahnunternehmen der Schweiz, sind solche modernen Arbeitssysteme. Hier überwachen und steuern Zugverkehrsleitende und Disponenten den operativen Betrieb des Zugverkehrs. Die Zugverkehrsleitung ist zentral mitverantwortlich für den pünktlichen, sicheren und wirtschaftlichen Zugverkehr auf dem Schienennetz des Unternehmens. Die Zentralisierung und der zunehmende Automatisierungsgrad der Zugverkehrsleitung bringen wesentliche Herausforderungen für die Gestaltung der technischen Infrastruktur und der Arbeitsabläufe mit sich. Auch die Arbeitsanforderungen und Ausbildungserfordernisse verändern sich durch die Automatisierung.

In diesem Zusammenhang stellen sich zentrale Fragen einer prospektiven Arbeitsgestaltung, mit denen man sich heute auseinandersetzen muss, um nicht von den technischen Entwicklungen in der Zukunft überrascht zu werden.

## 2. Ziel des Projekts

Generelles Ziel ist es, Arbeitssysteme so zu gestalten, dass positive Aspekte der Automatisierung genutzt, negative Folgen aufgefangen und die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Systems auch in Zukunft gewährleistet werden können. Diesem Ziel diene ein gemeinsames Forschungsprojekt der Hochschule für Angewandte Psychologie mit den SBB. Im Projekt wurde ein arbeitspsychologisch begründeter Anforderungskatalog entwickelt, der es Entwicklern gestattet, automatisierte Systeme so zu gestalten, dass sie weder zu Verlusten von Situationsbewusstsein noch zu Kompetenz- und Fertigkeitseinbußen bei den Operateuren führen. Die finale Form des Instrumentes sollte elektronisch umgesetzt und getestet werden.

## 3. Theoretischer Hintergrund

### 3.1 Moderne Arbeitssysteme

Überwachungs- und Steuerungssysteme, wie z.B. die Zugverkehrsleitung im Bahnverkehr, sind moderne Arbeitssysteme, in denen Menschen vorwiegend automatisierte Prozesse und Parameter überwachen und steuern. Bei der Gestaltung von Arbeitstätigkeiten in automatisierten Arbeitssystemen müssen sowohl die Mensch-Maschine-Funktionsteilung, die individuellen Arbeitsaufgaben als auch das Arbeitssystem, in das der Mensch und die Technik organisatorisch eingebettet sind, berücksichtigt werden (Wäfler, Windischer, Ryser, Weik, & Grote, 1999). Ein zentraler Aspekt dabei betrifft die Funktionsallokation zwischen Mensch und Maschine. Hierbei müssen bestimmte arbeitspsychologische Gestaltungsprinzipien von Arbeitstätigkeiten berücksichtigt werden, damit der Mensch seine Arbeitsaufgabe optimal erfüllen kann. Hacker (1989) nennt unter anderem die *Ganzheitlichkeit der Aufgabe*. Der Mensch sollte nicht ausschliesslich Überwachungsaufgaben tätigen, sondern die Aufgaben auch planen, vorbereiten ausführen und kontrollieren können. *Transparenz*, ein weiteres Prinzip nach Hacker (1989), betrifft die *Durchschaubarkeit* der Einbettung der Arbeitsaufgabe in den Gesamtzusammenhang. Gerade in automatisierten Überwachungssystemen ist dieses Gestaltungsprinzip nicht einfach zu erreichen. Gelingt eine angemessene Funktionsallokation zwischen Mensch und Maschine nicht, können negative Folgen auftreten (Manzey, 2012).

### 3.2 Negative Folgen von Automatisierung

Bei einer suboptimalen Interaktion von Menschen und Automation zeigen sich insbesondere drei Problemfelder: ein mangelndes oder ein übersteigertes Vertrauen in die Automation, Schwierigkeiten bei der Aufrechterhaltung eines angemessenen Situationsbewusstseins und der Verlust von Fertigkeiten als Folge einer Nutzung automatisierter Systeme (Manzey, 2012). Diese möglichen negativen Folgen gilt es zu vermeiden bzw. aufzufangen, indem beispielsweise bestimmte arbeitspsychologische Gestaltungskriterien berücksichtigt werden. Eine Methode, solche Kriterien bei

der Arbeitsgestaltung zu berücksichtigen, ist die KOMPASS-Methode, die von Grote, Wäfler, Ryser, Weik, Zölch und Windischer (1999) entwickelt wurde.

### 3.3 KOMPASS-Kriterien

Die KOMPASS-Methode wurde zunächst für die Analyse, Bewertung und Gestaltung von automatisierten Produktionssystemen entwickelt. Sie leitet dazu aus arbeitspsychologischen Theorien wichtige Kriterien ab, die für eine menschenzentrierte Gestaltung des Arbeitssystems, der Arbeitstätigkeit und der Mensch-Maschine-Funktionsteilung relevant sind. Die Kriterien sind *Prozesstransparenz*, *dynamische Kopplung*, *Informationsautorität*, *Ausführungsautorität* und *Flexibilität*. Drei der sechs Kriterien werden nachfolgend beispielhaft erklärt:

*Prozesstransparenz.* Das Ziel transparenter Prozesse ist es, dass Mitarbeitende die ablaufenden Prozesse verstehen können. Die Prozesse sind jedoch oft für den Operateur nicht einsehbar und dadurch nur schwer durchschaubar. Prozesstransparenz wird erreicht durch *aktive Auseinandersetzung* der Operateure mit dem System, *direkte Rückmeldungen* aus dem System über möglichst verschiedene Sinneskanäle und *Kenntnis über die Rückmeldekanäle*.

*Dynamische Kopplung.* In automatisierten Arbeitssystemen sind die Einflussmöglichkeiten der Operateure häufig gering, und die Aufgabenausführung ist stark an den Prozess gebunden. Durch eine dynamische Bindung an das technische System sollen Operateure Prozesse mitbeeinflussen können und dadurch die Möglichkeit erhalten, situationsangepasst zu handeln. Eine dynamische Kopplung wird erreicht, indem bei der Aufgabenausführung Wahlmöglichkeiten bestehen bezüglich *Zeitpunkt*, *Vorgehen* und der erforderlichen *Aufmerksamkeit*.

*Ausführungsautorität.* Das Ziel der Ausführungsautorität ist, dass Operateure die Sicherheit und Produktivität aktiv und positiv beeinflussen können, indem Möglichkeiten zur Beeinflussung und Steuerung der Prozesse geboten werden. Dazu gehört sowohl das selbstständige fällen von Entscheidungen zu Prozessen und Vorgehensweisen, wie auch die Kontrolle über die *Handlungsausführung* bzw. Prozesssteuerung an sich.

Die KOMPASS-Kriterien müssen für konkrete Gestaltungsanforderungen in einem spezifischen Arbeitskontext, wie beispielsweise in der Zugverkehrsleitung, abgeleitet und konkretisiert werden.

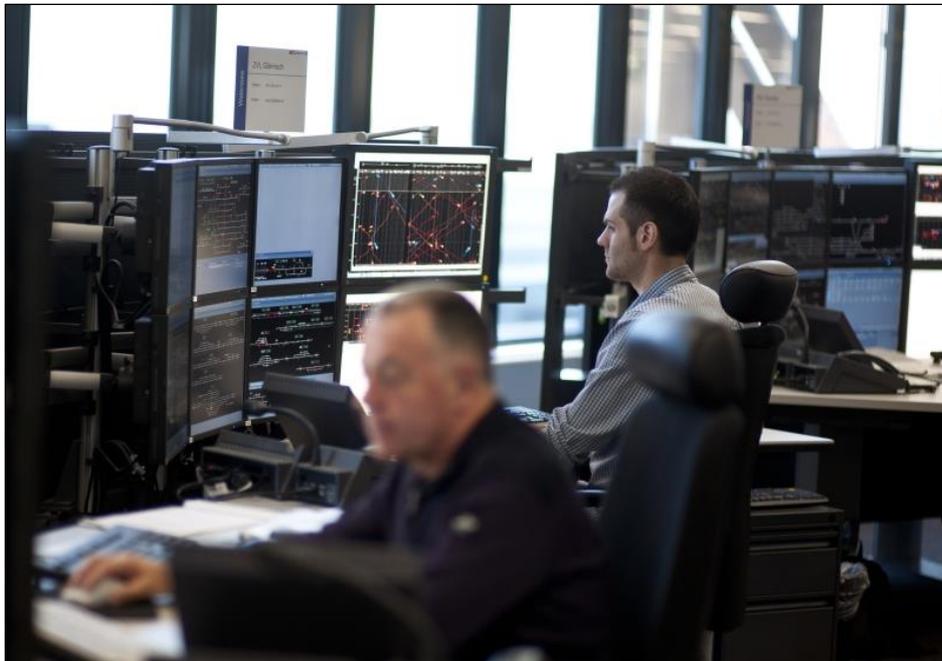
## 4. Methodik

### 4.1 Untersuchungsfeld

Wie eingangs erwähnt war das Ziel des Forschungsprojektes die Entwicklung eines arbeitspsychologischen Anforderungskataloges für die prospektive Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen mit hohem Automatisierungsgrad. Durchgeführt wurde die Studie im Bereich der Zugverkehrsleitung der SBB (s. Abb. 1). Im weiteren Projektverlauf wurde der Anforderungskatalog auch noch bei einem zweiten Bahnunternehmen der Schweiz eingesetzt und getestet.

Die Arbeitsaufgabe eines Zugverkehrsleitenden im Normalbetrieb ist es, das in seinem Verantwortungsbereich liegende Schienennetz zu überwachen und Fahrstrassen bei Bedarf über Weichen- und Signalbewegungen einzustellen. Hierbei unterstützt die Technik die Zugverkehrsleitenden bei der Überwachung sehr grosser

Streckenabschnitte. Steuerungsaufgaben übernehmen Zugverkehrsleitende insbesondere im Störfall, etwa wenn Verschiebungen von Kreuzungspunkten aufgrund von Verspätungen notwendig werden.



**Abbildung 1:** Arbeitsbereich der Zugverkehrsleitung bei der SBB (Foto: SBB)

#### 4.2 Vorgehen

In der Studie wurden zunächst Analysen der verschiedenen Mensch-Maschine-Systeme in der Zugverkehrsleitung durchgeführt. Zum Einsatz kamen dabei Beobachtungen, Interviews, Arbeitsanalysen und Experten-Workshops. Aus den Ergebnissen wurden Gestaltungsempfehlungen für künftige Automatisierungsvorhaben abgeleitet (s. Abb. 2).

	Grundsätzliches Vorgehen	Anwendungsbeispiel an einem konkreten Kriterium für die Zugverkehrsleitung
Operationalisierung der Kriterien	1 Kriterien für Mensch-Maschine Systeme der KOMPASS-Methode	<b>Ausführungsautorität: Handlungsausführung</b>
	2 Bestimmung des Soll-Zustands	Der Operateur steuert das System und den Ablauf von Aktionen aktiv. Es gibt keine Einschränkungen des Handlungsspielraums des Operateurs durch das System. Die Art der Ausführung von Aufgaben liegt bei ihm, er kann laufende Prozesse bei Bedarf übersteuern.
	3 Ableitung von Gestaltungsanforderungen für den Bereich der automatisierten Überwachung und Steuerung	Auf Ebene Technik: Das technische System löst insbesondere bei sich dynamisch verändernden Bedingungen (z.B. während einer aussergewöhnlichen Störung) keine automatischen Massnahmen aus.
	4 Ziele der Gestaltungsanforderung	Auf Ebene Technik: (Prozess-)kontrolle, situationsangepasste Handlungsmöglichkeiten, Förderung der Verantwortungsübernahme

**Abbildung 2:** Anwendungsbeispiel der Operationalisierung eines KOMPASS-Kriteriums für die Zugverkehrsleitung auf der Ebene Technik.

Grundlage dafür bildete die oben beschriebene KOMPASS-Methode mit ihren Gestaltungskriterien. Diese Gestaltungsempfehlungen, in Form eines Anforderungskataloges, wurden in einem nächsten Schritt in ein elektronisches Instrument überführt. Für die elektronische Umsetzung wurde das Programm Excel gewählt, weil dieses Programm in jedem Unternehmen vorhanden und den Personen vertraut ist und somit ohne Zusatzaufwand benutzt werden kann. Die Testung des Prototyps erfolgte bei den Praxispartnern an einem Pilotprojekt im Rahmen einer Schulung. Die Erkenntnisse daraus werden bei der Finalisierung des elektronischen Instrumentes, die zum aktuellen Zeitpunkt noch aussteht, berücksichtigt werden.

## 5. Ergebnis

Das Ergebnis des Forschungsprojektes ist ein elektronisches Instrument zur optimalen Gestaltung künftiger Mensch-Maschine-Systeme im Bahnbetrieb aus arbeitspsychologischer Sicht. Entwickler können damit aufgabenbezogen wichtige arbeitspsychologische Anforderungen für die Gestaltung künftiger Mensch-Maschine-Systeme auf den Ebenen Mensch, Technik und Organisation umsetzen, um so eine menschengerechte Automatisierung realisieren zu können.

## 6. Ausblick

Das vorliegende arbeitspsychologische Instrument ist für den Arbeitsbereich der Zugverkehrsleitung entwickelt worden. Soll das Instrument auch in anderen Arbeitsbereichen eingesetzt werden, z.B. für die Zugführung, müssten jeweils IST-Analysen der jeweiligen Mensch-Maschine-Systeme, ihrer Interaktionsgestaltung und ihrer Automatisierungsgrade durchgeführt werden.

## 7. Literatur

- Grote, G., Wäfler, T., Ryser, C., Weik, S., Zölch, M. & Windischer, A. (1999). *Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen. Die ANALYSE automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS*. Schriftenreihe Mensch- Technik- Organisation (Hrsg. E. Ulich), Band 19. Zürich: vdf Hochschulverlag.
- Hacker, W. (1989). Vollständige vs. unvollständige Arbeitstätigkeiten. In S. Greif, H. Holling & N. Nicholson (Hrsg.), *Arbeits- und Organisationspsychologie. Internationales Handbuch in Schlüsselbegriffen* (S. 463–466). München: Psychologie Verlags Union.
- Manzey, D. (2012). Systemgestaltung und Automatisierung. In P. Badke-Schaub, G. Hofinger & K. Lauche (Hrsg.), *Human Factors. Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen. 2. Aufl.* (S. 333–352). Berlin Heidelberg: Springer
- Wäfler, T., Windischer, A., Ryser, C., Weik, S. & Grote, G. (1999). *Wie sich Mensch und Technik sinnvoll ergänzen. Die GESTALTUNG automatisierter Produktionssysteme mit KOMPASS*. Schriftenreihe Mensch-Technik-Organisation (Hrsg. E. Ulich), Band 18. Zürich: Hochschulverlag an der ETH Zürich.

**Danksagung:** Ein herzlicher Dank gilt der SBB für die konstruktive Zusammenarbeit und die freundliche Unterstützung des Forschungsprojektes.



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Soziotechnische Gestaltung des digitalen Wandels – kreativ, innovativ, sinnhaft**

63. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

FHNW Brugg-Windisch, Schweiz

15. – 17. Februar 2017

---

**GfA Press**

---

**Bericht zum 63. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 15. – 17. Februar 2017**

**FHNW Brugg-Windisch, Schweiz**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Dortmund: GfA-Press, 2017

ISBN 978-3-936804-22-5

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet, den Kongressband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen.

USB-Print: Dr. Philipp Baumann, Olten

**Screen design und Umsetzung**

© 2017 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)