



AUTOMATISIERUNGSMYTHOS #1

Situationsbewusstsein bleibt erhalten - es besteht kein Bedarf an zusätzlichen Informationen

Automatisierter Bahnbetrieb: Praxisbeispiele zur Erhaltung des Situationsbewusstseins

ZUSAMMENFASSUNG

Dieser Artikel gibt einen Überblick, wie Situationsbewusstsein als Grundlage für sicheren, automatisierten Bahnbetrieb erhalten werden kann. Die Automatisierung im Schienenverkehr hat einen deutlichen Einfluss auf die Wahrnehmung, das Verständnis und die Antizipation einer Situation. Das Situationsbewusstsein ist abhängig vom Automatisierungsgrad, der Aufgabencharakterisierung und der Mensch-Maschine-Schnittstelle. Um einen sicheren Betrieb zu garantieren, ist die menschengerechte Gestaltung des Aufgaben- und Arbeitsbereichs mit integrierten Informationen sowie regelmäßiger Schulung und Wissenserweiterung essentiell. Im Schienenverkehr gibt es bereits gute Beispiele, insbesondere für die Visualisierung relevanter Informationen unter Berücksichtigung menschlicher und organisatorischer Faktoren, die hier dargestellt und im Kontext des Automatisierungsmythos #1 diskutiert werden.

AUTORIN

Kristin Mühl

ist Wissenschaftliche Referentin für Human Factors am Deutschen Zentrum für Schienenverkehrsforschung (DZSF). Sie forscht zu kognitiven Grundlagen und psychologischen Prozessen in der Mensch-Technik-Interaktion im Kontext von Verkehr und zukünftiger Mobilität.

muehlik@dzsf.bund.de

EINFÜHRUNG

Der Automatisierungsgrad steigt bei verschiedenen Anwendungen und Kontexten, auch im Bahnsektor. Dies kann eine Reihe von Vorteilen mit sich bringen, wie z. B. erhöhte Sicherheit, Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Effizienz, wenn die Automatisierung so funktioniert, wie es der Mensch beabsichtigt. Sie führt jedoch auch zu größeren Abhängigkeiten, was sich negativ auf die Leistung auswirkt, wenn die Automatisierung versagt oder an ihre Grenzen stößt (Bainbridge, 1983). Daraus ergibt sich die folgende Frage: Wie kann die Leistung zwischen Mensch und automatisiertem System optimiert werden, so dass ein sicherer Betrieb wie gewohnt möglich ist?

Betrachten wir zunächst ein alltägliches Beispiel: Staubsaugerroboter - diese kleinen automatisierten Helfer, die uns den Staub vom Leib halten. Nicht selten sieht man Bilder von kaputten Staubsaugerrobotern am Fuß von Treppen oder eine braune Spur (bestenfalls verursacht durch feuchte Erde), die den Weg des Roboters durch den Raum aufzeigt. Warum haben sie (Mensch und Roboter) versagt? Um ein optimales Reinigungsergebnis zu erzielen, müssen wir die Grenzen Ihres Roboters kennen. So können wir eine Situation vorhersehen und schaffen (Möbel verschieben, Dinge wegräumen usw.), in der der Roboter ohne Probleme arbeiten kann. Wenn die Systemgrenzen nicht berücksichtigt werden und man sich zu sehr auf die Funktionalität des Roboters verlässt, kann es im besten Fall zu schlechten Reinigungsergebnissen kommen. Im schlimmsten Fall werden andere Objekte gerammt oder sogar der Roboter zerstört. Es ist auch nützlich zu wissen, was der Roboter gerade tut, was er bereits getan hat und was er tun wird, z. B. wenn man ihn einfach ausschaltet oder an einen anderen Ort stellt. Dieses Wissen ermöglicht Situationsbewusstsein als Grundlage für eine erfolgreiche Zusammenarbeit und kann durch Mensch-Maschine-Schnittstellen, Anweisungen und Schulungen unterstützt werden. In den meisten Fällen ist die inkorrekte Nutzung von Staubsaugerrobotern aufgrund eines unzureichenden Situationsbewusstseins nicht

sicherheitskritisch, sondern lediglich lästig und nicht zielgerichtet. In anderen Kontexten, wie z.B. im Schienenverkehr, kann ein mangelndes Situationsbewusstsein Menschenleben gefährden.

SITUATIONSBEWUSSTSEIN

Situationsbewusstsein ist ein entscheidendes Konzept in sicherheitskritischen Bereichen (Stanton et al., 2001), da es die Grundlage für eine gute Entscheidungsfindung und Handlung ist (Endsley, 1995). Bediener müssen relevante Informationen wahrnehmen, verarbeiten und verstehen. Auf dieser Basis können sie die kommenden Schritte vorhersehen. Dies beschreibt das von Endsley (1995) vorgeschlagene Modell mit drei Ebenen zur Charakterisierung des Situationsbewusstseins (siehe Abb. 1).

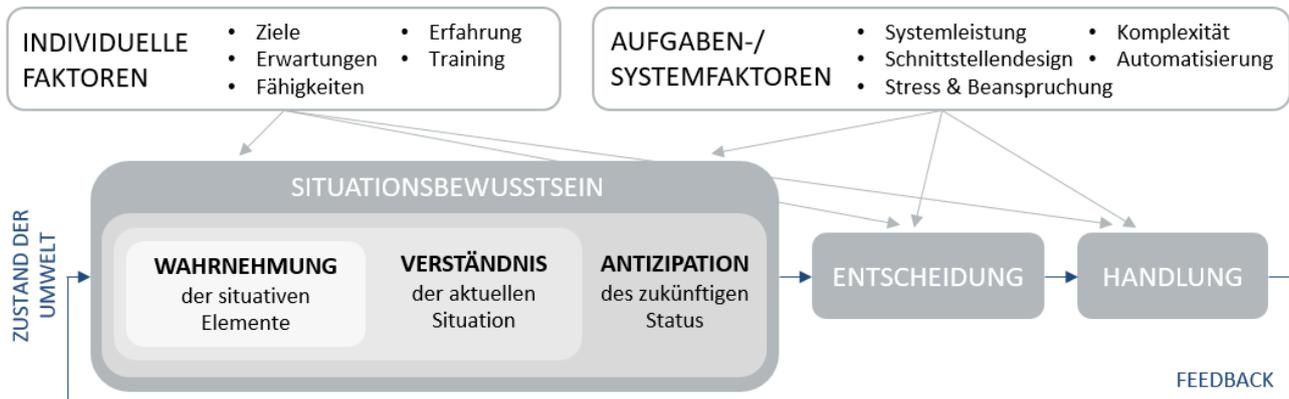


Abb. 1: Das Drei-Ebenen Modell adaptiert nach Endsley (1995)

Individuelle Faktoren wie Erfahrung, Erwartungen oder Ziele, aber auch Systemfaktoren wie Schnittstellengestaltung, Komplexität oder Automatisierungsgrad beeinflussen das Situationsbewusstsein (Endsley, 1995). Da die Systeme immer stärker automatisiert und komplexer werden, sind bestimmte Systemprozesse für den Menschen nicht unbedingt erkennbar. Der Mensch muss aber in der Lage sein, die Situation jederzeit zu verstehen und vorherzusagen, solange er die Kontrolle hat oder als Rückfallebene wieder die Kontrolle erlangen könnte. Daher müssen zusätzliche Informationen auf sinnvolle Weise vermittelt und das spezifische Wissen über automatisierte Systeme verstärkt werden (Endsley, 1996). Erfahrung und häufige Nutzung oder Schulung unterstützen ebenfalls die Entwicklung eines angemessenen Situationsbewusstseins. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Person die meiste Zeit eher passiv ist (Beobachter) und wenig aktiv eingreifen kann. Verlust von praktischem Wissen und verminderte Aufmerksamkeit sind die Folgen, so dass wichtige Aspekte in der Situation übersehen werden könnten (Endsley, 1996). Zusammenfassend lässt sich also sagen, dass Automatisierung das Situationsbewusstsein in vielerlei Hinsicht beeinflusst. Aber wenn sie sehr gut gestaltet ist und menschliche und organisatorische Faktoren berücksichtigt, kann sie einen erheblichen Gewinn an Akzeptanz, Sicherheit und körperlicher Entlastung für den Menschen bringen.

STUFEN DER AUTOMATISIERUNG

In Abhängigkeit vom Automatisierungsgrad ändert sich das Aufgabenspektrum und damit auch das Situationsbewusstsein für den Menschen. Die Automatisierung kann in verschiedene Stufen eingeteilt werden, die von der manuellen Bedienung durch den Menschen bis zur vollständigen Übernahme der Steuerung ohne menschliche Beteiligung reichen. Es gibt verschiedene Konzeptionen von Automatisierungsstufen, die unterschiedliche Schwerpunkte und Geltungsbereiche vorweisen. Eine zehnstufige Unterteilung umfasst beispielsweise speziell die menschliche Kontrolle der Entscheidungs- und Handlungsauswahl (Sheridan & Verplank, 1978, siehe Abb. 2a). Diese Stufen können auch für die verschiedenen Funktionen der Informationsbeschaffung, der Informationsanalyse, der Entscheidungsauswahl und der Handlungsausführung im Zusammenhang mit der menschlichen Informationsverarbeitung bei der Nutzung bestimmter automatisierter Systeme getrennt definiert werden (Parasuraman et al., 2000).

Im Schienenverkehr sind „Grades of Automation“ (GoA, siehe Abb. 2b) gebräuchlich, die die Stufen nach der Betriebsverantwortung für verschiedene Funktionen des Zugbetriebs unterteilen (Braband, 2021). Die Kombination beider Konzeptionen, heruntergebrochen auf die funktionale Ebene des Zugbetriebs, könnte

dazu beitragen, Veränderungen in der menschlichen Informationsverarbeitung mit zunehmenden GoA-Stufen aufzudecken (für eine beispielhafte Integration, siehe Brandenburger & Jipp, 2017). Auf dieser Basis können menschen-zentrierte Interventionen für den automatisierten Bahnbetrieb entwickelt werden.

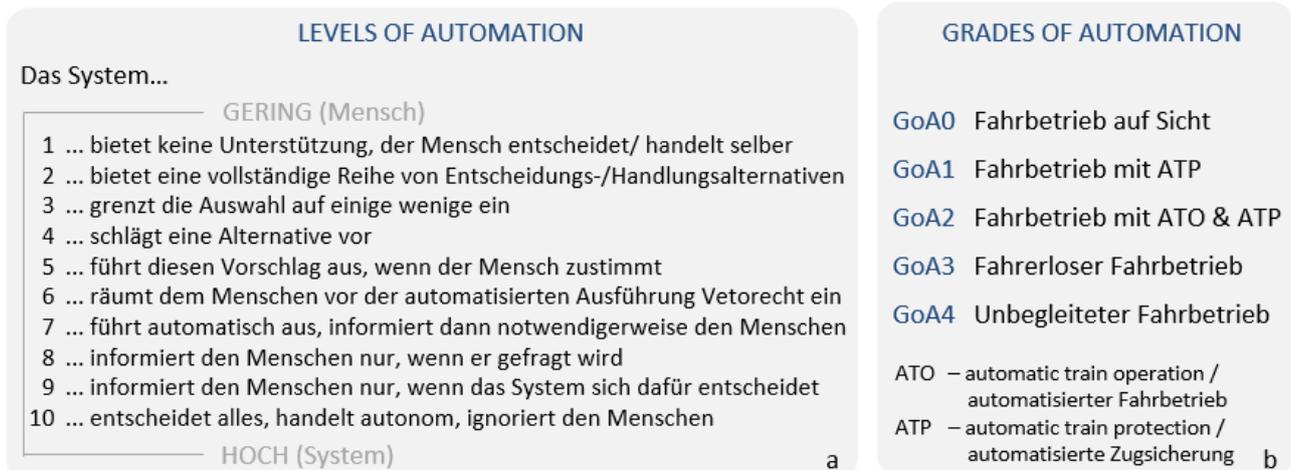


Abb. 2: a) Automatisierungsgrade in Bezug auf die menschliche Informationsverarbeitung (Sheridan & Verplank, 1978; Parasuraman et al., 2000) und b) Automatisierungsgrade (GoA) in Bezug auf den Zugbetrieb (Braband, 2021, UITP, 2018).

SITUATIONSBEWUSSTSEIN IN AUTOMATISIERTEN BAHNEN

Das Konzept des Situationsbewusstseins wurde bereits sowohl auf den manuellen als auch auf den automatisierten Bahnbetrieb angewandt, z. B. am Arbeitsplatz des Fahrdienstleiters (z. B. Golightly et al., 2010; Lo et al., 2016; Sharples et al., 2011), des Triebfahrzeugführers (z. B. Brandenburger & Naumann, 2019; Rose et al., 2018) oder im Kontext von Instandhaltung und Gleisbau (z. B. Golightly et al., 2013; Tretten et al., 2021). In all diesen Bereichen des Schienenverkehrs gibt es aus Sicht der menschlichen Informationsverarbeitung bereits eine beträchtliche Anzahl automatisierter Systeme und Prozesse. So überwachen beispielsweise Zugbeeinflussungssysteme die Geschwindigkeit und können (insbesondere in höheren Leveln) kontinuierlich Informationen aus der Infrastruktur bereitstellen, wie z. B. die Überwachung von Höchst- und Zielgeschwindigkeiten oder Bremszielpunkten. Diese Informationen werden unter Berücksichtigung menschlicher Faktoren (Metzger & Vorderegger, 2012) beispielhaft in das „Driver Machine Interface“ (DMI, siehe Abb. 3) integriert. Es handelt sich um eine standardisierte Schnittstelle zwischen Triebfahrzeugführer und Zug für das Europäische Zugsicherungssystem (ETCS), die die Entwicklung eines Situationsbewusstseins unterstützt.



Abb. 3: Integrierte Informationen im DMI (UIC, 1998, S. 5)

Was bedeutet das für den Triebfahrzeugführer (Tf)? Verglichen mit früher muss der Tf den Bremsvorgang nicht mehr allein anhand der feststehenden Signale, der Kilometer tafeln, des Buchfahrplans (mit Langsamfahrstellen und Kilometrierung) und im Hinblick auf die Bremsfähigkeit des Zuges einleiten. Während früher Erfahrung und Fingerspitzengefühl entscheidend waren, hilft jetzt das DMI. Diese Schnittstelle zeigt die Bremskurve an und integriert die Statusinformationen (aktuelle Geschwindigkeit im Verhältnis zur Zielgeschwindigkeit) sowie Planungsinformationen zur Geschwindigkeitssteuerung und -überwachung. Überschreitet der Tf die Zielgeschwindigkeit, erfolgt eine optische und akustische Warnung, bevor eine Notbremsung eingeleitet wird (UIC, 1998). Alle Informationen sind integriert und schnell abrufbar. Das DMI unterstützt somit eine vorausschauende und sichere Fahrweise. Eine solche Unterstützung könnte jedoch zu einer Verringerung spezifischer praktischer und theoretischer Kenntnisse des Tfs führen, was mit Hilfe von Schulungen, z. B. im Simulator, teilweise korrigiert werden könnte.

Es gibt eine wachsende Zahl von Beispielen, die zeigen, dass ein sehr hoher Automatisierungsgrad im Schienenverkehr erfolgreich umgesetzt wird (UITP, 2018). So verkehren weltweit fahrerlose oder

unbemannte U-Bahnen (GoA3 oder GoA4) in Ballungsräumen (z. B. São Paulo, Singapur, Paris, Barcelona, Nürnberg). Bei der Überwachung und Steuerung dieser U-Bahnen ist ein hohes Maß an Situationsbewusstsein besonders wichtig, um mögliche Probleme frühzeitig zu erkennen oder im Falle einer Störung den Zustand schnellstmöglich zu beheben. Die Herausforderung beim fahrerlosen oder unbegleiteten Betrieb ist, dass die überwachende Funktion nicht direkt vor Ort ist. Die Informationen sind in der Leitstelle über Bildschirme verfügbar, somit fehlen zumeist akustische und haptische Hinweise. Jedoch können auch zusätzliche Informationen dargestellt werden, die einem Fahrer sonst nicht zur Verfügung stehen (z.B. bestimmte Kameraperspektiven oder Sensorinformationen). Auch der Rollentausch (vom Fahrer zum Beobachter), die daraus resultierende Distanz zum Geschehen und die unterschiedlichen Informationen verändern das Situationsbewusstsein. Mit Hilfe der Schnittstellen muss sichergestellt werden, dass alle relevanten Informationen in der Leitstelle zur Verfügung stehen, um die Situation richtig einzuschätzen und somit sicher und fehlerfrei zu handeln. Darüber hinaus ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass es Funktionen neben dem Fahren und dem Öffnen von Türen gibt, wie z. B. das Antizipieren, Beobachten, Interpretieren und Reagieren auf Umweltereignisse, die normalerweise von den Tf übernommen werden (Karvonen et al., 2011). In einer automatisierten U-Bahn müssen diese Aufgaben ebenfalls wahrgenommen werden, entweder durch umfassende Überwachung in der Leitstelle oder durch Anwesenheit vor Ort. In Nürnberg wurden beispielsweise Tf zu Servicepersonal umgeschult, welches beratend und überwachend in den Stationen tätig ist und bei Problemen mit der automatisierten U-Bahn schnell vor Ort eingreift.

SCHLUSSFOLGERUNG

Der Automatisierungsmythos #1 wird anhand ausgewählter Beispiele im Schienenverkehr widerlegt. Die zunehmende Automatisierung verändert den menschlichen Informationsbedarf. Die korrekte Wahrnehmung der Umgebungsinformationen ist jedoch essentiell, um die Situation zu verstehen und zu antizipieren und somit sicher zu entscheiden und zu handeln. Entscheidend für das Situationsbewusstsein ist dabei, wie die Informationen präsentiert werden (Schnittstellengestaltung), wie die Aufgabe gestaltet ist und wie Wissen und Erfahrung erweitert werden. Der Schlüssel liegt darin, den Menschen in den Mittelpunkt zu stellen und die Komplexität der menschlichen und organisatorischen Faktoren nicht zu unterschätzen, die die Leistung in einem soziotechnischen System beeinflussen.

LITERATUR

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779. [https://doi.org/10.1016/0005-1098\(83\)90046-8](https://doi.org/10.1016/0005-1098(83)90046-8)
- Braband, J. (2021). Approach for a Risk Analysis for Automated Train Operation. *Signalling + Datacommunication*, 113, 25-34.
- Brandenburger, N., & Naumann, A. (2019). On track: a series of research about the effects of increasing railway automation on the train driver. *IFAC-PapersOnLine*, 52(19), 288-293. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.115>
- Endsley, M. R. (1995). Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64. <https://doi.org/10.1518/001872095779049543>
- Endsley, M. R. (1996). Automation and situation awareness. In R. Parasuraman & M. Mouloua (Eds.), *Automation and human performance: Theory and applications* (pp. 163-181). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum. <https://doi.org/10.1201/9781315137957>
- Golightly, D., Ryan, B., Dadashi, N., Pickup, L., & Wilson, J. R. (2013). Use of scenarios and function analyses to understand the impact of situation awareness on safe and effective work on rail tracks. *Safety science*, 56, 52-62. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2012.08.007>
- Golightly, D., Wilson, J. R., Lowe, E., & Sharples, S. (2010). The role of situation awareness for understanding signalling and control in rail operations. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 11(1-2), 84-98. <https://doi.org/10.1080/14639220903009961>
- Hely, M., Shardlow, T., Butt, B., Friswell, R., McIntosh, A., & Williamson, A. (2015). Effects of automatic train protection on human factors and driving behaviour. In *Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA* (pp. 1-9).
- Karvonen, H., Aaltonen, I., Wahlström, M., Salo, L., Savioja, P., & Norros, L. (2011). Hidden roles of the train driver: A challenge for metro automation. *Interacting with computers*, 23(4), 289-298. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2011.04.008>
- Lo, J. C., Sehic, E., Brookhuis, K. A., & Meijer, S. A. (2016). Explicit or implicit situation awareness? Measuring the situation awareness of train traffic controllers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 43, 325-338. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.09.006>
- Metzger, U., & Vorderegger, J. (2012). Railroad. In M. Stein, & P. Sandl (Eds.), *Information Ergonomics: A theoretical approach and practical experience in transportation* (pp. 227-239). Springer, Berlin. https://doi.org/10.1007/978-3-642-25841-1_8
- Naghiyev, A., Sharples, S., Carey, M., Coplestone, A., & Ryan, B. (2014). ERTMS train driving-incab vs. outside: an explorative eye-tracking field study. In S. Sharples & S. T Shorrock (Eds.), *Contemporary Ergonomics and Human Factors 2014* (pp. 343- 350). Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b16742>

- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A model for types and levels of human interaction with automation. *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286-297.
<https://doi.org/10.1109/3468.844354>
- Rose, J., Bearman, C., & Dorrian, J. (2018). The Low-Event Task Subjective Situation Awareness (LETSSA) technique: Development and evaluation of a new subjective measure of situation awareness. *Applied ergonomics*, 68, 273-282.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2017.12.006>
- Sharples, S., Millen, L., Golightly, D., & Balfe, N. (2011). The impact of automation in rail signalling operations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, 225(2), 179-191.
<https://doi.org/10.1177/09544097JRR380>
- Sheridan, T. B., & Verplank, W. L. (1978). *Human and computer control of undersea teleoperators*. Man-Machine Systems Laboratory report, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.
- Stanton, N. A., Chambers, P. R., & Piggott, J. (2001). Situational awareness and safety. *Safety science*, 39(3), 189-204.
[https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(01\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(01)00010-8)
- Tretten, P., Illankoon, P., & Candell, O. (2021). Digitalization of Railway Maintenance: A Situation Awareness Perspective. In I. L. Nunes (Ed.), *Proceedings of the AHFE 2021 Virtual Conference on Human Factors and Systems Interaction* (pp. 202-209). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-79816-1_25
- UIC (1998). *ERTMS (ETCS/EIRENE) MMI: The Man Machine Interface of the European Train Control System and the European Radio System for Railways*. UIC, Paris.
- UITP (2018) *World Report on Metro Automation*. UITP, Brussels.