

Untersuchung der Entwicklung des mentalen Modells von Fahrenden automatisierter Fahrzeuge bezüglich Situation und Funktionsweise des Fahrzeugs sowie dessen Einfluss auf das Situationsbewusstsein und die Übernahmeleistung

Sarah SCHWINDT

*Institut für Arbeitswissenschaft, Technische Universität Darmstadt,
Otto-Berndt-Straße 2, D-64287 Darmstadt*

Kurzfassung: Ab dem SAE Level 3 bieten automatisierte Fahrzeuge Fahrenden die Möglichkeit, sich während der Fahrt mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen. Da es jedoch jederzeit zu einer Aufforderung zur Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle kommen kann, werden Fahrende gleichzeitig vor die Herausforderung gestellt, sich innerhalb kurzer Zeit orientieren und die Fahraufgabe wieder vollständig übernehmen zu müssen. Da das mentale Modell der Fahrenden sowohl einen zentralen Einfluss auf die Formung des Situationsbewusstseins als auch auf die Übernahmeleistung hat, wird in diesem Beitrag ein Konzept zur Analyse mentaler Modelle vorgestellt. Ziel ist es dabei, die für ein angemessenes Situationsbewusstsein und eine gute Übernahmeleistung relevanten Komponenten des mentalen Modells zu identifizieren und diese zu nutzen, um Fahrende auf die Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle vorzubereiten.

Schlüsselwörter: automatisiertes Fahren, mentales Modell, Situationsbewusstsein, Übernahmeleistung

1. Problemstellung

Automatisierte Fahrzeuge, die dem SAE Level 3 entsprechen (SAE International 2021), ermöglichen es Fahrenden, sich von der Fahraufgabe zu distanzieren und stattdessen andere Aktivitäten auszuführen. Dennoch kann es in jedem Augenblick zu einem Take-Over-Request (TOR) kommen, der von den Fahrenden einen schnellen Wechsel der Aufmerksamkeit weg von der fahrfremden Tätigkeit hin zur Fahraufgabe und anschließend eine vollständige Übernahme der Kontrolle des Fahrzeugs erfordert. Ein Problem besteht darin, dass solche Take-Over-Requests oft in komplexen Situationen, wie beispielsweise aufgrund einer Veränderung des Fahrstreifens in einer Baustelle, auftreten (Kurpiers et al. 2020). Bisherige Untersuchungen gehen in der Regel davon aus, dass ein Zeitbudget von ca. acht Sekunden zur Verfügung steht, um die Kontrolle zurückzugewinnen (Zhou et al. 2021). Allerdings zeigen Ergebnisse von Merat et al. (2014), dass bis zu 40 Sekunden benötigt werden, um die vollständige Kontrolle des Fahrzeugs wiederzuerlangen. Dementsprechend stellt sich die Frage, ob Fahrende, die sich über einen längeren Zeitraum nicht auf ihre Umgebung konzentriert haben, in der Lage sind, eine komplexe Situation innerhalb eines Zeitbudgets von acht Sekunden ausreichend zu erfassen und folglich die Kontrolle des Fahrzeugs sicher übernehmen zu können.

Die bisherige Forschung zur Unterstützung Fahrender bei der Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle fokussiert die Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human Machine Interface, HMI). Betrachtet werden dabei hauptsächlich die Auswirkungen der Positionierung des HMI Displays, der Modalität des TOR oder der zeitlichen Gestaltung des TOR unmittelbar auf die Übernahmeleistung der Fahrenden (Epple et al. 2018; Stier et al. 2020; Smith et al. 2020). Da schwere Unfälle jedoch oft auf mangelndes Situationsbewusstsein und nicht auf fehlerhafte Handlungsstrategien zurückzuführen sind (Vollrath et al. 2015), ist es von Bedeutung, zu untersuchen, wie Fahrende dabei unterstützt werden können, bei einem TOR möglichst schnell ein angemessenes Situationsbewusstsein wiederzuerlangen. Hierbei wurde in der bisherigen Forschung bislang lediglich die Qualität des Situationsbewusstseins mittels Methoden wie Eye-Tracking in Echtzeit erfasst und zur Ermittlung des optimalen Timings eines TOR genutzt (Hayashi et al. 2020; Zhou et al. 2021).

Obwohl sowohl das Verständnis der Funktionsweise und Systemgrenzen des automatisierten Fahrzeugs (Kurpiers et al. 2020) als auch das schnelle Wiedererlangen des Situationsbewusstseins in einer komplexen Situation in Fahrzeugen mit SAE Level 3 besonders sicherheitsrelevant sind (Zhou et al. 2021), wurde bislang vernachlässigt, inwiefern Fahrende bereits vor der ersten Nutzung eines solchen Fahrzeugs bestmöglich auf diese Aufgabe vorbereitet und somit darin unterstützt werden können, infolge eines TOR das Situationsbewusstsein schnellstmöglich und in ausreichendem Umfang wiederzuerlangen.

2. Zielsetzung und Fragestellung

Das Situationsbewusstsein, welches die Wahrnehmung, das Verständnis sowie die Projektion der Situation umfasst (Endsley 1995), wird, wie in Abbildung 1 dargestellt, maßgeblich durch das mentale Modell gesteuert, welches die Fahrenden einerseits von der Umgebung und andererseits von der Funktionsweise und den Systemgrenzen des automatisierten Fahrzeugs haben (vgl. Endsley 2017).

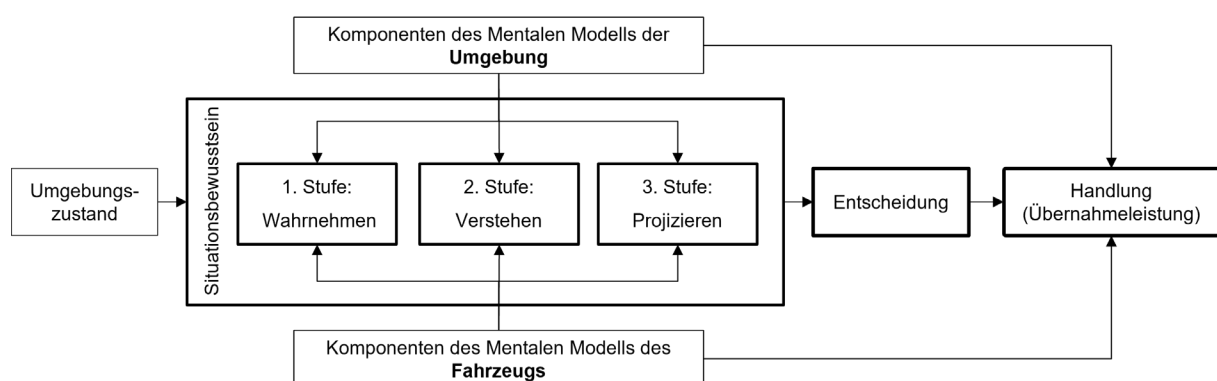


Abbildung 1: Einfluss des mentalen Modells sowohl der Umgebungssituation als auch der Funktionsweisen des Fahrzeugs auf die Stufen des Situationsbewusstseins sowie die Übernahmeleistung (in Anlehnung an Endsley 1995, 2017)

Es ist demnach von besonderem Interesse, die Komponenten des mentalen Modells von Fahrenden bezüglich der Umgebungssituation und der Funktionsweise des automatisierten Fahrzeugs zu untersuchen, sowie den Einfluss der verschiedenen

Komponenten des mentalen Modells auf die Formung des Situationsbewusstseins innerhalb der drei Stufen und die daraus resultierende Übernahmeleistung zu analysieren. Da mentale Modelle durch zunehmende Erfahrung konkretisiert und differenziert werden (Bach 2010), die Entwicklung mentaler Modell bisher jedoch lediglich mit dem Fokus auf einzelne automatisierte Fahrfunktionen erfolgte (Beggiato & Krems 2013; Blömacher et al. 2020; Forster et al. 2019; Richardson et al. 2019) und die Betrachtung des Situationsbewusstseins dabei vernachlässigt wurde, ist es weiterhin von Interesse, die Entwicklung der mentalen Modelle durch das Erleben von TOR-Situationen und die damit verbundenen Auswirkung auf die Bildung des Situationsbewusstseins zu untersuchen. Außerdem ist zu evaluieren, welche Möglichkeiten es gibt, das mentale Modell von Fahrenden bereits vor der ersten Fahrt mit einem automatisierten Fahrzeug zu optimieren, sodass sie bestmöglich auf den TOR vorbereitet sind.

Dementsprechend ergeben sich folgende Forschungsfragen:

1. Welche Komponenten des mentalen Modells sowohl von der Umgebungssituation als auch der Funktionsweise des Fahrzeugs tragen durch die Formung des Situationsbewusstseins zu einer hohen Übernahmeleistung der Fahrenden in automatisierten Fahrzeugen bei?
2. Wie entwickelt sich einerseits das mentale Modell der Situation sowie der Funktionsweise des Fahrzeugs und andererseits das Situationsbewusstsein und die daraus resultierende Übernahmeleistung der Fahrenden mit zunehmender Erfahrung?
3. Wie können die identifizierten relevanten Komponenten des mentalen Modells den Fahrenden in Form von theoretischem Wissen vermittelt werden, um ihr mentales Modell zu optimieren und sie bestmöglich auf die Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle vorzubereiten?

3. Untersuchungsdesign

Zur Beantwortung der Fragestellungen soll eine Studie im within-subject Design durchgeführt werden. Dabei soll zunächst das mentale Modell der Probanden sowohl von der Umgebungssituation als auch der Funktionsweise des Fahrzeugs qualitativ und quantitativ erfasst werden. Die qualitative Erfassung erfolgt dabei mit Hilfe eines einleitenden Interviews und anschließendem Card Sorting. Zur quantitativen Erfassung der Funktionsweise des Fahrzeugs wird der Fragebogen von Richardson et al. (2019) eingesetzt. Zur quantitativen Erfassung des mentalen Modells der Umgebungssituation wird ein, angelehnt an das Vorgehen von Richardson et al. (2019), eigens entwickelter Fragebogen verwendet. Anschließend erfahren die Probanden eine Fahrt im Fahrsimulator, während derer sie zunächst automatisiert auf der Autobahn fahren und dabei in einem Buch lesen. Nach einer ca. 10-minütigen automatisierten Fahrt (vgl. Müller 2020) werden sie zur Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle aufgrund einer Baustelle aufgefordert. Der Tor erfolgt dabei sowohl visuell als auch auditiv und gibt ein Zeitbudget von 8 Sekunden bis zur Abschaltung der Automatisierung vor (vgl. Zhou et al. 2021). Während des TOR wird unmittelbar vor Abschaltung der Automatisierung das Situationsbewusstsein mittels der Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT) nach Endsley (1988) erfasst. Da mit dieser Methode jedoch nur Informationen erhoben werden können, welche die Probanden bewusst wahrge-

nommen haben, soll weiterhin das Blickbewegungsverhalten per Eye Tracking überprüft werden. Die Übernahmeleistung wird mit Hilfe der Time-to-Collision, der Anzahl an Kollisionen sowie des Brems- und Lenkverhaltens quantifiziert (Müller, 2020). Im Anschluss an die Fahrt wird erneut das mentale Modell von Umgebungssituation und Fahrzeug sowohl qualitativ als auch quantitativ erfasst, indem die Probanden einerseits das mithilfe des Card Sorting erarbeitete mentale Modell überarbeiten und anpassen können und andererseits erneut die beiden Fragebögen zu Fahrzeugfunktionen (Richardson et al. 2019) und Umgebungssituation ausfüllen. Die Fahrt im Fahrsimulator mit anschließender qualitativer und quantitativer Erfassung des mentalen Modells wird für alle Probanden dreimal wiederholt.

Der Vergleich der erarbeiteten mentalen Modelle einerseits mit den Ergebnissen der SAGAT sowie der Blickbewegung bzgl. des Situationsbewusstseins und andererseits mit den Kennwerten zur Übernahmeleistung ermöglicht die Identifikation der Elemente des mentalen Modells, die relevant für ein angemessenes Situationsbewusstsein sowie eine gute Übernahmeleistung sind. Durch die Analyse der Entwicklung des mentalen Modells innerhalb eines Probanden kann weiterhin überprüft werden, ob das mentale Modell mit steigender Erfahrung um neue Komponenten erweitert wird oder ob es sich auf einzelne wichtige Komponenten fokussiert. Zuletzt kann auf Basis der identifizierten relevanten Komponenten ein Konzept zur Vermittlung dieser in Form von theoretischem Wissensinput erarbeitet werden, um Fahrende bereits vor der ersten automatisierten Fahrt bestmöglich auf die Rückübernahme der Fahrzeugkontrolle in komplexen Situationen vorzubereiten.

4. Literatur

- Bach N (2010): Mentale Modelle als Basis von Implementierungsstrategien: Konzepte für ein erfolgreiches Change Management. Endsley MR (1988): Situation Awareness Global Assessment Technique (SAGAT). In: Proceedings of the IEEE 1988 National Aerospace and Electronics Conference (S. 789–795).
- Beggiato M, Krems JF (2013): The evolution of mental model, trust and acceptance of adaptive cruise control in relation to initial information. In: Transportation research. Part F, Traffic psychology and behaviour 18, S. 47–57. DOI: 10.1016/j.trf.2012.12.006.
- Blömacher K, Nöcker G, Huff M (2020): The evolution of mental models in relation to initial information while driving automated. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 68 (1), S. 198–217. DOI: 10.1016/j.trf.2019.11.003.
- Endsley MR (1995): Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. In: Hum Factors 37 (1), S. 32–64. DOI: 10.1518/001872095779049543.
- Endsley MR (2017): From Here to Autonomy. In: Human factors 59 (1), S. 5–27. DOI: 10.1177/0018720816681350.
- Eppele S, Roche F, Brandenburg S (2018): The Sooner the Better: Drivers' Reactions to Two-Step Take-Over Requests in Highly Automated Driving (62). In: Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (1).
- Forster Y, Hergeth S, Naujoks F, Beggiato M, Krems JF, Keinath A (2019): Learning and Development of Mental Models during Interactions with Driving Automation: A Simulator
- Hayashi H, Oka N, Kamezaki M, Sugano S (2020): Development of a Situational Awareness Estimation Model Considering Traffic Environment for Unscheduled Takeover Situations. In: Int. J. ITS Res. DOI: 10.1007/s13177-020-00231-4.
- Kurpiers C, Biebl B, Hernandez JM, Raisch F (2020): Mode Awareness and Automated Driving—What Is It and How Can It Be Measured? In: Information 11 (277).
- Merat N, Jamson AH, Lai FCH, Daly M, Carsten OMJ (2014): Transition to manual: Driver behaviour when resuming control from a highly automated vehicle. In: Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 27 (3), S. 274–282. DOI: 10.1016/j.trf.2014.09.005.

- Müller AL (2020): Auswirkungen von naturalistischen fahrfremden Tätigkeiten während hochautomatisierter Fahrt. Dissertation. TU Darmstadt, Darmstadt. IAD.
- Richardson NT, Sprung A, Michel B (2019): Entwicklung und Validierung eines Fragebogens zur Erfassung des mentalen Modells für das hochautomatisierte Fahren. In: Z. Arb. Wiss. 73 (3), S. 312–323. DOI: 10.1007/s41449-019-00157-y.
- SAE International (2021): J3016_202104. Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles. Online verfügbar unter https://saemobilus.sae.org/content/J3016_202104.
- Smith M, Jordan L, Bagalkotkar K, Sai Manjuluri S, Nittala R, Gabbard J (2020): Hit the Brakes! In: 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. AutomotiveUI '20: 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. Virtual Event DC USA, 21 09 2020 22 09 2020. New York, NY, USA: ACM, S. 46–49.
- Stier D, Heid U, Minker W (2020): Adapting In-Vehicle Voice Output: A User- and Situation-Adaptive Approach. In: 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. AutomotiveUI '20: 12th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications. Virtual Event DC USA, 21 09 2020 22 09 2020. New York, NY, USA: ACM, S. 12–15.
- Vollrath M, Briest S, Maciej J, Howe J (2015): Fahren Ältere situationsbewusster als Jüngere?
- Zhou F, Yang XJ, Winter J de (2021): Using Eye-tracking Data to Predict Situation Awareness in Real Time during Takeover Transitions in Conditionally Automated Driving.



Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Nachhaltig Arbeiten und Lernen

**Analyse und Gestaltung lernförderlicher
und nachhaltiger Arbeitssysteme
und Arbeits- und Lernprozesse**

69. Kongress der
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover

01. – 03. März 2023

GfA-Press

Bericht zum 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 01. – 03. März 2023

**Fakultät Maschinenbau, Institut für Berufswissenschaften der Metalltechnik (IBM) und
Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA), Leibniz Universität Hannover**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.
Sankt Augustin: GfA-Press, 2023
ISBN 978-3-936804-32-4

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle (s. u.) erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© GfA-Press, Sankt Augustin

Schriftleitung: Prof. Dr. Rolf Ellegast

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,
- den Kongressband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

Geschäftsstelle der GfA

Simone John, Tel.: +49 (0)30 1300-13003

Alte Heerstraße 111, D-53757 Sankt Augustin

info@gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de · www.gesellschaft-fuer-arbeitswissenschaft.de

Screen design und Umsetzung

© 2023 fröse multimedia, Frank Fröse

office@internetkundenservice.de · www.internetkundenservice.de