

Die Erfassung des Fahrerzustands als Voraussetzung für höher automatisierte Fahrfunktionen – Eine kritische Diskussion und ein Lösungsvorschlag

Maximilian Schwalm* und Nicolas D. Herzberger†

Zusammenfassung: Vor dem Hintergrund der Entwicklung automatisierter Fahrsysteme, bei denen Fahrer bisweilen die Fahraufgabe wieder übernehmen müssen, stellt sich die Frage ob und inwiefern Systeme zur Erfassung des Fahrerzustands als notwendige Voraussetzung betrachtet werden müssen um eine sichere Übergabe zu gewährleisten. In dem vorliegenden Kapitel soll zunächst diskutiert werden, welche minimalen Anforderungen an den Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Stufe der Automatisierung gestellt werden müssen. Anschließend wird diskutiert, ob die Detektion eines übernahmebereiten Fahrers durch Beobachtung und Messung auf bestimmten Stufen überhaupt valide möglich ist. Alternativ wird diskutiert, dass zunächst die Detektion einer fehlenden Übernahmebereitschaft bereits sehr viel einfacher zu realisieren ist. Dieses wird untermauert mit empirischen Ergebnissen einer Fahrsimulationsstudie bei der die Sollreaktion des Fahrers auf einen Take over Request (TOR) empirisch erfasst und mit der Übernahmeleistung in Verbindung gebracht wird.

Schlüsselwörter: Automationslevel, Fahrerinvolvierung, Fahrerzustand, Mensch-Maschine-Interaktion.

1 Einleitung

Autonomes Fahren wird die Automobilindustrie und die Mobilität der Gesellschaft verändern. Insbesondere die individuelle Fortbewegung im eigenen Fahrzeug wird sich mit zunehmender Automatisierung grundlegend wandeln. Die zukünftigen Kunden eines solchen Fahrzeugs sind bereit für die Möglichkeit die Zeit im Fahrzeug für andere Tätigkeiten nutzen zu können einen erhöhten Anschaffungspreis in Kauf zu nehmen [1]. Für viele Kunden wird der Mehrwert einer erhöhten Automation jedoch erst dann deutlich, sobald das System nicht nur eine Entlastung von der Fahraufgabe bedeutet, sondern eben auch die Möglichkeit bietet, sich anderen Tätigkeiten zuzuwenden. Genau hier liegt derzeit die Entwicklung bei höheren Automationsstufen an einem kritischen Punkt.

* Erster Autor ist seit 2013 Inhaber der Professur für Kraftfahrzeug Systembewertung am Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University, Steinbachstr. 7, 52070 Aachen (maximilian.schwalm@ika.rwth-aachen.de).

† Zweiter Autor ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University, Steinbachstr. 7, 52070 Aachen (nicolas.herzberger@ika.rwth-aachen.de).

Insbesondere bei SAE Level 3 wird vorausgesetzt, dass der Fahrer prinzipiell auch aus einer Situation heraus die Kontrolle über das Fahrzeug zurückerlangen kann, bei der er sich zuvor anderen Tätigkeiten zugewendet hat [2]. In diesem Kontext ist nach wie vor offen, ob und unter welchen Umständen dieses möglich ist und wie garantiert werden kann, dass der Fahrer übernahmebereit ist. Eine derzeit diskutierte Möglichkeit bestünde darin, den Fahrerzustand technisch zu erfassen und so die Übernahmebereitschaft im Normalbetrieb, an Systemgrenzen oder bei einem Systemausfall zu detektieren [z.B. 3, 4, 5, 6]. Ist der Fahrer übernahmebereit, übergibt das Fahrzeug die Kontrolle an den Fahrer. Detektiert das Fahrzeug, dass der Fahrer nicht übernahmebereit ist, bestünde die Möglichkeit, dass das System mit einem minimal riskanten Manöver das Fahrzeug sicher zum Stehen bringt.

Bevor jedoch die Übernahmebereitschaft eines Fahrers durch ein technisches System erfasst werden kann, erscheint es sinnvoll, zunächst einmal zu definieren worin diese Übernahmebereitschaft eigentlich besteht. Hier macht der vorliegende Artikel folgenden Vorschlag zum Vorgehen: Zunächst werden mögliche auftretende Fahrerzustände beschreiben und definiert. Anschließend wird pro Automatisierungsstufe nach SAE [7] ein Minimalzustand des Fahrers definiert der erforderlich ist um im Normalbetrieb, an der Systemgrenze und bei einem Systemausfall zu garantieren, dass der Fahrer die Übernahmebereitschaft herstellen kann.

Anschließend wird diskutiert, ob die Detektion der erforderlichen Fahrerzustände überhaupt möglich sein wird, und oder ob nicht vielmehr schon die Information einer fehlenden Übernahmebereitschaft also einer nicht-Passung von Fahrerzustand und geforderten Minimalzustand bereits sehr viel einfacher zu realisieren ist.

2 Anforderungen an den Fahrerzustand

Im Folgenden werden zunächst mögliche Fahrerzustände beschreiben und definiert. Anschließend erfolgt eine Beschreibung der Mindestanforderung an den Zustand des Fahrers in Abhängigkeit der Automationsstufen nach SAE [7].

2.1 Mögliche Fahrerzustände

In Abbildung 1 werden die für die Diskussion relevanten Fahrerzustände definiert. Dieses erfolgt anhand der Anforderungen an den Fahrer [8], hier unterteilt in die Wahrnehmung der Fahrsituation (Perzeption), in die Entscheidungsfindung (Kognition) und in die Handlung. Es werden insgesamt 5 Zustände unterschieden: „Vollständig involviert“, „Aktiv involviert“, „Passiv involviert“, „Rückholbar“ und „Nicht unmittelbar rückholbar“. Zentral ist dabei die Annahme, dass bei Transitionen zwischen den Fahrerzuständen – insbesondere in Richtung zunehmender Involvierung in die Fahraufgabe – nur bestimmte Schritte möglich sind. So ist es z.B. nicht möglich, einen schlafenden Fahrer („Nicht unmittelbar Rückholbar“) direkt in den Zustand „Vollständig verantwortlich“ zu überführen. Vielmehr durchläuft der Fahrer dabei mehrere Zwischenstufen. Dies muss

nicht zwangsläufig über eine parallel verlaufende stufenweise Degradation des Automationslevels erfolgen.

Fahrerzustand	Anforderungen		
	Perzeption	Kognition	Handlung
Vollständig verantwortlich	Monitoring aller relevanten Informationen einer Situation	Aktive Entscheidungen auf Basis vorliegender Informationen	Aktive Ausführung notwendiger Handlungen zur Situations- und Fahrzeugkontrolle
Aktiv involviert	Monitoring aller relevanten Informationen einer Situation	Aktive Entscheidungen auf Basis vorliegender Informationen & Überprüfung von Systementscheidungen	Aktive Ausführung eines Teils der Fahraufgabe (Längs- oder Querführung)
Passiv involviert	Monitoring aller relevanten Informationen einer Situation	Aktive Entscheidungen auf Basis vorliegender Informationen & Überprüfung von Systementscheidungen	Keine aktive Ausführung der Fahraufgabe
Rückholbar	Kein Monitoring der Situation, Monitoring aber prinzipiell möglich	Keine aktiven Entscheidungen & Systementscheidungen werden nicht überprüft	Keine aktive Ausführung der Fahraufgabe
Nicht unmittelbar rückholbar (z.B. Fahrer schläft)	Kein Monitoring der Situation	Keine aktiven Entscheidungen & Entscheidungen des Systems werden nicht überprüft	Keine aktive Ausführung der Fahraufgabe

Mögliche Transitionen (zunehmende Involvierung) →

↑ Zunehmende Involvierung in die Fahraufgabe

Abbildung 1: Darstellung möglicher Fahrerzustände und Transitionen

2.2 Anforderungen an den Fahrerzustand in Abhängigkeit des Automatisierungslevels

In Abbildung 2 erfolgt die Zuordnung der Mindestanforderungen an den Fahrer in Bezug auf den Fahrerzustand in Abhängigkeit der Automatisierungsstufen nach SAE. Gleichzeitig erfolgt eine Zuordnung der fahrrelevanten Aufgaben in Hinsicht auf Perzeption, Kognition und Handeln entweder zu dem Fahrer oder zu der Automation.

		Stufe 0	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4	Stufe 5
Mindestanforderungen an den Fahrer		<i>Vollständig Verantwortlich</i>	<i>Aktiv involviert</i>	<i>Passiv involviert</i>	<i>Rückholbar</i>		
Fahrer	Aufteilung der Fahraufgabe ↑	Fahrer ist vollständig für die Perception, Kognition und Handlung verantwortlich	Perzeption der Situation gefordert	Perzeption der Situation gefordert	Keine Perzeption der Fahraufgabe	In spezifischen Situationen keine Perzeption, Entscheidung und Handlung durch den Fahrer notwendig	System übernimmt dauerhaft und in allen Situationen Perception, Entscheidung und Handlung
			Kognitiv aktive Entscheidung gefordert und Überprüfung der Entscheidungen des Systems	Kognitiv aktive Entscheidung gefordert und Überprüfung der Entscheidungen des Systems	Entscheidungen bezüglich FA nicht notwendig	Keine aktive Ausführung der FA oder Teile davon	
Automation	↓		Handlungsübernahme eines Teils der Fahraufgabe (FA)	Keine Handlung	Perzeption in spez. Anwendungssituationen		Perzeption in spez. Anwendungssituationen
			Übernahme muss jederzeit möglich sein	Übernahme muss jederzeit möglich sein		Kognitive Entscheidungen hinsichtlich der FA in ausgewählten Anwendungssituationen	
			Systemseitige Perception eines Teils der FA	Perzeption der FA in spezifischen Situationen	Kognitive Entscheidungen hinsichtlich der FA in ausgewählten Anwendungssituationen	Übernahme der FA in spezifischen Situationen	
			Kognitive Entscheidung eines Teils der FA	Handlungseinleitung für die gesamte FA in spezifischen Situationen	Übernahme der FA in spezifischen Situationen	Übernahme der FA in spezifischen Situationen	
			Handlungsübernahme eines Teils der FA	Übernahme der FA in spezifischen Situationen	Kann FA nach Vorwarnung an den Fahrer übergeben		
		Automatisierungsgrad					

Abbildung 2: Darstellung der Mindestanforderungen an den Fahrer in Abhängigkeit der Automatisierungsstufen nach SAE

2.3 Möglichkeit der Detektion von Fahrerzuständen

Sollen nun die notwendigen Voraussetzungen an den Fahrerzustand in einer Situation durch Beobachtung überprüft werden, wird die Herausforderung insbesondere bei den Zuständen „Passiv involviert“ und „Rückholbar“ deutlich. Im Zustand „Passiv involviert“ ist es erforderlich, dass der Fahrer alle relevanten Informationen einer Situation wahrnimmt und Systementscheidungen überprüft. Die Herausforderung besteht dabei darin, durch Beobachtung fest zu stellen, ob und in wie fern der Fahrer ein vollständiges Bild der Verkehrssituation wahrgenommen und kognitiv verarbeitet hat ohne eine konkrete Handlung zu registrieren die auf eine korrekte Verarbeitung hindeutet. Durch z.B. eine kontinuierliche Erfassung der Blickzuwendung (Eyetracking) kann zwar das aktive physische scannen der Situation erfasst – nicht jedoch sicher die notwendige kognitive Verarbeitung der gesehenen Informationen überprüft werden. Belege für einen solchen Effekt bei dem zwar Informationen in den Fokus der visuellen Aufmerksamkeit rücken, aber dennoch falsch oder unvollständig verarbeitet werden, finden sich in der Literatur unter anderem in der Debatte rund um das Phänomen der „inattention blindness“ vgl. u.a. [9]. Noch weniger Anhaltspunkte ergeben sich in dem Zustand „Rückholbar“. Hier ist das Monitoring der Verkehrssituation nicht erforderlich und die Erfassung der Blickzuwendung somit nicht aussagekräftig. Verhaltensbeobachtungen können hier zwar

Anhaltspunkte liefern, aber keine Sicherheit, ob, in wie fern und wie schnell der Fahrer tatsächlich rückholbar ist.

Wenn also die verlässliche Detektion des Fahrerzustands auf Basis einer Beobachtung schwierig erscheint, stellt sich die Frage, ob nicht zunächst die Detektion eines nicht ausreichenden Fahrerzustands in einer Automationsstufe eher möglich ist.

3 Detektion einer fehlenden Übernahmefähigkeit mittels Diagnose einer Sollreaktion auf einen TOR

Im Gegensatz zur Detektion der Übernahmefähigkeit erscheint die Detektion einer fehlenden Übernahmefähigkeit zunächst deutlich einfacher. Folgt man wie weiter oben diskutiert der Idee, dass eine Übergabe an den Fahrer ein kaskadierter Prozess ist, bei dem der Fahrer zunächst z.B. aus dem Zustand ‚Rückholbar‘ in den Zustand der passiven Involvierung wechselt – um sich z.B. zunächst ein Bild der Verkehrssituation zu machen und die physische Übernahme der Steuerung des Fahrzeugs vorzubereiten (vollständig involviert) – erscheint es zielführend für eben diesen Wechsel des Zustands Indikatoren zu definieren die sich in Beobachtungskriterien überprüfen lassen. Wie beispielsweise der zwingend notwendige Blick in die Verkehrssituation. Der entscheidende Punkt ist dabei, dass es sich hier durch den Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung um eine zeitlich festgelegte und empirisch beschreibbare Reaktion des Fahrers handelt. Ist es möglich das Ausbleiben einer solchen Sollreaktion zu detektieren, kann mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit zumindest einmal von einer fehlenden Übernahmefähigkeit ausgegangen werden.

Diese Sollreaktion auf ein Take Over Request (TOR) in einer automatisierten Fahrsituation wurde im Rahmen einer empirischen Untersuchung am Fahrsimulator des ika (Instituts für Kraftfahrzeuge Aachen) untersucht (siehe Abbildung 3).

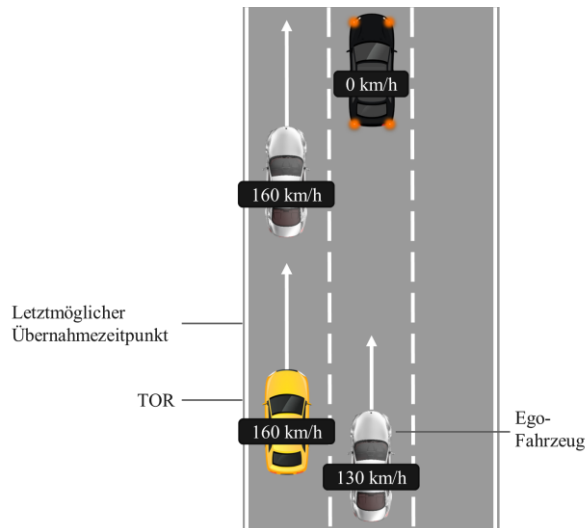


Abbildung 3: Links: Probandin im Fahrsimulator des Instituts für Kraftfahrzeuge der RWTH Aachen University mit dem verwendeten Eyetracking System zur Erfassung der Orientierungsreaktion. Rechts: Schematische Darstellung der kritischen Situation.

Hierbei fuhren $N = 50$ Probanden in einer 13-minütigen teilautonomen Fahrt bis diese in einer kritischen Situation die Fahraufgabe vom System übernehmen mussten. In dieser Übernahmesituation ließen sich Musterabfolgen in der Orientierungsreaktion der Probanden erkennen, die auf das Gelingen der Übernahme bzw. auf eine mangelnde Übernahmefähigkeit hindeuten – unabhängig davon, ob die Probanden eine fahrfremde Tätigkeit ausführten oder nicht. Abbildung 4 zeigt beispielhafte Orientierungsmuster zweier Probanden auf den Take Over Request. (Detaillierte Ergebnisse und Beschreibung der probandenübergreifenden Muster, wird in [10] erfolgen).

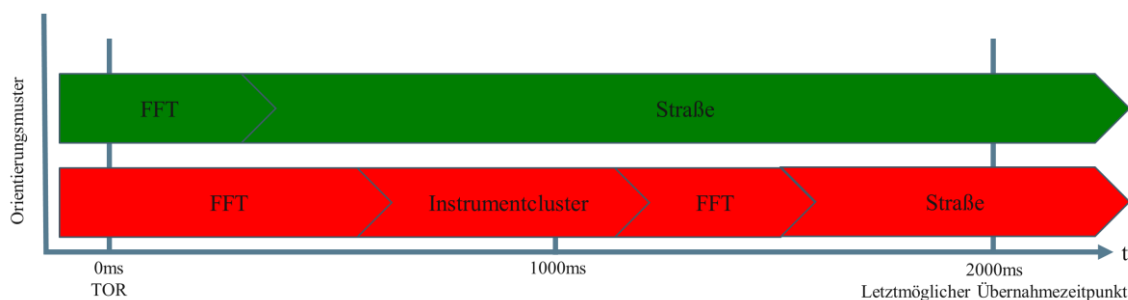


Abbildung 4: Blickmuster von zwei ausgewählten Probanden beginnend bei der fahrfremden Tätigkeit (FFT) auf einen Take Over Request. Das grüne Muster stellt eine Orientierungsreaktion mit erfolgreicher Übernahme dar, das rote Muster stellt eine Orientierungsreaktion mit misslungener Übernahme dar.

Diese ersten gefundenen Orientierungsmuster erscheinen als ein vielversprechender Ansatz um im Falle einer notwendigen Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer einen

Abgleich der gezeigten Abfolge mit einer Sollreaktion durchführen zu können und so frühzeitig eine fehlende Übernahmefähigkeit detektieren zu können.

4 Abschließende Diskussion

In dem vorliegenden Kapitel wird diskutiert, ob und inwiefern vor dem Hintergrund der Entwicklung automatisierter Fahrsysteme, bei denen Fahrer bisweilen die Fahraufgabe wieder übernehmen müssen, Systeme zur Erfassung des Fahrerzustands als notwendige Voraussetzung betrachtet werden müssen um eine sichere Übergabe zu gewährleisten. Dafür werden zunächst auf Basis von einmal mögliche Fahrerzustände definiert. Anschließend erfolgt eine Zuordnung der notwendigen Fahrerzustände zu den Stufen der Automatisierung nach SAE. Es wird argumentiert, dass die Prognose einer erfolgreichen Übernahme der Fahraufgabe insbesondere aus dem Zustand ‚Rückholbar‘ heraus durch reine Beobachtung des Fahrers fraglich erscheint. Vielmehr wird vorgeschlagen, zunächst auf Basis der Analyse einer Sollreaktion des Fahrers auf den Take Over Request zu bestimmen, ob ein Fahrer wahrscheinlich keine ausreichende Übernahmefähigkeit aufweist. Dieses wird mit einer ersten eigenen empirischen Simulatorstudie untermauert. Die Ergebnisse dieser Studie lassen auch erste Muster erkennen mit denen sich eine misslungene Übernahme der Fahraufgabe durch den Fahrer frühzeitig erkennen lässt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Orientierungsmuster bislang nur für eine spezifische Fahrsituation mit definierter Time to Collision (TTC) und einer einzigen vorgegebenen fahrfremden Tätigkeit analysiert wurden. Die Übertragbarkeit auf andere Situationen muss in weiteren Erhebungen nachgewiesen werden. Ebenso verbleibt für nachfolgende Studien der Nachweis offen, ob mittels der Analyse der diagnostischen Reaktion auf einen TOR gegebenenfalls auch der Nachweis der Übernahmefähigkeit mit ausreichender Validität getroffen werden kann.

Ferner ist zu diskutieren, wie im Falle einer sicher detektierten fehlenden Übernahmefähigkeit das Systemverhalten auszulegen ist. So könnte beispielsweise die Einleitung eines „minimal risk maneuver“ zur Absicherung der Situation und somit zur Sicherstellung der Fahrersicherheit zu einem wesentlich früheren Zeitpunkt erfolgen, als wenn das Ausbleiben der Reaktion des Fahrers vollständig abgewartet werden muss. Es bleibt nachzuweisen welcher konkrete Sicherheitsgewinn durch ein solches Eingreifen in kritischen Fahrsituationen erreicht werden kann.

5 Danksagung

Die vorgestellten Arbeiten sind im Rahmen des Teilprojekts „Systemergonomie für kooperativ interagierende Automobile: Nachvollziehbarkeit des Automationsverhaltens und Eingriffsmöglichkeiten des Menschen im Normalbetrieb, an Systemgrenzen und bei Systemausfall“ innerhalb des Schwerpunktprogrammes 1835 „Kooperativ interagierende Automobile“ der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG durchgeführt worden.

Literatur

- [1] Studienbericht 2018, Enabling the Value of Time, Implikationen für die Innenraumgestaltung autonomer Fahrzeuge. Fraunhofer IAO, Cordence worldwide, Horvat & Partners
- [2] Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., ... & Vogt, W. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Unterreihe Fahrzeugtechnik, (83).
- [3] Flemisch, F., Altendorf, E., Canpolat, Y., Weßel, G., Baltzer, M., Lopez, D., Herzberger, N. D., Voß, G. M. I., Schwalm, M. & Schutte, P. (2017). Uncanny and unsafe valley of assistance and automation: First sketch and application to vehicle automation. In *Advances in Ergonomic Design of Systems, Products and Processes* (pp. 319-334). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [4] Herzberger, N. D., Voß, G. M. I., Becker, F., Grazioli, F., Altendorf, E., Canpolat, Y., Flemisch, F. O. & Schwalm, M. (2018). Derivation of a Model of Safety Critical Transitions between Driver and Vehicle in Automated Driving. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics*. Springer, Cham.
- [5] Flemisch, F., Schieben, A., Schömig, N., Strauss, M., Lüke, S.: Design of Human Computer Interfaces for Highly Automated Vehicles in the EU-Project HAVEit. In Stephanidis, C. (Hrsg.) *Universal Access in Human-Computer Interaction*, 6767 270-279. Springer, Heidelberg (2011)
- [6] Rauch, N., Kaussner, A., Krüger, H.-P., Boverie, S., Flemisch, F.: The importance of driver state assessment within highly automated vehicles. Paper presented at the 16th ITS World Congress, Stockholm, Sweden, 21.-25. (2009)
- [7] SAE International, http://www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf (2014)
- [8] Herzberger, N. D., Voß, G. M., & Schwalm, M. (2017). Identification of Criteria for Drivers' State Detection. In *International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics* (pp. 798-806). Springer, Cham.
- [9] Beanland, V., Pammer, Kristen (2010). Looking without seeing or seeing without looking? Eye movements in sustained inattentional blindness. *Vision Research* 50 (2010) 977-988
- [10] Herzberger, N. D. & Schwalm, M. in prep. (2018)