



# Übernahmezeiten beim hochautomatisierten Fahren

Unfallforschung kompakt



## Inhalt

Einleitung	4
Versuchsdesign	5
Im Fahrsimulator umgesetzte Übernahmeszenarien	6
Im Fahrsimulator umgesetzte Nebenaufgaben	9
Versuchsablauf	10
Definition der gemessenen objektiven Parameter	11
Versuchspersonen	13
Ergebnisse: Reaktionsverläufe	13
Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen	16
Literatur	18
Impressum	19

---

## Einleitung

Diese UDV kompakt zeigt einen Ausschnitt aus einem umfangreichen Forschungsprojekt und fasst den ersten Teil dieser zweiteiligen Studie zum Thema Übernahmezeiten und hochautomatisiertes Fahren zusammen.

Fahrzeuge in denen der Fahrer Teilstrecken automatisiert fahren kann und die Fahrt nicht mehr überwachen muss, befinden sich derzeit bei vielen Automobilherstellern in der Entwicklung. Wenn diese hochautomatisierten Fahrzeuge Fahraufgaben nicht mehr bewältigen können, muss die Steuerung an den Fahrer zurückgegeben werden. Hierzu ist es notwendig, dem Fahrer einen ausreichenden Zeitraum für die Übernahme der manuellen Kontrolle über das Fahrzeug zur Verfügung zu stellen, damit die Übernahme sicher und komfortabel ablaufen kann. Um die notwendige Dauer für eine sichere Übernahme der manuellen Steuerung durch einen Fahrer zu ermitteln, wurden unterschiedlich komplexe Übernahmeszenarien und Nebenaufgaben entwickelt und in einem statischen Fahrsimulator mit 60 Probanden im Alter von 20 bis 76 Jahren getestet.

Dafür wurde eine empirische Studie konzipiert und durchgeführt, die herausfinden sollte, wann eine vollständige motorische und kognitive Kontrolle über ein Fahrzeug nach einer Phase der hochautomatisierten Fahrt wiederhergestellt wurde. Hierbei wurde besonders der Effekt eines Fahrers „out-of-the-loop“ analysiert. Der Fahrer war also zum Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung in einigen Versuchsbedingungen vollständig aus der Fahraufgabe genommen und durch eine Nebenaufgabe abgelenkt.

Zu beachten ist hierbei, dass die Zeiten in einem Fahrsimulator ermittelt wurden und somit nur als Annäherung an eine Übernahme in einem realen Fahrzeug dienen können. Neuere Studien deuten jedoch darauf hin, dass im Simulator ermittelte Zeiten mit denen im realen

Fahrzeug gut übereinstimmen. Weiterhin ist zu beachten, dass alleine die Übernahmezeit kein ausreichendes Maß für die Qualität einer Übernahme bieten kann. Die Zeiten sind immer in Verbindung mit weiteren Maßen für die Übernahmegüte zu sehen, zu denen unter anderem die Qualität der Absicherung der Übernahme sowie die Vollständigkeit des Situationsbewusstseins während der Übernahme zählen.

Für die richtige Interpretation der Ergebnisse ist es notwendig, die Definitionen der Automatisierungsstufen zu kennen. Das hochautomatisierte Fahren beschreibt laut Gasser et al. (2012) eine Funktionalität, bei der das Fahrzeug sowohl die Längs- als auch Querverführung für einen gewissen Zeitraum übernimmt. Der Fahrer muss dabei nicht dauerhaft überwachen. Vielmehr muss er die Steuerung erst nach Aufforderung mit einer gewissen Zeitreserve übernehmen. Genau diese Zeitreserve gilt es hier zu bestimmen. Damit grenzt sich die hochautomatisierte Fahrfunktion nach unten deutlich von der teilautomatisierten Fahrfunktion ab. Auch hier übernimmt das Fahrzeug die Längs- und Querverführung, allerdings muss der Fahrer dabei dauerhaft überwachen und die Steuerung jederzeit übernehmen können. Oberhalb des hochautomatisierten Fahrens schließt sich das vollautomati-

sierte Fahren an. Dabei übernimmt das Fahrzeug die Längs- und Querverführung vollständig und dauerhaft. Der Fahrer ist als Rückfallebene nicht mehr notwendig, da das System bei Ausbleiben einer Fahrerübernahme das Fahrzeug selbständig in einen Zustand bringen kann, bei dem das Risiko eines Unfalls minimiert ist.

## Versuchsdesign

Das Versuchsdesign enthält die unabhängigen Variablen „Art der Nebenaufgabe“ sowie „Art der Übernahme-situation“. Die Nebenaufgaben wurden hierbei auf vier Gruppen aufgeteilt: Die Versuchsgruppe „Manuell“ sollte alle Situationen ohne die Automation und ohne Nebenaufgabe als manueller Fahrer erleben. Die Versuchsgruppe „Überwacht“ sollte mit eingeschalteter Automation, ebenfalls ohne Nebenaufgabe, fahren, aber die Automation während der Fahrt überwachen. Die zwei weiteren Versuchsgruppen sollten mit eingeschalteter Automation fahren und dabei unterschiedlich motivierende Nebenaufgaben bearbeiten.

Tabelle 1: Versuchsdesign mit den Faktoren „Art der Nebenaufgabe“ und „Art der Übernahme-situation“

Faktor A: Art der Nebenaufgabe	Faktor B: Art der Übernahme-situation				
	Szenario Mo1	Szenario Mo2	Szenario Mo3	Szenario Mo4	Szenario Mo5
Manuelle Fahrt (n=15)	✓	✓	✓	✓	✓
Automatisierte Fahrt ohne Nebenaufgabe (n=15)	✓	✓	✓	✓	✓
Automatisierte Fahrt mit Nebenaufgabe 1 (n=15)	✓	✓	✓	✓	✓
Automatisierte Fahrt mit Nebenaufgabe 2 (n=15)	✓	✓	✓	✓	✓

### Im Fahrsimulator umgesetzte Übernahmeszenarien

Jeder Proband in den jeweiligen Versuchsgruppen erlebte fünf Fahrszenarien in denen Übernahmesituationen stattfanden. Eine Fahrt dauerte etwa fünf Minuten. Die Szenarien unterschieden sich in ihrem Grad der Komplexität, blieben jedoch im Sinne der Auswertung in ihrem Ablauf möglichst vergleichbar. Entsprechend der Gruppen und der Szenarien wurde ein gemischtes 4x5 Versuchsdesign entwickelt (Tabelle).

---

### Im Fahrsimulator umgesetzte Übernahmeszenarien

Die Versuche wurden in dem statischen Fahrsimulator des Lehrstuhls für Ingenieur- und Verkehrspsychologie der TU Braunschweig durchgeführt.

Die Fahrsimulation wurde mit der Software-Umgebung SILAB (Krueger et al. 2005) in der Version 4 umgesetzt. Der verwendete Fahrsimulator bestand aus einer Sitzki-

ste mit Fahrer- und Beifahrersitz, einem Lenkrad und Pedalerie. Die Simulation wurde von drei Beamern auf Leinwände projiziert. Über die Simulation wurden außerdem vier kleine Bildschirme angesteuert, die als Seitenspiegel, Rückspiegel und Geschwindigkeitsanzeige dienten. Fahrergeräusche, Motorgeräusche und Geräusche des umgebenden Verkehrs wurden über ein Surround-Sound System ausgegeben. Die Konfiguration des Simulator-Raums ist in Abbildung 1 dargestellt.

Um technisch sinnvolle Szenarien für eine Übernahme gestalten zu können, wurden auf Grundlage aktueller Publikationen zu Fähigkeiten und Grenzen automatisierter Fahrsysteme (Maurer et al. 2015; Meyer und Beiker, 2014; Ziegler et al., 2014; Aeberhardt et al. 2012; Hillel et al. 2014) Experteninterviews durchgeführt. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf der Frage, in welchen Situationen ein automatisiertes Fahrzeug die Steuerung des Fahrzeugs übernehmen könnte und in welchen Situationen eine Übergabe an den Fahrer eingeleitet werden würde. Aus den Antworten der Interviews wurde ein typisches automatisiertes Fahrzeug mit bestimmten Fähigkeiten und Limitationen abgeleitet. Ein automatisiertes Fahrzeug der näheren Zukunft wird demnach in Deutschland...



Abbildung 1:  
Konfiguration der  
Sitzkiste und des  
Simulator-Raums.

## Im Fahrsimulator umgesetzte Übernahmeszenarien

- auf einer Autobahn fahren,
- in gemischtem Verkehr zusammen mit automatisierten und nicht-automatisierten Fahrzeugen fahren,
- nur begrenzt mit anderen Fahrzeugen oder der Infrastruktur vernetzt sein (GPS, Mobile Data, Car-to-X),
- mit einer Geschwindigkeit von max. 100-130 km/h fahren (umfasst auch Stau-Assistenten mit niedrigeren Geschwindigkeiten),
- unabhängig von der Verkehrsdichte fahren,
- alle Straßenschilder erkennen,
- alle anderen Verkehrsteilnehmer erkennen, die auf der Autobahn auftreten können,
- die Fahrspur halten und teilweise auch Überholvorgänge durchführen können,
- bei guten bis mittleren Wetter- und Straßenbedingungen funktionieren,
- teilweise die Nutzung von externen Geräten und internen Fahrzeugkomfortfunktionen während der Fahrt erlauben,
- zeitlich unbegrenzt automatisiert Fahren (keine Rückgabe der Steuerung nach einem festen Zeitintervall),
- zuverlässig alle Systemgrenzen erkennen,
- die Rückgabe der Steuerung an den Fahrer mit einem Zeitpuffer initiieren,
- den Fahrer multimodal über eine bevorstehende Übergabe informieren,
- jederzeit einen risikominimalen Zustand (z.B. Nothalt) herbeiführen können.

Auf Grundlage der Antworten in den Interviews und der Literatur wurden fünf Übernahmeszenarien entwickelt, die die aktuellen Systemgrenzen eines automatisierten Fahrzeugs möglichst gut widerspiegeln und gleichzeitig unterschiedliche Grade an Komplexität aufweisen. Da die in näherer Zukunft in Deutschland verfügbaren Systeme zunächst vorwiegend auf Autobahnen eingesetzt werden sollen, wurde für alle Szenarien eine mehrspurige Autobahn als Grundlage für die Simulation verwendet. Die für den Fahrsimulator umgesetzten Szenarien sind in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. In den Szenarien Mo1, Mo2, Mo3 und Mo5 wurde

die Übernahme der Steuerung auf einer Autobahn mit drei Fahrspuren pro Fahrtrichtung simuliert. In Szenario Mo4 waren nur zwei Fahrspuren vorhanden.

Für die vorliegende Studie wurde von einer perfekten Automation (im Gegensatz zu einer imperfekten Automation z.B. in Skitka et al. 2000) ausgegangen. Hiermit ist eine Automation gemeint, die weder falsche Alarmer ausgibt noch kritische Situationen als unkritisch einstuft. Dieser Bereich der Automationsforschung wurde für diese Studie bewusst ausgeklammert, da der Einfluss der Reliabilität der Automation auf das Verhalten der Nutzer nicht untersucht werden sollte. Es wurde also eine Automation implementiert, die in 100 Prozent der Situationen eine Übernahmeaufforderung korrekt ausgab und alle Systemgrenzen richtig erkannte.

Weiterhin wurde festgelegt, dass die Automation in der Lage ist, das volle Spektrum der Fahrzeugdynamik in der Längsführung auszunutzen. Die Automation konnte also sowohl 100 Prozent der möglichen Beschleunigung als auch 100 Prozent der möglichen Verzögerung des Fahrzeugs nutzen, um Situationen zu bewältigen. Nicht implementiert wurde hingegen eine Funktion, die Situationen über einen Spurwechsel oder ein Ausweichmanöver hätte entschärfen können. Die von der Automation gefahrene Geschwindigkeit wurde auf 120 km/h festgesetzt. Die Automation hielt während der automatisierten Fahrt vor der Übernahmeaufforderung (Take-Over-Request, TOR) einen Abstand von 60 Metern zu eventuell vorausfahrenden Fahrzeugen ein. Vergleichbar zu dem von Strand et al. (2014) definierten Point-of-No-Return wurde zusätzlich ein minimaler Abstand zwischen dem vorausfahrenden Fahrzeug und dem Ego-Fahrzeug definiert, der von der Automation eingehalten wurde solange diese eingeschaltet blieb. Die hier implementierte Automation bremste kurz vor dem Erreichen des minimalen Abstands stark ab und vermied so eine Kollision. Nach den vorhandenen Klassifizierungen für automatisierte Fahrsysteme lässt sich das definierte System demnach am ehesten in der Stufe „Hochautomatisiert“ nach Gasser et al. (2012) einordnen.

## Im Fahrsimulator umgesetzte Übernahmeszenarien

Tabelle 2: Darstellung der im Fahrsimulator umgesetzten Übernahmeszenarien.









Szenario	Bild der Übernahmesituation	Beschreibung der Übernahmesituation
Mo1		Es beschreibt eine Übernahmesituation in der der Fahrer aufgefordert ist, die Steuerung zu übernehmen, um eine bestimmte Route zu wählen, bzw. um von der Autobahn abzufahren. Es gibt keinen umgebenden Verkehr. 5,25 Sekunden nach der Übernahmeaufforderung wird ein Navigationspfeil im Head-Up Display eingeblendet, der zum Spurwechsel auffordert.
Mo2		Es beschreibt eine Übernahmesituation in der das Fahrzeug aufgrund von fehlenden Fahrbahnmarkierungen nicht mehr in der Lage ist, mit ausreichender Sicherheit zu lenken und daher an den Fahrer übergibt. Ein Führungsfahrzeug fährt mit der gleichen Geschwindigkeit wie das eigene Fahrzeug in der Spur des Ego-Fahrzeugs. Auf der Überholspur wird eine moderate Verkehrsdichte simuliert. Zu dem Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung hat das Führungsfahrzeug einen Abstand von ca. 250 Metern zum Ego-Fahrzeug und behält zunächst die Geschwindigkeit von 120 km/h bei. Nach 5,25 Sekunden bremst das Führungsfahrzeug stark, bis es eine Geschwindigkeit von 80 km/h erreicht hat, die es danach hält.
Mo3		Es beschreibt eine Übernahmesituation, in der das Fahrzeug aufgrund eines ausgefallenen Sensors oder eines Softwarefehlers nicht mehr in der Lage ist, mit ausreichender Sicherheit zu lenken und daher an den Fahrer übergibt. Der Ablauf des Szenarios ist analog zu Szenario Mo2, mit dem einzigen Unterschied, dass keine fehlende Fahrbahnmarkierung simuliert wird.
Mo4		Es beschreibt eine Übernahmesituation in der das Fahrzeug aufgrund einer Baustelle nicht mehr in der Lage ist mit ausreichender Sicherheit zu lenken und daher an den Fahrer übergibt. Auf der Überholspur wird hierbei zusätzlich eine hohe Verkehrsdichte simuliert. Ab dem Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung verlangsamt die Automation das eigene Fahrzeug entsprechend der durch Verkehrsschilder dargestellten Geschwindigkeitsbegrenzungen von ursprünglich 120 km/h auf 60 km/h. Zusätzlich zu der Baustelle in einer Entfernung von 300 Metern von der Übernahmeaufforderung entfernt, wird ein liegen gebliebenes Fahrzeug simuliert, das zum Teil auf der Fahrspur des Ego-Fahrzeugs steht. Die Entfernung von dem Ego-Fahrzeug zu dem liegen gebliebenen Fahrzeug liegt zu dem Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung bei 175 Metern.
Mo5		Es beschreibt eine Übernahmesituation in der das Fahrzeug aufgrund der extremen Wetterbedingungen nicht mehr in der Lage ist, mit ausreichender Sicherheit zu lenken und daher an den Fahrer übergibt. Der Ablauf des Szenarios ist analog zu den Szenarien Mo2 und Mo3. Zusätzlich wird zu dem Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung das plötzliche Einsetzen eines Starkregens simuliert, der für die Dauer des Szenarios anhält.



Tabelle 3: Piktogramme zum Zustand der Automation.

		
<p>Das Assistenzsystem ist bereit zur Übernahme der Steuerung (Lenkung, Gas, Bremse).</p>	<p>Das Assistenzsystem ist aktiv und übernimmt die Überwachung der Umgebung sowie die Steuerung des Fahrzeugs.</p>	<p>Das Assistenzsystem hat eine Situation erkannt, die ein Eingreifen des Fahrers erforderlich macht. Bitte übernehmen Sie die Steuerung des Fahrzeugs.</p>

Die Automation meldete die Bereitschaft zur Übernahme der Steuerung über ein einfaches Symbol, bestehend aus grün eingefärbten Händen und einem Lenkrad. War die Automation aktiv, wurde ein in grün und blau gehaltenes Symbol eines Fahrzeugs mit einer umgebenden Ellipse angezeigt. Die Übernahmeaufforderung wurde über rot eingefärbte Hände sowie ein rotes Lenkrad symbolisiert und von einem Warnton begleitet, wodurch die Anforderung eine multimodale Warnung zu verwenden erfüllt wurde. Die Symbole wurden im Fahrsimulator im Head-Up Display eingeblendet. Die verwendeten Piktogramme sind mit kurzen Erläuterungen in Tabelle 3 dargestellt.

## Im Fahrsimulator umgesetzte Nebenaufgaben

Für die Ermittlung einer realistischen Übernahmezeit wurde die Anforderung aufgestellt, dass der Fahrer die Übernahme durchführt, nachdem er so vollständig und realistisch wie möglich aus dem Regelkreis (out-of-the-loop) war. Er hat sich also während der automatisierten Fahrt mit einer vollkommen anderen Aufgabe als der Fahraufgabe beschäftigt und sein Situationsbewusstsein im Moment der Übernahmeaufforderung war stark eingeschränkt. Um den Fahrer entsprechend dieser Anforderungen visuell, kognitiv und motorisch zu beanspruchen und von der Fahraufgabe abzulenken, wurden zwei Nebenaufgaben entwickelt, die im Kontext von automatisiertem Fahren realistisch erscheinen.

Eine Vielzahl von Nebenaufgaben ist bereits für eben diese Art der Ablenkung während einer automatisierten Fahrt verwendet worden. Die häufigste Art der Präsentation der Nebenaufgabe scheint bislang die auf einem Tablet-Computer bzw. auf einem Smartphone oder Laptop-Bildschirm zu sein. Eine weitere Art der Präsentation

### Versuchsablauf

ist die fahrzeuginterne Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human-Machine-Interface, HMI). Außerdem wurden bereits rein sprachliche Aufgaben getestet und in einigen Studien auch analoge Medien wie z.B. Zeitschriften verwendet.

Es wurden zwei zu untersuchende Nebenaufgaben definiert: Die Aufgabe „Lesen“ bestand aus dem Lesen von Zeitschriftenartikeln auf einem Tablet Computer. Die Aufgabe „Spiel“ beinhaltete das Spielen eines Spiels über den Touchscreen eines Tablet-Computers. Beide Aufgaben wurden als visuell, motorisch und kognitiv beanspruchend eingestuft. Für die Aufgabe „Spiel“ wurde zusätzlich vermutet, dass das Spiel für die Testfahrer besonders involvierend ist und somit das Loslösen von der Aufgabe erschwert wird.



Abbildung 2: Screenshot eines typischen Spielverlaufs in der als Nebenaufgabe ausgewählten Version des Spiels Tetris.

Für die Auswahl eines geeigneten Spiels für diese Aufgabe wurden zunächst Anforderungen an das Spiel aufgestellt. Das Spiel sollte eine möglichst hohe Motivation und Immersion bieten, motorisch beanspruchend, möglichst schwer unterbrechbar und leicht zu erlernen sein. Das Spiel Tetris zeigte sich als am besten als ablenkende Nebenaufgabe geeignet. Das Grundprinzip des Spiels ist es, vom oberen Bildschirmrand herabfallende Spielsteine

mit unterschiedlichen geometrischen Formen durch Verschieben und Drehen auf eine möglichst platzsparende Weise zu stapeln und so lückenlose Reihen am unteren Rand des Bildschirms zu bilden. Das Drehen und Verschieben der Spielsteine erfolgte in dieser Version des Spiels über das Tippen und Wischen auf dem Touchscreen des Tablet-PCs. Vollständige Reihen werden aufgelöst und mit Punkten belohnt. Unvollständige Reihen bleiben erhalten. Auf jeden gestapelten Spielstein folgt unmittelbar der nächste Spielstein, wodurch sich das Spielfeld zunehmend füllt und die Schwierigkeit im Verlauf des Spiels ansteigt. Abbildung 2 zeigt die Spieloberfläche auf dem Tablet-Computer eines typischen Spielfelds im Verlauf des Spiels.

### Versuchsablauf

Zu Beginn wurden die Probanden über den geplanten Versuch und den Umgang mit dem Fahr Simulator informiert. Im Anschluss wurden die Probanden über die Ziele der Studie informiert und hinsichtlich ihres Verhaltens instruiert. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf dem Einhalten der Straßenverkehrsordnung, dem Beachten der Geschwindigkeitsbegrenzungen auf der Strecke und dem Absichern der Umgebung. Den Probanden wurde in den Instruktionen außerdem die Funktionsweise des automatisierten Assistenzsystems beschrieben. Es wurde deutlich gemacht, dass das System die Steuerung über das Fahrzeug vollständig übernehmen kann, es aber Fahrsituationen gibt, die vom Fahrzeug nicht alleine bewältigt werden können. Entsprechend der Definition der Fähigkeiten der Automation wurde kommuniziert, dass solche Situationen von dem Fahrzeug zu 100 Prozent richtig erkannt werden und dass das Fahrzeug die Fahrer entsprechend mit einem Zeitpuffer vor dem Eintreten der Situation informiert. Die Fahrer wurden auch darüber informiert, dass das System immer so lange aktiv bleibt, bis der Fahrer das System aktiv abschaltet.

## Definition der gemessenen objektiven Parameter

Zusätzlich wurden die Bedienung des Systems (Ein- und Ausschalten) sowie die möglichen Statusanzeigen des Systems erläutert. Zum Einschalten der Automation wurde ein Hebel hinter dem Lenkrad verwendet, dessen Bedienung analog zu aktuellen Tempomat- und ACC-Systemen funktionierte. Es wurde erklärt, dass die automatische Steuerung des Fahrzeugs beendet wird, sobald die Fahrer entweder diesen Hebel hinter dem Lenkrad erneut betätigen oder sie das Bremspedal treten. Alle diese Informationen wurden als Vorbereitung auf eine erste Trainingsfahrt mit der Automation gegeben.

Nach Abschluss der Trainingsfahrt wurden den Probanden Instruktionen entsprechend ihrer Versuchsgruppe gegeben und die jeweilige Nebenaufgabe wurde erklärt und eingeübt. Die Instruktionen definierten die drei automatisierten Versuchsgruppen: Überwacht, Lesen und Spiel. Alle automatisierten Gruppen sollten die Steuerung nur dann übernehmen, wenn von dem Fahrzeug eine Übernahmeaufforderung ausgegeben wurde. Die Gruppe „Manuell“ hatte keine automatisierte Fahrfunktion zur Verfügung. Den Probanden in dieser Versuchsgruppe wurde ein fiktives Assistenzsystem erklärt, das schwierige Situationen erkennt und entsprechend vor diesen Situationen warnt. Diese Warnung entsprach in allen Situationen dem Zeitpunkt der Übernahmeaufforderung in den automatisierten Gruppen.

### Definition der gemessenen objektiven Parameter

Die Definition der zu messenden Parameter ist unbedingt notwendig, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen und um zu verstehen, wie die Ergebnisse entstanden sind. Als objektive Parameter werden in dieser Studie alle diejenigen Messwerte verstanden, die anhand von Zeiten, Fahrdaten, Simulatordaten, Blickdaten und Videodaten erhoben wurden. Besonders wichtig sind die Defi-

nitionen, wenn Reaktionszeiten berichtet werden sollen, da schon ein minimal abweichendes Verständnis von Messzeitpunkten für diese Reaktionen zu Abweichungen in der Interpretation der Ergebnisse führen können.

#### Messzeitpunkte und Reaktionszeiten

Für die Definition der Messzeitpunkte zur Erhebung von Reaktionszeiten wurde auf die vorhandene Literatur zurückgegriffen. Der Messzeitpunkt für den Start der Messung ist hierbei in fast allen Studien gleich und geht von dem Moment der Präsentation der Übernahmeaufforderung aus. Für das Ende der Messung und somit den für die Definition der Reaktionszeit entscheidenden Zeitpunkt, lassen sich eine Reihe von Kriterien identifizieren die als Hinweis auf eine Übernahme der Kontrolle bzw. als Hinweis auf eine Reaktionsbereitschaft gewertet werden. Petermann-Stock et al. (2015) definieren vier Klassen von Reaktionen während der Übernahme. Diese Klassen sollen hier verwendet werden, um die in den bisherigen Studien operationalisierten Messzeitpunkte zu ordnen: Orientierungsreaktion, Handlungsbereitschaft, Handlungsdurchführung und Fahrzeugstabilisierung.

Die häufigsten Operationalisierungen für die Orientierungsreaktion sind das Aufblicken von der bearbeiteten Nebenaufgabe nach einer automatisierten Fahrt (z.B. Petermann-Stock et al., 2015) sowie die Blickzuwendung zur Straße (z.B. Damböck, 2013; Gold et al., 2013a). Für die vorliegende Studie wurde für die Definition der Reaktionszeit „Blick auf die Straße“ der Zeitraum zwischen der Präsentation der Übernahmeaufforderung und dem ersten Blick auf die Fahrspurmitte definiert. Die Blickbewegungen in der Studie wurden mithilfe des Blickbewegungssystems „Dikablis“ (Lange, 2005) erhoben, das eine Trackingfrequenz von 50 Hz bereitstellt.

Für die Reaktion „Handlungsbereitschaft“ wurden am häufigsten Reaktionen an den Bedienelementen definiert, die entweder berührt oder umfasst werden mussten, um als handlungsbereit klassifiziert zu werden (z.B. erster Kontakt mit dem Lenkrad (Petermann-Stock et al.,

### Definition der gemessenen objektiven Parameter

2015; Zeeb et al., 2015); Hände am Lenkrad (Damböck, 2013; Lorenz et al., 2014; Naujoks et al., 2014)). Entsprechend dieser Definitionen von Handlungsbereitschaft wurde für die vorliegende Studie davon ausgegangen, dass Fahrer motorisch die Möglichkeit hatten, in die Situation einzugreifen bzw. die Steuerung zu übernehmen, sobald Sie mit mindestens einer Hand das Lenkrad umfassen. Als zusätzlicher Messwert für die Handlungsbereitschaft wurde für diese Studie der Zeitpunkt definiert, an dem der Fuß des Fahrers das Gas- oder Bremspedal berührt. Sowohl die Hand- als auch die Fußbewegungen wurden mithilfe von Kameras (25 Bilder pro Sekunde) erhoben.

Größere Unterschiede als bei der Handlungsbereitschaft zeigten sich in den vorhandenen Studien bei der Definition des Messzeitpunktes für die Handlungsdurchführung. Für diese Studie wurden entsprechend Kriterien für eine erste Handlung nach einer Übernahmeaufforderung festgelegt. Der Zeitpunkt des Abschaltens der Automation wurde definiert als Betätigung des Hebels, mit dem die Automation abgeschaltet wurde, oder als erste Reaktion am Bremspedal (Bremspedalstellung  $> 0$ ). Weiterhin wurde eine Bremsreaktion definiert als Betätigen des Bremspedals von mehr als 10 Prozent, um diese Reaktion von dem bloßen „Antippen“ des Bremspedals zum Abschalten der Automation nach einer Übernahmeaufforderung zu unterscheiden. Für die Blickreaktionen wurden in dieser Klasse der Reaktionen außerdem die Zeitpunkte festgelegt, in denen die Fahrer das erste Mal in den Seitenspiegel oder auf den Tacho sahen. Diese Werte wurden analog zu dem Blick auf die Straße mithilfe des Blickbewegungssystems erhoben. Um wie Lorenz et al. (2014) Hinweise auf das Verhalten der Fahrer nach einer Übernahmeaufforderung zu erhalten, wurden die Arten der Reaktionen auf die Übernahmeaufforderung klassifiziert als „keine Reaktion“, „Bremsen“, „Lenken und Bremsen“, „Ausschalten der Automation mit dem Hebel“ und „nur Lenken“.

### Fahrdaten

Auch für die Fahrzeugstabilisierung wurde in bereits veröffentlichten Studien eine Reihe von verschiedenen Maßen verwendet, die im folgenden Abschnitt beschrieben werden. Für die Beschreibung der Stabilisierung des Fahrzeugs nach einer Übernahmeaufforderung werden häufig verschiedenste Fahrdaten verwendet, die Hinweise auf das Verhalten der Fahrer während und nach einer Übernahme liefern können.

Für die vorliegende Studie wurden sowohl mittlere Werte als auch absolute Kriterien definiert, anhand derer die Qualität der Übernahme nach einer Übernahmeaufforderung sowie nach dem Event in den jeweiligen Szenarien bewertet werden sollte. Bezogen auf durchschnittliche Werte über einen Zeitraum wurden die gewählten Geschwindigkeiten während und nach der Übernahme-situation, die Intensität der Bremsreaktion, der Abstand zum Vorderfahrzeug sowie maximale Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung erhoben. Als absolute Kriterien zur Beurteilung einer Übernahme wurden Kollisionen mit dem umgebenden Verkehr analysiert und kritische Ereignisse definiert. Als kritische Ereignisse wurden starke Bremsungen als Kombination aus einem hohen maximalen Bremsdruck und einer hohen maximalen Verzögerung des Fahrzeugs, das Stoppen des Fahrzeugs innerhalb eines Szenarios (Geschwindigkeit  $< 10$  km/h), sowie die Eingriffe der Automation in die Steuerung (Einleiten des risikominimalen Zustands) gezählt.

## Versuchspersonen

Die Fahrsimulatorstudie wurde im August 2015 mit 60 Versuchspersonen im Alter von 20 bis 76 Jahren durchgeführt. 22 Personen der Stichprobe waren weiblich, 38 Personen männlich. Die Teilnehmer der Studie waren im Durchschnitt seit 18 Jahren im Besitz eines Führerscheins. Die Hälfte der Teilnehmer gab eine Fahrleistung von weniger als 9000 Kilometer im Jahr an, die andere Hälfte der Teilnehmer gab eine höhere jährliche Fahrleistung an. Erfahrungen im Umgang mit Assistenzsystemen der Längsführung (Tempomat, ACC, Notbremsassistent) gaben 26 Teilnehmer an, 17 Personen hatten außerdem bereits Erfahrungen im Umgang mit Assistenten der Querverführung gesammelt (Spurhalteassistent, Spurverlassenswarner, Spurwechselassistent, Totwinkelassistent). 38 Personen aus der Stichprobe hatten bereits einmal (5 Personen) oder mehr als einmal (33 Personen) eine Fahrt in einem Fahrsimulator absolviert.

## Ergebnisse: Reaktionsverläufe

Die folgenden Grafiken stellen die Reaktionen der einzelnen Versuchspersonen auf eine Übernahmeaufforderung (Take-Over-Request; TOR) dar. Die x-Achse repräsentiert die Zeit, die nach einer Übernahmeaufforderung vergangen ist. Die y-Achse zeigt den prozentualen Anteil der Testfahrer, die in dieser Gruppe die dargestellten Reaktionen bis zu dem jeweiligen Zeitpunkt bereits gezeigt hatten. Die Abbildung 4 kann also beispielsweise so gelesen werden: Ca. 2,5 Sekunden nach der Übernahmeaufforderung hatten ca. 90 Prozent der Testfahrer in der Gruppe „Überwacht“ die Hände wieder am Lenkrad. Einige weitere deskriptive statistische Maße können aus den Darstellungen abgeleitet werden. Die Steilheit der sich ergebenden Verläufe repräsentiert die Streuung der Reaktionen über die Zeit. Ein sehr steiler Verlauf bedeutet somit eine geringe Streuung, während ein flacher Verlauf auf eine starke Streuung hindeutet. Plateaus in den Verläufen können ein Hinweis auf eine Aufteilung der Stichprobe in verschiedene Verhaltens-Gruppen sein.

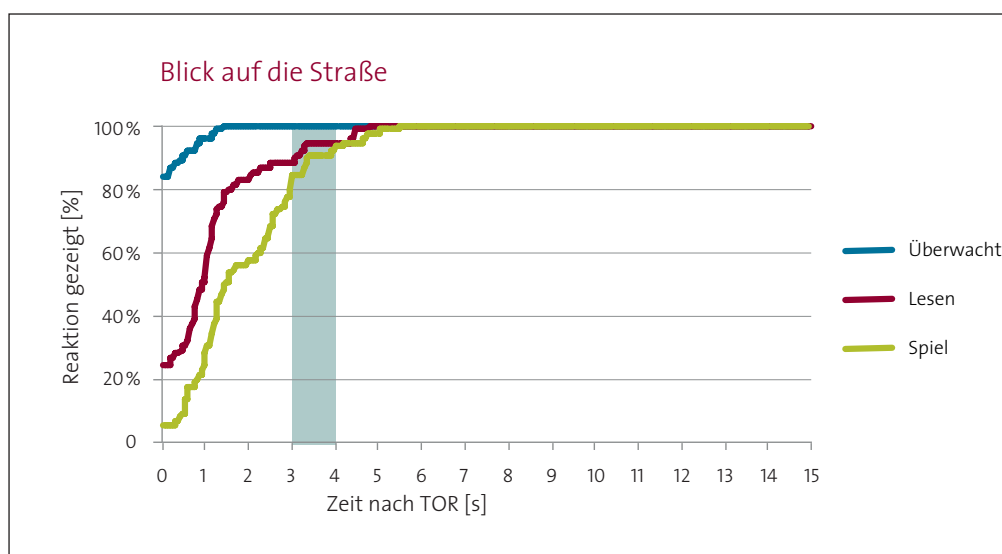


Abbildung 3:  
Reaktionsverläufe der Versuchspersonen für den ersten Blick auf die Straße.

## Ergebnisse: Reaktionsverläufe

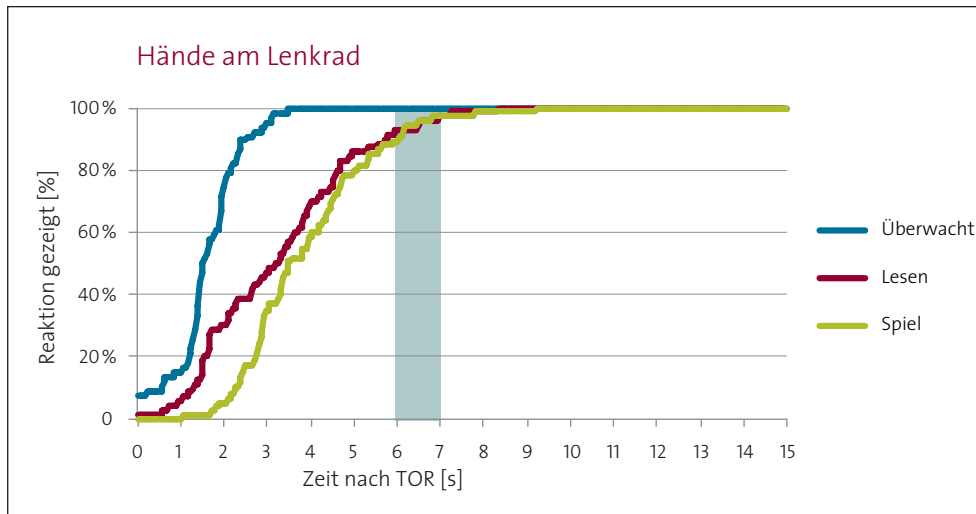


Abbildung 4:  
Reaktionsverläufe der  
Versuchspersonen für  
„Hände am Lenkrad“.

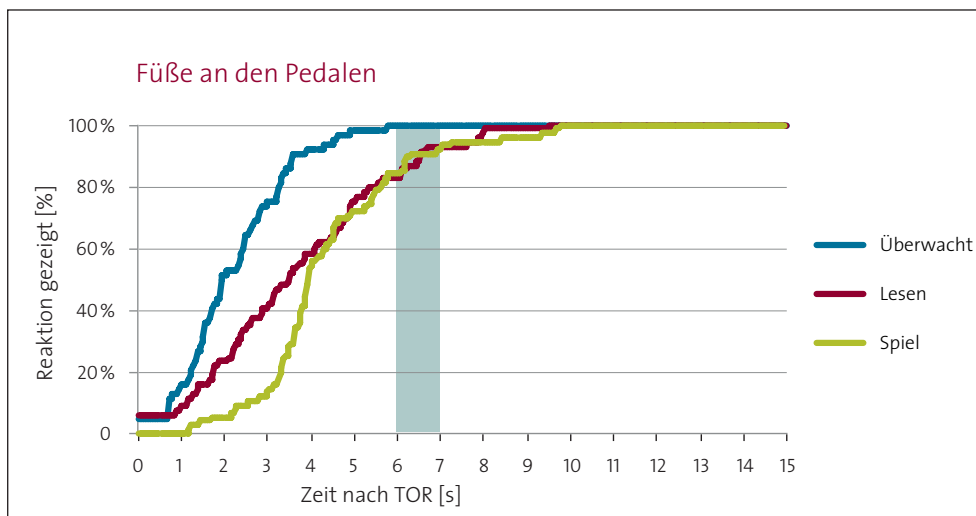


Abbildung 5:  
Reaktionsverläufe der  
Versuchspersonen für  
„Füße an den Pedalen“.

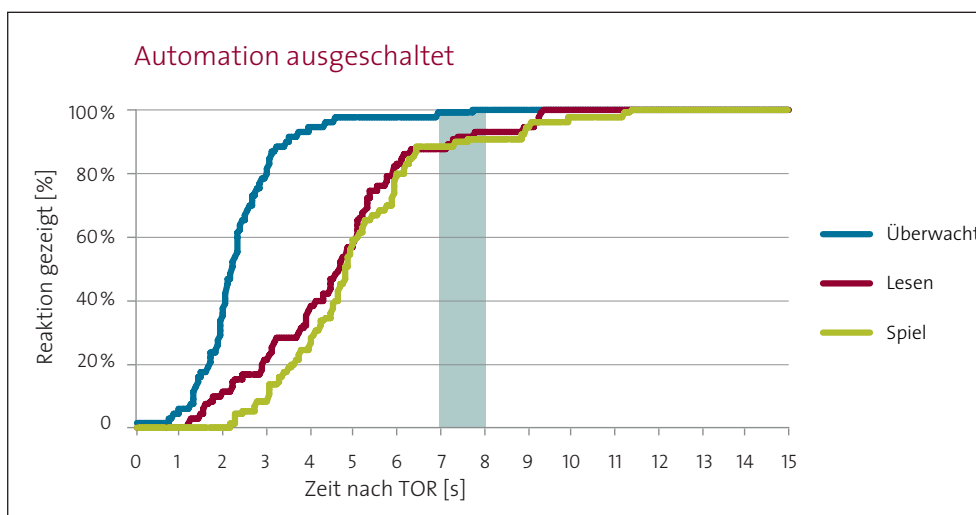


Abbildung 6:  
Reaktionsverläufe der  
Versuchspersonen für  
das Ausschalten der  
Automation.

## Ergebnisse: Reaktionsverläufe

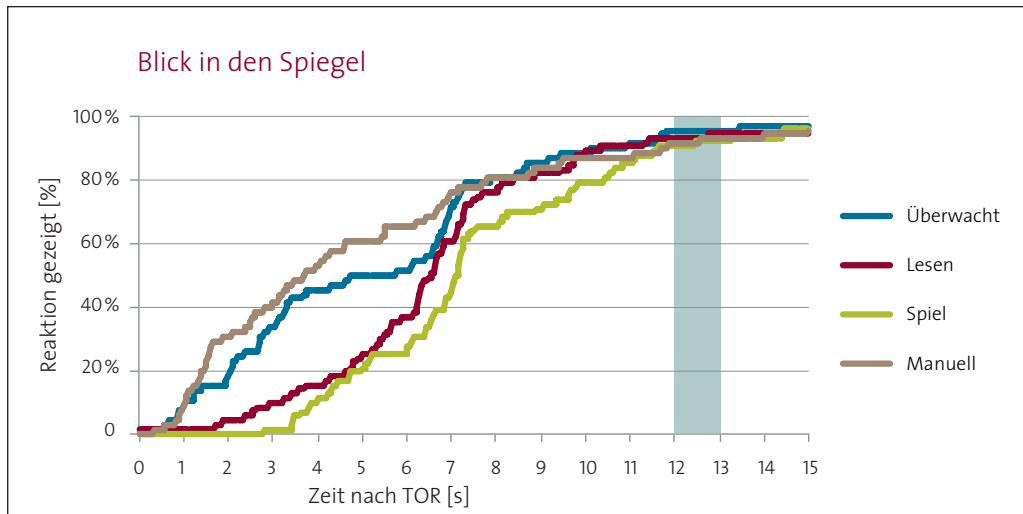


Abbildung 7:  
Reaktionsverläufe der  
Versuchspersonen für  
den ersten Blick in  
den Spiegel.

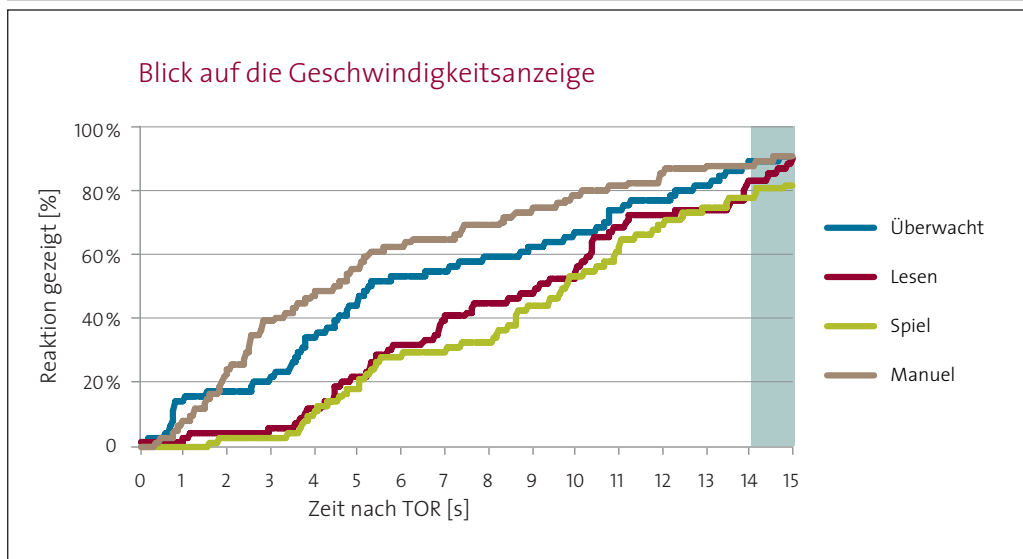


Abbildung 8:  
Reaktionsverläufe der  
Versuchspersonen für  
den ersten Blick auf  
die Geschwindigkeits-  
anzeige.

In einigen Diagrammen sind Zeitspannen grafisch hervorgehoben. Sie zeigen die notwendigen Zeiten, in denen 90% der durch eine stark beanspruchende, motivierende und herausfordernde Nebenaufgabe („Spiel“) abgelenkte Fahrer die jeweilige Reaktion gezeigt haben.

## Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

---

### Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

Es zeigte sich, dass 90 Prozent der Fahrer nach einer Fahrt mit hoher Ablenkung nach 3-4 Sekunden das erste Mal den Blick wieder auf die Straße gerichtet hatten, nach 6-7 Sekunden die Hände wieder am Lenkrad und die Füße wieder an den Pedalen hatten und nach 7-8 Sekunden die Automation abschalteten (siehe Abbildungen 3-6). Untersucht man allerdings als Indikatoren des Situationsbewusstseins für die Fahrsituation den ersten Blick in den Spiegel und den Blick auf die Geschwindigkeitsanzeige, werden 12-15 Sekunden benötigt (siehe Abbildungen 7 und 8). Diese Reaktionen, die zum Verständnis der aktuellen Verkehrssituation notwendig sind, sind damit um bis zu 5 Sekunden verzögert im Vergleich zu der gleichen Situation bei einer manuellen Fahrt. Ein Teil dieses Zeitraums könnte eingespart werden, wenn Fahrer in einer Übernahmesituation kein externes Gerät (z.B. Smartphone, Tablet) aus den Händen legen müssten.

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Fahrern waren bei all diesen Reaktionen sehr hoch. Einige Fahrer zeigten deutlich schnellere Reaktionen. Allerdings gab es auch einzelne Fahrer, die für ihre Reaktionen mehr als die oben genannten Zeiten benötigten. Bei einzelnen Fahrern traten nach der Übernahme Kollisionen oder kritische Fahrsituationen auf, was allerdings auch in der rein manuellen Fahrt in ähnlichem Umfang der Fall war. Diese Situationen hätten durch entsprechende Assistenzfunktionen (z.B. Notbremsassistent) verhindert werden können. Deshalb sollten auch nach der Übergabe an den Fahrer Assistenzfunktionen vorhanden sein, die den Fahrer unterstützen und Fehlreaktionen verhindern.

Die Bremsreaktionen auf ein kritisches Ereignis unmittelbar nach der Übernahmeaufforderung waren im Vergleich zu der manuell fahrenden Versuchsgruppe in den Automations-Gruppen nicht verzögert. Auch waren die gefahrenen Abstände zu den Vorderfahrzeugen in den

Automations-Gruppen nicht geringer als in der manuellen Gruppe. Die etwas geringeren Geschwindigkeiten nach der Übernahmeaufforderung bei stark abgelenkten Personen weisen auf ein eher vorsichtiges Fahrverhalten nach der Übernahme hin.

Die Art der Übernahmesituation selbst scheint auf die Reaktionen nur einen geringen Einfluss zu haben. Dagegen führte ein stärkeres positives Engagement in der Nebenaufgabe mit einer schlechteren Unterbrechbarkeit zu leichten Verzögerungen vor allem bei den ersten Schritten der Übernahme.

Die verwendete Automation war in der Lage, auch nach der Ausgabe der Übernahmeaufforderung das Fahrzeug so lange sicher zu steuern, bis der Fahrer das Fahrzeug übernommen hatte. Hierzu gehörte das korrekte Halten der Spur, die korrekte Wahl der Geschwindigkeit, das Einhalten eines Mindestabstands zu vorausfahrenden Fahrzeugen und wenn nötig, auch ein Anhalten vor einem Hindernis. Hatte der Fahrer nach 10 Sekunden nicht übernommen, dann hielt die Automation das Fahrzeug an („risikominimaler Zustand“). Dass dies in einigen Fällen notwendig war, zeigt, dass 10 Sekunden für einige Fahrer für eine sichere Übernahme nicht ausreichen und ist ein weiterer Hinweis auf die Notwendigkeit von unterstützenden Assistenzsystemen auch nach der Übernahmeaufforderung.

Beim Vergleich der Reaktionsverläufe von überwachenden und maximal abgelenkten Fahrern werden allgemein Verzögerungen aller Reaktionen im Vergleich zu manuellen Fahrern deutlich. Am deutlichsten tritt dies bei abgelenkten Fahrern auf. Aber bereits beim überwachenden Fahrer treten hier Verzögerungen der Reaktionen im Vergleich zum manuellen Fahrer auf. Überträgt man diese Erkenntnis zum Verhalten des überwachenden Fahrers auf das teilautomatisierte Fahren, so erkennt man bereits nach einer fünfminütigen automatisierten Fahrt die Notwendigkeit der Berücksichtigung der Erkenntnisse bei der Gestaltung teilautomatisierter Fahrfunktionen.



## Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

.....  
Voraussetzungen für eine sichere Übernahme  
.....

Die folgenden Punkte fassen die Voraussetzungen für eine sichere Übernahme der manuellen Steuerung nach einer hochautomatisierten Fahrt zusammen:

- Der Fahrer wird so früh wie möglich und so eindeutig wie möglich von der Notwendigkeit zur Übernahme der Steuerung in Kenntnis gesetzt.
- Sollen mindestens 90 Prozent der Fahrer richtig reagieren können, muss die Übergabezeit mehr als acht Sekunden betragen. In dieser Zeit legt ein Fahrzeug bei einer Fahrgeschwindigkeit von 120 km/h etwa 267 Meter zurück.
- Die Automation muss während des Übernahmeprozesses so lange aktiv bleiben, bis der Fahrer eindeutig die Bereitschaft zur Übernahme der Steuerung signalisiert hat.
- Bleibt die Übernahme aus, muss die Automation in der Lage sein, einen risikominimalen Zustand herbeizuführen, der für die vorliegende Situation angemessen ist.
- Das Fahrzeug erkennt 100 Prozent aller Situationen, die zu einer Übergabe der Steuerung an den Fahrer führen, ausreichend früh, um die Übernahmezeit zu gewährleisten.

.....  
Weitere Empfehlungen für eine sichere Übernahme  
.....

Eine sichere und komfortable Übernahme der manuellen Steuerung nach einer hochautomatisierten Fahrt durch den Fahrer könnte durch bestimmte Maßnahmen erleichtert werden:

- Die Automation sollte umfassend, aber sparsam, über die vorliegende Situation informieren, um den Aufbau eines Situationsbewusstseins nach einer automatisierten Fahrt zu vereinfachen.

- Eine erhöhte Assistenzbereitschaft des Fahrzeugs nach der Übernahme der Steuerung durch den Fahrer könnte dazu beitragen, unangebrachte Reaktionen durch den Fahrer zu vermeiden (z.B. Verhindern von unnötigen Vollbremsungen oder Ausweichmanövern).
- Eine Warnkaskade unter Verwendung verschiedener Warnmodalitäten kann dem Fahrer die Dringlichkeit der Situation vermitteln und die Wahrnehmbarkeit der Warnung gewährleisten.
- Fahrer könnten gezielt für die Fähigkeiten und Grenzen einer automatisierten Fahrfunktion geschult werden, so dass angemessene Reaktionen im Falle einer Übernahme sichergestellt sind und ein zu frühes Ausschalten der Automation verhindert wird.

## Literatur

## Literatur

- Aeberhard, M., Rauch, S., Bahram, M., Tanzmeister, G., Thomas, J., Pilat, Y., ... & Kaempchen, N. (2015). Experience, Results and Lessons Learned from Automated Driving on Germany's Highways. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, 7(1), 42-57.
- Damböck, D. (2013). *Automationseffekte im Fahrzeug – von der Reaktion zur Übernahme* (Doctoral dissertation, München, Technische Universität München, Diss., 2013.)
- 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).
- Gold, C., Damböck, D., Lorenz, L., & Bengler, K. (2013). "Take over!" How long does it take to get the driver back into the loop?. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 57, No. 1, pp. 1938-1942). SAGE Publications.
- Hillel, A. B., Lerner, R., Levi, D., & Raz, G. (2014). Recent progress in road and lane detection: a survey. *Machine Vision and Applications*, 25(3), 727-745.
- Krueger, H. P., Grein, M., Kaussner, A., & Mark, C. (2005). SILAB - A task-oriented driving simulation. In *Proceedings of the driving simulator conference (DSC)*. Orlando (pp. 232-331).
- Lange, C. (2005). The development and usage of Dikablis (Digital wireless gaze tracking system). *Abstracts of the 13th European Conference on Eye Movements ECEM13*, Bern (2005), p. 50
- Lorenz, L., Kerschbaum, P., & Schumann, J. (2014). Designing take over scenarios for automated driving How does augmented reality support the driver to get back into the loop?. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* (Vol. 58, No. 1, pp. 1681-1685). SAGE Publications.
- Maurer, M., Gerdes, J. C., Lenz, B., & Winner, H. (Eds.). (2015). *Autonomes Fahren: Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. Springer-Verlag.
- Meyer, G., & Beiker, S. [Hrsg.] (2014). *Road Vehicle Automation*. Springer.
- Naujoks, F., Mai, C., & Neukum, A. (2014). The Effect of Urgency of Take-Over Requests During Highly Automated Driving Under Distraction Conditions. *Advances in Human Aspects of Transportation: Part I*, 7, 431.
- Petermann-Stock, I., Hackenberg, L., Muhr, T., Josten, J., & Eckstein, L. (2015). „Bitte übernehmen Sie das Fahren!": ein multimodaler Vergleich von Übernahmestrategien. *Beiträge zum 16. Braunschweiger Symposium für Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET) Februar 2015* (pp. 346-369). Braunschweig: IST Niedersachsen e.V.
- Skitka, L. J., Mosier, K., & Burdick, M. D. (2000). Accountability and automation bias. *International Journal of Human-Computer Studies*, 52(4), 701-717.
- Strand, N., Nilsson, J., Karlsson, I. M., & Nilsson, L. (2014). Semi-automated versus highly automated driving in critical situations caused by automation failures. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 27, 218-228.
- Zeeb, K., Buchner, A., & Schrauf, M. (2015). What determines the take-over time? An integrated model approach of driver take-over after automated driving. *Accident Analysis & Prevention*, 78, 212-221.
- Ziegler, J., Bender, P., Schreiber, M., Lategahn, H., Strauss, T., Stiller, C., ... & Zeeb, E. (2014). Making Bertha Drive? An Autonomous Journey on a Historic Route. *Intelligent Transportation Systems Magazine, IEEE*, 6(2), 8-20.



Gesamtverband der Deutschen  
Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43/43 G, 10117 Berlin  
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Telefon 030 . 20 20 - 58 21  
Fax 030 . 20 20 - 66 33

[unfallforschung@gdv.de](mailto:unfallforschung@gdv.de)  
[www.udv.de](http://www.udv.de)  
[www.gdv.de](http://www.gdv.de)

Facebook: [facebook.com/unfallforschung](https://facebook.com/unfallforschung)  
Twitter: [@unfallforschung](https://twitter.com/unfallforschung)  
YouTube: [youtube.com/unfallforschung](https://youtube.com/unfallforschung)

Redaktion:  
Matthias Kühn

Bearbeitet durch:  
Lehrstuhl für Ingenieur- und Verkehrspsychologie  
Institut für Psychologie , TU Braunschweig  
M. Sc. Tobias Vogelpohl  
Prof. Dr. Mark Vollrath

Gestaltung:  
pensiero KG, [www.pensiero.eu](http://www.pensiero.eu)

Bildquellen:  
Abbildung 1: Matthias Powelleit

Erschienen: 06/2016



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin  
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Tel.: 030/20 20 - 50 00, Fax: 030/20 20 - 60 00  
[www.gdv.de](http://www.gdv.de), [www.udv.de](http://www.udv.de)