Beeinflussung der Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren durch fahrfremde Tätigkeiten und Spurwechseldynamik.

Michael Festner*, Alexandra Eicher* und D. Schramm†

Zusammenfassung: Der empfundene Fahrstil übt einen entscheidenden Einfluss auf die Kundenwertigkeit und -akzeptanz hochautomatisierter Fahrfunktionen aus, wodurch diese gezielt gesteigert werden können. Mit Hilfe einer Realfahrzeugstudie auf einem Versuchsgelände wurde der Einfluss der Spurwechseldynamik und des Ablenkungsgrades durch fahrfremde Tätigkeiten auf die Komfort- und Sicherheitswahrnehmung analysiert. Hierbei konnte ein verringertes Toleranzniveau gegenüber Querdynamik bei erhöhter Ablenkung festgestellt werden. Aus den Ergebnissen wird die Notwendigkeit einer manuellen Adaptionsfähigkeit der Längs- und Querdynamik hochautomatisierter Fahrfunktionen aufgrund des breit gefächerten Wahrnehmungsspektrums und der individuellen Dynamiksensibilität der Nutzer deutlich.

Schlüsselwörter: Automatisiertes Fahren, Fahrstil, Komfort, Spurwechsel, subjektive Sicherheit

1 Der Fahrstil automatisierter Fahrfunktionen

Inzwischen stellt sich nicht mehr die Frage, ob hochautomatisierte Fahrzeuge auf die Straße kommen, sondern vielmehr, wann es soweit sein wird [1]. Aufgrund der dem Nutzer fehlenden, direkten Beeinflussungsmöglichkeit der Fahrstrategie und Trajektorienwahl ist der applizierte Fahrstil automatisierter Funktionen von großer Bedeutung für das subjektive Komfortempfinden. Bisher ist allerdings wenig über die Wechselwirkung zwischen fahrfremden Tätigkeiten (FFT) und dem Fahrstil auf die Komfortwahrnehmung während einer hochautomatisierten Fahrt bekannt.

Nach der Diskussion der Relevanz des Fahrstils werden die Grundlagen der Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren erläutert. Anschließend wird auf die den Fahrstil charakterisierenden Größen eingegangen.

1.1 Die Relevanz des Fahrstils

Die hohe Bedeutung des Fahrstils, mit der ein PKW bewegt wird, ist jedermann bewusst, der bereits auf dem Beifahrersitz oder im Fond Platz genommen hat. Neben der subjektiv

* Michael Festner, Doktorand; Alexandra Eicher, Masterandin; beide BMW Group, Knorrstr. 147, 80788 München (e-mail: Michael.Festner@bmw.de und Alexandra.Eicher@bmw.de).

† Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Dieter Schramm, Lehrstuhlinhaber; Lehrstuhl für Mechatronik der Universität Duisburg-Essen, Lotharstr. 1, 47057 Duisburg (e-mail: Dieter.Schramm@uni-due.de).

wahrgenommenen Sicherheit wird auch der Komfort maßgeblich durch die vom Fahrer gewählte Manöverdynamik beeinflusst. Durch eine vorausschauende und ausgeglichene Fahrweise mit geringen Längs- und Querrucken[1] sowie begrenzte Beschleunigungswerte ist ein angenehmes Fahrerlebnis für die Insassen erreichbar. Aufgrund der komplexen Wechselwirkungen der wahrgenommenen Einflussparameter ist eine allgemeingültige Angabe von Richt- bzw. Grenzwerten allerdings nicht ohne weiteres möglich. Vielmehr ist die Ermittlung von situationsgerechten und dem Beanspruchungsniveau des Fahrers angemessenen Werten notwendig. Da aktuell allerdings geeignete Bewertungs- und Testmethoden für komplexe Assistenzsysteme fehlen, wird die notwendige Applikationsarbeit erschwert und damit die erreichbare Funktionsqualität bei Markteinführung beeinträchtigt. Zur Steigerung der Akzeptanz muss die hedonistische Qualität von automatisierten Fahrfunktionen unter anderem durch Möglichkeiten der Individualisierung verbessert werden [2]. Eine vorausschauende auf den Fahrerzustand optimierte Dynamikausprägung in Längs- und Querrichtung, die auch manuell auf subjektive Befindlichkeiten adaptiert werden kann, ist als wettbewerbsdifferenzierendes Merkmal (hoch-)automatisierter Fahrfunktionen anzusehen.

Bei manuell bewegten Fahrzeugen besteht für die nicht am Steuer sitzenden Insassen durch verbale Kommunikation mit dem Fahrer wenigstens die Möglichkeit, auf die Fahrweise einzuwirken. Beim Übergang zum hochautomatisierten Fahren („HAF“) fällt für den Fahrer sowie für die restlichen Passagiere die direkte bzw. indirekte Möglichkeit der Einflussnahme auf die Fahrweise jedoch vollständig weg. Elbanhawi bezeichnet diesen Paradigmenwechsel von der Rolle des Menschen als Fahrer hin zum Passagier als „loss of controllability“, was eine Überprüfung der aktuellen Komfortmaßstäbe verlangt [3].

Der zeitweise Verantwortungsübergang vom Fahrer zum Fahrzeug bei der Realisierung eines Automatisierungslevels 3 und höher nach BASt-Definition [4], bedingt eine Relevanzverschiebung der Auslegungskriterien neuer Funktionen [5]. Der Fokus verschiebt sich dabei jenseits des klassischen Innenraumkomforts hin zu anderen Einflussfaktoren wie die Fahrzeugführung, Motion Sickness[2] und das Halten eines sicheren Abstands [3]. Durch eine wachsende Automatisierung verschiebt sich die Ausprägung der Kundenwünsche stark in Richtung Komfort, da der Fahrer zunehmend weniger Feedback vom Straßenverlauf benötigt [6]. Der verbreitetste Ansatz zur Steigerung des Wohlbefindens während der Fahrt ist die Optimierung der Fahrzeugbewegung hinsichtlich der auf den Fahrer wirkenden Kräfte und Rucke [3].

1.2 Komfort- und subjektive Sicherheitswahrnehmung beim HAF

In der Literatur sind verschiedene Auffassungen und damit einhergehend divergente Definitionen des Begriffs Komfort zu finden [7], der für automatisierten Fahrfunktionen neu ausgelegt werden muss. Neben dem Komfortempfinden und der Verkehrssicherheit spielen unter anderem auch das Vertrauen, die Usability und die Kontrollierbarkeit eine wichtige Rolle bei der Kaufentscheidung für oder gegen ein Fahrerassistenzsystem [8].

[1] Zweite Ableitung der Geschwindigkeit; erste Abteilung der Beschleunigung in Längs- bzw. Querrichtung

[2] Bewegungskrankheit, auch Reisekrankheit, fachsprachlich als „Kinetose“ bezeichnet

Zusätzlich ist es unabdingbar, dem durch Automation induzierten, verstärkten Auftreten von Motion Sickness aufgrund des visuell-vestibulären Sensorkonfliktes, durch geeignete Bewegungsprofile entgegenzuwirken [9].
Zur Erreichung einer hohen Kundenzufriedenheit und -akzeptanz der neuen Technologie ist es erforderlich, die Zeit während der hochautomatisierten Fahrt möglichst angenehm nutzbar zu gestalten. Das bedeutet einerseits, die Fahrzeugbewegungen nicht zu dynamisch und damit unkomfortabel auszulegen. Andererseits darf die Durchschnittsgeschwindigkeit aber auch nicht unnötig stark reduziert und damit die Fahrzeit in störendem Maße verlängert werden. Diese Überlegung legt die Existenz einer Unter- und Obergrenze der akzeptierten Dynamikausprägung nahe. Diese hängen neben vielen externen Einflussfaktoren vermutlich auch von der persönlichen Erwartungshaltung und der Nachvollziehbarkeit der Systemeigenschaften ab.
Allerdings sind diese Zusammenhänge bei automatisierten Funktionen wissenschaftlich noch wenig erforscht. Durch die veränderte Fahrerrolle vom aktiv Fahrenden zum Passagier ergeben sich neue Fragestellungen zur Mensch-Technik-Interaktion, welche zur Absicherung der Akzeptanz und damit der Nutzung dieser Technologie berücksichtigt werden müssen. Höchster Forschungsbedarf besteht dabei für die beiden Aspekte Komfort und Spaß [10], wobei ersteres im Fokus der vorliegenden Arbeit steht. Auf die beiden wesentlichen Zielgrößen der Studie, Fahrkomfort und subjektive Sicherheitswahrnehmung, wirken sehr unterschiedliche Einflussfaktoren, die den drei Hauptkategorien Fahrer, Fahrzeug und Umfeld zugeordnet werden können [6].
In einer Studie zur Psychophysik der Längsdynamik stellt Müller fest, dass das längsdynamische Verhalten eines Fahrzeugs maßgeblich sowohl den Fahrspaß bei manueller Fahrt als auch das Komfort- und Sicherheitsempfinden bei teil- und hochautomatisierter Fahrzeugführung bestimmt [11]. Auch Freyer identifiziert die auftretende Querbeschleunigung als entscheidenden Optimierungsfaktor hinsichtlich Komfort und Sicherheit eines Spurwechsels [12].

1.3 Definition des Fahrstils und seiner charakteristischen Größen

Für eine Analyse des Fahrstils ist das Wissen über die zentralen physikalischen Größen, die verschiedene Ausprägungen charakterisieren, essentiell. Im Allgemeinen beschreibt das Konstrukt Fahrstil eine über einen längeren Zeitraum angewöhnte Art und Weise des Fahrens, welche durch Geschwindigkeitspräferenzen, individuelle Rahmenbedingungen für Überholmanöver, einen bevorzugten Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug und den Grad der Einhaltung der Verkehrsregeln beschrieben werden kann [13]. Hartwich et al. identifizierten die Geschwindigkeit, Beschleunigung und Bremsintensität als die drei wichtigsten Einflussfaktoren auf das Fahrerlebnis [10] und damit die wahrgenommene Fahrweise.
Abendroth klassifiziert PKW-Fahrer neben Kenngrößen für Geschwindigkeit und Längsbeschleunigung auch anhand des Abstands zum Vorausfahrenden in „eher langsam und komfortbewusst“, „durchschnittlich mit hohem Sicherheitsbewusstsein“ und „schnell und sportlich“. Auch auf Basis von Verhaltensbeobachtungen können ähnliche Fahrertypen

klassifiziert werden: „unauffällige Durchschnittsfahrer“, „wenig routiniert-unentschlossene“, „sportlich ambitionierte“ und „risikofreudig-aggressive“ Fahrer [14], für die bisher allerdings noch keine Beschleunigungsgrenzen definiert wurden.
In vielen Studien wird der Fahrstil in die drei grundlegenden Kategorien „komfortorientiert“, „alltägliches Fahren“ (normal) und „dynamisch“ eingeteilt [15]. Für die vier in der Literatur definierten Hauptmanöver identifiziert Bellem die in Tabelle 1 aufgelisteten physikalischen Messgrößen.

Tabelle 1: Charakteristische Messgrößen zur Charakterisierung des Fahrstils [15].

Use-Case	Beschreibung (Ego-Fahrzeug)	Charakteristische Messgrößen
Verzögerung auf bewegtes Ziel	Verzögerung aus konst. Geschwindigkeit bei Annäherung an ein anderes Fahrzeug, das mit konstanter niedrigerer Geschwindigkeit fährt.	Längsbeschleunigung (m/s²) 2-4 Längsrucke (m/s³) Schnelligkeit längs (1/s) minimaler Abstand VF (s)
Beschleunigung von $v \neq 0$	Beschleunigung aus $v \neq 0$ bis zur Zielgeschwindigkeit ohne Vorderfahrzeug.	Längsbeschleunigung (m/s²) 2 Längsrucke (m/s³) Schnelligkeit längs (1/s)
Spurwechsel	Spurwechsel um Fahrzeug zu überholen oder zu Navigationszwecken.	Querbeschleunigung (m/s²) Querruck (m/s³) Schnelligkeit quer (1/s)
Konstante Folgefahrt	Folgefahrt bei konstanter Geschwindigkeit (Ego- + Vorderfahrzeug).	Abstand VF (s) Fahrspurabweichung (m)

Im Rahmen einer Studie zur Wunschdynamikausprägung von Spurwechselmanövern stellt Lange fest, dass der Komfort bei Vollautomation ohne Beobachtung des Verkehrs bedeutend wichtiger eingeschätzt wird als bei teilautomatisierter Fahrt mit visueller Rückmeldung. Die gewünschte vestibuläre Dynamikrückmeldung nimmt bei Vollautomation hingegen ab [16].
Als vorteilhafter Nebeneffekt einer ausgeglichenen, adynamischen Fahrweise ist darüber hinaus die Reduzierung des Unfallrisikos und des Energieverbrauchs zu nennen.

2 Spurwechselstudie im Realfahrzeug

Da eine realistische Wahrnehmung der Fahrzeugdynamik sowie eine adäquate Einschätzung des sicherheitskritischen Einflussfaktors Abstand für die Bewertung entscheidend ist, wurde als Erhebungsmethode eine Realfahrzeugstudie gewählt. Nach einer kurzen Erläuterung des Studiendesigns folgt eine Beschreibung der beiden unabhängigen Variablen bevor die Ergebnisse vorgestellt werden.

2.1 Studiendesign

Als typischer Use-Case mit relevanter Querdynamik auf Autobahnen wurde ein Spurwechsel mit 110 km/h gewählt, der durch das Auffahren auf ein langsam fahrendes

Vorderfahrzeug VF (80km/h) ausgelöst wird. Um die Auswirkung der Querdynamik isoliert betrachten zu können, wurde ein Manöver mit konstanter Geschwindigkeit, also ohne longitudinale Beschleunigung gewählt. Durch die Beurteilung der Spurwechseldynamik im Vergleich zu einer unmittelbar zuvor erlebten Referenzdynamik wird darüber hinaus eine bessere Vergleichbarkeit der erlebten Manöver ermöglicht. Dabei werden drei verschiedene Dynamikausprägungen D1/D2/D3 (siehe Abschnitt 2.2) mit 3 unterschiedlichen fahrfremden Tätigkeiten T1/T2/T3 kombiniert. Abbildung 1 zeigt schematisch den Ablauf der Studie.

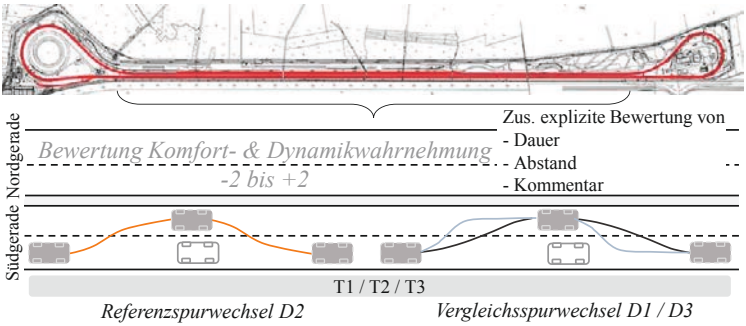


Abbildung 1: Studiendesign und Randomisierung.

Die drei gewählten (fahrfremden) Tätigkeiten **Verkehr beobachten** (T1), auf einem fahrzeugfest verbauten Tablet einen **Artikel lesen** (T2) und ein **Spiel spielen** (T3) repräsentieren verschiedene Ablenkungsgrade, die in Tabelle 2 spezifiziert werden. Diese können auch als Beanspruchungsniveaus interpretiert werden, weil bei der Durchführung von T2 und T3, anstelle der ansonsten im Vordergrund stehenden Fahraufgabe, einer neuen Hauptaufgabe nachgegangen werden kann. Da sich die Probanden während des Versuchs teilweise mit fahrfremden Tätigkeiten beschäftigen und den Verkehr dadurch nicht dauerhaft überwachen können, nehmen diese auf dem Beifahrersitz Platz. Im Sinne einer einheitlichen Verwendung der Begrifflichkeiten wird T1 im Folgenden als FFT bezeichnet.

Tabelle 2: Fahrfremde Tätigkeiten und Beanspruchungsmodalitäten.

Fahrfremde Tätigkeit (FFT)		Visuell	Kognitiv	Motorisch
T1	Verkehr beobachten	✔		
T2	Artikel lesen	✔	✔	
T3	Spielen auf Tablet	✔	✔	✔

Ablenkungs- / Beanspruchungsgrad

Im Anschluss an jede Spurwechselkombination auf der Südgeraden, werden auf dem Rückweg auf der Nordgeraden folgende Dimensionen des Vergleichspurwechsels im Bezug

zum Referenzspurwechsel D2 bewertet: (1) Fahrkomfort, (2) Querdynamik, (3) Gleichmäßigkeit des Verlaufs, (4) Manöverdauer sowie der (5) Abstand zum VF.
Die Größen werden auf einer Skala von -2 (unkomfortabler/-angenehmer als Referenz) über 0 (genauso komfortabel/angenehm) bis +2 (komfortabler/angenehmer als Referenz) beurteilt. Zusätzlich werden die Probanden gebeten einen Kommentar zum erlebten Spurwechsel abzugeben und diesen auf einer absoluten, subjektiven Komfortskala von -2 (absolut inakzeptabel) bis +2 (keine weiteren Verbesserungen notwendig) einzuordnen. Insgesamt nahmen 38 Probanden (M = 29,2; SD = 8,2) an der Studie teil, die die beiden zu bewertenden Vergleichsspurwechsel sowie die drei betrachteten fahrfremden Tätigkeiten in randomisierter Reihenfolge erlebten.

2.2 Ergebnisse der Bewertung der Spurwechseldynamik

Um eine eindeutige Unterscheidbarkeit der durch Applikationsparameter adaptierbaren Spurwechseldynamik zu gewährleisten, wurden die charakteristischen Größen aufgezeichnet und im Nachgang kategorisiert. In Tabelle 3 werden die Kenngrößen der drei Dynamikausprägungen (D2 Referenz- & D1, D3 Vergleichspurwechsel) gegenübergestellt. Aus den Durchschnittswerten wird die applizierte Differenz bei allen drei Größen ersichtlich. Bei der nachgelagerten Überprüfung der Dynamikstufen entsprachen wenige Spurwechsel nicht den definierten Kriterien, wodurch sich eine unterschiedliche Anzahl an verwertbaren Datensets pro Tätigkeit ergeben.

Tabelle 3: Kenngrößen der Spurwechsel-Dynamikausprägungen.

	Maximale Querbeschleunigung a_{quer_max} $[\frac{m}{s^2}]$			**Max. Lenkruck beim Aus- & Einlenken** $j_{quer_lenk_max}$ $[\frac{m}{s^3}]$			**Max. Ruck während Spurwechsel gesamt** j_{quer_max} $[\frac{m}{s^3}]$			
	$\lvert\bar{x}\rvert$	$\lvert Min\rvert$	$\lvert Max\rvert$	$\lvert\bar{x}\rvert$	$\lvert Min\rvert$	$\lvert Max\rvert$	$\lvert\bar{x}\rvert$	$\lvert Min\rvert$	$\lvert Max\rvert$	
D1	0,8	0,5	1,1	1,2	0,8	1,8	1,2	0,8	1,8	Spurwechseldynamik
D2	1,1	1	1,3	1,6	1,2	2	1,7	1,4	2,2	
D3	1,5	1,4	1,9	2,2	1,8	2,7	2,6	2,1	3,2	

Quantitative Auswertung

Zu Beginn ist der signifikante, gleichsinnige Zusammenhang zwischen Komfort- und Dynamikbewertung über alle Tätigkeits- und Dynamikkombinationen festzuhalten. Mit einer höheren Bewertung des Dynamikgefallens geht demnach auch eine höhere Komfortbeurteilung einher.
Um eine grundlegende Aussage zur Dynamikwahrnehmung der Spurwechsel treffen zu können, wird die allgemeinere Bewertungsvariable Komfort analysiert. Während der Ausführung aller drei Tätigkeiten wird die Dynamikausprägung D1 im Vergleich zu D3 hinsichtlich des Komforts stets signifikant besser bewertet:

- während T1 (Wilcoxon-Test für abhängige Stichproben): $t(28) = 3{,}06$, $p = .009$
- während T2 (t-Test für abhängige Stichproben): $z(32) = -2{,}97$, $p = .001$
- während T3 (t-Test für abhängige Stichproben): $z(22) = -3{,}11$, $p = .000$.

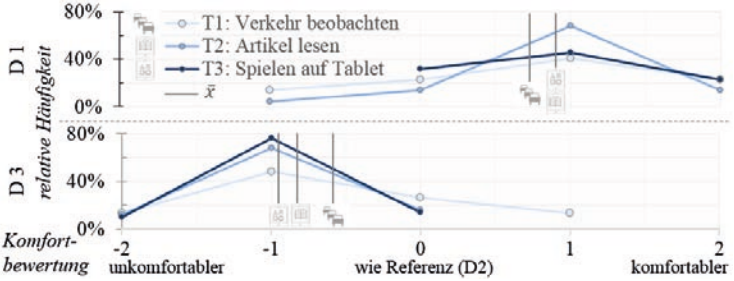
Damit lässt sich die Präferenz für eine geringere Dynamik eines Spurwechsels über alle drei Tätigkeiten hinweg, also für alle Ablenkungs- bzw. Beanspruchungsgrade, bestätigen. Aus den Ergebnissen in Tabelle 4 werden allerdings tieferliegende Differenzen zwischen den Dynamikausprägungen ersichtlich, welche zudem auf einen Einfluss der fahrfremden Tätigkeit auf die Komfortwahrnehmung schließen lässt. Da Dynamikausprägung D2 als Referenz für die beiden anderen Ausprägungen D1 und D3 genutzt wurde, ist diese nicht explizit bewertet worden.

Tabelle 4: Komfortbewertung aller Dynamikstufen und Ablenkungsgrade.

Komfortbewertung auf einer Skala von -2 bis +2	Dynamikausprägung D1				Dynamikausprägung D3			
	$\bar{x}$	σ	Min	Max	$\bar{x}$	σ	Min	Max
T1 Verkehr beobachten	**0,73**	0,98	-1	+2	**-0,61**	0,89	-2	+1
T2 Artikel lesen	**0,91**	0,68	-1	+2	**-0,84**	0,80	-2	+2
T3 Spielen auf Tablet	**0,91**	0,75	0	+2	**-0,95**	0,50	-2	0

Während sich die Komfortbewertungen bei D3 von Tätigkeit T1 mit nur visueller Ablenkung hin zu T3 mit zusätzlicher kognitiver und motorischer Ablenkung im Durchschnitt verschlechtern, steigen diese bei D1 an. Dies lässt auf eine größere Störung bei der Durchführung der fahrfremden Tätigkeit bei höherer Dynamik schließen. Die Standardabweichung bei D3 sinkt dagegen mit erhöhtem Ablenkungsgrad. Die Bewertung der Probanden streut demnach bei höherer Dynamik weniger. Während die Nutzer eine hohe Dynamik und einen gleichzeitig hohen Ablenkungsgrad mit geringer Varianz am schlechtesten bewerten, weisen die Bewertungen bei geringerem Beanspruchungsgrad eine höhere Streuung auf. Dieser Zusammenhang der einhergehenden Steigerung der Standardabweichung mit niedrigerem Ablenkungsgrad ist ebenfalls bei D1 zu beobachten. Dies lässt sich durch ein verändertes Bedürfnis der Dynamikrückmeldung des Spurwechsels erklären. So ist während der Beobachtung des Verkehrs und gleichzeitiger Antizipation des Verkehrsgeschehens teilweise eine moderate vestibuläre Wahrnehmbarkeit des Spurwechsels gewünscht. Andere Versuchsteilnehmer fühlen sich hingegen bei visueller Ablenkung als auch bei Beobachtung des Verkehrs durch eine spürbare Fahrzeugdynamik beeinträchtigt. Bei hohem Ablenkungsgrad bewerten die Probanden eine hohe Dynamik dagegen vergleichsweise einheitlich negativ. Dieser Zusammenhang wird aus Abbildung 2 ersichtlich.

Abbildung 2: Komfortbewertung aller Dynamikstufen und Ablenkungsgrade.



Diese Erkenntnisse spiegeln sich ebenso in den freiwilligen Kommentaren der Probanden zu den einzelnen Kombinationen von Dynamikausprägung und fahrfremder Tätigkeit (FFT) wieder, die vor der Auswertung geclustert werden. Bei höherer Dynamik (D3) beziehen sich 31,3% der Rückmeldungen während des Lesens auf dem Tablet (T2) auf eine kurze Unterbrechung der fahrfremden Tätigkeit oder zumindest auf eine Beeinträchtigung bei der Ausführung dieser. Bei zusätzlichem Tippen auf dem Tablet während des Spielens (T3) lassen sich bereits 37,9 % der Antworten einer spürbaren Beeinträchtigung bei der Ausführung der Tätigkeit zuordnen.

Ein Zusammenhang zwischen der Komfort-/Dynamikbewertung der Probanden mit den fahrdynamischen Messgrößen (max. Querbeschleunigung, maximaler Spurwechselquerruck, maximaler Lenkquerruck) kann teilweise bestätigt werden. So sinkt die Komfortbewertung signifikant mit steigender max. Querbeschleunigung und steigendem max. Spurwechselquerruck während T1 „Verkehr beobachten“ bei D1.

Qualitative Erkenntnisse

Grundsätzlich lassen sich die Probanden im Hinblick auf ihre Erwartungshaltung zur Dynamikausprägung hochautomatisierter Spurwechsel grob in drei Gruppen einteilen. Eine erste Gruppe möchte den Spurwechsel zu Gunsten eines höheren Komforts und einer besseren Konzentrationsfähigkeit so wenig wie möglich wahrnehmen. Eine sehr kleine zweite Gruppe möchte den Spurwechsel als eine Art Kontrollmodalität gewollt spürbar wahrnehmen, um die gegenwärtige Bewegung des Fahrzeugs besser nachvollziehen zu können. Diese Gruppe erwartet eine fahrdynamische Rückmeldung bei der Durchführung eines Spurwechsels, um dadurch das subjektive Sicherheitsgefühl zu erhöhen. Die dritte Gruppe wünscht sich einen Kompromiss und möchte den Spurwechsel nur unterbewusst wahrnehmen, ohne von der aktuell durchgeführten Tätigkeit abgelenkt zu werden. Diese Gruppe möchte zumindest spüren in einem automatisierten Fahrzeug gefahren zu werden, stuft den Komfort und eine unterbrechungsfreie Beschäftigung mit FFTs jedoch höher ein.

Bei einer erhöhten Beanspruchung durch die FFT, werden die Spurwechselmanöver bei D1 kaum bzw. überhaupt nicht wahrgenommen. Bei D3 hingegen berichtet ein Großteil der

Probanden, selbst bei einer starken Vertiefung in die Aufgabe, von einer deutlichen Störung bei der Durchführung der Tätigkeit. Dies äußert sich zum einen durch ein gesteigertes Kontrollblickbedürfnis, zum anderen in einer visuellen und motorischen Beeinträchtigung bei der Bedienung des Eingabegeräts durch die ungewollte Bewegung des Blicks und der Finger auf dem Tablet. Eine niedrigere Dynamik führt darüber hinaus zu einem höheren Vertrauen gegenüber der im Versuch erstmalig erlebten Funktion. Des Weiteren wurde die Vermutung geäußert, bei einer längeren Fahrt wahrscheinliche eine niedrigere Spurwechseldynamik zu präferieren.

Eine weitere bemerkenswerte Erkenntnis ist die eingeschätzte Kritikalität ausschließlich visuell wahrnehmbarer Einflussfaktoren wie den Abstand. Bei der FFT „Verkehr beobachten“ (T1) werden von den Probanden, im Gegensatz zu T2 und T3, die Einflussfaktoren Abstand zum VF, der Ausscher- und Einscherzeitpunkt sowie der leicht auftretende Überschwinger beim Wiedereinscheren häufiger thematisiert. Als Grund hierfür kann die begrenzte Wahrnehmung mit Kontrollblicken bzw. über das periphere Sichtfeld bei höher beanspruchenden Tätigkeiten, insbesondere visueller Ablenkung, angeführt werden. Liegt die komplette visuelle und kognitive Aufmerksamkeit auf dem Verkehrsgeschehen, werden kleinere Abstände zum Vorderfahrzeug, spätere Ausscher- und frühere Einscherzeitpunkte kritischer bewertet.

Die Vermutung eines Zusammenhangs probandenspezifischer Merkmale mit der Komfort- und Dynamikbewertung kann durch einige signifikante Korrelationen bestätigt werden. Die Fahrerfahrung des Probanden (gemessen in km/Jahr) übt allerdings nur bei einem D3-Manöver einen signifikanten Einfluss auf die Komfort- und Dynamikbewertung aus, dies aber bei allen 3 Tätigkeiten. Dabei wirkt sich eine höhere Fahrerfahrung durch eine schlechtere Bewertung der Dynamik und des Komforts eines D3-Spurwechsels aus. Eine vergleichbare Beziehung zeigt sich beim prozentualen Anteil der Gesamtfahrleistung, die als Beifahrer zurückgelegt wird. Für T2 „Lesen am Tablet“ bei D3 ist ein signifikanter Effekt in der Komfort- und Dynamikbewertung zu erkennen. Je häufiger ein Proband auf dem Beifahrersitz Platz nimmt, desto besser bewertet er die Dynamik und den Komfort eines D3-Spurwechsels während des Lesens. Eine mögliche Erklärung für diesen Zusammenhang könnte der Grad der Gewöhnung sein, die Dynamik nicht aktiv beeinflussen zu können.

Das Interesse an einer hochautomatisierten Spurwechselfunktion beeinflusst signifikant die Komfortwahrnehmung für die Kombination T3/D3. Mit einem höheren Interesse an hochautomatisierten Spurwechseln geht eine schlechtere Bewertung des Komforts während T3 bei höherer Spurwechseldynamik D3 einher. Vermutlich bewirkt ein hohes Interesse eine hohe Erwartungshaltung an die hochautomatisierte Spurwechselfunktion.

Während der Ausführung aller Tätigkeiten bemängelten einige Probanden das Auftreten bzw. die Dauer des Signaltons des Fahrtrichtungsanzeigers. Diese zu Tage getretene Sensibilität deckt sich mit den Ergebnissen der Studie von Griesche et al. [17], die ebenfalls die Dauer sowie den Zeitpunkt des Blinkersignaltons als wichtige Variablen in der Bewertung von Spurwechselmanövern betrachten.

3 Diskussion und Ausblick

Da im Realverkehr eine Vielzahl weiterer Einflussfaktoren auf die vom Fahrer bzw. Passagier akzeptierte Spurwechseldynamik wirken, ist es erforderlich, die Ergebnisse im Realverkehr zu validieren. Hierzu ist es zweckmäßig, den Probanden auf dem Fahrersitz Platz nehmen zu lassen und ein realitätsnahes Anzeige- und Bedienkonzept zu verwenden.
Neben der Verkehrsdichte und der genauen Position der umgebenden Verkehrsteilnehmer während des Spurwechsels, hat auch die Dauer der automatisierten Fahrt und damit der Grad der Gewöhnung einen deutlichen Effekt auf die Wahrnehmung der Spurwechseldynamik [16]. Darüber hinaus dürfte die Objektklasse des zu überholenden Fahrzeugs, also die Länge und Breite des Objekts auf der Nachbarspur – vom Motorrad bis zum LKW – einen Einfluss auf das Komfortempfinden ausüben. Diese Fragestellungen sind in Folgestudien zu adressieren.
Das Problem eines mit den Präferenzen des Nutzers hinsichtlich der Dynamikausprägung nicht kompatiblen Fahrstils wurde bereits erkannt [17]. Hieraus wird die Notwendigkeit deutlich, zugunsten einer möglichst hohen Kundenakzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen einen individuell einstellbaren oder sogar automatisch auf den Fahrerzustand adaptiven Fahrstil zu ermöglichen. Eine Standardeinstellung kann das breite Spektrum der subjektiven Wahrnehmung und unterschiedlichen Akzeptanzniveaus nicht ausreichend berücksichtigen. Elbanhawi schlägt sogar die Berücksichtigung von Gemütszuständen wie z.B. dem Stresslevel bei der Entscheidungsfindung von (Bahn- und Trajektorien-) Planungsaufgaben vor [3]. Es bleibt allerdings zu klären, ob eine manuelle Einstellbarkeit oder eine automatische Adaption der Dynamikausprägung eine höhere Akzeptanz automatisierter Fahrfunktionen erzielen kann.

Literatur

[1] The Boston Consulting Group: Revolution in the Driver's Seat - The road to autonomous vehicles. Autoren: X. Mosquet, T. Dauner, N. Lang, M. Rüßmann, A. Mei-Pochtler, R. Agrawal, F. Schmieg, Boston, 2015.

[2] K. Bengler, K., K. Dietmayer, B. Farber, M. Maurer, C. Stiller, H. Winner: Three decades of ADAS. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine 6(4), S. 6-22, 2016.

[3] M. Elbanhawi, M. Simic, R. Jazar: In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars. IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine 7(3), S. 4-17, 2015.

[4] Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) - Gasser, T. M., Arzt, C., Ayoubi, M., Bartels, A., Bürkle, L., Eier, J., Flemisch, F., Häcker, D., Hesse, T., Huber, W., Lotz, C., Maurer, M., Ruth-Schumacher, S., Schwarz, J., und Vogt, W.: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung - Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. Fahrzeugtechnik F 83, 2012.

[5] M. Festner, H. Baumann, D. Schramm: Der Einfluss fahrfremder Tätigkeiten und Manöverlängsdynamik auf die Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim

hochautomatisierten Fahren. Tagungsband VDI/VW Gemeinschaftstagung, Wolfsburg, S. 121-130, 08.-09.11.2016.

[6] M. Bär, K.-H. Siedersberger, K.-H. Meitinger, S. Gies: Vorausschauende Fahrwerkregelung zur Reduktion der Querbeschleunigung. Tagungsband 7. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Walting, S. 124-132, 30.03. - 01.04.2011.

[7] A. Engelbrecht (Dissertation): Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen. Hamburg, Disserta Verlag, 2013.

[8] S. Arndt (Dissertation): Evaluierung der Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen. Wiesbaden, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien, 2011.

[9] C. Diels, J. E. Bos: Self-driving carsickness. Applied Ergonomics 53, S. 374-382, 2016.

[10] F. Hartwich, M. Beggiato, A. Dettmann, J. F. Krems: Drive Me Comfortable - Individual Customized Automated Driving Styles for Younger and Older Drivers. Braunschweig, 8. VDI-Tagung - Der Fahrer im 21. Jahrhundert, 10.-11.11.2015.

[11] T. Müller (Dissertation): Ermittlung vestibulärer Wahrnehmungsschwellen zur zielgerichteten Gestaltung der Fahrzeug-Längsdynamik. München, Dr. Hut Verlag, 2016.

[12] J. Freyer (Dissertation): Vernetzung von Fahrerassistenzsystemen zur Verbesserung des Spurwechselverhaltens von ACC. Göttingen, Audi Dissertationsreihe Band 9, Cuvillier Verlag, 2008.

[13] J. Elander, R. J. West, D. J. French: Behavioral correlates of individual differences in road-traffic crash risk: An examination of methods & findings. Psychological Bulletin 113(2), S. 279–294, 1993.

[14] B. Abendroth, R. Bruder: Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme, S. 4-14. Wiesbaden, Vieweg + Teubner, 2015.

[15] H. Bellem, T. Schönenberg, J. F. Krems, M. Schrauf: Objective metrics of comfort: Developing a driving style for highly automated vehicles. Transportation Research Part F 41, S. 45-54, 2016.

[16] A. Lange, M. Maas, M. Albert, K.-H. Siedersberger, K. Bengler: Automatisiertes Fahren – So komfortabel wie möglich, so dynamisch wie nötig. Tagungsband VDI/VW-Gemeinschaftstagung, Fahrerassistenz & Integrierte Sicherheit, Wolfsburg, 14.-15.10.2014.

[17] S. Griesche, M. Dotzauer: Soll mein Auto so fahren wie ich? Welchen Fahrstil präferieren Fahrer für die Auslegung automatisierter Fahrzeugfunktionen? Braunschweig, Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel, 10.-11.02.2016.