

Aktives Wanken als Kommunikationskanal

Christoph Müller*, Markus Sieber†, Karl-Heinz Siedersberger‡, Michael Popp§ und Berthold Färber**

Zusammenfassung:

Visuell informierende und warnende Fahrerassistenzsysteme (FAS) weisen bei Blickabwendung und in Situationen hoher Belastung des Fahrers Schwächen auf. Ein Ansatz zur Verbesserung der Informationsaufnahme besteht in der Erschließung bisher wenig genutzter Übertragungskanäle. Ein etablierter, jedoch von FAS bisher kaum genutzter Weg ist die Informationsübertragung mittels der Fahrzeugaufbaubewegung. Dieser Beitrag untersucht exemplarisch, ob gezielt in den Fahrzeugaufbau eingebrachte Bewegungen als Informationsträger in informierenden und warnenden FAS genutzt werden können.

Schlüsselwörter: Aktive Aufbaubewegung, Wankbewegung, Rückmeldung, informierende / warnende FAS

1 Einleitung

Fahrerassistenzsysteme (FAS) lassen sich nach ihrer Wirkweise in informierende/warnende, kontinuierlich automatisierende Funktionen und in eingreifende Notfallfunktionen unterteilen [1]. Dieser Beitrag betrachtet die Kategorie der informierenden und warnenden FAS im Bereich Querführung. Während erstere reiner Informationsübertragung dienen, fordern warnende Systeme den Fahrer zusätzlich zu einer Handlung auf, greifen jedoch selbst nicht in die Fahrzeugführung ein [2]. Die Informationsübertragung findet meist optisch, akustisch oder haptisch (z.B. Lenkrad- oder Sitzvibration [3]) statt. Herausfordernd ist der Umgang mit der Vielzahl an Informationen, welche von der steigenden Anzahl an Systemen im Fahrzeug übertragen wird, da diese zur Auslastung der genannten Kanäle sowie zur erhöhten Belastung des Fahrers führen. In [4] wird durch Priorisierung und zeitliche Entzerrung der Meldungen versucht, diesem Umstand entgegen zu wirken (z.B. Unterdrückung von Wischwasser-Füllstandswarnung in

* Christoph Müller ist Promotionsstudent am Institut für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg (christoph.mueller@unibw.de).

† Markus Sieber ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg (markus.sieber@unibw.de).

‡ Karl-Heinz Siedersberger ist Mitarbeiter in der Vorentwicklung automatisierter Fahrfunktionen der AUDI AG, 85045 Ingolstadt (karl-heinz.siedersberger@audi.de).

§ Michael Popp ist Emeritus und apl. Professor am Institut für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg (michael.popp@unibw.de).

** Berthold Färber ist ehemaliger Leiter des Instituts für Arbeitswissenschaft der Universität der Bundeswehr München, Werner-Heisenberg-Weg 39, 85577 Neubiberg (berthold.farber@unibw.de).

Kreuzungssituationen). Jedoch muss die Informationsaufnahme auch in Situationen mit hoher Fahrerbelastung gewährleistet sein. Die spezifischen Nachteile einzelner Kanäle versucht man hierbei durch multimodale Informationsübertragung zu kompensieren (z.B. Navigationshinweis: akustisch und optisch). Da sich einige Übertragungswege komfortmindernd auswirken (z.B. einseitiger Bremsengriff [13]) oder ungewollt auch die Mitfahrer informieren (z.B. akustisches Nagelbandrattern [26]), wird versucht diese nur selten einzusetzen. Hierbei hat sich die Nutzung einer kaskadierten Struktur bewährt (z.B. Totwinkelassistent: Anzeige im Seitenspiegel leuchtend – dann blinkend – dann akustische Warnung [5]).

Ein weiterer Ansatz die Informationsaufnahme zu verbessern, stellt der Einbezug bisher wenig genutzter Kanäle dar [19]. In der Fahrwerksabstimmung etabliert, jedoch von FAS bisher kaum genutzt, ist die Informationsübertragung mittels Fahrzeugaufbaubewegungen.

2 Aufbaubewegung als Informationskanal

Im Fokus bisheriger Fahrwerksentwicklung steht häufig der Zielkonflikt zwischen Komfort und Agilität [6]. Für beide Bestrebungen ist es vorteilhaft, Aufbaubewegungen zu minimieren. Zudem wurde dem Aspekt der Informationsübertragung wenig Wert beigemessen, sodass Aufbaubewegungen generell als kaum notwendig galten [7]. Ausnahme bildet der Bereich hoher Querbeschleunigung, in welchem die Wankreaktion und das eigens achskinematisch implementierte Rollsteuern bzw. Wanklenken dem Fahrer Informationen über die nahende Haftgrenze liefern [6]. Aufgrund der hohen Priorität der Information werden hierbei Nachteile in der Agilität in Kauf genommen.

Während sich die Eingangsgrößen des Fahrwerks historisch zunächst auf die vier Radaufstandsflächen beschränkt hatten [6], wurde das Fahrwerk in den letzten Jahren an das Umfeld (z.B. Backend, Fahrer-Input) angebunden. Dies führte zu neuen Zielsetzungen (z.B. Anheben als Einstiegshilfe – Input: Fahrer; Absenken zur Minimierung des Strömungswiderstands – Input: Backend-Daten [8]).

Ein Paradigmenwechsel ging jedoch mit der Anbindung des Fahrwerks an FAS einher. Erstmals wurden Aufbaubewegungen gezielt eingebracht, um Fahrkomfort und -erlebnis zu verbessern [9, 10]. Ebenso konnte das Potential zur Informationsübertragung neu adressiert werden. Der in [11] vorgestellte Ansatz zeigt, dass vom Lenkrad entkoppelte Querführungseingriffe des FAS alternativ über aktive Wankbewegungen an den Fahrer rückgemeldet werden können. Erstmals fungiert das Fahrwerk somit als ein von Fahrereingabe, Straßenverlauf und Fahrzeugbeschleunigung unabhängiger Freiheitsgrad sowie als primärer Informationsträger.

3 Konzept

Ziel des Beitrags ist die Abschätzung des Potential, welches die Informationsübertragung mittels aktiver Wankbewegungen für informierende und warnende FAS bietet.

Der Kanal scheint aus theoretischen Überlegungen gut geeignet, da er unter anderem multimodale Übertragung ermöglicht. Optisch kann die Information im primären Sichtfeld ohne Blickabwendung von der Straße bzw. neuer Fixation aufgenommen werden. Auch durch die Seitenfenster ist diese optisch wahrnehmbar (z.B. bei Schulterblick). Unabhängig

von der Blickrichtung wird die Bewegung vestibulär (Wankbeschleunigung/-rate/-winkel) und haptisch [27] ((wank)induzierte Vertikal-/Querschleunigung) wahrgenommen. Vorteilhaft ist zudem, dass der vestibuläre Kanal bisher kaum genutzt wird (geringe Auslastung) und Fahrer sich diesem gegenüber aufgeschlossen zeigen [12].

Wie in [13] gefordert kann die je nach Informationscharakter bevorzugte Modalität in den Vordergrund gerückt werden. So können ad-hoc Informationen durch Wahl einer hohen Wankbeschleunigung schnell übertragen werden (100-150ms bei $10^2/s^2$ [14]), wohingegen Informationen geringer Dringlichkeit (z.B. Navigationshinweise) durch einen langsam ansteigenden (Komfort) und länger andauernden Wankwinkel übertragen werden können (vorwiegend vestibulär/haptisch vs. vorwiegend optisch). Insbesondere für warnende FAS (rasche Reaktion erforderlich) positiv zu werten sind die Annahmen, dass die Information direkt mit der Fahraufgabe assoziiert wird (gemäß bisherigem Informationsgehalt) und hohe Kompatibilität gewahrt wird, da eine Querneigung in Richtung der Querbewegung bereits aus vielen Bereichen bekannt ist (u.a. Fahrrad, Sprint, Ski, Fahrt entlang einer überhöhten Straße).

Nachteilig ist hingegen, dass die aktive Aufbaubewegung (im Gegensatz zur Nutzung in [11]) Diskomfort für Fahrer und Mitfahrer hervorruft. Bei hoher Priorität der zu übertragenden Information kann dies aber womöglich in Kauf genommen werden (analog Bremsruck bei Notbremsassistenten).

4 Nutzung in informierenden und warnenden FAS

Die bisherigen Kenntnisse zur Nutzung aktiver Aufbaubewegungen beziehen sich auf kontinuierlich automatisierende FAS (nicht ereignisdiskret, stets mit FAS-Lenkeingriff verknüpft, Informationen bezüglich Stabilisierungsebene), wobei keine Erkenntnisse zur Übertragbarkeit auf informierende/warnende FAS vorliegen und das Potential daher noch zu ermitteln ist. Um das Spektrum weit aufzuspannen, werden zwei Funktionen informierender/warnender FAS mit konträrem Informationscharakter exemplarisch ausgewählt und daran das Potential des Kanals eingeschätzt (s. Tab. 1).

Tabelle 1: Konträrer Informationscharakter der evaluierten Funktionen.

	Ausweichempfehlung	Navigationshinweis
Fahrerhandlung auf	Führungsebene	Navigationsebene
Zeitlicher Versatz zur Fahrerhandlung	Sehr niedrig	Hoch (2-3s bei kHUD [16])
Art der Information	Hohe Dringlichkeit / Schnelle Reaktion vonnöten	Niedrige Dringlichkeit / Langes Interesse

4.1 Ausweichempfehlung

Bisherige Methoden zur Empfehlung eines (vom Fahrer durchzuführenden) Ausweichmanövers weisen bei plötzlich erscheinenden seitlichen Hindernissen (z.B. Einbiegen eines Fahrzeugs in den eigenen Fahrstreifen) Schwächen auf (reflexartiges Halten/Gegensteuern [27], Unklarheit über die Hoheit von Lenkrad/Fahrverantwortung [17,18]). Aufgrund der blickrichtungsunabhängigen, gerichteten und schnellen Informationsübertragung ist eine Empfehlung mittels Aufbaubewegung denkbar und

vielversprechend, da das Lenkgefühl im engeren Sinne nicht beeinflusst wird und obige Nachteile daher potentiell vermieden werden können.

4.2 Navigationshinweis

Die Aufnahme optischer und akustischer Navigationshinweise kann in Situationen hoher Fahrerbeanspruchung beeinträchtigt sein (z.B. Kreisverkehr: häufige Schulterblicke bei Ein-/Ausfahrt/Fahrstreifenwechsel, komplexe Zahlenkodierung der gewünschten Ausfahrt). Aktive Aufbaubewegungen bieten hierbei das Potential, die Aufmerksamkeit des Fahrers zu erlangen (z.B. Wankruck) und Informationen blickrichtungsunabhängig zu übertragen (z.B. andauernder Neigewinkel).

5 Probandenstudie

Am Versuch nahmen 36 Probanden (12 weiblich) teil: Alter 20 bis 59 Jahre ($M=30$, $SD=11$), Gesamtfahrleistung 30000 bis 1.000.000 km ($M=240000$, $SD=225000$). Sie wiesen wenig Erfahrung mit FAS aufwiesen (keine Experten). Die Versuchsgruppen wurden nach Alter, Geschlecht und Fahrleistung parallelisiert. Als Versuchsfahrzeug diente ein Audi A5 mit Automatikgetriebe und einem prototypischen vollaktiven Fahrwerk. Zur Versuchsauswertung werden relevante CAN-Bus Daten sowie die Fahrzeugbewegung über eine hochgenaue DGPS-Inertialplattform (100Hz) erfasst.

5.1 Festlegung einer geeigneten Wankbewegung

Das Ziel bei der Festlegung der Wankbewegung besteht darin, zunächst die Bereitschaft zur Informationsaufnahme sicherzustellen (Wankruck, um Aufmerksamkeit zu erzeugen) und anschließend die gerichtete Information zu übertragen (stationärer Neigewinkel). Da zu beiden Aspekten kaum Erkenntnisse vorliegen, wird ein konservativer Ansatz gewählt (gute Wahrnehmbarkeit, geringe Detektionszeit (150ms bei $10^\circ/s^2$ [24]), keine Berücksichtigung von Komfortaspekten). Der Wankruck wird daher mit Maximalwerten von $16^\circ/s$ bzw. zweimal $125^\circ/s^2$ (entspricht einer Vertikalbeschleunigung in Sitzmitte von $0,75m/s^2$) festgelegt (s. Bild 1b), wobei die Wahrnehmungsschwellen deutlich überschritten werden (Schwelle Wanken: $0,25^\circ/s$ [22] bzw. $0,2^\circ/s$ [23]; Schwelle Vertikalbeschleunigung: $0,05m/s^2$ [23]). Anzumerken ist, dass die Werte fahrzeugfest gemessen sind und die Bewegung des Fahrers geringere Maximalwerte aufweist (Teilkompensation durch Sitzpolsterung), jedoch von Experten weiterhin als deutlich wahrnehmbar erachtet wurde. Der Maximalwert des Wankwinkels beträgt 4° (entspricht einer Querschleunigung von $0,69m/s^2$, Schwelle: $0,25m/s^2$ [22]), wobei dessen Dauer an das jeweilige Szenario angepasst wurde.

5.2 Ausweichempfehlung bei plötzlich auftretenden seitlichen Hindernissen

Ziel ist es, die Wirksamkeit der Ausweichempfehlung zu bewerten sowie die Eindeutigkeit der Fahrerantwortung während des Ausweichmanövers zu untersuchen. Um möglichst gute Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen aus [17,18] zu erzielen, wird diese Studie weitestgehend identisch gestaltet und ein Ausweichmanöver mit geringer „Time To Collision“ (TTC), kleinem Querversatz und visuell abgelenktem Fahrer betrachtet. Dem Versuch geht ein Versuchsteil „Fahrstreifenmittenföhrung“ [11] voraus

(Dauer ca. 1h), sodass die Probanden aktive Wankbewegungen im Vorfeld bereits erlebt haben.

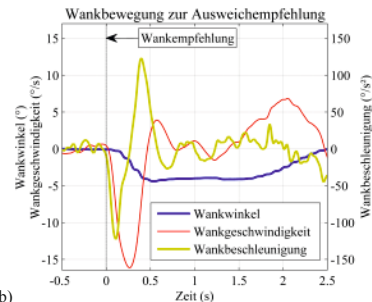
5.2.1 Szenario, Studiendesign und Operationalisierung

Der Versuch wurde auf dem Testgelände der Universität der Bundeswehr München durchgeführt. Die Probanden wurden gebeten, einem Straßenverlauf (ein Fahrstreifen je Richtung) mit möglichst 50km/h (manuelle Längsführung) zu folgen. Sie waren durch eine Aufgabe einer cover-story visuell abgelenkt [17] (lautes Vorlesen der an der gegenüberliegenden Fahrbahnbegrenzung aufgestellten Schilder). Mittels der Vorrichtung CAPLOS [20] wurde ein zunächst verdecktes und einem Fahrzeug ähnliches Dummy-Objekt (s. Bild 1a) mit ca. 1,3m/s ungefähr 0,6m in den eigenen Fahrstreifen hineingeschossen. Dies wurde für den Fahrer bei einer TTC von 1,2s sichtbar und dann die Ausweichempfehlung angefordert (Dauer der Neigung: bis Lenkradgeschwindigkeit kleiner $-35^\circ/s$ (Drehung zum Hindernis) oder für max. 1,5s, Abbau mit $6^\circ/s$).

Der Probandengruppe mit Ausweichempfehlung wurde eine Kontrollgruppe ohne Empfehlung gegenübergestellt (jeweils 18 Probanden, „between-subjects“ Design). Das Szenario wurde subjektiv hinsichtlich seiner Kritikalität auf einer 10-Punkte Skala eingeschätzt („nichts bemerkt“ (0), „harmlos“ (1-3), „unangenehm“ (4-6), „gefährlich“ (7-9), „nicht kontrollierbar“ (10)) [21]. Objektiv wird die Zahl der Kollisionen mit dem Dummy-Objekt, die Reaktionszeit und -häufigkeit (Lenkradwinkel min. 10° nach links, Betätigung Bremspedal), die Stärke (Maximalwert) von Brems-/Lenkreaktion sowie deren Reihenfolge erfasst (keine Reaktion, nur gebremst, nur gelenkt, zuerst gebremst, zuerst gelenkt, gleichzeitig gebremst und gelenkt). Die Eindeutigkeit der Fahrerantwortung wird in der Gruppe mit Empfehlung durch die Bewertung des „Gefühls der Kontrolle bzw. der Verantwortung über die Lenkung des Fahrzeugs während des Eingriffs“ auf einer 4-stufigen Skala erfasst. Die Unterschiede zwischen den Probandengruppen werden mittels Mann-Whitney U -Test (Kritikalitätseinschätzung), Pearson- χ^2 -Tests (Häufigkeiten/Reaktionsreihenfolge) sowie t -Tests (Reaktionszeit/-stärke) analysiert.



a)



b)

Abbildung 1: a) Momentaufnahme bei Ausweichempfehlung nach links (Dummy-Fahrzeug ausgefahren). b) Charakteristischer Verlauf der Wankbewegung (Trigger zum Zeitpunkt $t=0$).

5.2.2 Ergebnisse

Es gab keine Unterschiede im Kritikalitätsempfinden der Situation (jeweils $M=7.2$, $SD=1.59$). 64% der Probanden stufen diese als „gefährlich“ oder „unkontrollierbar“ ein ($Min=4$, $Max=8$, $Mdn=8$). Es kam zu keinen Kollisionen mit dem Dummy-Objekt. Zudem gab es keine signifikanten Unterschiede in der Häufigkeit von Brems- (17 ohne vs. 18 Probanden mit Ausweichempfehlung) oder Lenkreaktion (18 vs. 17), den Maximalwerten von Brems- ($6.71m/s^2$ vs. $6.95m/s^2$) oder Lenkreaktion (47.43° vs. 51.08°), der Reaktionszeit von Brems- (1,000s vs. 1,001s) oder Lenkreaktion (0,974s vs. 0,945s) sowie der Reaktionsreihenfolge. Deskriptiv erfolgte die Lenkreaktion mit Ausweichempfehlung im Mittel 30ms früher ($t(33)=0.873$, $p=0.389$). Die Wankbewegung hat keine unerwünschte Fahrerreaktion hervorgerufen (z.B. Verreißen des Lenkrads). Sechs Probanden (33%) bemerkten die Neigungsbewegung, wovon sie einer nicht negativ und fünf durchgehend positiv bewerteten (unterstützend/gut geeignet/effektiv). Alle sechs Probanden stufen die Wahrnehmbarkeit bzw. Verständlichkeit der Empfehlung weder als sehr gering noch sehr hoch ein und empfanden während des Eingriffs „leicht beeinträchtigte“, „uneingeschränkte“ Kontrolle über die Lenkung. Fünf der sechs gaben an, die Verantwortung für die Lenkbewegung „weitestgehend“ oder „vollständig“ zu besitzen.

5.2.3 Diskussion

Positiv zu werten ist, dass die Ausweichempfehlung im Gegensatz zu [17,18] zu keinen unerwünschten Fahrerreaktionen führt, die empfundene Kontrolle über das Lenkrad kaum beeinträchtigt und die Verantwortung über das Ausweichmanöver als beim Fahrer liegend angesehen wird. Auffällig ist, dass die gemäß Wahrnehmungsschwellen und von Experten als gut wahrnehmbar erachtete Wankbewegung von den Probanden häufig (66%) nicht wahrgenommen wird. Ein Grund könnte sein, dass den Experten sowohl Versuchsaufbau als auch Art der Empfehlung im Vorfeld bekannt waren. In den objektiven Kriterien (Lenk-/Bremsverhalten) werden kaum Unterschiede zur Kontrollgruppe festgestellt, was entweder am guten Abschneiden der Kontrollgruppe liegt (Deckeneffekt) oder zeigt, dass die Ausweichempfehlung unwirksam ist. Um ersteres auszuschließen könnte in künftigen Versuchen die Kritikalität des Szenarios erhöht werden (hier: Einstufung als „gefährlich“/„unkontrollierbar“ durch 64% der Probanden).

5.3 Navigationshinweis im Kreisverkehr

Ziel ist es, Wahrnehmbarkeit und intuitive Verständlichkeit eines Navigationshinweises mittels aktiver Aufbauabewegung einzuschätzen sowie zu prüfen, ob es zu schreckhaften oder anderweitig ungewollten Fahrerreaktionen kommt.

5.3.1 Szenario, Studiendesign und Operationalisierung

Die Studie fand im Realverkehr im Großraum München statt. Die Probanden wurden gebeten in den Kreisverkehr (KV) einzufahren und in diesem zu bleiben bis ein Hinweis zur Ausfahrt erfolgt (serienmäßiges Navigationssystem ist deaktiviert). Die Bewertung des Szenarios erfolgte im Fahrzeugstillstand ca. 15min nach Durchfahrt des Kreisverkehrs.

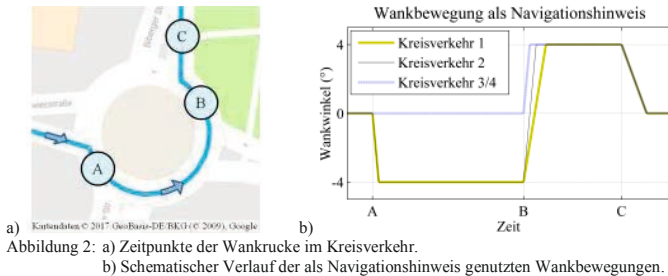
Untersucht wurde eine Ausprägung mit „Hinweis zum Verbleib im Kreis“ (Neigen zur Kurveninnenseite) und „Hinweis zur Ausfahrt“ (Neigen in Richtung der Ausfahrt) sowie eine Ausprägung mit ausschließlichem „Hinweis zur Ausfahrt“ (s. Bild 2). Pro System durchfuhren die 36 Probanden zwei Kreisverkehre (s. Tab. 2), wobei der Zeitversatz zur

Ausfahrt und die Dauer des Wankwinkels von Experten für jeden Kreisverkehr separat festgelegt wurden, um zunächst eine möglichst optimale Einstellung zu testen. Anzumerken ist, dass sich KV1 in Szenario (7. Ausfahrt – nach einer vollständigen Runde im KV), Geometrie und Fahrtgeschwindigkeit (ca. 60km/h statt ca. 25km/h) von KV2-4 unterscheidet und der in Kap. 5.1. definierte „Wankruck“ aus Sicherheitsgründen (Wanklenkeffekt) zum Zeitpunkt „B“ von 16°/s auf 9°/s reduziert wurde (s. Bild 2). Der Abbau des Wankwinkels erfolgte nach Durchfahrt der Kreisverkehre mit 4°/s.

Tabelle 2: Charakteristische Daten zu den vier durchfahrenen Kreisverkehren.

	Variante mit Hinweis zur Ausfahrt	Zeitversatz zur Ausfahrt	Dauer der Neigung	Ausfahrt Nr.	Durchmesser	Fahrstreifen
1	Weiter-/Ausfahrt	10s	11s	7	320m	3
2	Weiter-/Ausfahrt	3,4s	3,5s	3	33m	1
3	Ausfahrt	3,0s	2,9s	3	29m	1
4	Ausfahrt	3,6s	3,8s	3	31m	1

Objektiv wurde erfasst, ob die jeweilige Ausfahrt genommen wurde und mittels der Fahrzeugdaten ausgewertet, ob es zu ungewollten Reaktionen des Fahrers kam (z.B. Verreißen des Lenkrads). Die Wahrnehmbarkeit und intuitive Verständlichkeit des Hinweises wurde mittels Fragebogen auf einer 5-Punkte Skala bewertet ((1) „trifft überhaupt nicht zu“ bis (5) „trifft voll zu“). Die Unterschiede in der Häufigkeit, ob eine Ausfahrt genommen wurde, werden mittels McNemar-Test (Erst-/Folgekontakt derselben Ausprägung) und Fishers exaktem Test (Unterschied zwischen den Ausprägungen), die subjektiven Daten mittels Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest analysiert.



5.3.2 Ergebnisse

Bei der Häufigkeit mit der dem Hinweis gefolgt wurde, gibt es keine Unterschiede zwischen KV1 und KV2 (16/30 vs. 19/30) bzw. KV3 und KV4 (20/26 vs. 25/26, $Chi^2(1, n=26)=3.20, p=0.0736$). Der Unterschied zwischen den Ausprägungen „Weiter-/ Ausfahrt“ und „Ausfahrt“ ist höchst signifikant (35/60 vs. 48/55, $p=0.0007$). Die unterschiedliche Anzahl ausgewerteter Datensätze ist Systemausfällen geschuldet. Probanden, die dem Hinweis nicht gefolgt sind, geben auf Nachfrage an, die Wankbewegung wahrgenommen, jedoch (trotz einwandfreier Straßenoberfläche) als Bodenunebenheit interpretiert zu haben. In keinem Fall wurden schreckhafte oder nachteilige Fahrerreaktionen hervorgerufen.

Folgende Aussagen wurden für beide Ausprägungen im Median als (eher/überhaupt) nicht zutreffend bewertet: „Das Fahrzeug neigte sich zur Kurveninnenseite“ (5 bei „Weiter-/Ausfahrt“ vs. 4,5 bei „Ausfahrt“), „Die Neigungsbewegung begann sofort nach Einfahrt in den Kreisverkehr“ (4 vs. 5), „Das Fahrzeug schaukelte im Kreis hin und her“ (5 vs. 5), „Ich empfand das als störend“ (4 vs. 4, signifikant weniger zutreffend für „Ausfahrt“: $W(36)=122, p=0.0194$). Für beide Varianten wurden im Median als (eher/voll) zutreffend bewertet: „Das Fahrzeug neigte sich zur Kurvenaußenseite“ (1 vs. 1), „Das Fahrzeug zeigte, wo ich den Kreisverkehr verlassen sollte“ (1 vs. 1, signifikant zutreffender für „Ausfahrt“: $W(36)=67, p=0.0182$) und „Dieser Hinweis war immer leicht verständlich“ (2 vs. 1, hoch signifikant zutreffender für „Ausfahrt“: $W(36)=186, p=0.0023$).

5.3.3 Diskussion

Hinsichtlich der Einschätzung der intuitiven Verständlichkeit sind innerhalb einer Ausprägung keine objektiven Unterschiede zwischen Erst- und Folgekontakt festzustellen (Zeitraum von ca. 1h zwischen dem Erleben der Ausprägungen). Einschränkend ist zu werten, dass 42% der Probanden dem Hinweis „Weiter-/Ausfahrt“ nicht folgen (13% bei Hinweis „Ausfahrt“), wobei angegeben wird, die Bewegung zwar wahrgenommen, jedoch als Bodenunebenheit interpretiert zu haben. Anzumerken ist, dass 33% der Probanden im Vorfeld keinerlei Wissen/Erfahrung über aktive Aufbaubewegung hatten. Die Verständlichkeit des Hinweises (leicht verständlich, Deutung als Hinweis zur Ausfahrt) sowie das Folge leisten sind in der Variante „Ausfahrt“ zwar signifikant besser, jedoch könnte dies auch Übungs-/Lerneffekten geschuldet sein (Durchfahrt der Kreisverkehre erfolgte in gleicher Reihenfolge). Die Vermutung eines schnellen Lerneffekts wird durch den deutlichen Trend zur Verbesserung zwischen KV3 und KV4 gestützt ($p=0.0736$). Da bei Navigationssystemen Systemvertrautheit vorausgesetzt werden darf, kann ein Befolgen des Hinweises als äußerst wahrscheinlich angesehen werden (97% in KV4).

Insgesamt scheint die Wankbewegung als Navigationshinweis im Kreisverkehr geeignet, da sich mögliche Nachteile nicht bestätigten (keine schreckhafte Fahrerreaktion, kein Schaukeln, nicht störend) und die Fähigkeit zum Anzeigen der Ausfahrt subjektiv (voll zutreffend/verständlich) und objektiv (87% Ausfahrt bei Variante „Ausfahrt“) gegeben ist (Vergleichswerte serienmäßiger Navigationssysteme liegen nicht vor). Aufgrund der einhergehenden Komfortbeeinträchtigung (signifikant geringer in Variante „Ausfahrt“) wird die Nutzung in einer Kaskade empfohlen (z.B. optisch – akustisch – Wanken).

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Eignung aktiver Aufbaubewegungen zur Informationsübertragung in warnenden und informierenden Systemen wurde exemplarisch an Hand zweier Funktionen untersucht. Zur Empfehlung eines Ausweichmanövers wurde die Wankbewegung häufig (66%) nicht wahrgenommen und zeigte im untersuchten Szenario keine Wirkung. Hingegen ist die Nutzung der Wankbewegung als Hinweis zur Ausfahrt im Kreisverkehr vielversprechend. Um zu einer validen Aussage über die Nutzung in Navigationssystemen zu gelangen, sind ein optimaler Wankverlauf zu bestimmen (Kompromiss mit Insassenkomfort) und die Informationsaufnahme bei unerwartetem Hinweis sowie bei mehreren möglichen Fahrtrichtungen zu untersuchen (bisher nur Kreisverkehre mit Option „Ausfahrt“).

Während die Informationsübertragung mittels aktiver Wankbewegungen in [11] (FAS kontinuierlich aktiv, Wanken stets mit FAS-Lenkeingriff verknüpft) als intuitiv gilt, kann dies für informierende/warnende FAS (diskret agierend) nur mit Einschränkungen bestätigt werden. Eine Nutzung in warnenden FAS (selten aktiv, ggf. dem Fahrer nicht bekannt, rasche Reaktion erforderlich) kann daher vermutlich grundsätzlich nicht empfohlen werden. Im Gegensatz dazu ist ein Teil der informierenden FAS dem Fahrer stets vertraut, sodass eine dortige Nutzung möglich scheint.

Allgemein deuten die Untersuchungen darauf hin, dass selbst starke Wankrucke/Neigewinkel keine ungewollten Fahrerreaktionen hervorrufen oder das Gefühl der Kontrolle über das Lenkrad bzw. die Fahrzeugverantwortung beeinträchtigen. Auffällig ist, dass die nach Wahrnehmungsschwellen und Expertenmeinung deutliche Wankbewegung zwar häufig wahrgenommen, jedoch teilweise nicht als Neigung, sondern (trotz einwandfreier Straßenoberfläche) als Bodenunebenheit interpretiert wird. Grund hierfür könnten die bisher geringen Erfahrungen mit aktiven Aufbaubewegungen sein.

Literatur

- [1] Gasser, M., Seeck, A., Smith, B. W.: Rahmenbedingungen für die Fahrerassistenzentwicklung. In Winner, H., Hakuli, S., Lotz, F., Singer, C. (Hrsg.): Handbuch Fahrerassistenzsysteme (3. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2015.
- [2] Maier, F.: Fahrerassistenzsysteme in der Fahrausbildung. Dissertation, TU München 2014.
- [3] Citroen. <http://www.citroen.at/modelle/citroen/c5.html>. November 2016.
- [4] Köhler, L., Mergl, C., Blaese, D. Bengler, K.: Fahrerbeanspruchung im urbanen Raum. Erhebung der subjektiven Beanspruchung des Fahrers bei Kreuzungsüberquerung. VDI-Berichte. 2205 (2013), S. 237-250.
- [5] Mercedes-Benz. http://techcenter.mercedes-benz.com/de_DE/blind_spot_assist/detail.html. November 2016.
- [6] Heißing, B., Ersoy, M., Gies, S. (Hrsg.): Fahrwerkhandbuch (4. Aufl.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2013.
- [7] Wolf, H. J.: Ergonomische Untersuchung des Lenkgefühls an Personenkraftwagen. Dissertation, TU München 2009.
- [8] Noll, A., Ament, C.: Konzeption und Entwicklung eines Preview-Systems zur Verbesserung der Komforteigenschaften und der Reichweiteneffizienz eines Fahrzeugs mit geregelten Vertikaldynamiksystemen auf Basis von Backend-Daten. VDI-Berichte. 2288 (2016), S. 63-81.
- [9] Sternstunden der Technik: Die Kurvenneigefunktion im S-Klasse Coupé - Kurven-Künstler. Presse-Information, Daimler AG, Stuttgart 2014.
- [10] Bär, M.: Vorausschauende Fahrwerkregelung zur Reduktion der auf die Insassen wirkenden Querbeschleunigung. Dissertation. RWTH Aachen 2014.
- [11] Müller, C., Siedersberger, K.-H., Färber, B., Popp, M.: Aktive Aufbauneigung als Rückmeldekanal bei Querführungsassistenz über entkoppelte Lenkaktoriik. VDI-Berichte. 2288 (2016), S. 395-409.
- [12] Lange, A., Maas, M., Albert, M., Siedersberger, K.-H., Bengler, K.: Automatisiertes Fahren - So komfortabel wie möglich, so dynamisch wie nötig - Vestibuläre

- Zustandsrückmeldung beim automatisierten Fahren. VDI-Berichte. 2223 (2014), S. 215-228.
- [13] Bubb, H., Bengler, K.: Fahrerassistenz. In Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., Vollrath, M.: *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2015.
- [14] Gundry, A. J.: Experiments on the Detection of Roll Motion. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. 57 (5) (1978).
- [15] Donges, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil- Industrie* 27, S.183–190 (1982).
- [16] Bubb, H., Bengler, K., Breuning, J., Gold, C., Helmbrecht, M.: Systemergonomie des Fahrzeugs. In Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., Vollrath, M.: *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2015.
- [17] Sieber, M., Siedersberger, K.-H., Siegel, A., Färber, B.: Automatic Emergency Steering with Distracted Drivers: Effects of Intervention Design. *IEEE 18. International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*, Las Palmas de Gran Canaria 2015.
- [18] Sieber, M., Schneider, M., Siegel, A., Siedersberger, K.-H., Färber, B.: Wirksamkeit von Ausweichempfehlungen in Kombination mit Teilbremsung beim Notausweichen. 10. Workshop Fahrerassistenzsysteme, Darmstadt 2015.
- [19] Wickens, C. D.: Multiple resources and performance prediction. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*. 3 (2) (2002), S. 159–177.
- [20] Schneider, M., Sieber, M., Färber, B.: CAPLOS – Compressed Air Powered Lateral Obstacle Simulator. 2. *International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport System (VEHITS)*, Rom 2016.
- [21] Neukum, A., Krüger, H.P.: Fahrerreaktion bei Lenksystemstörungen - Untersuchungsmethoden und Bewertungskriterien. *VDI-Berichte*. 1791 (2003), S. 297–318.
- [22] Muragushi, Y., Fukui, K., Asaga, Y., Ono, E.: Development of Human Sensitivity Evaluation System for Vehicle Dynamics. 31. *International Congress FISITA*, Yokohama 2006.
- [23] Heißing, B., Kudritzki, D., Schindlmaister, R., Mauter, G.: Menschgerechte Auslegung des dynamischen Verhaltens von Pkw. In Bubb, H. (Hrsg.): *Ergonomie und Verkehrssicherheit. Beiträge der Herbstkonferenz der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft*. München: Herbert Utz Verlag 2000.
- [24] Gundry, A. J.: Experiments on the Detection of Roll Motion. *Aviation, Space and Environmental Medicine*. (1987), S. 657-664.
- [25] Müller, T. A.: Ermittlung vestibulärer Wahrnehmungsschwellen zur zielgerichteten Gestaltung der Fahrzeug-Längsdynamik. *Dissertation*. TU München 2015.
- [26] Bubb, H.: Einführung. In Bubb, H., Bengler, K., Grünen, R. E., Vollrath, M.: *Automobilergonomie*. Wiesbaden: Vieweg + Teubner 2015.
- [27] Suzuki, K., Jansson, H.: An analysis of driver's steering behaviour during auditory or haptic warnings for the designing of lane departure warning systems. *JSAE Review*. (2003), S. 65-70.