

Manöverbasierte Lenkgesten für das teil- und hoch-automatisierte Fahren: Ergebnisse und Ausblick

Frank Flemisch¹, Nicolas Herzberger² und Marcel Usai³

Zusammenfassung: Trotz großen technologischen Fortschritts im Bereich des hochautomatisierten Fahrens gibt es Forschungsbedarf insbesondere zu einer intuitiven Interaktion. Das von Reiter und Pferd inspirierte Projekt Vorreiter widmet sich diesem Problem, indem es intuitive Lenkgesten an einem berührungsempfindlichen Lenkrad ermöglicht, die von der Automatisierung ausgeführte Manöver einleiten. Die Gesten folgen einem universellen Designansatz (Design for All / Universal Design), der alle Fahrerinnen und Fahrer, auch Fahranfänger und Fahrerinnen und Fahrer mit Behinderungen unterstützt. Der Beitrag konzentriert sich auf die Gesamtevaluation des Konzepts in einem Fahrsimulator und präsentiert neue Daten, insbesondere zum Vergleich von Dreh-/Drück- und Streichgesten.

Schlüsselwörter: Automobile User Interfaces, Fahrzeugautomation, Gestenbasierte Interaktion, Interaktionskonzepte

1 Allgemeines Design: Von der H-Metapher zu Lenkgesten

Ausgehend von den drei Ebenen einer Fahraufgabe (Stabilisierung, Bahnführung und Navigation [1]) beschreiben Flemisch et al. [2], wie die Fahrzeugsteuerung zwischen Fahrerin bzw. Fahrer und einer kooperativen Automatisierung aufgeteilt werden kann. Winner et al. [3] beschreiben die Idee des manöverbasierten Fahrens, um die Ausführung der Fahrzeugstabilisierung von der Fahrerin auf ein Automatisierungssystem zu verlagern und der Fahrerin gleichzeitig Zugriff auf die Manöverkontrolle dieses Systems zu gewähren. Diese Konzepte der Bahnführungsebenen können um die kooperative Ebene erweitert werden [4]. Mit der zunehmenden Zusammenarbeit zwischen Fahrerin und Automatisierungssystem wächst der Bedarf an alternativen Steuerungen. Ein Teil des Stands der Technik wurde von einer biologisch inspirierten Design-Metapher beeinflusst, die das automatisierte Fahren mit

¹ Frank Flemisch ist Leiter des Lehr- und Forschungsgebietes Systemergonomie am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen University, Eilfschornsteinstr. 18, 52062 Aachen (f.flemisch@iaw.rwth-aachen.de), und Abteilungsleiter für balanced Human System Integration am Fraunhofer FKIE Wachtberg bei Bonn (frank.flemisch@fkie.fraunhofer.de)

² Nicolas Herzberger ist Gruppenleiter Systemergonomie am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen University, Eilfschornsteinstr. 18, 52062 Aachen (n.herzberger@iaw.rwth-aachen.de)

³ Marcel Usai ist wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehr- und Forschungsgebietes Systemergonomie am Institut für Arbeitswissenschaft der RWTH Aachen University, Eilfschornsteinstr. 18, 52062 Aachen (m.usai@iaw.rwth-aachen.de)

der Beziehung zwischen Reiter und Pferd vergleicht. Diese H(orse)-Metapher wurde ursprünglich von [5] beschrieben und in eine multimodale Bedienweise für teil- und hochautomatisierte Fahrzeuge umgesetzt [6].

Ein von der H-Metapher beschriebener Schlüssel zur Kontrollierbarkeit von teil- und hochautomatisierten Fahrzeugen ist der fluide Wechsel der Kontrollverteilung, aus der die späteren Levels of Vehicle Automation der BASt [7] und SAE [8] wurden. Ein weiterer Schlüssel zur Kontrolle von Pferden besteht darin, dass die **kontinuierliche Interaktion**, z. B. durch Halten eines Zügels, durch **diskrete Interaktion**, z. B. an den Steigbügeln oder Zügeln ergänzt wird, um komplexe Verhaltenssequenzen zu starten, zu modifizieren oder zu stoppen. In Fahrzeugen werden diese Sequenzen als Manöver bezeichnet und können durch eine ähnliche, diskrete Interaktion mit der Hand oder dem Fuß eingeleitet werden, kombiniert mit anderen visuellen oder akustischen Interaktionen: Eine Kombination, die wir Manövergesten nennen (Schema siehe Abbildung 1, Umsetzung Abbildung 4). Es wurde deutlich, dass die Interaktion mit größerer Wahrscheinlichkeit erfolgreich sein wird, wenn:

1. Das Co-System/Automatisierung mögliche Manöver anbietet, z.B. indem es diese auf einem Head-Down- oder Head-Up-Display anzeigt,
2. die Fahrerin eines dieser Manöver mit einer Lenkgeste einleitet und dann
3. die Automatisierung das Manöver ausführt, wobei
4. das Manöver von der Fahrerin durch haptische Interaktion gespürt, beeinflusst oder unterbrochen werden kann.

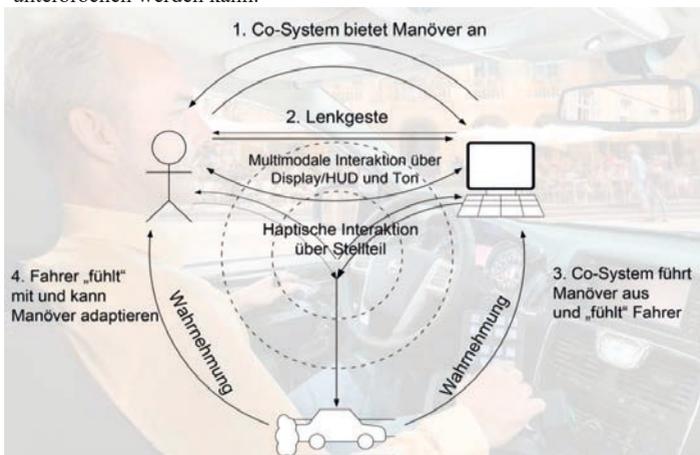


Abbildung 1: Interaktionsmuster „Manövergesten“: Gemeinsame und kooperative Kontrolle in einem Mensch-Automatisierungssystem (erweitert aus [9]).

Die hier beschriebene Studie sowie die Erarbeitung der Lenkgesten wurden im Rahmen eines BMBF-Projektes „Vorreiter“ durchgeführt. Ein detaillierter Überblick über das gesamte Projekt Vorreiter findet sich in [10]. Die abschließende Auswertung sowie die Ergebnisse werden hier jedoch erstmalig deutschsprachig veröffentlicht. Im Folgenden werden die abschließende Evaluation und die wichtigsten Ergebnisse skizziert.

2 Implementierung der Manövergesten

Basierend auf erarbeiteten Use Cases für manöverbasiertes Fahren wurden zunächst die elementarsten Manöver in einem Katalog zusammengefasst. Abbildung 2 links zeigt eine Überlagerung aller Möglichkeiten. Es kristallisieren sich vier Hauptrichtungen (nach rechts, nach links, nach vorne, sowie nach hinten) heraus, welchen situationsabhängig das passende Manöver zugeordnet werden kann. Somit kann über eine abstrakte Geste an oder auf einem Stellteil das passende Manöver ausgewählt werden. Diese Reduzierung der Eingabemöglichkeiten soll die Nutzung erleichtern und Fehleranfälligkeit reduzieren. Die Gesten folgen der Idee einer pars pro toto-Bewegung des Fahrzeugs (siehe Abbildung 2 Mitte). Aufbauend auf diesem abstrakten Gestenset wurden zwei Gestensets für die Anwendung an Lenkrad (Streichgesten) bzw. Lenkrad und Pedale (Dreh-/Drückgesten) konzipiert und in den IAW-Fahrsimulator implementiert (siehe Abbildung 2 rechts).



Abbildung 2: Darstellung möglicher ausführbarer Manöver (links); Mögliche Richtungen zur Ausführung von Gesten auf einem Stellteil (Mitte); abgeleitete Gestensets: Dreh-/Drückgesten (Blau) an Lenkrad und Pedale, sowie Streichgesten (Magenta) auf dem Lenkrad (rechts). [10]

Als Dreh-/Drückgesten werden kleine Impulse an Lenkrad oder Pedale erkannt. Für die Erkennung von Streichgesten wurde von der Valeo Schalter und Sensoren GmbH ein berührungssensitives Lenkrad aufgebaut, auf dem der Lenkkranz in zehn Zonen plus eine Zone auf der Rückseite aufgeteilt ist. Die Gesten werden durch Überstreichen von mehreren dieser Zonen in die entsprechende Richtung (nach rechts/links) mit einer Hand bzw. mit zwei Händen (nach vorne/hinten) ausgelöst (siehe Abbildung 3). Um gegen ungewollte Auslösungen abzusichern und gleichzeitig das Systemverhalten der Fahrzeugautomation transparent gestalten zu können, wurden drei Stufen der Erkennung eingeführt: armed (Geste ist angedeutet), interlocked (Geste ist erkannt) und executed (Geste ist erkannt)

und bestätigt). Eine Geste kann jederzeit abgebrochen werden oder durch Eingabe einer Geste in die Gegenrichtung eine anschließende Ausführung rückgängig gemacht werden.

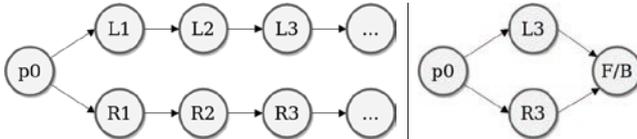


Abbildung 3: Zustandsautomat zur Erkennung von Streichgesten nach rechts/links (links); sowie zur Erkennung von Streichgesten nach vorne/hinten (rechts in Kombination mit links). [11]

Die Gestensets wurden für SAE Level 2 und 3/4 [10] implementiert. Abbildung 4 zeigt ein Foto während der Ausführung einer Streichgeste nach links im SAE Level 2. Aufgrund des doch fundamentalen Unterschieds in der Rolle der Fahrerin im entsprechenden automatisierten Fahrmodus unterscheiden sich hier auch die Verhalten der Automations-systeme, sobald eine Geste erkannt wurde: Im SAE Level 2 prüft ein Mediations-Untersystem [12] zunächst kontextabhängig, welches Manöver zur erkannten Geste passt und anschließend, ob das Manöver Teil der vorgeschlagenen, d.h. von der Automation ausführbaren Manöver ist. Ist dies der Fall, so wird das Manöver ausgeführt. Andernfalls erfolgt eine Rückmeldung über die Nichtverfügbarkeit des Manövers. Im SAE Level 3/4 muss die Automation zusätzlich noch prüfen, inwieweit die Ausführung des Manövers innerhalb der aktuellen Verkehrssituation sicher und legal ist. Erst dann wird ein Manöver ausgeführt. Die Fahrerin hat zwar im SAE Level 3/4 keine Autorität oder Kontrolle über die Kontrollebene der Fahraufgabe, kann jedoch auf der Führungsebene Einfluss nehmen, indem sie Vorschläge für Manöver macht, ohne bereit für eine Übernahme sein zu müssen. Sie kann jederzeit auch den Automationsmodus wechseln und damit die direkte Kontrolle übernehmen.



Abbildung 4: Manöverbasierte Interaktion für Vorreiter im IAW-Fahrsimulator. Das Vorreiter-Lenkrad von Valeo gibt während einer Gesteneingabe visuelles Feedback über die überstrichenen Zonen. Im HUD ist eine Geschwindigkeitsanzeige sowie die Rückmeldung über eine begonnene Gestenerkennung.

3 Gesamtevaluation im Fahrsimulator

3.1 Methodik

Die Studie wurde im statischen Fahrsimulator des IAW der RWTH Aachen University (siehe Abbildung 4) durchgeführt. Als Fahrsimulationssoftware wurde SILAB 6.0 verwendet. Die Fahrzeugsteuerung erfolgte mittels des kapazitiven Lenkrads von Valeo sowie mittels der vom IAW entwickelten Gestenerkennungssoftware.

Um alle zuvor entwickelten Gesten evaluieren zu können, wurden acht Fahrszenarien implementiert, die diese Eingaben erforderten: Landstraße mit anschließender T-Kreuzung, Autobahnauffahrt, Autobahn, Baustelle, Autobahnausfahrt, erneut Landstraße mit T-Kreuzung und abschließend ein Parkplatz. Dabei wurden fünf unterschiedliche Bedingungen in einem 2x2+1 Design verglichen: Manuelle Fahrt (SAE Level 0, Baseline) sowie Dreh-/Drückgesten versus Streichgesten, jeweils in SAE Level 2 als auch in SAE Level 3/4. Die Probanden wurden instruiert, den Verkehrsschildern zu einem Point-of-Interest zu folgen, was Eingriffe in die Fahraufgabe erforderte, da die automatisierte Fahrfunktion auf der kürzesten Strecke zum Zielpunkt fuhr und der Point-of-Interest einen Umweg bedeutete. Die einzelnen Fahrten dauerten jeweils ca. 4 Minuten.

An der Studie nahmen $N = 26$ Versuchspersonen teil (26,9 % weiblich, 73,1 % männlich). Voraussetzung für die Teilnahme war ein gültiger Führerschein sowie keine unkorrigierten Sehbeeinträchtigungen. Das Alter der Teilnehmenden lag zwischen 19 und 64 Jahren ($M = 28,96$ Jahre, $SD = 13,25$ Jahre)

Jeder Versuchsdurchlauf begann mit einer Einführungsfahrt in SAE Level 0, in der sich die Teilnehmenden mit der Steuerung des Fahrsimulators vertraut machen konnten. Anschließend folgten die fünf Testblöcke. Diese begannen stets mit einem Naive Run (ohne vorherige Erläuterung der jeweiligen Gestensteuerung), auf den ein kurzer Fragebogen folgte. Anschließend wurde den Teilnehmenden das jeweilige Konzept sowie die Bedienung detailliert erläutert und etwaige Fragen beantwortet. Darauf folgte ein Trained Run⁴ sowie ein dazugehöriger Fragebogen. Die Naive Runs wurden durchgeführt, um sowohl die intuitive Verständlichkeit als auch die Erlernbarkeit zu überprüfen. Nach Abschluss der Testblöcke folgte ein finaler Fragebogen. Jeder Durchlauf dauerte ca. 4 Stunden und die Versuchspersonen erhielten eine Probandenvergütung.

3.2 Ergebnisse

Um einen Überblick über die Leistungsfähigkeit der implementierten Gesten zu erhalten, wurde die Erkennungsrate der einzelnen Gestenaktivierungen ausgewertet (siehe Abbildung 5).

⁴ Ein sogenannter „Trained Run“ ist ein Testlauf nach einer Einweisung oder ausreichendem Training der Teilnehmenden. Im vorliegenden Fall erhielten die Teilnehmenden vor dem Trained Run eine Einweisung in den Umgang mit den Gesten.

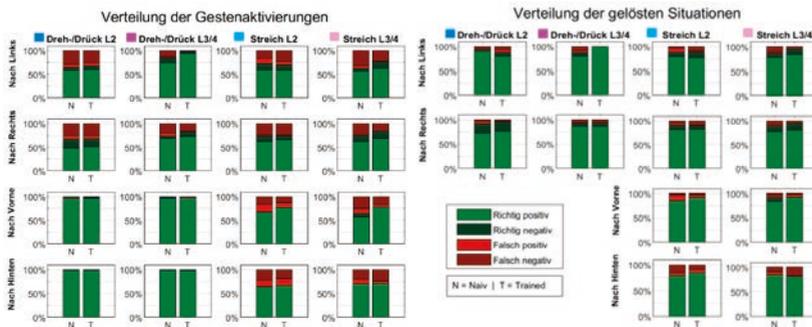


Abbildung 5: Verteilung von Gestenaktivierungen und Situationslösungen. Aufgezeichnet wurde die Reaktion der Ko-Automatation auf menschliche Eingaben und ihre beobachtete Klassifizierung (basierend auf[11]).

Auf der linken Seite von Abbildung 5 ist die Verteilung der Gestenaktivierungen dargestellt. Alle Versuche der Teilnehmenden, eine Geste zu aktivieren, wurden gezählt und es wurde nach der Signalerkennungstheorie (Signal Detection Theorie, z.B. [13]) nicht nur ausgewertet, ob die Gesten erfolgreich erkannt und auch aktiviert wurden (richtig positiv), oder ob sie erkannt oder nicht erkannt, aber zu Recht nicht umgesetzt wurden, weil sie von der Automatisierung als unsicher eingestuft wurden (richtig negativ). Ebenso wurden Gesteneingaben erfasst, die erkannt, aber offensichtlich von der Fahrerin nicht beabsichtigt bzw. von ihr andere Manöver beabsichtigt waren (falsch positiv), oder nicht erkannt oder abgelehnt wurden, obwohl das entsprechende Manöver möglich gewesen wäre (falsch negativ).

Die Daten zeigen, dass die Mehrheit der Reaktionen auf Gesteneingaben richtig positiv oder richtig negativ waren. Die richtig negativ-Reaktionen lagen bei dieser fragilen Risikobilanz zwischen falsch positiv und falsch negativ auf der sicheren Seite. Eine Ausnahme bildeten die lateralen Streichgesten in Level 2, die eine relativ hohe Rate an falsch positiv-Antworten aufwiesen. Hier hatten Teilnehmende Schwierigkeiten mit der Doppelbelegung des Lenkrads, das sowohl als Eingabegerät für die Fahrzeugstabilisierung als auch als Gesteneingabegerät diente.

Abbildung 5 rechts zeigt die Auswertung, ob die Fahrsituation insgesamt gelöst wurde, unabhängig davon, wie viele Versuche einzelner Lenkgesten unternommen wurden. Eine Situation wurde immer dann beendet, wenn eine gegebene Gelegenheit, z.B. zum Abbiegen, verstrichen ist, das gewünschte Manöver ausgeführt wurde oder die Fahrerin das Interesse an der Einleitung eines Manövers verlor. Hier zeigen die Daten, dass mehr als 75 % aller Situationen in jedem Fall so gelöst wurden, wie sie hätten gelöst werden müssen.

Abbildung 6 stellt einen Auszug aus der abschließenden subjektiven Bewertung dar. Rechts sind die Ergebnisse der NASA TLX-Bewertungen dargestellt. Dabei zeigt sich,

dass die getesteten Gestenkonzepte sowohl hinsichtlich mentaler und körperlicher Beanspruchung als auch hinsichtlich Anstrengung positiver bewertet wurden als die Baseline. Für die Faktoren zeitliche Beanspruchung sowie Frustrationsniveau zeigt sich jedoch, dass die Implementierung der SAE Level 2 Streichgesten noch Entwicklungspotential bietet – hier interferierte die Hands-On-Pflicht mit den intendierten Gesteneingaben, was bisweilen zu nicht erkannten oder fälschlich interpretierten Eingaben führte. Für die Gesamtbewertung lässt sich hervorheben, dass zwei der Steuerungskonzepte (Dreh-/Drückgesten und Streichgesten in Level 3/4) von den Versuchspersonen besser als die Baseline bewertet wurden. Der rechte Teil von Abbildung 6 zeigt oben die Ergebnisse der System Usability Scale (SUS) sowie unten eine Legende. Hier zeigt sich, dass die Baseline gut ($M = 81.6$), die Dreh-/Drückgesten in Level 2 ok ($M = 70.0$) und in Level 3/4 ebenfalls gut ($M = 79.2$) bewertet wurden. Die Streichgesten wurden in Level 2 schlecht ($M = 51.6$) und in Level 3/4 gut ($M = 76.8$) bewertet.

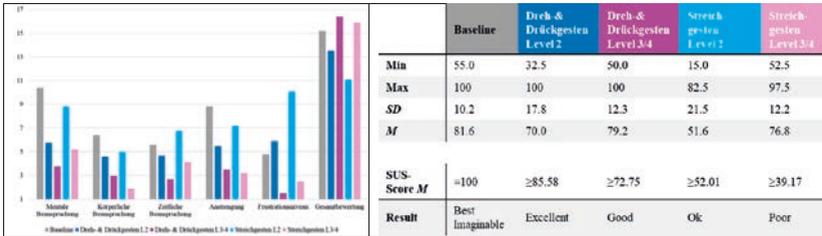


Abbildung 6 Ergebnisse der subjektiven Bewertungen: Links: Ergebnisse des NASA TLX Rechts: Ergebnisse der SUS.

Neben den Bewertungen mittels NASA TLX und SUS hatten die Teilnehmenden im Rahmen der abschließenden Gesamtbewertung die Gelegenheit anzugeben, welches der Systeme von ihnen bevorzugt wurde. Dabei waren Mehrfachnennungen möglich. Die Ergebnisse dieser Bewertungen sind in Abbildung 7 dargestellt. Es zeigte sich, dass in jedem der Automatisierungsgrade mehr Teilnehmende Dreh-/Drückgesten (Level 4: 16, Level 2: 2 Nennungen) als Streichgesten (Level 4: 8, Level 2: 1 Nennungen) bevorzugten. Die Baseline (manuelles Fahren) erhielt 10 Nennungen.

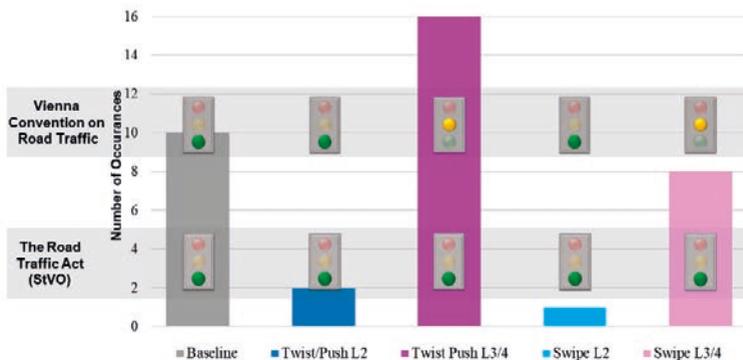


Abbildung 7. Subjektive Präferenzen und Einschätzungen zur Zulassbarkeit der Kontrollgesten.

In der Abbildung sind zusätzlich die Einschätzungen zur Zulassbarkeit der Gestenkonzepte nach Straßenverkehrsordnung (StVO) bzw. Vienna Convention on Road Traffic dargestellt. Hierzu wurden die Gestensteuerungskonzepte im Rahmen des Vorreiter-Projekts durch die Hochschule für Wirtschaft und Recht (HWR) in Berlin evaluiert.

3.3 Diskussion

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass Gestensteuerungskonzepte und manöverbasierte Systeme in Zukunft eine echte Alternative darstellen könnten. Dennoch zeigen die implementierten SAE-Level-2-Systeme Schwierigkeiten: Eine Herausforderung war die Tatsache, dass mindestens eine Hand am Lenkrad vorgegeben war (Hands-on). Dies führte bisweilen zu einer Vermischung der Manövergesten und Stabilisierungsaufgaben. Die subjektiven Präferenzen zeigen auch, dass die Fahrer entweder manuelles oder hochautomatisiertes Fahren bevorzugten. Die Dreh-/Drückgesten in Kombination mit Level 3/4 wurden sogar gegenüber der Basisvariante bevorzugt. Diese Ergebnisse sind einerseits recht vielversprechend, andererseits wurden noch Verbesserungs- und Verfeinerungsmöglichkeiten bei der Benutzerfreundlichkeit identifiziert. Darüber hinaus sollte erwähnt werden, dass die vorliegende Studie ein Test in einem statischen Simulator war, mit der dynamische Rückkopplungseffekte nicht simuliert werden konnten. Hier könnte eine Studie im realen Verkehr wichtige zusätzliche Ergebnisse liefern. Zu diesem Zweck wurde im Rahmen von Vorreiter ein Testfahrzeug konzipiert und aufgebaut. Dieses Fahrzeug kann als Wizard-of-Oz System [10] eingesetzt werden, bei dem die Automatisierung von einer menschlichen Fahrerin hinter einem Halbspiegel nachgebildet wird.

4 Fazit und Ausblick

Ausgangspunkt des BMBF-Projektes Vorreiter waren große technische Fortschritte im teil- und hochautomatisierten Fahren, die gleichzeitig wieder Herausforderungen für eine möglichst intuitive Einbeziehung des Menschen bedeuten. Die Designmetapher „Reiterpferd“ liefert, wie bereits vorher zu Automationsgraden und Transitionen, auch hierzu wertvolle Inspiration hin zu Manövergesten. Manövergesten wurden insgesamt im Vergleich zum manuellen Fahren sehr gut akzeptiert. In einem direkten Vergleich von Dreh-Drück und Streichgesten sind die noch etwas durchwachsenen Ergebnisse der Streichgesten für uns Hinweise darauf, dass weniger das Konzept als vielmehr die hier getestete Implementierung der Streichgesten noch aufwändiger und fehleranfälliger ist als für die Dreh-Drück-Gesten. Das muss nicht immer so bleiben: Unsere Versuche ergaben wertvolle Hinweise darauf, wie man die für eine neuartige und für viele Nutzer faszinierende Bedienweise bereits ermutigende Annahmequote weiter steigern kann. Streichen oder Drehen/Drücken auf einem Lenkrad oder einem alternativen Stellteil sind vielversprechende Kandidaten für eine solche Manöver-Interaktion, aber nicht die einzigen: Eine Kombination mit Blicken, Handgesten und/oder Sprachkommandos könnte eine sinnvolle Erweiterung sein, nicht nur für Fahrerinnen und Fahrer mit Behinderungen. Das frühe Einbeziehen von Fahrerinnen und Fahrern mit und ohne Behinderungen empfanden die Teilnehmenden und wir als sehr inspirierend, und empfehlen das uneingeschränkt für zukünftige Forschungsprojekte. Teil- und Hochautomatisierung, insbesondere als kooperative Fahrzeugführung ist nun nach von der H-Metapher ausgehenden 20 Jahren Forschung vieler Kolleginnen und Kollegen an einem Punkt, an dem einerseits erste Systeme bereits in Serie verfügbar sind, z.B. als SAE Level 3 Staupilot, und andererseits noch entscheidende Aspekte wie z.B. Migrationsfähigkeit in einem heterogenen Verkehrssystem der Zukunft noch besser erforscht werden müssen, um das Potential dieser faszinierenden Technologie auch für alle Menschen nutzbar und sicher zu gestalten.

Literatur

- [1] Donges, E. (1982). Aspekte der aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automob-Ind*, 27(2).
- [2] Flemisch, F. O., Kelsch, J., Schieben, A., & Schindler, J. (2006). Stücke des Puzzles hochautomatisiertes Fahren: H-Metapher und H-Mode, Zwischenbericht 2006.
- [3] Winner, H., Heuss, O., & Landau, K. (2005, March). X-by-wire Betätigungselemente-Überblick und Ausblick. In Darmstädter Kolloquium Mensch und Fahrzeug. Cockpits für Straßenfahrzeuge der Zukunft (pp. 79-115). Stuttgart: Ergonomia.
- [4] Flemisch, F., Abbink, D. A., Itoh, M., Pacaux-Lemoine, M. P., & Weßel, G. (2019). Joining the blunt and the pointy end of the spear: towards a common framework of joint action, human-machine cooperation, cooperative guidance and control, shared, traded and supervisory control. *Cognition, Technology & Work*, 21(4), 555-568.

- [5] Flemisch, F. O., Adams, C. A., Conway, S. R., Goodrich, K. H., Palmer, M. T., & Schutte, P. C. (2003). The H-Metaphor as a guideline for vehicle automation and interaction.
- [6] Altendorf, E.; Baltzer, M.; Heesen, M.; Kienle, M.; Weißgerber, T.; Flemisch, F.: H-Mode, a Haptic-Multimodal Interaction Concept for Cooperative Guidance and Control of Partially and Highly Automated Vehicles; Winner et. al. Eds.: Handbook of Driver Assistance Systems; Springer, 2015.
- [7] 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. (2012). Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung - Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe. Fahrzeugtechnik F 83, Bundesanstalt für Straßenwesen (bast).
- [8] SAE Levels of Driving Automation; SAE International Standard J3016, 2018.
- [9] Donges, E.: Supporting Drivers by Chassis Control Systems. Seminar Smart Vehicles, TNO Delft NL, 13 - 16. In: Pauwelussen, J. P., and Paceyka, H. B. (Ed): Smart Vehicles. Swets & Zeitlinger B. V., Lisse, the Netherlands, 1995 (ISBN 90 265 1456 5), February 1995.
- [10] Frank Flemisch, Frederik Diederichs, Ronald Meyer, Nicolas Herzberger, Ralph Baier, Eugen Altendorf, Julia Spies, Marcel Usai, Vera Kaim, Bernhard Doentgen, Anja Valeria Bopp-Bertenbreiter, Harald Widroither, Simone Ruth-Schumacher, Clemens Arzt, Evin Bozbayir, Sven Bischoff, Daniel Diers, Reto Wechner, Anna Sommer, Emre Aydin, Verena Kaschub, Tobias Kiefer, Katharina Hottelart, Patrice Reilhac, Gina Weßel, and Frank Kaiser: Vorreiter, Manoeuvre-Based Steering Gestures for Partially and Highly Automated Driving; In Meixner, G.: Smart Automotive Mobility; Springer 2020.
- [11] Usai, M., Meyer, R., Baier, R., Herzberger, N., Lebold, K., & Flemisch, F. (2021, February). System Architecture for Gesture Control of Maneuvers in Automated Driving. In International Conference on Intelligent Human Systems Integration (pp. 65-71). Springer, Cham.
- [12] Baltzer, M., Flemisch, F., Altendorf, E., Meier, S. (2014) Mediating the interaction between human and automation during the arbitration processes in cooperative guidance and control of highly automated vehicles. In: Ahram, T., Karwowski, W., Marek, T. (eds) Proceedings of the 5th international conference on applied human factors and ergonomics AHFE 2014, Krakow, July 2014
- [13] Wickens, C. D., Helton, W. S., Hollands, J. G., & Banbury, S. (2021). Engineering psychology and human performance. Routledge.