

Untersuchung des Spurwechselverhaltens in einem Fahrsimulator

Koppel, Christiaan; van Doornik, Jelle; Petermeijer, Bastiaan; Abbink, David

DOI

[10.1007/s35148-019-0163-3](https://doi.org/10.1007/s35148-019-0163-3)

Publication date

2019

Document Version

Final published version

Published in

ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift

Citation (APA)

Koppel, C., van Doornik, J., Petermeijer, B., & Abbink, D. (2019). Untersuchung des Spurwechselverhaltens in einem Fahrsimulator. *ATZ-Automobiltechnische Zeitschrift*, 121(12), 64-69. <https://doi.org/10.1007/s35148-019-0163-3>

Important note

To cite this publication, please use the final published version (if applicable). Please check the document version above.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download, forward or distribute the text or part of it, without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license such as Creative Commons.

Takedown policy

Please contact us and provide details if you believe this document breaches copyrights. We will remove access to the work immediately and investigate your claim.



© Cruden

AUTOREN



Christiaan Koppel, M. Sc.
ist Masterstudent an der Technischen Universität Delft (Niederlande).



Jelle van Doornik, M. Sc.
ist Produktmanager für ADAS und AD bei Cruden in Amsterdam (Niederlande).



Dr. ir. Bastiaan Petermeijer
ist promovierter Wissenschaftler an der Technischen Universität Delft (Niederlande).



Prof. dr. ir. David Abbink
ist Ordentlicher Professor und Abteilungsleiter für Mensch-Roboter-Interaktion an der Technischen Universität Delft (Niederlande).

FAHRSIMULATOREN ALS SICHERE TESTUMGEBUNG

Trotz des Medienhypes wird das autonome Fahren (AD) auf absehbare Zeit nicht für jeden, überall und unter allen Bedingungen verfügbar sein. Die meisten Automobilunternehmen entwickeln

ihr Portfolio in Richtung AD, indem sie immer leistungsfähigere Fahrerassistenzsysteme (ADAS) entwickeln und einsetzen, die den Fahrer beispielsweise beim Spurhalten (Spurhalteassistent) und beim dynamischen Folgen eines Autos (adaptive Abstands- und Geschwindigkeitsregelung) unterstützen. Industrie

und Wissenschaft untersuchen das Fahrverhalten des Menschen im Zusammenspiel mit AD und ADAS, um automatisierten Systeme zu lehren oder sie zu korrigieren oder abzunehmen. Solche Driver-in-the-Loop (DiL)-Studien finden auf öffentlichen Straßen, auf Teststrecken oder in der sicheren und



Untersuchung des Spurwechselverhaltens in einem Fahrsimulator

Im Zusammenspiel mit dem automatisierten Fahren muss das menschliche Fahrverhalten genau untersucht werden. Forscher der Technischen Universität Delft arbeiten mit dem Simulatorhersteller Cruden daran, dieses Verhalten bei Spurwechseln besser zu verstehen, mit dem Ziel, die Interaktion zwischen dem Fahrer und dem (teil-)automatisierten Fahrzeug zu verbessern.

kontrollierten Umgebung von Fahrsimulatoren statt, die sich gut für schnelle Zyklen von Konstruktionsänderungen und -bewertungen eignen.

Forscher der Abteilung Mensch-Roboter-Interaktion des Lehrstuhls für kognitive Robotik an der Fakultät 3mE der Technischen Universität Delft arbeiten daran, das Verständnis über das menschliche Fahrverhalten zu erhöhen – mit dem Ziel, die Wechselwirkung zwischen dem Fahrer und dem (teil-)automatisierten Fahrzeug zu verbessern. Sie folgen der Entwicklungsphilosophie, dass eine symbiotische Interaktion durch gemeinsame Kontrolle [1] ein besonders vielversprechender Ansatz ist, um bekannte Probleme der Interaktion zwischen Mensch und Automatisierungssystem zu mildern, wie beispielsweise den Missbrauch aufgrund von Überver-

antwortung und Nichtverwendung aufgrund von Belästigung oder Erwartungskongruenz [2, 3].

Daher müssen das menschliche Fahrverhalten in Bezug auf die Wahl der Trajektorie und das Lenkverhalten besser verstanden und quantifiziert werden. Die Verwendung des Fahrerverhaltens als Vorlage für die zugrundeliegenden Steuergeräte der ADAS (oder auch später für AD [4, 5]) soll zu mehr Vertrauen und Akzeptanz für den Fahrer führen und für andere Verkehrsteilnehmer berechenbarer sein.

SPURWECHSEL BEKANNTLICH SEHR UNTERSCHIEDLICH

Eine besondere Herausforderung in der ADAS-Entwicklung ist die Ausgewogenheit zwischen Spurhaltesystem und

Spurwechselassistent [6]. Ein besseres quantifiziertes Verständnis der individuellen Unterschiede im Spurwechselverhalten des Menschen würde bei der Entwicklung von Spurwechselassistentensystemen helfen. Spurwechsel sind bekanntlich sehr unterschiedlich und frühere Forschungen zum Spurwechselverhalten haben die Variabilität hauptsächlich in Bezug auf die Dauer charakterisiert [7, 8]. Die Variabilität des Spurwechselverhaltens zwischen und innerhalb der Fahrer wurde jedoch nicht gründlich untersucht, und der Zusammenhang mit dem Lenkverhalten ist noch unerforscht.

Deshalb hat die Technische Universität Delft eine Versuchsstudie in einem Fahrsimulator mit Bewegungssystem durchgeführt. Dabei wurde als Ziel gesetzt, die Variabilität des Spurwech-



BILD 1 Der 6DoF-Fahrsimulator mit Bewegungssystem von Cruden mit funktionierenden Seiten- und Rückspiegeln und 210°-Sichtbereich-Projektionssystem (© Cruden)

selverhaltens zwischen und innerhalb des Fahrers zu quantifizieren und Spurwechsel hinsichtlich ihrer Dauer und das Lenkverhalten zu analysieren.

VERWENDETER VERSUCHSAUFBAU

Die Versuche wurden auf einem Fahrsimulator von Cruden mit Bewegungssystem bei sechs Freiheitsgraden (6DoF) durchgeführt, der eine genaue visuelle, akustische, haptische und vestibuläre Rückmeldung liefert, ähnlich der in [9] verwendeten Systeme. Die Bewegungsplattform nutzte die in [10] beschriebenen Cruden-Cueing-Algorithmen. Der Simulator ist mit funktionierenden Seiten- und Rückspiegeln sowie 210°-Sichtbereich-Projektionssystem ausgestattet, um dem Fahrer einen vollständigen Überblick über die Verkehrssituation zu geben, **BILD 1**.

Das Experiment wurde auf einer geraden dreispurigen Endlos-Autobahn durchgeführt. Für die Durchführung der Versuche waren vier Fahrzeuge notwendig: das Ego-Fahrzeug (EF), das Leitfahrzeug (LF), das langsame Leitfahrzeug (LLF) und das Folgefahr-

zeug (FF), **BILD 2**. Zwei Szenarien wurden untersucht (Zeit zur Kollision, ZZK): Das eine Szenario hat zum Einfädeln einen konstanten Zwischenraum in der Zielspur; im anderen Szenario schließt sich der Zwischenraum immer weiter. Die Parameter zu Beginn des Spurwechsels des LF werden durch **BILD 2** vorgegeben. Weiterhin wurden verschiedene Kennzahlen in Bezug auf Lenkverhalten, **BILD 3** (a), und Spurwechseldauer, **BILD 3** (b), ausgewertet. Eine Gruppe von 21 Teilnehmern (17 männlich, 4 weiblich) nahm an dem Experiment teil. Die Teilnehmer mussten drei Versuchsdurchläufe hintereinander mit jeweils zehn Spurwechseln durchführen, insgesamt 30 Spurwechsel pro Teilnehmer und 15 pro Szenario.

VERSUCHSERGEBNISSE

BILD 4 (a) zeigt, dass die Zwischen- und Intervariabilität für die Spurwechseldauer hoch ist. Der Effekt des Szenarios ist im Vergleich zur Inter- und Intra-Fahrer-Variabilität relativ gering. Es lässt sich kein statistischer Unterschied in der

Spurwechseldauer zwischen beiden Verkehrsszenarien feststellen. **BILD 4** (b) zeigt, dass die Variabilität innerhalb und zwischen den Teilnehmern auch für den Lenkradwinkel θ_{\max} hoch ist und kein statistischer Unterschied zwischen den Szenarien gefunden wurde. Dies gilt ebenso für die anderen Lenkungskennzahlen. Die hohe Variabilität zwischen und innerhalb des Fahrers deutet darauf hin, dass jeder Fahrer sowohl ein kontrastreiches als auch inkonsistentes Fahrverhalten aufweist.

Der Zusammenhang zwischen der Spurwechseldauer und dem maximalen Lenkwinkel wird untersucht. Der Pearson-Korrelationskoeffizient beläuft sich auf $R = -0,48$, was zeigt, dass eine mittlere Korrelation zwischen der Spurwechseldauer und den Steuerungskennzahlen vorhanden ist. Der Korrelationskoeffizient von $R = -0,48$ bedeutet jedoch, dass nur etwa 25 % der Variation im Lenkverhalten auf die Variation der Spurwechseldauer zurückzuführen sind.

Diese Ergebnisse zeigen, dass eine bekannte Spurwechseldauer das Lenkverhalten nicht bestimmt, obwohl die



Der Antrieb von morgen 2020

Den weltweiten Antriebsmix finden

22.01. – 23.01.2020

Hanau bei Frankfurt am Main

/ Elektrifizierte Antriebe

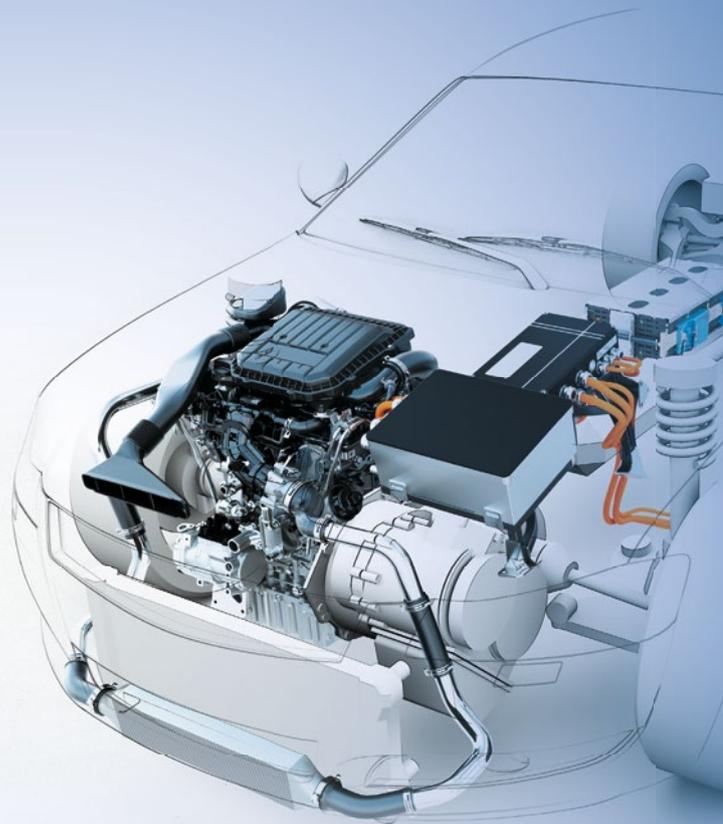
Hybride Antriebe im Wandel

/ Verbrennungsmotoren

Im Team mit Elektromotoren in veränderter Rolle

/ ENERGIESPEICHER

Traktionsbatterien und CO₂-neutrale Kraftstoffe



Spurwechseldauer und das Lenkverhalten leicht korreliert sind. Darüber hinaus können zwei ähnliche Spurwechsel in Bezug auf die Dauer des Spurwechsels im Hinblick auf das Lenkverhalten völlig

unterschiedlich sein. Da es schwierig ist, den genauen Zeitpunkt des Übergangs von der Spurhaltung zum Spurwechsel zu bestimmen, und da die Vielfalt der möglichen Spurwechsel sehr groß ist,

ist die Dauer des Spurwechsels schwer zu bestimmen.

FAZIT

Es wird vorgeschlagen, dass Trajektorien auf dem Steuerungsverhalten beruhen sollten. Dies kann dazu beitragen, Drehmomentkonflikte zu vermeiden und die Akzeptanz bei der Gestaltung von ADAS- und AD-Funktionen zu verbessern [11]. Weiterhin sind in Bezug auf die Auswirkungen des Verkehrsszenarios sowohl die Variabilität zwischen den Fahrern als auch die innerhalb der jeweiligen Fahrer relativ hoch. Daher kann die Variabilität des Spurwechsels zwischen und innerhalb des Fahrers nicht vernachlässigt werden, wenn menschenähnliche Spurwechselbahnen für ADAS- und AD-Anwendungen erstellt werden.

Betrachtet man den räumlichen Kontext, so scheint es, dass die Fahrer eine hohe Variabilität der Spurwechseldauer aufweisen, wenn die räumlich-zeitliche Kritikalität gering ist. Eine höhere Kritikalität limitiert die Fahrer in ihrer Spurwechseldauer und begrenzt auch die Variabilität. Dies deutet auf eine Art zufriedenstellendes Verhalten der Fahrer hin, bei dem einige Sicherheitseinschränkungen erfüllt sein müssen, etwa eine minimale Sicherheitsmarge für den vorausfahrenden Pkw. Wenn diese Sicherheitsanforderungen erfüllt werden, gibt es außerdem ein breites Spektrum an Fahrverhalten, das für den Fahrer akzeptabel ist, was die hohe Variabilität des Spurwechselverhaltens innerhalb des Fahrers erklärt.

AUSBLICK

Zukünftige Arbeiten sollten untersuchen, ob die Variabilität innerhalb des Fahrers eine Frage der Präferenz oder eine Frage der Gleichgültigkeit ist. Erkenntnisse darüber würden die Umsetzung menschenähnlicher Trajektorien in Assistenzsystemen enorm beeinflussen; wenn es sich tatsächlich um eine Frage der Gleichgültigkeit handelt, muss die Variabilität innerhalb des Treibers möglicherweise überhaupt nicht gemindert werden. Darüber hinaus sollten menschenähnliche Spurwechsel-Trajektorien, die auf dem Lenkverhalten basieren, implementiert und in Spurwechselunterstützungssystemen getestet werden, um zu beurteilen, ob solche Spurwechselassistentensysteme tatsächlich die Akzeptanz der Fahrer erhöhen.

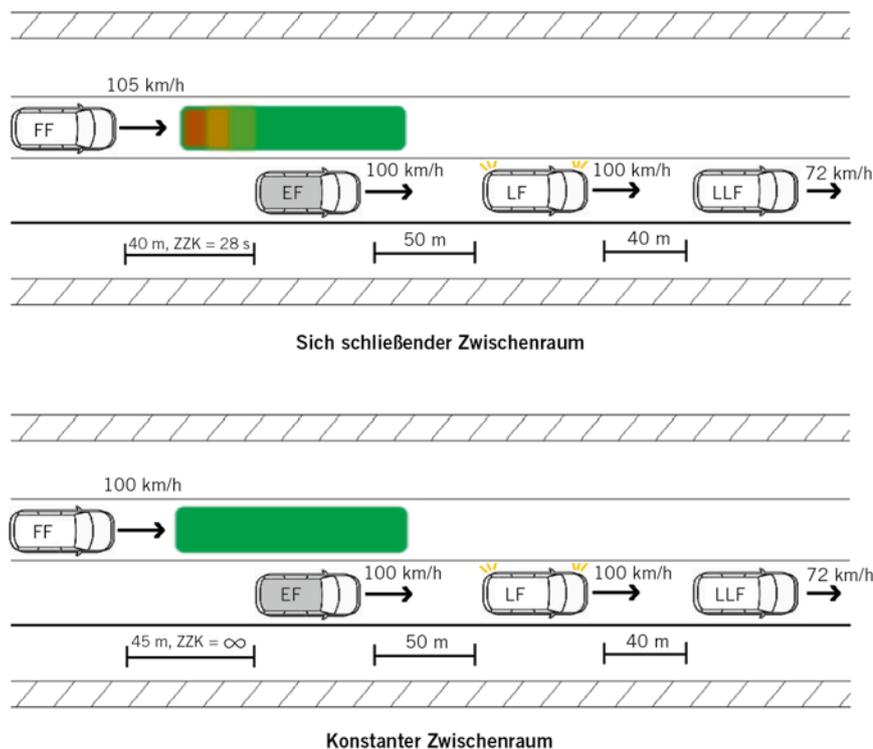


BILD 2 Parameter für die zwei verschiedenen Szenarien (© Cruden)

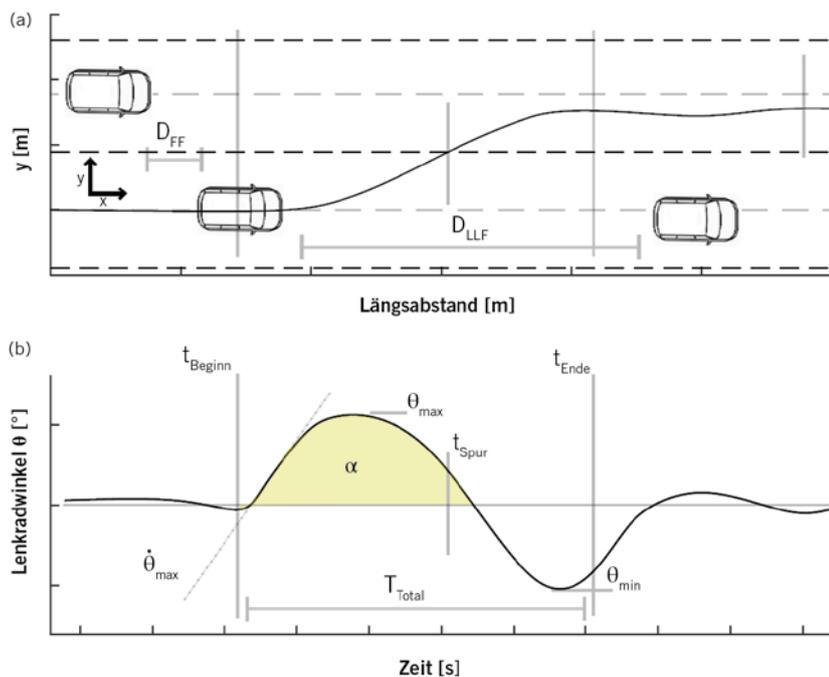


BILD 3 Verhaltensuntersuchung: (a) Spurwechseltrajectorie mit entsprechendem Lenkradwinkel θ und (b) Visualisierung der Spurwechseldauer und des Lenkverhaltens (© Cruden)

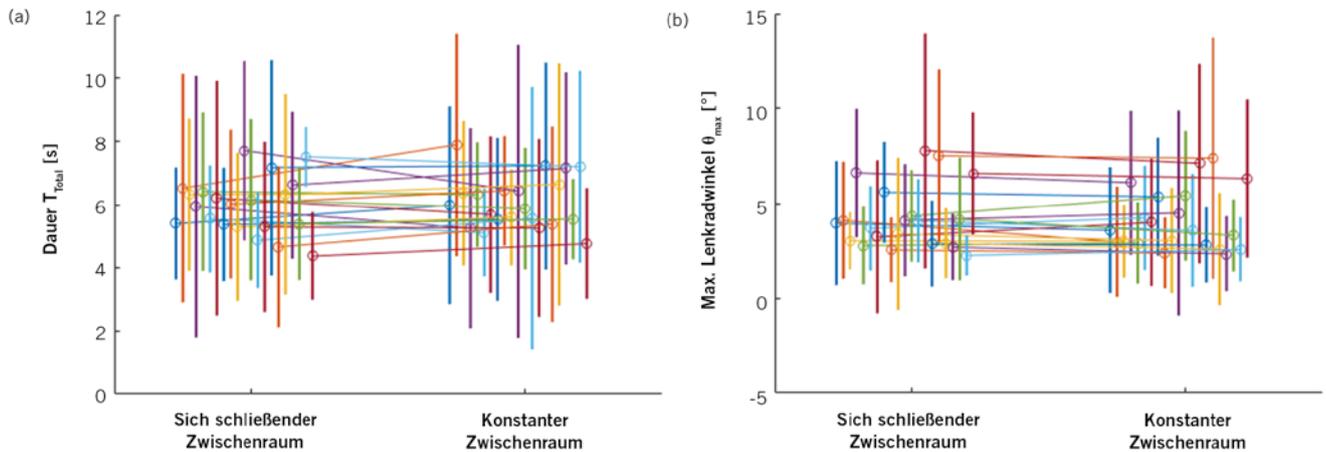


BILD 4 Zwei Szenarien: Vergleich der (a) Spurwechseldauer und (b) des maximalen Lenkwinkels θ pro Teilnehmer zwischen den Szenarien (95 % Vorhersageintervall mit vertikalen Linien, Mittelwerte der Teilnehmer beider Szenarien sind durch Linien verbunden) (© Cruden)

LITERATURHINWEISE

[1] Abbink, D. A.; Carlson, T.; Mulder, M.; De Winter, J. C. F.; Aminravan, F.; Gibo, T. L.; Boer, E. R.: A Topology of Shared Control Systems – Finding Common Ground in Diversity. In: IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Jg. 48, Nr. 5, Oktober 2018

[2] Petermeijer, S. M.; Abbink, D. A.; Mulder, M.; De Winter, J. C. F.: The Effect of Haptic Support Systems on Driver Performance: A Literature Survey. In: IEEE Transactions on Haptics, Jg. 8, Nr. 4, Oktober 2015

[3] Petermeijer, S. M.; Abbink, D. A.; De Winter, J. C. F.: Should Drivers Be Operating Within an Automation-Free Bandwidth? Evaluating Haptic Steering Systems with Different Levels of Authority. In: Human Factors: The Journal of Human Factors and Ergonomics Society, Jg. 57, Nr. 1, Februar 2015

[4] Butakov, V.; Ioannou, P.: Driving Autopilot with Personalization Feature for Improved Safety and Comfort. In: Tagungsband, IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Jg. 2015, Oktober, S. 387–393

[5] Verberne, F. M. F.; Ham, J.; Midden, C. J. H.: Trusting a Virtual Driver That Looks, Acts, and Thinks Like You. In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Jg. 57, Nr. 5, S. 895–909, August 2015, online: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0018720815580749>

[6] Tsoi, K. K.; Mulder, M.; Abbink, D. A.: Balancing safety and support: Changing lanes with a haptic lane-keeping support system. In: Tagungsband, IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, S. 1236-1243, Oktober 2010

[7] Toledo, T.; Zohar, D.: Modeling Duration of Lane Changes. In: Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Jg. 1999, S. 71–78, 2007, online: <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/1999-08>

[8] Hill, C.; Elefteriadou, L.; Kondyli, A.: Exploratory Analysis of Lane Changing on Freeways Based on Driver Behavior. In: Journal of Transportation Engineering, Jg. 141, Nr. 4, S. 04014090, April 2015, online: <http://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29TE.1943-5436.0000758>

[9] Willibald, B.; van Doornik, J.; de Vries, E.; Wiedemann, J.: Frequency response and latency analysis of a driving simulator for chassis development and vehicle dynamics evaluation. In: Tagungsband, 2015 Driving Simulator Conference, S. 16–18

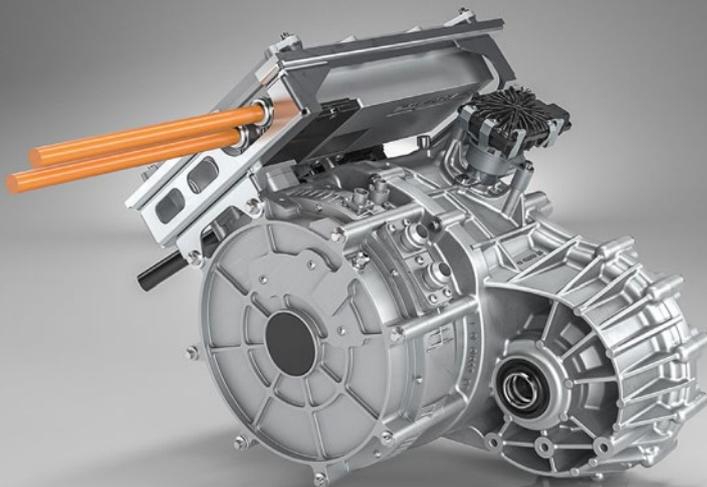
[10] de Mooij, M.; de Vries, E.; van Doornik, J.: Adaptation of the Classic Cueing Algorithm for Automotive Applications. In: Tagungsband, AIAA Scitech 2019 Forum, Reston, Virginia, USA, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Januar 2019, S. 1–12, online: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2019-0425>

[11] Parasuraman, R.; Riley, V.: Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. In: Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, Jg. 39, Nr. 2, S. 230–253, Juni 1997



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge:
www.atz-worldwide.com



SCHALTEN SIE UM AUF E-MOBILITÄT

WIR UNTERSTÜTZEN SIE DURCH UNSERE EXPERTISE BEI DER ENTWICKLUNG VON KOMPAKTEN ELEKTRISCHEN ANTRIEBSEINHEITEN

- FEV Getriebeösungen für Elektrofahrzeuge und P4-Hybride:
- > Kompakte 1-Gang und lastschaltfähige Mehrganggetriebe
 - > Skalierbare Konstruktionen für einen großen Drehmoment-/Leistungsbereich
 - > Kurzfristige Markteinführung durch Verwendung erprobter Bauteilgruppen
 - > Park-by-wire System optional
 - > Anbau-Steuergerät mit umfangreichen Softwarefunktionen
 - > Rekuperations- und Segelfunktion