

AUTOREN



Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Seda Aydogdu

ist Projektingenieurin im Forschungsbereich ADAS/AD der MdynamiX AG in Kempten und Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsbereich ADAS/AD der Hochschule Kempten.



Brad Bosma

ist Vice President Vision Systems and Dimmable Glass bei der Gentex Corporation in Zeeland (USA).



Corinna Seidler, M. Sc.

ist Wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsbereich ADAS/AD der Hochschule Kempten.



Prof. Bernhard Schick

ist Leiter des Forschungsbereichs ADAS/AD der Hochschule Kempten und CEO der MdynamiX AG in Kempten.

Nutzererfahrung mit kamerabasierten Rückspiegeln

Kamerabasierte Rückspiegel bieten das Potenzial, ein größeres Sichtfeld zu schaffen und rückwärtige Verkehrsinformationen besser anzuzeigen. Das Adrive Living Lab, eine Forschungseinrichtung der Hochschule Kempten, hat in Kooperation mit MdynamiX, einem An-Institut der Hochschule München, und Gentex eine Kundenakzeptanzuntersuchung sowie eine Feldstudie zu einem kamerabasierten Hybridspiegel durchgeführt. Dabei wurden die Nutzererfahrungen, die Nutzerakzeptanz und die Kundenwünsche im Bezug auf einen digitalen Rückspiegel im realen Straßenverkehr analysiert und ausgewertet.



© Hochschule Kempten

1	MOTIVATION
2	DER HYBRIDSPIEGEL
3	GRUNDLAGEN DER METHODIK
4	ERGEBNISSE
5	ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

1 MOTIVATION

Wie viele Untersuchungen zeigen, schafft Sicht Sicherheit und Vertrauen [1, 2]. Autofahrer wünschen sich in vielen Situationen mehr Sicht nach hinten. Immer stets den Überblick zu halten, ist beim konventionellen Rückspiegel heute aufgrund von Sichtbehinderungen durch Kopfstützen, C- und B-Säulen und Heckklappen mit kleinen Fenstern zunehmend schwieriger möglich. Kameras am Fahrzeug können hingegen – je nach Einbauort – nahezu den kompletten Bereich hinter dem Fahrzeug erfassen. Die Bilder können in Echtzeit auf das Display des digitalen Rückspiegels übertragen werden und bieten ein erweitertes Sichtfeld, allerdings muss der Fahrer immer wieder das Bild auf dem Display fokussieren, was auf Dauer zu einer Ermüdung führen kann. Außerdem geben Monitore ein zweidimensionales Bild wieder, das die Einschätzung der Entfernung zu anderen Objekten – insbesondere bei Rückwärtsmanövern – erschwert.

Abgesehen von diesen Defiziten bietet der Displaymodus überwiegend Vorteile. Neben einem breiten und uneingeschränkten Blick nach hinten erweitern die Kameras auch die Sicht auf den toten Winkel. Die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer wird somit erheblich verbessert, vor allem für Radfahrer und Fußgänger. Soweit die Theorie – aber wie erleben die Nutzer einen Displayspiegel? Wird er akzeptiert und sein Nutzen erkannt? Die folgende Studie geht dieser Frage nach.

2 DER HYBRIDSPIEGEL

Bei digitalen Rückspiegeln ist die Positionierung der Kameras und Monitore eine der größten Herausforderungen. Das Display sollte sich idealerweise im natürlichen Sichtfeld des Fahrers befinden und vor direkter Sonneneinstrahlung geschützt sein, um beispielsweise Reflexionen zu vermeiden. Abhängig vom Fahrzeugdesign stehen die Seitenkameras in den Außenspiegeln vom Fahrzeug ab und müssen so konstruiert sein, dass sie bei einem Unfall einklappen. Diese technischen Herausforderungen erhöhen die Gesamtkosten des Systems und sind ein Problem, insbesondere im Niedrigpreissegment.

Darüber hinaus variieren die Standards und gesetzlichen Anforderungen für das Sichtfeld des Fahrers von Land zu Land, was es den Automobilherstellern erschwert, eine global kompatible Lösung zu finden. In der EU zum Beispiel erlaubt die UNECE-Verordnung Nr. 46 die Verwendung von Kameras und Displays für die Sicht nach hinten. In den USA und Kanada ist laut Gesetzesanforderungen immer noch ein Standardinnenspiegel erforderlich.

Vor diesem Hintergrund hat Gentex ein Spiegelsystem als Hybridlösung entwickelt, den sogenannten Full Display Mirror (FDM). Der FDM fungiert sowohl als Spiegel als auch als Display. Das intelligente System besteht aus einer nach hinten gerichteten Kamera, die beispielsweise an der Heckscheibe oder in der Antenne positioniert ist, und einem im Rückspiegel integrierten Display. Der Spiegel bietet zwei verschiedene Modi: Im Spiegel-

modus funktioniert er als automatisch abblendbarer Standardrückspiegel. Durch betätigen eines Kipphebels wird der Spiegel in den kamerabasierten Anzeigemodus versetzt. Videobilder, die von zwei weiteren rückwärtigen Kameras in den Außenspiegeln (Dreikamerasystem) übertragen werden, können ebenfalls in den FDM eingebettet oder in nur einem Bild dargestellt werden. Der FDM erfüllt weltweit die gesetzlichen Anforderungen und ist somit global einsetzbar.

Der Displayspiegel von Gentex ist seit einigen Jahren auf dem Markt und wird derzeit in rund 30 Fahrzeugmodellen von sieben Automobilherstellern verbaut, darunter General Motors (Buick, Cadillac, Chevrolet und GMC), Nissan (Nissan und Infiniti), Toyota (Toyota und Lexus), Subaru und Jaguar Land Rover. Die Studie zum FDM wurde in Ergänzung zur Markteinführung erstellt, um das Nutzerverhalten auf wissenschaftlicher Basis zu untersuchen und um Optimierungspotenziale abzuleiten.

3 GRUNDLAGEN DER METHODIK

Um sicherzustellen, dass der FDM tatsächlich benutzt wird, muss seine Entwicklung anwenderorientiert sein. Das bedeutet, dass neben den Kosten auch die technische Machbarkeit, die Standards, die menschlichen Fähigkeiten, Bedürfnisse und Wünsche berücksichtigt werden müssen [1-3]. Zur Erforschung der Nutzererfahrungen, -akzeptanz und der Kundenwünsche des FDMs im realen Einsatz wurden zwei umfangreiche Studien durchgeführt. In der Akzeptanzstudie in Deutschland nutzten 60 Probanden im Rahmen von definierten Testfahrten und Fahrmanövern erstmalig einen Hybridspiegel und wurden dazu befragt. Darüber hinaus wurden in einer Feldstudie in den USA 73 Probanden, die ein solches System in Ihrem eigenen Fahrzeug verbaut haben, zu Ihren Langzeiterfahrungen befragt.

3.1 AKZEPTANZSTUDIE

Für die Akzeptanzstudie wurden zwei Testfahrzeuge mit je einem FDM ausgerüstet. Die Testpersonen sollten während der Testfahrt zwischen Spiegel- und Displaybild nach ihrem Wunsch wechseln, um beide Modi zu testen, **BILD 1**. Für eine gesamtheitliche Sichtweise wurde ein Team mit Spezialisten aus den Bereichen Mensch-Maschine-Interface (Human-Machine-Interface, HMI), Psychologie und Produkt- und Datenanalyse zusammengestellt. In Experten-Workshops legten sie das Vorgehen und die detaillierten Untersuchungsinhalte fest. Der Einsatz von Methoden wie Quality Function Deployment (QFD) [4], Kano [5] und Technology Acceptance



BILD 1 Kamerabasierter Hybridspiegel mit zwei Modi (Display- und Spiegelmodus) (© Gentex)

Model (TAM) [6] stellt sicher, dass die Ergebnisse in eine nutzerzentrierte Entwicklung einfließen können. Die Ergebnisse der Experten-Workshops resultierten in einem Ebenenmodell aus Kunden- und Expertenbewertung. Zusätzlich wurde ein Verfahren zur objektiven Beurteilung mittels Ermittlung der Pupillenbewegung (Eye-Tracking) erstellt. Bei der Planung der experimentellen Studie fanden insbesondere folgende Kriterien Berücksichtigung:

- verschiedene Routen auf öffentlichen Straßen (Autobahn, Landstraße, Stadt)
- verschiedene Manöver (Spurwechsel, Überholvorgang, Parken)
- verschiedene Geschwindigkeiten (Autobahn: 140-160 km/h, Landstraße: 80-100 km/h, Stadt: 30-60 km/h)
- Fahrten bei Tageslicht und Dunkelheit
- Interview mit offenen Fragen
- Fragenkatalog mit geschlossenen Fragen (beispielsweise mittels sogenannter Intuitiver Interaktionsbögen (INTUI) [7-9] sowie Safety-Gain- und Trust-in-Automation-Methoden [10])
- Bewertungskatalog nach dem Ebenenmodell
- Methoden wie QFD, Kano, TAM
- objektive Messung mittels Eye-Tracking.

Die Akzeptanzstudie umfasste eine Untersuchung bei Tageslicht mit 40 Probanden, eine Nachtfahrt mit fünf Personen und eine Eye-Tracking-Studie mit 15 Testnutzern. Insgesamt nahmen 60 Testfahrer im Alter von 18 bis 66 Jahren (mittleres Alter = 30,87 Jahre; Standardabweichung (SD) = 12,38 Jahre; 30 % Frauen und

70 % Männer) an den Testfahrten teil, **BILD 2**. Im Durchschnitt wurde die jährliche Laufleistung mit 17.779 km/Jahr (SD = 8378 km/Jahr) angegeben. Die Technologieaffinität (1 = sehr hoch; 7 = keine) war in der Stichprobe relativ hoch (Mittelwert (MW) = 2,10; SD = 1,32). Die Teilnehmer wurden im Rahmen einer Ausschreibung für die Studie gewonnen und haben unentgeltlich mitgewirkt. Den Probanden wurde zu Beginn jeder Studienteilnahme der Ablauf erläutert, zudem erfolgte eine dreistufige Einweisung in System und Fahrzeug.

3.2 FELDSTUDIE

An der Feldstudie in den USA haben insgesamt 73 Fahrzeugbesitzer (53 % Männer und 47 % Frauen; davon 60 % Kontaktlinienträger) teilgenommen, die über einen FDM im Fahrzeug verfügen. Über einen zusätzlichen Online-Fragebogen wurden die Probanden über die Wahrnehmung, Nutzung und Zufriedenheit des Spiegels abgefragt.

4 ERGEBNISSE

4.1 ERGEBNISSE DER AKZEPTANZSTUDIE

Aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes wird die Normalverteilung als Grundlage für die nachfolgenden Berechnungen verwendet [11]. Der INTUI ergab, dass FDM mit Mühelosigkeit, aber auch mit Leichtigkeit und Einfachheit gleichgesetzt wird (MW = 5,85, SD = 0,97), nicht aber mit Anstrengung, Orientierungslosigkeit oder hoher Aufmerksamkeit. Das Produkt wird mehr mit einem enthusiastischen, magischen Erlebnis oder einem mitreißenden Produkt in Verbindung gebracht (MW = 4,73, SD = 1,14) und nicht als unbedeutend oder irrelevant bewertet. Auch die Bedienung des FDMs wird als intuitiv eingestuft (MW = 5,90, SD = 1,01). Die Aufteilung des Faktors „Vertrauen in die Automatisierung“ in zwölf Einzeleigenschaften führten zu einer hohen Zuverlässigkeit von $\alpha = 0,90$ (Konsistenz gemäß Cronbachs Alpha). Die auf einer Skala von 1 = „hohes Vertrauen“ bis 7 = „kein Vertrauen“ erfassten Werte zeigten ein durchschnittlich hohes Vertrauen in den FDM (MW = 2,59, SD = 1,07). Das erlebte Sicherheitsgefühl, das mit vier Einzeleigenschaften erfasst wurde, wurde von den Testpersonen relativ gut bewertet (MW = 3,32, SD = 1,35). Wie bei dem Faktor für die Eigenschaft „Vertrauen in die Automatisierung“ konnte eine gute Zuverlässigkeit von $\alpha = 0,80$ (Cronbachs Alpha) festgestellt werden [3].

Die Probanden gaben an, dass das Sichtfeld in allen Streckenabschnitten im Displaymodus signifikant besser oder viel besser sei als mit konventionellem Spiegelmodus, **BILD 3**. Auch in Bezug auf die Eigenschaften „Anzeige“, „Sicherheitsgefühl“ und „Entlastungsgrad“ gab es deutliche Unterschiede in den Streckenabschnitten. Die sogenannte Market Opportunity Map (MOM) zeigt, dass der Spiegel in allen Bewertungskriterien außer „Bedienung“ und „Verfügbarkeit“ signifikant schlechter bewertet wurde als der FDM, unabhängig von der Wichtigkeit des Kriteriums, **BILD 4**.

Anhand einer Zeichnung konnten die Probanden ihre subjektive Einschätzung über die Breite des Sichtfelds mit Spiegel gegenüber dem Displaymodus aufzeigen. **BILD 5** zeigt das Ergebnis. Insgesamt haben die Testpersonen angegeben, mit dem FDM ein um 85 % größeres Sichtfeld zur Verfügung zu haben.

Im Hinblick auf die Akkomodationsstörungen gaben 75 % der Befragten an, dass keine Probleme aufgetreten sind. Insgesamt 10 % berichteten über Fokussierungsprobleme, 15 % der Teilnehmer hatten teilweise Probleme. **BILD 6** zeigt, wie schnell sich die

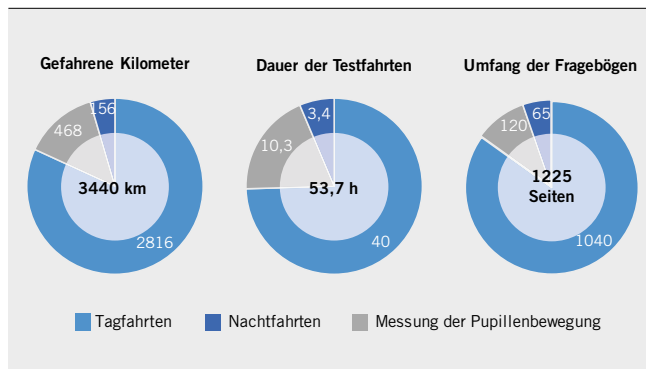


BILD 2 Kundenakzeptanzstudie mit 60 Probanden (© Hochschule Kempten)

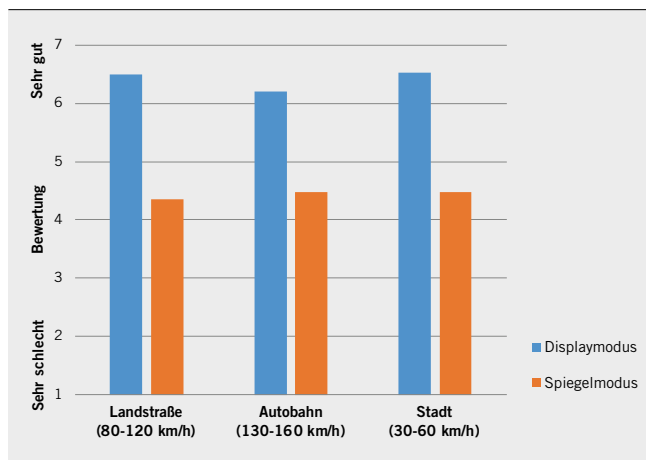


BILD 3 Bewertung des Sichtfelds im Display- und Spiegelmodus in allen Streckenabschnitten (© Hochschule Kempten)

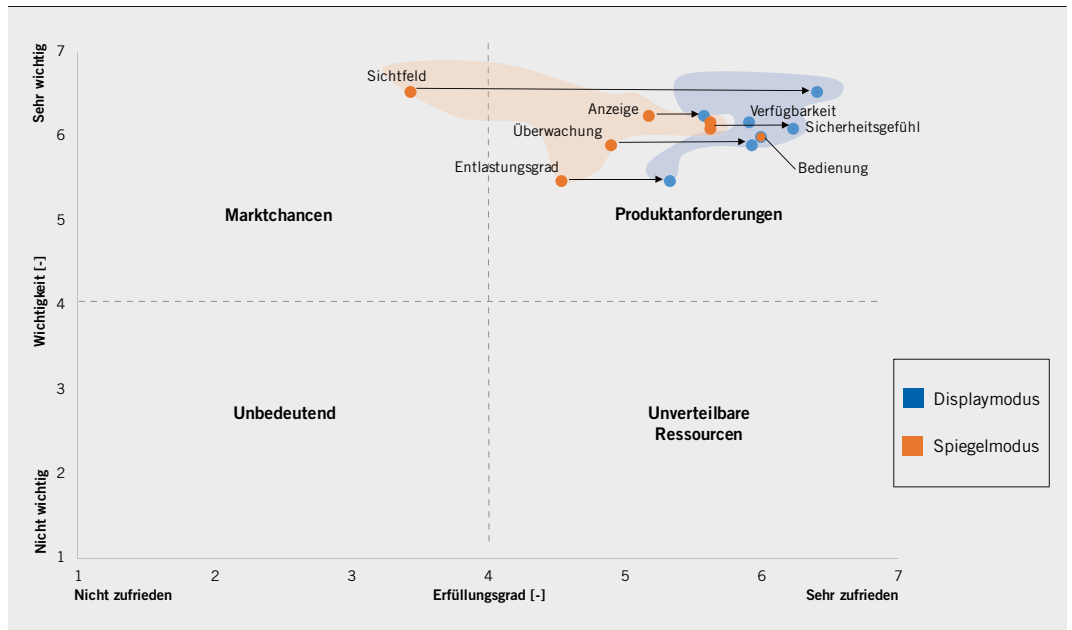


BILD 4 Marktuntersuchung (Market Opportunity Map) Spiegel- gegenüber Displaymodus (© Hochschule Kempten)

Probanden an den Displayspiegel gewöhnen konnten. 82,5 % der Testfahrer bewerteten ihre Gewöhnung an den FDM als relativ schnell.

Die Kaufentscheidung für die getestete Hybridversion (FDM) betrug 57,5 %, die Empfehlungsrate 75 % und die Reifegradeinschätzung (MW = 71,5 %, SD = 15,56 %; Bereich 0-100 %) verdeutlichte eine hohe Produktqualität. Die Auswertung der Fragen zum Kano-Modell zeigte, dass der FDM ein begeisterndes Merkmal für die Probanden ist.

4.2 ERGEBNISSE DER FELDDSTUDIE

Wie oben beschrieben bezieht sich die Feldstudie auf Fahrzeugbesitzer, die ein FDM-System an Bord haben. 64 % der Fahrer wurden beim Autokauf über die Funktionalität durch den Händler aufmerksam gemacht, weitere 23 % haben den FDM über eigene Recherchen beim Autokauf für sich entdeckt. 11 % der Nutzer

sind über allgemeine Internetrecherchen darauf aufmerksam geworden und 1 % der Befragten wurde der Displayspiegel von Familienmitgliedern empfohlen.

90 % der FDM-Besitzer gefiel die Möglichkeit, zwischen Spiegel- und Displaymodus wechseln zu können. Nur 11 % der Befragten gaben an, den Displaymodus überhaupt nicht zu nutzen, während 15 % ausschließlich den Displaymodus verwenden. Die Mehrheit der FDM-Besitzer nutzt den Displaymodus bis zu 50 % während ihrer Autofahrt.

25 % der Nutzer gaben an, sich direkt beim ersten Mal an die Verwendung des Displays gewöhnt zu haben. Weitere 32 % gewöhnten sich nach den ersten Tagen und 26 % nach den ersten Wochen an die Nutzung des Displayspiegels. Nur 17 % gaben an, dass sie sich nicht an das System gewöhnen konnten. Überraschenderweise waren die Gewöhnungsraten bei Nutzern mit und ohne Kontaktlinsen nahezu identisch.

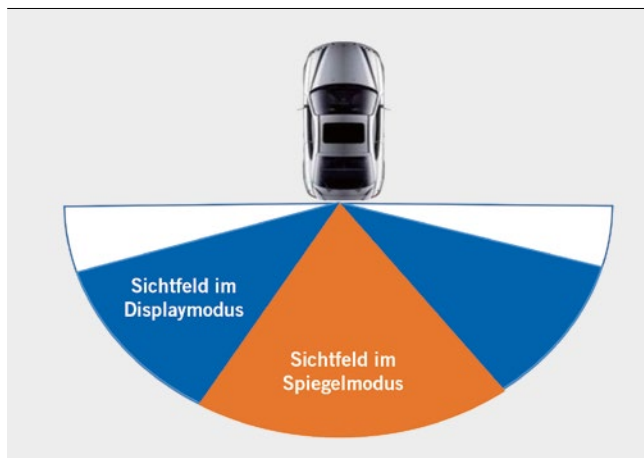


BILD 5 Einschätzung der Probanden zum Sichtfeld im Spiegel- gegenüber dem Displaymodus (© Hochschule Kempten)

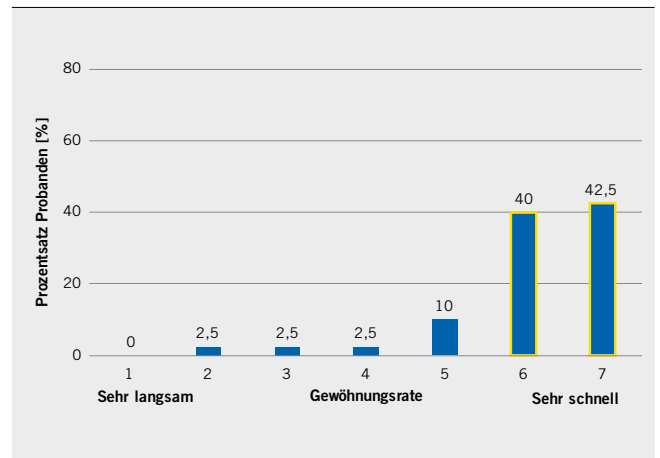


BILD 6 Subjektive Einschätzung der Probanden zur Gewöhnung (© Hochschule Kempten)

82 % der FDM-Besitzer beschrieben, dass der Displaymodus ein breiteres Sichtfeld bietet. 62 % gaben an, den rückwärtigen Verkehr somit besser überblicken zu können und 32 % fällt der Spurwechsel mit dem Displaymodus leichter. Im Spiegelmodus können 61 % die Entfernungen besser einschätzen, insbesondere bei Rückwärtsmanövern. 57 % der Nutzer schätzen den Spiegelmodus, weil sie Fahrgäste, Kinder und den Fahrzeuginnenraum besser im Blick haben. 15 % nutzen den Spiegelmodus, um sich selbst anzusehen. 81 % der Befragten stimmten der Aussage zu, dass der Displaymodus das Sichtfeld nach hinten erweitert. 94 % sind mit der Qualität des Displaymodus zufrieden.

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Ergebnisse zeigen, dass es signifikante Unterschiede in der Bewertung von FDM und konventionellem Spiegel gibt. Der FDM als neue Technologie wird bereits nach einer kurzen Probefahrt positiv bewertet und hat eine hohe Akzeptanzquote. Ein Vergleich von FDM und Spiegel zeigt deutlich, dass insbesondere das breitere Sichtfeld des FDMs zu einer positiven Einschätzung führt. Der Einsatz eines FDMs bietet großes Potenzial zur Verbesserung der Sicherheit, da das Sichtfeld viel größer ist und damit Gefahren besser erkannt werden können. Die Möglichkeit, mittels Kippschalter manuell vom Display- auf den Spiegelmodus umschalten zu können, erhöht das Vertrauen in das System.

In naher Zukunft soll der FDM von Gentex um einige Funktionen erweitert werden. Die Übertragung der Bilder einer Rückfahrkamera, mehrere Videosignale als eine Bild-in-Bild-Darstellung oder Bilder eines Anhängers am Auto könnten Zusatzfunktionen werden. Warnhinweise und Informationen wie beispielsweise die Navigationsanzeige oder Fahrerassistenz-Warnhinweise zur Verkehrszeichenerkennung oder für Spurwechsel sind ebenfalls in der Planung. Die nach hinten gerichtete Kamera des FDMs könnte in Verbindung mit Algorithmen für Maschinelles Sehen (Machine Vision) dazu verwendet werden, Fußgänger, Radfahrer und andere potenzielle Gefahren frühzeitig zu erkennen.

LITERATURHINWEISE

[1] Schick, B.; Seidler, C.; Aydogdu, S.; Kuo, Y.-J.: Fahrerlebnis versus mentaler Stress bei der assistierten Querführung. In: ATZ 121 (2019), Nr. 2, S. 74-79
 [2] Aydogdu, S.; Seidler, C.; Schick, B.: Trust Is Good, Control Is Better? – The Influence of Head-Up Display on Customer Experience of Automated Lateral Vehicle Control. HCl in Mobility, Transport, and Automotive Systems, Basel: Springer International Publishing, 2019
 [3] Seidler, C.; Aydogdu, S.; Schick, B.: User Experience in Real Test Drives with a Camera Based Mirror – Influence of New Technologies on Equipping Rate for Future Vehicles. HCl in Mobility, Transport, and Automotive Systems, Basel: Springer International Publishing, 2019
 [4] Saatweber, J.: Kundenorientierung durch Quality Function Deployment: Systematisches Entwickeln von Produkten und Dienstleistungen. 3. Auflage, Düsseldorf: Symposion Publishing
 [5] Hölzing, J.A.: Die Kano-Theorie der Kundenzufriedenheitsmessung: Eine theoretische und empirische Überprüfung. 1. Auflage, Wiesbaden: Gabler, 2007
 [6] Davis, F.D.: A technology acceptance model for empirically testing new end-user information systems: Theory and results. Dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1985
 [7] Ullrich, D.: Intuitive Interaktion: Eine Exploration von Komponenten, Einflussfaktoren und Gestaltungsansätzen aus der Perspektive des Nutzererlebens. Dissertation, Technische Universität Darmstadt, 2014
 [8] Ullrich, D.; Diefenbach, S.: From magical experience to effortlessness: an exploration of the components of intuitive interaction. Tagungsband 6th Nordic Conference on Human Computer Interaction Extending Boundaries, ACM Digital Library, 2010
 [9] Ullrich, D.; Diefenbach, S.: INTUI exploring the facets of intuitive interaction. Mensch & Computer 2010: Interaktive Kulturen. München: Oldenbourg Verlag, 2010
 [10] Gold, C.; Körber, M.; Hohenberger, C.; Lechner, D.; Bengler, K.: Trust in automation – before and after the experience of take-over scenarios in a highly automated vehicle. In: Procedia Manufacturing 2015, Nr. 3, S. 3025-3032
 [11] Döring, N.; Bortz, J.: Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

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

