

AUTOREN



**Prof. Bernhard Schick**  
ist Leiter des Forschungs-  
bereichs ADAS/AD der  
Hochschule Kempten.



**Corinna Seidler,**  
**M. Sc. Psych.**  
ist wissenschaftliche  
Mitarbeiterin im  
Human-Factor-Team  
im Forschungs-  
bereich ADAS/AD der  
Hochschule Kempten.



**Dipl.-Wirtsch.-Ing. (FH)**  
**Seda Aydogdu**  
ist Projektengineurin  
im Forschungsbereich  
ADAS/AD der MdynamiX AG  
in München.



**Yu-Jeng Kuo, M. Sc.**  
ist wissenschaftlicher Mit-  
arbeiter im Human-Factor-  
Team im Forschungs-  
bereich ADAS/AD der  
Hochschule Kempten.

## Fahrerlebnis versus mentaler Stress bei der assistierten Querführung

Die assistierte Querführung wie das Spurhalteassistenzsystem ist ein Schlüssel zur erfolgreichen Einführung des hochautomatisierten Fahrens. Was empfindet der Kunde beim Einsatz von Spurhalteassistenzsystemen, und welche psychischen und physischen Belastungen lösen die verschiedenen Fahrsituationen aus? Welche Erwartungen hat er an das Fahrerlebnis? Was wird als angenehm und unangenehm empfunden, was wird akzeptiert, und welche Attribute sind inakzeptabel? Die Hochschule Kempten und MdynamiX sind diesen Fragen in breit angelegten Studien mit insgesamt 120 Probanden im Realeinsatz nachgegangen.



© Hochschule Kempten

1	MOTIVATION
2	LKAS-FUNKTION – STAND DER TECHNIK
3	GRUNDLAGEN DER METHODDIK
4	ERGEBNISSE
5	ZUSAMMENFASSUNG

## 1 MOTIVATION

Die Kundenakzeptanz der assistierten Fahrfunktionen in den Stufen 1 und 2 (Advanced Driver Assistance Systems, ADAS) ist von immenser Bedeutung und der Schlüssel zu einer erfolgreichen Einführung des automatisierten Fahrens (Automated Driving, AD) gemäß Stufe 3+. Schließlich wird die Kundenakzeptanz durch den erzielten Nutzen, die Benutzerfreundlichkeit und ein positives Fahrerlebnis beeinflusst. Die Hochschule Kempten und die MdynamiX AG haben sich zum Ziel gesetzt, die Fahreigenschaften von ADAS/AD zu erforschen und mit subjektiven sowie objektiven Kriterien zielsetzungsfähig zu werden. Im Rahmen der Studie beklagten sich selbst Experten über eine zu hohe Belastung und Stress bei der Nutzung des Spurhalteassistenzsystems (Lane Keeping Assistance System, LKAS). Daraus entstand die Idee, mittels Probandenstudien diesen Fragestellungen im Realeinsatz nachzugehen und den Endnutzer zu befragen.

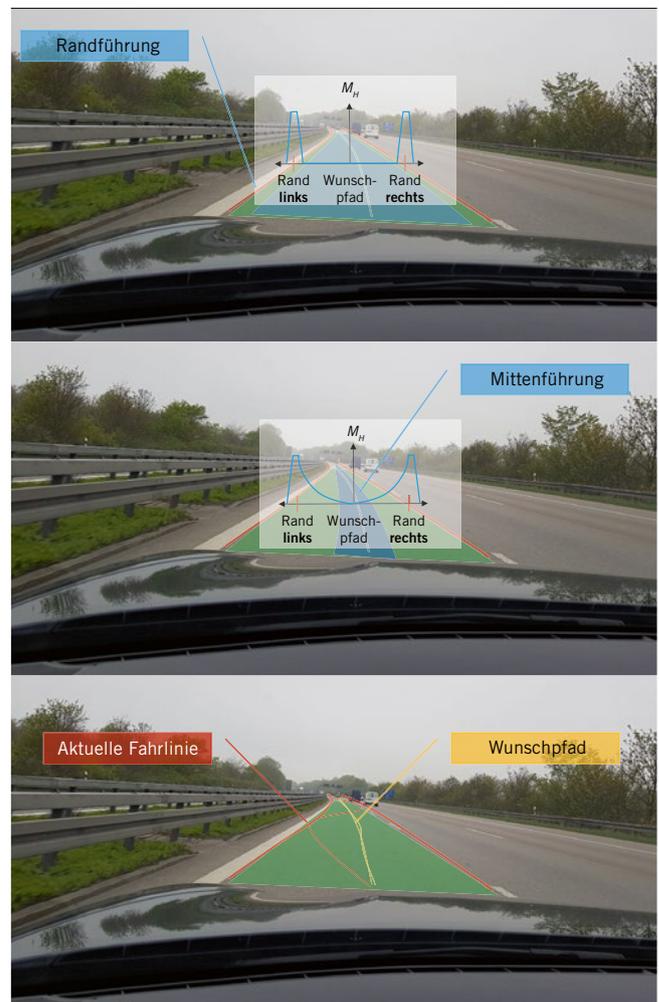
## 2 LKAS-FUNKTION – STAND DER TECHNIK

Es existieren zwei Arten von LKAS. Die Randführung (Typ 1) unterstützt mit einem abrupten Lenkmomenteingriff nur bei der Annäherung an die Fahrspurbegrenzung, **BILD 1** (oben). Bei der Mittenföhrung (Typ 2) wird hingegen auch im Mittenbereich die mittige Spurföhrung unterstützt, **BILD 1** (Mitte). Der Eingriff des Lenkmoments ist vergleichbar mit einer Halbpfe oder einem V-Profil. Die in den Studien eingesetzten Testfahrzeuge waren alle mit LKAS Typ 2 mit Lenkmomentregelung ausgestattet. Dort fiel insbesondere die mäßige Spurföhrungsgüte und das Driftpendeln bei nahezu allen Vergleichsfahrzeugen auf, **BILD 1** (unten). Durch Eigen- oder Fahrbahnregungen, wie zum Beispiel Fahrbahnverschränkungen, traten unvorhergesehene Durchbrüche der Fahrspurbegrenzung auf. Zusätzlich wurden unvorhersehbare plötzliche Systemabwürfe festgestellt, woraus ein erhöhter Stresspegel resultierte und hierdurch eine geringere Kundenakzeptanz unterstellt wurde.

## 3 GRUNDLAGEN DER METHODDIK

Die subjektiven und objektiven Merkmale wurden in ein sogenanntes Ebenenmodell überföhrt und verknüpft. Dies besteht aus der subjektiven Kundenbewertung, der subjektiven Expertenbewertung und den verlinkten objektiven Eigenschaftsmerkmalen (Key Performance Indicators, KPIs) [1]. Auf der obersten subjektiven Kundenebene sind die Hauptkriterien wie Spurföhrungsgüte, Randföhrung, Fahrzeugreaktion, Fahrer-Fahrzeug-Interaktion, Verfügbarkeit, Entlastungsgrad, Sicherheitsgeföhl und HMI aufgeföhrt, die auf der subjektiven Expertenebene in weiteren Subkriterien detaillierter beschrieben sind. Zur Objektivierung der subjektiven Expertenkriterien (KPIs) wurden neue Mess- und Testmethoden basierend auf Ground-Truth-Methoden entwickelt [1]. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wurden drei Probandenstudien durchgeföhrt:

- Studie 1: Stressstudie mit Erfassung subjektiver Belastung sowie objektiver Messung von physiologischen Parametern auf Basis eines Fahrzeugs
- Studie 2: Benchmarkstudie zur Erfassung der Kundenanforderungen mit drei Premiumfahrzeugen
- Studie 3: Validierungsstudie zur Untersuchung des Gewöhnungseffekts auf Basis eines Fahrzeugs.



**BILD 1** Stand der Technik LKAS Typ 1 und 2 (© Hochschule Kempten)

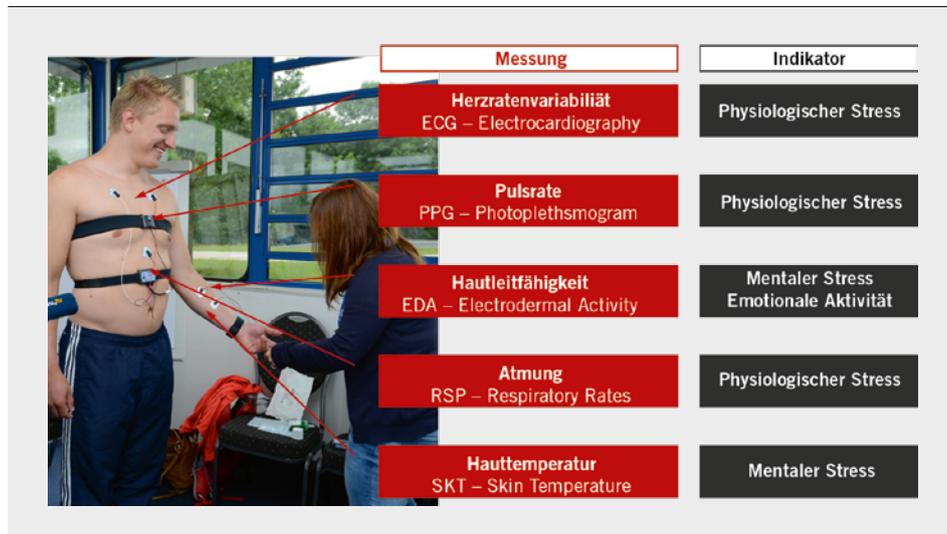


BILD 2 Messung der physiologischen Parameter (© Hochschule Kempten)

Um das Thema ganzheitlich zu bearbeiten, wurde ein Team mit Spezialisten aus den Bereichen Psychologie, Fahrdynamik, Messtechnik, Produkt- und Datenanalyse zusammengestellt.

Aber was ist Stress? Dies ist eine psychologische und physische Reaktion, die durch spezifische äußere Reize verursacht wird, um schwierige Aufgaben zu meistern [2]. Im Allgemeinen ist es eine Schutzreaktion, die uns zu mehr Leistung führen soll, die aber als unangenehm empfunden wird und uns sogar krank machen kann. Reduzierter Stress im Rahmen der Fahraufgabe ist dagegen die Erleichterung der Fahraufgabe, Reduzierung der Fahrerbelastung, Erhöhung des Fahrkomforts sowie die Erhöhung der Fahrerleistung. Dies verbessert damit die Fahrsicherheit, was vom LKAS gewünscht wäre.

### 3.1 STRESSSTUDIE

Basierend auf den vorliegenden Erfahrungen wurden folgende Arbeitshypothesen entwickelt. Die Bewertung des LKAS wird beeinflusst durch den subjektiv erlebten Stress, die Belastung des Fahrers, den erlebten Fahrspaß und den erlebten Fahrkomfort. Der subjektive Stress und die Belastung des Fahrers sind abhängig vom LKAS. Diese sind mit LKAS höher als ohne LKAS. Die physiologischen Werte und objektiven Stressindikatoren sind vom LKAS-Einsatz abhängig und korrelieren [3].

50 Probanden im Alter von 18 bis 65 Jahre wurden für die Studie ausgewählt. Ein aktuelles Testfahrzeug aus der Luxusklasse war mit einer High-end Inertial Measurement Unit (IMU) mit Real Time Kinematic Differential-Global Positioning System (RTK D-GPS) zur präzisen Erfassung der Fahrzeugposition und -bewegung ausgestattet. Zusätzlich wurden CAN/FlexRay-Bussignale wie Lenkwinkel, Lenkmoment, Fahreranzeigen und Objektinformationen der Kamera aufgezeichnet. Ebenso wurden die physiologischen Parameter der Probanden wie die Herzratenvariabilität (EKG), Hautleitfähigkeit (EDA), Herzfrequenz (PPG) und die Atmung (RSP) erfasst, **BILD 2**. Zusätzlich zu bestehenden Fragebögen wie der NASA-TLX [3] sowie Fahrspaß und Komfort von Anna Engelbrecht [5] wurden eigene Fragen entwickelt, um einen vollständigen Einblick in die Fahrtätigkeit mit LKAS zu erhalten. Alle Probanden durchliefen einen einheitlichen Prozess mit Erläuterungen, Eingangsfragen, Instrumentierung, **BILD 2**, Einweisung ins Fahrzeug, Gewöhnungs-

phase, Fahren mit und ohne LKAS auf der Autobahn und Landstraße mit 120 und 160 km/h, subjektive Stressbewertung während und nach der Fahrt sowie Ergebnisfragen [3].

### 3.2 BENCHMARKSTUDIE

Die Benchmarkstudie mit 50 Probanden sollte folgende Fragen beantworten: Was will der Kunde? Welche Eigenschaften werden als gut bewertet und daher akzeptiert? Welche enttäuschen und welche sind inakzeptabel? Was sind die Systemunterschiede in den getesteten Fahrzeugen? Wie ist die Interaktion der Kunden mit den Systemen? Ab welchem Reifegrad ist der Kunde bereit, das System zu nutzen?

Zum Einsatz kamen drei aktuelle Premium-Fahrzeuge verschiedener Hersteller. Das Testprogramm wurde ohne physiologische Messungen und psychologische Fragen durchgeführt. Vielmehr wurde ein geschlossener und offener Befragungsprozess nach den Quality Function Deployment (QFD), Kano-Methoden und auf Basis einer Wirkungskettenanalyse entwickelt [4]. Damit sollten sich die Kundenanforderungen an das LKAS herausarbeiten lassen. Um die einzelnen Kriterien der Kundenebene bewerten zu können, wurden die Probanden während der Testfahrt in relevante Situationen und Manöver instruiert. Nach jeder Erfahrung wurden die Bewertungen sowie Anforderungen und Wünsche direkt in einem offenen Fragebogendialog erfasst.

Die 50 Probanden waren zu circa 50 % aus der Stressstudie und damit zumeist mit dem LKAS vertraut. Diese wurden zufällig in zwei Gruppen aufgeteilt: Jede Gruppe hatte eines der Fahrzeuge 2 oder 3 gegenüber dem Referenzfahrzeug 1 zu bewerten. Insgesamt wurden 100 Testfahrten auf über 4000 km durchgeführt. Hierbei sollten Unterschiede, Stärken und Schwächen sowie potenzielle Optimierungspotenziale abgeleitet werden. Die Frage nach der Wichtigkeit der Kriterien wurde jeweils vor und nach der Probefahrt gestellt, um eine mögliche Sensibilisierung der Probanden für bestimmte Kriterien festzustellen. Zur Analyse wurden Methoden wie QFD [6] und Kano sowie das Technology Acceptance Model (TAM) eingesetzt. Mit QFD können Kundenwünsche identifiziert, mit Kano differenziert und mit TAM klassifiziert sowie schließlich mit QFD in technische Merkmale und Eigenschaften umgesetzt werden [4].

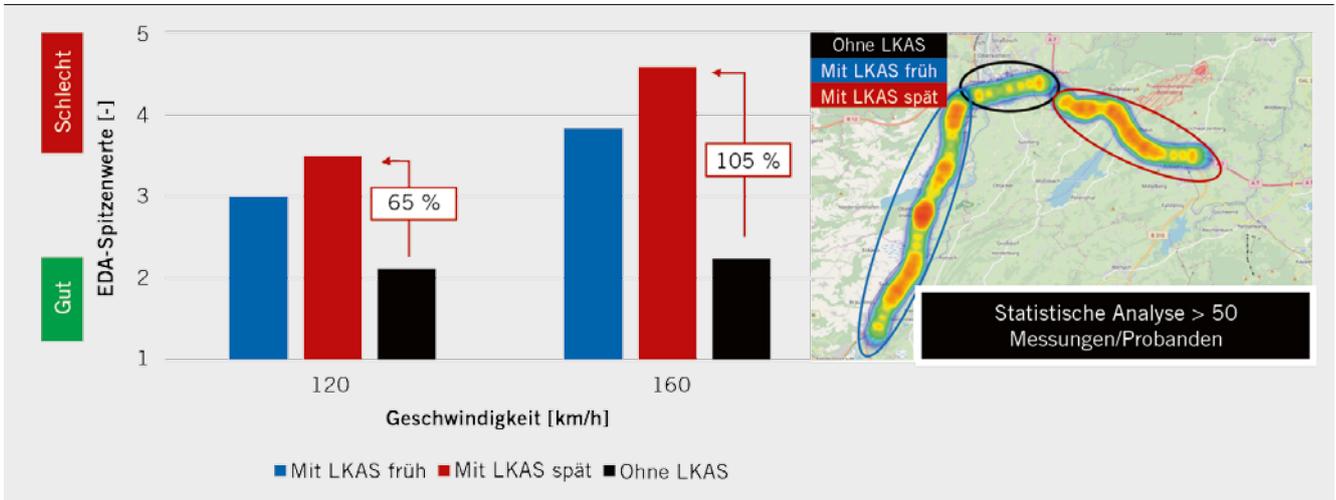


BILD 3 Subjektiv wahrgenommener und objektiver Stress (© Hochschule Kempten)

#### 4 ERGEBNISSE

Im Folgenden sollen die Ergebnisse von Stressstudie, Benchmarkstudie und Validierungsstudie näher dargestellt werden.

##### 4.1 STRESSSTUDIE

Die Varianzanalyse mit wiederholten Messungen mit Greenhouse-Geisser-Korrektur zeigt, dass sich die Stresserfahrungen je nach Testabschnitt stark unterscheiden. Ein Bonferroni-korrigierter Post-hoc-Test zeigte einen signifikanten Unterschied in der Belastung zwischen dem Fahren mit LKAS und ohne LKAS, sowohl bei 120 als auch bei 160 km/h. **BILD 3** macht die Zunahme des erlebten Stresses mit LKAS deutlich. Die statistische Analyse aller objektiven Daten des Stressindicators EDA-Peak zeigt zusätzlich

einen deutlichen Anstieg und Hotspots auf bestimmten Streckenabschnitten. In Summe fühlten sich die Probanden mit LKAS [3] deutlich stärker belastet.

Signifikante Korrelationen wurden sowohl bei Einzelwerten als auch beim Gesamtkomfortfaktor in der Kundenebene festgestellt. Die Einzelwerte beruhigend, entlastend, entspannend, unkompliziert und unterstützend korrelieren deutlich mit der Bewertung des LKAS. Der Gesamtkomfortfaktor, der sich aus zehn Elementen zusammensetzt, korreliert ebenfalls signifikant mit der Bewertung. Wird das LKAS besser bewertet, steigt das Komforterlebnis.

Das Feedback der Probanden macht deutlich, dass der wahrgenommene Stress auf ein mangelndes Vertrauen in das LKAS zurückzuführen ist. Plötzliche Systemausfälle ohne Vorwarnung in scheinbar normalen Fahrsituationen, unvorhergesehene System-

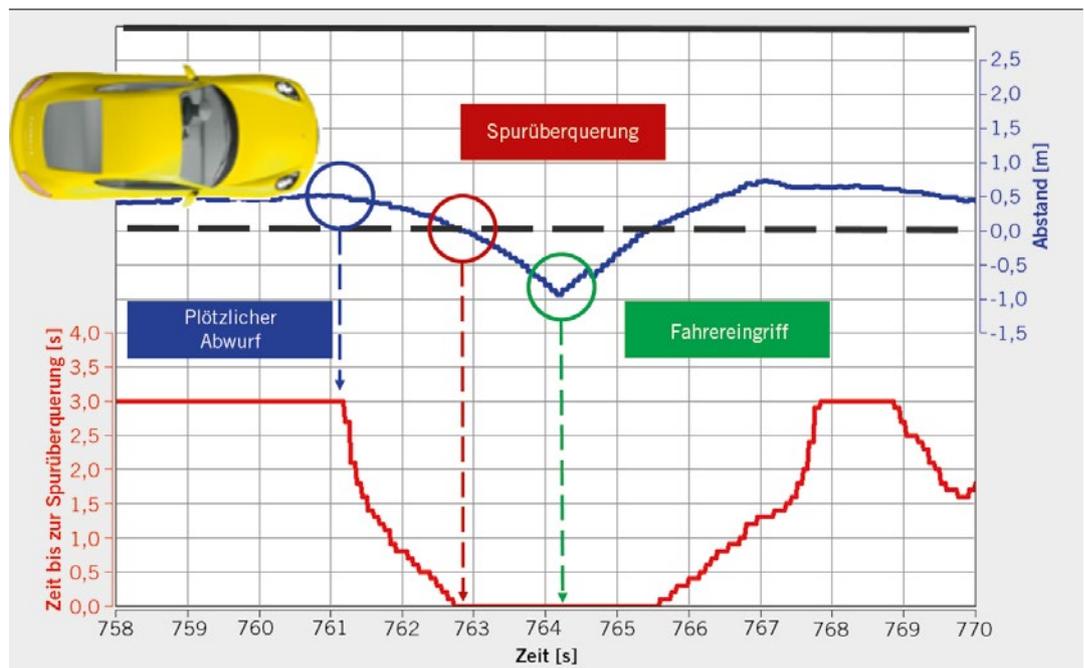


BILD 4 Unerwarteter Systemabwurf führt zu einem starken Anstieg der EDA-Werte (© Hochschule Kempten)

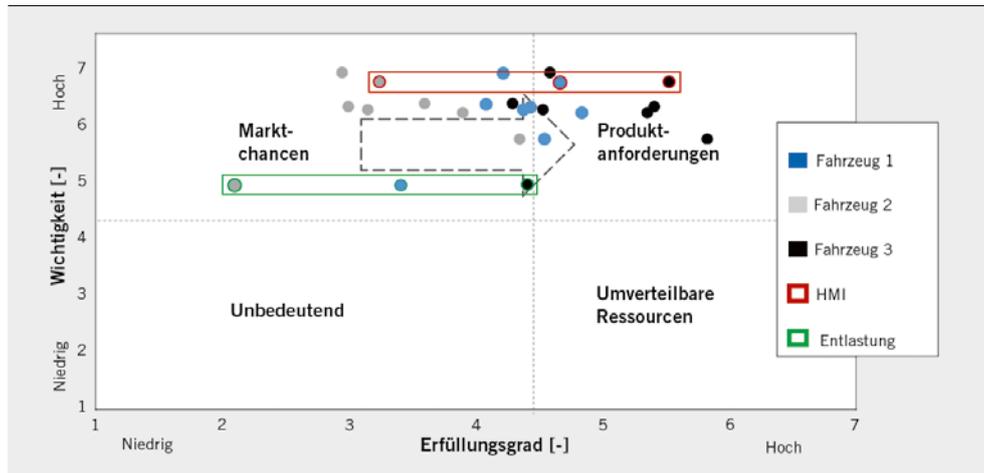


BILD 5 Marktchancen anhand der bewerteten Kriterien (© Hochschule Kempten)

begrenzungen, Fehlfunktionen (True-Negatives), inkonsistente Rückmeldungen, notwendige Ad-hoc-Übernahmen sowie mangelnde Transparenz und hoher Überwachungsaufwand wurden als Gründe identifiziert. BILD 4 zeigt beispielhaft einen typischen Fall, der wiederholt in allen Fahrzeugen aufgetreten ist. Das System wirft nicht nachvollziehbar und ohne rechtzeitige Warnung ab. Die Fahrer erkannten dies erst nach Verlassen der Fahrspur. Mit starkem Lenkeingriff führen die Fahrer das Fahrzeug zurück in die Fahrspur.

4.2 BENCHMARKSTUDIE

Die Mehrheit der Teilnehmer wünschten sich vom LKAS eine höhere Verkehrssicherheit (65 %). So erwarten die Kunden, dass das LKAS beim bestimmungsgemäßen Einsatz in der Lage ist, zu jeder Zeit und zuverlässig die Spur zu halten, solange die Verfügbarkeit (Symbol grün) gegeben ist. Auf der Likert-Skala (1 = nicht

wichtig bis 7 = sehr wichtig) wurden sechs der acht Kriterien zur Bewertung des LKAS mit einer Bedeutung von mindestens sechs bewertet. Die Kriterien mit der größten Bedeutung waren das Sicherheitsgefühl, die Mensch-Maschine-Schnittstelle und die Randführung. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den Erfahrungen, die bei den Experten-Testfahrten gesammelt wurden. Auch die Probanden beschwerten sich über die hohe Belastung beim Einsatz des LKAS. Starker Spurversatz zur Außenseite der Kurven wurde als äußerst unangenehm empfunden. Plötzlich auftretende, unvorhersehbare Systemabbrüche wurden als inakzeptabel eingestuft. Undurchsichtige Systemgrenzen und hoher Überwachungsaufwand wurden im Sinne von Sicherheitsgefühl und Komfort als schlecht bewertet. Der Erfüllungsgrad weist erhebliche Defizite bei allen Kriterien auf. BILD 5 zeigt die Ergebnisse in einer Market Opportunity Map (MOM). Insgesamt wird davon ausgegangen, dass ein gutes Head-up-Display, aufgrund der notwendigen

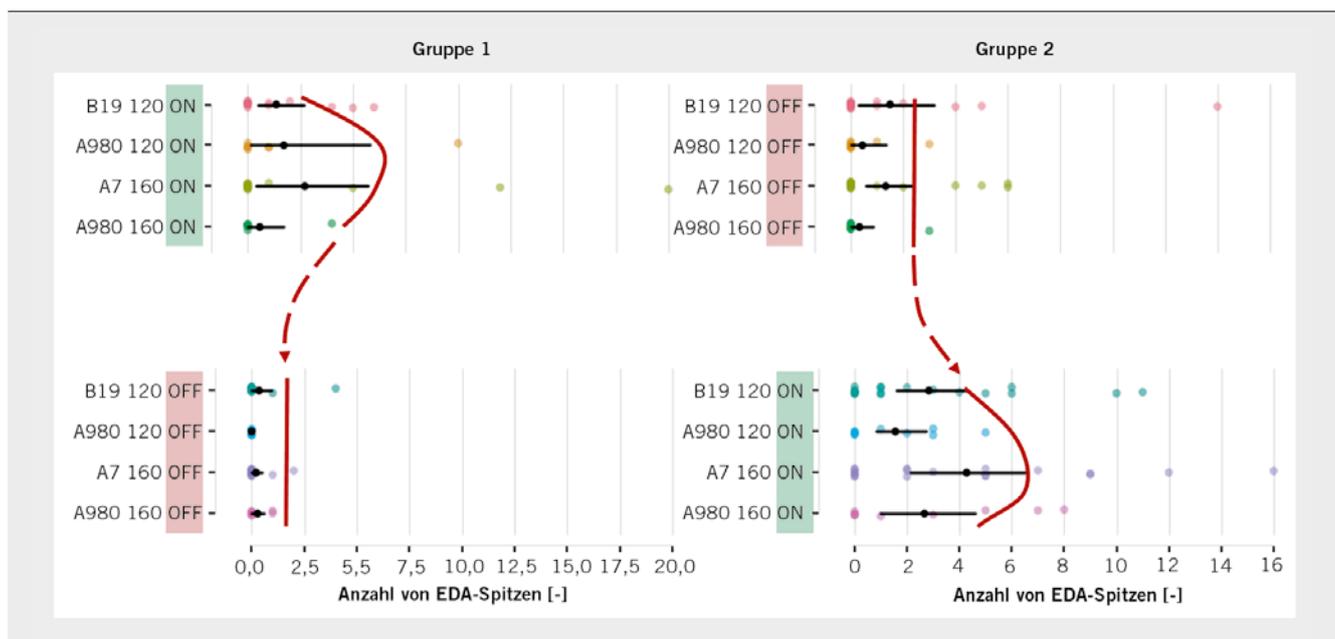


BILD 6 EDA-Peaks bei LKAS an und LKAS aus auf verschiedenen Bundesstraßen beziehungsweise Autobahnen bei 120 und 160 km/h (© Hochschule Kempten)

Funktionstransparenz und der einfacheren Überwachung, eine positive Wirkung auf viele Kriterien aufweist. Laut Aussagen können sich die Fahrer mit dieser Zusatzfunktion mehr entspannen und sich besser auf die Verkehrsumgebung und Ereignisse konzentrieren.

#### 4.3 VALIDIERUNGSSTUDIE

Um den Akklimationseffekt und den Einfluss des Testablaufs zu untersuchen und die Ergebnisse der Studie 1 zu bestätigen, wurde die Studie 3 durchgeführt. 20 Probanden aus den Studien 1 und 2 fuhren exakt die gleichen Strecken mit und ohne LKAS. Eine Gruppe begann mit und setzte diese ohne LKAS fort und umgekehrt. **BILD 6** zeigt das Niveau der psychischen Belastung basierend auf EDA-Peaks. Dies zeigt deutlich einen Anstieg mit LKAS, unabhängig von der Reihenfolge. Dies bestätigt die Ergebnisse der Studie 1. Ein Akklimationseffekt ist, wenn überhaupt, nur gering zu beobachten.

### 5 ZUSAMMENFASSUNG

Durch eine statistische Analyse aller 50 Probanden aus der Stressstudie konnte nachgewiesen werden, dass der LKAS den Lenkmomentaufwand während der Fahrt deutlich reduziert. In der klassischen objektiven Fahrkomfortbewertung wird allerdings nur die physische Beanspruchung des Menschen im Sinne von (Muskel-)Kraftaufwand bewertet. Das ist bei ADAS/AD bei Weitem nicht ausreichend. Die Berücksichtigung von psychischem Stress für eine ganzheitliche Komfortbewertung ist hierbei von immenser Bedeutung wie die Studien 2 und 3 zeigten.

Experten und Probanden klagen gleichermaßen über den psychischen Stress bei eingesetztem LKAS. Unvorhersehbare Systemabbrüche, intransparente Systemgrenzen, hoher Überwachungsaufwand und schlechte Spurführungsgüte führten zu schlechten Bewertungen im Sinne von Sicherheitsgefühl und Komfort. Hier spielen Vertrauen und die damit verbundene Kundenakzeptanz

eine zentrale Rolle. Letztendlich wird der Durchbruch des automatisierten Fahrens über die Kundenakzeptanz entschieden. Die Ergebnisse zeigen, dass der Mensch bei der ADAS/AD-Entwicklung viel stärker in den Mittelpunkt der Entwicklung gestellt werden sollte. Hierbei sollte der Fokus auf Systemnutzen und Fahreigenschaften liegen, die beim Kunden für ein positives Fahrerlebnis und einen Mehrwert sorgen. Zusätzlich sind Maßnahmen abzuleiten, welche die Kundenakzeptanz erhöhen. Die klare und stets transparente Kommunikation zwischen Mensch und Maschine, zuverlässige Verfügbarkeit und Vorhersehbarkeit bilden die Grundlage für eine gute Kundenbewertung. Ein gutes HMI nach dem Prinzip „Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser“, kann hier zusätzlich sehr effektiv sein.

#### LITERATURHINWEISE

- [1] Schick, B.; Seidler, C.; Aydogdu, S.; Kuo, Y.-J.: Driving Experience versus Mental Stress with Automated Lateral Control from the Customer's Point of View. Symposium chassis.tech plus, München, 2018
- [2] Martin, A.; Schieber, K.: Psychologische Grundkonzepte der Verhaltensmedizin. Springer-Lehrbuch, 2016
- [3] Seidler, C.; Schick, B.: Stress and Workload when Using the Lane Keeping Assistant: Driving Experience with Advanced Driver Assistance Systems. 27. Aachener Kolloquium, Aachen 2018
- [4] Aydogdu, S.; Schick, B.; Wolf, M.: Claim and Reality? Lane Keeping Assistant – The Conflict between Expectation and Customer Experience. 27. Aachener Kolloquium, Aachen 2018
- [5] Engelbrecht, A.: Fahrkomfort und Fahrspaß bei Einsatz von Fahrerassistenzsystemen. Hamburg: Disserta Verlag, 2013
- [6] Schick, B.; Resch, S.; Yamamoto, M.; Kushiro, I.; Hagiwara, N.: Optimization of steering behavior through systematic implementation of customer requirements in technical targets on the basis of quality function deployment. Fisita, Yokohama (Japan), 2006



#### READ THE ENGLISH E-MAGAZINE

Test now for 30 days free of charge: [www.atz-worldwide.com](http://www.atz-worldwide.com)

**chassis.tech** <sup>10</sup> JAHRE  
plus

10. Internationales Münchner Fahrwerk-Symposium  
25. und 26. Juni 2019 | München

**FAHRDYNAMIK** | Neue Innovationen und Methoden

**AUTONOMES FAHREN** | Herausforderungen an das Fahrwerk

**DER KUNDE IM FOKUS** | Fahrerlebnis und Fahrkomfort

**ATZ** live



**Aktuelles Tagungsprogramm: [www.ATZlive.de](http://www.ATZlive.de)**