

# **Diskomfort im hochautomatisierten Fahren – Eine Untersuchung unterschiedlicher Fahrstile im Fahrsimulator**

Patrick ROßNER, Frank DITTRICH, Angelika C. BULLINGER

*Technische Universität Chemnitz  
Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement  
Erfenschlager Straße 73, 09125 Chemnitz*

**Kurzfassung:** Es liegen wenige Erkenntnisse vor, wie der Fahrer hochautomatisiert gefahren werden will. In einer Studie im Fahrsimulator wurde untersucht, in welchen Verkehrssituationen Diskomfort entsteht und durch welche Parameter der Verkehrssituation oder des Fahrverhaltens Diskomfort beeinflusst wird. 19 ältere und 21 jüngere Probanden erlebten zwei hochautomatisierte Fahrstile: einen defensiven und einen dynamischen Fahrstil. Die wichtigste abhängige Variable stellt der per Handregler kontinuierlich erfasste subjektive Diskomfort dar. Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem in Situationen mit unklarem Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer und in Situationen mit gegenseitiger Abstimmung und Rücksichtnahme Diskomfort entsteht. Um Diskomfort zu reduzieren, ist eine Kombination von Elementen beider Fahrstile in bestimmten Situationen sinnvoll.

**Schlüsselwörter:** Diskomfort, hochautomatisiertes Fahren, Fahrerleben, Fahrstilvergleich

## **1. Einleitung**

Während technologische Entwicklungen im Bereich des automatisierten Fahrens schnell voranschreiten, werden dadurch entstehende zentrale Fragen der Mensch-Maschine-Interaktion bisher noch nicht ausreichend adressiert (Gasser 2013; Banks & Stanton 2015). Relevante Arbeiten im Human Factors-Bereich beschäftigen sich vorrangig mit dem Rollenwechsel des aktiven Fahrers zu einem eher passiven Überwacher und den begleitenden Problemerscheinungen: Kontrollübergang, Veränderungen der Aufmerksamkeitsallokation, Out-Of-The-Loop-Problematik oder Defizite des Situationsbewusstseins (Radlmayr & Bengler 2015). Im Gegensatz dazu liegen kaum Erkenntnisse darüber vor, wie komfortables, dynamisches und vom Fahrer akzeptiertes automatisiertes Fahren realisiert und parametrisiert werden kann (Elbanhawi et al. 2015; Siebert et al. 2013).

Diverse Studien (Griesche et al. 2016; Hartwich et al. 2015; Festner et al. 2016) zeigen, dass sehr unterschiedliche Präferenzen in Bezug auf verschiedene Fahrstile bestehen, viele Probanden jedoch ihren eigenen oder einen ihrem eigenen Fahrstil ähnlichen Fahrstil bevorzugen. Ein eher einheitliches Bild zeichnet sich hinsichtlich der Ablehnung schlechter Fahrstile ab, welche z.B. zu hohe Beschleunigungen, zu hohe Bremsrücke oder zu geringe Sicherheitsabstände zu anderen Fahrzeugen aufweisen. Die Bewertungen sind jedoch stark situationsabhängig und werden durch das probandenseitige manuelle „Einfahren“ der später automatisiert präsentierten Fahrstile stark beeinflusst (Griesche et al. 2016). Ältere Teilnehmer tendieren zu den Fahrstilen junger Studienteilnehmer, da zügige, vorausschauende und trotzdem

sichere sowie natürlich wirkende Fahrweisen priorisiert werden (Hartwich et al. 2015).

Die im Beitrag beschriebene Studie baut auf Vorarbeiten der TU Chemnitz auf (Hartwich et al. 2015; Hartwich et al. 2018; Scherer et al. 2015; Scherer et al. 2016; Roßner & Bullinger 2018) und verfolgt die Forschungsfrage, welche Fahrmanöver- und Umgebungsmerkmale den erlebten Diskomfort beeinflussen. Im Fokus steht sowohl der Vergleich zwischen einem *dynamischen* und einem *defensiven* Fahrstil zur Ableitung global präferierter Fahrstilmerkmale als auch die Untersuchung altersspezifischer Effekte zur Identifikation gruppenindividueller Fahrstilpräferenzen in zwei Autobahnscenarien.

## 2. Methode

Die Stichprobe bestand aus 46 Teilnehmern mit einem gültigen Führerschein, wobei 6 Studienteilnehmer den Versuch aufgrund von Simulator Sickness abbrechen mussten. Von den in die Auswertung eingeflossenen Daten der restlichen 40 Probanden gehörten 21 der jüngeren (12 männlich) und 19 der älteren Gruppe an (13 männlich). Alle Versuchsteilnehmer besaßen keine Vorerfahrung mit automatisiertem Fahren.

Als Versuchsumgebung wurde der statische Fahrsimulator der Professur Arbeitswissenschaft und Innovationsmanagement der TU Chemnitz genutzt, der über ein 180°-Projektionssystem sowie ein automatisch mitdrehendes Lenkrad verfügt. Den Probanden wurden randomisiert zwei Fahrstile präsentiert. Der defensive Fahrstil orientierte sich an der technischen Machbarkeit der näheren Zukunft und beschrieb eine vorsichtige Fahrweise unter Betonung der Verkehrssicherheit und Nachvollziehbarkeit für den Fahrer. Der dynamische Fahrstil stellte die Vision fehlerfreier Automatisierung der Zukunft dar, wobei eine sportliche Fahrweise unter Ausreizung technischer Möglichkeiten innerhalb rechtlicher Grenzen umgesetzt wurde.

Die Probanden hatten während der unterschiedlichen hochautomatisierten Fahrten die Möglichkeit, per Handregler streckenmeter- und zeitpunktgenau ihr Fahrerleben zurückzumelden (Details in Hartwich et al. 2015). Je unkomfortabler die Probanden sich gefahren fühlten, desto mehr sollte der Handregler betätigt werden. Darüber hinaus wurden Kopf- und Körperbewegungen, Mimikänderungen, das Blickverhalten und physiologische Daten des Probanden aufgezeichnet (Details in Beggiato et al. 2018).

## 3. Ergebnisse

Zur detaillierteren Analyse wurden die Handreglerwerte über alle Probanden summiert, um Häufungen des erlebten Diskomforts zu identifizieren. Die hier vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf den Fahrabschnitt Autobahn, im Speziellen auf die Autobahnauffahrt und die Baustellendurchfahrt.

### 3.1 Situationsspezifische Ergebnisse - Autobahnauffahrt

Die Auffahrt auf die Autobahn wird von den beiden Fahrstilen unterschiedlich gehandhabt. Der Nullpunkt im Diagramm stellt jeweils den Beginn des Beschleuni-

gungstreifens dar und somit den Punkt, an dem sich die befahrene Fahrbahn das erste Mal parallel zur Autobahn befindet. Der *dynamische* Fahrstil bewegt sich auf die Autobahnauffahrt mit erlaubten 70 km/h zu, fährt mit der gleichen Geschwindigkeit durch die leichte Rechtskurve, wechselt zügig auf den rechten Fahrstreifen der Autobahn und beschleunigt innerhalb der nächsten 300 m (Endpunkt Diagramm) auf ca. 125 km/h. Der *defensive* Fahrstil bewegt sich ebenfalls mit 70 km/h auf die Autobahnauffahrt zu, durchfährt die leichte Rechtskurve mit ca. 60 km/h, wechselt zügig auf den rechten Fahrstreifen der Autobahn und beschleunigt innerhalb der nächsten 300 m auf ca. 100 km/h.

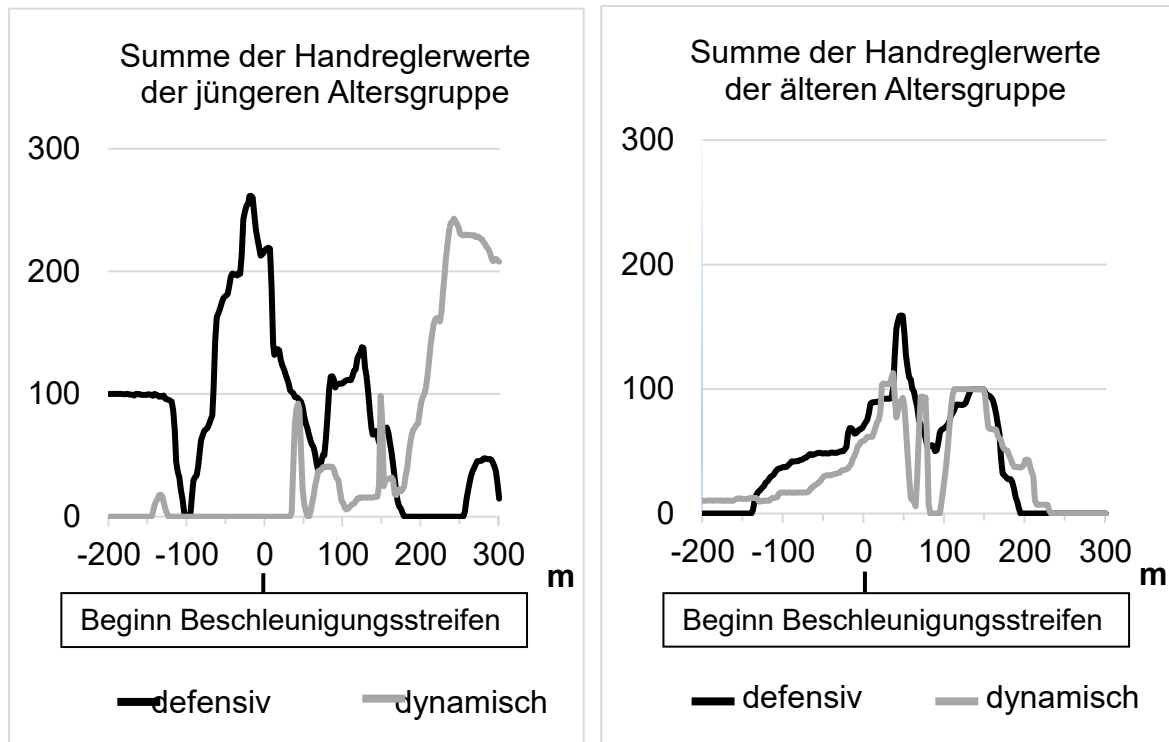


Abbildung 1: Summe der Handreglerwerte für den defensiven und dynamischen Fahrstil der jüngeren und älteren Altersgruppe während der Autobahnauffahrt

Innerhalb des gesamten Probandenkollektivs verteilt sich der entstandene Diskomfort als Flächenmaß unterhalb des Graphen ähnlich auf beide Fahrstile (31.902 gegen 28.746), wobei der *defensive* Fahrstil leicht schlechter bewertet wird. Die jüngere Altersgruppe ist ursächlich für ca. 2/3 der gemessenen Werte. Innerhalb der Altersgruppen verteilt sich der Diskomfort relativ gleich auf die beiden Fahrstile. In der gesamten Situation betätigten 14 Personen den Handregler (11 Junge, 3 Ältere). 11 Personen betätigen beim *dynamischen* und 9 beim *defensiven* Fahrstil, wobei 8 Personen bei beiden Fahrstilen Diskomfort empfinden.

Die jüngere Altersgruppe bewertet in Summe über die im Diagramm abgebildeten 500 gefahrenen Meter den *defensiven* und *dynamischen* Fahrstil ähnlich (Flächenmaß unterhalb des Graphen). Die Zeitpunkte des entstehenden Diskomforts unterscheiden sich allerdings deutlich. Während das Bremsverhalten vor der leichten Rechtskurve beim *defensiven* Fahrstil und die dadurch niedrige Geschwindigkeit beim Auffahren auf die Autobahn negativ bewertet werden, betrifft es im *dynamischen* Fahrstil eher das Beschleunigungsmanöver auf der Autobahn. 6 der 11 jünge-

ren Personen drücken in beiden Situationen, drei nur im *dynamischen* und zwei nur im *defensiven* Fahrstil.

Die ältere Altersgruppe bewertet die Situation auch in beiden Fahrstilen in Summe und Verteilung ähnlich. Nur 3 der 20 älteren Probanden betätigen den Handregler, zwei von ihnen sehen beide Fahrstile kritisch, ein Proband nur den *dynamischen* Fahrstil.

### 3.2 Situationsspezifische Ergebnisse - Baustellendurchfahrt

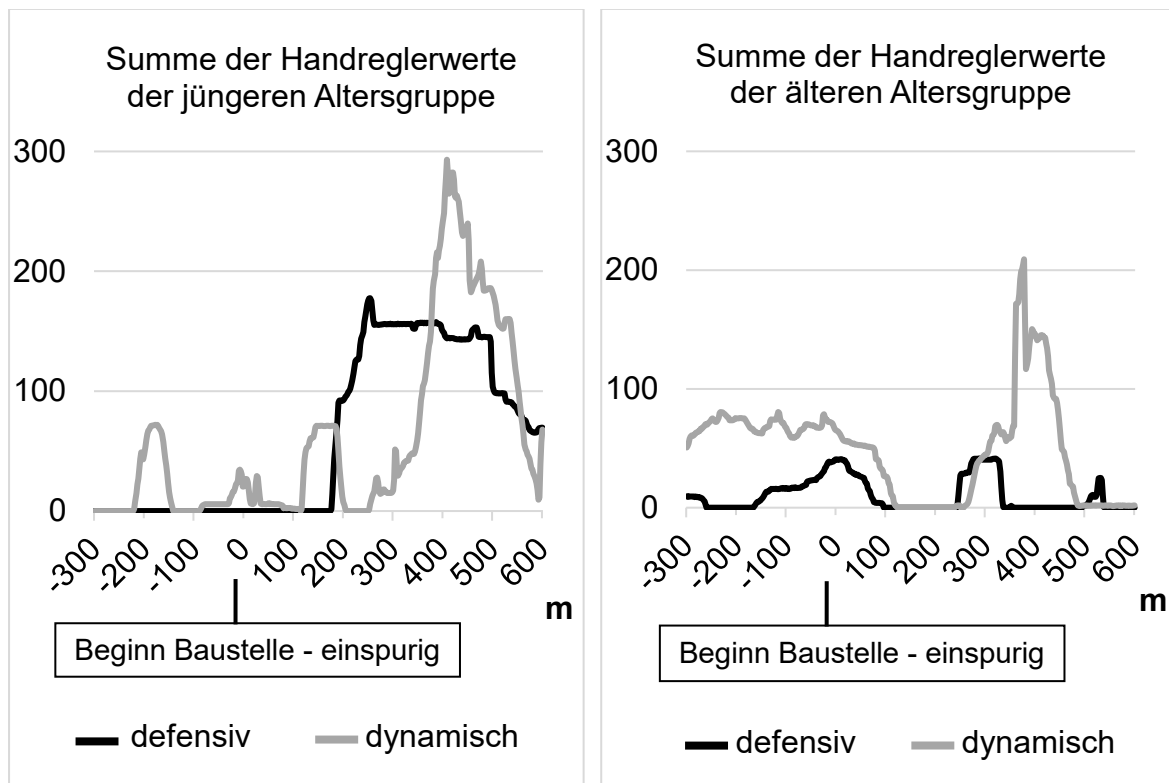


Abbildung 2: Summe der Handreglerwerte für den defensiven und dynamischen Fahrstil der jüngeren und älteren Altersgruppe während der Baustellendurchfahrt

Der Nullpunkt im Diagramm stellt den Beginn der Baustelle dar. Der *dynamische* Fahrstil bremst mit einer sehr starken Verzögerungsrate von 130 km/h auf 100 km/h und anschließend auf 80 km/h. Innerhalb der Baustelle läuft das Ego-Fahrzeug auf ein Baustellenfahrzeug auf, das von 80 km/h weiter auf 50 km/h verzögert und nach weiterer Geschwindigkeitsreduzierung links in die Baustelle abbiegt. Der *dynamische* Fahrstil hält den minimalen Sicherheitsabstand (entspricht bei 50 km/h 25 m) bis zum Abbiegevorgang des Baustellenfahrzeugs und beschleunigt anschließend zügig aus der Baustelle heraus. Der *defensive* Fahrstil führt während der Zufahrt auf die Baustelle und der damit verbundenen Geschwindigkeitsreduktion eine defensive Bremsung durch. In der anschließenden Folgefahrt hinter dem Baustellenfahrzeug wird ca. ein fünffacher Sicherheitsabstand gehalten (entspricht bei 50 km/h ca. 125 m). Nach dem Spurverlassen des Baustellenfahrzeugs erfolgt eine moderate Beschleunigung aus der Baustelle heraus.

Innerhalb des gesamten Probandenkollektivs wird der *dynamische* Fahrstil als unangenehmer empfunden (Flächenmaß unter dem Graph von 40.286 gegenüber 31.206). Die jungen Probanden verursachen ca. 3/4 der gemessenen Diskomfortwer-

te. Innerhalb der Altersgruppen entsteht ein unterschiedliches Bild. Während die jungen Probanden beide Fahrstile als in Summe ähnlich unangenehm empfinden (27.040 gegenüber 24.995), bewerten die älteren Probanden den *dynamischen* Fahrstil deutlich schlechter als den *defensiven* Fahrstil (4.165 gegenüber 15.292). Während der gesamten Baustellendurchfahrt betätigen 25 Probanden den Handregler (7 Ältere, 18 Junge). 18 Personen betätigen beim *dynamischen* und 7 beim *defensiven*, wobei 6 Personen bei beiden Fahrstilen Diskomfort verspüren.

Die jüngere Altersgruppe bewertet den *defensiven* Fahrstil in Summe über die im Diagramm abgebildeten 900 gefahrenen Meter leicht schlechter. Der *dynamische* Fahrstil erzeugt einen zeitlich kürzeren, aber intensiveren Diskomfort als der *defensive* Fahrstil. 9 von 12 jüngeren Probanden betätigen den Handregler nur während der *dynamischen* Fahrt, 3 bei beiden Fahrstilen.

Die ältere Altersgruppe bewertet den *dynamischen* deutlich schlechter als den *defensiven* Fahrstil. Der Verlauf der rückgemeldeten Handreglerwerte ähnelt sich, jedoch ist die Intensität im *dynamischen* Fahrstil deutlich höher. Vier ältere Probanden betätigen den Handregler im *defensiven* Fahrstil, 6 im *dynamischen* und 3 Probanden empfinden in beiden Fahrstilen Diskomfort.

#### 4. Diskussion und Ausblick

Bei Betrachtung der Rückmeldungen während des gesamten Versuchs zeigt sich (konform zu Griesche et al. 2016) eine globale Ablehnung schlechter Fahrstilelemente, die hauptsächlich Merkmale des *dynamischen* Fahrstils darstellen:

- zu hohe Beschleunigungsrate,
- zu hoher Bremsruck und
- zu geringer oder großer longitudinaler Abstand zum Vorderfahrzeug.

Situationsspezifisch lassen sich sowohl weitere altersgruppenindividuelle Fahrstilpräferenzen als auch unterschiedliche Potentiale zur Vermeidung von Diskomfort identifizieren. Während der Autobahnauffahrt löst das zurückhaltende Verhalten des *defensiven* Fahrstils innerhalb der jüngeren Altersgruppe etwa genauso viel Diskomfort aus wie das aktivere Verhalten des *dynamischen* Fahrstils. Eine Kombination der schnelleren Kurvenfahrt des dynamischen Fahrstils und der niedrigeren Beschleunigungsrate des *defensiven* Fahrstils könnte den erlebten Diskomfort der jüngeren Probanden reduzieren. Die Minderheit der älteren Probanden (3 von 20) empfindet in der Autobahnauffahrt fahrstilunabhängigen und situationsspezifischen Diskomfort. Während der Baustellendurchfahrt zeigt sich ein ähnliches Bild für die jüngere Altersgruppe. Dem diskomfortauslösenden Element – dem Baustellenfahrzeug – wird im *defensiven* Fahrstil zu zaghaft und im *dynamischen* Fahrstil zu aggressiv begegnet. Ein Verhalten zwischen diesen beiden Extremen sollte zu weniger Diskomfort in der jungen Altersgruppe führen. Die ältere Altersgruppe zeigt zu Beginn der Baustellensituation erneut situationsspezifischen und fahrstilunabhängigen Diskomfort, tendiert in der anschließenden Folgefahrt hinter dem Baustellenfahrzeug deutlich zum *defensiven* Fahrstil.

Der Einfluss weiterer Personenmerkmale, z.B. Stimmung, Müdigkeit oder Erfahrung mit hochautomatisiertem Fahren, sollte in künftigen Studien untersucht werden. Darüber hinaus zeigt sich eine stärkere Rückmeldefrequenz der jungen Teilnehmer. Ob dies ein zufälliger Effekt des Experiments oder ein langfristig zu berücksichtigender Faktor ist, sollten ebenfalls weitere Studien klären. Das eigene Fahrverhalten

wird von vielen Probanden als Vergleichsmaß für den Fahrstil verwendet, weswegen die Bewertungen auch innerhalb der Stichprobe stark schwanken. Die summierten Handreglerwerte aller Probanden erleichtern eine Zuordnung von Diskomfortspitzen zu Umgebungsmerkmalen bzw. Fahrstileigenschaften, sind für interferenzstatistische Tests jedoch ungeeignet. Darüber hinaus haben Systemausfälle in Simulatoren keine echten Gefahren- bzw. Sicherheitsauswirkungen. Daher werden die vorliegenden Ergebnisse in einer aktuell sich in Planung befindlichen Realfahrtstudie validiert. Darüber hinaus folgt ein zweites Experiment zur Untersuchung diskomfortreduzierender Maßnahmen im Fahrsimulator.

## 5. Literatur

- Banks VA, Stanton NA (2015) Keep the driver in control: Automating automobiles of the future. *Applied Ergonomics*.
- Beggiato M, Hartwich F, Krems J (2018) Using Smartbands, Pupillometry and Body Motion to Detect Discomfort in Automated Driving. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12, 2018, 3138. doi:10.3389/fnhum.2018.00338.
- Elbanhawi M, Simic M, Jazar R (2015) In the Passenger Seat: Investigating Ride Comfort Measures in Autonomous Cars. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine* 7, 2015, 3. p. 4-17.
- Festner M, Baumann H, Schramm D (2016) Der Einfluss fahrfremder Tätigkeiten und Manöverlängsdynamik auf die Komfort- und Sicherheitswahrnehmung beim hochautomatisierten Fahren. 32. VDI/VW- Gemeinschaftstagung Fahrerassistenz und automatisiertes Fahren. Wolfsburg.
- Gasser TM (2013) Herausforderung automatischen Fahrens und Forschungsschwerpunkte. 6. Tagung Fahrerassistenz. München.
- Griesche S, Nicolay E, Assmann D, Dotzauer M, Käthner D (2016) Should my car drive as I do? What kind of driving style do drivers prefer for the design of automated driving functions? Contribution to 17. Braunschweiger Symposium Automatisierungssysteme, Assistenzsysteme und eingebettete Systeme für Transportmittel (AAET). ITS automotive nord e.V. ISBN 978-3-937655-37-6. pp. 185-204.
- Hartwich F, Beggiato M, Dettmann A, Krems JF (2015) Drive me comfortable: Customized automated driving styles for younger and older drivers. 8. VDI-Tagung „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“. 10.-11.11.2015.
- Hartwich F, Beggiato M, Krems JF (2018) Driving comfort, enjoyment, and acceptance of automated driving - Effects of drivers' age and driving style familiarity. *Ergonomics*, 61, 2018, 1017-1032. doi:10.1080/00140139.2018.1441448.
- Radlmayr J, Bengler K (2015) Literaturanalyse und Methodenauswahl zur Gestaltung von Systemen zum hochautomatisierten Fahren. FAT-Schriftenreihe: Vol. 276, 2015. Berlin: VDA.
- Roßner P, Bullinger AC (2018) Hochautomatisiertes Fahren - Welche Fahrmanöver- und Umgebungsmerkmale beeinflussen erlebten Diskomfort?. In: VDI Wissensforum GmbH - VDI Berichte 2235 (Hrsg.), 34. VDI/VW Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren. (S. 331-344). Düsseldorf: VDI Verlag.
- Scherer S, Dettmann A, Hartwich F, Pech T, Bullinger AC, Wanielik G (2015) How the driver wants to be driven - Modelling driving styles in highly automated driving. *Automatisiertes Fahren - Hype oder mehr?*. Tagungsband 7. Tagung Fahrerassistenz. 25.11.2015 bis 26.11.2015, München.
- Scherer S, Schubert D, Dettmann A, Hartwich F, Bullinger AC (2016) Wie will der "Fahrer" automatisiert gefahren werden? Überprüfung verschiedener Fahrstile hinsichtlich des Komforterlebens. Tagungsband 32. VDI/VW-Gemeinschaftstagung Fahrerassistenzsysteme und automatisiertes Fahren. 08.11.2016 bis 09.11.2016, Wolfsburg.
- Siebert F, Oehl M, Höger R, Pfister HR (2013) Discomfort in Automated Driving – The Disco-Scale. In: *Proceedings of HCI International 2013. Communications in Computer and Information Science*. Vol. 374, 2013, pp. 337-341. Las Vegas, USA.

**Danksagung:** Diese Forschung wird vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Projekt: KomfoPilot, FKZ: 16SV7690K).



Gesellschaft für  
Arbeitswissenschaft e.V.

## **Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten**

65. Kongress der  
Gesellschaft für Arbeitswissenschaft

Professur Arbeitswissenschaft  
Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme  
Technische Universität Dresden

Institut für Arbeit und Gesundheit  
Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung

27. Februar – 1. März 2019

---

## **GfA-Press**

---

**Bericht zum 65. Arbeitswissenschaftlichen Kongress vom 27. Februar – 1. März 2019**

**Professur Arbeitswissenschaft, Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme,  
Technische Universität Dresden;  
Institut für Arbeit und Gesundheit, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung, Dresden**

Herausgegeben von der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.  
Dortmund: GfA-Press, 2019  
ISBN 978-3-936804-25-6

NE: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft: Jahresdokumentation

Als Manuskript zusammengestellt. Diese Jahresdokumentation ist nur in der Geschäftsstelle erhältlich.

Alle Rechte vorbehalten.

© **GfA-Press, Dortmund**

**Schriftleitung: Matthias Jäger**

im Auftrag der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V.

Ohne ausdrückliche Genehmigung der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. ist es nicht gestattet:

- den Konferenzband oder Teile daraus in irgendeiner Form (durch Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) zu vervielfältigen,
- den Konferenzband oder Teile daraus in Print- und/oder Nonprint-Medien (Webseiten, Blog, Social Media) zu verbreiten.

Die Verantwortung für die Inhalte der Beiträge tragen alleine die jeweiligen Verfasser; die GfA haftet nicht für die weitere Verwendung der darin enthaltenen Angaben.

**Screen design und Umsetzung**

© 2019 fröse multimedia, Frank Fröse

[office@internetkundenservice.de](mailto:office@internetkundenservice.de) · [www.internetkundenservice.de](http://www.internetkundenservice.de)