

Gefördert durch:

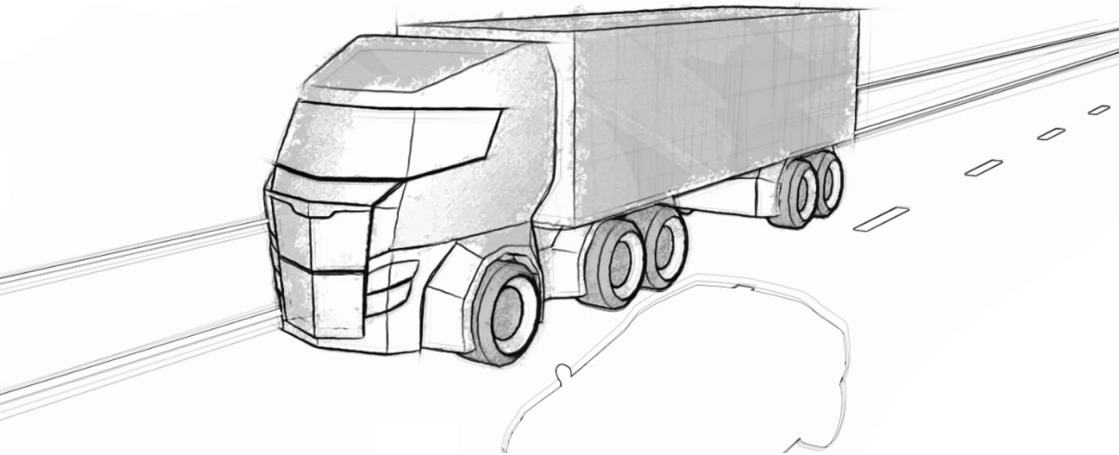


Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Technologie für  
automatisiertes Fahren  
nutzergerecht optimiert



## Projektvorstellung & Ergebnisse

Guideline  
Nutzerstudien  
Realfahrzeuge  
Simulatorstudien  
Aufmerksamkeits- und  
Aktivitätenassistent



Als Könige der Landstraße bezeichneten sich früher Lkw-Fahrer und gingen in ihrem Beruf einer großen Leidenschaft mit viel Freude nach. Das Bild hat sich heutzutage deutlich gewandelt. Lkw-Fahrer sind einem gnadenlosen Kampf gegen die Uhr und um die letzten freien Parkplätze ausgesetzt. Endlose Kilometer Stau, lange Wartezeiten beim Be- und Entladen sowie ein schlechter werdendes Image in der Gesellschaft bestimmen heutzutage den Alltag.

Als wäre das nicht schon genug, ist mit dem automatisierten Fahren eine neue Technologie auf dem Vormarsch, welche das Transportgewerbe in Zukunft maßgeblich verändern wird. Die damit verbundenen Ängste um die Fahrerkabine als Arbeitsplatz führen zu einer großen Ablehnung der Technologie bei den Fahrern.

In diesem Spannungsfeld hat sich ein Konsortium zusammengefunden und mit dem Projekt „TANGO“ ein Forschungsvorhaben beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) initiiert, um diesen Fragestellungen nachzugehen. Im Verbundprojekt standen die Nutzerbedürfnisse im Mittelpunkt – mit dem Ziel, das Arbeitsumfeld sowie das Fahrerlebnis nachhaltig zu verbessern.

Seit dem 01.12.2016 forschte das Konsortium gemeinschaftlich für eine Projektlaufzeit von 3,5 Jahren an diesem Themenfeld, entwickelte Lösungen und evaluierte diese in regelmäßigen Abständen mit Lkw-Fahrern.

Diese Broschüre soll dazu dienen, die Ergebnisse der Forschungsarbeiten vorzustellen und als Nachschlagewerk zur Verfügung zu stellen.

# FAHRERKABINE ALS ARBEITSPLATZ

## automatisiertes Fahren

Transport der Zukunft

neue Technologie



kilometerlange Staus

Kampf gegen die Uhr

Wartezeiten

Ablehnung

Ängste

Nutzerbedürfnisse  
im Vordergrund

Lösungsentwicklung

Verbesserung des Arbeitsumfeldes  
und des Fahrerlebnisses

<b>Konsortium</b> .....	<b>5</b>
<b>Projektziele</b> .....	<b>6</b>
<b>Der nutzerzentrierte Ansatz</b> .....	<b>8</b>
<b>Systemkomponenten</b>	
Fahrerzustandserkennung .....	<b>9</b>
Fahrermodell .....	<b>10</b>
Umfeldmodell .....	<b>11</b>
Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistent .....	<b>12</b>
Nutzerzentriertes Human-Machine-Interface .....	<b>14</b>
<b>Studien und Demonstratoren</b>	
Fahrerbeanspruchung bei unterschiedlichen Nebenaufgaben und Automatisierungsleveln .....	<b>16</b>
Der Effekt von aktivierenden Nebenaufgaben auf den müden Fahrer (SAE L3) .....	<b>17</b>
Fahrerbeanspruchung bei unterschiedlichen Nebenaufgaben (SAE L2) .....	<b>18</b>
Untersuchung der Fahrerübernahme aus einer Schlafphase (SAE L4) .....	<b>19</b>
Mode Confusion und Situation Awareness bei häufigen Transitionen .....	<b>20</b>
Umfeldadaptiver Aufmerksamkeitsassistent .....	<b>21</b>
HMI-Evaluation und Nutzererleben bei der Interaktion mit dem Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten .....	<b>22</b>
Auswirkungen des AAA auf die Müdigkeitsentwicklung und deren langfristige Folgen (SAE L3) .....	<b>23</b>
HMI-Evaluation und Nutzererleben bei der Interaktion mit dem Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten aus Sicht von Lkw-Fahrern im Realfahrzeug auf der Teststrecke .....	<b>24</b>
Evaluation des TANGO-Gesamtsystems aus Sicht von Stakeholdern .....	<b>25</b>
HMI-Evaluation und Nutzererleben bei der Interaktion mit dem Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten aus Sicht von Pkw-Fahrern .....	<b>26</b>
Motion Sickness Untersuchung mit einem Rechtslenker Lkw .....	<b>27</b>
Adaptioneffekte und Nutzererleben bei zeitlich kritischen Übernahmen über die Zeit bei Pkw-Fahrern .....	<b>28</b>
Vergleich der Studienergebnisse zum AAA von Lkw- und Pkw-Fahrern aus Fahrsimulator- und Realfahrzeugstudien .....	<b>30</b>
Guideline zur Unterstützung bei zukünftigen Entwicklungen eines digitalen Assistenten im Kontext des automatisierten Fahrens .....	<b>32</b>
<b>Literatur</b> .....	<b>33</b>
<b>Impressum</b> .....	<b>35</b>





**BOSCH**  
Technik fürs Leben

**Michael Schulz**

E-Mail: michael.schulz2@de.bosch.com

**VOLKSWAGEN**  
AKTIENGESELLSCHAFT

**Dr. Ina Othersen**

E-Mail: ina.othersen@volkswagen.de



**Dr. Britta Michel**

E-Mail: britta.michel@man.eu



Universität Stuttgart

**IKTD**

**Prof. Dr. Thomas Maier**

E-Mail: thomas.maier@iktd.uni-stuttgart.de



HOCHSCHULE  
DER MEDIEN

**Prof. Dr. Arnd Engeln**

E-Mail: engeln@hdm-stuttgart.de

**spiegel**Institut

**Philip Rigley**

E-Mail: p.rigley@spiegel-institut.de

**CanControls**  
*The Art of Image Understanding*

**Dr. Ulrich Canzler**

E-Mail: canzler@cancontrols.com

Der Name TANGO steht für

# ***„Technologie für automatisiertes Fahren, die nutzergerecht optimiert wird“***

Das Ziel des Forschungsprojekts TANGO war eine Verbesserung des Nutzererlebnisses und der Akzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen im Lkw. Im Projekt wurde eine neue Technologie entwickelt, welche dem Fahrer einen maßgeblichen Mehrwert der Zwischenstufen des automatisierten Fahrens, unter Gewährleistung des geforderten Komforts, ermöglicht.

Automatisierte Fahrzeuge können im Gegensatz zum manuellen Fahren

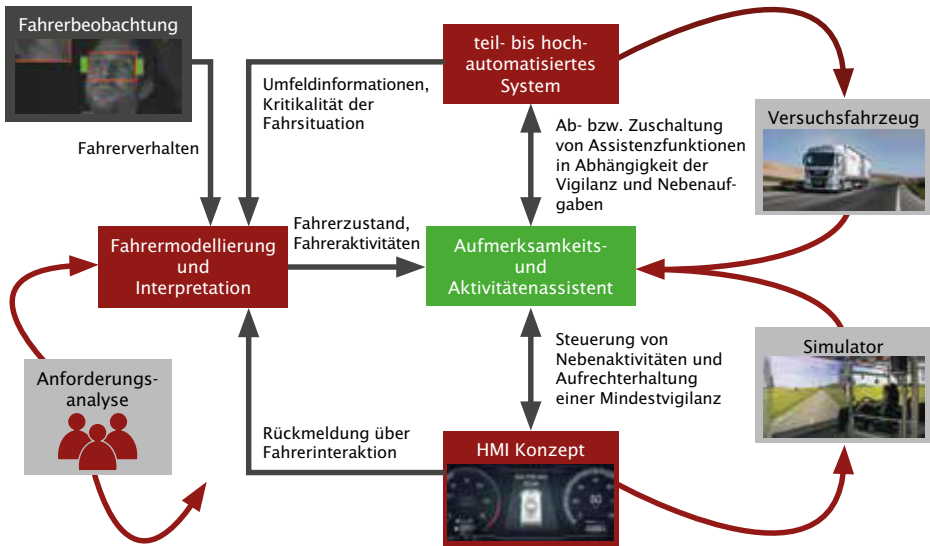
- die Verkehrssicherheit und -effizienz im Einzelfall deutlich steigern,
- das Fahrerlebnis ermüdungs- und stressfreier werden lassen und nicht zuletzt
- die Nutzung eingebauter Informations- und Kommunikationssysteme während der Fahrt sicherer machen.

Automatisierte Fahrzeuge können sich jedoch auch negativ auswirken. Zwar übernimmt das System teilweise die Fahrzeugführung, jedoch muss der Fahrer nach wie vor das Verkehrsgeschehen sowie das Systemverhalten ausreichend überwachen oder übernahmebereit sein, um bei Bedarf korrigierend eingreifen zu können. Die verringerte Fahraufgabe des Fahrers kann zu einer reduzierten Aufmerksamkeit und gleichzeitig einem Verlangen nach fahrfremden Nebenaufgaben führen. Beim aktuellen Stand der Technik werden fahrfremde Nebenaufgaben weder zur Verfügung gestellt noch sind sie durch die bisherige Gesetzgebung erlaubt.

Damit der Fahrer von den Vorteilen teil- (SAE L2) und hochautomatisierter Fahrzeuge (SAE L3)<sup>1</sup> ohne Komforteinbußen (bspw. erhöhtes Unfallrisiko durch reduziertes Situationsbewusstsein) profitieren kann, müssen sowohl die Interaktion mit dem automatisierten System, als auch mit der Nebenaufgabe nutzer- und situationsangepasst gestaltet werden.

Im Mittelpunkt des TANGO Projekts stand die Entwicklung eines „Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten“, welcher dem Fahrer unter Berücksichtigung des aktuellen Fahrerzustandes, der Fahrsituation, des Assistenzlevels und des verwendeten Interaktionskanals unterschiedliche Nebenaufgaben zur Verfügung stellt. Das Projekt kombinierte dabei bewährte Umfeldsensorik mit neuer Innenraumsensorik und neuen Konzepten für ein Human-Machine-Interface (HMI).

<sup>1</sup> Im folgenden werden die Automationsstufen immer nach der SAE Klassifikation (SAE International, 2014) angegeben



Übersicht des Projekts TANGO mit dem „Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistent“ als zentrales Element des Gesamtsystems

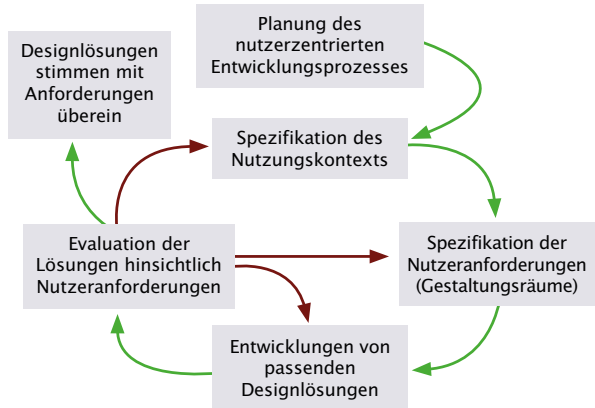
Die im Forschungsprojekt adressierte Problematik hat einen starken Fokus auf die individuellen Bedürfnisse der Lkw-Fahrer. Aus diesem Grund wurde im Projekt eine starke nutzerorientierte Entwicklung über mehrere Phasen angestrebt, beginnend mit der User Research, der Anforderungsanalyse über die Konzeption und Erstellung von Prototypen bis hin zur Evaluierung. Ziel des Projekts war eine prototypische Realisierung des Gesamtsystems und Integration des HMI- und Cockpitkonzeptes für den Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten in einen Lkw. Die entwicklungsbegleitenden Tests sowie die Evaluation mit Probanden fanden sowohl im Simulator als auch im Versuchsfahrzeug statt.

# DER NUTZERZENTRIERTE ANSATZ

## UMSETZUNG DER NUTZERZENTRIERUNG

Die Grundidee des nutzerzentrierten Entwicklungsprozesses (DIN EN ISO 9241-210:2010) ist es, die Bedürfnisse der späteren Nutzer eines Produktes in allen Phasen der Produktentwicklung zu berücksichtigen.

Nach einer Planungsphase werden zunächst die Anforderungen aus Nutzersicht empirisch untersucht. In der nächsten Phase werden die Anforderungen zusammengetragen, hinsichtlich erlebenskritischer Ereignisse analysiert und zu Gestaltungsräumen für innovative Lösungen strukturiert. Die anschließende Phase beinhaltet die darauf aufbauende Generierung möglichst vieler und unterschiedlicher nutzerzentrierter Lösungsideen. Diese werden dann in iterativen Phasen von einfachsten Prototypen über Simulationen zu technisch funktionierenden Prototypen weiterentwickelt und in Nutzertests evaluiert.



*Darstellung des nutzerzentrierten Entwicklungsprozesses nach DIN EN ISO 9241-210:2010*

So wurden zu Beginn des Projektes Lkw-Fahrer auf ihren Fahrten im Arbeitsalltag begleitet, um ihre Anforderungen und Bedürfnisse kennenzulernen. Anschließende qualitative Interviews thematisierten das beobachtete Verhalten sowie Wünsche, aber auch Ängste, um das Erleben der Fahrer besser verstehen zu können.

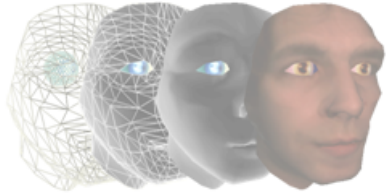


*Begleitete Fahrt zur Anforderungsanalyse*

Die Erkenntnisse dieser ersten Untersuchungen wurden in Form von Nutzersteckbriefen sowie daraus abgeleiteten Key Learnings und Gestaltungsräumen für die Optimierung des Nutzererlebens aufgearbeitet. Auf Basis dieser Gestaltungsräume wurden Ideen generiert, wie ein Aktivitäten- und Aufmerksamkeitsassistent realisiert werden könnte. Diese wurden in Fokusgruppen mit Lkw-Fahrern diskutiert, um gezielt Anregungen für die weitere Ausgestaltung des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten zu erhalten.

## FAHRERZUSTANDSERKENNUNG

Die CanControls GmbH entwickelt im Rahmen des Projektes die Fahrerbeobachtung mit Hilfe von Innenraumsensorik in Form von Nearinfrarot (NIR) und Time-of-flight (ToF) Kameras und stellt damit Merkmale zur Einschätzung des Fahrerzustandes der Fahrermodellierung zur Verfügung. Die Merkmale der Mimik- und Körperanalyse werden fusioniert um auf Aktivitäten des Fahrers schließen zu können.



### Gesichtsmerkmale

Das Gesicht verrät viel über den inneren Zustand eines Menschen. Der Fahrer wird daher mit zwei NIR Kameras beobachtet um eine Vielzahl von Merkmalen bei einer hohen Verfügbarkeit erfassen zu können. Dabei handelt es sich um äußerliche Merkmale wie die Gesichtsform und -Position, Augen- und Mundöffnung sowie Blickrichtung, aber auch um die Zuordnung der Mimik zu Action Units nach dem Facial Action Coding System (FACS).

### Körperposenschätzung

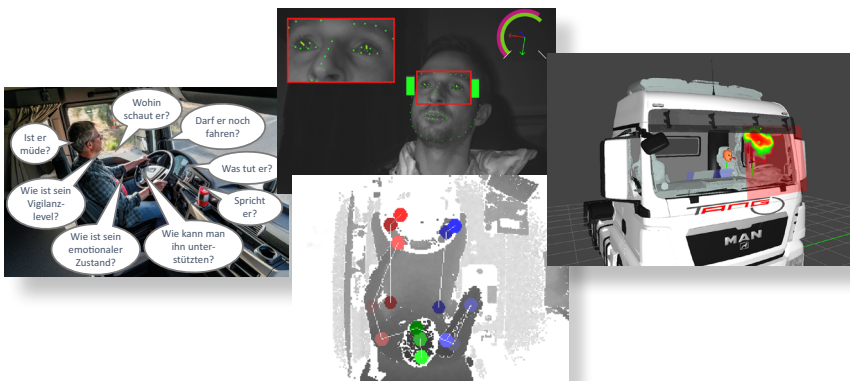
Die Analyse der Körperpose erfolgt auf Basis eines ToF Tiefensensors. Dieser liefert eine Tiefenkarte, welche als 3D-Punktwolke interpretiert werden kann und mit Hilfe von Convolutional Neural Networks ausgewertet wird.

### Gestenerkennung

Basierend auf der detektierten Handposition sowie der im Tiefenbild zuverlässig segmentierbaren Handform können grundlegende Steuersignale in Form von Gesten als Eingabemodalität genutzt werden. Diese setzen sich zusammen aus dynamischen Wischgesten und statischen Handformgesten.

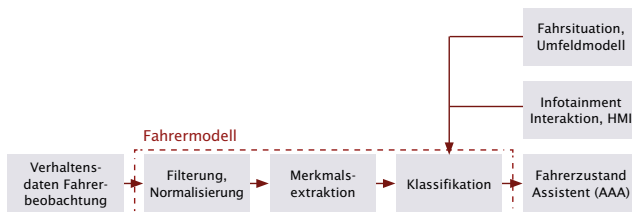
### Zuordnung von Aktivitäten

Die Kenntnis darüber, wohin der Fahrer schaut, wohin er greift oder mit welchem Gegenstand er interagiert ermöglicht eine Einschätzung seiner gerade ausgeführten Tätigkeit und so eine Zuordnung zu relevanten Anwendungsfällen.



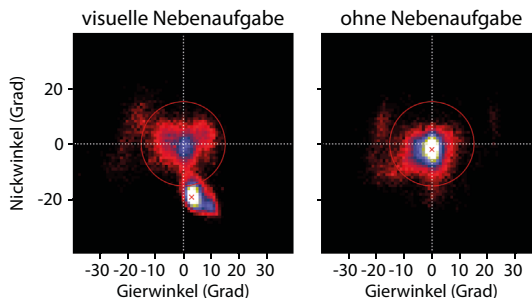
## FAHRERMODELL

Das Wissen über den aktuellen Fahrerzustand kann der Absicherung und Verbesserung des Nutzererlebnisses von automatisierten Fahrfunktionen dienen. So ist es für den Fahrer notwendig, bei teilautomatisierter Fahrt die Straße und Automatisierungsfunktion zu überwachen. Einschränkungen können durch Ablenkung bei der Beschäftigung mit Nebenaufgaben entstehen. Bei höheren Automatisierungsgraden besteht die Gefahr, dass Fahrer durch monotone Fahrten und aufkommende Müdigkeit schlechter in der Lage sind, die Fahraufgabe nach der Fahrt zu übernehmen. Ziel der Fahrermodellierung ist es, anhand verfügbarer fahrerbezogener Messgrößen, z.B. aus der Fahrerbeobachtung mit Innenraumkameras, solche Einschränkungen des Fahrerzustands zu erkennen und so eine bedarfsgerechte Assistenz zu ermöglichen.



*Verarbeitungskette und Integration der Fahrermodellkomponente.*

Die Entwicklung von Algorithmen zur Fahrerzustandsschätzung erfolgt auf Grundlage der im Rahmen von TANGO erhobenen Versuchsdaten. In der Verarbeitungskette angefangen von den Basissignalen der Fahrerbeobachtung bis hin zur Klassifikation des Fahrerzustands finden sich mehrere Verarbeitungsschritte, beispielsweise zur fahrerindividuellen Signalnormalisierung (obere Abbildung). Neben klassischen Verfahren zur Fahrerzustandsklassifikation wie der prozentualen Verteilung der Blicke auf die Straße (PRC, Percentage Road Center, untere Abbildung) kommen auch statistische Klassifikationsverfahren zum Einsatz, beispielsweise Verfahren auf Basis von tiefen neuronalen Netzen zur Blickbereichsschätzung.

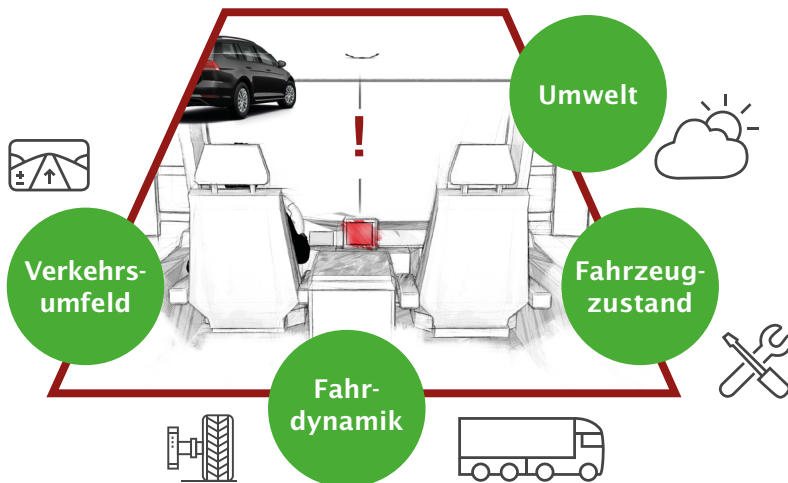


*Blickverteilung bei Fahrten mit und ohne visueller Nebenaufgabe (Kreis: 15° Road Center).*

## UMFELDMODELL

Im Allgemeinen setzt sich eine Fahrsituation aus dem Zusammenspiel von Fahrer, Umwelt und Fahrzeug zusammen. Im Umfeldmodell wird unter anderem eine Bewertung der Fahrsituation nach ihrer Kritikalität auf Basis vorhandener Informationen vorgenommen. Das Zusammenspiel der einzelnen unterschiedlichen Kriterien aus Fahrdynamik, Umwelt, Verkehrsumfeld und Fahrzeugzustand ergibt dann die Gesamtkritikalität einer Fahrsituation (siehe Abbildung). Die Kritikalität der aktuellen, aber auch der prädizierten Fahrsituation bestimmt die notwendige Fahreraufmerksamkeit. Zusätzlich können auch Aussagen über die Wahrscheinlichkeit einer Systemgrenze für automatisierte Fahrfunktionen gemacht werden und bereits früher die Fahrstrategie an die jeweilige Situation angepasst werden. Die Übergabe der Fahraufgabe an den Fahrer, der Take-Over Request (TOR), könnte vermieden werden oder aber eine konservativere Aufmerksamkeitswarnung an den Fahrer bei teilautomatisierter Fahrt (SAE L2) erfolgen.

In der ersten Integrationsstufe der Kritikalität in das Gesamtsystem werden im Umfeldmodell vorhersehbare Ereignisse wie verfügbare Spurinformatoren, Verkehrsdichte und Einscherer auf die eigene Fahrspur sowie das Schadenspotenzial bei einem möglichen Unfall betrachtet. Über die Verkehrsdichte lässt sich zum Beispiel eine Aussage treffen, wie stark frequentiert die jeweiligen Fahrspuren sind. Hier liegt die Überlegung zugrunde, dass ein hoher Verkehrsfluss bei entsprechender Geschwindigkeit potentiell eher zu einer kritischen Fahrsituation führen kann. Umgekehrt kann aber auch geringer Verkehr die Monotonie des Fahrens vergrößern. Eine gewichtete Kritikalitätsbewertung dieser jeweiligen Unterfaktoren wird anschließend vom Umfeldmodell an das Fahrermodell gesendet und dort mit weiteren Informationen aus der Fahrerbeobachtung verwendet, um Empfehlungen zur Fahrstrategie und der Interaktion zum Fahrer zu geben.



*Verarbeitungskette und Integration der Fahrermodellkomponente*

## AUFMERKSAMKEITS- UND AKTIVITÄTENASSISTENT

Der Aufmerksamkeit- und Aktivitätenassistent (AAA) stellt das zentrale Element des TANGO -Gesamtsystems dar. Er koordiniert die Signale der einzelnen Komponenten (Fahrermodell, Umfeldmodell, HMI, Fahrereingaben) und leitet daraus Handlungsempfehlungen und Systemreaktionen ab. Abhängig von den Eingangssignalen triggert der AAA Entscheidungen, sendet Botschaften an die anderen Komponenten und interagiert mit dem Fahrer.

Der AAA adressiert die folgenden Use-Cases, die während der Fahrt auftreten können, und deren spezifisches Zeitverhalten:

### Ablenkungserkennung

- Wie lange darf der Fahrer den Blick vom Fahrgeschehen abwenden bevor eine Warnung ausgesprochen wird?
- Wie reagiert das System auf andauernde Unaufmerksamkeit?
- Ab wann steht die Assistent Plus (SAE L2) System nicht mehr zur Verfügung?

### Prävention von Monotonie

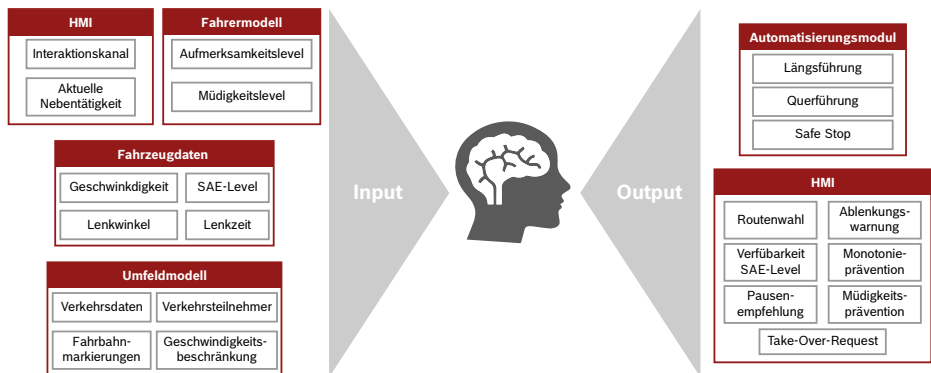
- Wie oft und wann werden Empfehlungen zur Ausübung von Nebentätigkeiten ausgesprochen?
- Wie wird reagiert, wenn der Fahrer nicht oder ablehnend reagiert?

### Pausenempfehlungen und Routenanpassung bei Änderung der Verkehrslage

- Wann und wie oft werden Pausen aufgrund geänderter Verkehrslage und sinkender Aufmerksamkeit des Fahrers vorgeschlagen?

### Müdigkeitserkennung und -prävention

- Wie oft warnt der AAA vor steigendem Müdigkeitslevel?
- Welche Nebentätigkeiten werden angeboten um die Müdigkeit zu reduzieren?
- Pausenempfehlung: Pause als einzig nachgewiesene Methode zur Müdigkeitsreduzierung.



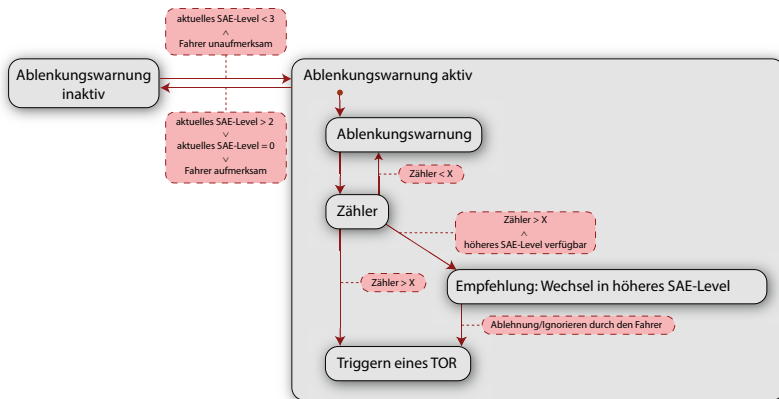
*Eingangs- und Ausgangssignale des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten*



Für jeden dieser Use-Cases wurde eine entsprechende Eskalationstrategie entwickelt. Am Beispiel der Ablenkungserkennung stellt sich dies folgendermaßen dar:

Use-Case: Ein Fahrer wird bei teilautomatisierter Fahrt (SAE L2) wiederholt als abgelenkt erkannt. Eskalationskaskade:

1. Ablenkungswarnung
2. Empfehlung zum Wechsel in ein höheres Automatisierungslevel (z. B. SAE L3)
3. Ablehnung durch den Fahrer
4. Triggern eines Take-Over Requests



*Beispiel der Eskalationskaskade einer Ablenkungswarnung durch den Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten*

Aus Fahrersicht besteht die Hauptfunktionalität des AAA in der Kommunikation mit der Komponente HMI, da hierüber Hinweise, Warnungen und Empfehlungen ausgegeben werden, sowie die vom AAA getroffenen Entscheidungen mitgeteilt werden. Aus Systemsicht stellt der AAA jedoch den zentralen Knotenpunkt für alle Komponenten dar. Der AAA verarbeitet alle Eingangssignale durch eine State-Machine in der auch die Prioritäten der unterschiedlichen Use-Cases abgebildet sind. Entsprechend der hinterlegten Logik löst der AAA situationsangepasst Aktionen der angeschlossenen Komponenten aus (Ablenkungswarnung, Pausenempfehlung, Information über die Verfügbarkeit eines anderen Automatisierungslevels, Einleitung eines Safe Stop). Dadurch, dass der AAA auch die Fahrereingaben überwacht, reagiert er immer angepasst auf das aktuelle Fahrerverhalten und wählt den angemessensten Kommunikationskanal zur Interaktion mit dem Fahrer.

## NUTZERZENTRIERTES HUMAN-MACHINE-INTERFACE

Das Gesamtziel des Vorhabens TANGO ist die Verbesserung des Nutzererlebnisses und der Akzeptanz von automatisierten Fahrfunktionen im Lkw. Dazu wurde ein neuartiges nutzerzentriertes HMI- und Cockpitkonzept entwickelt, welches sowohl die eigentliche Automatisierung, den Aufmerksamkeits- und Aktivitätsassistenten (AAA) sowie alle fahrzeugspezifischen Funktionen miteinander kombiniert.

Erlebbar ist das holistische HMI über eine Kombination aus visuellen, akustischen und haptischen Elementen, die dem Fahrer transparent und in Echtzeit den aktuellen Systemstatus und fahrzeugspezifische Informationen vermitteln. Die Bedien- und Anzeigeoberflächen des Lkws bestehen aus Cluster (Kombiinstrument), Headunit und einem zusätzlichem Tablet, das sich erst beim automatisierten Fahren nach SAE L3 vollständig aktiviert und dann zusätzliche Funktionen und Nebentätigkeiten anbietet. In dieser Phase dürfen Fahrer Nebentätigkeiten durchführen und dabei kann das Tablet auch aus der Halterung genommen werden.

Ein essentieller Bestandteil des HMIs ist der AAA, welcher als eine Art virtueller Beifahrer als Avatar mit dem Fahrer interagiert. Während der iterativen Entwicklung wurden unterschiedliche Ausprägungen des Avatars implementiert und untersucht. Es kamen sowohl abstrakte Icons als auch menschlich wirkende Avatare zum Einsatz.

Am Ende wurde ein abstrakter animierter Avatar ausgewählt. Außerdem wurden unterschiedliche sprachliche Charakterzüge für sicherheitskritische Aussagen (eher forsch) und Empfehlungen für Nebentätigkeiten (eher freundlich) umgesetzt.



*Kombiinstrument, Headunit und Tablet des automatisierten Lkws*

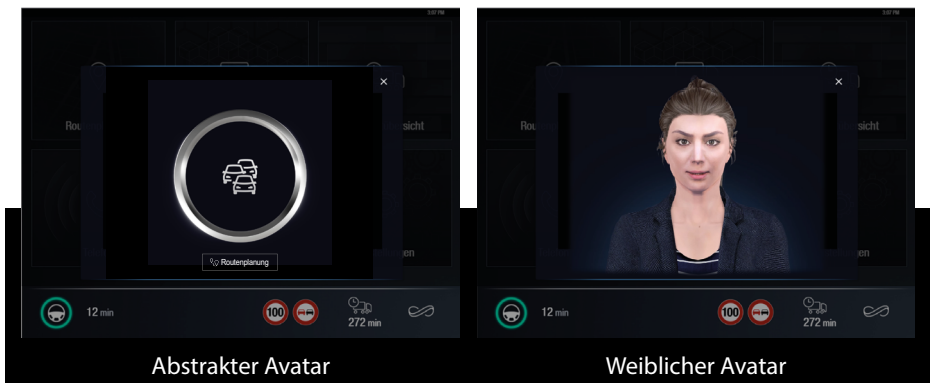
Die Fahrer haben zudem die Möglichkeit, Häufigkeit und Komplexität der Interaktion mit dem System zu konfigurieren, wobei sich dabei die Art bzw. Modalität der Ausgabe den Wünschen des Nutzers anpassen lässt. Sicherheitsrelevante Informationen werden jedoch stets an den Fahrer durchgestellt.

Hinsichtlich der automatisierten Fahrfunktion ist ein multimodales HMI Konzept für die transparente Übermittlung von Systemstatus und Zustandsübergängen essentiell. Der Fahrer kann bei Vorliegen geeigneter Bedingungen (Zone, in der automatisiertes Fahren möglich ist) selbstständig die Fahraufgabe über spezielle Bedienelemente an die Automatisierung übergeben oder wieder aufnehmen. Außerdem gibt es systemgenerierte Events, die ein sofortiges Eingreifen des Fahrers erfordern und die durch das HMI eindeutig signalisiert und ermöglicht werden müssen (z.B. am Ende einer automatisierten Fahrtstrecke).

Mit Nutzertests konnte gezeigt werden, dass die gleichzeitige Verfügbarkeit einander funktional sehr ähnlicher automatisierter Fahrfunktionen (SAE L2 und SAE L3) zur Verwechslung beim Fahrer (sogenannte „Mode Confusion“) führen können. Daher ist der Systemstatus (System L2/L3 aktiviert vs. deaktiviert) für den Fahrer neben der Übernahmeaufforderung die wichtigste Information. Neben den Anzeigen in den Displays wurde daher zusätzlich ein Lichtband installiert, das je nach Status (SAE L2/3 und manuelle Fahrt) in verschiedenen Farben leuchtet.

Die Anzeige der Verfügbarkeitsdauer der automatisierten Fahrfunktionen ermöglicht ein vorausschauendes Fahrerverhalten und es werden außerdem Informationen übermittelt, was das Fahrzeug aktuell sieht, plant und funktionsseitig ausführen kann.

Ein weiteres Nutzerbedürfnis stellt das Design der Innenkabine dar, welches auf potentiell neue Nebenaufgaben und Anforderungen des zukünftigen Fahrer Arbeitsplatzes eingeht. Dazu wurden ein erweitertes Displaykonzept, ein beweglicher Fahrersitz, ein neuartiges Tischkonzept sowie die Interaktion über Sprache und Gestik in das Interieur integriert.



Visualisierung des Interfaces eines abstrakten und eines menschlich animierten Avatars

### FAHRERBEANSPRUCHUNG BEI UNTERSCHIEDLICHEN NEBENAUFGABEN & AUTOMATISIERUNGSLEVELN

Mit steigendem Automatisierungslevel verlagert sich das Aufgabenfeld des Fahrers von der Ausführung der Fahraufgabe hin zu einer Rolle des Überwachers oder sogar zum passiven Insassen. Dies geht mit einer Reduktion der mentalen Beanspruchung des Fahrers einher (de Winter, Happee, Martnes & Stanton, 2014). Auf der anderen Seite ist mit einer Erhöhung der Beanspruchung zu rechnen, sobald der Fahrer die dadurch freigewordenen Ressourcen dafür nutzt, um sich Nebenaufgaben zuzuwenden. Gerade in der teil- (SAE L2) und hochautomatisierten Fahrt (SAE L3) muss jedoch gewährleistet werden, dass der Fahrer jederzeit in der Lage ist, die Fahraufgabe sofort bzw. kurzfristig vom System zu übernehmen. Er darf demnach weder über- noch unterbeansprucht sein. Daher ist es von besonderer Wichtigkeit zu erfassen, wie die Beanspruchung des Fahrers sowohl durch die automatisierte Fahrt im Allgemeinen als auch durch Nebenaufgaben während der automatisierten Fahrt beeinflusst wird.

Dieser Fragestellung widmete sich die vorliegende Studie mit 32 Berufskraftfahrern. Die Fahrer absolvierten hierzu eine teil- (SAE L2) und eine hochautomatisierte Fahrt (SAE L3) in einem statischen Fahrsimulator der MAN Truck & Bus SE. In verschiedenen Abschnitten beider Fahrten führten die Probanden entweder keine Nebenaufgabe aus oder bearbeiteten eine von zwei unterschiedlichen Formen eines Quiz. Bei der ersten Form handelte es sich um eine auditive Nebenaufgabe (vergleichbar mit einem Telefonanruf), bei der zweiten um eine visuellmotorische Nebenaufgabe (vergleichbar mit der Erledigung von Office-Arbeiten auf Notebook oder Tablet). Währenddessen erfolgte stetig die Messung der mentalen Beanspruchung sowohl objektiv mittels psychophysiologischer Parameter (EKG, HRV, EDA) und Reaktionszeiten (PDT) als auch subjektiv mittels Fragebogen (Driving Activity Load Index – DALI).



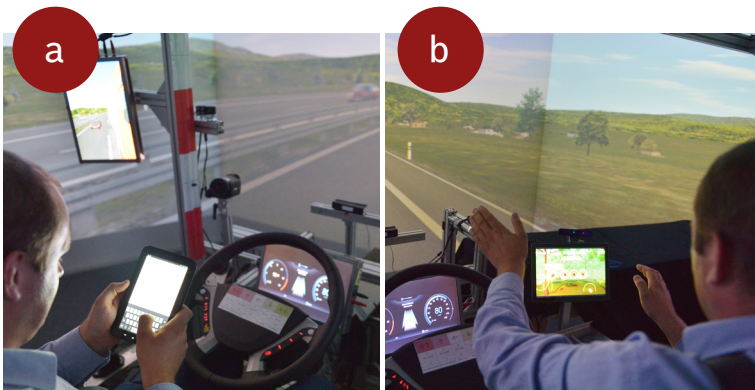
*Versuchsaufbau: visuell-motorische Nebenaufgabe, PDT*

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass die Bearbeitung einer Nebenaufgabe während der automatisierten Fahrt – zumindest subjektiv – eine erhöhte Beanspruchung mit sich bringt im Vergleich zur Situation ohne Nebenaufgabe. Auditive und visuell-motorische Aufgaben wirken sich dabei jedoch unterschiedlich auf empfundenen Stress und Reaktionsfähigkeit aus.

## DER EFFEKT VON AKTIVIERENDEN NEBENAUFGABEN AUF DEN MÜDEN FAHRER (SAE L3)

In der hochautomatisierten Fahrt (SAE L3) muss der Fahrer nicht mehr selbst fahren und ist zudem nicht einmal mehr in der Pflicht, die Überwachung des Systems dauerhaft zu übernehmen. Dies geht oftmals mit einer mangelnden Stimulation des Fahrers einher, was wiederum die Gefahr erhöht, dass der Fahrer ermüdet und nicht mehr übernahmebereit ist. Gerade in der hochautomatisierten Fahrt (SAE L3) ist dies jedoch problematisch, da der Fahrer in bestimmten Situationen schnell wieder in der Lage sein muss das Fahrzeug zu steuern. Studienergebnisse zeigen, dass die Ausführung von Nebenaufgaben einer Ermüdung in der automatisierten Fahrt entgegenwirken kann (z. B. Verwey & Zaidel, 1999). Bisher wurde dies aber hauptsächlich als präventive Maßnahme untersucht und nicht festgestellt, ob die Ausführung von Nebenaufgaben einen bereits ermüdeten Fahrer wieder aktivieren und somit fahrtüchtig machen kann.

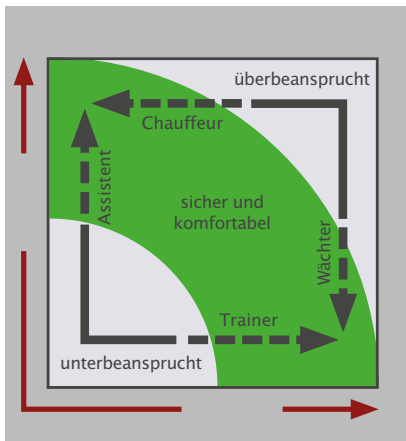
Daher untersuchte die vorliegende Studie diese Fragestellung am statischen Fahr Simulator der MAN Truck & Bus SE an einer Stichprobe von 29 hauptberuflichen Lkw-Fahrern. Die Probanden absolvierten drei Fahrten mit einem hochautomatisierten System (SAE L3). In den ersten 30 Minuten jeder Fahrt – der sogenannten Ermüdungsfahrt – führten die Probanden keine Nebenaufgabe aus. Daraufaufgehend beschäftigten sich die Fahrer für 7 Minuten entweder mit einem Chat, einem Bewegungsspiel oder mit keiner Nebenaufgabe. Im Anschluss an eine 5-minütige Messphase wurde dann durch das hochautomatisierte System (SAE L3) eine Übernahmeaufforderung (TOR) ausgegeben und die Probanden mussten von der Autobahn abfahren, um eine anspruchsvolle manuelle Fahrt (inkl. enger Kurven, Windböen) auszuführen. Während der gesamten Ermüdungsfahrt sowie in der Messphase wurde die Müdigkeit mittels Selbsteinschätzung (Karolinska Sleepiness Scale – KSS) und objektiver Bewertung (Observer Rating of Drowsiness – ORD) erfasst. Zudem erfolgte die Messung von Reaktionszeiten während des TOR und von Fahrdaten während der manuellen Fahrt.



Versuchsaufbau: a) Chat, b) Bewegungsspiel

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die gewählten Nebenaufgaben eine aktivierende Wirkung auf die Fahrer haben. Diese zeigt sich allerdings nur in der Müdigkeitseinschätzung (subjektiv/objektiv), aber nicht in den Fahrdaten der manuellen Fahrt.

### FAHRERBEANSPRUCHUNG BEI UNTERSCHIEDLICHEN NEBENAUFGABEN (SAE L2)



Optimales Aktivitätsniveau (grün)

Der Fahrer muss in der teilautomatisierten Fahrt (SAE L2) das System überwachen und in der Lage sein, die Fahrzeugführung unmittelbar zu übernehmen. Aus diesem Grund ist es wichtig, den Fahrer in einem optimalen Beanspruchungszustand zwischen Unter- und Überforderung zu halten, damit er die erforderliche Überwachungsleistung bringen kann (De Waard, 1996). Eine Herausforderung ist die Frage, wie das TANGO-System (der AAA) während der Fahrt bestimmen kann, ob der Fahrer, trotz Nebenaufgabe, in der Lage ist, bei einem Systemfehler zu reagieren.

Im Rahmen einer Fahrsimulatorstudie durchliefen 34 Probanden acht Versuchsbedingungen:

Zwei Baselinefahrten (manuelle und teilautomatisierte Fahrt (SAE L2) ohne Nebenaufgabe) und sechs Konditionen in einer teilautomatisierten Fahrt (SAE L2) mit Nebenaufgaben. Dabei handelte es sich um verschiedene Ausprägungen einer auditiven Aufgabe in Form des n-back-Tasks (1- und 2-back) sowie des Surrogate Reference Tasks (ISO14198:2012, 2012). Des Weiteren wurde eine Nebentätigkeit in Form von aktivierenden Bewegungs- und Dehnungseinheiten sowie eine Bedingung, in der ein Video gesehen wurde, integriert. Die subjektive Beanspruchung wurde über Fragebögen, die objektive Beanspruchung mithilfe einer Schilderererkennungsaufgabe erhoben. Des Weiteren wurden Blick- und Videodaten der Probanden aufgenommen.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass nicht der Beanspruchungsgrad einer Nebenaufgabe entscheidend ist, sondern die Wahrnehmungsmodalität. Visuelle Nebenaufgaben eignen sich nach dieser Studie nicht für eine Nebentätigkeit, wohingegen eine kognitiv beanspruchende, auditive Nebenaufgabe kein Problem darstellt.



Prüfstand an der Universität Stuttgart

## UNTERSUCHUNG DER FAHRERÜBERNAHME AUS EINER SCHLAFPHASE (SAE L4)

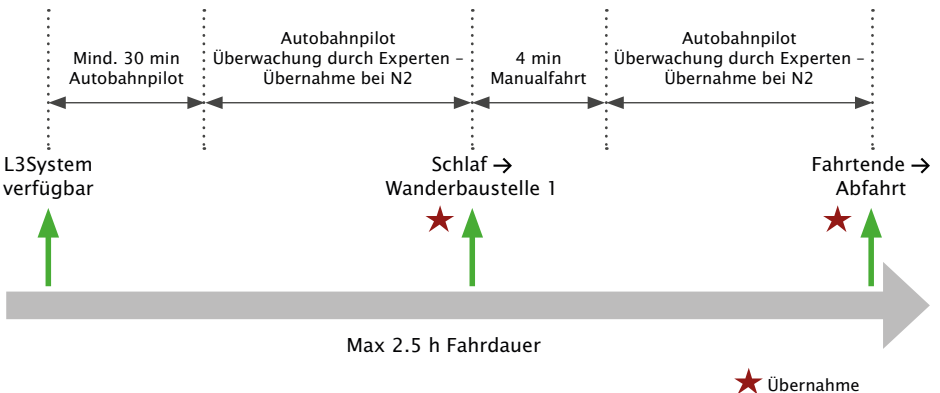
Das Thema Schlafen und Müdigkeit bei Fahrern spielt bei der näheren Betrachtung des automatisierten Fahrens eine große Rolle und stellt sogar ein Nutzerbedürfnis von Lkw-Fahrern dar. Innerhalb von einer teil- (SAE L2) oder hochautomatisierten Fahrt (SAE L3) ist dies jedoch strikt untersagt. Um die wirklichen Auswirkungen eines eingeschlafenen Fahrers auf die Übernahmequalität sowie die Fahrleistung zu identifizieren, wurde eine Fahrsimulatorstudie mit 25 Probanden am Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften GmbH (WIVW) durchgeführt.

Dazu wurden eine 35-minütige Wachfahrt sowie eine circa 120-minütige Müdigkeitsfahrt nach Schlafdeprivation mit einem hochautomatisierten System (entspricht somit eher SAE L4) erlebt, bei dem die Instruktion den Fahrern nahelegte, die Fahrt zum Schlafen zu nutzen.

Die Wach- und Schlafphasen wurden dabei über ein EEG mit Online-Bewertung durch einen Experten erfasst. Abhängig vom Schlafverhalten sowie der erreichten Schlafstadien wurde eine Übernahmesituation getriggert, auf die der Fahrer innerhalb von 60 Sekunden reagieren sollte.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen darauf hin, dass ein eingeschlafener Fahrer eine schlechtere Übernahmequalität (objektive und subjektive Messkriterien, wie z. B. Absicherungsblicke, Spurhaltung, Geschwindigkeit und Fahrfehler) zeigt als ein wacher Fahrer.

In Summe unterschieden sich die mittleren Reaktionszeiten zwischen den beiden Fahrerzuständen jedoch kaum voneinander. Das TANGO-HMI wurde in der Studie zudem als genau richtig in Bezug auf den Zeitpunkt und die Intensität bewertet.



Versuchsaufbau: Zeitablauf der Müdigkeitsfahrt



### MODE CONFUSION UND SITUATION AWARENESS BEI HÄUFIGEN TRANSITIONEN

Das für die jeweiligen Automatisierungslevel konzipierte Interface ermöglicht zum einen die Beschäftigung mit Nebenaufgaben wie zum Beispiel die Tablet-Nutzung, muss aber zum anderen dem Fahrer zu jedem Zeitpunkt eindeutig darstellen, in welchem Systemzustand sich das Fahrzeug befindet. Eine eindeutige Darbietung stellt nicht nur den momentanen Systemstatus dar, sondern informiert auch über zukünftige Status und spricht darüber hinaus auch Empfehlungen bzgl. geeigneter Automationsgrade aus.

Die zentrale Forschungsfrage dieser Simulatorstudie war daher, das Modusbewusstsein des Fahrers sowie das Fahrerlebnis zu überprüfen und mögliche Modusverwirrungen zu identifizieren. Somit stellte diese Studie nicht nur einen wichtigen Baustein für die Handhabung der in TANGO relevanten Automatisierungslevel dar, sondern diente auch der Evaluation des HMI-Prototyps für das TANGO Cockpitkonzept. Dazu fuhren die Fahrer Strecken in häufig wechselnden Automatisierungsleveln (SAE L0, SAE L2 und SAE L3) und durchlebten systematisierte Transitionen sowie eine Übernahme, in der die Transition durch ein Stauende ausgelöst wurde, das im SAE L2 vom Fahrer selbst erkannt werden musste. Das Interface für die Automatisierungslevel zeigte dem Fahrer multimodal (visuell: Kombiinstrument, LED-Leiste in Scheibenwurzel, akustisch: Sprachansagen und Töne, taktil: vibrotaktile Sitzmatrix) das jeweilige Automatisierungslevel an.

Um das Fahrerverhalten zwischen und während der Transition erfassen zu können, wurden neben der Fahrerbeobachtung (Blickdaten und Körperposen) auch eine Schilderererkennungsaufgabe (SDT) eingesetzt sowie eine fahrfremde Tätigkeit in Form eines Quiz angeboten. Die subjektive Einschätzung der Fahrer wurde mittels Befragung während und nach der Fahrt erhoben.

Fazit der Studie war, dass das TANGO HMI dem Fahrer erfolgreich vermittelt, in welchem Automatisierungslevel er sich befindet. Allerdings war das Wissen über die Verpflichtungen und Freiheiten des jeweiligen Levels nicht immer präsent. Somit zog die Studie eine Überarbeitung des HMI Konzepts nach sich.



Versuchsaufbau:

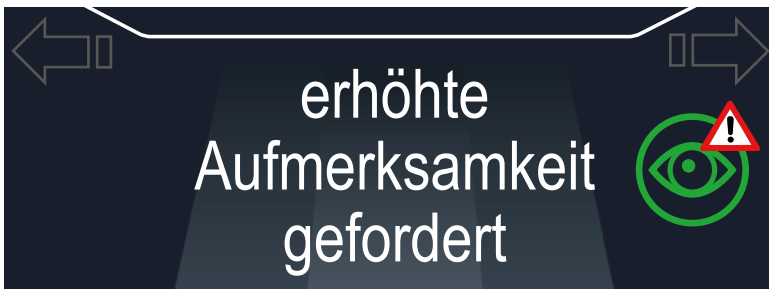
a) Nebenaufgabe in SAE L2, b) Nebenaufgabe in SAE L3



### UMFELDADAPTIVER AUFMERKSAMKEITSASSISTENT (SAE L2)

Nachlassende Aufmerksamkeit bei monotonen Fahrten in teilautomatisierten Fahrzeugen (SAE L2) stellt ein grundlegendes Problem für die Entwicklung sicherer automatisierter Fahrsysteme dar. Eine Möglichkeit Fahrer dabei zu unterstützen ein automatisiert fahrendes Fahrzeug länger zu überwachen besteht darin, den Fahrer gezielt über Situationen mit besonderem Aufmerksamkeitsbedarf zu informieren.

Im Rahmen einer Fahrsimulatoruntersuchung wurde ein umfeldadaptives Aufmerksamkeitsassistentensystem untersucht. Bei diesem System (progressives System) wurden Fahrstrecken mit erhöhtem Aufmerksamkeitsbedarf entsprechend gekennzeichnet und es erfolgte zudem eine Verringerung der tolerierten Blickabwendungszeiten des aktiven Ablenkungswarnsystems. Situationen mit erhöhtem Aufmerksamkeitsbedarf liegen bspw. dann vor, wenn aus den Umfeldgegebenheiten auf eine erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Automatisierungsfehlers geschlossen werden kann, bspw. durch falsche oder fehlerhafte Spurmarkierungen, z.B. in einer Baustelle.



*Ankündigung eines Streckenabschnitts mit erhöhtem Aufmerksamkeitsbedarf im Informationsdisplay*

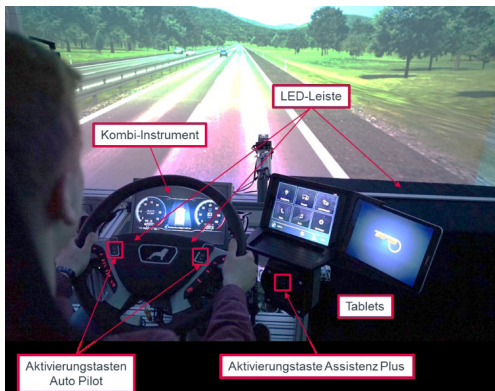
Außerdem führen die Teilnehmer der Studie zusätzlich mit zwei weiteren Systemausprägungen. In der konservativen Systemvariante erfolgte stets eine Übernahmeaufforderung bei den entsprechenden Umfeldgegebenheiten, z.B. kurz vor einer Baustelle. In der aggressiven Systemvariante erfolgte kein gesonderter Hinweis und keine Anpassung des Ablenkungswarnsystems. Bei allen Fahrten erfolgten zufällige Spurführungsfehler, die von den Probanden entdeckt und korrigiert werden mussten. Die Teilnehmer führten außerdem während der Fahrt eine Zweitaufgabe durch (SuRT).

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass eine entsprechende Umfeldadaption Sicherheitsvorteile mit sich bringen kann – hier gemessen durch die durchschnittlich niedrigere Spurabweichung in der progressiven gegenüber der aggressiven Systemausprägung.

### HMI-EVALUATION UND NUTZERERLEBEN BEI DER INTERAKTION MIT DEM AUFMERKSAMKEITS- UND AKTIVITÄTEN-ASSISTENTEN

Auf Basis der Erkenntnisse vorangegangener Studien zur Aufmerksamkeitsverteilung und Müdigkeitsintervention wurde die erste Version des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten (AAA) entwickelt. Dieser erkennt den Fahrerzustand und gibt entsprechende Empfehlungen oder Warnungen aus, die den Fahrer unterstützen. Zudem werden im zugehörigen HMI-Konzept die derzeit ausgeführten Automationsstufen (SAE L2, L3) sowie deren Aktivierung und Wechsel visualisiert. Die vorliegende Studie diente der Evaluierung des Konzepts mit 30 hauptberuflichen Lkw-Fahrern und erfolgte am statischen Fahrsimulator der MAN Truck & Bus SE.

Die Probanden absolvierten eine Eingewöhnungsfahrt sowie zwei Versuchsfahrten in Teil- und Hochautomation (SAE L2, L3). Im Rahmen dieser Fahrten sollten die Probanden die Automatisierung aktivieren, sobald dies möglich war. Vor der Eingewöhnungsfahrt gab es keine Instruktion diesbezüglich. Vor den Versuchsfahrten wurde die Aktivierungslogik ausführlich erklärt. Während der Versuchsfahrten konnten die Probanden nach Bedarf die angebotenen Nebentätigkeiten ausführen. Der AAA gab in SAE L2 Warnungen bei detektierter Unaufmerksamkeit aus und sprach in beiden Automationsgraden (SAE L2, L3) Empfehlungen bezüglich passender Nebentätigkeiten sowie z.B. Routenempfehlungen aus. Während der Fahrten bewerteten die Fahrer die erfolgten Transitionen sowie die Mode Awareness. In der Nachbefragung wurden des Weiteren Fragen zu Usability, Perceived Usefulness und Akzeptanz des AAA sowie zur Auswahl der Nebentätigkeiten gestellt. Zudem erfolgte die Bewertung eines alternativen Avatars.



*Displays und Bedienelement des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten*

Die Ergebnisse zeigen, dass im derzeitigen Konzept nicht allen Fahrern ohne vorherige Instruktion klar ist, wie SAE L2 und L3 aktiviert werden. Während der Fahrt in SAE L2 wissen die Probanden welche Aufgaben bei ihnen und welche beim System liegen. In SAE L3 denkt jedoch ein Großteil der Probanden, dass sie die Fahraufgabe weiter überwachen müssen. Die Aufmerksamkeitswarnungen (SAE L2) des AAA werden generell positiv bewertet, die Warnungen kamen jedoch in dieser Umsetzung zu schnell. Die weiteren Empfehlungen des AAA werden als hilfreich angesehen und die Auswahl an fahrfremden Tätigkeiten gut bewertet. Insgesamt ist die Akzeptanz des virtuellen Beifahrers hoch – bei SAE L3 noch höher als bei SAE L2.

### AUSWIRKUNGEN DES AAA AUF DIE MÜDIGKEITS- ENTWICKLUNG UND DEREN LANGFRISTIGE FOLGEN (SAE L3)

Durch die Automatisierung von Fahrfunktionen nimmt der Fahrer eine zunehmend passive Rolle ein, wodurch es leicht zu Unterforderungen kommen kann und der Fahrer ermüdet. In vorausgehenden Studien wurden bereits fahrfremde Tätigkeiten identifiziert, die bereits eingetretener Müdigkeit entgegenwirken können (Chat, Bewegungsspiel). Diese Ergebnisse flossen in die weitere Entwicklung des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten (AAA) ein. Im nachfolgenden Schritt stellte sich die Frage, ob der AAA mit seinen Hinweisen und seinem Angebot an Tätigkeiten auch dafür geeignet ist, die Müdigkeitsentwicklung von Beginn an vorzubeugen und die Fahrsicherheit dadurch langfristig zu verbessern.

Dies untersuchte die vorliegende Studie in einem dynamischen Fahrsimulator an der Technischen Universität München mit 30 Berufskraftfahrern. Alle Versuchspersonen fuhren zwei automatisierte Fahrten, wovon bei einer der AAA zur Verfügung stand, bei der anderen nicht. Im Anschluss an die automatisierten Fahrten erfolgte in randomisierter Reihenfolge eine kritische oder eine unkritische Übernahme-situation. Nach einer unkritischen Übernahme-situation folgte des Weiteren ein längerer anspruchsvoller Streckenabschnitt (inkl. Kurven und Windböen) welcher manuell durchfahren werden musste. Während der automatisierten Fahrt wurde die Müdigkeit der FahrerInnen mittels Selbsteinschätzung (Karolinska Sleepiness Scale – KSS) und objektiver Bewertung (Observer Rating of Drowsiness – ORD) erfasst. Zudem erfolgte die Messung von Fahrdaten während der kritischen Übernahme-situation und der manuellen Fahrt.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass der AAA die Entstehung der Müdigkeit während einer automatisierten Fahrt verzögern kann. Ein signifikanter langfristiger Effekt auf die Übernahme oder die anschließende manuelle Fahrt konnte nicht gefunden werden, jedoch deuten die deskriptiven Daten auf eine bessere Übernahmegüte bei Verfügbarkeit des AAA hin.



*Proband beim Ausführen von Nebentätigkeiten während der automatisierten Fahrt*

### HMI-EVALUATION UND NUTZERERLEBEN BEI DER INTERAKTION MIT DEM AUFMERKSAMKEITS- UND AKTIVITÄTEN-ASSISTENTEN AUS SICHT VON LKW-FAHRERN IM REALFAHRZEUG AUF DER TESTSTRECKE

Das HMI-Konzept wurde in einem Wizard-of-Oz-Versuchsfahrzeug mit Lkw-Fahrern auf der Teststrecke getestet und evaluiert. Ziel der Studie war es, unter möglichst realitätsnahen Bedingungen, herauszufinden, wie Lkw-Fahrer das entwickelte HMI-Konzept bewerten und erleben. Das Konzept beobachtet den Fahrerzustand und gibt entsprechende Empfehlungen oder Warnungen aus, wenn die Aufmerksamkeit des Fahrers nachlässt oder Müdigkeit erkannt wird. Das HMI-Konzept umfasst zudem die Aktivierung und Visualisierung zweier Automatisierungsstufen (SAE L2 sowie SAE L3). Die Verfügbarkeit der jeweiligen Stufe wird über das HMI sowohl akustisch als auch visuell angekündigt. Das entwickelte Konzept wurde bereits in einer früheren Entwicklungsstufe im Fahrsimulator mit Lkw-Fahrern getestet und evaluiert.

19 Probanden nahmen an der Studie auf der Teststrecke in Pferdsfeld teil, die Stichprobe bestand aus einer Frau und 18 Männern. Im Anschluss an eine Vorbefragung erfolgte eine kurze Eingewöhnungsfahrt, die den Probanden dazu diente, sich mit dem Versuchsfahrzeug sowie der Aktivierung und Deaktivierung der Automation vertraut zu machen. Anschließend erfolgten zwei Versuchsfahrten, während der die Probanden das System in unterschiedlichen Situationen kennenlernten (Wechsel zwischen Automationsstufen, Aufmerksamkeitswarnung während SAE L2, Vorschlag eine Nebentätigkeit durchzuführen in SAE L3). Während der Versuchsfahrten wurden subjektive Einschätzungen von den Probanden zur Transition und Mode Awareness erfasst. Zwischen den Versuchsfahrten und im Rahmen einer Abschlussbefragung wurden Akzeptanz und User Experience gemessen sowie Angaben zu Usability und Systemvertrauen über Fragebögen erhoben. Zusätzlich wurde das Blickverhalten der Probanden mithilfe des Smart Eye Systems während der Fahrten erfasst.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Lkw-Fahrer das Gesamtsystem insgesamt positiv bewerten. Nach der Interaktion mit dem System wird die wahrgenommene Nutzerfreundlichkeit von automatisierten Fahrfunktionen signifikant höher eingeschätzt als vor den Fahrten. Die Empfehlungen und Warnungen des Systems werden als positiv und hilfreich angesehen und auch für das eigene Fahrzeug gewünscht. Im Benchmark-Vergleich fällt die User Experience sehr gut aus und auch im UX-Facettenmodell nach Engeln & Engeln (2015) zeigen sich keine Barrieren der User Experience.

Die Mehrheit der Probanden findet Automation positiv: am häufigsten werden die Entlastung des Fahrers sowie eine Erhöhung der Verkehrssicherheit / Reduktion von Unfällen genannt. Auch die Einstellung zur Fahrerbeobachtung fällt mehrheitlich positiv aus: die Aspekte Erhöhung der Verkehrssicherheit sowie die Erkennung von Unaufmerksamkeit / Müdigkeit / Sekundenschlaf und medizinischen Notfällen werden als besonders sinnvoll empfunden. Alle Probanden schätzten ihr allgemeines Verständnis des Systems als gut bis sehr gut ein.



*Versuchsfahrten der Probanden im Wizard-of-Oz-Fahrzeug*

### EVALUATION DES TANGO-GESAMTSYSTEMS AUS SICHT VON STAKEHOLDERN

Für die erfolgreiche Einführung einer automatisierten Fahrfunktion im Lkw spielen auch die Anforderungen der Stakeholder eine maßgebliche Rolle. Deshalb wurden zu Beginn des Projektes (2017) die Anforderungen an einen Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten (AAA) aus Sicht von Stakeholdern diskutiert und zum Ende des Projektes (2020) der entwickelte Prototyp eines AAA reflektiert.

Die Stakeholder der ersten Diskussionsrunde stammten aus den Bereichen MAN Vertrieb, Speditionswesen, Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur (BMVI), TÜV SÜD Rail GmbH und MAN ProfiDrive. Die Stakeholder sahen zu den Themen automatisiertes Fahren, fahrfremde Tätigkeiten, Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistent (AAA) und nutzergerechte Technologien mehr befürwortende Faktoren und Vorteile als Limitationen. Die Stakeholder-Anforderungen bestanden u.a. in der Notwendigkeit von fahrfremden Tätigkeiten, um dem Fahrer eine sinnvolle Beschäftigung zu geben und ihn wach zu halten. Dabei spielen persönliche Aufgaben eine entscheidende Rolle, jedoch weniger Speditionsaufgaben aufgrund sensibler Daten. Die Fahrerbeobachtung wurde im Hinblick auf die Akzeptanz durch die Lkw-Fahrer kritisch diskutiert, da sie sich überwacht fühlen könnten. Deshalb sollte der Mehrwert für den Lkw-Fahrer klar herausgearbeitet werden. Hinsichtlich eines Gesamtsystems wurde die transparente und fehlerfreie Funktionsweise für eine zufriedenstellende Nutzung betont.

Die Teilnehmer der zweiten Stakeholderdiskussion stammten aus der MAN-Serienfertigung, dem MAN-Vertrieb sowie dem TÜV Süd Rail GmbH. Diskutiert wurde der entwickelte Prototyp in Bezug auf die Erfüllung der zu Beginn des Projektes definierten Anforderungen. Dazu probierten die Stakeholder den AAA im Versuchsfahrzeug in einer Stand-Demo aus. Die Stakeholder sehen einen Mehrwert des Systems im Beitrag zur Verkehrssicherheit, der durch Automation, Fahrerbeobachtung und das kontrollierte Ausführen von Nebentätigkeiten auf den Tablets (statt auf dem Handy) entsteht. Als Vorteil wird auch gesehen, dass je nach Automatisierungslevel verschiedene Tablets unterschiedliche Nebentätigkeiten ermöglichen, da dies zur Mode Awareness beiträgt und nicht erlaubte Nebentätigkeiten gesperrt sind. Allerdings versperren die Tablets den Durchstieg, was für Fernfahrer hinderlich sein kann. Das System wird als einfach zu bedienen und zu verstehen eingeschätzt. Ein weiterer Mehrwert liegt aus Sicht der Stakeholder darin, dass der AAA der Monotonie des Fahreralltags entgegenwirkt und zur Entspannung beiträgt. Damit hilft der AAA bei der zunehmend schwerer werdenden Fahrergewinnung, weil er den Arbeitsplatz attraktiver macht. Als Anregungen für die Weiterarbeit wurden u.a. genannt,

dass geprüft werden sollte, ob ein Drehdrückschalter, ergänzend zum bestehenden Touchscreen, die Bedienung während der Fahrt erleichtern kann. Zudem könnten Videos statt auf dem Tablet im Kombi-Instrument gezeigt werden, da so keine veränderte Sitzposition notwendig ist. Ferner sollte der AAA individuell und situativ anpassbar sein hinsichtlich Sprache und Nebentätigkeiten und könnte ggfs. auch verschiedene Bedienmodalitäten ermöglichen, z.B. Spracheingabe. Bezüglich der Einweisung in das System werden Schulungen, z.B. mit Gamification-Elementen, vorgeschlagen.



*TANGO System eingebaut  
im Versuchsträger*

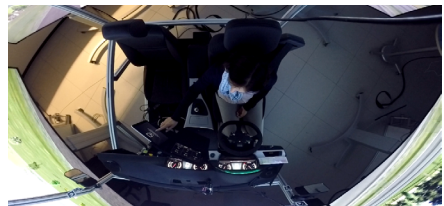
### HMI EVALUATION UND NUTZERERLEBEN BEI DER INTERAKTION MIT DEM AUFMERKSAMKEITS- UND AKTIVITÄTENASSISTENTEN AUS SICHT VON PKW-FAHRERN

Müdigkeit durch stundenlanges monotones geradeaus Fahren auf der Autobahn stellt nicht nur für Lkw-Fahrer ein sicherheitskritisches Problem dar, sondern kann auch für Pkw-Fahrer gefährlich werden. Um diesem Problem vorzubeugen, wurde das mit Fokus auf den Lkw-Fahrer entwickelte HMI-Konzept ebenfalls auf den Pkw-Kontext übertragen und in einer Simulatorstudie mit Pkw-Fahrern getestet und evaluiert. Ziel der Studie war es herauszufinden, wie Pkw-Fahrer das entwickelte HMI-Konzept bewerten und erleben. Das Konzept beobachtet den Fahrerzustand und gibt entsprechende Empfehlungen oder Warnungen aus, wenn die Aufmerksamkeit des Fahrers nachlässt oder Müdigkeit erkannt wird. Das HMI-Konzept umfasst zudem die Aktivierung und Visualisierung zweier Automatisierungsstufen (SAE L2 sowie SAE L3). Die Verfügbarkeit der jeweiligen Stufe wird über das HMI sowohl akustisch als auch visuell angekündigt.

30 Probanden nahmen an der Studie im dynamischen Fahrsimulator der Robert Bosch GmbH am Standort Renningen teil, darunter 15 Frauen und 15 Männer. Im Anschluss an eine Vorbefragung erfolgte eine kurze Eingewöhnungsfahrt, die den Probanden dazu diente, sich mit dem Fahrsimulator vertraut zu machen und die Aktivierung und Deaktivierung der Automation kennenzulernen. Anschließend erfolgten zwei Versuchsfahrten während derer der Proband das System in unterschiedlichen Situationen kennenlernte (Wechsel zwischen den Automationsstufen, SAE L2 Aufmerksamkeitswarnung, Vorschlag eine Nebentätigkeit durchzuführen in SAE L3, Vorschlag zur Routenänderung (bedingt durch Stau), Warnung bei Müdigkeit). In den Versuchsfahrten wurden Angaben zu den Variablen Transition und Mode Awareness erfasst. Des Weiteren wurden zwischen den Versuchsfahrten und im Rahmen einer Abschlussbefragung die Akzeptanz und User Experience über Fragebögen erhoben sowie Angaben zu Usability und Systemvertrauen über Fragebögen erfragt. Des Weiteren wurde das Blickverhalten der Probanden mittels Smart Eye System erfasst und per Video aufgezeichnet.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die Bewertung des Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistenten aus Sicht der Pkw-Fahrer insgesamt sehr positiv ausfiel. Das in erster Linie für Lkw-Fahrer entwickelte System bietet ebenso Potential für den Pkw-Bereich. Auch mit Blick auf verkehrssicherheitsrelevante Aspekte fallen die Ergebnisse überwiegend positiv aus. So fällt der verkehrssicherheitskritische Wert VGP (Vehicle Guidance Parameter) aus dem Take-Over Performance Score (Radlmayr, Ratter, Feldhütter, Körber, Prasch, Schmidler, Yang, Bengler, 2018) welcher sowohl die Spurhaltung als auch die laterale und longitudinale Beschleunigung einbezieht, über alle Fahrten hinweg gut aus.

In Bezug auf die durchschnittlichen Fehlerstufen des Invent – Traffic Safety Assessment (I-TSA) Verfahren (Glaser, Waschulewski, & Schmid, 2005) zeigt sich vor allem in Bezug auf die Querschleunigung eine niedrige Fehlerstufe was gemäß I-TSA einem sicheren Fahrverhalten entspricht und auch für die Standard Deviation of Lane Position fällt die durchschnittliche Fehlerstufe gering aus.

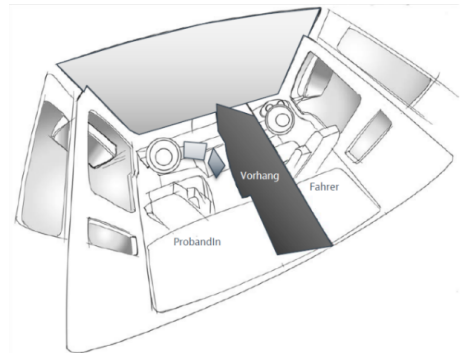


*Versuchsumgebung im dynamischen Fahrsimulator*



## MOTION SICKNESS UNTERSUCHUNG MIT EINEM RECHTSLENKER-LKW

Mit zunehmender Automatisierung wird der Lkw der Zukunft zu einem neuartigen Arbeitsplatz für Lkw-Lenker. Dadurch eröffnen sich zahlreiche neue Möglichkeiten für den Fahrer – beispielsweise kann der Lkw während der automatisierten Fahrt auch als Büroarbeitsplatz genutzt werden. Dies kann dann auch Tätigkeiten wie zum Beispiel Lesen, Schreiben, die Durchführung von administrativen Tätigkeiten oder die Teilnahme an Videoschulungen beinhalten. Hierbei stellt sich jedoch die Frage: Wie gut lassen sich solche Tätigkeiten während einer automatisierten Fahrt bewerkstelligen? Welche Auswirkungen haben diese auf das Wohlbefinden des Fahrers? Ein relevantes Thema in diesem Zusammenhang ist das Thema Motion Sickness (körperliches Unwohlsein, das durch Bewegung in einem Fahrzeug ausgelöst werden kann - auch Reise- oder Bewegungskrankheit genannt). Daher ist es von besonderer Bedeutung zu untersuchen, ob sich das Risiko von Motion Sickness durch die Ausführung solcher fahrfremder Tätigkeiten erhöht und wie sich verschiedene Arbeitsplatzkonzepte darauf auswirken können. Diesem Thema widmete sich die vorliegende Studie mit insgesamt 60 Probanden und Probandinnen. Die Versuchspersonen führten während einer automatisierten Fahrt in einem Wizard-of-Oz-Fahrzeug verschiedene Nebentätigkeiten (Lesen oder Ansehen von Videos) auf einem Tablet durch, welches an unterschiedlichen Positionen angebracht war. Währenddessen, sowie vor und nach der Fahrt erfolgte die Erfassung der subjektiven Motion Sickness. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass Motion Sickness bei automatisierter Fahrt einen zu berücksichtigenden Faktor darstellt. Sie weisen außerdem darauf hin, dass es hinsichtlich des Auftretens von Motion Sickness am problematischsten ist, wenn das Tablet in der Hand gehalten wird. Motion Sickness trat am wenigsten häufig auf, wenn das Tablet ganz rechts außen angebracht war. Allerdings liegen hier (im Gegensatz zur Position in der Hand) die größten Beschwerden hinsichtlich der Ergonomie des Arbeitsplatzes vor.



Aufbau des Wizard-of-Oz-Fahrzeuges



Positionen der Tablets: a) in der Hand, b) rechts, c) außen rechts

### **ADAPTIONSEFFEKTE UND NUTZERERLEBEN BEI ZEITLICH KRITISCHEN ÜBERNAHMEN ÜBER DIE ZEIT BEI PKW-FAHRERN**

Verhaltenseffekte bei der Nutzung automatisierter Systeme sowie das Nutzererleben während automatisierter Fahrsituationen wurden bereits in einigen Studien untersucht (u.a. Sullivan, Flanagan, Pradhan, & Bao, 2016). Allerdings gibt es wenige Erkenntnisse darüber, wie und ob sich diese Effekte über die Zeit verändern, wenn der Umgang mit dem System vertrauter wird. Um dieser Fragestellung nachzugehen, wurde eine Langzeit-Fahrsimulatorstudie an der Hochschule der Medien durchgeführt. Mit Hilfe der Fahrsimulator-Studie wurden folgende Fragestellungen untersucht:

*(Wie) adaptieren Probanden an zeitlich kritische Übernahmeaufforderungen?*

*Hilft die Erfahrung mit zeitlich unkritischen Übernahmen bei zeitlich kritischen?*

*Unterscheiden sich Probanden mit Erfahrung in zeitlich kritischen Übernahmen von Probanden mit Erfahrung in zeitlich unkritischen Übernahmen?*

*Nimmt das Vertrauen in automatisierte Systeme über die Zeit zu?*

*(Wie) verändern sich die User Experience und die Verkehrssicherheit über die Zeit?*

56 Probanden fuhren über fünf Wochen einmal wöchentlich, wenn möglich immer am gleichen Tag und zur gleichen Uhrzeit, für 45 Minuten im Fahrsimulator. Dabei erlebten sie je nach Bedingung zeitlich kritische oder zeitlich unkritische Übernahmesituationen: In den Versuchsfahrten eins bis vier erlebten alle Probanden zwei zeitlich unkritische Übernahmesituationen (Baustelle auf der Autobahn). In der Experimentalgruppe erfolgte zusätzlich eine zeitlich kritische Übernahmesituation (Unfallsituation). In der fünften Versuchsfahrt erlebten sowohl die Kontrollgruppe als auch die Experimentalgruppe zusätzlich zu den beiden zeitlich unkritischen Übernahmen eine zeitlich kritische. Während der Automation (SAE L3 Fahrt) waren die Probanden angehalten Sudoku auf einem dafür eingebauten Tablet zu spielen. Die subjektive Beanspruchung und die User Experience wurden über Fragebögen erhoben, die Reaktionszeit über Daten der Fahrsimulation. Des Weiteren wurden Blickverhalten der Probanden und Videos aufgenommen. Diese dienten als Grundlage für die Analyse verkehrssicherheitsspezifischer Aspekte.



Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Erfahrung mit dem automatisierten System über einen längeren Zeitraum zu einer konstant positiven User Experience führt und das Vertrauen in das System über die Wochen zunimmt, unabhängig von der Kritikalität der Übernahme-situation. Ferner nimmt die Reaktionszeit auf eine zeitlich kritische Übernahme-situation über die Zeit ab und fällt in der fünften Fahrt in der Experimentalgruppe signifikant geringer aus im Vergleich zur Kontrollgruppe. Aber auch die Kontrollgruppe reagiert in der zeitkritischen Übernahme-situation in der fünften Fahrt signifikant schneller als die Experimentalgruppe in der ersten Fahrt. In Bezug auf verkehrssicherheitspezifische Aspekte zeigt der VGP (Vehicle Guidance Parameter) aus dem Take-Over Performance Score (Radlmayr, Ratter, Feldhütter, Körber, Prasch, Schmidler, Yang, Bengler, 2018), welcher sowohl die Spurhaltung als auch die laterale und longitudinale Beschleunigung einbezieht, keine signifikanten Veränderungen in der zeitlich kritischen Übernahme-situation über die fünf Wochen bei der Experimentalgruppe. Auch mit Blick auf die durchschnittlichen Fehlerstufen des Invent – Traffic Safety Assessment (I-TSA) Verfahren (Glaser, Waschulewski, & Schmid, 2005) zeigen sich keine signifikanten Veränderungen bei der zeitlich kritischen Übernahme über die fünf Wochen hinweg.



*Aufbau des Fahrsimulators der Hochschule der Medien*

## STUDIEN UND DEMONSTRATOREN

### VERGLEICH DER STUDIENERGEBNISSE ZUM AAA VON LKW- UND PKW-FAHRERN AUS FAHRSIMULATOR- UND REALFAHRZEUGSTUDIEN

Der im Rahmen des Projekts TANGO entwickelte Aufmerksamkeits- und Aktivitätenassistent (AAA) wurde mit Fokus für Lkw-Fahrer konzipiert. In dem Projekt wurde darüber hinaus auch die Übertragbarkeit in den Pkw untersucht. Getestet wurde der schon sehr ausgereifte Prototyp gegen Ende des Projektes in einer Fahrsimulatorstudie mit Lkw-Fahrern, in einer Realfahrzeugstudie mit Lkw-Fahrern und in einer Fahrsimulatorstudie mit Pkw-Fahrern.



- a) Fahrsimulatorstudie mit Lkw-Fahrern
- b) Realfahrzeugstudie mit Lkw-Fahrern
- c) Fahrsimulatorstudie mit Pkw-Fahrern

## ABLEITUNGEN AUS VERGLEICH DER STUDIENERGEBNISSE

- Der AAA wurde im Fahrsimulator und im Realfahrzeug sowie von Lkw-Fahrern und von Pkw-Fahrern ähnlich positiv bewertet.
- Die Transitionen zwischen manuellem Fahren und automatisiertem Fahren in SAE L2 oder L3 waren für Pkw-Fahrer im Fahrsimulator subjektiv verständlicher und weniger beanspruchend als für Lkw-Fahrer im Fahrsimulator.
- Die subjektive Mode Awareness über den Automationsgrad wurde im Fahrsimulator und im Realfahrzeug sowie von Lkw-Fahrern und von Pkw-Fahrern ähnlich gut eingeschätzt.
- Die Bedienung der Tablets wurde von Pkw-Fahrern im Fahrsimulator besser eingeschätzt als von Lkw-Fahrern im Realfahrzeug. Das An-/Abschalten von Assistenz Plus (SAE L2) und Autopilot (SAE L3) wurde von den Lkw-Fahrern im Fahrsimulator komplizierter empfunden als von den Pkw-Fahrern im Fahrsimulator.
- Die Teilnehmer der Realfahrzeugstudie mit Lkw-Fahrern sind eher der Meinung, dass das System ausreichend Informationen über die Zulässigkeiten beim An-/Abschalten von Assistenz Plus und Autopilot liefert als die Teilnehmer der Fahrsimulatorstudie mit Pkw-Fahrern.
- Die User Experience wurde im Fahrsimulator und im Realfahrzeug sowie von den Lkw-Fahrern und den Pkw-Fahrern ähnlich hoch eingeschätzt.
- Die Akzeptanz von Assistenz Plus (SAE L2) und Autopilot (SAE L3) war in allen 3 Studien ähnlich hoch.
- Die Studienergebnisse zum AAA decken sich im Wesentlichen in Fahrsimulatorstudien und der Realfahrzeugstudie. Auch scheint das vorrangig für Lkw-Fahrer entwickelte System gut in den Pkw-Bereich übertragbar zu sein, wie die ähnlichen Ergebnisse aus den Studien mit Lkw- und Pkw-Fahrern zeigen.

## GUIDELINE ZUR UNTERSTÜTZUNG BEI ZUKÜNFTIGEN ENTWICKLUNGEN EINES DIGITALEN ASSISTENTEN IM KONTEXT DES AUTOMATISIERTEN FAHRENS

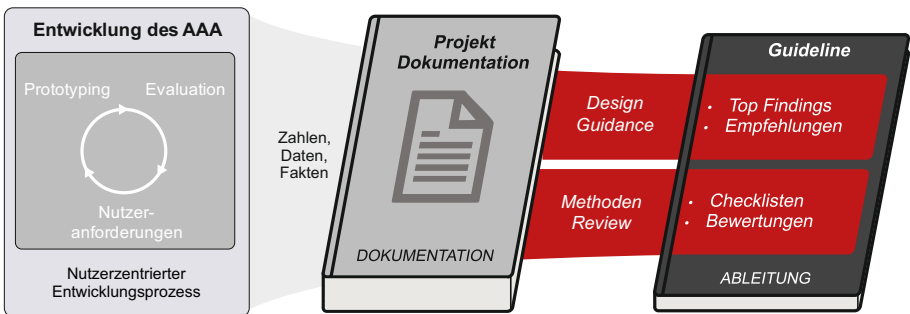
Die Ergebnisse, die im Laufe des Projekts erarbeitet wurden, werden mittels einer zusammenfassenden Guideline kompakt dargestellt, sodass diese als Orientierungshilfe für zukünftige Projekte mit einer ähnlichen Ausrichtung verwendet werden kann. Dabei sind nicht nur objektive Empfehlungen für einen virtuellen Beifahrer entstanden, sondern auch eine Übersicht und Bewertung der verwendeten Entwicklungsmethoden für zukünftige, mit dem Fahrer interagierender Systeme.

Die Inhalte der Guideline basieren dabei auf einer umfassenden Projektdokumentation, stellen darüber hinaus aber eine komprimierte Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse aus TANGO dar. Innerhalb der Guideline werden zwei Schwerpunkte betrachtet: die Design Guidance (Designrichtlinie) und der Methoden-Review. Die Zusammenhänge sind in der Abbildung unten dargestellt. Im Rahmen der Design Guidance werden die wesentlichen Ergebnisse, sog. Top Findings, der durchgeführten Nutzerstudien und der damit verbundenen Entwicklung des AAA aufgeführt. Aufbauend auf diesen zentralen, wissenschaftlich gestützten Ergebnissen konnten konkrete Gestaltungsempfehlungen für die Entwicklung und Konzeption eines virtuellen Beifahrers abgeleitet werden.

Mittels des Methoden-Reviews existiert eine detaillierte Beschreibung der angewendeten Methoden, wie zum Beispiel Nutzerbefragungen, Expertenbewertungen oder Simulatoruntersuchungen. Diese detaillierten Beschreibungen sind mittels der im Rahmen des Projekts entwickelten Methoden-Checkliste erfasst. Des Weiteren sind jegliche Methoden hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit im Projektkontext bewertet, sodass mit diesem Methoden-Review eine Hilfestellung bzgl. der Auswahl an geeigneten Methoden für ähnliche Anwendungsfälle zur Verfügung gestellt wird.



METHODISCHER ANSATZ  
DER GUIDELINE



Ableitung der Guideline aus den Projektergebnissen

De Waard, D. (1996). The measurement of drivers' mental workload. Netherlands: Groningen University, Traffic Research Center.

De Winter, J. C., Happee, R., Martnes, M. H., & Stanton, N. A. (2014). Effects of adaptive cruise control and highly automated driving on workload and situation awareness. A review of the empirical evidence. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour* 27, S. 196-217.

Engeln, A. & Engeln, C. (2015). Customer Experience und kundenzentrierte Angebotsentwicklung. Was gehört dazu? In A. Baetzgen (Eds.). *Brand Experience. An jedem Touchpoint auf den Punkt begeistern* (253-273). Stuttgart: Schäffer Pöschel.

Glaser, W.R., Waschulewski, H., & Schmid, D. (2005). I-TSA - a standardized procedure to assess the safety impact of driver information and driver assistance systems. In „Der Fahrer im 21. Jahrhundert“ (The driver in the 21st century), VDI-Berichte 1919, 17-10. Braunschweig.

ISO14198:2012 (2012). Road vehicles – Ergonomic aspects of transport information and control systems – Calibration tasks for methods which assess driver demand due to the use of in vehicle systems, vol PD ISO/TS 14198:2012. International Organization for Standardization, Schweiz.

ISO 9241-210:2010 (2010). Ergonomics of human-system interaction. Part 210: Human-centred design for interactive systems. International Organization for Standardization

SAE International. (2018). Taxonomy and definitions for terms related to on-road automated motor vehicles (J3016\_201806). [https://doi.org/10.4271/J3016\\_201806](https://doi.org/10.4271/J3016_201806) (Zugriff am 17.10.2018)

Radlmayr, J.; Ratter, M.; Feldhütter, A.; Körber, M.; Prasch, L.; Schmidler, J.; Yang, Y.; Bengler, K. Take-Overs in Level 3 Automated Driving – Proposal of the Take-Over Performance Score (TOPS). In *Proceedings of the 20th Congress of the International Ergonomics Association (IEA 2018)*, Florence, Italy, 26–30 August 2018; Bagnara, S., Tartaglia, R., Albolino, S., Alexander, T., Fujita, Y., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 436–446.

Sullivan, J. M., Flannagan, M. J., Pradhan, A. K., & Bao, S. (2016). Behavioral adaptation to advanced driver assistance systems: A literature review. AAA Foundation for Traffic Safety.

Verwey, W. B., & Zaidel, D. M. (1999). Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis and Prevention*, 31(3), S. 199–211.

### Name

Philipp Alt  
Hans-Joachim Bieg  
Ulrich Canzler  
Arnd Engeln  
Rainer Erbach  
Svenja Escherle  
Matthias Fischer  
Andreas Korthauer  
Wolfgang Krautter  
Paula Laßmann  
Thomas Maier  
Britta Michel  
Jihad Miramo  
Ina Othersen  
Anne Pagenkopf  
Sabine Palm  
Florian Reichelt  
Philip Rigley  
Ilona Rubinstein  
Lara Scatturin  
Michael Schulz  
Michael Sielski  
Anna Julia Sprung  
Dominique Stimm  
Dorothea Sturtz  
Elisabeth Wögerbauer

### Institution

Robert Bosch GmbH  
Robert Bosch GmbH  
CanControls GmbH  
Hochschule der Medien  
Robert Bosch GmbH  
MAN Truck & Bus SE  
Universität Stuttgart  
Robert Bosch GmbH  
Robert Bosch GmbH  
Universität Stuttgart  
Universität Stuttgart  
MAN Truck & Bus SE  
Robert Bosch GmbH  
Volkswagen AG  
Hochschule der Medien  
Hochschule der Medien  
Universität Stuttgart  
Spiegel Institut Mannheim GmbH  
Robert Bosch GmbH  
Robert Bosch GmbH  
Robert Bosch GmbH  
CanControls GmbH  
MAN Truck & Bus SE  
Hochschule der Medien  
Robert Bosch GmbH  
Hochschule der Medien

## **Herausgeber**

TANGO Konsortium

## **Vertreter des Konsortiums**

**Michael Schulz**

Robert Bosch GmbH, Robert-Bosch-Allee 1, 74232 Abstatt

**Ina Othersen**

Volkswagen AG, Berliner Ring 2, 38440 Wolfsburg

**Britta Michel**

MAN Truck & Bus SE, Dachauer Straße 667, 80995 München

**Thomas Maier**

Universität Stuttgart, Pfaffenwaldring 9, 70569 Stuttgart

**Arnd Engeln**

Hochschule der Medien, Nobelstraße 10, 70569 Stuttgart

**Philip Rigley**

Spiegel Institut Mannheim GmbH, Hermsheimer Straße 5, 68163 Mannheim

**Ulrich Canzler**

CanControls GmbH, Markt 45, 52062 Aachen

Alle dargestellten Abbildungen sind eigene Darstellungen, an denen das TANGO Konsortium alle Rechte hält.

Stuttgart, 2021

## Konsortium

---



**BOSCH**  
Technik fürs Leben

**VOLKSWAGEN**  
AKTIENGESELLSCHAFT



Universität Stuttgart  
**KTD**



HOCHSCHULE  
DER MEDIEN

spiegelInstitut

**CanControls**  
*The Art of Image Understanding*